

V259 Tvärförbindelse Södertörn

TSK01
Framtagande av Vägplan

Teknisk PM
Bergteknik

SYSTEMHANDLING
2019-11-15 (Rev A2020-04-30)

0B140005.doc

Rev	Ant	Ändring avser	Godkänd	Datum
A		ENL. REVIDERINGS-PM 03, 0C140103	EO	2020-04-30

Granskare	Godkänd av	Ort	Datum
Fredrik Bengtsson	Eva Öberg	Stockholm	2019-11-15

Objektnamn	V259 Tvärförbindelse Södertörn
Entreprenadnummer	TSK01
Entreprenadnamn	Framtagande av Vägplan
Beskrivning 1	Teknisk PM
Beskrivning 2	Bergteknik
Beskrivning 3	
Beskrivning 4	
Granskningsstatus	GODKÄND
Diarienummer	
Konstruktionsnummer	
Objektnummer	145326
Plantyp	
Handlingstyp	SYSTEMHANDLING
Företag	Tyréns AB
Författare/Konstruktör	Fredrik Ö/Henrik L/Nathalie L/Elisa L/Sylvia B
Externnummer	260805



Innehåll

1	Orientering	4
1.1	Bakgrund	4
1.2	Syfte och mål	4
1.3	Omfattning och avgränsningar	4
2	Förutsättningar och krav	5
2.1	Allmänna förutsättningar	5
2.2	Krav enligt UB/Projektbeskrivning	5
2.2.1	Styrande dokument	5
2.3	Objektspecifika krav	6
2.3.1	Mittpelarbredd bergtunnel	6
2.3.2	Pelarnosbredd bergtunnelförgrening	6
2.3.3	Serviceficka i bergtunnel	7
2.3.4	Konturhålsborrning med tätsöm vid bergschakt	7
2.3.5	Släntgeometri för berg i vägsränning	7
2.3.6	Skyddszon bergtunnel och bergslänt	8
2.3.7	Val av tunnelinklädnad i bergtunnel	8
2.3.8	Vattentätning av bergtunnel	8
2.3.9	Inspektion av bergtunnelinklädnad och bärande huvudsystem	9
2.3.10	Teknisk livslängd för bergtunnelinklädnad	9
2.3.11	Korrosionsskydd för bergbultar	9
2.3.12	Minimum mittpelarbredd för tunnelpåslag	10
2.3.13	Minimum bergtäckning i tunnelpåslag	10
2.3.14	Normalsektion bergtunnel med elliptiskt takform	10
2.3.15	Breddningen av väggkant vid bergsränning	10
2.4	Övriga krav, riktlinjer, riktvärden och bestämmelser	11
3	Utförda undersökningar	11
3.1	Utredning, analys och resultat	11
3.2	Prognossäkerhet	12
4	Topografisk och geologisk områdesbeskrivning	12
4.1	Delområde 1, Masmö	12
4.2	Delområde 2, Flottsbro	14
4.3	Delområde 5, Flemingsbergsskogen	15
5	Bergentreprenadarbeten	18
5.1	Ovanjordssprängning	18
5.2	Tunneldrivningsprocess	19
5.3	Bergförstärkning	21
5.4	Tätning av berg	21
6	Berganläggningars utformning	23
6.1	Bergtunnel	23
6.1.1	Vägtunnel	23

6.1.2	Teknikutrymmen	24
6.1.3	Utrymningsväg	25
6.1.4	Inklädnad för bergtunnel	25
6.2	Bergslänt	26
6.2.1	Allmänt.....	26
6.2.2	Slänthöjder, markanspråk och Bergmodellen	29
6.2.3	Skyddszon	29
6.2.4	Markanspråkskategorier	30
6.2.5	Mängden bergslänt i projektet	32
6.2.6	Urlakning och läckage av sulfider från bergskärning	33
6.3	Livscykelkostnad (LCC) samt drift och underhåll	34
7	Resultat från systemhandlingsprojekteringen	34
7.1	Bortvalda alternativ	34
7.2	Kritiska passager	35
7.2.1	Metodik och karaktärisering.....	35
7.2.2	Kritiska passager per delområde	39
8	Risker.....	46
8.1	Geologi	46
8.2	Utformning och utförande	46
8.3	Ekonomi och tidplan	47
9	Fortsatt arbete.....	47
10	Referenser	47

Bilaga

Bilaga 1	Lista på kritiska passager
----------	----------------------------

1 Orientering

1.1 Bakgrund

Den södra delen av Stockholmregionen, Södertörn, utgör en av de snabbast växande regionerna i Sverige. Transportinfrastrukturen inom Södertörn har inte byggts ut i samma takt som områdets befolkningstillväxt och utveckling i övrigt. Infrastrukturnätet är särskilt bristfälligt i öst-västlig riktning, där vägnätet inte är utformat för att effektivt klara stora resandeflöden.

Befintlig väg 259 utgör en cirka 24 kilometer lång tvärled mellan Jordbro och Fittja, som binder samman regionala centrum och flera stora kommunikationsstråk. Väg 259 är idag hårt belastad och vägen har bristande framkomlighet och trafiksäkerhet. Vägen är en av de mest olycksdrabbade i länet.

På väg 259 blandas lokal och regional trafik samtidigt som belastningen på vägen är hög i förhållande till vägstandarden. Det saknas mittseparering och hastigheterna är höga på delar av vägen. Vägbredden varierar och vägren saknas på större delen av sträckan. Utmed stora delar av vägen saknas också viltstängsel. Det finns många anslutande vägar och flera fastigheter har direktutfart mot vägen. Godstransporter utgör en stor andel av den totala trafiken och den tyngsta trafiken tvingas till omvägar på grund av begränsad bärighet på bron över sjön Ornlången. Längs långa sträckor saknas vägren. Olycksstatistiken visar på hög andel olyckor utmed vägen och den upplevs inte som trafiksäker varken för biltrafikanter eller för oskyddade trafikanter.

Även för cyklister är förbindelserna i öst-västlig riktning bristfälliga. Det saknas sammanhängande gång- och cykelvägnät längs väg 259 och möjligheterna att korsa vägen på ett trafiksäkert sätt är begränsade.

En otillräcklig infrastruktur bidrar till en rad följdproblem, vilka kommer att förvärras med den starka befolkningstillväxten i regionen. Bland annat försvåras nyetableringar av såväl bostäder som verksamheter när restiden ökar, såväl inom Södertörn som till viktiga platser utanför området.

Målsättningen för Tvärförbindelse Södertörn är att vara en viktig del av Yttre Tvärleden som också inkluderar Förbifart Stockholm och Norrortsleden. Den Yttre Tvärleden kommer att binda samman viktiga arbetsplats- och bostadsområden i hela regionen, avlasta vägnät i Stockholms centrala delar samt utgöra förbifart för trafik som passerar igenom regionen. Tvärförbindelse Södertörn blir en viktig länk mellan E4/E20 i väster och väg 73 i öster.

1.2 Syfte och mål

I *Tekniskt PM Bergteknik* beskrivs en principiell utformning av bergtunnelsystem inklusive teknikutrymmen och utrymningsvägar såväl som bergslänters utformning i vägskärningar. Komplexa anläggningsdelar belyses särskilt med en riskvärdering för projektet och förslag på vidare projektering.

Principer för bergschakt, bergförstärkning och tätning av bergmassa presenteras, vilka är de tekniska utföranden som karaktäriserar framtida entreprenadarbeten för berganläggningar.

Anläggningstekniska förutsättningar i form av berggrundens karaktär och projektområdets topografi sammanfattas bara kort i *Tekniskt PM Bergteknik* med hänvisning till *Förundersökningsrapport Bergteknik* (undersökningsdata) och ingenjörsgelogisk prognos (tolkade resultat).

1.3 Omfattning och avgränsningar

Beskrivningar i detta PM är anpassade för en systemhandlingsprojektering med en detaljeringsgrad tillräcklig för att stödja Vägplanen. Systemhandlingen innehåller därför endast beskrivningar av

konceptuella och principiella tekniska system och analytisk eller modelleringsbaserad dimensionering har inte utförts.

Teknikområde Berg (TO Berg) har bidragit till att alternativskilja möjliga vägsträckor med avseende på byggbarhet, omgivningspåverkan och kostnad för tunnel och vägskärning i den samordnade projekteringen. I begreppet byggbarhet har ingått att undersöka och karaktärisera berggrunden samt att verifiera för bergtunnel och bergskärning nödvändiga tekniska funktioner. Bergteknisk projektering har utförts i enlighet med styrande dokument, branschpraxis och relevanta samtida projekts erfarenheter.

Utredningsarbete har omfattat att skapa underlag också för tillståndsprövningar utöver vad som ingår i Vägplanen.

Ingen bedömning av sprängstensmassors ballastkvaliteter har gjorts i Systemhandlingen.

I *Besluts-PM LCC Tunnelinklädning*, OP140004, har livscykelkostnaderna för olika tunnelinklädningssystem utretts med utgångspunkt från konceptuella förslag från andra vägprojekt. Ett inriktningsbeslut har därefter tagits av Trafikverket om att en typlösning med heltäckande duk ska förutsättas i Tvärförbindelse Södertörns bergtunnlar, men ingen vidare utformning av inklädningssystem har gjorts i systemhandlingsprojekteringen.

2 Förutsättningar och krav

2.1 Allmänna förutsättningar

För övergripande förutsättningar för uppdragets systemhandlingsskede, se *Projekteringsbeskrivning FAS 3 Tvärförbindelse Södertörn* samt *Projekteringsbeskrivning FAS 3 Berg*, daterad 2016-10-01 och reviderad 2017-02-17.

Beslut om vägstandard, antal tunnelrör och körfält, utrymning och tillträde för räddningspersonal såväl som standard för vattenförsörjning och dränering samt ventilation och strömförsörjning i bergtunnel har tagits av Trafikverket tillsammans med för dessa frågor ansvariga teknikområden. Dessa beslut har blivit projekteringsförutsättningar för TO Berg att förhålla sig till.

2.2 Krav enligt UB/Projektbeskrivning

Trafikverkets uttalade intention är att ha en helhetssyn på väganläggningar för att uppnå en effektiv drift samt ett underhållsvänligt och kostnadseffektivt vägsystem. Vidare säger Trafikverket att underhåll och felavhjälpning ska kunna utföras på ett effektivt och arbetsmiljömässigt sätt.

Det är TO Bergs uppfattning att en anläggning med minsta möjliga underhållsbehov är bästa sättet att uppnå kostnadseffektivitet varför teknikområdet har verkat för enkla, robusta och beprövade tekniska system i minsta möjliga anläggningar. I samordning med andra teknikslag är det dock så att små utrymmen svårligen kombineras med en modern syn på arbetsmiljö och effektivt underhåll.

Bland Trafikverkets anläggningskrav poängteras också att väganläggningars utformning och inpassning i landskapet är av stor betydelse, varför ovan nämnd "robusthet" inom ramen för tillgängliga frihetsgrader har vägts mot en optimering av vägprofilen för skonsam placering av tunnelmynningar och anslutande förskärningar.

2.2.1 Styrande dokument

Styrande¹⁾ och vägledande²⁾ dokument för systemhandlingsprojekteringen har varit:

- Eurocode 7, SS-EN 1997-1 samt SS-EN 1990 och 1991¹⁾

- *Krav Objektorienterad informationsmodell*, TDOK 2015:181¹⁾
- *Krav Tunnelbyggande*, TDOK 2016:0231¹⁾
- *Projektering av bergkonstruktioner*, TDOK 2014:144¹⁾
- *Trafikverkets tekniska krav för geokonstruktioner (TK Geo)*, TDOK 2013:667¹⁾
- *Brandskyddsbeskrivning Tunnlar*, OS140002²⁾
- *Krav för vägars och gators utformning (VGU)*, 2015:086²⁾
- *Råd Tunnelbyggande*, TDOK 2016:0232²⁾
- *Säkerhetskoncept* (säkerhetskoncept för tunnlar), OS140001²⁾
- *Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om säkerhet i vägtunnlar m.m.*, TSFS 2015:27²⁾

Med vägledande dokument avses dokument som kan vara direkt styrande för andra teknikslag men som indirekt har varit vägledande för TO Berg.

2.3 Objektspecifika krav

En kravdatabas har upprättats innehållande objektspecifika anläggnings- och funktionskrav där hänsyn och principer för systemhandlingsprojekteringen liksom för framtida detaljprojektering har listats. Kravdatabasen finns tillgänglig på en server som tillhandahålls av Trafikverket medels ett verktyg, en webbklient kallad DOORS (*Rational DOORS Next Generation* av *Rational Software*).

Totalt har 15 krav upprättats med TO Berg som kravställare och en redogörelse av motiv och krav presenteras nedan för samtliga. Kravtexter är hämtade från kravdatabasen.

Notera att teoretisk utvändig tunnelkontur (TUT) definieras som den utvändiga tunnelkonturens invändiga begränsning, dvs sprutbetongytan alternativt bultände med eventuell bricka, halvkula och mutter, eftersom bergförstärkningen (200 mm) är en del av det bärande huvudsystemet tillsammans med bergmassan.

2.3.1 Mittpelarbredd bergtunnel

Krav på mittpelarbredd i bergtunnel är dels en följd av måttkrav för utrymningsväg med trekammarlösning mellan tunnelrören, dels en bergmekanisk förutsättning med avseende på bergpelarens stabilitet. Upprättat krav är ett resultat av framarbetad måttkedja för körfält/mittpelare/körfält (se *Besluts-PM Normalsektion bergtunnel*).

Mittpelare mellan tunnelrör ska generellt utföras med minst 11 m bredd, definierad som avståndet mellan teoretisk utvändig tunnelkontur i respektive tunnelrör.

Observera att mittpelarbredden mellan huvudtunnlar i Masmotunnelns norra ände, ungefär från tunnelpåslaget till strax söder om avfartsramptunnelns avgrening, är mindre än vad kravet påbjuder och att detta kommer att korrigeras i nästa projekteringsskede.

2.3.2 Pelarnosbredd bergtunnelförgrening

Erfarenheter från framsprängning av mittpelarnos i bergtunnelförgrening gör gällande att pelarnosar ofta blir smalare än vad som avsetts, vilket vanligen föranleder omfattande kompenserande bergförstärkning eller framflyttning av pelarnosen. Därav ställs, enligt nedan, krav på minsta pelarnosbredd i bergtunnel:

A: Mittpelares fria ände (pelarnos) i bergtunnelförgrening ska utföras med minst 5 m bredd mellan teoretisk utvändig tunnelkontur i respektive tunnelrör.

B: Pelarnos i bergtunnelförgrening ska, om inte särskilda skäl finns, breddas successivt till full mittpelarbredd inom 70 m från pelarnos.

2.3.3 Serviceficka i bergtunnel

Enligt beslut från Trafikverket kravställs följande utformning av servicefickor i bergtunnel:

Samtliga servicefickor till teknikutrymmen i bergtunnel ska utformas enligt ritning 000To411, förlaga från Förbifart Stockholm, med undantaget att utspetsning i fickans framkant utförs med 1:10 istället för 1:5.

2.3.4 Konturhålsborrning med tätsöm vid bergschakt

För att uppnå önskvärd kvalitet och jämnhet på sprängd bergkontur, vilket även skapar förutsättningar för att inte överskrida tillåtet markanspråk, ställs krav på 0,3 m hålavstånd i konturhålsrad som komplement till den i senare detaljprojektering preciserade bergschaktningstoleransen. För att tätsöm 0,3 m ska vara verkningsfull bör den kombineras med bergschaktningstoleranser 1–2. Följande anläggningskrav gäller:

Vid bergschakt ska konturhålsborrning med tätsöm, hålavstånd 0,3 m, utföras i följande lägen:

A: I förskärningsfront för tunnelpåslag utmed hela dess bredd och höjd. Undantag får om möjligt göras för den del av fronten som ligger inom tunnelsektion med 3 m marginal till teoretisk utvändig tunnelkontur.

B: I den översta pallen i förskärnings sida, till ett djup av $5 < h < 10$ m från bergsläntröner beroende på pallhöjd, och ≥ 20 m i längdled räknat från förskärnings front.

C: I bergslänt vid vägsärning som är > 10 m hög, till ett djup av ≥ 5 m från bergsläntröner.

D: Vid del av bergschakt för tunnel och bergrum enligt anvisning i detaljprojektering.

2.3.5 Släntgeometri för berg i vägsärning

Släntdesign för vägsärningar i berg avser säkerställa långsiktig stabilitet. Släntgeometrier anpassas så långt möjligt till rådande geologi och kommande underhållsinsatser, samtidigt som de tar hänsyn till markanspråk vid känslig markanvändning. Anläggningskrav har därav upprättats enligt nedan:

Bergslänt ska om inte särskilda skäl finns utföras enligt A-E nedan.

A: För bergslänt i förskärning till bergtunnel, förskärningsfront såväl som sidoslänter:

gäller slänthlutning 5:1 för Masmotunneln N

gäller slänthlutning 3:1 för bergslänter kring Stora svackans betongtunnel

gäller slänthlutning 3:1 för Masmotunneln S, förutom på sträckan med förväntad dålig bergkvalitet nära tunnelmynning där istället 1:1 gäller

gäller slänthlutning 3:1 för Glömstatunneln V

gäller slänthlutning 3:1 för Glömstatunneln Ö

gäller släntlutning 3:1 för Flemingsbergstunneln V

gäller släntlutning 5:1 för Flemingsbergstunneln Ö

B: För ytväg ska bergskärningar utformas med släntlutning 3:1.

C: TK Geo gäller avseende frilagd yta ovan släntrönn, dvs en frilagd yta med bredd 1,5 m gäller för slänter lägre än 6 m och dito 3,0 m gäller för övriga slänthöjder.

D: I Masmotunneln S utförs serviceväg invid släntrönn utmed hög sidoslänt (östra sidan) med bredd 5,2 m enligt skiss i Tekniskt PM Bergteknik, OB140005.

E: För bergslänt högre än 10 m förutsätts en 0,5 m bred hylla utföras för varje 10 m vertikal slänthöjd.

2.3.6 Skyddszon bergtunnel och bergslänt

I avseende att skydda berganläggning från yttre påverkan på dess stabilitet och täthet tillämpas en skyddszon runt bergtunnel inklusive sidoutrymme och -slänt. Följande gäller därav som anläggningskrav:

A: Bergtunnel inklusive dess sidoutrymmen ska förses med en skyddszon om 20 m, räknat ut från teoretisk utvändig tunnelkontur.

B: Bergslänter ska förses med en skyddszon om 6 m i horisontalmått med hänsyn till bergförstärkning med bult.

2.3.7 Val av tunnelinklädnad i bergtunnel

Enligt beslut från Trafikverket avseende utförd livscykelkostnadsanalys (LCC) för tunnelinklädnad (se kapitel 6.1.4 *Inklädnad för bergtunnel*) krävs typ av tunnelinklädnadssystem för bergtunnel inklusive sidoutrymmen enligt punkt nedan. För vidare beskrivning och resultat av LCC hänvisas till *Besluts-PM LCC Tunnelinklädnad*. Bland sidoutrymmen i detta krav exkluderas utrymningsväg.

A: Inklädnadssystem för bergtunnel ska utgöras av alternativ duk enligt Besluts-PM LCC Tunnelinklädnad, OP140004.

B: Inklädnadssystem för sidoutrymmen till bergtunnel ska utgöras av alternativ duk enligt Besluts-PM LCC Tunnelinklädnad, OP140004, med avvikelser att duk monteras oinsprutad.

2.3.8 Vattentätning av bergtunnel

Krav på vattentätning i bergtunnel bör vara avhängigt valet av tunnelinklädnadssystem, såväl som förekomsten av skyddsobjekt inom influensområdet som kan påverkas.

Med förutsättningar från krav 427360 Val av tunnelinklädnad i bergtunnel gäller att:

A: Bergtunnel inklusive sidoutrymmen i berg ska förinjekteras kontinuerligt där skyddsobjekt har identifierats.

B: Förinjektering ska designas med ambitionen att upprätthålla ovanförliggande grundvattennivå men inte för att minimera inläckage i tunnel.

2.3.9 Inspektion av bergtunnelinklädnad och bärande huvudsystem

Åtkomlighet för inspektion och underhåll av tunnelinklädnad och bakomliggande bärande huvudsystem är begränsad, och försvåras av att tunnelinklädnad med GSE-membran, Gjertsenduk och dylikt, i kombination med sprutbetong, inte kan anses vara lätt demonterbar. Enligt *Krav Tunnelbyggnad*, kapitel B.1.3.2, skulle sådana vatten- och frostisoleringsystem därför kunna uteslutas om inte annat anges av Trafikverket. Mot bakgrund av detta motiv har följande anläggningskrav utformats:

För inspektion och underhåll av tunnelinklädnad och bakomliggande bärande huvudsystem gäller att:

A: Inklädnadssystem av duk samt bakomliggande bärande huvudsystem förutsätts kunna inspekteras genom fjärrinspektion.

B: Inklädnadssystem av duk förutsätts vara icke-demonterbart.

C: Inklädnadssystem som utgörs av betongvägg på tunnels högfartssida samt bakomliggande bärande huvudsystem förutsätts kunna inspekteras genom handnära inspektion och fjärrinspektion.

D: Inklädnadssystem som utgörs av betongvägg på tunnels högfartssida förutsätts vara demonterbart.

2.3.10 Teknisk livslängd för bergtunnelinklädnad

Åtkomlighet för inspektion och underhåll av tunnelinklädnad och bakomliggande bärande huvudsystem är begränsad. Enligt *Krav Tunnelbyggnad*, kapitel D1.2, gäller att "för en konstruktionsdel som inte är åtkomlig för inspektion och underhåll ska särskild vikt läggas på utformning och dimensionering med avseende på beständighet". Detta motiv föranleder följande förutsättning för systemhandlingsprojekteringen och framtida detaljprojektering:

Tunnelinklädnad ska med hänsyn till beständighet dimensioneras för teknisk livslängdsklass (TLK) 120 år.

2.3.11 Korrosionsskydd för bergbultar

Krav på korrosionsskydd har upprättats med anledning av riktlinjer enligt TDOK 2016:0231, kapitel D1.2, där det görs gällande att "för en konstruktionsdel som inte är åtkomlig för inspektion och underhåll ska särskild vikt läggas på utformning och dimensionering med avseende på beständighet".

Om detaljerade undersökningar kan påvisa en icke-korrosiv miljö för bult (grundvatten och luft) borde kraven på korrosionsskydd kunna sänkas, men eftersom Trafikverket har för avsikt att låta dimensionera tunnelinklädnad med teknisk livslängdsklass (TLK) 120 år förutsätter tillhörande krav på beständighet likväl ett kraftigt korrosionsskydd. Därav gäller följande anläggningskrav:

För bergförstärkning av det bärande huvudsystemet bakom tunnelinklädnad, såväl som för infästningar till tunnelinklädnad, som inte är direkt åtkomliga för inspektion och underhåll gäller

att bult ska utföras i korrosivitetsklass C5-M för luftexponerad bult och Im3 för ingjuten bult.

2.3.12 Minimum mittpelarbredd för tunnelpåslag

För att säkerställa bergpelarens bevarande och totalsektionens storstabilitet i tunnelpåslag gäller krav på minimum mittpelarbredd enligt följande.

Pelarnos mellan tunnelrör vid bergtunnelmynning mot förskärning ska ha full mittpelarbredd, med undantag för utrymme för inslagsvalv som tar upp till 1 m i anspråk av mittpelaren per tunnelrör.

2.3.13 Minimum bergtäckning i tunnelpåslag

Krav på minimum bergtäckning och sektionens proportion vid bergtunnelpåslag avser säkerställa bergmassans bärighet och anläggningens stabilitet.

Vid tunnelpåslag (förskärningsfrontens släntrön) ska minsta bergtäckning ovan tunnel vara 10 m för tunnelbredd (enskilt tunnelrör) som överstiger 15 m, respektive 8 m för tunnelbredd mindre än 15 m. Kravet gäller under förutsättning att bergmassans värde för $Q_{bas} > 10$.

2.3.14 Normalsektion bergtunnel med elliptiskt takform

Tunnelsektionens proportioner och geometri ska säkerställa att bergmassan tillsammans med föreskriven bergförstärkning bildar det bärande huvudsystem som upprätthåller tunnelstabiliteten under anläggningens livslängd, samtidigt som totalvolymen bergschakt minimeras.

Normalsektion för bergtunnel ska utformas med elliptiskt takform, där förhållandet pilhöjd:tunnelbredd $\geq 1:4$, under förutsättning att bergkvalitet $Q_{bas} > 1$. Detta förhållande kan även uttryckas som proportionen konjugataxel:transversalaxel $\geq 1:2$.

Notera att dessa proportioner vid upprättande av subassembly för bergtunnel (parametrisk sektion) har tillämpats på teoretisk inre tunnelkontur (TUT). Se vidare i *Redogörelse för ämnesområdesmodell, Bergteknik, Anläggning*.

2.3.15 Breddningen av väggkant vid bergskärning

Med anledning av att säkring av bergskärning helt intill motortrafikled (inte lokalväg och inte GC), av estetiska skäl avses minimera omfattningen av bergnät som förstärkningsmetod, krävs ett extra sidoutrymme vid väggkant för att förhindra att eventuella nedfallande block från höga bergskärningar når vägbanan. Breddningen kan dock inte tillgodose tillräcklig säkerhet mot fallande is i höga slänter, varför säkring av svallis med bergnät fortfarande ska förutsättas.

Längs höga bergslänter intill motortrafikled ska ett breddat sidoutrymme om 6 m mellan väggkant och slänthöjd införas för att förhindra att eventuella nedfallande bergblock når vägbanan. Detta gäller samtliga bergslänter > 10 m höga utmed motortrafikled. Av estetiska skäl ska breddningen fasas in och ut, genom att påbörjas 20 m före 10 m slänthöjd och därifrån öka linjärt.

2.4 Övriga krav, riktlinjer, riktvärden och bestämmelser

Inledande utredning och riskanalys enligt Lag om säkerhet i vägtunnlar (SFS 2006:418) har genomförts av TO Brand & Säkerhet med stöd av övriga teknikområden och resultatet återfinns delvis i *Kravdokument Säkerhetskoncept*, oS140001.

Säkerhetskonceptet omfattar bl.a. en utredning av behov av sidoutrymmen och utrymningsvägar och i Säkerhetskonceptet beskrivs också förutsättningar för brandbekämpningssystem av typen delugesystem i samtliga bergtunnlar.

3 Utförda undersökningar

3.1 Utredning, analys och resultat

Enligt *Krav Tunnelbyggande* ska utredningen av en bergkonstruktions förutsättningar omfatta förundersökningar av bergmassans egenskaper och en resulterande ingenjörsgelogisk prognos för tunnel.

Den ingenjörsgelogiska prognosen delar typiskt in tunnelsträckor i domäner med enhetliga och kvantifierade egenskaper med avseende på bergart, spricksystem, svaghetszon, bergkvalitet och hydraulik. Data från ingenjörsgelogisk ytkartering, borrhälsborr, hydrauliska tester mm redovisas i detalj i *Förundersökningsrapport Bergteknik* (FUR) men den tolkade syntesen av detta arbete redovisas i den modellbaserade ingenjörsgelogiska prognosen (IP). Hur tolkningen har gått till redovisas i detalj i *Redogörelse för ämnesområdesmodell, Bergteknik, Förutsättningar*.

Den modellbaserade ingenjörsgelogiska prognosen redovisar inte bergspänningsförhållanden då inga mätningar av in situ-spänningar har utförts i projektet. Inte heller bergmassans hållfasthetsegenskaper redovisas i IP men fältuppskattning av enaxiell tryckhållfasthet liksom resultat från punktlasttester på typiska bergarter återfinns i *Förundersökningsrapport Bergteknik*. Sprickors mekaniska egenskaper redovisas också i FUR i form av parametrar i Q- och RMR-systemen.

IP innehåller tunnelsträckor samt ytvägsträckor i förskärning närmast tunnelmynning. Ingen motsvarande prognos har gjorts för övriga delar av projektsträckan om än fältundersökningar är utförda och finns presenterade i *Förundersökningsrapport Bergteknik* (FUR). För ett fåtal höga bergslänter på ytvägsträckor så väl som i förskärning har kilanalys gjorts som underlag för beslut om lämpliga släntlutningar.

Fältundersökningar Bergteknik	Masmo	Flottsbro	Flemingsbergsskogen
Berg-i-dagen inventering (exklusive ingenjörsgelogisk ytkartering)	13,9 ha	59,5 ha	133,9 ha
Ingenjörsgelogisk ytkartering	12,9 ha	52,5 ha	133,9 ha
Kärnborrning inklusive, kärnkartering vattenförlustmätning, krökhetsmätning och borrhålsfilmning	6 + (3) st	5 st	10 st
Punktlasttest	50 st	10 st	53 st

Tabell 1. Utförda fältundersökningar för delområde Masmo, Flottsbro och Flemingsbergsskogen med avseende på framförallt bergtunnel. Siffror inom parentes avser kärnborrhål/kärnor från Masmolänken-projektet.

3.2 Prognossäkerhet

En bedömning av prognossäkerhet syftar till att åskådliggöra generaliseringar, antaganden och brister vid tolkning av geologisk information. Ingenjörsgelogisk prognos ligger till grund för merparten av all detaljprojektering i TO Berg; generell geometrisk utformning och positionering av berganläggningar såväl som bergschaktutförande (1), bergförstärkning (2) och -tätning (3), vilka alla är kostnadsdrivande. I synnerhet är kostnader för 1-3 direkt beroende av IP och kommer att mängdförtecknas för upphandling av entreprenör i nästa projekteringsskede.

Enligt *Krav Tunnelbyggande* ska osäkerheterna i den ingenjörsgelogiska prognosen värderas och graderas. Kända och möjliga osäkerheter i tolkningen av geologiska data redovisas i *Redogörelse för ämnesområdesmodell, Bergteknik, Förutsättningar*, men osäkerheterna i data såväl som i det tolkade slutresultatet kan bara svårligen kvantifieras.

I tabell 1 ovan redovisas de fältundersökningar som ligger till grund för IP vilka i sig ger en antydning om tolkningars trovärdighet, men framförallt i själva tolknings- och modelleringsarbetet med IP har prognossäkerheten klargjorts genom en noggrann beskrivning av tolkningsmetodik. Prognossäkerheten har mestadels bedömts kvalitativt men för svaghetszoner har också en kvantitativ indelning gjorts.

Värderingen av prognossäkerhet är en syntes av data- och informationsmängd, datatyp och förväntade eller kända osäkerheter. För komplett information om vilka data och befintliga underlag som har använts vid tolkning av IP hänvisas till *Förundersökningsrapport Bergteknik*. Mer information om värderingen av prognossäkerhet finns i *Redogörelse för ämnesområdesmodell, Bergteknik, Förutsättningar*.

4 Topografisk och geologisk områdesbeskrivning

Nedan beskrivs topografiska- och berggrundsgeologiska förhållanden för bergtunnelstapen inklusive förskärningar till tunnel längs Tvärförbindelse Södertörn.

I denna beskrivning omtalas huvudsakligen diskontinuiteter av kritisk karaktär med hänsyn till tunneldrivning, -stabilitet och -tätning. Ingen medveten åtskiljning har här gjorts mellan spröd och plastisk deformation som ursprung till kartlagda diskontinuiteter, men diskontinuiteterna som lineamentstolkats eller påvisats med fältarbeten är sannolikt mestadels spröda till sin karaktär. En storskalig plastisk deformationsanalys för att kartlägga variationen i foliationsriktning och därigenom förbättra tolkningen av förekommande sprickgrupper och domäntyp Spricksystem överläts eventuellt till framtida detaljprojektering.

Bergtunnlarna ligger inom delområden 1, 2 och 5, dvs i Masmo, Flottsbro och Flemingsbergsskogen och det är bara dessa delområden som rubriceras nedan även om förskärning till bergtunnel skulle sträcka sig in i intilliggande delområde.

Delområden som bara består av ytvägsträckor detaljeras inte i detta PM. Aktuell huvudväglinje och lägen för trafikplatser kommer att skapa skärningar med bergslänt vilka undantagsvis överstiger 5 m i höjd, men som bara i fåtalet fall berör motortrafikleden. Dessa fåtalet höga bergslänter och principer för deras utformning redovisas i kapitel 6.2 *Bergslänt*.

4.1 Delområde 1, Masmo

Delområde Masmo karaktäriseras av skogsklädda höjdparter med släta berghällar och lågpartier rika på block i jordytan. Den lägsta topografiska nivån ligger på ca +15 m och den högsta på +78 m. Områdets mest framträdande topografiska inslag är själva Masmoberget som också utgör mer än hälften av delområdet som är avgränsat av E4/E20 i norr, Vårby Haga bostadsområde i väst och väg 259 i sydväst. Berget omges av sänkor som Vårby backe och Gömmaravinen i norr och det är som

mest accentuerat öster om Vårby Haga med branta sluttningar mot väster. På sydvästra sidan sluttar terrängen ned mot Albysjön och i söder avgränsar den nordöstligt orienterade "Lilla svackan" berget mot väg 259 och Myrstuguberget. Masmoberget genomskärs dessutom av en nord-nordöstlig svaghetszon öster om Masmo tunnelbaneentré, den så kallade "Stora svackan". Bergtäckning ovan Masmotunneln är generellt mellan 40 och 20 m, men minskar mot tunnelpåslag och dessutom är så liten som 3 m i anslutning till tunnelbaneanläggningen vid Stora svackan i Masmoberget.

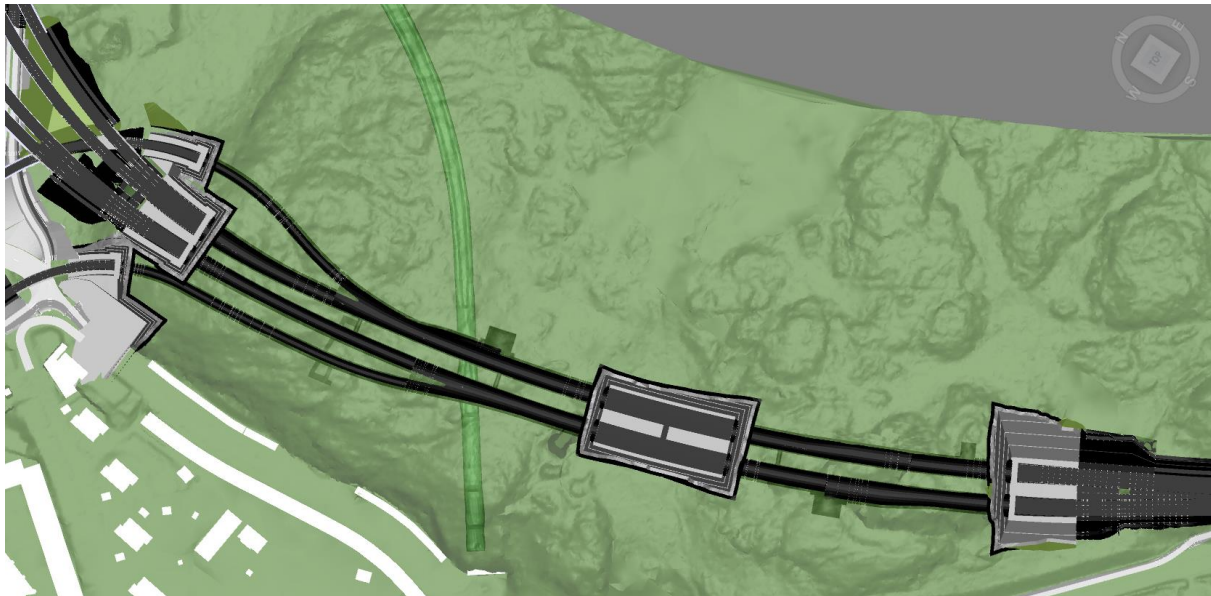
Bergmassan domineras av sedimentgnejs i de norra och centrala delarna av området där pegmatitgångar förekommer underordnat liksom enstaka diabasgångar. Stråk av både granitgnejs och basit skär i öst-västlig riktning söder om ett större område med metavulkanitisk berggrund i delområdets centrala del. Den dominerande sedimentgnejsen är vanligen grå- till rosaaktig, generellt slirig eller ådrig till strukturen men uppvisar ställvis en mer massiv struktur. Vittringen är ytlig till måttlig och sedimentgnejsen är medel- till storblockig.

Den storskaliga strukturgeologin i delområde Masmo präglas runt Masmoberget av lineament genom Rödstensfjärden och Gömmaren med strykning ÖSÖ–VNV, genom Albysjön med strykning N-S och genom Glömstaleden med strykning SÖ-NV. Vägsträckningen genom området genomkorsas dessutom av två större strukturella svackor, Stora svackan (75–100 m bred) och Lilla svackan (ca 50 m bred), såväl som av ett Ö-V strykande lineament vid Masmobergets norra fot som sträcker sig ut i dalgången västerut. Den plastiska deformationen förefaller definierad av ett veckben med ihållande östvästlig strykning men med oklar lutning på veckaxeln.

Tvärförbindelse Södertörn passerar i tunnel genom Masmoberget med förskärning i bergets nordvästra fot och vidare ut i Stora svackan, där betongtunnel tar vid, för att sedan återvända in i berg fram till Lilla svackan och förskärning mot sydöst. Tunneln påverkas främst av de svaghetszoner som är associerade med tvärande lineament och särskilt påverkat är området kring förskärning och tunnelpåslag i söder där Lilla svackan förväntas genomkorsas av flera mindre svaghetszoner.

Bergmassans kvalitet varierar längs delsträckan och dålig kvalitet kan typiskt förväntas vid större svaghetszoner medan bättre kvalitet förväntas vid större sammanhängande hållområden. Dålig bergkvalitet inom delområdet förväntas huvudsakligen vid påslagslägen i norr, förskärningen i söder samt i stora svackan även om det sistnämnda inte lär påverka bergtunnlarna nämnvärt. Större, för tunnelsträckningen längsgående och uthålliga svaghetszoner, har inte kunnat indikeras utifrån utförda undersökningar och tolkningar.

Inom delområde Masmo uppskattas bergmassans hydrauliska konduktivitet variera mellan 1×10^{-8} m/s och 1×10^{-6} m/s. Masmobergets norra del dvs höjdområdet mellan den norra tunnelmynningen och stora svackan förväntas huvudsakligen ha en konduktivitet inom intervallet 1×10^{-8} och 5×10^{-8} m/s. Vid stora svackan uppvisar bergmassan en lägre kvalitet och förväntas ha en högre konduktivitet med värden kring 1×10^{-7} och 1×10^{-6} m/s. Berget som utgör höjdområdet mellan Stora- och Lilla svackan består huvudsakligen av kompetent metavulkanit där konduktiviteten uppskattats ligga mellan 5×10^{-8} och 1×10^{-7} m/s. Höjdområdet genomkorsas av enstaka, mindre svaghetszoner som uppskattas ha något högre konduktivitet. Bergmassan vid Lilla svackan har en mycket komplex geologi med flera svaghetszoner med olika orienteringar och områden med omvandlad bergmassa vilket påverkar dess hydrauliska egenskaper. Konduktiviteten vid Lilla svackan uppskattas vara högre än omkringsliggande höjdområden med värden kring 1×10^{-7} och 1×10^{-6} m/s.



Figur 1. Utdrag ur samordningsmodell över Delområde 1, Masmö, med betongtunnelstap här redovisad med öppet schakt på mitten.

4.2 Delområde 2, Flottsbro

Delområde Flottsbro karakteriseras av dalgången genom Glömsta med omkringliggande skogsklädda bergiga höjder och glesare hållområden. Den lägsta topografiska nivån ligger på ca +24 m i dalgången och den högsta på +80 m på höjdryggen söder om dalen.

Bergmassan längs Västra Glömstadalens till Flemingsberg och väg 226 består huvudsakligen av sedimentgnejs, och underordnat av gnejsgranit, metavulkanit och metabasit som förekommer i form av stråk och gångar. Mindre inslag av grovkornig pegmatit förekommer även längs sträckan. Den dominerande sedimentgnejsen är vanligen grå- till rosaaktig, granatförande, generellt bandad eller ådrig till strukturen och ställvis migmatitiserad. Vittringen på håll- och spricktytor är ytlig till måttlig och sedimentgnejsen är oftast storblockig. Ett större stråk av gnejsgranit påträffas i sydöst, från dalsänkan vid Lovisebergsvägen och vidare längs tunnelförskärningen i öst. Gnejsgraniten har generellt högre andel kiselrika mineral (kvarts och fältspater) och lägre glimmerhalt jämfört med omgivande sedimentgnejs. Ett ca 100 m brett stråk av metavulkanit tvärs området i sydväst-nordöstlig riktning i läge för Glömstatunnelns västra påslag.

Den storskaliga strukturgeologin i delområde Flottsbro kan beskrivas av dalgången i Glömsta som sträcker sig i riktning NV-SÖ, och i förlängningen ansluter till sjön Ormlången i Flemingsberg. Därtill förekommer flertalet mot dalgången tvärande lineament i riktning NÖ-SV, där sänkan vid Lovisebergsvägen är mest betydande och gör ett tydligt hugg i omgivande berghöjder. Den plastiska deformationen förefaller liksom i Masmö definierad av ett veckben med ihållande östvästlig strykning men med oklar lutning på veckaxeln.

Tvärförbindelsen passerar i tunnel genom berghöjder söder om Glömstadalens. Tunneln påverkas dels av längsgående svaghetszoner som är parallella med Glömstadalens utbredning, dels av flertalet, mot tunnellinjen, tvärande zoner mot NÖ-SV. Glömstatunneln har generellt en bergtäckning på 20–40 m på respektive sida om sänkan vid Lovisebergsvägen, medan den i det området minskar till så lite som 2–5 m på en sträcka av uppemot 50 m.

Bergmassans kvalitet varierar längs delområdet och dålig kvalitet kan typiskt förväntas vid större svaghetszoner medan bättre kvalitet förväntas vid större sammanhängande hållområden. Dålig bergkvalitet inom delområdet finns vid det låglänta området i anslutning till Lovisebergsvägen, såväl som i förskärning och tunnelpåslag i väst. Invid svaghetszonerna kring Lovisebergsvägen ligger bergytan lågt i terrängen och en generellt uppsprucken bergmassa med låg hållfasthet är här att förvänta, vilket får konsekvenser för bergtäckning och bärighet ovan tunnel. Svaghetszoner med ogynnsam orientering, det vill säga långsgående med tunnelriktningen, förväntas särskilt förekomma i bergmassan väster om det östra påslaget.

Inom delområde Flottsbro uppskattas bergmassans hydrauliska konduktivitet variera mellan 1×10^{-8} m/s och 1×10^{-6} m/s. Den kompetenta bergmassan som befinner sig inom det skogsklädda, delvis hålltäckta området, sydöst om Häggstavägen och nordväst om Lovisebergssvackan, uppskattas ha en konduktivitet som varierar mellan 1×10^{-8} m/s och 1×10^{-7} m/s. Området genomkorsas av ett fåtal svaghetszoner som uppskattas ha något högre konduktivitet, mellan 1×10^{-7} m/s och 1×10^{-6} m/s. Bergmassan vid Lovisebergspassagen uppvisar generellt sett en sämre bergkvalitet än omgivningen med konduktiviteter som har uppskattats variera mellan 1×10^{-7} m/s och 1×10^{-6} m/s, med undantag för några mindre höjdområden med lägre konduktivitet. Det stora höjdområdet öster om Lovisebergssvackan är huvudsakligen kompetent och uppskattas ha en konduktivitet mellan 5×10^{-8} m/s och 1×10^{-7} m/s. Höjdområdet genomkorsas även här av ett fåtal svaghetszoner som förväntas ha något högre konduktivitet. Variation i konduktiviteten inom den kompetenta bergmassan beror främst på bergartsfördelningen där gnejsgranit förväntas vara något mer genomsläpplig än sedimentgnejsen, se vidare i *Redogörelse för ämnesområdesmodell, Bergteknik, Förutsättningar*.



Figur 2. Utdrag ur samordningsmodell över Delområde 2, Flottsbro.

4.3 Delområde 5, Flemingsbergsskogen

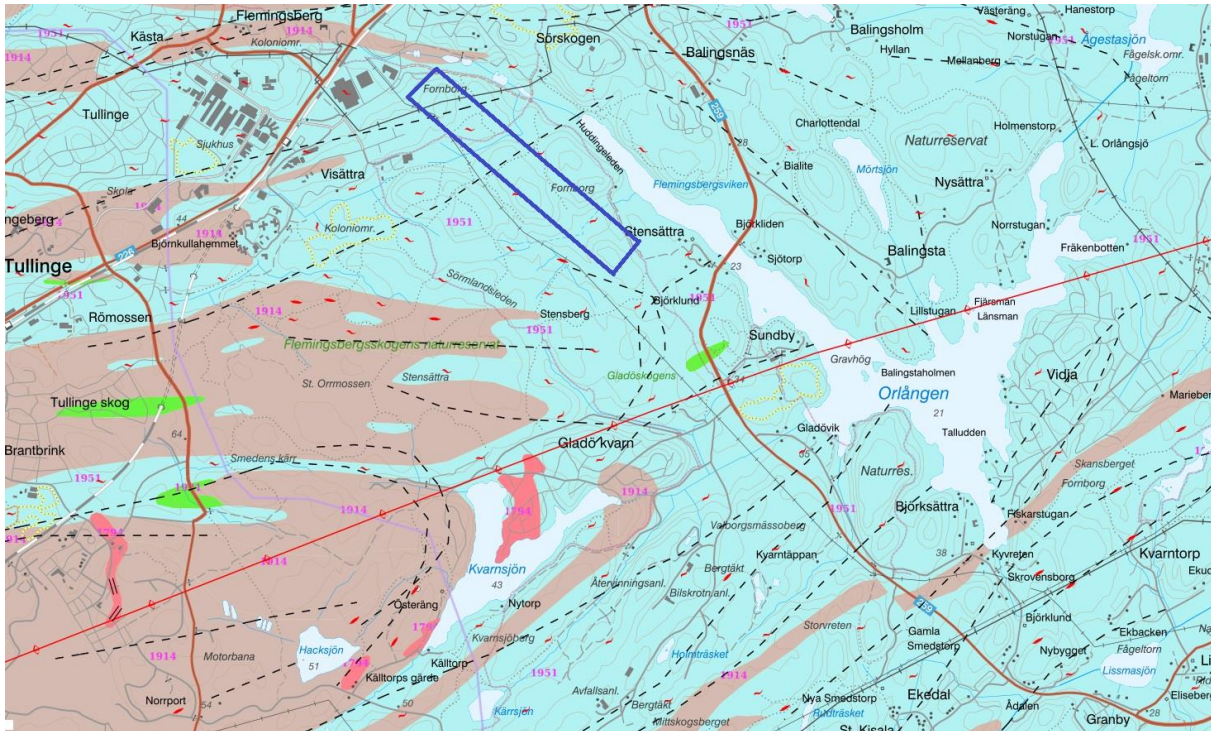
Delområde Flemingsbergsskogen karaktäriseras av stora skogstäckta ytor med mindre dalar och bergiga höjder och hållområden. Den lägsta topografiska nivån ligger på ca +25 m och den högsta på +73 m. Det skogstäckta området genomkorsas av ett ca 350 meter brett stråk av åkermark norr om Stensättra. Bergtäckning ovan Flemingsbergstunneln överstiger 50 m längs en sträcka norr om

åkermarksområdet innan Stensättra, medan den vanligen uppgår till 15–40 m överlag. Enbart vid sänkan söder om Visättra understiger bergtäckningen 10 m längs ca 60 m sträcka.

Bergmassan i Flemingsbergsskogen består huvudsakligen av sedimentgnejs med underordnad förekomst av basit och granit. Sedimentgnejsen är vanligtvis grå till färgen och har ibland inslag av rosa toner. Gnejsen är ofta granatförande och ojämnkornig med en kornstorlek som varierar mellan medel och grov. Bergartens struktur varierar inom området mellan otydlig, folierad och ådrig. Vittringen på håll- och spricktor är ytlig och bergarten uppträder oftast som storblockig. En tendens till sprickbildning längs med foliationsplanen har observerats. Sedimentgnejsen är lokalt mycket rik på pegmatitgångar och har då karterats som pegmatitrik gnejs eller gnejs med inslag av pegmatit. Basit har observerats vid ett fåtal hållar och förekommer både som mafiska stråk i sedimentgnejsen och som större avgränsade områden där flera hållar ingår. Basiten är svart till mörkgrå, medel- till grovkornig och har en massiv struktur. Endast en mycket liten andel granit har observerats i fält inom delområdet vid Visättra samt i liten omfattning i flertalet borrhälsar. Graniten är ljusgrå till ljusrosa samt medelkornig.

Den storskaliga strukturgeologins komplexitet i delområde Flemingsbergsskogen kommer av att både regionala och lokala lineament korsar varandra längs den planerade tunnelsträckan. Strukturgeologin i den norra delen av området karaktäriseras av lineament som stryker främst NÖ-SV men även med några mindre tydliga lineament som stryker NNV-SSÖ, parallellt med sjön Orången. Småskaliga strukturer som identifierats vid fältarbete, t ex mindre svackor eller hållar orienterade i terrängen, uppvisar liknande strukturriktningar. Området genomkorsas i sina centrala delar av ett tydligt lineament som följer stråket av åkermark i ÖNÖ-VSV riktning. Söderut förekommer ett flertal lineament som stryker NNV-SSÖ, parallellt eller semi-parallellt med sjön Orången.

Det veckben som kännetecknar den plastiska deformationen i Masmo och Flottsbro böjer av i en förmodad veckomböjning i läget för Flemingsbergstunneln med ytterligare inslag av en foliationsriktning som stryker NV-SÖ utöver den östvästliga. Veckaxelns lutning är oklar.



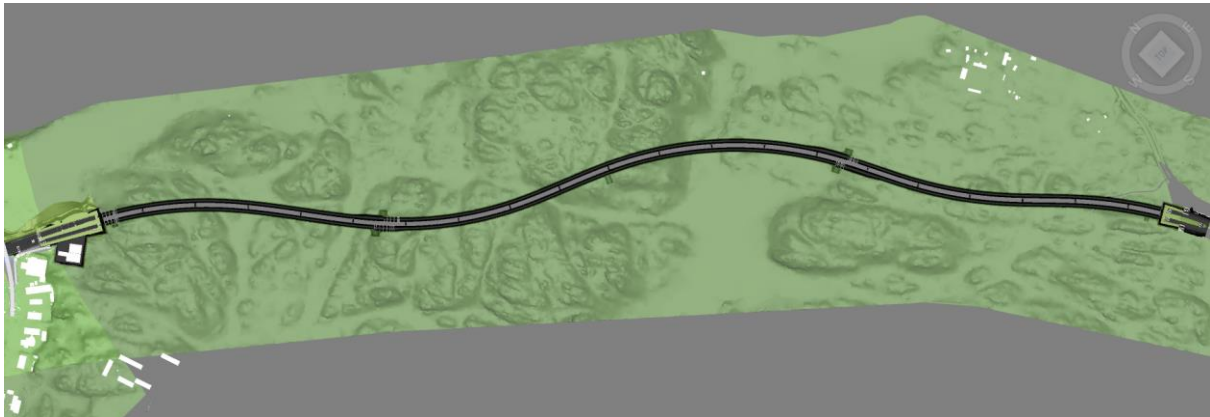
Figur 3. Utdrag ur SGUs kartvisare, Berggrund 1:50000 - 1:250000. Blå rektangel visar Flemingsbergstunnelns ungefärliga utbredning.

Tvärförbindelse Södertörn passerar i tunnel under Flemingsbergsskogen från Flemingsbergs återvinningscentral i norr och vidare mot sydöst för att mynna i anslutning till befintlig väg 259 strax före Gladö kvarn. Från Flemingsberg till Stensättra förväntas frekvensen av svaghetszoner som tvärrar tunneln vara hög men från Stensättra och vidare mot sydöst förväntas tunneln framförallt påverkas av ögynnsamma längsgående svaghetszoner subparallella med Ornlången.

Bergmassans kvalitet varierar längs delsträckan och dålig kvalitet kan typiskt förväntas vid större svaghetszoner medan bättre kvalitet förväntas vid större sammanhängande hållområden. Sämre bergkvalitet har identifierats vid lågterrängområdet från Visättra bostadsområde och sportcenter och vidare mot ÖNÖ samt vid åkermarken väster om Stensättra. Bergkvaliteten från Stensättra till Gladö kvarn förväntas påverkad av växlande förekomst av svaghetszon parallell med tunneln. Hur mycket tunneln påverkas av dessa zoner är svårbedömt beroende på om längsgående svaghetszoner stryker helt i linje med tunneln eller ligger strax sidan om.

Inom delområde Flemingsbergsskogen uppskattas bergmassans hydrauliska konduktivitet variera mellan 5×10^{-9} m/s och 5×10^{-6} m/s. Berget inom den första delen av det skogsklädda hållområdet söder om återvinningscentralen uppskattas i huvudsak ha en konduktivitet som varierar mellan 1×10^{-8} m/s och 5×10^{-8} m/s, men som genomkorsas av ett fåtal svaghetszoner med något högre konduktivitet. Det höga hållområdet följs av ett lågterrängområde som uppvisar en komplex strukturgeologi med svaghetszoner med olika orientering. Bergmassan inom detta område uppskattas ha en konduktivitet som varierar från 5×10^{-8} m/s till 5×10^{-6} m/s beroende på svaghetszoners karaktär. Ytterligare ett kritiskt område med förväntade svaghetszoner och höga konduktiviteter förekommer längs med Visättraån. Därefter följer ett större skogsklätt hållområde med bergmassa av huvudsakligen god kvalitet som uppskattas ha en lägre konduktivitet mellan 5×10^{-9} m/s och 5×10^{-8} m/s, men ett fåtal svaghetszoner med högre konduktiviteter genomkorsar även detta område. Lägre bergkvalitet har identifierats vid åkermarken i Stensättra och bergmassan förväntas generellt vara mer

genomsläpplig med konduktiviteter mellan 1×10^{-7} m/s och 1×10^{-6} m/s. Hällområdet inom de sydligaste delarna av delområdet uppvisar flera svaghetszoner som stryker mer eller mindre parallellt med tunneln vilket kan ge upphov till långa sträckor med förhöjd vattenföring i bergmassan.



Figur 4. Utdrag ur samordningsmodellen över Delområde 5, Flemingsbergsskogen.

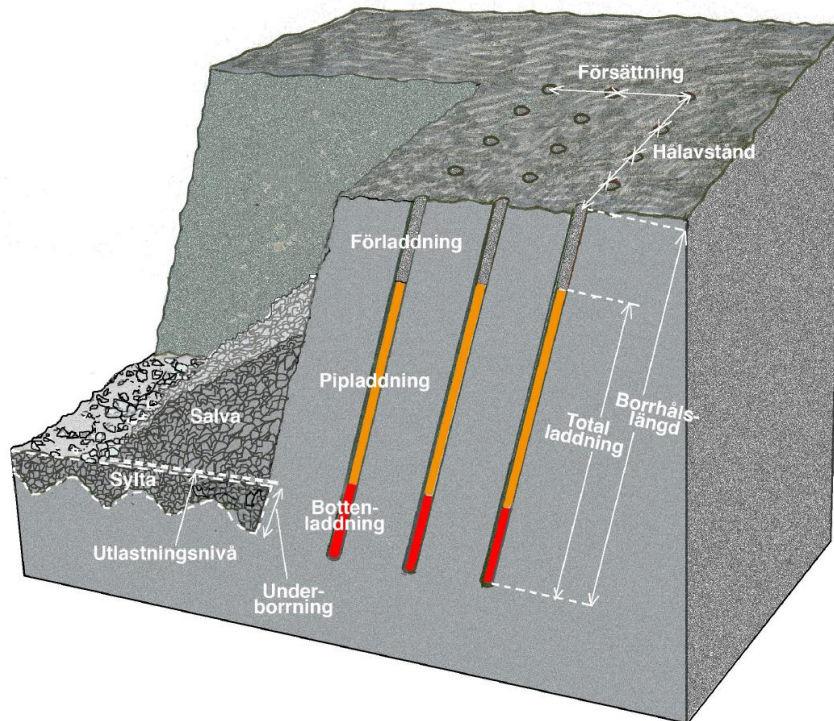
5 Bergentreprenadarbeten

Nedanstående principiella tekniker och utföranden skulle betraktas som konventionella för i projektet blivande berganläggningar och förordas som utgångspunkt för vidare projektering. Dessa tekniker och utföranden anses med få undantag kunna uppfylla alla systemkrav som förväntas ställas på blivande anläggningar.

5.1 Ovanjordssprängning

Med ovanjordssprängning eller öppen bergschakt menas här de bergschaktarbeten som syftar till att spränga fram vägskärningar och sidoytor utanför tunnel, dvs där planerad vägsträckning skär genom terrängen. Ovanjordssprängning sker normalt genom så kallad pallsprängning som kan definieras som sprängning av lodräta eller nästa lodräta hål mot en fri yta, men pallsprängning kan även ske med horisontella hål och kallas då liggarpall.

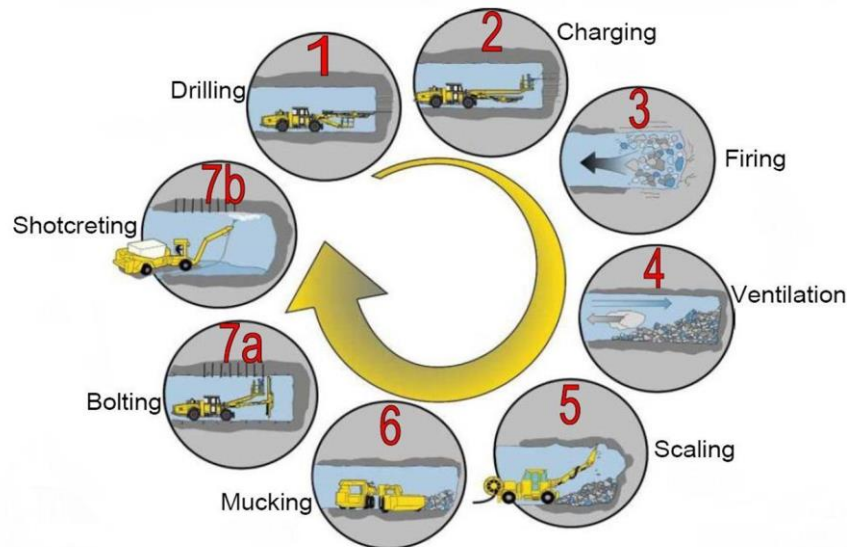
Bergguttaget kan göras med samtidig sprängning av hål i en eller flera rader och beroende på hur sprängningen utförs och vilka krav som ställs så kan pallsprängning definieras vidare som plansprängning, rörgravssprängning, kontursprängning och försiktig sprängning.



Figur 5. Princip för pallspängning i öppen schakt. Figuren är hämtad från Råd inför sprängning i bergtäkter, SBMI.

5.2 Tunneldrivningsprocess

En bergtunnel driva (produceras) i repeterande cykel som generellt inkluderar tätning med förinjektering, borrning för laddning, laddning av sprängmedel, sprängning av salva, utlastning, bergrensning (skrotning) och bergförstärkning. Stegen beskrivs i närmare detalj nedan.



Figur 6. Generaliserad tunneldrivningsprocess. Figurens källa är okänd. Notera att tätningen inte redovisas i cykeln och typiskt genomförs en gång på tre salvor. Svensk terminologi för 1-7b är; borrhning, laddning, sprängning, ventilation, bergrensning, utlastning, bultning och betongsprutning. Förstärkningsinsatserna 7a-7b kan likaväl göras i omvänd ordning.

Vid utsprängning av en bergtunnel bör all sprängning ske skonsamt med tanke på den kvarvarande bergmassans kvalitet, utförd tätningssats och tunnelkonturens goda form.

- o. Tätning med injektering utförs i syfte att säkra ovanförliggande grundvattenytas läge med avseende på en grundvattensänkningens jordsättningseffekt och miljöpåverkan samt för att minska vatteninläckaget i tunneln.

Injektering innebär att tätande medium, oftast en cementblandning, pumpas in i borrhål som kringgärdar tunneln med avsikt att sprida sig i bergmassans sprickor och tätas dessa. Injekteringen görs framför tunnelns front innan tunneln sprängs ut så att bergmassan tätas i förväg. I injekteringsdesignen ligger att definiera borrhålsgeometrin runt tunneln (skärmen), det tätande mediets (brukets) egenskaper samt tryck, tid och flödesmängd under pumpningsförloppet.

Vid förmodat stora inläckage kan det behövas kompletterande injekteringsinsatser med fler och tätare placerade borrhål och mer bruk eller med alternativa tätningsmedium.

1. Borrhning för sprängning sker även den efter en noggrann håldesign och utförs av fordonsburna borraragregat på en sk borrhög. Borrhögen har ofta två eller flera borraragregat som arbetar parallellt. Borrhålen för en sprängsalva som borraras in i tunnelns front är typiskt upp till 6 m långa och kan vara flera hundra till antalet beroende på tunnelns tvärsnitt.
2. Laddning av borrhål för salvsprängning görs från laddbil vid tunnelns front och sker utefter en förutbestämd plan. Mängden sprängämne fördelas via slang i olika koncentrationer i salvhålen beroende på tunnelns geometri och kvalitetskraven på den slutgiltiga ytan. Förutom laddning av sprängämnet så länkas också salvhålen med ett tändsystem som reglerar detonationsordningen för de enskilda hålen.

5. Efter sprängning och efter att rökgaserna har vädrats kan en enkel maskinell bergrensning göras inför utlastningen, men i huvudsak görs både maskinell och manuell rensning efter utlastning för att säkra arbetsmiljön för nedfallande block och för att förbereda tunnelytan för bergförstärkning.
6. Utlastning av sprängstensmassor görs med hjullastare och dumper eller lastbil. Massorna transporteras antingen till krossanläggning/deponi eller så återanvänds massorna på byggarbetsplatsen genom att de krossas och sorteras på plats.
7. Efter utlastning och fullbordad rensning av bergytor förstärks tunnelkonturen i normalfallet med bergbult och sprutbetong, men liksom att injektering (o) görs för ett flertal salvlängder åt gången så görs också bergförstärkningen framförallt i kampanjer vars längd beror på bergmassans kvalitet och risken för blocknedfall. Bergbult kan endera säkra enskilda block mot nedfall eller armera upp hela bergmassan runt tunnelrummet.

Nu förstärks också bergmassan mer permanent genom antingen selektiv bultning, som tillämpas vid goda bergförhållanden, eller systembultning som blir aktuellt om bergmassan är sprickrik. Bergbultning kan kompletteras med betongsprutning i syfte att binda ihop bergytan och därmed skapa ett starkare skalskydd. Driftförstärkning är en metod som blir aktuell vid akuta stabilitetsåtgärder för att säkra den fortsatta tunneldriften och arbetsmiljön för dem som arbetar.

5.3 Bergförstärkning

Sprängda bergtunnlar förstärks normalt med en kombination av bergbult och sprutbetong där bult vanligen utgörs av kamstål som gjuts in i bergmassan med cement och där sprutbetongen är endera lösarmerad med nät eller fiberarmerad med stålfiber.

Bergförstärkning kan vara temporär eller permanent. Temporär förstärkning installeras/appliceras för att tillfälligtvis förstärka ett känsligt tunnelavsnitt i väntan på permanent förstärkning eller rent av för att förstärka en bergmassa före bergschakt. Den permanenta förstärkningen är anläggningens slutgiltiga förstärkning som till skillnad från den temporära förstärkningen ska förse anläggningen med långsiktig stabilitet, typiskt 60–120 år. Permanent förstärkning får inte skadas av bergschaktarbeten.

Bergförstärkningen ska antingen säkra enskilda block från att falla ut eller så ska den armera upp en större bergmassa för att t ex säkerställa tunneltakets valvbildande egenskaper och beroende på detta syfte används bergbult, sprutbetong eller kombinationen av båda dessa förstärkningselement.

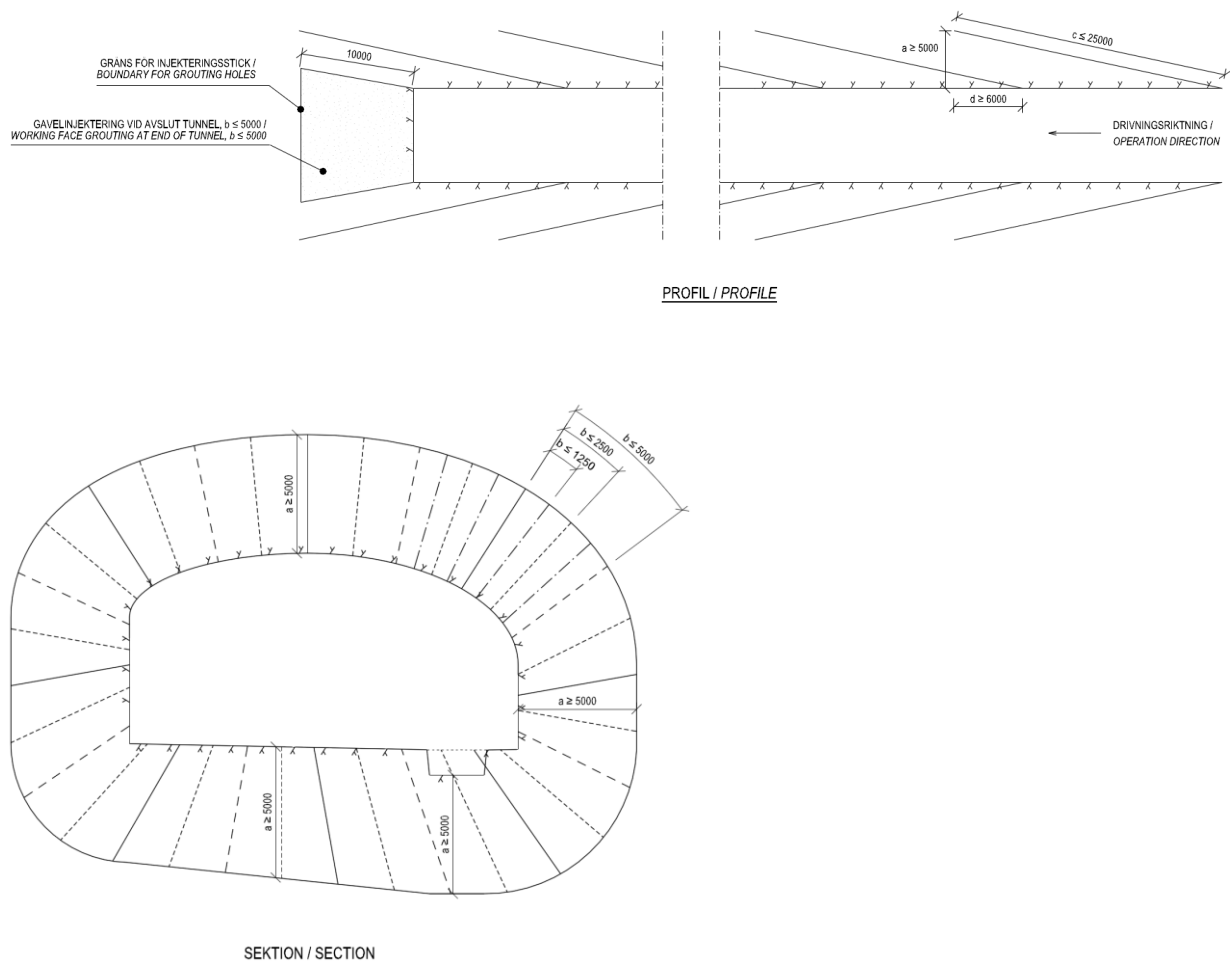
Med vidare hänsyn till bergmassans kvalitet, tunnelgeometri och bergtäckningen ovan tunnel dimensioneras förstärkningspaket, sk typförstärkning, med kombinationer av bulttäthet och -längd samt olika sprutbetongtjocklekar. I fall av extrema förhållanden som designen för normal typförstärkning inte inrymmer utformas specialförstärkningar som kan innehålla inslag av borrade stålrör istället för bult samt stålbågar eller gjuten betonglining.

5.4 Tätning av berg

Tätning av bergmassan kring en berganläggning utförs för att motverka grundvatteninläckage i anläggningen med sänkning av grundvattenytan som effekt. Sekundärt syftar också tätningen till att upprätthålla god komfort för trafik och installationer genom att reducera dropp och isbildning i anläggningen.

Utformningen av tätningsförfarande baseras på geologiska och hydrologiska förhållanden i relation till anläggningens täthetskrav och omgivningens miljökrav.

Vanligtvis utförs kontinuerlig förinjektering i bergtunnlar, vilket innebär att tunnelgeometrin successivt kringgärdas av en zon med tät bergmassa närmast tunnelkonturen. Bergmassan tätas genom att hål borrar längs och strax utanför tunnelkonturen i vilka sedan tätningsmedel pumpas in för att fylla de sprickor som omger och kommer att mynna i tunnelkonturen. Med förinjektering menas att tätningsmedlet injekteras från tunnelns framkant (gavel) innan vidare bergmassa sprängs ut. Borrhålsgeometrin eller skärmgeometrin anger hur borrhålen placeras runt tunneln i överlappande koner.



Figur 7. Schematisk profil och sektion av en typisk skärmgeometris utseende samt skärmarnas inbördes placering. Ritning från projekt Förbifart Stockholm, 000B2A01.

Normalt används cementbaserade vattenlösningar som tätningsmedel men vid tätning av små sprickor eller vid strängare tätningskrav kan kemikalier användas. Tillsammans med egenskaper för tätningsmedel och själva det sekventiella utförandet med bestämda tryck och flödesmängder utgör skärmgeometrin tätningsdesignen i sin helhet.

Förutom tätning av tunnel och bergrum skulle också tätning av bergskärningars botten (botteninjektering) och sidoslänter (ridåinjektering) kunna bli aktuell, liksom kontakten mellan berg och betongkonstruktion (kontaktingjektering), men dessa typer av tätning har inte förutsatts i systemhandlingsskedet.

6 Berganläggningars utformning

6.1 Bergtunnel

6.1.1 Vägtunnel

En vägtunnel bör förutom att vara trafik- och driftsäker också vara utrymningssäker i händelse av olycka, samt rationell och kostnadseffektiv att bygga och underhålla.

Vägtunneln ska utöver trafikutrymmet inrymma underliggande vägkropp samt installationer och funktioner för elförsörjning, belysning, trafikstyrning, ventilation, brandsläckning, avvattnings- och utrymning. Installationer är förlagda inom trafikutrymmet såväl som i installationskulvert och separata sidoutrymmen.

Adderad till trafikutrymmet i Tvärförbindelse Södertörn är en längsgående installationskulvert och servicefickor för arbetsfordon i anslutning till eldriftutrymmen och undantagsvis för pumpstation. Installationskulverten är avskärmd från trafikutrymmet men ligger inom samma tunnelrum medan servicefickor ligger fritt anslutna till trafikutrymmet. Som separata sidoutrymmen men med påverkan på vägtunnels geometri ligger teknikutrymmen som eldriftutrymmen, pumpstationer för dag- och släckvatten samt utrymningsvägar.

Vid utformning av vägtunnel, och i synnerhet dess normalsektion, har projekt Förbifart Stockholm använts som förlaga.

Entydiga regler som beskriver proportionerna för en bergmekaniskt stabil bergtunnelsektion saknas. Utformningen av tunnelsektion inklusive villkor för mynningslägen och mittpelarbredd görs därför utifrån erfarenheter och praxis för takets välvning i relation till tunnelbredd, bergkvalitet (bergmassans blockstorlek) och bergtäckning (överlagrande berghöjd) samt objektspecifik struktur- och topografianalys. Tunnelsektionens proportioner och geometri ska säkerställa att bergmassan tillsammans med föreskriven bergförstärkning bildar det bärande huvudsystem som upprätthåller tunnelstabiliteten under anläggningens livslängd samtidigt som totalvolymen bergschakt minimeras.

För systemhandlingsprojekteringen av Tvärförbindelse Södertörns bergtunnlar har i möjligaste mån följande mått och proportioner tillämpas ur ett bergmekaniskt hänseende som utgångspunkt för utformningen:

- Vid tunnelpåslag (försärkningsfrontens släntrörelse) ska minsta bergtäckning ovan tunnel vara 10 m för tunnelbredd (enskilt tunnelrör) som överstiger 15 m, respektive 8 m för tunnelbredd mindre än 15 m. Kravet gäller under förutsättning att bergmassans värde för $Q_{bas} > 10$.
- Minimum mittpelarbredd för tunnelpåslag är 8 m för tunnelbredd > 10 m. Pelarnas mellan tunnelrör vid bergtunnelmykning mot försärkning ska ha full mittpelarbredd, med undantag på utrymme för inlägsvalv som tar upp till 1 m i anspråk av mittpelaren per tunnelrör.
- Minimum mittpelarbredd för pelarnas mellan huvud- och ramptunnel är 5 m.
- Proportionen $\geq 1:2$ (konjugataxel: transversalaxel) för ett elliptiskt tak i normalsektion förutsatt bergkvalitet $Q_{bas} > 1$. Detta förhållande uttrycks enklare som att pilhöjden: tunnelbredden är $\geq 1:4$ med en elliptiskt takform.

Dessa förutsättningar har sedan optimerats med hänsyn till krav och önskemål från andra teknikområden, varför krav listade i kapitel 2.3 ska ses som en vidareutveckling av förutsättningarna noterade ovan.

I projektets tre bergtunnlar; Masmotunneln i delområde 1 (ca 750 m, varav ca 110 m är betongtunnel), Glömstatunneln i delområde 2 (ca 1130 m) och Flemingsbergstunneln i delområde 5 (ca 3080 m) har körfälten i huvudtunnel bredden 3,5 m med vägrenar på respektive 1,0 m på högfartssidan och 2,0 m på lågfartssidan. Fri höjd i trafikutrymmet är 4,8 m och minsta hinderfria höjd i vägbanekant är 4,0 m. I normalsektion för bergtunnel har ett maximalt tvärfall på 4,0% för två och tre körfält samt 5,5% för ett körfält i ramptunnlar förutsatts.

Bergtunnlar är i sin helhet 18,0, 14,2 och 11,2 m breda för respektive 3, 2 och 1 körfält. Bergpelaren mellan huvudtunnlar (mittpelaren) är i måttkedja för totalsektion, tunnelrör-mittpelare-tunnelrör, generellt 12,0 m bred inklusive säkerhetsmarginal, där en minsta bredd på 11 m är kravställd och även eftersträvas som minimum mellan huvud- och ramptunnel i Masmotunneln med undantag för den utspetsning av mittpelaren som sker där två tunnlar konvergerar, se kapitel 2.3.2 *Pelarnosbredd bergtunnelförgrening*. Bergpelares ände (pelarnosen) ska vara minst 5 m bred.

Bergtunnelprojekterings förutsättningar och metodik behandlas i sin helhet i respektive *Besluts-PM Normalsektion bergtunnel* och i *Redogörelse för ämnesområdesmodell, Bergteknik, Anläggning*. Normalsektion för bergtunnel redovisas för övrigt i sektionsritningar 000B0401-03.

6.1.2 Teknikutrymmen

Teknikområdesspecifika bergrum (teknikutrymmen) vid sidan av vägtunnel har där tillämpligt utformats med samma bergtekniska förutsättningar vad avser proportioner och geometrier som för vägtunnlar. Teknikutrymmen har vidare placerats utmed vägtunnel med primär hänsyn till deras funktion men också med hänsyn till bergtekniska förutsättningar som bergtäckning och bergkvalitet.

Utrymmena ska innehålla konstruktioner, installationer och ledningar för framförallt elförsörjning och läns pumpning. Teknikutrymmena är sålunda av två typer; eldriftutrymmen (ELDU) och pumpstationer (PS).

ELDU är mestadels placerade i motstående positioner i vardera huvudtunnelrör, möjligen med en mindre förskjutning i längdled med hänsyn till åtföljande placering av tillhörande serviceficka samt intilliggande utrymningsväg i tvärtunnel. I Masmo- och Glömstatunneln finns vardera ett par ELDU medan den längre Flemingsbergstunneln har två par ELDU pga att driftområden och därmed elförsörjningen sträcker sig 750 m i tunnelrörets båda riktningar från ELDU. Dessa teknikutrymmen är typiskt 24 x 18 m i plan och något högre än intilliggande vägtunnels hjässa.

PS förekommer i två alternativa utformningar; för vägtunnels lågpunkt eller strax innanför tunnelmynning. PS i vägtunnels lågpunkt är den större med en aktuell planutbredning på 22 x 18 m medan den mindre anläggningen typiskt placerad 20–50 m innanför vägtunnels mynning generellt är 12 x 12 m i plan. PS är placerade i ett av tunnelrören och inte parvis som ELDU, och vilket huvudtunnelrör PS placeras i beror primärt på skillnaden i tunnelrörens profilläge. Samtliga PS är djupare än intilliggande vägtunnel, så i synnerhet den större pumpstationen i tunnels lågpunkt, och ligger också lägre i tak än vägtunnels hjässa. I Flemingsbergstunneln har PS i vägtunnels lågpunkt som enda PS i projektet tilldelats en serviceficka, men hur serviceficka ansluter till teknikutrymmet är inte klarlagt inom systemhandlingsprojekteringen.

Parallellt med systemhandlingsprojekteringen har ett Konstruktionsstyrande underlag (KSU) tagits fram med en mer detaljerad utformning av konstruktioner och installationer för bl a bergtunnel. Ingen generell hänsyn har tagits till resultatet från detta arbete i Systemhandlingen men (ortoprojicerade) markanspråk för teknikutrymmen har anpassats till största planutbredningen för

dessas utrymmen från endera KSU eller systemhandlingsprojektering för att säkra markanspråket i Vägplanen.

6.1.3 Utrymningsväg

Utrymningsvägar (UV) är generellt placerade i tvärtunnel i mittpelaren mellan huvudtunnlar. Dessa UV har en längd motsvarande bergpelarens bredd, 12,0 m, med bredden och likaså maxhöjden 4,0 m. UV i mittpelare är placerade med en frekvens på upp till 150 m längs huvudtunnlar med undantag för UV närmast tunnelmynning där ett avstånd på 200 m till tunnelmynning tillåts.

UV ska medge personutrymning från ett tunnelrör till ett annat och vidare ut ur anläggningen i fall av olycka eller brand, men UV i tvärtunnel tjänar också som utrymme för BBS-centraler som försörjer vägtunnlar med vatten för brandbekämpning som distribueras med sprinklersystem i trafikutrymmet.

I Masmotunneln har en särskild UV modellerats från påfartsramptunneln till närmaste UV i mittpelare mellan huvudtunnlar pga att utrymningen från påfartsramptunneln ut i dagen annars skulle bli för lång. Se vidare i kapitel 7.2.2.1.2 *Masmotunneln*.

6.1.4 Inklädnad för bergtunnel

Enligt *Krav Tunnelbyggande* får punktinläckage av vatten med hänsyn till en bergtunnels funktion, säkerhet och eftersträvad tunnelmiljö inte vara större än 0,05 ml/min (1 droppe/min) i trafikutrymmets tak och vägg. Andra krav gäller i sidoutrymmen med undantag för känslig utrustning.

Inläckande vatten utöver vad som noterats ovan ska förhindras eller uppsamlas och bortledas. Uppsamling sker typiskt genom installation av vatten- och frostsäkring, s.k. tunnelinklädnad.

I *Besluts-PM LCC Tunnelinklädnad*, har livscykelkostnaderna för olika tunnelinklädnadssystem utretts med utgångspunkt från konceptuella förslag från andra vägtunnelprojekt. Tre alternativ av tunnelinklädnadssystem för vattenavledning har varit aktuella, vilka beskrivs översiktligt i BeFo-rapport 131, *LCC analyser för vattenavlednings- och bergförstärkningssystem*, som system 1, 2 och 4. De tre systemen är drän, duk och dränerad lining för vilka mer precisa förslag har tillhandahållits av Trafikverket som kompletterats med ytterligare specifikationer under arbetets gång.

LCC-resultatet har visat att inklädnadssystemen skiljer sig åt med 16% mellan alternativen med högst och lägst LCC-kostnad, med kostnader för investering, underhåll och reinvestering inkluderade. Om klimatpåverkan och samhällsekonomiska kostnader inkluderas är skillnaden bara 6%, vilket är en liten skillnad med hänsyn till den osäkerhet som finns i analysens antaganden.

Efter beslut från Trafikverket grundat på uppskattad livscykelkostnad för olika inklädnadsalternativ blir alternativ duk en projekteringsförutsättning för framtida detaljprojektering.

Inklädnadssystem med duk är ett i sektion heltäckande system att likna vid ett inre valv som är upphängt i, men fristående från, bakomliggande utvändigt tunnelkontur. Inklädnaden fångar upp samtliga inläckage från förstärkt bergkontur ovan vägbanan och leder ner dem till väggkroppens dränering. Detta inre valv består av duken, en tunn textil i plast eller gummi, som typiskt styvas upp med ett fint armeringsnät och hängs upp och formas med riklig infästningsbult förankrad i bakomliggande bergmassa. Konstruktionens sida mot trafikutrymmet täcks med stålfiberarmerad- och brandskyddande sprutbetong och valvkonstruktionen får därmed en uppskattad tjocklek på upp till 150 mm.

Bakom innervalvet lämnas en spalt på 500 mm mellan duk och förstärkt bergkontur och denna distans upprätthålls genom tätt förekommande infästningsbult och uppspänd vajer.

Inklädnadssystemet med tunnelduk har en sammanlagd tjocklek av 500 mm spalt och 150 mm valvkonstruktion, men med hänsyn till att valvkonstruktionen i vägg förmodas ersättas av kulvertväggen till installationskulvert respektive motstående betongvägg på tunnels högfartssida med tjocklekar på 200 mm enligt förlaga från Förbifart Stockholm (ritning 000To401), kommer det styrande måttet för inklädnadssystemet i normalsektion att bli 700 mm.

Utöver ovanstående specifikationer har ingen vidare utformning av inklädnadssystemet utförts i Systemhandlingen. Frågan om inklädnadssystemets lastupptagande förmåga för denna förmodat slanka konstruktion, formulerat som extrem blocklast enligt *Krav tunnelbyggande*, kvarstår att hantera av Trafikverket.

6.2 Bergslänt

6.2.1 Allmänt

Bergslänt i vägskärning såväl som i förskärning till tunnel utformas i möjligaste mån med hänsyn till långsiktig stabilitet och enkelt underhåll. Rådande väg-geometrier och terräng som avgör skärningars slänthöjd och -längd begränsar frihetsgraderna för den bergtekniska släntutformningen och för förskärning till tunnel dikteras slänthöjder också av kravet på bergtäckning ovan tunnelmynning vilket ger förskärningarna projektets högsta slänter.

Inledningsvis har alla bergslänter högre än 5 m utvärderats med hänsyn till deras geologiska förutsättningar för stabilitet och underhållsminimering genom att det lokala spricksystemets egenskaper och geometriska samverkan med bergslänts utsträckning har kontrollerats med kilanalys, dvs kontrollerats med avseende på vilka blockgeometrier och kilutfall som möjliggörs av bergmassans sprickor. Kilanalysen har utmynnat i rekommendationer för enskilda bergslänters lutning med 3:1 som regel, 5:1 i ett fåtal fall och undantagsvis 1:1.

Bergslänter lägre än 5 m har tilldelats släntlutning 3:1 utan förgående kilanalys av den anledning att skillnaden i markanspråk mellan 3:1 och 5:1 för så låga slänter är mindre än 1 m vilket mer än väl vägs upp av den ökade stabilitet som släntlutning 3:1 medger.

Flack slänt ökar i jämförelse med brant slänt den markyta som tas i anspråk av vägrätten och som då blir undantagen för framtida exploatering alternativt reducerar förekomsten av befintliga natur- och kulturvärden. Önskad släntstabilitet samt kostnadsoptimering av bergförstärkning och underhållsinsatser ställs därför i relation till befintliga och framtida markvärden.

Efterhand som Bergmodellen har förfinats och som trafikplatser, GC-väg och generell vägsträckning har justerats har inte förändrade eller tillkommande vägslänter kontinuerligt utvärderats enligt ovan, men alla nya slänter har tilldelats lutningen 3:1 vilket i normalfallet är den mest konservativa bergsläntlutningen ur ett stabilitetsperspektiv som projektet tillåter sig. Den inledande utvärderingen inkluderade för övrigt samtliga förskärningar till tunnel vars släntlutning i några fall var kritisk med hänsyn till dess stora inverkan på markanspråket i högt värderade naturområden. Slänter som tillkommit därefter har saknat liknande konflikter med naturvärden.

Projekt Tvärförbindelse Södertörn har valt att normalisera bergsläntlutning 3:1, vilken i jämförelse med andra samtida och framförallt äldre vägprojekt inte är en självklarhet. Historiskt sett har generellt brantare släntlutningar som 5:1 och rent av 10:1 valts vilket i allmänhet skapar mindre stabila och mer underhållskrävande slänter. Fördelen med branta slänter är att de genom sin geometri minskar väganläggningens markanspråk, men det är värt att notera att det möjligen kan finnas en korrelation mellan släntlutning och sprängresultat där branta slänter förmodas mer sprängskadade och därmed mer benägna att kräva ett oväntat utökat markanspråk. I fall där en bergslänt placeras i svag

bergmassa kan i synnerhet en brant slänt förväntas svår att uppnå med avsedd geometri, och detta är anledningen till vald bergsläntlutning på 1:1 för en del av Masmotunnelns södra förskärning.

Bergslänters utformning har krävställt, se kapitel 2.3.5 *Släntgeometri för berg i vägskärning*, och förutom med släntlutning har slänters utformning specificerats med bl a krav på bredd för frilagd bergyta ovan släntkrön och med berghylla för pallborrning. Nedan tabelleras kraven från kapitel 2.3.5 *Släntgeometri för berg i vägskärning* som avses användas för detaljprojektering av bergslänt.

Berghyllan på 0,5 m bredd som förutsätts var 10:e höjdmeter bergslänt och som illustreras i modell som en smal, plan och längsgående avsats, har till syfte att ge plats för ny konturhålsborrning på varje pallnivå. Pallhöjd och delningsläge kommer i någon mån att bestämmas av entreprenör men med höga vägskärningar i berg måste palldelning förutsättas. När en pall är framschaktad kan av geometriska skäl inte konturhålsborrning fortsättas i samma linje som för första pallen utan den nya konturhålsraden måste förskjutas inåt schakten med ett mått som motsvarar borrar-maskinens matarbalk med tillhörande maskineri och kablage.

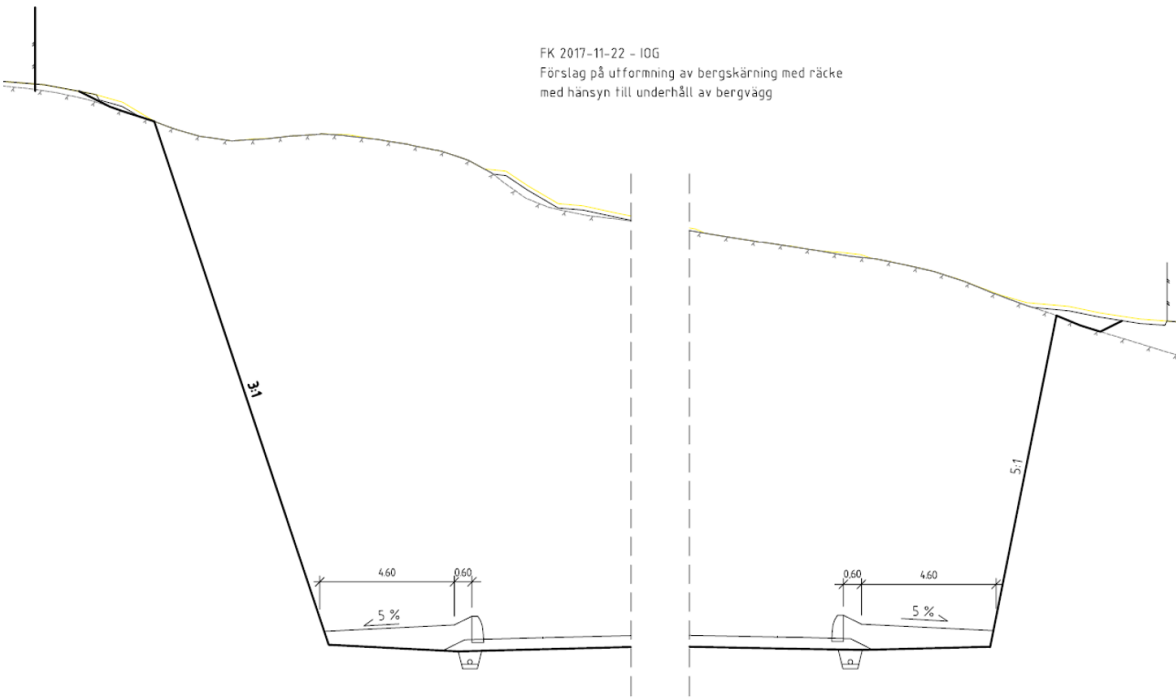
Bergnät används normalt i bergslänt för ytförstärkning av lös och småblockig bergmassa och vid risk för isbildning, vilket kompletterar konventionell bultförstärkning samt kontinuerlig besiktning och rensning av bergskärningar. För att av estetiska skäl minimera användningen av bergnät avses istället höga slänter intill motortrafikled (inte lokalväg och inte GC) kompenseras med ett utökat sidoutrymme mellan väggkant och slänthöjd, vilket ska förhindra att eventuella nedfallande bergblock når vägbanan.

Vid bergslänt högre än 10 m invid motortrafikled ska horisontalbredden mellan väggkant och bergslänthöjd vara minst 6 m. Där breddning sker för att tillgodose denna extra säkerhet mot nedfallande bergblock ska förändringen fasas in och ut genom att breddningen påbörjas 20 m före 10 m slänthöjd och därifrån ökar linjärt till 6 m bredd.

Samtliga förskärningar till tunnel förväntas påverkas av detta breddmått på 6 m, men därutöver kommer bara enstaka vägslänt att påverkas. Breddmålet 6 m tillämpas i förskärning på hela dess längd med bergslänt högre än 10 m oberoende av förekomsten av portal/rökgasskärm eller tråg närmast tunnelmynning.

1. För bergslänt i förskärning till bergtunnel, förskärnings front såväl som sidoslänter gäller följande släntutformning:

Område	Släntlutning	Undantag
Masmo N	5:1	
Bergslänter kring stora svackans betongtunnel	3:1	
Masmo S	3:1	På sträckan med förväntad dålig bergkvalitet nära tunnelmynningen gäller 1:1.
Glömsta V	3:1	
Glömsta Ö	3:1	

Flemingsberg V	3:1
Flemingsberg Ö	5:1
2. För ytväg ska bergslänt utformas med slänthlutning 3:1.	
3. TK Geo gäller avseende frilagd bergyta ovan släntkrön, dvs att en frilagd bergyta med bredd 1,5 m gäller för slänter lägre än 6 m och 3,0 m gäller för övriga slänthöjder.	
4. I Masmo S utförs serviceväg invid släntfot utmed hög sidoslänt (östra sidan) med bredd 5,2 m enligt principskiss från Trafikverket. Principskissen är en schablon och redovisar för övrigt inte gällande geometrier för Masmotunnelns södra förskärning. 	
5. För bergslänt högre än 10 m förutsätts en 0,5 m bred hylla utföras för varje 10 m vertikal slänthöjd.	
6. För bergslänt högre än 10 m invid motortrafikled ska horisontalbredden mellan väggkant och bergslänt vara minst 6 m. I övergång mellan sträckor med denna bredd och mindre bredd styrd av vägsektion ska förändringen fasas över linjärt genom att breddningen påbörjas 20 m före ≥ 10 m slänthöjd.	

Tabell 2. Översikt över utformning av bergslänt längs Tvärförbindelse Södertörn, såvida särskilt skäl för avvikelser inte finns. Med "ytväg" i punkt 2 ovan avses all väg utanför tunnel; motor-, lokal- och GC-väg.

6.2.2 Slänthöjder, markanspråk och Bergmodellen

Notera att bergslänters höjd uppskattas med utgångspunkt från planerad vägyta och Bergmodellen, där Bergmodellen är en ytmodell över observerad bergyta och förmodad bergyta under mark som grundar sig på fältarbeten och yrkesmässiga uppskattningar samt på modelleringsförenklingar. Osäkerhet i bergytans läge under mark och därmed osäkerhet i var relativt branta bergsläntlutningar (3.1-5:1) övergår i en flack jordsläntlutning (1:2) får stor inverkan på markanspråket.

Bergmodellen kommer att kompletteras med data från nya fältundersökningar under nästkommande projekteringsskede och därmed förfinas ytterligare. Om Bergmodellen ska genomgå övriga strategiska anpassningar med hänsyn till dess osäkerheter har varit en väsentlig fråga i vägplanearbetet, men inga generella förändringar har ännu skett från ursprunglig uppbyggnad förutom genom tillägget av kvalificerade stödpunkter.

Erfarenheter från ett flertal infrastrukturprojekt i Stockholmsområdet gör gällande att okontrollerade blockutfall i släntkrön vållar återkommande problem för arbetsområdes- och plangränser och att utfallen mestadels beror av oförutsägbart geologi och schaktutförande i samverkan, där trots rimliga försiktighetsåtgärder i schaktdesign och förförstärkning, utfallen inte kunnat undvikas.

Som en projekteringsförutsättning har därför särskilt beslutats att vägområdet invid bergslänter utökas enligt nedan:

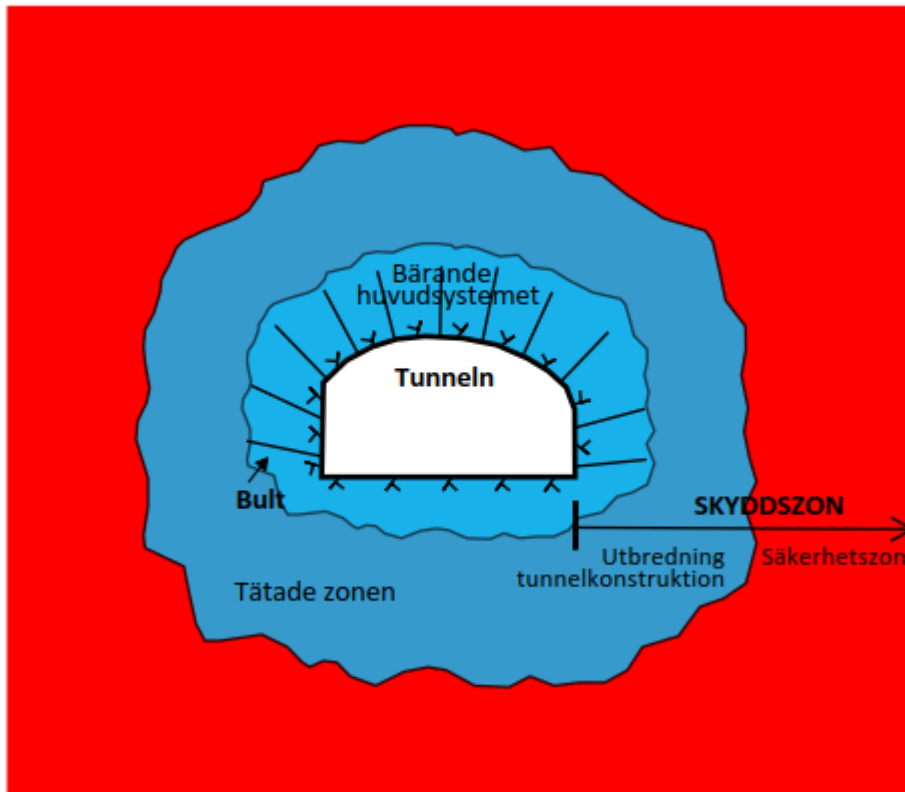
- För vägskärning inkluderande bergslänt med en höjd ≤ 10 m utökas det faktiska markanspråket motsvarande en breddning av frilagd yta ovan släntkrön med 2 m. Vägområdet ska därmed omfatta möjligheten att bergsläntkrön och samtliga här utanför liggande konstruktioner och landskapsanpassningar flyttat 2 m utåt från deras projekterade lägen.
- För vägskärning inkluderande bergslänt med en höjd > 10 m utökas det faktiska markanspråket motsvarande en breddning av frilagd yta ovan släntkrön med 5 m. Vägområdet ska därmed omfatta möjligheten att bergsläntkrön och samtliga här utanför liggande konstruktioner och landskapsanpassningar flyttat 5 m utåt från deras projekterade lägen.

Detta utökade vägområde som formaliseras i Vägplanen men inte har någon geometrisk motsvarighet i Systemhandlingens projektering ska inte förväxlas med kravet på frilagd yta ovan bergsläntkrön enligt *TK Geo*, vilket gäller (se tabell 2, punkt 3) och har projekterats som en del av typsektion väg och vägskärning i berg.

6.2.3 Skyddszon

En bergkonstruktion omges av en skyddszon för att skydda dess stabilitet, beständighet och eventuella täthet vid händelse av närliggande mark- och anläggningsarbeten. Skyddszonen är därmed en yttre gräns för anläggningsägarens formella rätt att ange restriktioner för annan part så att anläggningen skyddas.

Trafikverket har utrett hur en skyddszon lämpligen dimensioneras för att skydda berganläggningen och intilliggande bergmassa med inflytande på anläggningen när angränsande arbeten utförs av annan part. Tyréns har verifierat Trafikverkets antaganden i *Besluts-PM Skyddszon för bergtunnlar*, OP140007, vilken beskriver motiv och ingående komponenter i skyddszonen. Skyddszon har inrättats för både bergtunnel och bergslänt.



Figur 8. Principskiss över skyddszon runt en bergtunnel. Skyddszonen utgörs av utbredningen av tunnelkonstruktionen (blå) och en säkerhetszon utanför denna (röd). Skissen har hämtats från Trafikverkets FOI-projekt "Juridiska aspekter av skyddszoner runt tunnelanläggningar".

I Tvärförbindelse Södertörn har skyddszonen för bergtunnel utformats med ett rundat tvärsnitt i motsats till det fyrkantiga tvärsnittet i figuren ovan. Det rundade tvärsnittet för skyddszonen skapas genom att teoretisk utvändig tunnelkontur (bergkonturen) för vägtunnel och dess sidoutrymmen dupliceras 20 m ut från konturen (offset 20 m).

Skyddszonens horisontella utbredning och ortoprojicerade yttre begränsning genererar TO Bergs markanspråk. Det är ännu inte fastlagt hur skyddszonen ska hanteras och vilken status den har om den når ut i jord utanför omgivande berg, eller rent av helt upp ur marken, vilket skulle bli fallet då bergtäckningen ovan tunnel är liten och tillika jordlagren är tunna.

Hur skyddszonen ska tolkas i dessa fall och vilken roll den spelar i upprättande av restriktioner för markanvändning inom projektets markanspråk är inte fastställt, men i nedanstående kapitel redovisas ett förslag till markrestriktioner som medföljer skyddszonen.

6.2.4 Markanspråkskategorier

Markanspråket för bergtunnel inklusive sidoutrymme definieras av tillhörande skyddszons ortoprojektion på markytan.

Föreslagna tre markanspråkskategorier är användbara på undermarksanläggningar och beroende på anläggningens djup under bergyta och markyta förordas olika restriktioner för markanvändning och exploatering. Kategorierna är inte beslutade av Trafikverket.

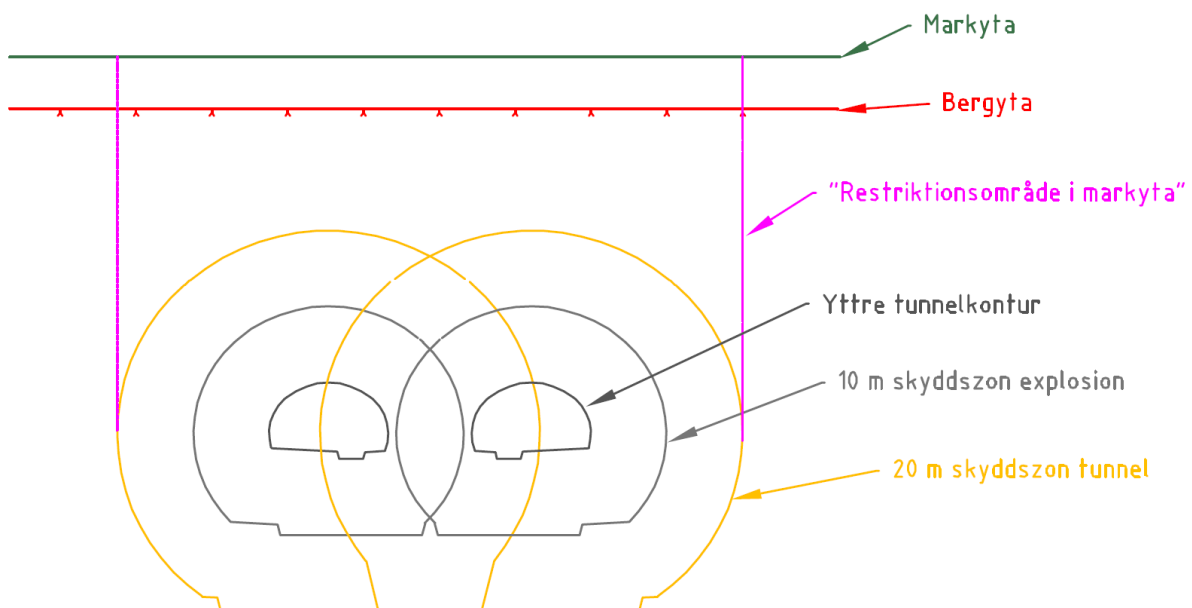
Med jordarbeten avses nedan geoteknisk sondering, pålning, spontning, jordschakt, schaktfri ledningsdragning, fyllning, packning, jordförstärkning genom inblandning av stabiliseringsmedel (KC-pelare, jetpelare, jordinjektering) infiltration och frysning. Bergarbeten avser konventionell bergschakt med sprängning, diamantsågning, brunn-, långhåls-, raisebore- och tunnelborrning, bergbultning samt berginjektering. Grundläggningsarbeten och bebyggelse som minskar eller ökar markens tyngd ovan berganläggning kan också påverka underliggande berganläggning.

Enligt förslaget begränsas markanvändningen ovan berganläggning efter aktuell kategori där restriktioner från överordnade kategori dessutom gäller.

Markanspråkets kategorisering ovan mittpelare påverkas marginellt av förekomsten av utrymningsväg i tvärtunnel varför det kan vara lämpligt att välja en kategori anpassad för UV längs hela mittpelarlängden med hänsyn till att UV-positioner ska kunna förändras.

6.2.4.1 Kategori 1

Kategori 1 beskrivs som >20 m mellan tunnelkontur (teoretisk utvändig tunnelkontur, TUT) och markyta eller bergyta.

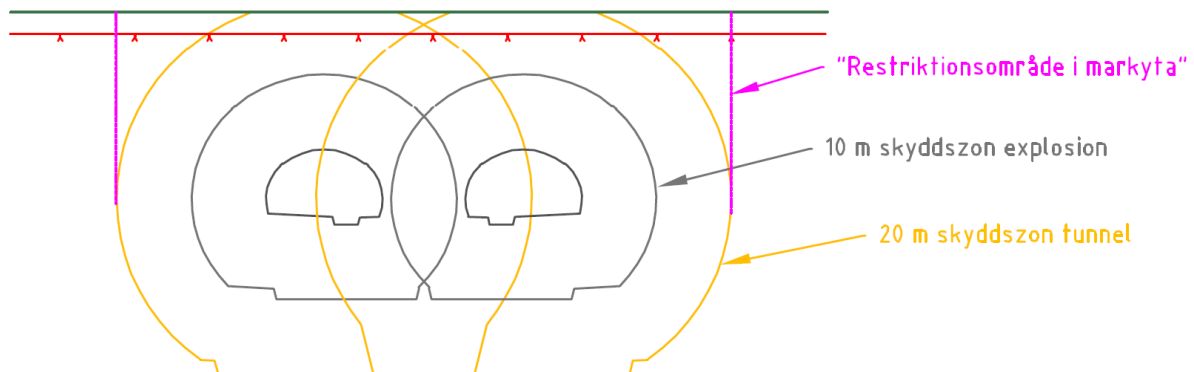


Figur 9. Geometriska samband för markanspråkskategori 1.

Djupborrning för t ex energibrunn är inte tillåten då den kan göra intrång i skyddszon eller rent av penetrera anläggningen. Jord- och bergarbeten, inklusive grundläggning, får endast utföras till överkant skyddszon utan godkännande av Trafikverket.

6.2.4.2 Kategori 2

Kategori 2 beskrivs som 10–20 m mellan TUT och markyta, och ≥ 10 m till bergyta. Om avståndet till bergytan är < 10 m gäller kategori 3.

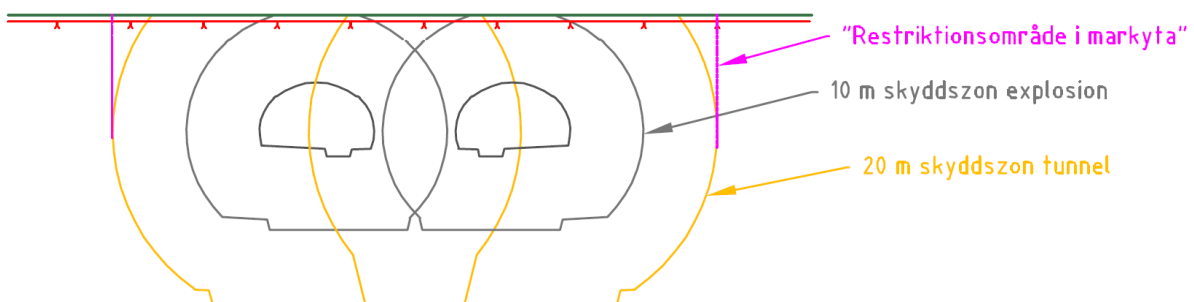


Figur 10. Geometriska samband för markanspråkskategori 2.

Skyddszonen når upp i markytan och därför ska all typ av jord- och bergarbeten, inklusive grundläggning, godkännas av Trafikverket.

6.2.4.3 Kategori 3

Kategori 3 beskrivs som <10 m mellan TUT och markyta eller bergyta.



Figur 11. Geometriska samband för markanspråkskategori 3.

Explosionsrisk i berganläggning når upp i antingen markyta eller bergyta och därför är all typ av bebyggelse otillåten. Notera att avståndet <10 m mellan TUT och bergyta, som kommer från TO Säkerhet, avviker från anvisningar i *Projektering av bergkonstruktioner*, där förutsättningen för beaktande av explosionslast är 5 m mellan TUT och bergyta. För vidare beskrivning av begreppet explosionslast hänvisas till det styrande dokumentet.

6.2.5 Mängden bergslänt i projektet

Med hänsyn till osäkerheten i slänthöjd och markanspråk enligt ovan blir en mängduppskattning av bergslänt utmed Tvärförbindelse Södertörn svår. Med de vägkorridorer och den Bergmodell som funnits tillgängliga till uppdragets projekteringsstopp 2018-10-19 har likväl nedanstående uppskattning gjorts.

	Motortrafikled (TS)	Lokalväg	GC-väg
Bergslänt 0–6 m	854 m	624 m	1647 m
Bergslänt 6–10 m	1194 m	232 m	332 m
Bergslänt 10–20 m	1359 m	61 m	81 m
Bergslänt >20 m	900 m	0 m	63 m

Tabell 3. Uppskattad utbredning av bergslänt längs Tvärförbindelse Södertörn. En 100 m lång vägsärning med lika slänt på båda sidor ger 200 m bergslänt. Notera att andelen bergslänt invid GC-väg inkluderar de vägsnitt av motortrafikled då GC-väg ligger helt intill vägen.

6.2.6 Urlakning och läckage av sulfider från bergskärning

Blivande bergskärningar längs Tvärförbindelse Södertörn är räknat i exponerad bergyta koncentrerade till förskärningar för de tre bergtunnlarna, medan resterande yta bergslänter längs ytväg är liten i jämförelse. Länsstyrelsens intresse för eventuell urlakning och läckage av metaller och sulfider från av projektet nyskapad och exponerad bergyta har därför fokuserat på tunnelförskärningarna. Effekten av sprängstensmassors läckage av dessa ämnen där de i förädlad form skulle kunna användas som vägballast eller fyllning för grundläggning har inte utvärderats.

Generellt bör det förutsättas ett förhållande mellan bergartstyp och förekomst av sulfidförande mineral, där sulfiderna skulle vara som mest associerade med basiska bergarter och ha en nedåt avtagande förekomst i metavulkanit, gnejsgranit och sist sedimentgnejs. Sedimentgnejs är den dominerande bergarten längs Tvärförbindelse Södertörn, och så även specifikt längs majoriteten av blivande tunnelförskärningar där dock underordnade inslag av övriga bergartstyper förekommer. Det är främst i de båda förskärningarna till Glömstatunneln, samt i Masmotunneln syd som andra bergartstyper än sedimentgnejs förekommer, främst gnejsgranit och metavulkanit. Ett verkligt samband mellan ökad sulfidförekomst i områden med basit, metavulkanit, och gnejsgranit jämfört med områden med sedimentgnejs har däremot inte kunnat påvisas i fält.

Kartläggning av metallhaltiga mineraliseringar (MeO och MeS) i blivande bergskärningar för Tvärförbindelse Södertörn har utförts med information från ingenjörsgelogisk ytkartering i fält och kartering av upptagna borrhärlor. Från dessa karteringsarbeten har omfattningen av mineraliseringar i form av utfällningar, omvandlingar och vittringsprodukter i sprickor utvärderats. Mineralogisk-kemisk analys av bergprover har däremot inte genomförts i systemhandlingsskedet.

Av samtliga insamlade sprickdata från ingenjörsgelogisk ytkartering längs hela projektsträckan påvisas förekomst av metallhaltig utfällning (rost) på spricktytor, eller intill spricktytor, bland mindre än 10% av det totala antalet karterade sprickor. En andel på 10% anses liten och inkluderar främst järn- och manganföreningar bland vilka sulfider (främst pyrit, FeS₂) utgör en begränsad del. Urlakningsprocessen förmodas vara komplex och styrs rimligen av redox-potential, nederbörds mängd och -tillfällen, markvatten- och grundvattenflöden samt surhetsgrad i lakvatten.

Om utlakningen/läckaget av metallhaltiga mineraliseringar kopplas till andelen direkt regnexponerade sprickor i en bergslänt, vilket före utförd bergschakt och med de data som finns från systemhandlingsskedet bara svårligen kan uppskattas, skulle antagandet att sammanlagd sprickyta (summan av antalet sprickor och deras spricköppningar i släntytan) för en normalsprickig bergmassa är <10% därmed enligt ovan resultera i att sulfider skulle vara exponerade till en bråkdel av 1% av bergsläntytan (en bråkdel av 10% av 10%).

Med utgångspunkt från insamlade data från ingenjörsgelogisk ytkartering bedöms den allmänna risken för ett betydande läckage från sulfidmineraliseringar i blivande bergskärningar som försumbar, men där sulfidhaltiga bergartstyper är koncentrerade eller där bergmassan har särskilt hög spricktäthet, vilket oftast är kopplat till svaghetszon med uppkrossad bergmassa och hög vittringsgrad, skulle den urlakningsbara andelen metallmineraliseringar inklusive sulfider kunna vara hög. Därför har lokal variation också studerats och sprickdata från ingenjörsgelogisk ytkartering gör då gällande att högst andel metallmineraliseringar finns i Flemingsbergsskogen (DO 5), vid Visättra, men inte vid lägen för förskärningar.

Lokal variation har vidare kartlagts i detalj med hjälp av sprickdata från upptagna borrhäror där i synnerhet mineralen pyrit (FeS_2), det vanligaste sulfidmineralet, och järnhydroxid ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) har noterats. Borrhäror finns från kritiska delar av projektets tre bergtunnlar och dess förskärningar och ger därför ingen heltäckande information om metallmineraliseringar så som fås av den ovan beskrivna ingenjörsgelogiska ytkarteringen, men antaganden kan göras om bergartstypers generella metallinnehåll såväl som om skillnaden mellan friskt normalberg och vittrat zonberg.

I de sex förskärningarna utgör pyrit 2-37% av noterade sprickfyllnadsmineral (räknat i andelen noteringar, inte i ytmässig andel) i borrhäror, med ett genomsnitt på 18%. Den genomsnittliga förekomsten av pyrit i samtliga borrhäror är 20% av noterade sprickfyllnadsmineral och således likvärdig med förekomsten just i förskärningarnas borrhäror. Notera att dessa mineralhalter för pyrit i borrhäror anger andelar av detta mineral i förhållande till alla mineralfyllningar som finns i sprickor, inte förhållande mellan sprickor med och utan mineralisering som i beskrivningen ovan med metallhaltig utfällning från ingenjörsgelogisk kartering.

Järnhaltiga utfällningsprodukter är överlag associerade med vattenförande sprickor och bergytter med rinnande vatten såväl som med vittrande berggrund, men beläggningar av metallmineralisering kan ha sitt ursprung i urlakning från både jord- och bergmassa och proportionerna urlakningsprodukter mellan jord och bergmassa saknas det information om. Vattenförande och vittrande bergmassa kopplat till svaghetszon förekommer bara i Masmotunnelns syd av de sex förskärningarna, men här har en förmodat förhöjd förekomst av metallmineraliseringar, och därmed sulfider, inte kunnat påvisas i fält eller vid kartering av borrhäror.

Sammanfattningsvis bedöms risken för urlakning och spridning av sulfider och tungmetaller som liten med underlag av omfattande data från ingenjörsgelogisk ytkartering och kartering av borrhäror. Bedömningen gäller både för projektsträckans mindre bergskärningar i allmänhet och förskärningar till tunnel i synnerhet. Förekomst och utbredning av bergartstyper är mestadels gynnsam med hänsyn till kemisk sammansättning, medan förhöjd halt av sulfider och andra metallmineraliseringar i svaghetszon i blivande förskärning inte har kunnat påvisas.

6.3 Livscykelkostnad (LCC) samt drift och underhåll

För analys av livscykelkostnad för tunnelinklädnad samt generella nyckeltal för drift- och underhållskostnader i bergtunnel hänvisas till *Besluts-PM LCC Tunnelinklädnad*.

Ingen ytterligare LCC-analys har gjorts för bergtunnel men för en samlad effektbedömning för projekt Tvärförbindelse Södertörn hänvisas till *PM Fullständig samlad effektbedömning*.

7 Resultat från systemhandlingsprojekteringen

7.1 Bortvalda alternativ

De i tidigt skede utvärderade korridorerna kallas Norra-, Mellersta- och Södra korridoren. Inom varje korridor fanns flera utformningsalternativ med olika lägen för väg i ytläge och väg i tunnel samt alternativa anslutningar till befintligt vägnät med trafikplatser.

TO Berg har haft inflytande på val av lägen för Tvärförbindelse Södertörn framförallt i bergtunnellägen där i första hand bergtäckning och bergkvalitet fällt avgöranden. För övrigt har befintliga anläggningar, miljöintressen och regelverk kring väg-geometri lämnat få frihetsgrader för bergtekniska hänsyn.

Mer om de bortvalda alternativen finns att läsa i *Underlag för ställningstagande angående val av lokaliseringsalternativ för Tvärförbindelse Södertörn, Haninge, Huddinge och Botkyrka kommuner, Stockholm län samt PM Bortvalda alternativ* (Trafikverket, 2016).

7.2 Kritiska passager

7.2.1 Metodik och karaktärisering

Tvärförbindelse Södertörn, från Masmo i väst till Jordbro i öst, har inom ramen för systemhandlingsprojekteringen analyserats i syfte att finna och karaktärisera passager som ur ett bergtekniskt perspektiv förutses kunna bli kritiska under detaljprojektering och byggprocess. Med kritisk menas i detta sammanhang att en passage (ett område, en anläggningsetapp) kommer att kräva särskild uppmärksamhet i detaljprojekteringen beroende på sin komplexitet, påverkan på omgivning eller beroende på risker associerade med byggprocessen. I de flesta fall kommer ordinarie detaljprojektering att tillräckligt reducera förväntade risker för projekt och tredje man, med det kan undantagsvis finnas fall då risker eller konsekvenser bedöms som problematiska. Utgångspunkten förblir dock att alla listade passager är byggbara, vilket är en förutsättning för Systemhandlingen.

Underlag för analysen utgörs huvudsakligen av upprättad tredimensionell Samordningsmodell, inkluderande modeller Berganläggning och terrängmodeller (mark- och bergytemodeller), samt den ingenjörsgelogiska prognosen från vilken företrädesvis svaghetszoner och allmänt svag bergmassa har tagits i beaktning. De passager längs vägsträckningen som bedöms vara av en sådan karaktär, med hänsyn till både bergtekniska-, geologiska-, och väg-geometriska förutsättningar, att de uppfattas som kritiska har indelats i nedan listade kategorier. En kritisk passage kan kvalificera för flera av nedanstående kategorier, kategorier som beskrivs i nedanstående kapitel.

Kritiska passager tilldelas någon eller flera av följande kategorier:

- A. Komplex geometri
- B. Liten bergtäckning
- C. Försvårande geologi
- D. Hydraulisk kontakt
- E. Otillräckliga förundersökningar
- F. Anläggningskonflikter

Kategorier B och F kan vidare behöva utvärderas med avseende på explosionslast enligt *Projektering av bergkonstruktioner*, bilaga 13.

Identifierade kritiska passager, som listas i sin helhet i bilaga 1, har dessutom riskkategoriserats från 1–3 utifrån förväntad svårighetsgrad i detaljprojektering och byggprocess samt möjlig omgivningspåverkan. Kategorierna kan beskrivas som:

1. Enkla och konventionella konstruktioner med förväntad omgivningspåverkan.
2. Stora eller komplexa men konventionella konstruktioner, osäkra markförhållanden och förväntad omgivningspåverkan.
3. Svåra eller ovanliga konstruktioner, osäkra markförhållanden och risk för stor omgivningspåverkan.

Riskkategoriseringen är ett försök till att differentiera omfattningen på framtida detaljprojektering men innehåller ett visst godtycke och ska inte uppfattas strikt. Den avses i synnerhet vara en hjälp att identifiera anläggningsdelar som behöver verifieras bergmekaniskt eller som inte kan byggas med konventionella metoder. De kritiska passager som diskuteras i nedanstående stycken tillhör främst riskkategori 3, men även riskkategori 2 belyses i anmärkningsvärda fall.

7.2.1.1 Komplex geometri

Det är inte ovanligt att samverkan mellan väg-geometri, topografi och geologi, miljö- och kulturhänsyn samt allmän utrymmesbrist pga befintliga och framtida anläggningar styr den geometriska utformningen på berganläggningar bort från den stabilitetsmässigt- eller produktionsrationellt mest gynnsamma.

Anläggningsdelar med komplex geometri omfattar alla tunnelmynningar för bergtunnel och tillhörande förskärning. Storleken är i sig en komplexitet med påverkan på anläggningens stabilitet och generellt bjuder undermarksanläggningars öppning mot markytan också på ogynnsamma bergspänningstillstånd.

I tunnelmynningar har bergtäckning och förekomst av svag bergmassa stor betydelse för både byggprocedur, långsiktig stabilitet och kommande underhållsinsatser. Samtliga förskärningar till huvudtunnelmynning är breda (45–55 m) med höga slänter och känslig tunnelpåslagsgeometri, och en väl genomtänkt arbetsmetodik vid bergentreprenadarbeten kommer därför att vara nödvändig.

Goda förutsättningar för tunnelstabilitet i mynningar (se kapitel 6.1.1 *Vägtunnel*) vad avser bergtäckning och lämpliga proportioner styr hur långt in i en höjd eller hur djupt ner i en markskärning vägen behöver ledas innan tunneln tar över, vilket medför att förskärningar blir både långa och djupa med höga bergslänter som följd. Dessa förskärningar behöver sprängas ut på ett skonsamt sätt mot kvarstående bergmassa för att inte överskrida förutbestämda markanspråk, försvåra tunneldrivningen eller orsaka onödigt stora underhållskostnader för slänterna.

Alla typer av sidoutrymmen för tekniska installationer i bergtunnel, såsom pumpstationer och eldriftutrymmen inklusive servicefickor, förutsätter en lokalt förstörd tunnelsektion. Sådana ofta stora geometriska avvikelser från normalsektion får följdverkningar för den bergmekaniska stabiliteten, varför den lokala geologin är av stor betydelse för lämplig placering av dessa teknikutrymmen.

Både PS och ELDU blir stora med en ungefärlig dubbling av tunnelbredden på 10–25 m tunnellängd exklusive serviceficka vilken i sig blir ca 100 m lång. PS blir också djupa på grund av dimensionerande vattenkapaciteter för brandbekämpningssystem och VA-ledningars nödvändiga självfall, och de förekommer i både tunnelmynning och lågpunkt i Glömsta- och Flemingsbergstunneln medan endast en PS finns i Masmotunneln i dess södra mynning. Bassängdelen av PS kan komma att ligga upp till 5–10 m djupare än intilliggande vägtunnelbotten.

Utrymningsvägar förläggs normalt rakt igenom bergpelaren mellan de två huvudtunnlarna och bedöms som enkla konstruktioner även om ogynnsamt bergschaktutfall i dess mynningar inte sällan skapar ökade betongkostnader för portalkonstruktioner.

7.2.1.2 Liten bergtäckning

Liten bergtäckning, dvs litet höjdmått från tunneltak till bergyta, kan ge ytterligare komplexitet till redan komplexa geometrier men kan också i sig själv ge upphov till kritiska passager. En vedertagen branschpraxis för bergtäckning gör gällande att bergtäckningen ska vara minst halva tunnelbredden alternativt mer än 5 m oavsett tunnelpportioner, men för systemhandlingsprojekteringen i Tvärförbindelse Södertörn har denna praxis förfinats enligt kapitel 6.1.1 *Vägtunnel*.

Risken med liten bergtäckning är att bergspänningarna från den överlagrande bergmassan blir för små för att hålla samman bergmassan runt tunnelsektion och ge tunneltaket en naturlig valvverkan, med följden att bergtunneln behöver extraordinär förstärkning av framförallt tunneltak och därtill ett mycket reglerat utförande av bergentreprenadarbeten. Med varierande komplement av utökad bergförstärkning och försiktighetsåtgärder är passager med liten bergtäckning likväl byggbara, men alla stabiliserande åtgärder bör sättas i relation till risk, kostnad och tid för utförandet.

Inte sällan förekommer liten bergtäckning i kombination med svag bergmassa där svaghetszoner har skapat dalgångar och förkastningar i berggrunden.

Korta bergtunnelsträckor med liten eller ingen bergtäckning kan oftast hanteras med förutsägbarhet men långa dito avråds vid tunnelprojektering, då istället en justering av vägprofilen eller utformning med betongtunnel i öppen schakt normalt förordas. 110 m betongtunnel kommer att bli det självklara alternativet på Masmotunnelns mitt i Stora svackan där bergtäckningen inte bara är låg utan helt saknas på ca 50 m.

7.2.1.3 Försvårande geologi

Försvårande geologi kan bestå i en generellt svag bergmassa eller, vanligare, förekomsten av svaghetszoner i en för övrigt ordinär bergmassa. Andra försvårande omständigheter kan vara att en dominerande sprickgrupp har en särskilt ogynnsam orientering i förhållande till slänts och tunnels utbredning eller till tunnels takgeometri. Svaghetszoner tenderar också till att vara vattenförande varför grundvattensänkning och stora inläckage eller omfattande tätningsinsatser förknippas med dålig bergmassa. Dålig bergmassa får anses ha ett Q_{bas} -värde <1 eller möjligen <4 i kombination med övriga försämrande egenskaper.

Den främsta konsekvensen av dålig bergmassa är stabilitetsproblem, dvs dålig hållfasthet och bärighet i det bärande huvudsystemet som utgörs av själva bergmassan närmast tunnelsektion och dess bergförstärkning. Då tunnelstabiliteten beror av spänningstillståndet i bergmassan förstås att stora eller komplexa geometrier samt liten bergtäckning verkar menligt på bergmassans egen förmåga att bära upp tunneln.

I Tvärförbindelse Södertörn förekommer flera passager där de geologiska förutsättningarna ensamma eller i kombination med andra egenskaper kan verka försvårande i byggprocessen varför en optimering behöver göras i detaljprojekteringen av anläggningen.

De storskaliga geologiska strukturer längs vägsträckningen som särskilt behöver beaktas i vidare detaljprojektering beskrivs i kapitel 7.2.2 *Kritiska passager per delområde* och i bilaga 1. För en utförlig redogörelse av svaghetszoner hänvisas istället till ingenjörsgelogisk prognos och till *Förundersökningsrapport Bergteknik*.

7.2.1.4 Hydraulisk kontakt

Områden utmed Tvärförbindelse Södertörns bergtunnlar med vattenförande bergmassa utgör försvårade geologiska omständigheter, men förutom av bergmassans egenskaper beror också kategoriseringen av de kritiska passagerna till följd av hydraulisk kontakt på förekomsten av skyddsobjekt, dvs känslig bebyggelse eller känslig natur ovan tunnel vilka skulle kunna påverkas av en grundvattensänkning.

Stora inläckage av vatten i tunnel kan för övrigt vara ett komfortproblem då fukt skapar korrosiv miljö och då inläckande vatten måste tas omhand av tunnelns VA-system och ledas ut ur tunneln. Vatteninläckaget kan också försvåra entreprenadarbeten som behöver göras i torrhet.

Korrelationen är stor mellan svaghetszoner och vattenförande bergmassa, men det finns fall då svaghetszoner är vattentätande snarare än vattenförande. Svaghetszoner har i detta avseende inte differentierats i systemhandlingsprojekteringen varför alla svaghetszoner tills vidare bedöms vara vattenförande.

Områden längs bergtunnlar där kategorin *hydraulisk kontakt* kan göra sig gällande återfinns alltså i anslutning till svaghetszoner i bergmassan, längs dalgångar och svackor i terrängen, där tunnel är belägen nära bergytan, dvs vid låg bergtäckning, samt där grundvattentrycket är stort så som vid djupt under markytan liggande tunnel.

Med hänsyn till inläckagerisken i bergtunnel och dess komfortproblem behöver särskild vikt läggas vid utformningen av tunnelpåslagen och dess anslutning till portalkonstruktioner, betongtunneln i Stora svackan och framförallt till tråg. Samtliga bergtunnlar har projekterats med en utvidgning (offset) på sina sista 10 m fram till mynning för att möjliggöra att anslutande betongkonstruktion utanför tunnel ska kunna förlängas med ett inslagsvalv in i bergtunneln.

7.2.1.5 Otillräckliga förundersökningar

Förundersökningsprogrammet har för tids- och kostnadseffektivitet helt naturligt fokuserat på de anläggningsdelar där bergtekniska förutsättningar behövs kartläggas i detalj. Sådana områden är typiskt tunnelsträckorna inklusive förskärningar med särskilt intresse för tunnelmynningar och passager med liten bergtäckning och förväntad svaghetszon. I enstaka fall kan förundersökningar ha förhindrats eller begränsats av bebyggelse och bristande framkomlighet för maskinell utrustning. Dessutom kan ändring av projekteringsförutsättningar i sent skede få till följd att tillräckliga data saknas för pågående projektering.

Förundersökningar för ovan beskrivna prioriterade anläggningsdelar bedöms väl anpassade och i delar tom rikligt tilltagna för ambitionsnivån i en Systemhandling. För delområde Masmö har den bergtekniska projekteringen förlitat sig på det tidigare Masmö-länken-projektet vilket har skapat en god information om området även om bakomliggande data inte har varit tillgänglig. Inom Tvärförbindelse Södertörn har en verifiering av information från det tidigare projektet ingått i de kompletterande undersökningar som nu gjorts. För mer information om utförda fältundersökningar hänvisas till *Förundersökningsrapport Bergteknik*.

Längs Tvärförbindelse Södertörns ytvägdelar i vägsärning har omfattningen av fältundersökningar för att kartlägga bergytans läge inledningsvis varit nerprioriterad, men för att reducera osäkerheter i markanspråk har kompletteringar med både berg-i-dagen-inventering och framförallt med geoteknisk undersökning utökats. Kritiskt för markanspråket har varit att bestämma övergången mellan bergslänt och jordslänt då släntgeometrin där ändras från de brantare lutningarna 3:1 och 5:1 (undantagsvis 1:1) till 1:2 för jordslänt. Av detta förstås att stora oväntade jorddjup längs vägsärningar kan medföra markanspråk för väganläggningen långt utöver vad som har fastställts i en Vägplan. För att undvika risken för en snålt tilltagen Vägplan utan att för den skull på ett oacceptabelt sätt överdriva markanspråket behöver planerade vägsärningar undersökas noggrant. Kompletterande fältundersökningar har därför gjorts för samtliga vägsärningar djupare än 2 m (vertikalmått från vägbana till markyta) vilka först så sent som i februari månad 2019 var helt klara och inarbetade i Bergmodellen.

Längs Tvärförbindelse Södertörn och helt intill motortrafikleden förekommer förutom vid förskärning till tunnel bergslänter högre 10 m bara på ett fåtal platser. För mer information om bergslänthöjder och deras utbredning, se kapitel 6.2.5 *Mängden bergslänt i projektet*.

7.2.1.6 Anläggningskonflikter

Tillgängligt utrymme vid undermarksbyggande i Tvärförbindelse Södertörn begränsas till viss del av befintliga anläggningar med sina restriktioner för omgivande bergmassa med syfte att säkerställa den egna anläggningens bergmekaniska stabilitet och driftsäkerhet. Restriktionernas omfattning och karaktär varierar beroende på anläggningsägare och -typ men vanligen omges befintliga undermarksanläggningar av både inre- (ca 5 m) och yttre- (20–50 m) skyddszon (terminologin varierar) med radiell utbredning runt utvändig tunnelkontur. Intrång i dessa zoner från en extern part förutsätter samråd och eventuellt avtal som reglerar ansvaren mellan parterna. Typiskt påtvingas den externa parten, den senare exploatören, ett undersökningsansvar samt försvarsarbeten och kontroller av befintlig anläggnings funktion och beständighet.

I ett fåtal fall har väg-geometriska villkor samt topografiska och geologiska förutsättningar omöjliggjort för Tvärförbindelse Södertörns planerade anläggningar att helt undvika befintliga undermarksanläggningar och deras skyddszoner, och projektets bergtunnlar förväntas att byggas så nära befintligheter som bara ca 3 m ifrån.

Dessa passager medför en bergteknisk såväl som avtalsmässig komplexitet och kräver ett utökat utredningsarbete och en god dialog med anläggningsägare. Viktiga frågor som behöver klargöras är bland annat anläggningens exakta läge, dess skick och känslighet för sprängningsinducerade vibrationer, utbredning av sprängskadad bergmassa runt anläggningen och bergmassans generella kvalitet, omfattningen på utförda tätningsarbeten, eventuellt vatteninläckage och påverkan på grundvattennivåer.

Förutom till befintlig anläggning kan det finnas anledning att anpassa sig också till planerade anläggningar för att inte onödigtvis försvåra deras utbyggnad.

7.2.2 Kritiska passager per delområde

Här nedan beskrivs de mest framträdande kritiska passagerna för både vägsärning och bergtunnel längs Tvärförbindelse Södertörn. Bergtunnlarna ligger inom delområden 1, 2 och 5, dvs i Masmo, Flottsbro och Flemingsbergsskogen, men förskärning till bergtunnel kan sträcka sig in i intilliggande delområde.

För att följa beskrivningar i detta kapitel uppmanas läsaren att ha Samordningsmodellen till hands.

En komplett förteckning av identifierade kritiska passager återfinns som en tabellerad sammanställning i bilaga 1. Kritiska passager motiverade av försvårande geologi har där inte i detalj differentierats med avseende på svaghetszoners prognossäkerhet varför en ytterligare rangordning för dessa passager kan göras med hjälp av ingenjörsgelogisk prognos.

7.2.2.1 Delområde 1, Masmo

Masmotunneln med anslutande ramptunnlar, framtida- och befintlig anläggning i Masmoberget samt liten bergtäckning och dålig bergkvalitet resulterar i flera kritiska passager inom detta delområde.

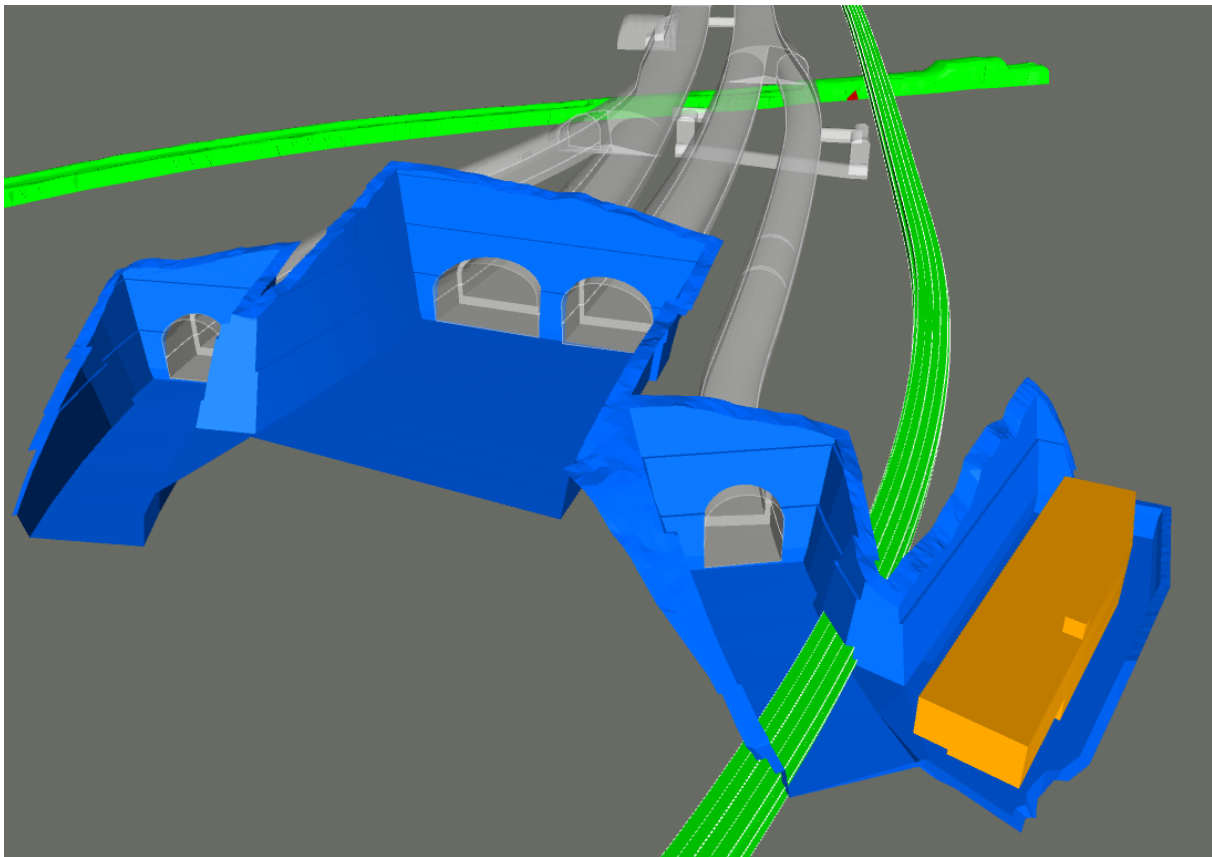
7.2.2.1.1 Förskärning

Masmotunnelns norra förskärning är ett amalgam av dels de breda huvudtunnlarnas gemensamma förskärning, dels de separata förskärningarna för de två kringgårdande ramptunnlarna. En del av de bergvolymerna som strikt geometriskt skulle bli över mellan de tre skilda förskärningarna har ”kapats bort” med hänsyn till mellanliggande bergpelares stabilitet men mesta möjliga av dessa bergvolymerna har bevarats för att skapa separata ”rum” och insynshinder.

Då ramptunnlarna når länge norrut än huvudtunnlarna kommer huvudtunnlarnas gemensamma förskärning delvis att schaktas fram jämte de två ramptunnlarna. Förskärningen till avfartsrampen

såväl som avfartsramptunneln i öster har mestadels ett betryggande avstånd till huvudtunnlarnas stora förskärning, men så är inte fallet för påfartsramptunneln. Där bergschakt för förskärning sker nära längs planerad tunnel behöver bergentreprenadarbetena specificeras så att mellanliggande bergmassa och tunnelkontur inte skadas av utförandet.

Teknikutrymmen ska placeras utanför Masmotunneln väster om påfartsrampen och bergschakten härför har också integrerats med bergschakt för förskärning, vilket med aktuell placering av teknikbyggnader är oundvikligt.

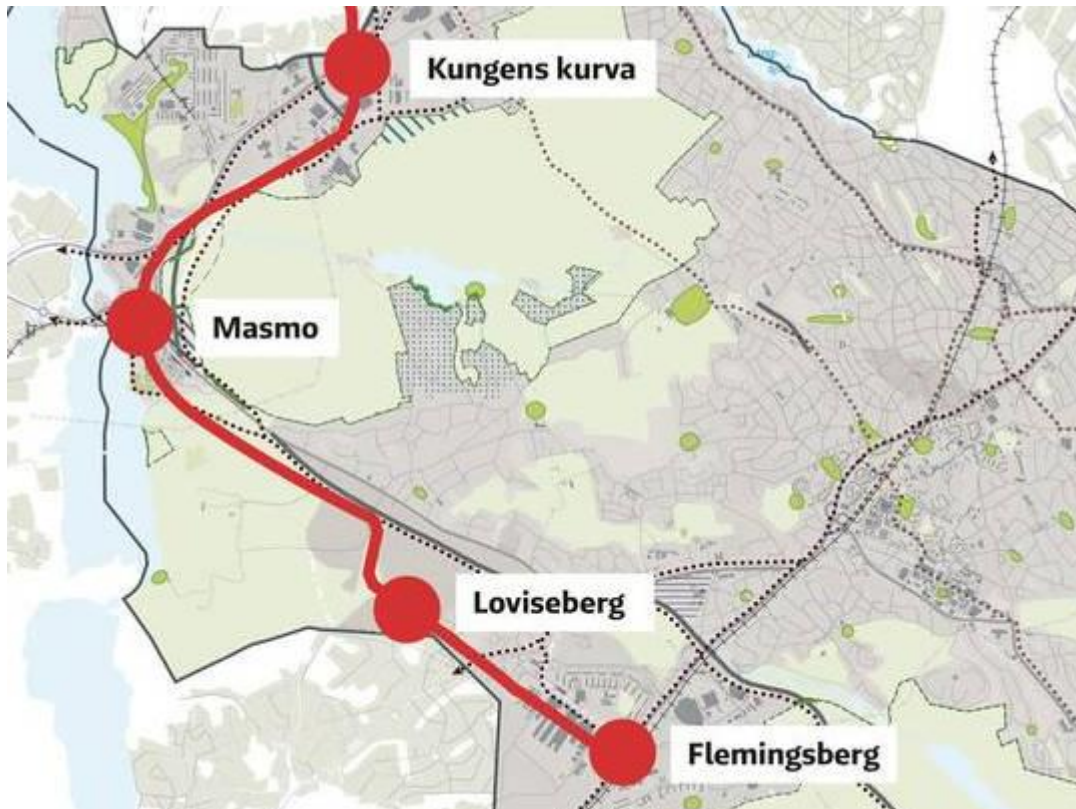


Figur 12. Förskärning samt bergschakt för teknikbyggnader (orange) utmed Solhagavägen. Spårväg syds fria rum syns i ljusgrönt skärandes genom förskärning för påfartsramp. Vy mot söder.

Tvärförbindelse Södertörn ska möjliggöra utbyggnad av Spårväg syd från Älvsjö till Flemingsberg med påverkan på delområden 1, 2 och 4. Så vitt det nu är känt kommer spårvägen att löpa längs E4/E20 från Kungens kurva och in i Masmoberget för att mynna ut i Glömstadalen och passera genom Loviseberg på väg till Flemingsberg. Spårväg syd, som förväntas byggas efter Tvärförbindelse Södertörn, kommer att inkräkta på Masmotunnelns skyddszon och för att möjliggöra ett tillräckligt avstånd mellan anläggningarna för bergmekanisk stabilitet och för att minimera störande effekter från utbyggnad av spårvägen behöver spårvägen förläggas i en så västlig båge som möjligt inom Masmoberget.

Påfartsrampen till Masmotunneln med tillhörande förskärning och schakt för teknikbyggnader samt ramptunnelns första ca 30 m kommer att påverkas stort av utbyggnaden av Spårväg syd i dess aktuella men ännu inte beslutade placering. Spårväg syd förväntas passera strax under påfartsrampen genom

dess förskäring och rampen behöver då förläggas på bro över spårvägen, varefter spårvägen övergår i spårtunnel helt vid sidan om ramptunnelns mynning. Sammantaget förväntas en komplex design och en mycket komplex byggprocess följa Spårväg syds väg in i Masmoberget då Tvärförbindelse Södertörn är i drift. Utformningen av kombinerad förskärning för påfartsramp och bergschakt för teknikbyggnader är inte optimerad för en framtida Spårväg syd i aktuellt läge.



Figur 13. Spårväg syds planerade dragning från Älvsjö till Flemingsberg. Notera att det mest aktuella alternativet representeras av den östligaste punktlinjen genom Masmoberget, inte av den röda linjen. Figuren har hämtats från Huddinge kommuns hemsida.

Masmotunnelns södra förskärning i Lilla svackan blir både lång (270 m) och hög (40 m hög i nordvästra hörnet räknat från bergschaktbotten) och till följd av konvergerande svaghetszoner och projektets förväntat sämsta bergmassa förordas här en etapp på ca 50 m med bergsläntlutning 1:1 (sidoslänter) från tunnelmynning och vidare söderut för att minimera risken för ett utökat markanspråk till följd av oväntade utfall från bergslänt.

I Lilla svackan passerar en ledningstunnel under Tvärförbindelse Södertörn. Ledningstunneln är djupt förlagd och passagen bedöms inte medföra några särskilda hänsyn för projektet men då intrång görs i anläggningens skyddszon förväntas samordning ske med anläggningsägaren.

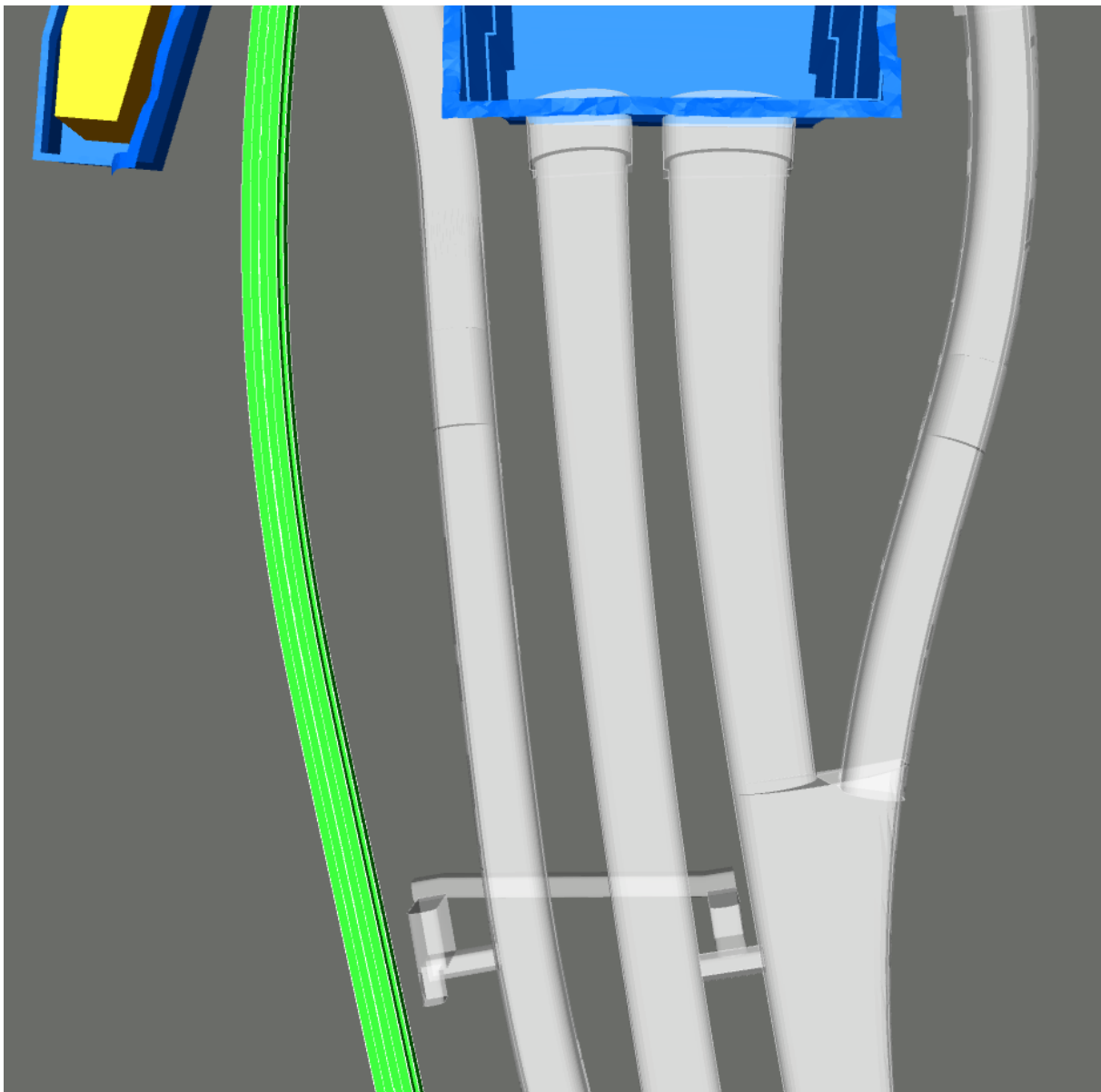
7.2.2.1.2 Masmotunneln

Spårväg syd kommer i aktuellt läge från det att den löper in i spårtunnel att följa Masmotunnelns påfartsramptunnel och sedan huvudtunnel på en sammanlagd sträcka av ca 300 m genom Masmoberget och den kommer att ligga inom 7-70 m från närmaste vägtunnel.

Utrymningsvägar förläggs normalt rakt igenom bergpelaren mellan de två huvudtunnlarna men för utrymning från påfartsramptunnel som blir lång nog att behöva en egen utrymning har flera alternativ studerats.

Aktuellt och gällande alternativ är en kulverterad tunnel under västra huvudtunneln som sammanbinder påfartsramptunneln med UV i tvärtunnel mellan huvudtunnlarna. Alternativet har trapphus i båda ändar och ingång från påfartsramptunneln genom installationskulvert.

Övergivna alternativ bestod av en utrymningstunnel med mynning i högläge på Masmoberget och nedstigning via trappsteg till gatunivå samt en utrymning i längsgående kompartmentaliserat utrymme i påfartsramptunneln högfartssida.



Figur 14. Påfartsramptunnelns utrymning till huvudtunnel i figurens nedre kant.

Inne i Masmotunneln blir tunnelrum särskilt stora där på- och avfartsrampers tunnlar ansluter till huvudtunnel. Rampanslutningsrummen får en spännvidd på mer än 30 m längs en sträcka på 20 m vilket anses stort för vägtunnel. Vidare söderut smalnar den "tratt" som rampanslutningarna innebär, rampkörfälten närmar sig huvudkörfälten och huvudtunnlarna blir 3-körfältstunnlar. Spänningsomlagringar i bergrum och avsmalnande bergpelare mellan tunnelrör behöver särskilt uppmärksammas i detaljprojekterings dimensionering och utförandebeskrivning. Ramptunnlar och tillhörande stora tunnelrum förekommer endast i den norra delen av Masmotunneln, där Tvärförbindelsen sammankopplas med E4/E20, inte i någon annan tunnel.

Masmotunneln passerar ovanför SLs tunnelbanestation Masmo på ett avstånd av 17 m från Masmotunnelns botten till hjässan på SLs stationsanläggning. Avståndet bedöms tillräckligt för att inte medföra anmärkningsvärda tekniska svårigheter men då intrång görs på skyddszon för befintlig anläggning behöver samordning ske med anläggningsägaren om nödvändiga hänsyn vid Masmotunnelns utbyggnad.

En del av Masmo tunnelbanestation som ligger betydligt närmare planerad Masmotunnel än själva stationsutrymmet är ett anslutande rulltrappsschakt upp till ytan på Masmoberget strax norr om Stora svackan. Denna del av SLs anläggning är inte i bruk men Masmotunnelns och rulltrappsschaktets ömsesidiga påverkan måste likväl utredas tillsammans med SL.

Masmotunnelns västra tunnelrör passerar under rulltrappsschaktets ramp upp i markytan. Rampen till rulltrappsschaktet är ca 10 m bred och ligger 10-15 m in från Masmotunnelns tunnelmynning i Stora svackan räknat, och så lågt som bara 4 m över tunneltaket bedömt från flygskanning. Det är rimligt att förvänta sig en intakt bergmassa mindre än 4 m ovan tunneltak då bergmassan närmast markytan lär vara sprängskadad. Passagen är relativt kort och påverkar direkt bara ett av de två tunnelrören men åtgärder som att från markytan injektera bergmassan i rampen för läkning och tätning eller att gjuta en överlagrande betongplatta där bergtäckningen är som lägst är några möjliga åtgärder som tillsammans med extra försiktighet vid tunneldrivning behöver utredas i vidare detaljprojektering.

Stora- och Lilla svackan i Masmo är exempel på topografiska inslag med ursprung i storskaliga geologiska strukturer som påverkar huvudväglinjens dragning och tunnelutformningen. Stora svackan där bergtäckning helt saknas kommer att passeras i en 110 m lång betongtunnel som förläggs i bergskärning och övertäcks. Härmed tillkommer 2+2 bergtunnelmynningar i Stora svackan jämfört med om bergtunneln vore kontinuerlig från Vårby backe till Lilla svackan.

7.2.2.2 Delområde 2, Flottsbro

Glömstatunneln, befintlig anläggning samt liten bergtäckning och dålig bergkvalitet resulterar i flera kritiska passager inom detta delområde.

7.2.2.2.1 Förskärning

Glömstatunnelns västra förskärning kommer att inhysa ett betongtråg pga höga grundvattennivåer. Trågkonstruktionens täta anslutning till bergtunneln är av största vikt varför tunneln närmast mynningen har getts extra utrymme (offset) för att inrymma ett inslagsvalv in i bergtunneln som övergång mellan yttre betongkonstruktion och bergtunnel.

7.2.2.2.2 Glömstatunneln

Glömstatunneln har en relativt enkel geometrisk utformning utan ramptunnlar, med två körfält per tunnelrör utan skevningsövergångar. Teknikutrymmen saknas utanför tunneln.

Under Loviseberg i Glömstadalen passerar Glömstatunneln en sänka i terrängen med endast 2-5 m bergtäckning på en sträcka på 20-30 m. Jordlagren ovan bergytan är som mest 10 m tjocka och består

av i huvudsak lera och silt med morän närmast bergytan. Siktning av störda jordprover från fyra undersökningspunkter i området med minst bergtäckning visar att moränen har ett innehåll av kohesionsjord ($d < 0,063$ mm) på 20-30% (viktprocent), vilket gör gällande att en grundvattentätande verkan av överlagrande jord ovan bergtunnelns tak inte kan förutsättas.

Också i Loviseberg har betongtunnel konstruerad från markytan övervägts liksom förstärkning av liten bergtäckning med överlagrande betongplatta inom spontgrop, men det fortfarande byggbara huvudalternativet är att tunnel byggs konventionellt under mark i en skräddarsydd tunnelsektion med löpande undersökningsborrning och rörelsemätning, restriktioner i framdrift med sekventiellt berguttag varvat med temporär bergförstärkning som i extremfall inkluderar spilingbult eller rörspiling i kombination med stål- eller gitterbågar som permanentas med sprutbetonglining och systembult. Eventuellt kommer Spårväg syd att byggas så att den passerar på markytan ovan Glömstatunneln i Loviseberg, varför då eventuell hållplats eller jordskärning för spårvägen ovan Glömstatunnelns kritiska passage bör undvikas.

Svaghetszoner förväntas konvergera i Glömstatunneln strax väster om tunnelns lågpunkt och Lovisebergspassagen med liten bergtäckning, men den dåliga bergmassan utbredning förväntas likväl influera Lovisebergspassagen. Liten bergtäckning och förväntade svaghetszoner hindrar en VA-tekniskt optimal placering av pumpstation i tunnelns lågpunkt så PS har tillsammans med eldriftutrymmen förskjutits så långt västerut som möjligt i tunneln. En samplacering av PS och ELDU har önskats av ansvariga teknikområden.

Ledningstunnel finns också i Glömstadalen och här påverkar den både utformning och byggprocess för Glömstatunneln som passerar över befintlig anläggning på två platser. Befintlig ledningstunnel är inspekterad och inmätt och ligger som minst bara ca 3 m under Glömstatunneln. Intrång i ledningstunnels skyddszon kommer att ske och samordning med anläggningsägaren är redan påbörjad. Försvarsarbeten, tunneldrivningsrestriktioner samt kontroller av befintlig anläggnings funktion och beständighet är att vänta för utbyggnad av Tvärförbindelse Södertörn, liksom ett avtal för framtida skydd av respektive anläggning. VA-systemets slutgiltiga utformning, inklusive brunnars placering, i Glömstatunneln är särskilt avgörande för bergtäckningen mellan befintlig och ny anläggning och från den nu konservativa schaktbottenutformningen i Glömstatunneln förväntas en optimering ske i nästa projekteringsskede.

Slutligen har grundvattenberoende objekt inventerats i delområdet och inom influensområdet för Glömstatunneln har dels energibrunnar funnits i Loviseberg, dels har sättningskänslig bebyggelse noterats längs Glömstavägen. Energibrunnarna är belägna väster om Lovisebergspassagen inom en fastighet vid Lovisebergsvägens ände. Brunnarna uppskattas ligga ca 50 m i plan från Glömstatunneln. Bostadshusen längs Glömstavägen som bedömts som sättningskänsliga ligger mestadels på norra sidan av vägen men två hus finns också på södra sidan vilka ligger som närmast tunneln på ca 370 m avstånd i plan. Ur ett bergtekniskt perspektiv är dessa grundvattenberoende objekt intressanta, men de kommer inte i omedelbar konflikt med Glömstatunneln och de förväntas nått och jämt påverka utförandet av bergentreprenadarbeten varför de inte kvalificerar som kritiska passager.

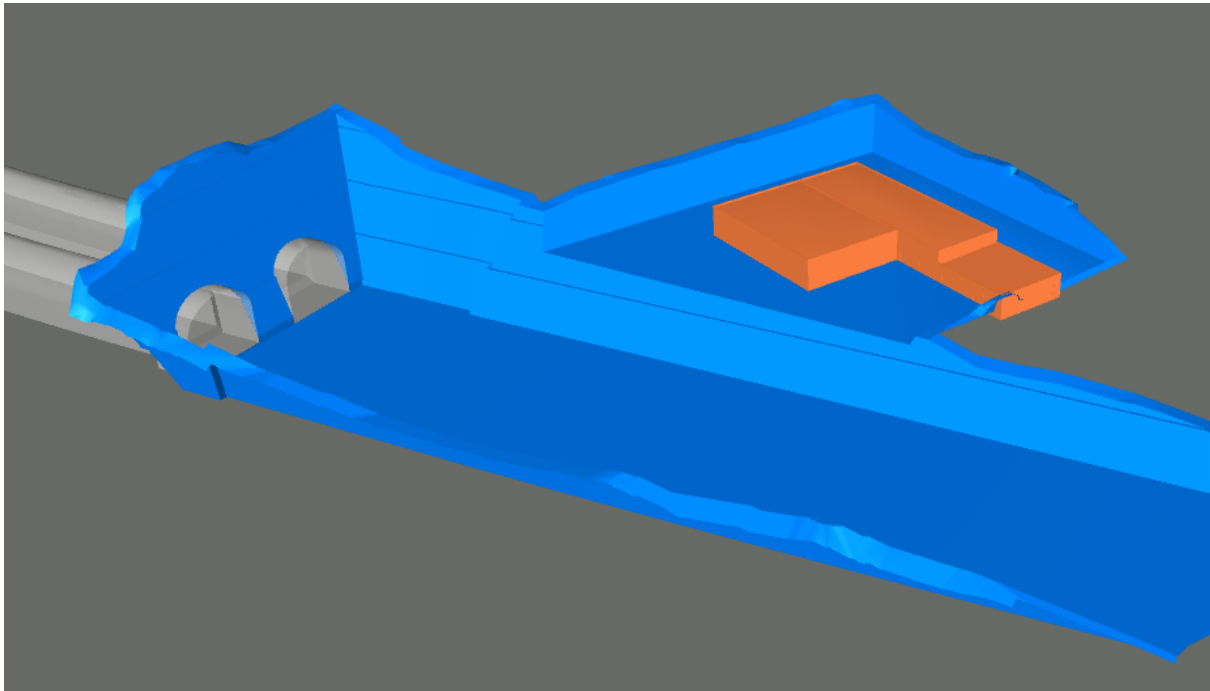
7.2.2.3 Delområde 5, Flemingsbergskogen

Flemingsbergstunneln, befintlig anläggning samt liten bergtäckning och dålig bergkvalitet resulterar i flera kritiska passager inom detta delområde.

7.2.2.3.1 Förskärning

Flemingsbergstunnelns västra förskärning kommer att inhysa ett betongtråg pga höga grundvattennivåer. Trågkonstruktionens täta anslutning till bergtunneln är av största vikt varför tunneln närmast mynningen har getts extra utrymme (offset) för att inrymma ett inslagsvalv in i bergtunneln som övergång mellan yttre betongkonstruktion och bergtunnel.

Tunnelns västra förskärning kompliceras av att teknikutrymmen placeras utanför tunneln i direkt anslutning till förskärningen men på en högre terrassnivå. Här kommer teknikutrymmen delvis att ligga djupt försänkta i detaljschakt (VA-bassäng) och tillfartsväg med vändplats ska inrymmas mellan teknikbyggnader och bergslänt mot motortrafikledens lägre nivå.



Figur 15. Teknikbyggnader (orange) i anslutning till förskärningen för Flemingsbergstunnelns västra mynning. Vy mot söder. Teknikbyggnader har en något avvikande placering i sin senast utformning än vad som illustreras i figuren.

7.2.2.3.2 Flemingsbergstunneln

Flemingsbergstunneln har en relativt enkel geometrisk utformning utan ramptunnlar, med två körfält per tunnelrör, men den är lång och har skevningsövergångar.

Öster om Visättra bostadsområde och sportanläggning i Flemingsberg passerar Flemingsbergstunneln under en plåt i skogen med både liten bergtäckning och dålig bergkvalitet. Passagen är ca 60 m lång med en bergtäckning som i allmänhet är mindre än 10 m och som minst ca 5 m. Det är oklart om bergmassan är svag beroende på förväntad svaghetszon, djupgående rörsberg eller båda delar. Visättrapassagen anses inte på när så kritisk som Lovisebergspassagen i Glömstatunneln, men en byggprocess med löpande undersökningsborrning och rörelsemätning, restriktioner i framdrift med sekventiellt berguttag varvat med temporär och permanent bergförstärkning är att vänta.

Ledningstunnel finns även i Flemingsbergsskogen och påverkar här både utformning och byggprocess för Flemingsbergstunneln som i detta fall passerar under befintlig anläggning i ett läge. Befintlig ledningstunnel är inspekterad och inmätt nära passagen och ligger ca 4 m över Flemingsbergstunneln (fast botten i ledningstunnel), men passagen försvåras av att befintlig anläggnings botten inte har kunnat mätas in och inspekteras med avseende på sprängskada. Intrång i ledningstunnels skyddszon kommer att ske och samordning med anläggningsägaren är redan påbörjad. Försvarsarbeten, tunneldrivningsrestriktioner samt kontroller av befintlig anläggnings funktion och beständighet är att

vänta för utbyggnad av Tvärförbindelse Södertörn, liksom ett avtal för framtida skydd av respektive anläggning.

Flemingsbergstunneln genomkorsas av flertalet svaghetszoner även om kombinationen dålig bergmassa och låg bergtäckning med förmodat inflytande på tunnelutformning och byggprocess är få. Olyckligtvis förväntas det i framförallt Flemingsbergstunneln östra hälft svaghetszoner som stryker subparallellt med tunnelriktningen, vilket innebär att dessa zoner kan komma att följa tunneln på långa sträckor med stor inverkan på byggprocess, tidplan och ekonomi för projektet.

8 Risker

Risker för vidare projektering och för byggprocess är nära förbundna med varandra och differentieras inte självklart i systemhandlingsprojekteringen eftersom risker i byggskedet behöver tas om hand i detaljprojekteringen. Redan här i Systemhandlingen har kritiska passager beskrivits, listats och kategoriserats för vidare projektering, och dessa passager representerar de lägesspecifika bergtekniska riskerna för projektet.

Nedan diskuteras ytterligare några av de risker som följer av de kritiska passagera enligt kapitel 7.2 *Kritiska passager*. Vanligen har projektrisker flera aspekter med påverkan på den bergtekniska utformningen såväl som på ekonomi och tidplan.

8.1 Geologi

Geologisk risk grundar sig på osäkerheter i bergmassans kvalitet, stabilitet och lämplighet för avsedd anläggningsdel.

Svaghetszoner i bergmassan har stor inverkan på dess kvalitet och har därför kartlagts i huvudsak längs tunnel och förskärning. Stora zoners lägen är i plan översiktligt väl kartlagda, men deras exakta utbredning, lutning från markplan och verkliga karaktär är likväl osäker. Detta innebär att bergmassan vid projektets berganläggningar kan vara både bättre eller sämre än förväntat, så i synnerhet då svaghetszons extrapolerade längd "träffar" eller "missar" en anläggningsdel. Geologiska risker för anläggningsutformning och byggprocessen korrelerar med svaghetszoners lägen och karaktär men prognostiseringen av "normalbergets" kvalitet kan också vara en stor risk för projektekonomi.

Svaghetszoner kan vara lokalt kritiska men om kvaliteten på den normala zonfria bergmassan gravt underskattas, vilken utgör majoriteten av berganläggningen, kan entreprenadtid och -kostnad skena iväg. Normalbergets kvalitet är dessvärre svårbedömt då förundersökningar av nödvändighet fokuseras på att verifiera bygghälsa och då inte all bergmassa rimligen kan undersökas. För mer information om prognossäkerhet, se *Redogörelse för ämnesområdesmodell, Bergteknik, Förutsättningar*.

Risker förknippade med svaghetszon gör sig gällande framförallt där berganläggning har liten bergtäckning i förhållande till dess dimensioner, allmänt komplex geometri eller där Vägplanens markanspråk kan överskridas.

8.2 Utformning och utförande

Risker med utformningen av en berganläggning är förutom geologin beskriven ovan också relaterad till bergmekaniken i komplexa och stora geometrier. Komplexa geometrier kan fås som en följd av vägutformning och utrymmeskrav från konstruktioner och installationer som serverar anläggningen eller till följd av utrymmesbrist och konflikt med befintliga anläggningar.

Vid passage nära befintlig anläggning krävs god kännedom om anläggningens sprängda ytterkontur och närmast omgärdande bergmassa utöver kunskap om installationer i anläggningen och deras vibrationskänslighet. Ett okänt läge på sprängbotten och därtill utbredningen av den sprängskadade

zonen hos en befintlig anläggning utgör en risk vid byggandet av Tvärförbindelse Södertörns anläggning. Sprängskadad bergmassa kan resultera i kilutfall och svårtätade vatteninläckage.

Närliggande befintliga anläggningar påför utförandet av bergentreprenadarbeten restriktioner som kan vara svåra att efterleva och vibrationsöverskridanden såväl som faktisk skada på befintlig anläggning och dess installation kan stoppa produktion och påtvinga Tvärförbindelse Södertörn nya utrednings- och projekteringsarbeten.

8.3 Ekonomi och tidplan

Ytterligare risk för utformningen av berganläggningar med konsekvens för ekonomi och tidplan är senkomna förändringar i projekteringen med hänsyn till arkitektonisk utformning eller förändrad utformning på tunnelinstallationer. Denna risk är överhängande och påverkar flertalet bergtunnelprojekt i någon omfattning. Vid bergprojektering kan teknikutrymmen utformas större än vad som motiveras av beslutade konstruktioner och installationer för att täcka upp för framtida ändringar, men ett sådant förfarande är spekulativt och kostnadsdrivande, och kanske inte möjligt med hänsyn till tillgängligt utrymme för berganläggningen.

För att Tvärförbindelse Södertörn ska kunna passera befintliga undermarksanläggningar utan skada eller konflikt är det kritiskt att samråd sker och avtal upprättas med anläggningsägare och -förvaltare i god tid. Förhandlingar med anläggningsägare tenderar att vara en lång administrativ process som skulle kunna påverka tidplanen.

Ovisshet kring dragningen av Spårväg Syd bedöms vara en påtaglig risk inför kommande detaljprojektering av Tvärförbindelse Södertörn med långtgående konsekvenser för ekonomi och tidplan. Se vidare i kapitel 7.2.2.1 *Delområde 1, Masmö.*

Vid bergtekniskt känsliga områden som förskärningar, tunnelmynningar och passager med liten bergtäckning är det av stor betydelse att bergmassan är rätt karaktäriserad. Ett otillräckligt förundersökningsresultat kan äventyra både ekonomi och tidplan men det är heller inte rimligt att fullständigt undersöka bergyta och bergmassa vid planerad berganläggning varför det är brukligt att successivt verifiera "designens giltighet" under byggprocessen och att då ha marginal för korrekationer i utformning och utförande.

9 Fortsatt arbete

Nästkommande konsultuppdrag är eller håller på att definieras, likaså entreprenader med deras entreprenadform och etappindelning.

Förslagsvis fokuserar detaljprojekteringen på de kritiska passager som har listats i detta PM. Se vidare i kapitel 7.2.2 *Kritiska passager per delområde* och i bilaga 1.

10 Referenser

För styrande dokument, se kapitel 2.2.1 *Styrande dokument*.

1. *LCC analyser för vattenavlednings- och bergförstärkningssystem*, BeFo-rapport 131, Stiftelsen Bergteknisk Forskning 2014
2. *Besluts-PM LCC Tunnelinklädnad*, oP140004
3. *Förundersökningsrapport Bergteknik (FUR)*, oB140004

4. *Normalsektion bergtunnel, ritningar 000B0401-03.*
5. *PM Bortvalda alternativ, Trafikverket 2016*
6. *PM Fullständig samlad effektbedömning, oP140007*
7. *Projekteringsbeskrivning FAS 3 Tvärförbindelse Södertörn, Tyréns 2016*
8. *Projekteringsbeskrivning FAS 3 Berg, Tyréns 2016*
9. *Redogörelse för ämnesområdesmodell, Bergteknik, Anläggning, oB070001*
10. *Redogörelse för ämnesområdesmodell, Bergteknik, Förutsättningar, oB070002*
11. *Kravdokument Säkerhetskoncept, oS140001*
12. *Typinjektering, injekteringsklass A, Förbifart Stockholm, ritning 000B2A01*
13. *Typsektion huvudtunnel, Förbifart Stockholm, ritning 000To401*
14. *Underlag för ställningstagande angående val av lokaliseringsalternativ för Tvärförbindelse Södertörn, Haninge, Huddinge och Botkyrka kommuner, Stockholm län, oC140006*