

VA-tunnlar - erfarenheter från utredning till drift

Sweco Environment AB

Ramboll Sweden AB

WSP Sverige AB



Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten Utveckling (SVU) är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området.

Författaren är ensam ansvarig för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

Svenskt Vatten Utveckling
Svenskt Vatten AB
Box 14057
167 14 Bromma
Tfn 08-506 002 00
Fax 08-506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se
Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten.

Rapportens titel:	VA-tunnlar – erfarenheter från utredning till drift
Title of the report:	Hydraulic Conveyance Tunnels – Experiences from Investigation to Operation
Författare:	Sweco Environment AB, Ramboll Sweden AB, WSP Sverige AB
Rapportnummer:	2019-12
Antal sidor:	178
Sammandrag:	Rapporten sammanställer kunskap och erfarenheter från genomförda och pågående VA-tunnelprojekt i Sverige och andra länder. Den går igenom projektprocess, tillstånd, tunneldrivningsmetoder, olika typer av hydrauliska tunnlar och förutsättningar, riskhantering, installationer, arbetsmiljö, drift och underhåll, samt livscykelkostnadsanalys för VA-tunnelprojekt.
Abstract:	The project aim was to compile the experiences gained from previous and now ongoing water and wastewater conveyance tunnel constructions. The work has resulted in a report that goes through project process, permits, tunnel driving methods, hydraulic conditions, work environment, operation and maintenance, and life cycle design analysis.
Sökord:	VA-tunnlar, tunnelprojekt, avloppstunnel, dagvattentunnel, tunneldrivningsmetoder, hydrauliska tunnlar
Keywords:	Conveyance tunnel, water and sewer tunnel, tunneling, hydraulic tunnels
Målgrupper:	Tunnelägare, VA-bolag/organisationer, VA-konsulter, VA-entreprenörer
Omslagsbild:	Bolmentunneln, foto: Sydvatten, www.varldenshaftigaste.se
Rapport:	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens webbplats www.svensktvatten.se
Utgivningsår:	2019
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB
Om projektet	
Projektnummer:	17-110
Projektets namn:	Erfarenheter av VA-tunnlar, från utredning till drift
Projektets finansiering:	Svenskt Vatten Utveckling, Stockholm Vatten och Avfall-SVOA, Käppalaförbundet, Gryaab, VA Syd, Sweco Environment, Ramboll, WSP

Förord

Denna rapport är en sammanställning över värdefull kunskap och erfarenhet kring VA-tunnlar, utformad av ingenjörer över hela landet och utomlands. Rapporten har tagits fram genom samarbete och finansiering mellan VA-bolag, konsulter och Svenskt Vatten Utveckling (SVU). Stockholm Vatten & Avfall, Käppalaförbundet, Gryaab och VA Syd har utgjort en styrgrupp och i projektgrupperna ingick Sweco, Ramboll och WSP. Sweco har även varit projektledare.

Idag, i takt med att våra städer förtätas och reningsverk centraliseras, spås storskaliga underjordiska infrastrukturer bli en allt mer vanligt förekommande lösning för transport av vatten- och avlopp. Stora vattenvolymer samt brist på utrymme i gatunät är två anledningar till att överväga tunnlar som lösning på VA-försörjningen. Det finns dock flera andra tekniska, miljömässiga och ekonomiska aspekter som bör kontrolleras för att ett klokt val mellan ett konventionellt VA-system och en transporttunnel ska kunna tas.

Denna rapport strävar efter att spegla de aspekter som av erfarenhet bör beaktas vid utbyggnaden av en transporttunnel för VA-försörjning. För att uppnå detta formades grupper med erfarna ingenjörer/tekniker inom de sex huvudsakliga teknikområdena som anges i kapitel 1. Utifrån teknikområdena skapades en rapport som syftat till att täcka in de moment som bör behandlas i ett VA-tunnelprojekt.

Förhoppningen är att rapporten ger läsaren vetskap om viktiga frågor som rör VA-tunnlar som, i sin tur, kan resultera i givande diskussioner mellan beställare, konsulter och entreprenörer som förenklar i tunnelprojektens alla faser.

Rapporten har delvis tagits fram genom dialog med branschsveteraner. Resultatet påverkas av de frågor som ställts samt både intervjuarens och den intervjuades yrke och erfarenhet, vilket kan göra att vissa aspekter fått mer utrymme än andra. Det är således upp till läsaren att, utifrån egna erfarenheter och kunskaper, ta till sig de delar som hen anser relevanta för sitt specifika fall.

Projektet behövde ett team bestående av högkvalificerade ingenjörer för att uppnå resultat samt uppfylla intressenternas önskemål. Ett stort tack riktas till alla som bidragit. En fullständig lista med samtliga involverade hittas i slutet av rapporten. Projektet skulle dock speciellt vilja visa sin uppskattning till Mattias Karlsson, Eva Lindahl, Hans Hillborg, Issa Michael, Caroline Persson, Alexander Koutsouris, Anna Lundgren, Josefin Hamrefors, Linda Morén, Mathias Linder, Jan Friberg och Anders J Larsson som ledde de tekniska arbetsgrupperna och/eller stödde projektledningen. Ett stort tack riktas även till referensgruppen som bidragit med synpunkter och granskning och ett speciellt tack till Trollhättan Energi som visat stort intresse för rapportens utveckling.

Projektiden kom från Alf Händevik, en tidigare projektledare på Stockholm Vatten & Avfall (SVOA) som för närvarande (2019) arbetar på Kalmar Vatten. Alf tog initiativet genom att föreslå att Sweco skulle komplettera SVAMA (Stockholm Vattens anpassning av Mark-AMA) med en beskrivning av vattentransporttunnlar. Under uppstartsfasen beslutade projektgruppen att istället skriva en fristående SVU-rapport eftersom kunskapen ansågs kunna vara av intresse för hela VA-branschen.

Efter två års ansträngningar är rapporten klar. Den innehåller kunskap och erfarenheter som erhållits från några av de VA-tunnlar som konstruerats genom åren med förhoppning om att det kan bidra till fler lyckade framtida tunnelprojekt.

Ha en trevlig resa genom tunneln!

Med vänliga hälsningar,

Styrgrupp och projektledning

Mikael Nielsen

Styrgruppsmedlem, Käppalaförbundet

Rickard Andersson

Styrgruppsmedlem, Stockholm Vatten och Avfall

Sven-Ove Pettersson

Styrgruppsmedlem, Gryaab

Christopher Grubberger

Styrgruppsmedlem, VA SYD

Roya Meydani

Projektledare, Sweco

Innehåll

Sammanfattning	8
Summary	9
1 Introduktion	10
1.1 Syfte och bakgrund	10
1.2 Målgrupp och tillämpningar	10
1.3 Omfattning	10
1.4 Arbetssätt	11
2 Projektprocessen	13
2.1 Initiering/ behovsanalys.....	13
2.2 Förstudie	13
2.3 Systemhandling och tillståndsansökan.....	17
2.4 Projektering - framtagande av förfrågningsunderlag	20
2.5 Genomförande	22
2.6 Avslut.....	23
3 Tillstånd, planer och rådighet	24
3.1 Tillstånd relativt andra planeringsunderlag	24
3.2 Rådighet.....	26
3.3 Tillståndsprövningens process	26
3.4 Process om det inte är betydande miljöpåverkan.....	26
3.5 Startmöte	28
3.6 Samråd	29
3.7 Samrådsredogörelse.....	32
3.8 Beslut om betydande miljöpåverkan	32
3.9 Sakägarkrets och sakägarförteckning.....	33
3.10 Ansökan	34
3.11 Teknisk beskrivning	35
3.12 Miljökonsekvensbeskrivning	36
3.13 PM Hydrogeologi	38
3.14 PM Miljökvalitetsnormer	40
3.15 Villkorsförslag	41
3.16 Prövotid	43
3.17 Iakttagande av de allmänna hänsynsreglerna	43
3.18 Natura 2000.....	44
3.19 Efter inlämnandet av ansökan.....	45
3.20 Tillsyn	46
3.21 VA-planer relativt Plan- och Bygglagen - Behövs planstöd?	46
3.22 Upplåtelse av mark för en vatten- och avloppstunnel	49
3.23 Erfarenheter.....	52

4	Tunneldrivning	55
4.1	Tunneldrivningsmetoder	55
4.2	Geologiska och hydrogeologiska undersökningar.....	60
4.3	Utrymmesbehov	65
4.4	Övergång mellan berg och jord	66
4.5	Inläckage och tätningsmetoder.....	66
4.6	Stigort/räddningsschakt	68
4.7	Arbetstunnlar	69
4.8	Tunnelpåslag	70
4.9	Brand.....	72
4.10	Ventilation.....	73
5	Typer av hydrauliska tunnlar och deras funktioner.....	74
5.1	Användningsfunktioner	74
5.2	Typer av tunnlar ur ett hydrauliskt perspektiv	77
5.3	Anslutningar, specialkonstruktioner och pumpstationer	82
6	Hydrauliska förutsättningar.....	97
6.1	Designöverväganden.....	97
6.2	Tunnellayout.....	98
6.3	Krökar	99
6.4	Hydrostatiskt tryck	99
6.5	Anslutningspunkter och borrhål.....	100
6.6	Grundvatten	101
6.7	Ytbeläggning, Mannings tal	101
6.8	Turbulens/virvelströmmar.....	102
6.9	Kavitation	102
6.10	Sedimentation och självrensning	102
6.11	Randvillkor.....	104
7	Riskhantering	106
7.1	Riskidentifiering	106
7.2	Erfarenhetsbaserade metoder och processer	106
8	Installation i VA-tunnlar.....	113
8.1	VVS	113
8.2	Övervakning och instrumentation.....	118
8.3	Materialval	120
8.4	Belysning	122
9	Arbetsmiljö, drift och underhåll	123
9.1	Arbetsmiljö	123
9.2	Utbildning.....	126
9.3	Skrotning	126
9.4	Användning av tunnlar för utjämning	127

9.5	Rengöring	128
9.6	En full tunnel ur driftperspektiv	128
9.7	Uppföljning och kontrollprogram	130
10	LCC, Livscykelkostnadsanalys	131
10.1	Principer och metodik	131
10.2	Kostnadskomponenter	131
10.3	Produktionskostnader	132
10.4	Nulägesanalys och diskontering	134
10.5	Erfarenheter	136
11	Forskning och utveckling samt revideringsförslag	138
11.1	Förslag på kompletteringar	138
11.2	Förslag på forskning och utveckling	138
12	Referenslista	140
Bilagor	147	
Bilaga 1 - Arbetsmedlemmar	147	
Bilaga 2 - Terminologi	148	
Bilaga 3 - Checklista för vistelse i tunnel (SVOA)	151	
Bilaga 4 - Käppalaförbundets rutin för arbete i tunnel	156	
Bilaga 5 - Tunnelföreskrifter inom Göteborgsregionen	158	
Bilaga 6 - VA-projekt, inspektion av förbindelseledningar förlagda i och mellan tunnelsektioner	167	

Sammanfattning

Rapporten sammanställer kunskap och erfarenheter från genomförda och pågående VA-tunnelprojekt i Sverige och andra länder. Den går igenom projektprocess, tillstånd, tunneldrivningsmetoder, olika typer av hydrauliska tunnlar och förutsättningar, riskhantering, installationer, arbetsmiljö, drift och underhåll, samt livscykelkostnadsanalys för VA-tunnelprojekt.

Städerna växer och förtätas, och kraven är höga på vatten- och avloppshantering. Vattenvolymererna är stora, och det är ont om utrymme i gator och yttlig mark. Det här gör att tunnlar kan komma att bli ett alltmer attraktivt alternativ till konventionella ledningsnät. Dokumentationen kring de tunnlar som redan byggts har hittills varit spridd och knapphändig. För att råda bot på det har projektet samlat den erfarenhet och kunskap som finns kring VA-tunnlar i en rapport som har tagits fram genom samarbete mellan ett antal VA-bolag och konsulter, och med projektledning från Sweco.

I rapporten menas med VA-tunnel ett konstgjort underjordiskt distributionsled för spillvatten, dagvatten eller råvatten för dricksvattenproduktion, men inte VA-ledningar i marken. Huvudfunktionen för hydrauliska tunnlar är att transportera vatten mellan två punkter, men de kan också användas till utjämning, magasinering och avsättning. Vattenförande tunnlar kan vara antingen torra eller våta. I en torr tunnel leds vattnet genom inhängda rör.

Rapporten speglar olika aspekter som påverkar tunnelprojekt från utredning till drift, bland annat projektprocess, tillstånd, tunneldrivning, riskhantering och arbetsmiljö. Sex arbetsgrupper av erfarna ingenjörer och tekniker inom sex teknikområden har arbetat med att ta fram informationen via kontakt med tunnelägare och sakkunniga inom branschen samt via litteraturstudier. De sex teknikområdena har varit hydraulik och hydrologi, VVS och instrumentation, berg, geoteknik och geohydrologi, konstruktion och betong, drift och underhåll, samt juridik, ekonomi och tillstånd.

I ett avslutande kapitel ges förslag på områden där det behövs forskning och utveckling. Exempelvis saknas det i dag fungerande lösningar för kommunikation i tunnlar, och det behövs fördjupad forskning kring ventilationslösningar. Vi vet i dag inget om livslängden hos sprutbetong i VA-tunnlar, och det saknas riktlinjer och metoder för hur tillskottsvatten ska kontrolleras. Branschen efterfrågar en handbok för dimensionering av VA-tunnlar framtagna av Svenskt Vatten. Slutkapitlet tar också upp förslag på kompletteringar som skulle kunna ingå i en reviderad rapport så småningom. Projektets styrgrupp (Käppalaförbundet, Stockholm Vatten och Avfall, Gryaab och VA Syd) tar gärna emot synpunkter från läsarna.

Rapporten riktar sig främst till beställarledet som stöd i projektplanering och upphandling av konsulter och entreprenörer, men den kan också vara av intresse för övriga som arbetar med VA-tunnlar.

Summary

Due to the urbanization and densification of our cities, with high demands on water and wastewater treatment and limited space in streets and shallow ground, tunnels can become an increasingly attractive alternative to conventional sewer networks.

To facilitate for future tunnel projects, a need for gathering knowledge from existing and now ongoing tunnel projects has been identified. Since documentation of these types of tunnels has so far been widespread and scanty this project aims to compile the current experience and knowledge in one report. The report is based on an inventory of previously and now ongoing work with conveyance tunnels, mainly in Sweden but also abroad. The text aims to reflect various aspects that, by experience, affect tunnel projects, from investigation to operation.

Six working groups within six technical areas have worked on developing the information through contact with tunnel owners and experts in the industry and through literature studies. The work has resulted in a report that goes through the project process, necessary permits, tunnel driving methods, hydraulic conditions, risk management, installations, work environment, operation and maintenance, as well as life cycle design analysis. The result is dependent on the questions that have been asked, the people who participated and the documentation that has become available for the project.

The report concludes with a chapter containing suggestions on areas where a need for research and development has been identified, for example, the development of functioning communication systems and research on ventilation solutions is desired. There are also areas where knowledge exists but have not been possible to cover within the framework of the project. These areas are instead proposed to be included in a possible future report revision. Further comments and suggestions may be made after the report's publication by knowledgeable readers, we encourage that these are being conveyed to someone within the steering group.

Primarily, this record aims to support the customer in project planning phases and procurement of consultants and contractors, but it may also be of interest to anyone who work or are planning to work with convenience tunnels.

1 Introduktion

1.1 Syfte och bakgrund

I och med den ökade urbaniseringen och förtätningen av våra städer spås att VA-försörjningen allt oftare kommer att lösas med stora tunnelinfrastrukturer i framtida exploateringar. De dokumenterade referenser som finns idag för utformning, dimensionering och projektering av undermark-liggande VA-infrastrukturer är spridda och relativt få. Därför var projektets mål att belysa viktiga aspekter och sammanställa erfarenheter av aspekter som rör VA-tunnlar i denna rapport. Förhoppningen var att en samlad bild av den kunskap och erfarenhet som i dagsläget finns om VA-tunnelprojekt, från utredning till drift, därmed kunde delges till intressenter. Projekt rapporten blir en kunskapsinventering av tidigare och nu pågående VA-tunnelprojekt i syfte att underlätta och förbättra arbetet i nuvarande och kommande projekt.

Målet ska uppnås genom framtagande av en rapport som:

- Går igenom erfarenheter från projektprocessen.
- Sammanställer kunskap och erfarenhet från olika teknikområden samt detaljer inom områden där sådan i dagsläget saknas (främst VA-aspekterna).
- Visar på ekonomiska aspekter för vad en tunnel kostar under sin livslängd, Life Cycle Cost (LCC).

1.2 Målgrupp och tillämpningar

Rapporten riktar sig främst till beställarledet som stöd i projektplanering och upphandling av konsulter och entreprenörer, men den kan även vara av intresse för övriga som arbetar/kommer att arbeta med VA-tunnlar.

Läsaren behöver inte nödvändigtvis gå igenom rapporten från pärm till pärm, utan kan fokusera på de delar som är intressanta för denne i respektive projektskede. Observera att rapporten inte är en handbok, inte heller en rapport med riktlinjer, utan snarare en inventering av nuvarande kunskap och erfarenheter kring de moment och teknikområden som berörs i VA-tunnelprojekt.

1.3 Omfattning

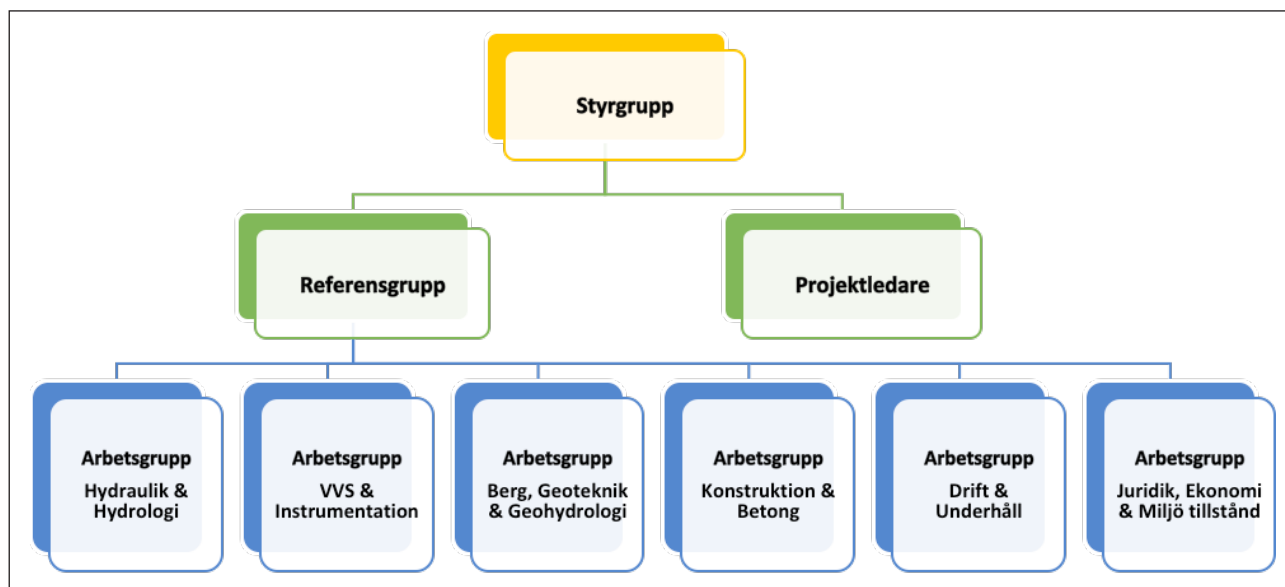
Rapporten baseras på samlad erfarenhet och kunskap av tidigare och nu pågående arbeten med VA-tunnlar i Sverige och utomlands. Någon vedertagen definition på vad som definieras som VA-tunnlar finns inte. Med VA-tunnlar avses i denna rapport ett konstgjort underjordiskt distributionsled för spillvatten, dagvatten eller dricksvatten (råvatten), dock ej VA-ledningar i mark. Områden där det redan finns utförlig dokumenterad kunskap beskrivs övergripande med hänvisningar till mer detaljerade källor.

Projektet omfattar:

- Genomgång av erfarenheter från projektprocessen
- Genomgång av tillståndsprocessen
- Kunskapsåterföring för spill-/dag-/kombinerade och dricksvattentunnlar med självfall
- Sammanställning av kunskap och erfarenhet från olika teknikområden som berör ovan nämnda VA-tunnlar så som konstruktion, geoteknik, hydraulik, VVS och instrumentation
- Förslag på metoder för riskhantering
- Kunskap och erfarenheter kring arbetsmiljö, drift och underhåll
- Redovisning av ekonomiska aspekter för vad en tunnel kostar under sin livslängd, Life Cycle Cost (LCC)
- Förslag på områden i behov av vidare utveckling och/eller forskning

1.4 Arbetssätt

Arbetet har utformats baserat på kunskapsinsamling och erfarenhetsåterföring i sex teknikområden med tillhörande arbetsgrupper enligt Figur 1-1. Resultaten från arbetsgrupperna redovisas sedan i rapportens elva kapitel.



Figur 1-1 Projektorganisation med styrgrupp, referensgrupp, projektledning samt sex arbetsgrupper inom respektive teknikområde.

Rapporten har huvudsakligen tagits fram genom arbetsgruppernas egna kunskaper samt insamling av kunskap från sakkunniga i branschen och tunnelägare. De sakkunnigas som kontaktats för intervjuer har blivit rekommenderade av styrgruppen. Resultatet är beroende av de frågor som ställts, de personer som medverkat samt det underlag som blivit tillgänglig för projektet. Erfarenheterna har inte värderats mot varandra. Texten är en sammanställning av erfarenheter av VA-tunnlar för olika aspekter från

utredningsskede till drift där läsaren själv får avgöra vilka delar hen vill ta till sig.

Samtliga medverkande presenteras i bilaga 1.

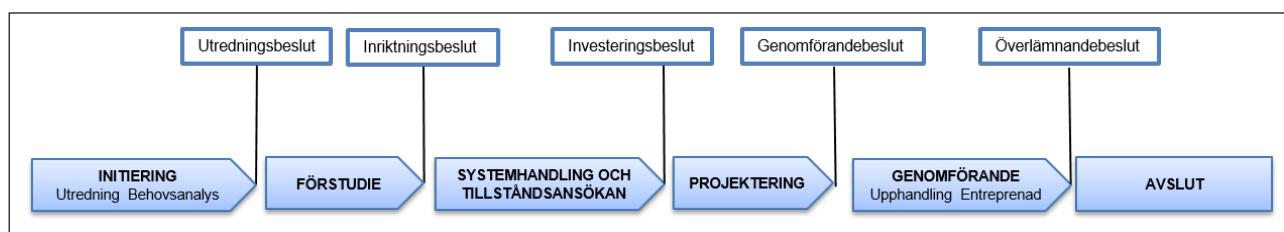
2 Projektprocessen

Projektprocessen definierar projektets olika faser och steg och syftet är att den ska stödja utvecklingen av ett gemensamt arbetssätt kring prioritering, planering, inrättande och avslutande av projekt.

Nedan beskrivs övergripande ett exempel på en projektprocess. En projektprocess kan även vara uppbyggd på andra sätt.

Strukturen i detta kapitel följer projektprocessen som visas i Figur 2-1, och är uppdelad i olika faser/steg med beslut som tas före inträde till nästa.

Erfarenheter från projektets arbetsgrupper finns redovisade efter varje steg.



Figur 2-1 Projektprocess som den beskrivs i kapitel 2-2

2.1 Initiering/ behovsanalys

En förutsättning i början av projektprocessen är att det har konstaterats att det finns en försörjningsproblematik. Underlag för utredningsbeslut tas fram och förslag på mål och syfte för projektet formuleras.

2.1.1 Utredningsbeslut

Inför nästa fas fattas beslut om utredning.

2.2 Förstudie

Syftet med förstudien är att den ska fungera som underlag för ett inriktningsbeslut. En förstudie visar med låg detaljnivå vilken lösning som bedöms mest fördelaktig utifrån ekonomiska, tekniska, miljömässiga och sociala perspektiv. I en förstudie bör flera alternativ utredas. Målet är att på en övergripande nivå ta fram den för sammanhanget bästa lösningen. I inledningen av förstudien fastställs även mål och syfte för projektet. Dessa behöver även vara väl förankrade hos beslutsfattare och projektorganisation. Mål och syfte kan även revideras under projektets gång beroende på ny information som framkommer.

En förstudie kan bestå av flera utredningar med fördjupningar inom specifika frågor. I listan nedan framgår de aktiviteter som kan vara aktuella att klargöra i en förstudie för tunnelprojekt, i enklare utredningar kan dessa vara färre. Det finns dock inga bestämmelser som anger vad som ska ingå i en förstudie.

Om det kräver att flera aktörer är med i beslutsprocessen för att projektet ska kunna slutföras så studeras också det i denna fas.

Tekniska aspekter. Teknisk lösning studeras för respektive utredningsalternativ. Exempel kan vara val av arbetsmetod vid tunneldrivning, val av teknisk lösning med hänsyn till drift- och underhållsperspektiv.

Ekonomiska aspekter. Anläggningskostnads kalkyl och drift- och underhållskostnader samt avskrivningstider/kostnader tas fram.

Risikanalys. En riskanalys tas fram. En riskanalys bedömer sannolikheter för olika oönskade händelser och dess konsekvenser. Med det som underlag kan beslut tas om åtgärder vidtas i syfte att minimera dessa risker. Se även kapitel 7.

Val av sträckning/lokalisering. Sträckning studeras och en grov lokaliseringstudering görs.

Genomförandetid. En genomförandetidplan tas fram för respektive alternativ. I en genomförandetidplan är det bra om det även framgår tider för beslutsprocesser, tillståndprocesser och markåtkomstprocesser. Dessa är lätt att underskatta. Se exempel i Figur 2-2.



Figur 2-2 Exempel på genomförandetidplan

Genomförande. Beskrivning av genomförandefasen. Förslag på entreprenadform tas fram.

Livscykelkostnadsanalys. En livscykelkostnadsanalys utförs. Se även kapitel 10.

Miljöriskanalys. Miljöriskanalys utförs. Den kan omfatta:

- Miljöriskbedömning
- Miljöriskkommunikation
- Miljöriskhantering

Tillståndstillsynsbehov och rådighet över mark och vatten. Behov av nödvändiga tillstånd och rådighet för mark utreds. Se mer i kapitel 3.

Analys av samhällsnytta och samhällsutveckling. Utredning av alternativets samhällsnytta och hur det förhåller sig till samhällsutvecklingen.

Besluts- och förankringsprocess för projektet. I tidigt skede reds ut vilka beslut som behöves och när och av vilka myndigheter och befattningshavare för att förankra projektet och dess finansiering. Gäller så väl informellt som formellt.

Analys av alternativ. Här beskriv genomförda aktiviteter och slutsatser som dragits utifrån detta.

Förslag på lösningsalternativ till nästa steg. Beslutsunderlag för rekommendation av alternativ tas fram inför inriktningsbeslut.

2.2.1 Inriktningsbeslut

Inriktningsbeslut tas för vilket alternativ som studeras vidare i nästa fas; Systemhandling och tillståndsansökan.

2.2.2 Erfarenheter

Följande delar/detaljeringsgrad rekommenderas vid upprättande av förstudie:

- I förstudien bör preliminär tunneldragning bestämmas, alla anslutande vattenflöden lokaliseras och placering av deras anslutningar bör preliminärt bestämmas. De regnserier som tunneln ska dimensioneras för bör tas fram om tunneln ska ta hand om dagvatten. Utifrån ovanstående information dimensioneras tunnelns storlek, självrensning och tunnelltutning. I detta skede bör även en grov layout göras för eventuella pumpstationer (inkluderar att pumparnas lyfthöjd tas fram, pumpar dimensioneras, åtkomst- samt elbehov ses över).
- I lokaliseringsstudien inventeras t.ex. arkivdata från Trafikverket, Geoarkiv, SGU etc. för att ge underlag för storskaliga bedömningar avseende de geotekniska och bergtekniska förutsättningarna för olika alternativ, samt vilka tänkbara geotekniska utmaningar som kan föreligga och behöver utredas vidare. Alternativa sträckningar för att undvika områden med dålig bergtäckning eller dålig bergkvalitet bör kontrolleras tidigt i projektets utredningsfas, även om detta innebär en längre tunnel.
- Utredning av alternativ bör sträva efter långsiktigt ekonomiskt och tekniskt optimala och genomförbara lösningar och minimerande av risker. Förväntad omgivningspåverkan (bl.a. med avseende på vattenverksamhet, buller och vibrationer) kan ge input kring alternativa lösningar. Exempelvis kan fullortsborrade tunnlar visa sig fördelaktiga

i dessa fall då tunneldrivningen inte orsakar buller och vibrationer i någon större omfattning (mer om tunneldrivning i kapitel 4).

- Arbetsmiljön i tunneln är en aspekt som ofta glöms bort i tidiga skeden i planeringen. En rekommendation är att driftpersonal inkluderas tidigt, helst redan vid förstudien, men senast i projekteringsfasen. Den insyn och erfarenhet som driftpersonal har gällande vad som krävs för att en tunnel ska kunna skötas säkert och effektivt saknas i många fall hos de som projekterar. En annan generell erfarenhet från drift och underhåll som bör tas hänsyn till redan i tidigt skede är att tunneln bör dimensioneras med marginal för att underlätta för inspektion. När tunneln redan är byggd är det försent att ändra utformningen till fördel för drift och underhåll. Även säkerhet och tillgänglighet för driften ska behandlas i projektets början. Utför en översiktlig undersökning som inkluderar inventering av tidigare utförda undersökningar, geologi samt befintliga berganläggningar, inkl. grundvattenberoende skydds/riskobjekt och säkerhetsklassade anläggningar etc. Korsande såväl som närliggande tunnlar och undermarksanläggningar behöver kontrolleras tidigt i processen eftersom dessa kan påverka linjedragningen och innehålla känslig utrustning som ställer höga krav på maximalt tillåtna rörelser och/eller maximalt tillåtna vibrationer från t.ex. sprängningar. Även ägarförhållanden måste beaktas. Sammanställningar av kunskap och tidigare genomförda undersökningar med avseende på berg, geologi och hydrogeologi är viktiga och normalt sett värt att lägga ner tid och resurser på. Med detta underlag kan i regel utredningskorridoren minska inför utförande av geotekniskt fältarbete, vars omfattning succesivt kan behöva kompletteras efter uppdragsprocessens behov och ändamål. Mer om geologiska och hydrogeologiska undersökningar finns i kapitel 4.2.
- Fältundersökningar påbörjas med undersökningar av berg och jord längs korridoren. Områden med berg i dagen undersöks med avseende på bergart, sprickor och sprickzoner samt bergkvalitet. Inläckande vatten ska förutses. Den geotekniska komplexiteten varierar från fall till fall och detaljeringsgraden intensifieras i och med uppdragsprocessens framskridande. I ett tidigt skede är det viktigt att tänka på de geotekniska riskerna med de alternativ som föreligger för planerad tunnelsträckning och dess övergång mellan jord och berg, etc. Övuntade geologiska inslag kan också resultera i problem eller risker för personal.
- Där miljöfrågor är väsentliga kan grundvattenanalyser (se kapitel 4.2) ha en stor påverkan i projektet. Genomförbarheten av ett projekt kan i princip bero på möjligheten att visa att det inte ger upphov till någon direkt påverkan på det hydrologiskt rådande systemet.
- En någorlunda korrekt uppfattning om storleken på tunneln och inte minst dess höjd bör tas fram. Äldre VA-tunnlar har ibland en mycket liten sektion, ca $2,5 \times 2,5 \text{ m}^2$, men i dag byggs endast tunnlar med större sektion. Exempel från Trollhättans VA-tunnlar som framförallt byggdes ut under 60- och 70-talet visas i Figur 2-3 (Holmberg och Sjödal, 2015). Skälet till att tunnarlarna är betydligt större idag beror på den större utrustning för borrar och utlastning som numera används.

Utrustningen kräver även utrymme till bättre ventilation under byggtiden. Grovt räknat är dagens tunnlar knappast mindre än 20 m² i tvärsektion. Kostnaden per löpmeter spräng tunnel blir oftast som lägst vid tvärsektioner runt 20 m².



Figur 2-3 Sprängd tunnel som byggdes på 60-70-talet (Holmberg & Sjö Dahl, 2015).

2.3 Systemhandling och tillståndsansökan

Syftet med systemhandlingen är att vara ett tekniskt och ekonomiskt beslutsunderlag för den planerade investeringen, men även utgöra underlag till tillståndsansökningar (se kapitel 3) och ledningsförrättningar. En systemhandling visar med medeldetaljnivå utformningen av det alternativ som fastställts i förstudien. Den tekniska lösningen ska dock beskrivas så detaljerat att det inte råder något tvivel om att projektet kan genomföras. En systemhandling kan även utgöra underlag för framtagande av förfrågningsunderlag för en totalentreprenad eller detaljprojektering inför en utförandeentreprenad.

I systemhandlingen klargörs alla de tekniska systemen som ingår i anläggningen samt hur de samverkar.

Under systemhandlingsarbetet sker även mer detaljerade beräkningar av hydraulik och process liksom klargörande av andra tillkommande åtgärder (t.ex. påverkan på vägar, broar, byggnader, el & styr).

Systemhandlingen ska också visa vilket utrymme i terrängen som anläggningen och entreprenadarbetena kommer att ta i anspråk och kan ligga till grund för exempelvis ledningsförrättning och tillståndsansökan.

Det finns inga bestämmelser som anger vad som ska ingå i systemhandling, men följande moment är exempel på vad som bör utföras i detta steg:

Teknisk lösning. Projektering av lösning (system) tas fram.

Entreprenadform och entreprenadindelning. Val av entreprenadform/er och entreprenadindelning utreds inför framtagande av förfrågningsunderlag och detaljprojektering.

Val av sträckning/lokalisering. Fördjupad lokaliseringsutredning utförs.

Ekonomiska aspekter. Anläggningskostnads kalkyl och drift- och underhållskostnader samt avskrivningstider/kostnader uppdateras.

Risikanalys. Arbetet med riskanalys fortsätter.

Genomförandebeskrivning. Genomförandebeskrivning uppdateras.

Genomförandetid. Genomförandetidplan uppdateras.

Livscykelkostnadsanalys. Livscykelkostnadsanalys uppdateras, se kapitel 10.

Underlag till tillståndsansökan. Se kapitel 3.

Systemhandling. Systemhandling upprättas.

Underlag för investeringsbeslut. Underlag för investeringsbeslut för att gå vidare till nästa skede tas fram.

2.3.1 Investeringsbeslut

Investeringsbeslut fastställer systemhandlingens lösning och beslutar om att gå vidare till nästa steg inom de ramar som tagits fram avseende budget och tid för projektering och för hela projektet. Beslut om entreprenadform och entreprenadindelning fattas.

2.3.2 Erfarenheter

- Följande delar/detaljeringsgrad rekommenderas bland annat erfarenhetsmässigt vid upprättande av systemhandling:
- I detta skede bör linjeval och metodik (utförande, teknisk beskrivning, byggbarhet) fastställas.
- Tekniska lösningar, restriktioner och kostnader redovisas. Utformningsförslag samt tolkade geotekniska förhållanden upprättas. Teknisk Beskrivning (TB), PM Hydrogeologi, Markteknisk undersökningsrapport (MUR), PM geoteknik, PM Berg, Injekterings-PM och anläggningskostnads kalkyl tas fram.
- Resultat från fältundersökningar vid projektkritiska punkter bör analyseras. Fältundersökningarna krävs för att kunna beskriva förutsättningar och bedöma utförande och påverkan samt rådge kring juridik. Fältundersökningar kan vara tidskrävande på grund av myndighetskrav, därför ska de planeras för och utföras tidigt och i tillräcklig omfattning för att inte föranleda förseningar i uppdragsprocessen. Mer om geologiska och hydrogeologiska undersökningar finns i kapitel 4.2.

- Riskområden och komplicerade passager måste undersökas för att undvika överraskningar senare. Dessa områden bör, som minimum, vara preliminärt verifierade med en metodbeskrivning och, i vissa fall, dimensionerade med en preliminär beräkning. Kravet i en systemhandling är att byggbarhet ska vara verifierad samt att en kalkyl med rimlig noggrannhet ska kunna upprättas. Detta innebär att komplicerade och ovanliga bygghandlingar bör vara verifierade i en systemhandling. Detaljerna kan därefter utredas och utformas i bygghandlingen.
- En mängdförteckning som kan prissättas bör upprättas. Mängdförteckningen för bergdelarna kan t.ex. utformas som en förenklad mängdförteckning (MF) enligt AMA, innehållande de poster som är mest kostnadsdrivande. Det innebär att den minst bör innehålla volymbergschakt, preliminär mängd bergförstärkning i form av bergbult och sprutbetong samt mängd förinjektering i form av antal borrhål och borrhåld. Partier med specialförstärkning mängdas separat. En framdriftsprognos för tunneldrivningen kommer att behöva upprättas. I detta skede är det lämpligt att ta fram en typförstärkning för tunnarna, d.v.s. en förstärkning som ska täcka in de vanligaste fallen. Den bör omfatta alla förekommande spännvidder och höjder för tunnarna i systemet samt de bergförhållanden där bergförstärkning av bergbult och sprutbetong är tillräcklig.
- En sprängteknisk riskanalys bör tas fram under systemhandlingen. I den redovisas kraven på maximala vibrationer och buller längs tunnelsträckan. Därefter görs en analys av hur dessa krav påverkar framdriften av tunneln, t.ex. om sprängsalvorna måste anpassas på vissa sträckor (sträckorna bör även redovisas senare i bygghandlingen).
- Krav på utförande i jord-bergskärning, bedömda inläckagemängder och pumpning utreds på (minst) översiktlig nivå. Grundvattenrör installeras i jord (i väl valda lägen med avseende på vad som ska byggas, samt identifierade grundvattenberoende skyddsobjekt) och mätningar påbörjas redan tidigt så att underlag finns till nästa skede.
- Förbered för framtida anslutningar. Det krävs ofta en nisch i väggen/taket vid påbörjningar för att inte minska tunnelarean vid rörsättning. Dessa nischer är tämligen dyra att schakta i efterhand så det är i regel kostnadseffektivt att konstruera dem redan vid produktion av huvudtunnarna. Nischer bör finnas regelbundet, både i tillfartstunnlar (för sand-/bergutlastning) och huvudtunnlar (anslutningar). En storlek av minst 5x5 m² krävs vid tillfartstunnlar.
- Under systemhandlingen uppdateras den hydrauliska dimensioneringen som gjordes under förstudien och justeras efter eventuella nya förutsättningar. Under detta skede bör den hydrauliska dimensioneringen i stort sett vara klar. I de hydrauliska beräkningarna bör det framgå var och när bräddning sker. Nivån för när en tunnel går full ur ett driftperspektiv bör tas hänsyn till vid dimensioneringen så att tunneln är driftbar under hela sin livslängd.

- För drift och underhåll är radonrisken, halter av svavelväten och effekter av dålig ventilation aspekter att tänka på tidigt vid utformningen. Svavelväte uppkommer i samband med sedimentation, för att minska mängden svavelväten bör därför sedimentering i tunnarna minimeras alternativt begränsas till väl valda platser där driftpersonal normalt inte vistas. Utöver arbetsmiljön bör behovet av utrymme för lift/ar i tunneln utredas.
- I systemhandlingen ska tillfartsvägar, tillfartstunnlar och eventuella utrymningsschakt m.m. vara klarlagda. De behöver även vara utredda med avseende på nivå så att dämning innan bräddning kan ske kontrollerat vid katastrofstopp.
- En studie om partikel- och luktspridningsbilden i området där avluften placeras bör genomföras. Beroende på systemval av ventilationslösning innebär det olika behov av markanläggningar för avluften, till exempel skorsten eller biofilter. Om till exempel en skorsten måste användas måste den krävda höjden vara tillåten i området. Användandet av tunneln för magasinering/bräddning bör beaktas, då placeringen av och antalet frånluftsfläktar påverkas.

2.4 Projektering - framtagande av förfrågningsunderlag

I detta skede tas förfrågningsunderlag fram för önskade entreprenader.

Syftet med förfrågningsunderlaget är att utifrån byggherrens önskemål ta fram handlingar för att entreprenörer ska kunna kostnadsberäkna genomförandet av projektet, så kallat kalkylerbart underlag. Normalt är denna kostnadsberäkning konkurrensutsatt varför tydliga underlag är avgörande för en korrekt och rättvis upphandling. Ett förfrågningsunderlag kan ha varierande detaljeringsnivå beroende på val av kontraktsform.

Ett förfrågningsunderlag inbegriper både administrativa dokument, olika former av beskrivningar liksom ritningar. Kombinationen och helheten av dessa underlag är avgörande för hur väl projektet beskrivs och ramas in.

I detta skede görs bland annat:

Förfrågningsunderlag. Förfrågningsunderlag tas fram.

Genomförandetid. Genomförandetidplan uppdateras.

Ekonomiska aspekter. Uppdatering av anläggningskostnads kalkyl och drift- och underhållskostnader samt avskrivningstider/kostnader tas fram.

Risikanalys. Arbete med riskanalys fortsätter.

Genomförandebeskrivning. Genomförandebeskrivning uppdateras.

Underlag för genomförandebeslut. Underlag för genomförandebeslut för att gå vidare till nästa skede tas fram.

2.4.1 Genomförandebeslut

Beslut tas att upphandling av entreprenör inleds och att entreprenör kontrakteras.

2.4.2 Erfarenheter

Följande delar/detaljeringsgrad rekommenderas vid upprättande av Förfrågningsunderlag, FFU. Normalt är entreprenadformen utförandeentreprenad för bergarbeten, AB04:

- Krav på t.ex. tätning/injektering, utförande i jord-bergskärning, bedömda inläckagemängder och pumpning utvecklas.
- Övervakning och kontrollprogram för vatten tas fram. Omgivningspåverkan med avseende på grundvattenavsänkning, inläckagemängder, läns hållningsmängder, vattenkvalitet, hantering av läns hållningsvatten och släpp till recipient specificeras.
- Underlag för utförande av entreprenad framställs. Eventuella förändringar från föregående skede klarläggs.
- Riskanalys och kontrollprogram avseende geoteknik och grundläggningsarbeten genomförs.
- Objektspecifika mät- och ersättningsregler (OMER): Avvikelser från Mät- och ersättningsregler, (MER) anges här i Administrativa Föreskrifter (AF).
- Teknisk beskrivning och mängdförteckning kompletteras med lokala föreskrifter
- Kontrollprogram Berg tas fram. Troligen ”normala” kontroller för bergtunnlar och utökade kontroller i kritiska områden.
- Detaljerade geotekniska, bergtekniska och mättekniska undersökningar utförs, i synnerhet vid projektkritiska punkter samt vid övergångar mellan jord och berg. Tillräckligt underlag för upprättande av förfrågningsunderlag ska tillhandahållas.
- I detta skede dimensioneras de övriga delarna av tunnelsystemet som inte faller under typförstärkningen, som t.ex. stora spännvidder, närhet till andra anläggningar, mycket dåliga bergförhållanden eller delar med liten bergtäckning. I många fall sammanfaller dessa områden med s.k. GK3-områden, där en oberoende granskare ska utses av beställaren/byggherren.
- Under detaljprojekteringen bör den hydrauliska dimensioneringen göras klar tidigt för att geotekniker, konstruktörer m.fl. ska kunna detaljprojektera sina delar. Det är viktigt att inte sänka de hydrauliska kraven och den dimensionering som gjorts. Större ändringar i hydraulisk dimensionering som görs i detta skede måste dokumenteras noga och tas upp med hela projektgruppen.

2.5 Genomförande

Syftet med detta skede är att handla upp entreprenör och sedan bygga anläggningen och driftsätta den. Detta skede är normalt den mest omfattande och kostnadstunga fasen i projektet.

I detta skede sker bland annat följande moment:

- Upphandling av entreprenör
- Upprättande bygghandlingar
- Fortsatt arbete med riskanalyser
- Byggnation
- Upprätta förvaltningsdokumentation
- Driftsättning
- Slutbesiktning

2.5.1 Överlämnandebeslut

Överlämnandebeslut innebär beslut om att överlämna anläggning till förvaltande enhet.

2.5.2 Erfarenheter

Följande delar/detaljeringsgrad rekommenderas vid detta skede:

- Besiktning av berg genomförs.
- Kontrollprogram (grundvatten, sättningar, etc.) följs upp. Behov av geoteknisk byggplatsuppföljning för att övervaka entreprenörens arbete och lösa eventuella problem på plats.
- I många fall kan modeller ersätta ritningar för t.ex. långa sträckor av tunnlar med samma sektion. Ritningar behövs dock fortfarande om schaktetapper, förstärkningens utformning, injekteringsdesign etc. ska beskrivas.
- Om tunneln kommer att innehålla installationer bör förbesiktningar övervägas av bergarbetet. Det är komplicerat att komplettera dessa arbeten när installationerna väl är på plats.
- Upprättande av relationshandlingar för bergarbeten måste starta i god tid innan dessa arbeten är avslutade och bör bedrivas parallellt med att arbetet utförs. Praxis bör vara att den ansvarige geologen för in sin kartering och entreprenörens utförda förstärkning kontinuerligt.
- Under byggtiden bör konstruktören delta vid granskning av erhållna handlingar från entreprenören
- Förstärkningen bör anpassas till variationer i marken.
- Innan en underjordsanläggning godkänns kan tester, t.ex. hydrostatiskt test krävas.
- För att underlätta drift och underhållsarbetet efter nybyggnation av en tunnel bör tydliga referenspunkter anges i ett tidigt skede. Innan tunneln tas i drift bör inmätningar genomföras, även filmning och 3D-skanning av tunneln rekommenderas. Korrekt genomförd filmning

möjliggör att tunnelskanningar i framtiden kan göras automatiserat vilket gör det lätt att upptäcka förändringar. Dokumentera även eventuella zoner som är extra viktiga att hålla under uppsikt. Ordentlig dokumentation behövs för framtida underhåll av tunnlarna, men det saknas ofta i befintliga tunnlarna.

- Tunnlarna kan vara säkerhetsklassade så att information och tillgänglighet om tunnelns läge är begränsad till få personer vilket gör att inmätning och dokumentering försvåras. Det krävs tillräckligt med godkänd personal som kan hantera denna typ av information. Upprätta goda kontakter och utarbetade rutiner med stadsbyggnadsansvariga m.fl. med avseende på vetenskap om hemliga/sekretessbelagda objekt för att underlätta processen.
- Ordentlig dokumentation kan bli kostsamt i initialskedet, men informationen från inmätningar, 3D-skanning och referenspunkter underlättar planering av de underhållsåtgärder som bör göras under hela tunnelns livscykel. Underhålls- och driftarbetet blir då både tidsmässigt och ekonomiskt effektiva, vilket ger minskade kostnader i LCC-perspektiv.

2.6 Avslut

Efter genomförandefasen överlämnar projektet anläggningen till den enhet som kommer förvalta den och projektet avslutas.

3 Tillstånd, planer och rådighet

3.1 Tillstånd relativt andra planeringsunderlag

Tillståndsprövsprocessen för vattenverksamhet sker integrerat med övriga processer i planeringen av en tunnel. Tillståndsprövsprocessen ska leda fram till en ansökan till domstol och slutligen en dom, ett tillstånd. Att bryta mot villkoren i tillståndet som har beslutats är ett miljöbrott. För att projektet ska lyckas krävs ett tätt samarbete och en förståelse mellan olika teknikområden, projektering, produktionsplanering med flera. Brister i kommunikation eller förståelse i tidigt skede kan leda till dyra omtag och akuta suboptimala lösningar i senare skede. Tillståndsprövsprocessen är alltså inte en process som löper parallellt med övrig projektering utan är en del av denna då tillståndsansökans olika delar hämtar sitt innehåll från, eller ger underlag till, systemhandling och detaljplan.

Tillståndsprövsprocessen måste få ta tid. Den ska förstås hos både konsulten och beställaren och samordnas med övriga teknikområden. Den ska också göra projekteringen förståbar för sakägare, tillsynsmyndigheter och miljödomstol. Ett exempel på hur flera teknikområden hänger ihop är avseende injektering. Informationen om de tekniska möjligheterna till injekterings-täthet kommer från bergundersökningarna och kommuniceras vidare in i organisationen. Om det planeras för en omfattande injektering, istället för en normal, är påverkan på grundvattennivån i omgivningen mindre. Detta har positiva effekter på omgivningspåverkan, men en omfattande injektering kostar dock tid för arbetet (produktionsplanering) och pengar för tiden och materialet, se Tabell 3-1.

Tabell 3-1 Exempel på hur ett flertal olika teknikområden berörs av beslut om injekteringstäthet.

Område	Omfattande injektering	Normal injektering
Produktionsplanering/Tid	Tar längre tid	Tar kortare tid
Material	Mer material	Mindre material
Ekonomi	Dyrare p.g.a. mer tid och material	Billigare p.g.a. mindre tid och material
Grundvattennivå	Mindre inläckage, mindre påverkan på omgivningen	Mer inläckage, mer påverkan på omgivningen
Ansökan	Mindre komplicerad	Mer komplicerad
Naturmiljö	Mindre risk för påverkan på grundvattenberoende ekosystem	Större risk för påverkan på grundvattenberoende ekosystem
Kontroll efteråt	Krav på att det verkligen är tätt	Det är beräknat för att inläckage och har projekterade ytor för att ta hand om det
Klimatpåverkan	Mer material och transport av mer material, mer CO ₂	Mindre material och transport av mindre material, mindre CO ₂
Berg	Möjlighet beroende på bergkvalitet	Möjlighet beroende på bergkvalitet

En tunnel innebär permanent grundvattenbortledning om inte tunneln är 100 % tät. Permanent grundvattenbortledning betraktas juridiskt som en vattenverksamhet och det är tillståndspliktigt enligt Miljöbalken 11 kapitel om Vattenverksamheter. Är tunneln belägen i tätbebyggda områden är det vanligt att ansökan även omfattar en prövning enligt 9 kapitlet (Mil-

jöfarlig verksamhet). I ett inledande skede bör antas att detta vanligen rör buller, vibrationer, stomljud och i vissa fall hantering av processvatten vid tunneldrivning och omhändertagande av bergmaterial. Tillstånd söks hos mark- och miljödomstolen. Det finns mark- och miljödomstolar i Nacka, Vänersborg, Växjö, Umeå och Östersund.

Miljöbalken där vattenverksamhet hanteras, antogs 1998. Innan dess anlades också tunnlar, men rättigheterna är oklara. Allmänna VA-ledningar inryms i ledningsrätt, men det är oklart om en VA-tunnel kan betraktas som en ledning. En studie visar att det råder osäkerheter kring rättigheter för avloppstunnlar, hos både ledningsägare och Lantmäteriet (Holmberg och Sjö Dahl, 2015).

Om en verksamhetsutövare (VU) ansöker och får tillstånd för en tunnel som anläggs med tätinjektering så är det den teknik som måste användas. Att bryta mot tillståndet är ett miljöbrott. En förändrad ekonomi i projektet, eller andra ändrade förutsättningar, får inte orsaka förändringar som bryter mot tillståndet. En tunnel som har ett tillstånd med begränsad grundvattenbortledning som villkor får inte senare projekteras om till en tunnel med en injektering som medför ett större grundvatteninläckage. Projektering, ansökan och produktionsplanering behöver stämma överens innan ansökan lämnas in.

Däremot går det att söka ett nytt tillstånd utifrån nya förutsättningar, men då måste hela processen göras om, med nya indata, samråd och konsekvensbeskrivningar.

När ansökan kommit in till domstol ska den ut på remiss och behandlas, vilket, beroende på belastning hos domstolen, brukar ta ca ett år.

Domen och dess villkor är sedan juridiskt bindande och det är ett miljöbrott att bryta mot dem. Det som står i ansökan samt dess bilagor och underbilagor om hur saker kommer att göras och utföras, vilka gränser och nivåer som kommer att hållas, vilka mängder eller halter som tillåts är bindande.

I kapitel 3.3 *Tillståndsprövningens process* följer en beskrivning av hur tillståndsprövningsprocessen går till samt en bruttolista över vilka underlag som är lämpliga att ha med. Teknisk beskrivning, miljökonsekvensbeskrivning, samrådsunderlag och samrådsredogörelse ska alltid bifogas ansökan, resten är efter eget val. Processen beskrivs utifrån att vattenverksamheten bedöms utgöra betydande miljöpåverkan. Om vattenverksamheten bedöms utgöra icke betydande miljöpåverkan är tillståndsprövningsprocessen mer avskalad. Hur bedömningen sker beskrivs nedan. Den förkortade processen beskrivs nedan, se kapitel 3.4 *Process* om det inte är betydande miljöpåverkan.

Som huvudregel gäller tillståndsplikt för vattenverksamheter enligt Miljöbalken kapitel 11 (SFS 1998:808). Om verksamheten kan påverka ett Natura 2000-område kan tillstånd krävas enligt Miljöbalken kapitel 7. En ansökan om tillstånd för vattenverksamhet prövas av mark- och miljödomstol. I vissa särskilt angivna fall räcker det dock med en anmälan till tillsynsmyndigheten (vanligtvis Länsstyrelsen) innan verksamheten påbör-

jas. I ett enskilt fall och under vissa förutsättningar får tillsynsmyndigheten förelägga en verksamhetsutövare att söka tillstånd (SFS 1998:808) och (SFS 1998:1388).

3.2 Rådighet

För att få bedriva vattenverksamhet ska verksamhetsutövaren enligt lagen (1998:812) med särskilda bestämmelser om vattenverksamhet ha rådighet över vattnet inom det område där verksamheten ska bedrivas. Ansökan ska innehålla uppgift om vad sökandens rådighet grundas på (ägenderätt, servitut, nyttjanderätt eller annan rätt).

Rådigheten är avgörande för att domstolen ska pröva ansökan. Frågan om rådighet hanteras lämpligen tidigt i processen, i syfte att få en konstruktiv dialog med de markägare som kan komma att beröras av vattenverksamheten. Om det blir svårigheter i samtalet med markägarna kan det behövas in en neutral markförhandlare med mandat och erfarenhet av att hantera konflikter.

En VA-tunnel planeras ibland i ett samarbete mellan flera kommuner, där kommunerna kan ha olika drivkrafter och uppfattning kring samarbetet. För tillståndsprövningsprocessen är det avgörande med rådigheten längs hela sträckan för vattenverksamheten, vilket ställer krav på att säkerställa i ett tidigt skede att det finns en samarbetsvilja och en samsyn hos ingående parter.

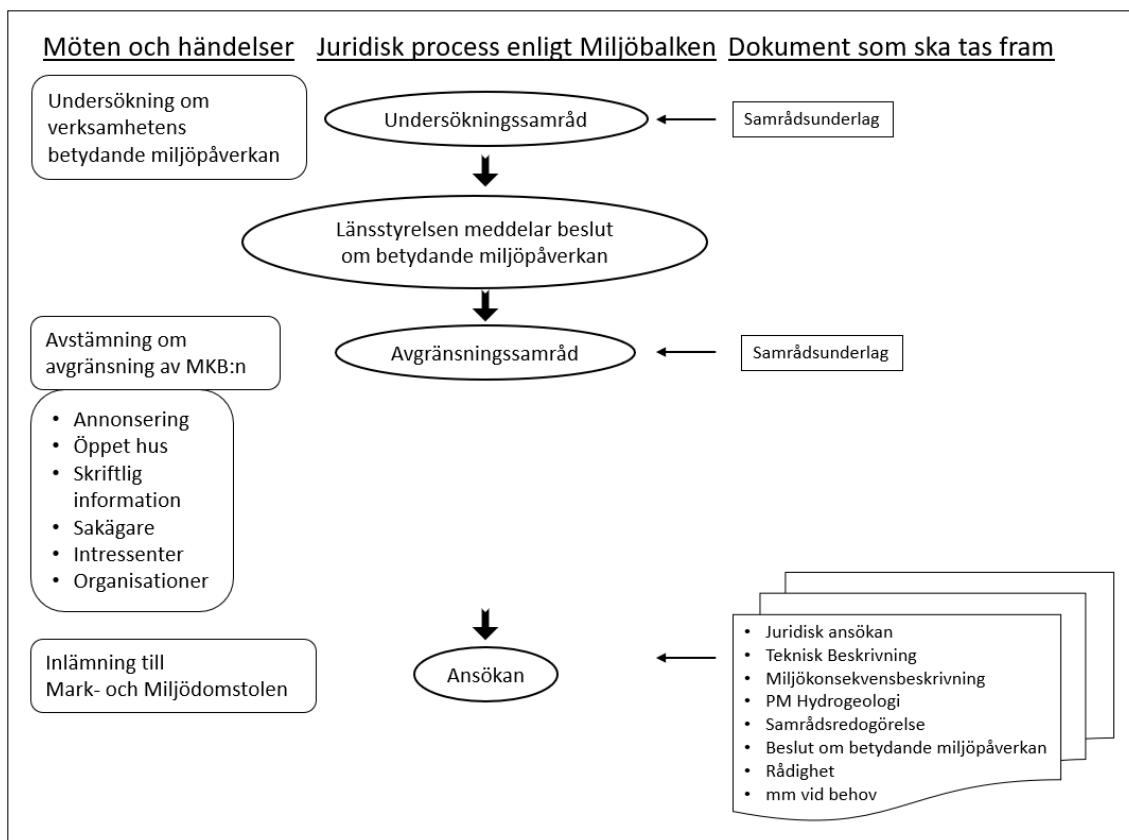
3.3 Tillståndsprövningens process

Miljöbalken ställer krav på hur en tillståndsprövning ska gå till och vilka moment och dokument som ska ingå, se Figur 3-1. Om någon del utförs otillräckligt (t.ex. för snäv samrådsgrupp) kan det anses vara processfel och momentet måste då göras om. I tillståndsprövningsprocessen ingår sedan 2018-01-01 Undersökningssamråd och Avgränsningssamråd. Det finns i skrivande stund ingen praxis om omfattningen och utförandet av dessa. Naturvårdsverket arbetar kontinuerligt fram vägledningar för att bistå verksamhetsutövare, konsulter och myndigheter. Det kan även finnas erfarenheter att dra nytta av från nya domar i mark- och miljödomstolen eller högre instanser.

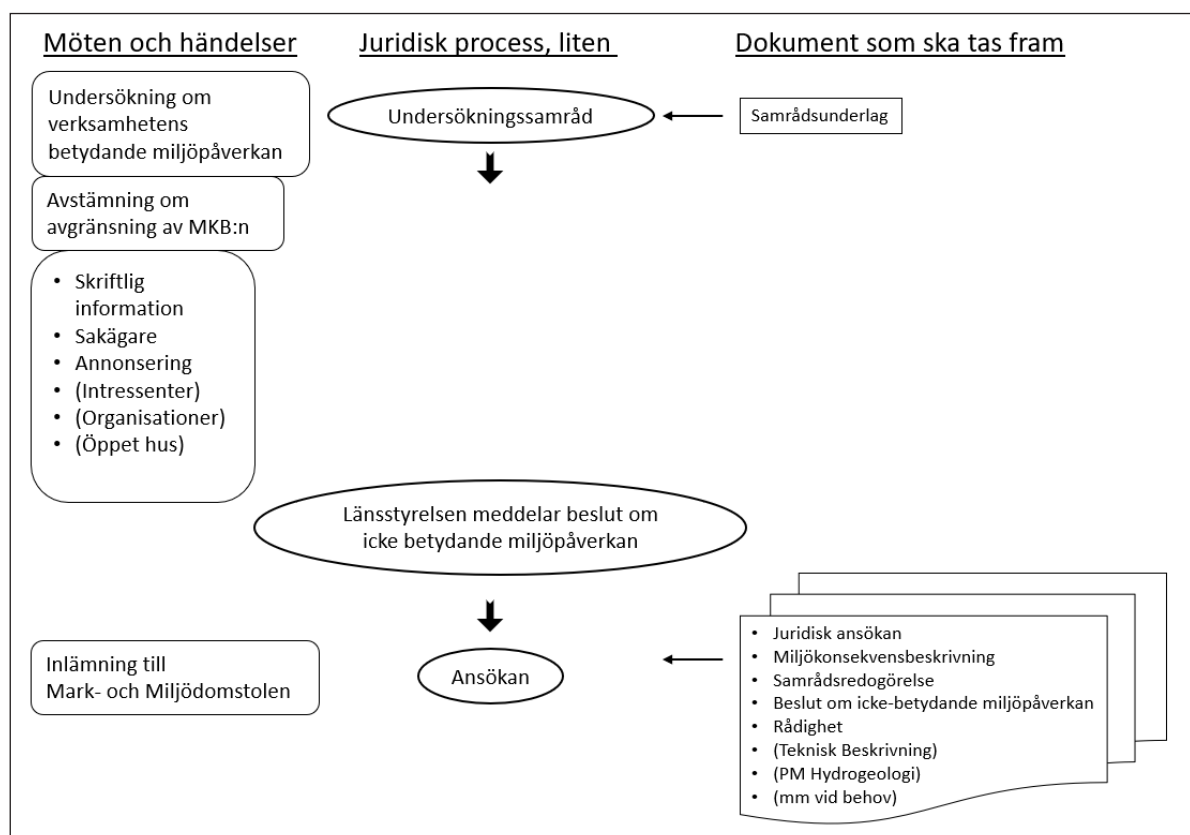
Syftet med den nya formen av miljöbedömning är att det ska bli tydligare krav på vad miljökonsekvensbeskrivningen (MKB:n) ska innehålla och att det endast ska göras en stor MKB vid betydande miljöpåverkan och endast i den utsträckning det är miljömässigt motiverat. Vid en icke-betydande miljöpåverkan ska det också tas fram en MKB, men en liten sådan. Processen för en liten miljöbedömning visas i kapitel 3.4 *Process* om det inte är betydande miljöpåverkan.

3.4 Process om det inte är betydande miljöpåverkan

En liten miljökonsekvensbeskrivning är prövningsunderlaget som tas fram för verksamheter eller åtgärder med begränsad miljöpåverkan. Vad en



Figur 3-1 Beskrivning av tillståndprocessen vid betydande miljöpåverkan.



Figur 3-2 Beskrivning av tillståndprocessen vid bedömd icke betydande miljöpåverkan.

liten MKB ska innehålla är inte preciserat i lagtext, VU är därför friare att anpassa underlaget utifrån vilka miljöeffekter som den planerade verksamheten förväntas medföra.

För att hitta en lämplig omfattning och detaljeringsgrad för en liten MKB kan VU utgå från Länsstyrelsens beslut om betydande miljöpåverkan. Det som i beslutet har angetts tala för och emot att verksamheten ska antas medföra betydande miljöpåverkan ger vägledning för avgränsningen av en liten MKB. Textbasen för en liten MKB kan vara samrådsunderlaget till undersökningssamrådet, eventuellt kompletterat utifrån vad som framkommit i samrådet, Länsstyrelsens beslut samt vad som har framkommit i övrigt efter undersökningen, när det gäller verksamhetens eller åtgärdens planerade utformning och miljöeffekter.

3.5 Startmöte

Ha ett startmöte med alla teknikområdesansvariga, såsom personer som kan projekteringen av planerad tunnel, hydrogeolog och samordnare av miljökonsekvensbeskrivningen och jurist.

På startmötet bör ett antal förutsättningar för projektet vara eller bli klara.

- **Prövningsstrategi**
 - En sparsmakad ansökan med få villkorsförslag och endast det mest nödvändiga beskrivet, som lämnar utrymme för VU att anlägga tunneln inom domens ramar. Risk för att domstolen eller dess remissinstanser kräver kompletteringar i sent skede.
 - En detaljerad ansökan med många villkorsförslag och fylliga beskrivningar som minskar risken för kompletteringskrav senare. Risk för att VU låser fast sig i tekniska lösningar som sedan visar sig inte vara optimala.
 - Det går naturligtvis att ha en kombination av dessa med vissa delar bestämda i detalj och andra öppna. Att göra medvetna och väl underbyggda val om på vilket sätt VU vill att anläggningen ska prövas är centralt för en smidig och effektiv tillståndsprocess.
- **Tidplan**
 - Vilka underlag behöver göras och sedan väntas in för att det ska gå att göra kompetenta konsekvensbedömningar
 - Behövs det fältundersökningar i säsong?
 - Behövs det tidskrävande modelleringar som underlag till bilagor?
 - Framtagning av bilagor till ansökan
 - När ska samråd med Länsstyrelsen och övriga ske?
 - När ska samgranskning mellan olika teknikområden ske?
 - Vilket tidsutrymme finns för att ta fram kompletterande underlag som efterfrågats sent eller i samrådet?
 - Vilket tidsutrymme finns för avstämningar internt och externt?
 - Om rådgivningen är osäker, bedöm tidsutrymme för fastighetsreglering

- Länsstyrelsen kan ha olika lång handläggningstid beroende på belastning, ibland 6–8 veckor, för att t.ex. meddela beslut om betydande miljöpåverkan
- Inlämning till mark- och miljödomstolen
- Tid för process från inlämning av ansökan till dess att domen vinner laga kraft och det går att börja bygga
- Entreprenadform och dess konsekvenser för upplägg av tillståndsansökan
 - Totalentreprenad – Villkorsförslagen går ut på att uppnå vissa kvalitetskrav (t.ex. halter i utgående vatten), men inget om hur kontrollen ska ske. Den tekniska beskrivningen innehåller endast ramarna för tunnelbyggandet.
 - Utförarentreprenad – Villkorsförslagen är mer preciserade, t.ex. hur ofta kontroller ska ske. Den tekniska beskrivningen visar med text, illustrationer och ritningar hur tunneln kommer att byggas.
- Kommunikationsplan
 - Hur kommer information att föras ut i organisationen, från ledningen till teknikområdesansvariga och tillbaka, mellan teknikområden (installation, risk, arbetsmiljö, hydraulik, berg m.fl.) och mellan olika processer (planer, miljöprovning, modeller, systemhandling m.fl.).
 - Hur dokumenteras beslut om vilka val som görs och vad valen baseras på. Detta kan komma att efterfrågas några år senare och då är det svårt att leta upp gamla mail eller protokoll där någon har avfört ett alternativ på grund av någon parameter.
- Skydd
 - Vilka skydd, t.ex. naturreservat, strandskydd, riksintressen, behöver tas med i planeringen redan från början för att projektet ska lyckas väl.

3.6 Samråd

Samråd med allmänhet, myndigheter, organisationer, intressenter m.fl. är en obligatorisk del av tillståndsprocessen och har flera viktiga funktioner. Samrådsgruppen blir informerad om vad som planeras i deras geografiska och/eller ämnesområde. Samrådsgruppen har möjlighet att lämna synpunkter och vara en del av den demokratiska beslutsprocessen. Samrådet möjliggör också för VU att beakta eventuell ny information som kommer in från samrådsgruppen och på så sätt anpassa sin ansökan med den nya kunskapen. Om mark- och miljödomstolen anser att samrådsprocessen varit otillräcklig, pågått för kort tid eller med för få inbjudna, kan samrådet behöva göras om.

Under samrådet ska länsstyrelsen verka för att samrådet får den inriktning och omfattning som behövs för tillståndsprövningen.

3.6.1 Samrådsrets

Samrådsretsen varierar med storleken på vattenverksamheten, både vad gäller geografi och ämnesområde. Nedan följer en bruttolista med förslag på intressenter att samråda med. Bedömningen av vilka som bör ingå i samrådsretsen får avgöras i varje enskilt fall.

- Närboende
 - Närboende
 - Fastighetsägare
 - Brunnsägare (vatten och energi)
- Kommunala förvaltningar (olika hos olika kommuner)
 - Miljökontoret
 - Plan/byggnadskontoret
 - Brandförsvaret
- Myndigheter
 - Fastighetsverket
 - Försvarsmakten
 - Havs- och Vattenmyndigheten
 - Kammarkollegiet
 - Länsstyrelsen
 - Naturvårdsverket
 - Riksantikvarieämbetet
 - SGI
 - SGU
 - Sjöfartsverket
 - SMHI
 - Trafikverket
- Organisationer
 - Intressegrupper
 - Föreningar
 - Samfälligheter
- Övriga
 - Företag och myndigheter som äger ledningar och undermarksanläggningar i berg och mark, för vatten, el, tele, gas, fjärrvärme- och kyla samt bredband.

3.6.2 Fastighetsförteckning

I samband med samrådet ska det tas fram en lista över de fastigheter som bedöms bli berörda av planerad vattenverksamhet.

3.6.3 Undersökningssamråd

Ha ett undersökningssamråd med Länsstyrelsen. Innan mötet ska samrådsunderlaget ha skickats in till Länsstyrelsen i god tid, ca 1–2 veckor. På

mötet gås igenom hur stor påverkan tunnelprojektet har på omgivningen och vilka som behöver samrådas med.

Syftet med ett undersökningssamråd är att det ska gå att ta ställning till om vattenverksamheten kan antas medföra en betydande miljöpåverkan. Bedömningen baseras på verksamhetens eller åtgärdens lokalisering och utmärkande egenskaper samt de möjliga miljöeffekternas typ och utmärkande egenskaper, se kapitel 3.8 Beslut om betydande miljöpåverkan.

Miljöbedömningsförordningen med uppdelning i undersökningssamråd och avgränsningssamråd är ännu ny och det finns ingen praxis om exakt hur det ska gå till eller vad som krävs.

3.6.4 Samrådsunderlag

Samrådsunderlaget är ett dokument som ska beskriva för allmänhet och myndigheter vad som planeras, vilka alternativ som har funderats emellan och vilka konsekvenser de innebär för människors hälsa och miljön. Det kan behövas utredningar för att precisera vad som ska stå i samrådsunderlaget, t.ex. bergkvalitet, natur- och kulturskyddsobjekt som riskerar att skadas av en tunnel i bygg- eller driftskede mm.

I samrådsunderlaget ska nedanstående framgå:

- Verksamhetens eller åtgärdens utformning och omfattning,
- Rivningsarbeten, om sådana kan förutses,
- Verksamhetens eller åtgärdens lokalisering,
- Miljöns känslighet i de områden som kan antas bli påverkade,
- Vad i miljön som kan antas bli betydligt påverkat,
- De betydande miljöeffekter som verksamheten eller åtgärden kan antas medföra i sig eller till följd av yttre händelser, i den utsträckning sådana uppgifter finns tillgängliga,
- Åtgärder som planeras för att förebygga, hindra, motverka eller avhjälpa negativa miljöeffekter, i den utsträckning sådana uppgifter finns tillgängliga, och
- Den bedömning som den som avser att bedriva verksamheten eller vidta åtgärden gör i frågan om huruvida en betydande miljöpåverkan kan antas.

Om samrådsunderlaget avser en verksamhet eller åtgärd som omfattas av lagen (1999:381) om åtgärder för att förebygga och begränsa följderna av allvarliga kemikalieolyckor, ska underlaget innehålla en upplysning om detta.

3.6.5 Avgränsningssamråd

Avgränsningssamrådet innebär både att informera och att få in synpunkter ifrån en samrådsrets om den planerade vattenverksamheten. Det är samma krav på innehåll i Samrådsunderlaget till Avgränsningssamrådet som i Undersökningssamrådet, möjligen något mer fylligt i Avgränsningssamrådet.

Samråds-kretsen kan vara närboende, organisationer, intressenter, myndigheter och övrig allmänhet. Samrådet är en obligatorisk del i tillståndprocessen och ska annonseras till allmänheten, företrädesvis i lokala tidningar.

Det ska framgå av samrådsunderlaget vad som föreslås när det gäller lokalisering och utformning med mera samt att det framgår vilka överväganden som ligger bakom förslaget och de val av alternativ som gjorts. I samrådsunderlaget ska uppgifterna vara av den omfattning och detaljeringsgrad som behövs för att ta ställning till vilken omfattning och detaljeringsgrad miljökonsekvensbeskrivningen bör ha. Samrådsunderlaget bör även omfatta riskaspekter när det är relevant eftersom risker exempelvis kan påverka vad som är en lämplig lokalisering.

Samrådet kan vara enbart skriftligt, med utsända dokument, det kan vara öppet hus med presentation, det kan vara hänvisningar till websidor med information. Oavsett vilket sätt som används ska det vara tydligt hur frågor kan ställas och synpunkter lämnas.

Samrådstiden bör vara ca 2–3 veckor. Vid lov- och semestertider bör samrådstiden vara något längre, eftersom många kan vara bortresta.

3.7 Samrådsredogörelse

Inkomna samrådsynpunkter ska dels samlas in i sin helhet, dels sammanställas i en samrådsredogörelse. I samrådsredogörelsen ska även frågor och synpunkter bemötas av verksamhetsutövaren (VU). Om det förekommer förslag på utredningar för att öka kunskapen om vattenverksamhetens påverkan eller om det kommer information som VU inte kände till sedan tidigare, bör VU ta ställning till att utreda mer eller inte innan ansökan lämnas in, samt motivera beslutet.

3.8 Beslut om betydande miljöpåverkan

Länsstyrelsen gör dels en bedömning, dels utgår de ifrån kriterier som finns i Miljöbedömningsförordningen 11–13 §§ (SFS 2017:966), se informationsruta nedan. Länsstyrelsen tar också hänsyn till vad som har kommit fram i samrådet, genom den sammanställda samrådsredogörelsen.

11 § I fråga om verksamhetens eller åtgärdens utmärkande egenskaper enligt 10 § 1 ska särskild hänsyn tas till

1. verksamhetens eller åtgärdens omfattning och utformning,
2. hur verksamheten eller åtgärden bidrar till kumulativa miljöeffekter tillsammans med andra verksamheter som bedrivs, som har fått ett tillstånd eller som har anmälts och får påbörjas,
3. verksamhetens eller åtgärdens användning av mark, jord, vatten, biologisk mångfald, andra naturtillgångar och fysisk miljö i övrigt,
4. det avfall och andra förväntade restprodukter som verksamheten eller åtgärden ger upphov till,
5. föroreningar och störningar från verksamheten eller åtgärden,
6. sannolikheten för allvarliga olyckor som är relevanta för den aktuella verksamheten eller åtgärden, och

7. risker för människors hälsa.

12 § I fråga om verksamhetens eller åtgärdens lokalisering enligt 10 § 2 ska särskild hänsyn tas till

1. pågående eller tillåten markanvändning,
2. de naturresurser som finns i det område som kan antas bli påverkat och deras relativa förekomst, tillgänglighet, kvalitet och förnyelseförmåga i området, och
3. naturresursernas, naturmiljöns och kulturmiljöns tålighet i det område som kan antas bli påverkat, med särskild uppmärksamhet på påverkan som avser
 - a) ett stort opåverkat område,
 - b) en våtmark, ett strandområde eller en älvmyrning,
 - c) ett kustområde eller en marin miljö,
 - d) ett bergs- eller skogsområde,
 - e) ett betydelsefullt kulturlandskap,
 - f) ett tätbefolkat område,
 - g) en nationalpark, ett naturreservat, ett kulturresevat eller ett annat område som är skyddat enligt 7 kap. miljöbalken,
 - h) ett område eller en byggnad som skyddas enligt 2-4 kap. kulturmiljölagen (1988:950), förordningen (2013:558) om statliga byggnadsminnen m.m. eller plan- och bygglagen (2010:900),
 - i) ett sådant område som är upptaget på världsarvslistan i enlighet med Unescos konvention av den 16 november 1972 om skydd för världens kultur- och naturarv, eller
 - j) ett område där miljökvalitetsnormer inte följs eller riskerar att inte kunna följas.

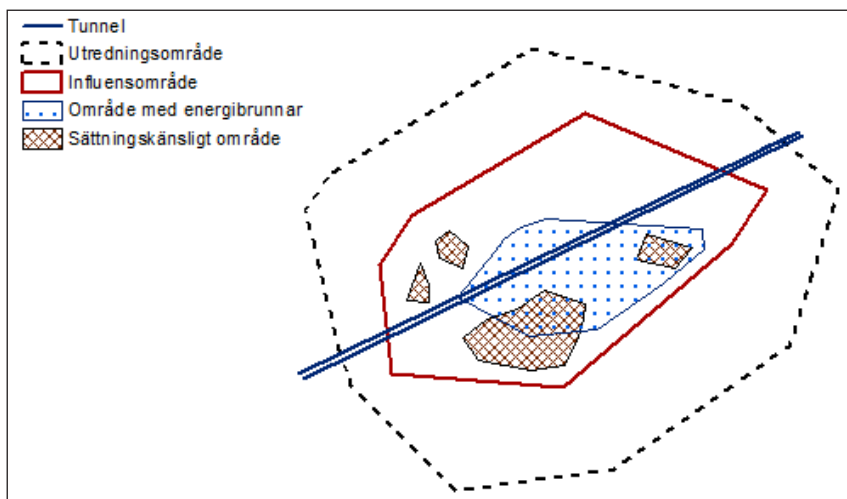
13 § I fråga om de möjliga miljöeffekternas typ och utmärkande egenskaper enligt 10 § 3 ska särskild hänsyn tas till

1. effekternas storlek, utbredning, karaktär, intensitet och komplexitet,
2. sannolikheten för att effekterna uppkommer, hur de uppkommer, vilken varaktighet eller frekvens de har och hur reversibla de är,
3. hur gränsöverskridande effekterna är,
4. effekternas kumulativa verkan tillsammans med effekterna av andra verksamheter som bedrivs, som har fått ett tillstånd eller som har anmälts och får påbörjas, och
5. möjligheten att begränsa effekterna på ett effektivt sätt.

Vid bedömningen ska hänsyn tas till allmänhetens behov av information.

3.9 Sakägarkrets och sakägarförteckning

Fastighetsägare och nyttjanderättshavare som riskerar ekonomisk skada av planerad vattenverksamhet utgör en sakägarkrets. När det gäller tillstånd rörande grundvattennivåförändringar kan sakägarkretsen bestå av exempelvis fastighetsägare inom influensområdet. För att i lagens mening anses vara sakägare krävs det att man berörs av ett beslut och att beslutet innebär en skada eller olägenhet eller att en icke obetydlig risk för skada eller olägenhet föreligger till följd av ett beslut, se exempel i Figur 3-3. Inom influensområdet kan olika områden påverkas olika av en tunnelanläggning. En boende i norra delen av influensområdet berörs inte, medan en boende söder om tunneln kanske riskerar både sättningar i sitt hus och försämrad funktion i sin energibrunn.



Figur 3-3 Principskiss över områden som kan lida ekonomisk skada eller olägenhet inom ett influensområde.

Det kan hända att en annan verksamhetsutövare bygger eller planerar för att bygga en tunnel eller annan grundvattenpåverkande anläggning i närheten av den planerade VA-tunneln. Om det är två verksamhetsutövare som planerar anläggningar inom samma område behöver respektive VU ta hänsyn till varandras anläggningar. Den som ligger först i planeringen med sin undermarksanläggning har av naturliga skäl svårare att beräkna ett kumulativt påverkansområde från båda anläggningarna, men de gemensamma effekterna behöver ändå diskuteras i ansökan. De som lämnar in sin ansökan sist har lättare att beräkna kumulativa effekter eftersom de kan använda modellerna från den första ansökan.

En sakägare har talerätt, dvs rätt att vara en part i en rättegång, med rätt att åberopa grunder och bevisning samt överklaga rättens dom och beslut.

Sakägarna ska listas i en sakägarförteckning som blir en bilaga till ansökan.

3.10 Ansökan

Den juridiska ansökan är huvuddokumentet som lämnas in till domstolen för tillståndsprövning. Övriga dokument är bilagor till ansökan eller underbilagor till bilagor.

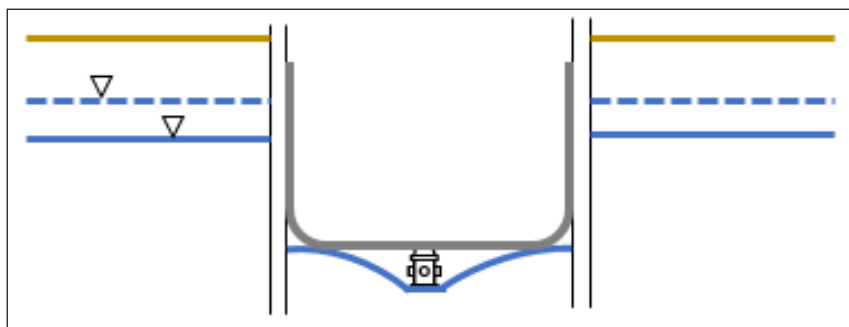
I ansökan ska tillräcklig information finnas med för att mark- och miljödomstolen ska kunna fatta ett välgrundat beslut om tillstånd. Omfattningen av ansökan och dess bilagor varierar med omfattningen av den planerade verksamheten. Följande kapitel beskriver information som ska finnas med i ansökan. Utöver dessa ska även nedanstående följande formella delar finnas med.

- Sökande – namn, organisations-/personnummer, adress, telefonnummer (för juridiska personer även registreringsbevis eller bestyrkt uppgift om firmatecknare)
- Ombud – fullmakt i original om sökanden företräds av ombud
- Skyddsåtgärder eller andra försiktighetsmått – för att förebygga eller avhjälpa olägenheter från verksamheten

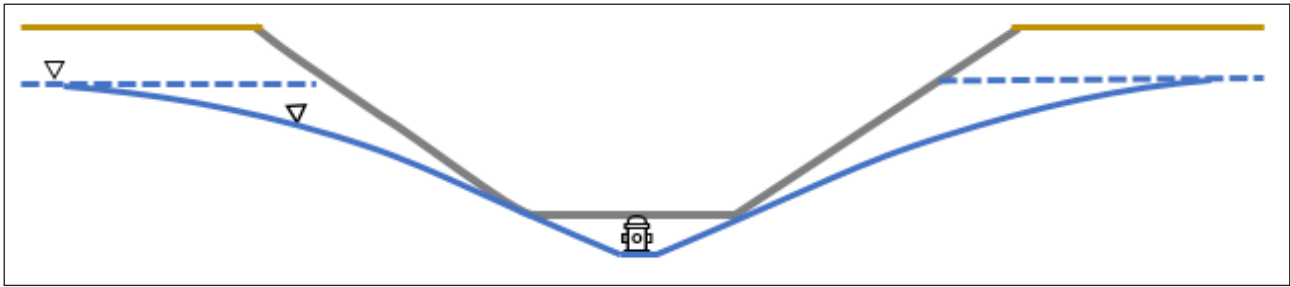
- Villkor – Förslag till villkor för verksamheten
- Kontroll – Förslag till hur vattenverksamheten ska kontrolleras
- En vattenverksamhet får bara bedrivas om fördelarna från allmän och enskild synpunkt överväger kostnaderna samt skadorna och olägenheterna av den. Ansökan måste därför innehålla uppgifter om nyttan av vattenverksamheten samt kostnaderna, skadorna och olägenheterna av den.
- Arbetstid – Uppgift om den arbetstid som begärs samt förslag på tid för anmälan av oförutsedd skada.
- Aktförvarare, sammanträdeslokal – förslag på lämplig aktförvarare med namn, adress och kontaktuppgifter samt förslag på plats för huvudförhandling.
- Ansökningsavgift – För mark- och miljödomstolens prövning av ansökan utgår avgift, grundavgift och eventuell tilläggsavgift (SFS 1998:940). Grundavgiftens storlek står i proportion till kostnaderna för utförandet av vattenverksamheten. Tilläggsavgift ska betalas om ansökan avser uttag av vatten eller vattenkraft. Tilläggsavgiftens storlek beror på uttagets storlek.

3.11 Teknisk beskrivning

Den tekniska beskrivningen ska tydligt redovisa vilka arbeten som ska göras i byggskedet och beskriva hur tunneln ska anläggas. Sådan information kan hämtas från projektets systemhandling. De tekniska lösningarna som beskrivs ska vara väl förankrade med ansvarig för tillståndsprocessen, projektörerna och produktionsplanerarna. Att exempelvis torrhålla en schaktbotten i byggskedet kan göras på olika sätt. Det kan göras med en pump innanför sponter eller med en pump i grävd schakt utan sponter och det får olika påverkan på omgivande grundvattennivåer, se Figur 3-4. och Figur 3-5. Olika tekniska lösningar innebär olika information i tillståndsansökan.



Figur 3-4 Torrhållning innanför spont.



Figur 3-5 Torr hållning i grävd schakt.

Moment som kan ingå är:

- Anläggningsbeskrivning – vad ska byggas och hur ska det byggas, gärna arbetsgång
- En beskrivning av anläggningarna med detaljritningar i lämplig skala
- Berg, geologi och hydrogeologi är av stor relevans för den tekniska utformningen, alternativval/lösningar bör beskrivas
- Beskrivning av geotekniska förhållanden, identifiering och behandling av geotekniska risker
- Temporära och permanenta förstärkningsåtgärder
- Tunneldrivningsteknik
- Injekteringsstrategi
- Arbeten under jord, dvs grundvattenbortledning från tunneldrivning
- Arbeten ovan jord, t.ex. grundvattenbortledning från schakter
- Etableringsområden och transportvägar till och från dem
- Masshantering och transporter till mottagningsplatser
- Eventuella schakter
- Pumpstationers läge
- Utsläppspunkter
- Hantering av länshållningsvatten och eventuell reningsanläggning
- Infiltrationsbrunnar; dess tekniska utformning och funktion
- Brunnar (uttag – och infiltration), ledningar, hantering av länshållningsvatten etc.
- Eventuella andra vattenverksamheter i omgivningen
- Tillämpat höjdsystem och beskrivning av en närbelägen fixpunkt i höjdsystemet

3.12 Miljökonsekvensbeskrivning

En miljökonsekvensbeskrivning (MKB) som inlämnas till Mark- och miljödomstolen för domstolens prövning av verksamheten ska omfatta samtliga, i projektet, uppkomna miljökonsekvenser och bedömningar av dessa. MKB:n bör delas upp i bygg- och driftskede när miljökonsekvenserna beskrivs.

Vid byggskedet är det, förutom vattenverksamheten, framförallt schaktning, borrhning och sprängning och länshållningsvatten från etableringsområden samt transporter som är störande. De kan medföra negativ påverkan på omgivningen i form av buller, vibrationer och utsläpp av länshållningsvatten. I driftskedet kvarstår främst vattenverksamheten medan övriga störningar är avslutade.

Omgivningspåverkan ska endast beskrivas för det som är relevant. Om det t.ex. inte sker något utsläpp till en recipient behöver inte recipientens status beskrivas.

MKB:n ska vara juridiskt korrekt och hålla för granskning i en domstol. MKB:n ska samtidigt vara läsbar för allmänheten. En icke-teknisk sammanfattning i början av MKB:n ge en god förståelse för bakgrund samt verksamhetens miljökonsekvenser.

Beskrivningen av olika alternativ bör luta sig på en förstudie eller liknande. Det ska framgå vilket alternativ som söks för och på vilka grunder.

En bedömning av miljökonsekvenser görs i tre steg. Först utreds vilken *Påverkan* vattenverksamheten har, sedan dess *Effekter* och slutligen vilka *Konsekvenser* det resulterar i.

Påverkan är den förändring av fysiska eller beteendemässiga förhållanden som projektets genomförande medför.

Effekt är den förändring i miljön som påverkan medför, som till exempel förlust av värdefulla naturmiljöer, buller eller luftföroreningar.

Konsekvens är den verkan de uppkomna effekterna har på ett visst intresse, till exempel klimatet, människors hälsa eller biologisk mångfald.

När det gäller grundvattenbortledning är det lämpligt att påverkan och effekter hanteras i PM Hydrogeologi, en bilaga till MKB:n, medan konsekvensbedömningen sker i MKB:n. Orsaken till uppdelningen är att PM Hydrogeologi är ett underlag som är mer tekniskt och hydrogeologiskt inriktat, med många facktermer. PM Hydrogeologi baseras i sin tur på olika underlags-PM som är än mer tekniska, se kapitel 3.13. MKB:n ska vara ett fristående dokument där det mer läsbara resultatet presenteras.

Enligt Miljöbalken ska MKB:n innehålla uppgifter om:

- Verksamhetens eller åtgärdens lokalisering, utformning, omfattning och andra egenskaper
- Alternativa lösningar för verksamheten eller åtgärden.
- Rådande miljöförhållanden innan verksamheten påbörjas eller åtgärden vidtas och hur de förhållandena förväntas utveckla sig om verksamheten eller åtgärden inte påbörjas eller vidtas.
- Identifiering, beskrivning och bedömning av de miljöeffekter som verksamheten eller åtgärden kan antas medföra i sig eller till följd av yttre händelser.

- De åtgärder som planeras för att förebygga, hindra, motverka eller avhjälpa de negativa miljöeffekterna.
- De åtgärder som planeras för att undvika att verksamheten eller åtgärden bidrar till att en miljö kvalitetsnorm enligt 5 kapitlet. Miljöbalken inte följs, om sådana uppgifter är relevanta med hänsyn till verksamhetens art och omfattning.
- En icke-teknisk sammanfattning av ovanstående.
- En redogörelse för de samråd som har skett och vad som kommit fram i samråden.
- Beredskapen för och föreslagna insatser vid allvarliga olyckor, om sådana uppgifter är relevanta med hänsyn till verksamhetens eller åtgärdens art och omfattning.
- Redogörelse för de prognos- och mätmetoder, underlag och informationskällor som har använts med uppgift om eventuella brister och osäkerheter i metoderna och underlagen.
- En referenslista med uppgifter om de källor som har använts.
- Hur kravet på sakkunskap är uppfyllt.

MKB:n ska beskriva vattenverksamhetens konsekvenser för:

1. befolkning och människors hälsa,
2. djur- eller växtarter som är skyddade enligt Miljöbalkens kapitel 8 om skydd för biologisk mångfald,
3. mark, jord, vatten, luft, klimat, landskap, bebyggelse och kulturmiljö,
4. hushållningen med mark, vatten och den fysiska miljön i övrigt,
5. annan hushållning med material, råvaror och energi, eller
6. andra delar av miljön.

Miljöeffekterna från vattenverksamheten ska definieras utifrån om de är:

- Direkta – Indirekta
- Positiva – Negativa
- Tillfälliga – Bestående
- Kumulativa – Inte kumulativa
- på Kort, Medellång, Lång sikt

3.13 PM Hydrogeologi

I PM Hydrogeologi redovisas vilka effekter planerad vattenverksamhet kommer att ge upphov till, samt vilka objekt som kan komma att påverkas av dessa. För att ge en god förståelse av hydrogeologin i projektets område underlättar det med förklarande ritningar, illustrationer och kartor. PM Hydrogeologi ska kunna läsas både av personer helt utan bakomliggande kunskap om geologi och hydrogeologi och av sakkunniga inom tillsynsmyndigheter, tekniska biträden till sakägarjurister med flera.

Det tekniska resonemanget och användningen av facktermer måste förklaras på sådant vis att alla förstår. Datahantering, beräkningar, modelleringar etc. läggs med fördel i bilagor till PM Hydrogeologi.

I PM Hydrogeologi beskrivs *Förutsättningar* (naturliga, såsom geologi och hydrologi och anlagda, såsom dränerande anläggningar mm) samt *Påverkan* och *Effekt* av vattenverksamheten. I MKB:n beskrivs *Konsekvenserna* av vattenverksamheten. Ett förenklat exempel på förhållandet mellan dessa tre:

	Påverkan	Effekt	Konsekvens
Arbete i vattenområde	Muddring	Grumling	Livsmiljöer och arter försvinner eller minskar
Grundvattenbortledning	Utbredning av grundvattensänkning	Lägre nivåer i brunnar	Minskade dricksvatten- eller energiuttag
Tillförsel av grundvatten	Utbredning av grundvattenhöjning	Översvämning	Skador på hus

PM Hydrogeologi bör beskriva:

- Utredningsmetodik
- Förutsättningar
 - Geologiska förhållanden – jordlager, berg, svaghetszoner, bergkvalitet
 - Grundvattenförekomster, om inläckage till tunnlar (vilka parametrar påverkar storleken på inläckage och påverkan)
 - Befintliga anläggningar och domar
 - Grundvattenberoende objekt
- Genomförda inventeringar och undersökningar (plockas ut till en egen bilaga för att inte tynga PM Hydrogeologi alltför mycket) bör omfatta:
 - Inventeringar av befintligt material
 - Inventeringar av skyddsobjekt
 - Beräkning av inläckage (utvecklas i bilaga inkl. borrningar, pumpstester och detaljerade modellberäkningar)
 - Beräkning av vattenbalans
 - Kompletterande geotekniska och bergtekniska såväl som hydrogeologiska undersökningar inkl. strategi för desamma
 - Metodik för påverkansberäkningar
 - Definition av påverkansområdet
- Detaljerade beskrivningar avseende
 - Geologi
 - Hydrogeologi
 - Anläggningar
 - Planerad tunnelkonstruktion
 - Domar, markavvattningsföretag etc.
 - Resultat från inventeringar och undersökningar
 - Påverkans- och effektbefskrivingar på grund- och ytvatten
 - Planerade skyddsåtgärder

- Förebyggande åtgärder samt strategi för desamma
 - Val av sträckning
 - Tätning, strategi
 - Om skyddsobjekt
 - Injektering
 - Skyddsinfiltration
 - Grundförstärkning
 - Ev. lining om så är aktuellt

PM Hydrogeologi kan innehålla underlag för och förslag till villkor att ta med i ansökan. Den kan också innehålla förslag till kontrollprogram.

Underlagen till PM Hydrogeologi läggs förslagsvis i bilagor för att PM:et ska bli läsbar. Exempel på bilagor är:

- Karta hydrogeologi
- Karta grundvattenberoende objekt
- Inventerade brunnar inom påverkansområdet
- Inventerad grundläggning
- Beräkningar
- Sättningar – beskrivning av inventerade riskobjekt och sättningskänslighet för olika lerområden.
- Riskanalys – risker identifieras och kvantifieras.
- Föroreningar

3.14 PM Miljökvalitetsnormer

Denna PM syftar till att beskriva vattenverksamhetens konsekvenser för berörda vattenförekomster. Enligt EU:s Vattendirektiv (Vattendirektivet, 2000) och miljökvalitetsnormerna (Direktivet om miljökvalitetsnormer, 2008) är det mycket strikta icke-försämringskrav på verksamheter som kan påverka vatten.

Vattenmyndigheterna i Sverige har klassat olika vattenförekomsters status. Grundvattenförekomster klassas med avseende på kvantitativ och kemisk status. Ytvattenförekomster klassas med avseende på ekologisk och kemisk status. Målet är att vattenförekomsterna ska uppnå god kvantitativ, kemisk och ekologisk status. Statusen baseras på ett antal faktorer och faktorerna baseras på olika aspekter, se Tabell 3-2.

För de vattenförekomster som inte uppnår god status tas det fram åtgärdsprogram. I arbetet med att nå god status ingår det att nya verksamheter inte får försämra någon status, faktor eller aspekt. Detta ställer mycket höga kvalitetskrav på utsläpp till grund- och ytvatten samt på kunskap för att bedöma eventuell påverkan från vattenverksamheter.

I PM Miljökvalitetsnormer presenteras aktuella yt- och grundvattenförekomster samt vattenverksamhetens eventuella påverkan och effekt för respektive status.

Tabell 3-2 Sammanställning av hur information om olika aspekter utgör grund för kvalitetsfaktorer och status.

Status	Kvalitetsfaktorer	Aspekter
Grundvatten – Kvantitativ status	Uttagsmöjlighet (l/s eller m ³ /dygn)	
Grundvatten – Kemisk status	Närsalter Metaller Bekämpningsmedel Polyaromatiska kolväten (PAH) Konduktivitet PFAS	
Ytvatten – Ekologisk status	Biologiska faktorer	Växtplankton Bottenfauna Makrofyter Fisk
	Fysikalisk-kemiska faktorer	Näringsämnen Ljushållanden, Syrgashållanden Försurning Särskilda förorenande ämnen
	Hydromorfologiska kvalitetsfaktorer	Konnektivitet i sjöar Hydrologisk regim i sjöar Morfologiskt tillstånd i sjöar
Ytvatten – Kemisk status	Bekämpningsmedel Industriella föroreningar Tungmetaller Övriga föroreningar, bl.a. PFOS, klorföreningar och PAH	

3.15 Villkorsförslag

I en dom tillkommer oftast villkor. Det kan handla om halter, nivåer och andra begränsningar som ska kontrolleras och följas upp. VU kan i sin ansökan skriva förslag till villkor för att förekomma vilka krav som kommer att ställas i domen. Domstolen är fri att välja föreslagna villkor, ändra dem, avfärda dem eller skriva andra villkor. Fördelen med att föreslå villkor är att det finns en möjlighet att vara med och påverka vilka krav som ska ställas och hur kontrollerna ska utföras. Det finns många varianter av villkor. Nedan följer en lista på exempel på villkor som har använts i andra tunnelprojekt. (Förbifarten, 2014), (City Link, 2016), (Citybanan, 2010), (Västlänken, 2017)

- Begränsning av inläckage
 - Antal l/min på sträcka A, km X/XXX – km Y/YYY
 - Antal l/min i en punkt under byggskedet, som rullande X-månaders medelvärde
 - Åtgärder ska vidtas för att förhindra att grundvattennivåerna påverkas på ett sådant sätt att skada uppkommer i omgivningen.
 - Betongtråg och betongtunnlar ska utföras så täta att det i driftskedet inte behövs skyddsinfiltration för färdig anläggning för att undvika skador.
- Skyddsinfiltration
 - Infiltrationsanläggningar för skydd av riskobjekt ska vara på plats, driftsatta och funktionstestade i god tid innan grundvattenpåverkan erhålls från tunnelarbetet.

- Dränvatten och processvatten från schakt i jord och berg får användas för skyddsinfiltration utanför spont om kvävehalten inte överskrider tillämplig miljö kvalitetsnorm för nitrat i grundvatten.
- Inläckande grundvatten som vid varje tidsperiod bortleds under bygg- eller drifttiden, ska inom samma sträcka återinfiltreras till samma mängd för att återställa grundvattennivån. Infiltrationsmängden får dock, efter godkännande av tillsynsmyndigheten, ändras om det föreligger risk för påverkan på markstabiliteten eller översvämningar runt infiltrationsplatsen.
- Grundvattennivåsänkning
 - Inte större avsänkning än X,X m i förhållande till tidigare års nivåfluktuation i villkorsområdet.
- Bräddvillkor – Antal m³/år som 10-årsmedelvärde, dvs utsläpp då tillrinning är större än anläggningskapacitet (pumpstation, avloppsverk mm).
- Nödutsläpp – utsläpp på grund av haveri, exempelvis strömvabrott.
- Ramvillkor för buller – Luftburet buller och stomljud ska begränsas så att den ekvivalenta ljudnivån inom hus som riktvärde inte överskrider:
 - MM dB(A) i bostäder helgfri måndag-fredag kl. XX-YY
 - NN dB(A) i bostäder alla dagar kl. ZZ-QQ
 - Vid överskridande X antal dagar under en Y-dagarsperiod erbjuds möjlighet till tillfälligt boende
- Ramvillkor för vibrationer – Vid samtliga vibrationsalstrande arbeten tillämpas Svensk Standard:
 - SS 460 48 66, Vibration och stöt – Riktvärden för sprängningsinducerade vibrationer i byggnader
 - SS 02 52 11, Vibration och stöt – Riktvärden och mätmetod för vibrationer i byggnader orsakade av pålning, spontning, schaktning och packning,
 - SS 02 52 10, Vibration och stöt – Sprängnings-inducerade luftstöt-vågor - Riktvärden för byggnader
 - SS 460 48 60 Vibration och stöt – Syneförrättning – Arbetsmetoder för besiktning av byggnader och anläggningar i samband med vibrationsalstrande verksamhet.
- Kulturvärden
 - För kulturhistoriskt skyddad bebyggelse arbetas det fram kontrollprogram avseende vibrationer från anläggandet av schakt. Programmen ska tas fram i samråd med länsstyrelsen och innan vibrationsalstrande arbeten vidtas. Med kulturhistoriskt skyddad bebyggelse avses bebyggelse som är skyddad enligt kulturmiljölagen (1998:850) och förordningen (1988:1229) om statliga byggnadsminnen samt blåklassad enligt Stadsmuseets kulturhistoriska byggnadsklassificering (det sista gäller endast Stockholm).

- Länshållningsvatten
 - Under byggskedet och efter lokal rening avleds vattnet till det kommunala spillvattennätet/dagvattennätet/direkt till mark- och vattenområde, efter samråd med VA-huvudman, berört avloppsreningsverk och tillsynsmyndigheten. Det styrs av kontrollprogrammet med överenskomna riktvärden.
 - Dagvatten, inläckande vatten från schakter som inte används för infiltration samt eventuellt processvatten i jordschakter avleds till recipient. Vattnet genomgår partikel- och oljeavskiljning.
 - Kontroll vid avledning av vatten ska ske genom automatiserad kontrollerad provtagning med regelbunden loggning, i punkt efter rening innan utsläpp till recipient. Parametrarna fastslås i kontrollprogram. Bedömning om avvikelse görs utifrån mätresultat.
- Kontrollprogram - Kontrollprogram för den miljöfarliga verksamheten (byggandet och utsläppandet av länshållningsvatten) ska tas fram i samråd med tillsynsmyndigheten och senast åtta veckor innan den miljöfarliga verksamheten påbörjas inges till tillsynsmyndigheten.
- Översvämningsrisk - minimering
- Transport och omhändertagande av berg- och jordmassor samt byggnadsmaterial
- Påverkan på kulturmiljö, fornlämningar och stadsmiljön i övrigt, såsom parker och grönområden
- Begränsning av energianvändning samt utsläpp av klimatpåverkande gaser och luftföroreningar
- Säkerheten i tunnelanläggningen.

3.16 Prövotid

Ibland är det inte helt tydligt vilka effekter en vattenverksamhet har på omgivningen. Domstolen kan då besluta om prövotid. Det innebär att domstolen skjuter upp vissa frågor under en viss tid. Under prövotiden ska VU följa effekterna i syfte att vinna erfarenhet av verksamheten samt utreda om skada uppkommer på byggnader eller annan egendom och, om så är fallet, skadans storlek. VU ska efter att prövotiden gått ut redovisa resultatet av genomförda kontroller och uppkomna skadeeffekter, lämna förslag till skadereglering och redovisa annat som framkommit och som kan vara av betydelse för prövningen.

3.17 Iakttagande av de allmänna hänsynsreglerna

Det kommer allt starkare krav på att sökanden ska kunna visa på att den iakttar de allmänna hänsynsreglerna som står i Miljöbalken kapitel 2.

3.17.1 Kunskapskravet, Miljöbalken kap 2 § 2

Alla som bedriver eller avser att bedriva en verksamhet eller vidta en åtgärd skall skaffa sig den kunskap som behövs med hänsyn till verksamhetens eller åtgärdens art och omfattning för att skydda människors hälsa och miljön mot skada eller olägenhet.

3.17.2 Försiktighetsprincipen, Miljöbalken kap 2 § 3

Alla som bedriver eller avser att bedriva en verksamhet eller vidta en åtgärd skall utföra de skyddsåtgärder, iaktta de begränsningar och vidta de försiktighetsmått i övrigt som behövs för att förebygga, hindra eller motverka att verksamheten eller åtgärden medför skada eller olägenhet för människors hälsa eller miljön.

3.17.3 Produktvalsprincipen, Miljöbalken kap 2 § 4

Alla som bedriver eller avser att bedriva en verksamhet eller vidta en åtgärd skall undvika att använda eller sälja sådana kemiska produkter eller biotekniska organismer som kan befaras medföra risker för människors hälsa eller miljön, om de kan ersättas med sådana produkter eller organismer som kan antas vara mindre farliga.

3.17.4 Hushållnings- och kretsloppsprinciperna, Miljöbalken kap 2 § 5

Alla som bedriver en verksamhet eller vidtar en åtgärd ska hushålla med råvaror och energi samt utnyttja möjligheterna att minska mängden avfall, minska mängden skadliga ämnen i material och produkter, minska de negativa effekterna av avfall och återvinna avfall.

I första hand ska förnybara energikällor användas.

3.17.5 Lokaliseringsregeln, Miljöbalken kap 2 § 6

För en verksamhet eller åtgärd som tar i anspråk ett mark- eller vattenområde ska det väljas en plats som är lämplig med hänsyn till att ändamålet ska kunna uppnås med minsta intrång och olägenhet för människors hälsa och miljön.

Ett tillstånd eller en dispens får inte ges i strid med en detaljplan eller områdesbestämmelser enligt plan- och bygglagen (2010:900). Små avvikelser får dock göras, om syftet med planen eller bestämmelserna inte motverkas.

3.17.6 Principen att förorenaren ska betala, Miljöbalken kap 2 § 8

Alla som bedriver eller har bedrivit en verksamhet eller vidtagit en åtgärd som medfört skada eller olägenhet för miljön ansvarar till dess skadan eller olägenheten har upphört för att denna avhjälpas i den omfattning det kan anses skäligt. Det kan innebära skyldighet att ersätta skadan eller olägenheten.

3.18 Natura 2000

Om verksamheten eller åtgärden kan antas påverka miljön i ett Natura 2000-område, ska miljökonsekvensbeskrivningen innehålla en beskrivning av verksamhetens eller åtgärdens konsekvenser för syftet med att bevara området, en redogörelse för de alternativ som har övervägts med en motivering till varför ett visst alternativ valts samt de uppgifter som i övrigt behövs för prövningen enligt Miljöbalken kapitel 7 (SFS 1998:808).

3.19 Efter inlämnandet av ansökan

Efter att ansökan lämnats in till Mark- och Miljödomstolen tar domstolens arbete vid, se Figur 3-6. Domstolen prövar den sökta verksamheten utifrån det underlag som lämnats in. Domstolen kan begära komplettering om de tycker att något saknas. Då skickar domstolen förelägganden till sökandens juridiska ombud, varpå ombudet tar hand om att föreläggandet besvaras inom den tid som domstolen har satt. Om ombudet bedömer att det behövs mer tid för att svara kan ombudet be om anstånd, det vill säga be att få skjuta upp sista svarsdagen.

Sedan skickar domstolen ansökan inklusive dess bilagor på remiss till myndigheter, för dem att granska ansökan. Domstolen meddelar också via kungörelse i relevant/a tidning/ar att det är öppet att komma med synpunkter.

Samtliga inkomna yttranden delges ombudet och sökanden ska då bemöta dessa inom en svarstid som domstolen meddelar. Det kan handla om allt ifrån ett enkelt, förtydligande svar på en inkommen fråga till en kompletterande utredning för att säkerställa något som är oklart eller inte tillräckligt utrett i ansökningshandlingarna.

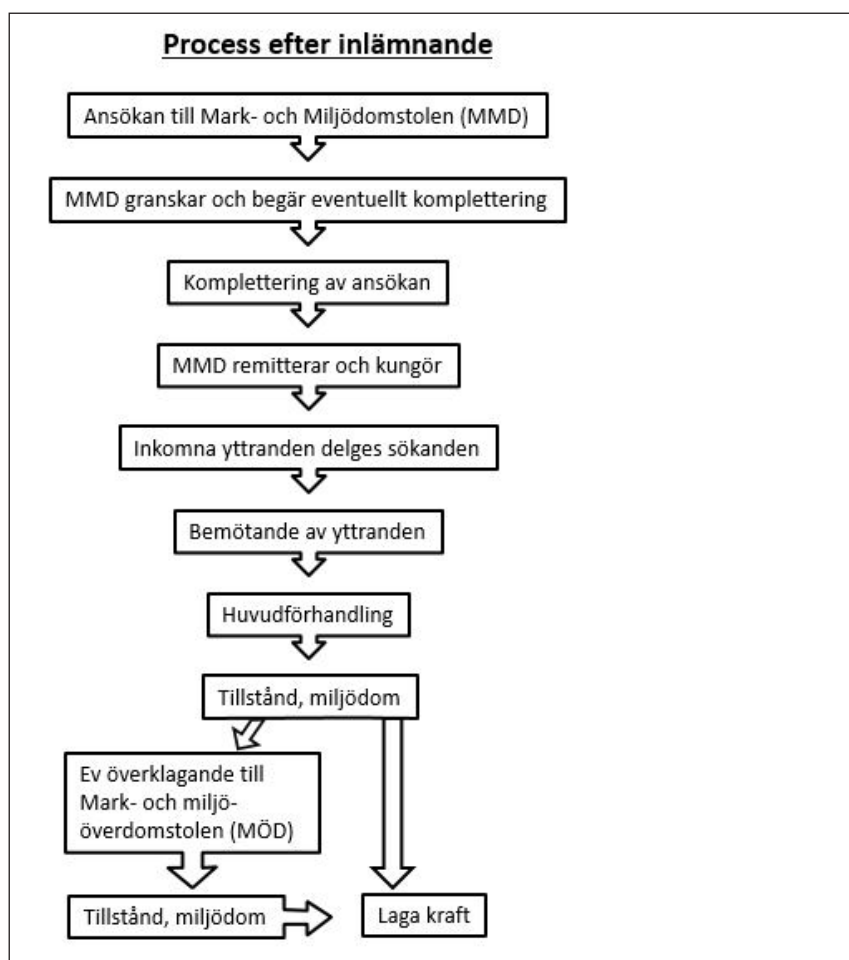
När remisstiden är över, ansökan bemötts och utretts av domstolen, hålls en huvudförhandling i målet, vanligen med syn på platsen. Om sökanden begär att ansökan ska avgöras på handlingarna (utan huvudförhandling) och inga motparter har några invändningar mot detta kan domstolen avgöra ärendet på handlingarna.

Huvudförhandlingen är offentlig, det betyder att allmänheten har rätt att vara med i salen. Under huvudförhandlingen kan det komma fram nya frågor uppgifter som ska bemötas eller kompletteras, om domstolen begär det. En huvudförhandling innebär att sökanden, eller den som sökanden utser, presenterar en sammanfattning av sin ansökan inklusive villkorsförslagen och att domstol och övriga i salen får fråga eller kommentera. Domstolen väger sedan samman både dokumentation och presentation samt eventuella kompletteringar i sin dom. Alla synpunkter under samråd. Här och förhandling har rätt att höras, men det är domstolen som avgör vilka synpunkter som är relevanta för den aktuella ansökan.

Vid huvudförhandlingen meddelas vilken dag och tid som dom kommer att meddelas. Efter att domen meddelats är det en överklagandeperiod på tre veckor. Då finns det en öppning för att överklaga till nästa instans, Mark- och miljööverdomstolen (MÖD). Prövningsprocessen i MÖD tar ca 1–2 år.

Slutligen blir det en dom som vinner laga kraft. Domen kan följa ansökan, följa ansökan men med förändringar eller avslå ansökan.

Ett tillstånd ger en rättskraft vilket betyder att en viss negativ miljöpåverkan accepteras under förutsättning att tillståndet följs.



Figur 3-6 Principskiss över hur tillståndprocessen ser ut efter att ansökan lämnats in till mark- och miljödomstolen.

3.20 Tillsyn

Länsstyrelsen är den tillsynsmyndighet som ska se till att tillståndet efterlevs.

3.21 VA-planer relativt Plan- och Bygglagen - Behövs planstöd?

Det krävs bygglov för att anordna, inrätta, uppföra, flytta eller väsentligt ändra tunnlar och bergrum. Kravet gäller både inom och utanför planlagt område. (PBL, 2011) För att kunna medge bygglov måste en åtgärd överensstämja med gällande detaljplan eller gällande områdesbestämmelser. Bygglov kan också medges utanför planlagt område, det finns således inget krav på att en tunnelsträcka ska omfattas av detaljplan. Lovplikten gäller inte för tunnlar och bergrum som är avsedda för väg, järnväg, tunnelbana, spårväg eller gruvdrift. De omfattas av annan lagstiftning.

En detaljplan reglerar hur marken får användas och gäller obegränsat i djupled, om inget annat anges. Den juridiskt bindande delen i en detaljplan är plankartan med planbestämmelser. Till den ska det finnas en planbeskrivning som förklarar bakgrunden, förändringarna, konsekvenserna och genomförandefrågorna i planen. Detaljplan för en tunnel behöver

redovisa befintliga förhållanden, till exempel geoteknik, dagvatten, naturvärden och bebyggelse. Planförslaget ska redovisas i form av tunnelns mått och sträckning, område för markreservat runt tunneln, tunnelmynningar, arbetstunnlar med mera. Enligt miljöbalken, MB, och Plan-och bygglagen, PBL, ska arbetet med miljöbedömningar och miljökonsekvensbeskrivningar samordnas där så är möjligt, så att de täcker in frågor relevanta både för tillståndsansökan och för detaljplaner. Slutligen ska genomförandefrågorna belysas, vem som har ansvar för vad, om det finns fastighetsägare som har rätt till ersättning för till exempel skador på energibrunnar osv.

3.21.1 Ändring av detaljplan

Tunnlar för VA med mera anläggs oftast i exploaterade områden där marken redan är planlagd. Det är numera inte tillåtet att göra tillägg till en befintlig plan, men att göra ändring. När ändringen har vunnit laga kraft så är det planen i sin ändrade form som gäller. En ändring av detaljplan kan omfatta flera befintliga planer.

3.21.2 Genomförandetid

En modern detaljplan har en genomförandetid på fem till femton år. Detaljplanen fortsätter att gälla även om genomförandetiden gått ut. Den slutar att gälla endast om den upphävs eller ersätts av en ny plan. Under pågående genomförandetid får en plan inte ändras, om inget oförutsett inträffar. Sakägarna i planen har i så fall rätt att få ersättning för planskada. När genomförandetiden gått ut finns ingen rätt till sådan ersättning.

3.21.3 Exempel på planbestämmelser

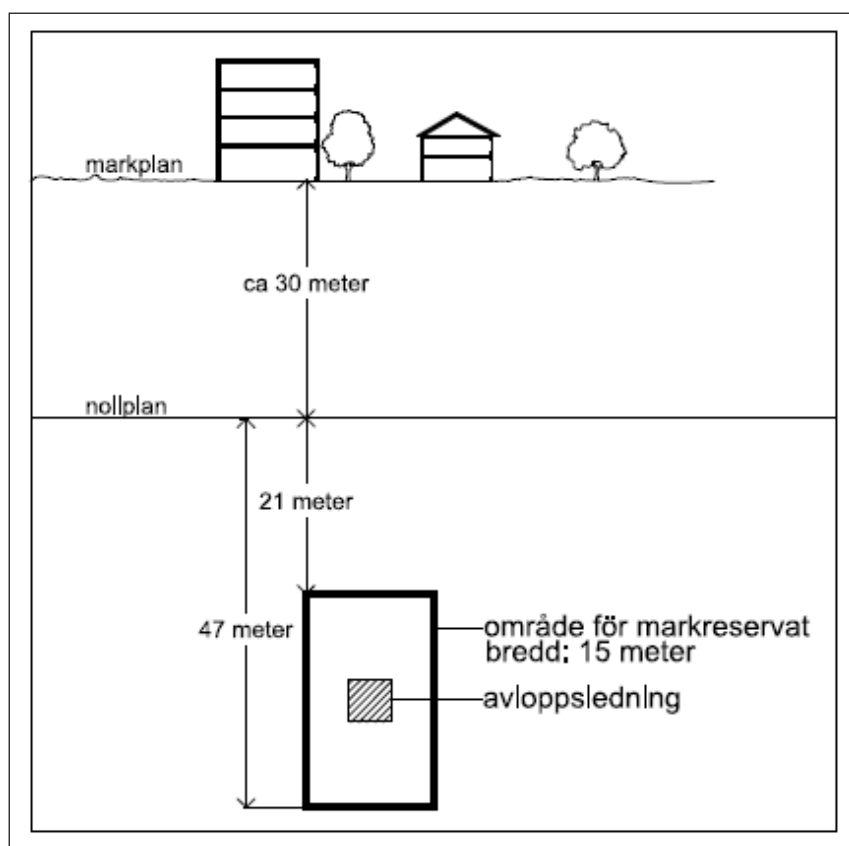
Stockholms stad har utarbetat flera detaljplaner i syfte att kunna bygga nya tunnlar för att möjliggöra projektet Stockholms framtida avloppsrening, SFA. En av planerna, Ädp 2015-19085, gäller ändring av 41 detaljplaner för avloppsledning från Eolshäll till Sickla, en sträcka på drygt nio kilometer. Planen består av tio plankartor med bestämmelser och en planbeskrivning. Inom planarbetet togs en rad underlag och utredningar fram.

På varje plankarta har de områden som är kvartersmark ovanför tunnelområdet markerats och fått planbestämmelsen:

Markreservat för allmännyttigt ändamål på kvartersmark.

Marken ska vara tillgänglig för allmännyttig underjordisk avloppsledning mellan nivåerna xx meter och xx meter i förhållande till nollplanet. Inom detta område får inga intrång från annan verksamhet ske. Schaktdjupsbestämmelse i befintlig detaljplan xxxx-xxxx får underskridas av markreservat för allmännyttigt ändamål inom angivna nivåer.

Till plankartan hör en typsektion, se Figur 3-7.



Figur 3-7 Typsektion över markreservat

Vid tunnelmynningarna finns ett område markerat där följande gäller:

Egenskaper för utformning av allmän plats

Anläggning tillhörande allmännyttig underjordisk avloppsledning så som mynning till anläggningen, inklusive fallskydd samt infart till mynningen tillåts.

Planbestämmelsen hade också kunnat ha beteckningen "u", underjordisk ledning eller "e", teknisk anläggning.

3.21.4 Planprocessen

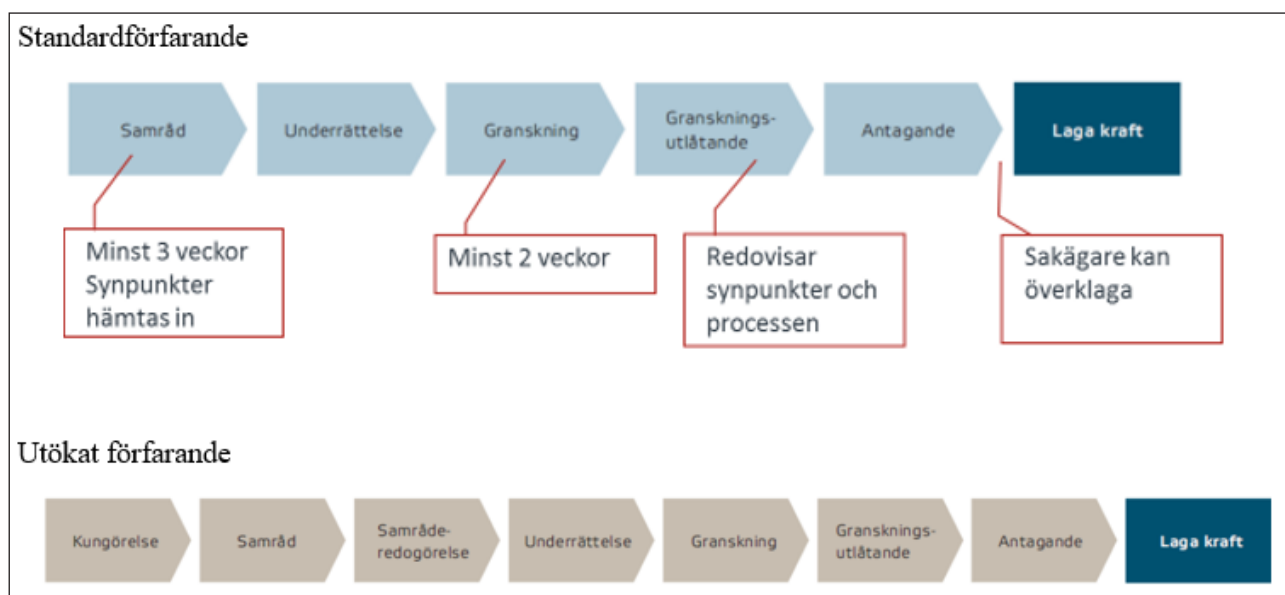
En detaljplan kan utföras med standardförfarande, utökat förfarande, samordnat förfarande eller förenklat förfarande. Samordnat förfarande kan användas då ett ärende även prövas enligt miljöbalken, väglagen eller lagen om byggande av järnväg. Processerna är ganska lika: samrådsfas, granskningsfas (inte alltid nödvändigt vid förenklat förfarande) och antagandefas. Innan ett planarbete är i den formella samrådsfasen har den som regel föregåtts av en rad förarbeten: planbesked, planavtal, skisser eller andra förstudier och eventuellt ett planprogram. Grovt räknat brukar planprocessen ta cirka 1,5 år, ungefär ett halvår för varje fas, men det kan gå snabbare och framförallt långsammare. Först när planen är antagen i kommunen kan den överklagas av sakägare som under samrådet och/eller granskningen framfört synpunkter som blivit tillgodosedda.

3.21.5 Utökat planförfarande

Utökat planförfarande ska tillämpas om planförslaget

- inte är förenligt med översiktsplanen eller länsstyrelsens granskningsyttrande,
- är av betydande intresse för allmänheten eller i övrigt av stor betydelse,
- kan antas medföra en betydande miljöpåverkan.

Detaljplaner som berör VA-tunnlar är som regel av betydande intresse för allmänheten och har betydande miljöpåverkan som kräver miljökonsekvensutredning. Därför krävs att de genomförs med utökat förfarande. Vid utökat förfarande startar den formella processen med en kungörelse i till exempel lokalpressen, sedan är processen densamma som vid standardförfarandet, se Figur 3-8 (Plan- och Bygglagen, PBL 5 kap 11b §).



Figur 3-8 Schematisk bild över standard- och utökat planförfarande.

3.22 Upplåtelse av mark för en vatten- och avloppstunnel

Det finns flera alternativa rättighetsformer som kan bli aktuella när en rättighet ska tillskapas för en vatten- och avloppstunnel. Generellt föredrar kommuner nyttjanderättsavtal med ledningsägare eftersom nyttjanderätten ger större flexibilitet i en föränderlig stadsmiljö, medan ledningsägare föredrar ledningsrätten. Detta framför allt för ledningar som är av större vikt eftersom ledningsrätten är en stark och långsiktig rättighet.

De andra möjliga alternativen för att säkra markåtkomst är servitut och tredimensionell fastighetsbildning. Servitut används i regel inte på allmän platsmark och tredimensionell fastighetsbildning används bara i de fall andra fastighetsbildningsåtgärder inte går att använda.

Med anledning av detta redogör avsnittet hur ledningsägaren kan säkra markåtkomst genom ledningsrätt och nyttjanderätt. Avsnittet beskriver även de juridiska aspekterna som kan försvåra bildandet av en ledningsrätt

för en vatten- och avloppstunnel i de fall inga fysiska ledningar anläggs i tunneln.

3.22.1 Ledningsrätt

Vatten- och avloppsledningar som ingår i en allmän vatten- och avloppsanläggning eller förser ett samhälle med vatten eller för bort avloppsvatten omfattas av ledningsrättslagen (LL) 2§. En ledningsrätt är en rättighet som ger den som äger en ledning rätt att dra fram, använda och underhålla sin ledning för all framtid. Ledningsrätten gäller längs hela ledningssträckan och förändras inte vid ägarbyten eller när gränser ändras och kan knytas till en juridisk person eller en fastighet. Ledningsrätten är därför det starkaste skyddet som en ledningsägare kan ha om denne inte äger området där ledningen är placerad eller planerad.

Lantmäteriet prövar ansökan om en ledningsrätt mot aktuell detaljplan och beslutar

Det är möjligt att ansöka om ledningsrätt både inom planlagda och inte planlagda områden. I ett område som saknar detaljplan är det oftast mindre komplicerat att ansöka om och få ledningsrätt, medan det i planlagda områden är en förutsättning att planen ger stöd för en ledningsrätt.

Lantmäteriet prövar ansökan om en ledningsrätt mot den aktuella detaljplanen eller de aktuella områdesbestämmelserna. Ledningsrätten får inte motverka planens eller bestämmelsernas syfte och den valda sträckan ska vara placerad där den gör minst skada. Om detaljplanen inte stödjer ansökan om ledningsrätt kan mindre avvikelser godkännas så länge rättigheten inte påverkar till exempel byggrätter. Det är också möjligt att tvångsvis ta områden av stor vikt för allmänna intressen i anspråk men en tvist är både tidskrävande och kostsam.

När en befintlig detaljplan inte stödjer en planerad vatten- och avloppstunnel och framtida ledningsrätt är det därför viktigt att först skapa förutsättningar för markåtkomst genom den nya detaljplanen för att sedan säkerställa att området upplåts för ändamålet genom en ledningsrätt.

Vatten- och avloppsledningar som anläggs i vatten- och avloppstunnlar genomförs ofta i redan detaljplanerade områden och kräver därför ofta en detaljplaneändring. I ändringen av detaljplanen säkerställs områden för den planerade tunneln genom att markreservat för allmänna ändamål läggs ut på kvartersmark i de fall tunneln inte går att genomföra på allmän plats.

Ledningsägaren ersätter fastighetsägaren för rättighetsintrånget

I samband med att en ledningsrätt skapas ska ledningsägaren ersätta fastighetsägaren för intrånget och fastighetsägaren och ledningsägaren kan förhandla och komma överens om en ersättning. Det kan vara både tidskrävande att förhandla och svårt att komma överens när det är flera olika fastighetsägare inblandade. I de fall parterna inte kommer överens kan någon av parterna ansöka om beslut om ersättning hos Lantmäteriet som då bedömer värdet på fastigheten innan och efter rättighetsintrånget och ersätter förlusten enligt gällande lagstiftning.

Ledningsrättslagens tillämpning på vatten- och avloppstunnlar

Frågan om ledningsrättslagen omfattar vatten- och avloppstunnlar utredes inför att lagen trädde i kraft år 1973. I utredningen framgår att begreppet tunnel inte kan anses vara en ledning, men även att tunnlar som innehåller ledningar indirekt kan få sakrättsligt skydd om ledningsrättslagen är möjlig att använda på ledningen (Prop 1973:157). Lantmäteriet resonerar på liknande sätt i sin handbok som beskriver handläggningen av ledningsrättsförrättningar enligt gällande lag (Handbok LL Ledningsrättslagen, 2018). Lagen som sedan antogs saknar en definition av ordet ledning och rättsläget för vatten- och avloppstunnlar med öppen vattenföring är oklart. Detta eftersom utredningen aktivt avstod från att undersöka regleringen av tunnlar. Samtidigt är det klarlagt i ledningsrättslagen 2 § att lagen syftar till att säkra samhällsviktig vatten- och avloppsförsörjning med ledningsrätt.

I pågående utbyggnad av Stockholms framtida avloppsrening med en ny vatten- och avloppstunnel från Bromma till Sickla arbetar inblandade parter med att pröva frågan om ledningsrätt för hela tunnelns sträckning. Ärendet är under handläggning av lantmäteriet och kan efter beslut bli vägledande för framtiden eftersom ledningsrättslagen i sin nuvarande form inte ger direkt stöd för bildandet av ledningsrätt för vatten- och avloppstunnlar utan att fysiska ledningar anläggs i tunneln.

3.22.2 Nyttjanderätt

Utöver ledningsrätt finns också möjligheten för fastighetsägaren och ledningsägaren att skriva frivilliga avtal som ger ledningsägaren rätt att använda berörd del av fastigheten för sin ledning under en begränsad tid och med särskilda villkor. Även om ledningsrättslagen är möjlig att använda för ledningsägaren så rekommenderar Sveriges kommuner och landsting kommunerna att använda sig av nyttjanderättsavtal. Detta framför allt när det är många ledningar som kräver samordning av arbeten eller när kommunen antar att ledningarna måste flyttas i framtiden på grund av samhällsförändringar.

Tabell 3-3 sammanfattar fastighetsrättsliga alternativ för ledningar.

Tabell 3-3 Sammanfattning av fastighetsrättsliga alternativ för ledningar

Nyttjanderättsavtal	Ledningsrätt
Används för att upplåta en fastighet eller del av en fastighet till en privatperson eller juridisk person. Är begränsad i tid och ett avtal är inte giltigt längre än 25 år i detaljplanerat område och 50 år utanför detaljplanerat område. Kan skrivas in hos lantmäteriet men det är inte nödvändigt för att avtalet ska vara giltigt. Risken för att avtalet upphör vid förändringar av fastigheten, till exempel fastighetsreglering, ökar om avtalet inte skrivs in och blir offentligt. Det finns inga formella krav på hur avtalen ska se ut och det finns därför stor frihet att utforma villkoren för till exempel ersättning för upplåtelsen och formen för avtalet.	Används för att skapa en rättighet för allmännyttiga ledningar. Är obegränsad i tid och kan till skillnad från nyttjanderätten upplåtas till förmån för ledningsägaren. Måste till skillnad från nyttjanderätt skapas genom ett myndighetsbeslut, en lantmäteriförrättning. Rättigheten förändras inte vid ägarbyten eller när gränser ändras och gäller för hela ledningssträckan. Innebär en engångskostnad och ersättning för rättighetsintrånget betalas i samband med lantmäteriförrättningen. Ersättningen är antingen ett resultat av en överenskommelse eller ett beslut av Lantmäteriet. Möjligheten att upplåta ledningsrätt för tunnlar med öppen vattenföring är oklart.

3.23 Erfarenheter

Det är många delar att hålla reda på i en tillståndsprocess. När några av dem brister får det konsekvenser, oftast för tidplan och ekonomi. Nedan följer samlade erfarenheter från stora tunnlar från intervjuer och Stiftelsen Bergteknisk Forskning. (Berzell, 2018) (Lindblom, 2018) (BeFo, 2012)

3.23.1 Organisation och tid

Dålig kommunikation i början av ett stort projekt, där tillståndsansvarig inte var inbjuden till beslutande möten och där andra i projektorganisationen inte förstod varför tillståndsansvarig ville ha ritningar ”redan”, ledde till en pressad arbetsmiljö och flera interna informationsmöten. Försenad information om förändringar i modeller ledde även till vissa omtag och extra revideringar.

En bidragande del till varför tillståndsprocessen tar tid, är att handläggningen hos myndigheterna tar tid. Det är inte bara arbetstiden hos myndigheterna, utan även tider för att vänta in nämndmöten och beslut i olika instanser.

En tredjepartsgranskning kan ta en del extra tid men är samtidigt mycket värt ur kvalitetssynpunkt.

3.23.2 Omgivning

Det spelar roll var VA-tunneln anläggs och i vilken grad eventuella närboende har resurser och möjlighet att anlita juridiska ombud. Där det finns ett stort och uttalat motstånd kan det behövas mer samråd, fler kontakter med närboende och jurister, det kan behövas kompletterande utredningar för att eventuellt komma fram till alternativa lösningar och komma fler förelägganden att besvara.

Motståndare till anläggningen kan komma med information sent i plan- och tillståndsprocesserna, i syfte att försena eller förändra, som ett överraskningsmoment. En lärdom är att göra en riskanalys över konfliktpunkter och ta fram en strategi för att bemöta dem så tidigt som möjligt och absolut inte tona ner dem. Våga lyfta motståndarnas starkaste argument och ta hand om det från början.

Ibland kan det vara andra aktiviteter än just själva anläggningen som är den största konfliktpunkten. I ett projekt hade mycket få i samrådskretsen problem med sprängning av en VA-tunnel djupt under mark, men trafiken till och från arbetstunnlarna var mycket omdiskuterad.

Markägare brukar få ersättning om en tunnel påverkar effekten på en energibrunn. I dagsläget görs det mätningar och en bedömning från brunn till brunn om hur stor effektminskningen är. Det är ett väldigt stort arbete att sammanställa detta vid långa VA-tunnlar som passerar områden med många energibrunnar. Det arbetas med att ta fram schabloner för ersättningsberäkningar.

3.23.3 Underlag

Det visade sig sent i ett projekt att de geotekniska undersökningarna hade varit otillräckliga. Berget var inte av lika god kvalitet som tidigare hade bedömts. Hela tunneln behövde ritas om och flyttas mer än hundra meter, vilket försenade planeringen av den delen av tunneln.

Där det finns risk för stor och/eller långvarig hantering av kvävehaltigt vatten är det rekommenderat att utreda om eller var det går att släppa ut i en recipient, hur spridningen kan se ut beroende på strömmar och årstid samt hur känsligt det mottagande området är. Det kan vara ett viktigt underlag i tillståndet, att visa hur det kvävehaltiga vattnet ska hanteras.

I en ideal värld samordnas plan- och tillståndprocessen och det finns samordnare som har kontakter med myndigheter och kommunens olika förvaltningar, inklusive har en översikt över genomförandeavtal, TA-planer osv. Det skulle också underlätta för många projekt om den information som samlas in vid varje stor anläggning rapporteras till en gemensam plats, så att det inte behöver göras liknande utredningar på samma ställe flera gånger.

3.23.4 Entreprenadform

Det är svårt att formulera bra villkor i en ansökan som ska gälla en totalentreprenad. En totalentreprenad bygger på att anläggande entreprenör tar sitt ansvar att planera för att kunna uppfylla kraven. Om entreprenören då inte tar sitt ansvar och avtalet är oklart skrivet, utan tydligt specificerade krav och utan enheter på villkoren, kan det bli svårt att juridiskt följa upp den som missköter sig.

3.23.5 Planer i förhållande till tillstånd

I ett projekt blev det diskussioner mellan personerna som jobbade med plan respektive tillstånd om plats för rening av processvatten. Vattnet som pumpas ut ur tunneln i byggskedet är grumligt och kvävehaltigt från sprängmedelsrester. Tillstånd menade att det kommer att bli villkorskrav på rent vatten till en viss nivå innan det vattnet får släppas ut till stadens dagvattensystem eller recipienter. Anläggningar för att rena vatten från kväve tar stor plats och behöver en specificerad yta inom etableringsytan. De som jobbade med plan menade att den specificerade ytan inte får plats inom etableringsytan, då etableringsytorna är minimerade eftersom det är tätbebyggt runt omkring, det får bli entreprenörernas uppgift att lösa reningen. Slutligen planerades för en gemensam reningsanläggning som tar emot hela tunnelns processvatten, istället för vid åtta arbetstunnelmynningar.

De som ritade ventilationsschakt ritade in dem där de passade för tunneln, men de fick senare ritas om, då de inte passade med rådigheten för den fastighet där de kom upp i markytanivå.

Vid planeringen av en stor tunnel genom centrala Stockholm valde anläggaren att ha planstöd istället för endast ledningsrätt. Att ha stöd i detaljplan bedöms ge en större frihet i hur och var ledningen anläggs än om det är ledningsrätt.

2.23.6 Uppföljning

Det finns en rapport med samlade erfarenheter, avseende grundvattenbortledning från många olika berganläggningar och hur prognoser och modeller har stämt överens med den påföljande verkligheten. Där det har gjorts en uppföljning har det ofta visat sig att inläckaget blivit mindre än vad som tidigare beräknats. (BeFo, 2012)

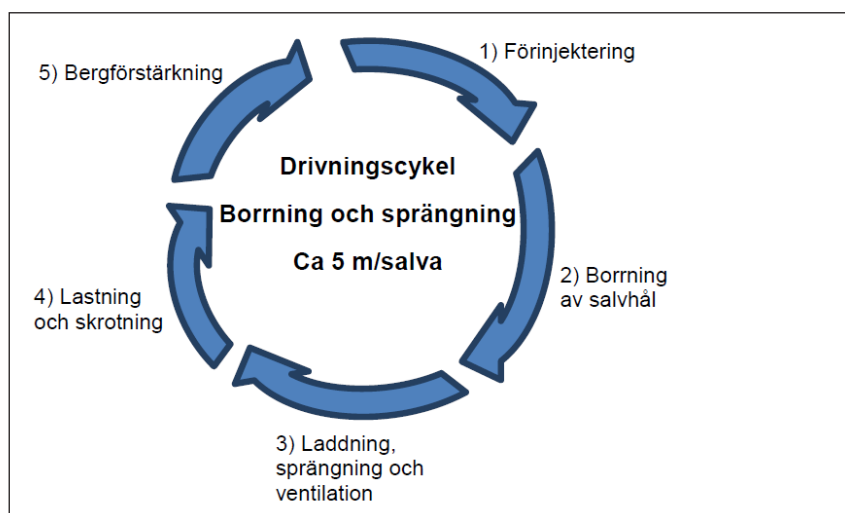
4 Tunneldrivning

4.1 Tunneldrivningsmetoder

Tunnlar kan byggas som bergtunnlar med råsprängt eller betonginklätt berg, med Tunnel-Borr-Maskin (TBM) med betonglining eller som en ren betongtunnel/kulvert.

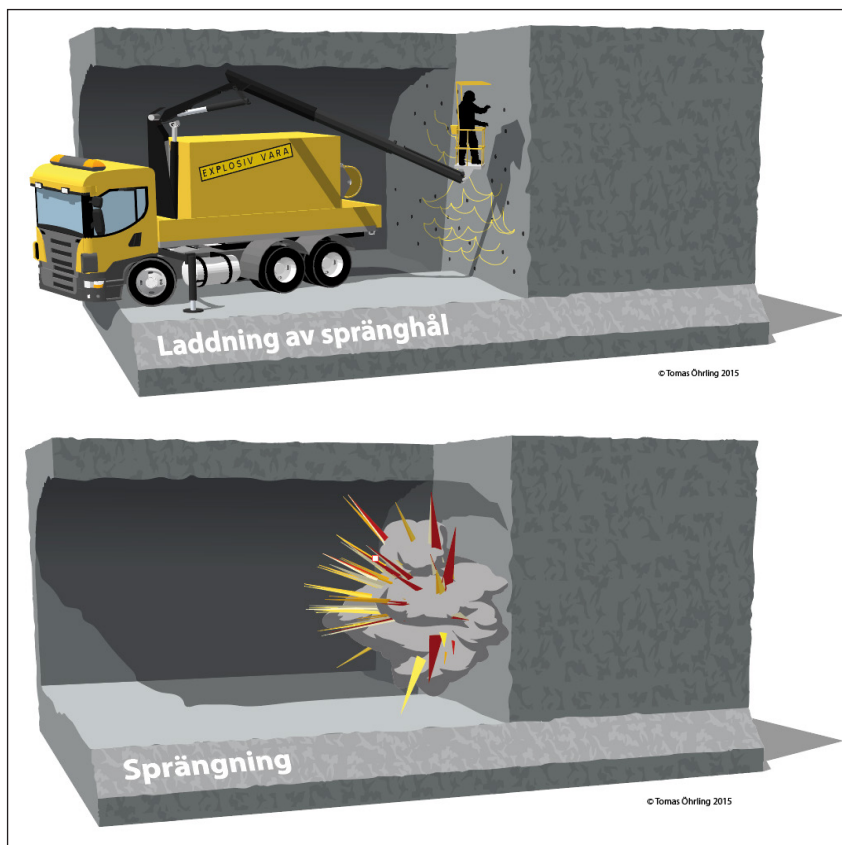
Det finns två huvudsakliga tunneldrivningsmetoder; sprängning samt fullortsborrning. Sprängning där nitroglycerinbaserade sprängämnen används för att spräcka och loss hålla berg, så att det därefter kan bortschaktas, är den i Sverige mest vanligt förekommande drivningsmetoden. De största fördelarna med denna, så kallade, konventionella sprängningen är de ekonomiska och erfarenhetsmässiga faktorerna.

Tunneldrivning med sprängning kan delas in i fem moment, se Figur 4-1. Mer om momentens innebörd går att läsa i rapporten *Västerorts framtida avloppsrening – Underlag inriktningsbeslut* (SVOA, 2013). Moment 3, laddning och sprängning, illustreras i Figur 4-2.

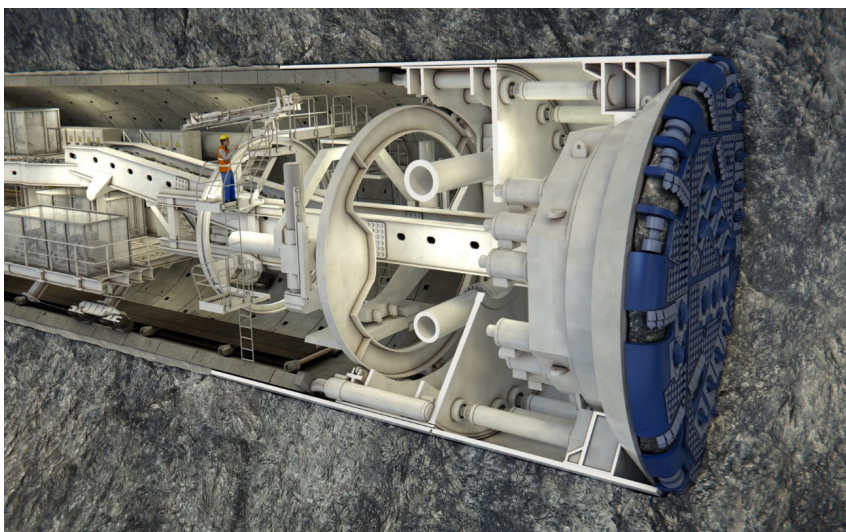


Figur 4-1 Drivningscykel med konventionell teknik, borrning och sprängning. Förinjekteringen utförs ca var 3-4:e cykel om längder på 20-25 m (SVOA, 2013)

Tunneldrivning med fullortsborrning kräver tillskillnad från konventionell metod ingen användning av sprängmedel, berg/jordlossningen sker helt och hållet med bormaskin. Metoden ger mindre vibrationer och skadar inte berget så som sprängning gör. Det finns två primära sätt att borra en tunnel; den ena är med en tunnelborrningsmaskin, så kallad TBM (se Figur 4-3) och den andra med raise-borrning. TBM används oftast till horisontella runda tunnlar medan raise-borrningen används till borrning av vertikala schakt som t.ex. service- och hisschakt. (Swedishrockyjournal.se, 2019)



Figur 4-2 Illustration av laddning av spränghål och sprängning vid konventionell sprängning (Öhrling, 2015)



Figur 4-3 Illustration av borrarng med TBM (HVT, 2016)

Fullortsborrning rekommenderas ur ett hållbarhetsperspektiv, främst eftersom det inte påverkar omgivande miljö i lika stor uträkning som sprängning. Med konventionell sprängning blir dock omhändertagandet och användningen av det uttagna bergmaterialet enklare eftersom industrin kring det sprängda bergmaterialet är väletablerad. Fullortsborrat material är inte efterfrågat då det inte lever upp till mottagarnas kvalitetskrav.

Storleken av tunnlar i VA-sammanhang har ofta bestämts av storleken på utrustningen som krävs för sprängning (borriggar, lastare och lastbilar samt behov av ventilationstub under byggtiden). Det har inneburit att dimensionen ofta blivit betydligt större än vad som fordrats för dimensionerande flöde. TBM-borrning kräver mindre utrymme än sprängning, och TBM kan därför vara att föredra om utrymmet är knappt och överdimension ska undvikas. TBM-maskinen möjliggör dock ingen variation av tunnelsektionen utan borrar med konstant diameter utmed hela tunneln. Maskinen klarar inte heller skarpa kurvor. Ska TBM-alternativ möjliggöras behövs det därför redan i en förstudie ställas krav på geometriska förutsättningar så som kurvradier.

Nedan listas jämförande fördelar och nackdelar med respektive metod.

Fördelar med sprängda tunnlar:

- Det är en väl beprövad metod i Sverige där många aktörer gör att anbud lämnas i konkurrens.
- Metoden är flexibel på så sätt att sektionen kan ändras och nischer sprängas ut vid behov m.m.
- Initieringstiden är kortare och initieringskostnaden lägre än för TBM-tunnlar.

Nackdelar med sprängda tunnlar:

- Anpassning till fordonsparken och ventilationsbehov under byggtiden kan innebära att tunnelarna blir onödigt stora. Bergschaktvolymen och förstärkningsbehovet påverkas.
- För längre tunnlar behövs fler arbetstunnlar, schakt och etableringar.
- Sprängning och utlastning innebär störningar på omgivningen och i tätorter begränsas aktiviteter som borrning, sprängning och utlastning till dagtid, t.ex. kl. 7–18 eller till 22 beroende på bl.a. ljudnivåer.
- Vid sprängningar måste vibrationsmätningar göras som påvisar att de inte orsakar någon skada på befintliga tunnlar.

Fördelar med TBM-tunnlar:

- En TBM har betydligt mindre ventilationsbehov p.g.a. att den är eldriven. Tunnelns sektion kan därför optimeras bättre till behovet snarare än att behöva ge plats för ventilationstuber och fordonspark. Lastnischer kan dock fortfarande behövas om utlastningen sker med lastbil/dumper.
- Behovet av arbetstunnlar minskar men lastnischer kan dock fortfarande behövas om utlastningen sker med lastbil/dumper.
- Tekniken ger en helt slät cirkulär tunnelprofil som kräver ett minimum av efterarbeten innan tunneln kan tas i bruk. Avsaknaden av sprängning, som kan generera en sprängskadad zon omkring tunneln, är en annan fördel, samt avsaknaden av markvibrationer i omkringliggande berg.
- Framdriften går snabbare än för sprängda tunnlar, dels därför att själva borrningen går snabbare och dels p.g.a. att störningar på omgivningen är betydligt mindre. TBM-borrning kan ofta pågå dygnet runt, om den

inte försinkas av en eventuell kontinuerlig förinjektering eller stomljud som stör omgivningen.

- Vid fullortsborrning med TBM kan inklädnad nyttjas. Färdiggjutna betongelement installeras då runt hela tunnelns omkrets via TBM:en strax bakom själva borrhuvudet. Inklädnaden gör tunneln vattentät och förinjektering behövs därför inte. Metoden innebär dock en ökad kostnad som måste vägas mot kostnaden av förinjektering.
- TBM-borrmaskiner kan klara alla typer av bergförhållanden. Vanligtvis används en specialdesignad TBM-maskin för varje projekt som beställts via en process där krav ställs på funktion och kapacitet. Leveranstiden kan vara lång, räkna med 2 år. För att korta ned leveranstiden kan ibland äldre, renoverade maskiner användas (om det går att hitta en som uppfyller projektets krav). När väl maskinen har anlänt tar etableringen normalt mellan sex månader till ett år.

Nackdelar med TBM-tunnlar:

- Kurvradierna för en TBM är betydligt större än för en sprängd tunnel vilket är en nackdel vid trånga passager. Användning av TBM förutsätter därför att metoden är bestämd redan i förstudien.
- Initialkostnaden är högre med TBM-teknik p.g.a. den höga investeringskostnaden. Detta innebär att det finns en undre längdgräns för när TBM börjar löna sig. Maskinkostnaden och därmed längdgränsen beror på tunnelns area och typ av bergmassa.

Ytterligare en jämförelse mellan metoderna hämtad från rapporten *Teknisk och miljömässig utredning, alternativ utsläppspunkt Gryaab*, av Tyréns visas i Tabell 4.1.

Tabell 4.1 Jämförelse av drivningsmetoderna sprängning och TBM (Tyréns, 2017).

Egenskaper/förhållanden	Sprängd tunnel	TBM-borrad tunnel	Kommentar
Etablering	+	-	Snabb etablering för sprängning.
Indrift	-	+	TBM-borrning går vanligen fort, 2-3 gånger fortare än konventionell sprängning.
Flexibilitet	+	-	TBM maskinen har indrift på en front. Sprängning kan ske på flera fronter.
Svåra stabilitetsförhållanden	+	-	En TBM är låst vid sin metod det finns fler metoder att ta till vid sprängning i kritiska situationer.
Förstärkningsbehov	-	+	Det cirkulära tvärsnittet bidrar till stabiliteten i TBM tunnel. Stabiliteten påverkas vid sprängning och kan medföra ett ökat förstärkningsbehov.
Injekteringsbehov	-	+	Påverkan på grundvatten jämförs.
Omgivningspåverkan	-	+	Generellt mindre påverkan vid TBM-borrning. Vad det gäller t.ex. buller, vibrationer och emissioner.
Energianvändning	-	+	TBM borrmaskinen drivs med elström och vid tunnelsprängning används fossila bränslen vid indrift. För en sprängd tunnel krävs lastbilstransporter för utlastningen.
Bergmaterialanvändning	+	-	Bergmaterialet som genereras har mindre användbarhet vid TBM-borrning än vid sprängning.
Materialanvändning	-	+	Mängden byggnadsmaterial för TBM-borrning är mindre (bult, sprutbetong nät, etc.) en sprängd tunnel kräver normalt mer byggnadsmaterial.

Egenskaper/förhållanden	Sprängd tunnel	TBM-borrad tunnel	Kommentar
Ekonomisk hållbarhet	-	+	Den ekonomiska hållbarheten kopplas till energianvändning. En TBM borrad tunnel påverkar miljön mindre. Investeringskostnader, livslängd och underhållskostnader påverkar även den ekonomiska hållbarheten.
Miljöpåverkan	-	+	Föroreningar till recipient t.ex. kväve, oljor, kemikalier, pH höjande ämnen m.m. Emissioner till följd av användning av fossila bränslen.

Konventionell sprängning är vanligare än fullortsborrning och därmed mer beskriven i kommande delkapitel.

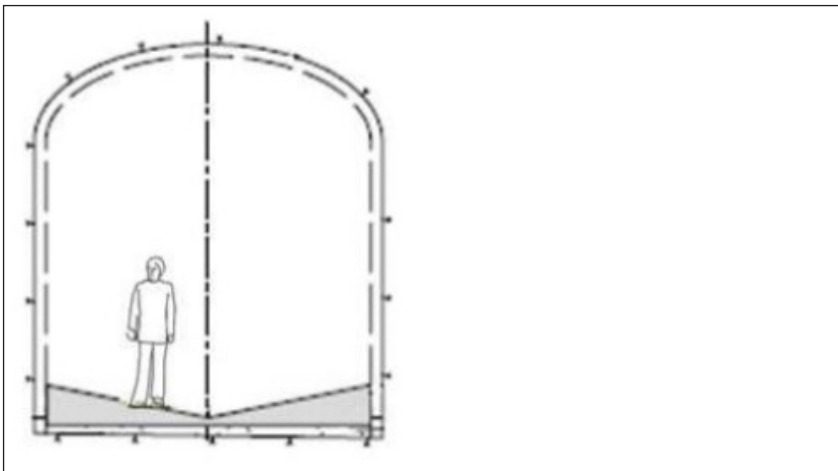
4.1.1 Erfarenheter och konsekvenser av olika metoder

Flera tunnelprojekt har inte kunnat genomföras inom planerad budget och tidsram på grund av att vald tunneldrivningsmetod inte varit den som varit bäst lämpad för det specifika projektet. Eftersom valet av tunneldrivningsmetod måste ske tidigt när förutsättningarna ofta inte är helt fastlagda försvåras beslutet. Ändrade förutsättningar under projektets gång kan också innebära att den valda metoden visar sig mindre lämplig än vad som först antogs. Byte av påbörjad metod är i regel inte aktuellt då det innebär stora merkostnader. Innan definitivt metodval sker ska de risker respektive metod innebär bedömas utifrån en beslutsmodell som tar hänsyn till ett helhetsperspektiv. Modellen bör exempelvis kunna ta hänsyn till kostnadsökningar som kan komma att uppkomma på grund av risker och variationer i drivbarheten. Beräkning av normalkostnader med hänsyn endast till normal drivbarhet räcker inte som beslutsunderlag. (Isaksson, 1998)

Exempel på fullortsborrade tunnlar är Saltsjötunneln och Ormen (båda är avloppstunnlar i Stockholms län), och exempel på sprängd tunnel är Bolmentunnel (färskvattentunnel).

Ett nu pågående projekt är SFAL (Stockholms framtida avloppsrening). För att klara framtida högt ställda krav på vattenrening ska Bromma reningsverk stängas ner och ersättas av en stor avloppstunnel som istället leder avloppsvattnet till Henriksdals reningsverk. Tunneln ansluts till befintliga tunnlar och samlar avloppsvatten från flera delar av stockholmsregionen. Tunneln börjar byggas på nivån -27 meter i Bromma och har sedan självfall fram till Sickla, där nivån ligger på -43 meter. Tunneln sluttar med 1 ‰ vilket motsvarar cirka 14 meter på den totala tunnelsräckan. Den del av tunneln som passerar under Mälaren byggs, på grund av svaghetszoner i berget, med inhängda dykarledning.

Den ungefär 14 km långa tunneln ska drivas med konventionell metod och förväntas bli cirka 4,5 m bred och 5 m hög i normalsektion. Främsta orsakerna till valet av metod är att det finns behov av flexibilitet i rummet (ej fasta svängradier) samt att Mälarpassagen måste drivas konventionellt p.g.a. de givna förutsättningarna (SVOA, 2015). Huvudtunneln i genomskärning visas i Figur 4-4.



Figur 4-4 Huvudtunnel för SFAL i genomskärning (SVOA, 2018)

När Saltsjötunneln anlades mellan Solna och Stockholm valdes fullortsborrning istället för sprängning. Borrningen gav fördelen att tunnelväggarna blev släta utan större efterbehandlingar, men nackdelen att stockholmstraktens hårda granit och gnejs var svårbehandlad vilket innebar en merkostnad relativ sprängning. Arbetet bedrevs i treskift (dygnet runt) under tre år från 1988–1989. Vid framdriften uppkom störande stomljud som fortplantade sig 100 meter genom berget och in i bostäder där det uppmättes upp till uppemot 60 decibel. Numera kan stomljuden innebära att framdriften begränsas till vissa tider för de boendes skull. (Sahlström, 2002)

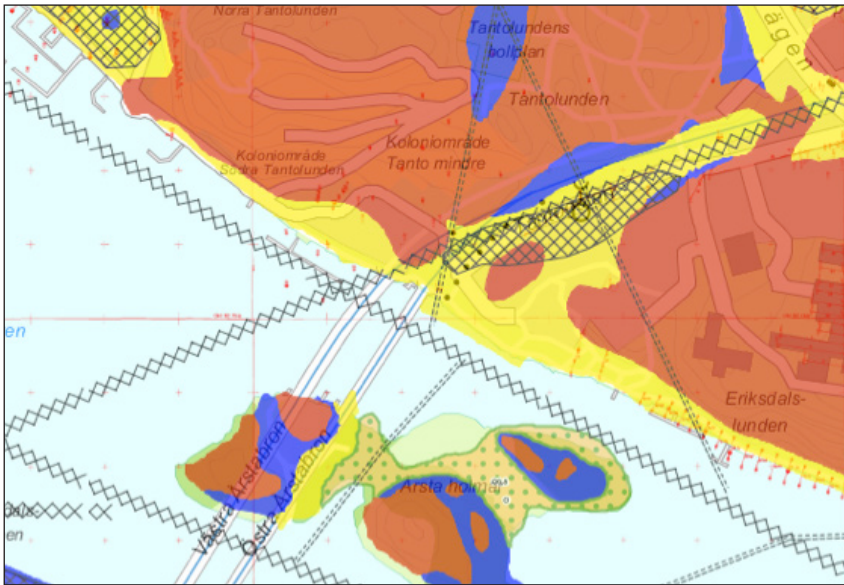
4.2 Geologiska och hydrogeologiska undersökningar

Markundersökningar krävs för att utreda förutsättningar med avseende på berg, geoteknik och hydrogeologi och hur dessa påverkar genomförbarhet av tunneldrivningsmetod. Metodval avseende konstruktionsmetoder och tätningåtgärder kan få stora konsekvenser på budget beroende på berg, geologi och hydrogeologiska förutsättningar. Relevanta undersökningar utförs tidigt i projektprocessen för att bestämma optimal tunnelsträckning avseende god bergtäckning och minimal omgivningspåverkan. Geotekniska undersökningar har byggt tekniskt större relevans vid tunnel i jord, övergång mellan jord och berg samt vid anslutning mot markyta och de tillfälliga och permanenta förstärkningsåtgärder som krävs. Avsikten med geoprojektering är att först analysera och lösa de bedömda geotekniska problemen och därefter utarbeta relevanta handlingar.

För TBM behövs uppgifter på bergartens innehåll av kvarts eller hårdhet för att entreprenören ska kunna bedöma livslängden för kuttrarna i borrhuvudet. Slits dessa hårt blir det mycket stillestånd på grund av byte av kuttrar.

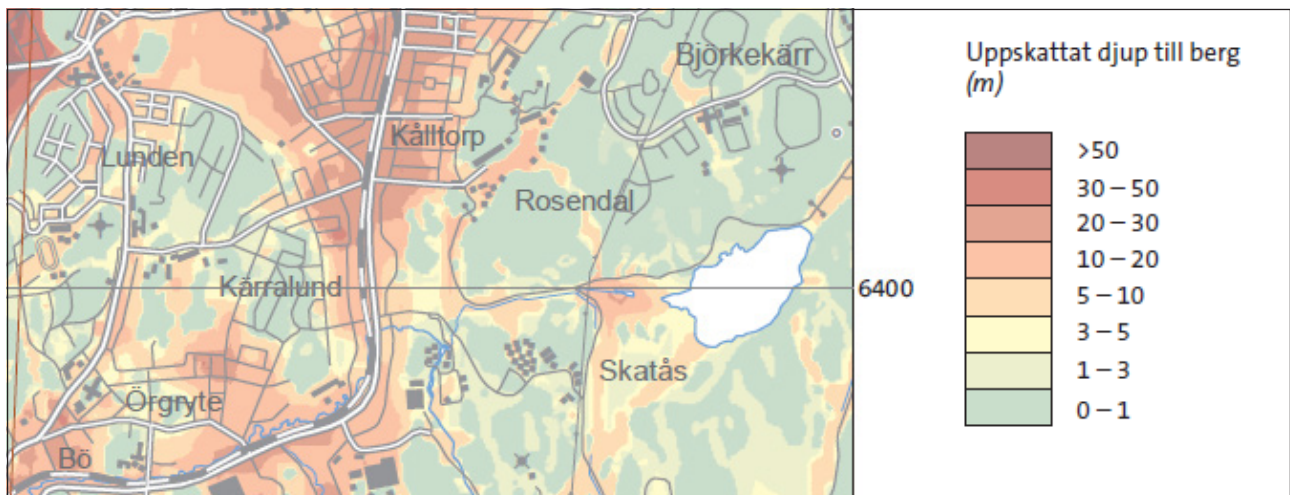
Byggnadsgeologiska kartan i Stockholm är en bra utgångspunkt för att ge underlag för storskaliga bedömningar avseende de geotekniska och bergtekniska förutsättningarna vid arbeten i Stockholmsområdet, se Figur 4-5.

SGU:s jordartskarta ger även gott underlag för hela Sverige. Förutom att söka en optimal sträcka för huvudtunneln måste även lämpliga lägen för påslag/arbetstunnlar och ventilationsschakt identifieras.

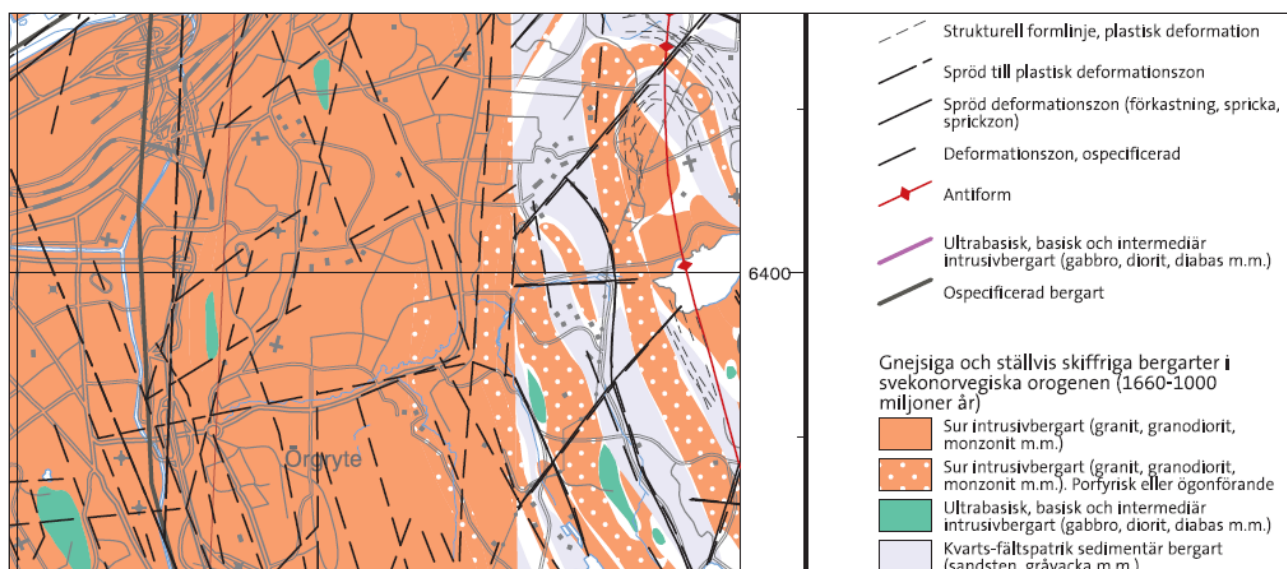


Figur 4-5 Utsnitt ur Stockholms byggnadsgeologiska jordartskarta.

För att lokalisera områden lämpliga för påslag till arbetstunnlar och ventilationsschakt kan även SGU:s jorddjupskarta och berggrundskarta användas (Figur 4-6 och Figur 4-7). Optimalt för ett bergpåslag är områden där berget ligger grunt och där bergkvaliteten är god. En annan viktig aspekt att ta hänsyn till är möjligheten till etablering, utlastning och transporter ut till vägar med bärighetskraft. Vid tätbebyggda områden och känsliga verksamheter kan dessa områden vara svåra att hitta.



Figur 4-6 Utdrag ur SGU:s jorddjupskarta

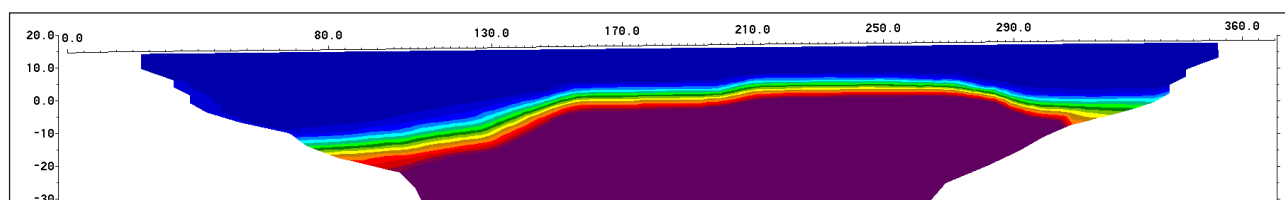


Figur 4-7 Utdrag ur SGU:s berggrundskarta.

SGU har även kartor som redovisar diverse undersökningsresultat som kan användas för att förutsäga bergkvaliteten längs den planerade tunnelsträckan, exempelvis magnetiska undersökningar.

Berggrundskartan och jorddjupskartan bör kombineras med en höjdmodell. På så sätt kan en överblick över området fås som bättre visar sambandet mellan berggrund och topografi. Lägen för påslag och ventilationsschakt kan då placeras i områden med förväntat bra berg.

Även geofysiska fältmetoder kan användas i tidigt skede. De är icke markförstörande och kan dessutom ge stor kvantitativ information över långa sträckor. Dessa metoder har dock vissa begränsningar beroende på geologi och ska kontrolleras och kalibreras mot geotekniska fältundersökningar. Exempel på en geofysisk undersökningsmetod som kan användas är geoelektriska mätningar. Resultat av en sådan mätning kan ses i Figur 4-8. Med denna metod kan data snabbt samlas in för långa sträckor. I ett senare skede korreleras resultaten mot sonderingar för att minska osäkerheten i jord/berg-gränsen. Metoden ger även indikationer gällande bergkvalitet och sprickzoner i berget.



Figur 4-8 Resultat av geoelektrisk undersökning. Berg = lila, lera = blå (Sweco Civil AB).

Generellt ska geotekniska undersökningar anpassas efter planerad anläggning vid givet läge. För att kunna bedöma bergträckningen längs tunnelsträckningen ska en bergmodell upprättas. Den första versionen baseras på en inmätning av berg i dagen och sammanställda befintliga undersök-

ningar, normalt i form av jb (Jord-berg)-sonderingar. Även andra typer av sonderingar kan ge viss information. Om t.ex. en viktsondering har nått djupare än den prognosticerade bergytan måste bergytans läge i modellen sannolikt justeras. Även information från t.ex. pålningsprotokoll och spontslagning kan ge värdefull information.

Även jordlagerförhållanden ovanför tunneln bör utredas för att få underlag för sättningskänslighet vid grundvattensänkning med känsligare sonderingsmetoder, exempelvis vikt- eller CPT-sonderingar. Förekommer lera kan kolvprovtagning och laboratorieundersökningar behöva utföras. Är det istället i läge för övergång mellan jord och berg och/eller vid påslag mot markyta som sökes finns det andra parametrar som måste utvärderas. Därför utförs andra och ibland mer detaljerade undersökningar som ligger till underlag för exempelvis schakt, spontning och pålning. Jordens hållfasthetsparametrar behövs kontrolleras, vilket kan utredas med CPT-sondering, kolvprovtagning med rutinundersökning på laboratorium, vingförsök och hejarsondering.

I och med att ytterligare information om jordlagerförhållanden etc. samlas in ska risker och konsekvenser för tekniska lösningar och utförande ses över och flaggas för. Det är inte ovanligt att ny information innebär stora avgörande förändringar och ju tidigare alternativen övervägs, desto bättre för projektet.

Under byggnation kan påverkan ske på byggnader och anläggningar på grund av vibrationsalstrande arbeten, schakter, osv. Temporära förstärkningar ska anpassas för jordlager- och grundvattenförhållanden för att säkra teknisk kvalitet och god arbetsmiljö. Alternativa grundläggningsätt ska jämföras och möjliga hinder för dessa måste belysas och kvantifieras för att utreda om avgörande hinder kan stoppa produktion.

En risk som bör undvikas för att minska byggkostnaden är bergtäckning. Nivån för bergytan måste kontrolleras för att utreda om bergtäckningen är tillräcklig. Alltför låg bergtäckning kan kräva omfattande förstärkningsåtgärder. En tumregel är att då bergtäckningen understiger halva spännvidden för tunneln blir det kritiskt med stabiliteten och mer omfattande förstärkningsåtgärder kan bli aktuella.

Där tunnelsträckningen passerar svaghetszoner eller områden med förväntat sämre berg, som ofta associeras med svackor i berggrunden och sämre bergtäckning, bör behovet av kärnborrning noggrant övervägas. I samband med detta planeras och utförs vattenförlustmätningar i syfte att bättre bedöma bergmassans hydrogeologiska egenskaper. Vattenförlustmätningar utförs antingen som enhålstest, med eller utan en eller flera manschetter, alternativt som flerhålstest vilket tar längre tid och kostar mer men kan vara väl investerad tid och peng. Vattenförlustmätningarna är en ingående del vid beräkning av hur tunneln ska förinjekteras för att minimera inläckage i tunneln. Förinjektering av tunnlar är en betydande del av entreprenadsumman vid tunnelbyggande och denna del bör därför studeras redan i ett tidigt stadium.

Även platser där påslag till tunnlar planeras bör undersökas med kärnbörning. För att undersökningen ska ge så mycket information som möjligt bör berget i påslagsläget undersökas med 2 till 3 kärnbörningar. Borrhålen placeras och lutas utifrån resultat av tidigare bergundersökningar. Borrkärnorna undersöks och karteras sedan. Sprickkartering är en av de viktigaste parametrarna vid kartering och resulterar i att bergmodellen kan kompletteras med spricksystemet i berget på platsen. Beroende av resultat kan placering och orientering av påslaget optimeras. Detta är av stor vikt vid uppskattning av hur mycket förstärkning tunnelpåslaget kan komma att kräva och är därför viktig information att ha tillgänglig så tidigt som möjligt.

Borrkärnorna kan även användas till att göra laboratorieanalyser av bergets hållfasthet och kvalitet samt förslitning vid börning. Denna information nyttjas för kostnadsberäkningar vid metodval av tunneldrivning.

4.2.1 Grundvattenutredning

Grundvattenberoende skydds/riskobjekt som existerar inom och i närheten av aktuellt område ska identifieras i förstudie:

- Redan befintliga vattenverksamheter
 - Energibrunnar
 - Vattenbrunnar
 - Andra undermarksanläggningar i vilka grundvatten hanteras
- Natura 2000 områden
- Vattenskyddsområden
- Skyddsvärda ytvattendrag
- Skyddsvärd naturmiljö som är beroende av grundvatten
 - Sättningskänsliga objekt
- Konstruktioner, hus, ledningar, annat
- Fornlämningar

Nedanstående frågor ska besvaras:

- Hur vägs kostnaden för att t.ex. minska mängden inläckande grundvatten genom att bygga tät, jämfört med risken att negativt påverka tredje man genom en grundvattenbortledning och avsänkning?
- Är tillståndprocess medtagen i budget och tidplan?
- Hur mycket inläckande vatten ”tål” anläggningen?

Det förekommer risker i och med grundvattensänkning som kan föranleda sättningar och skador på befintliga byggnader och anläggningar med grundvattenberoende grundläggningar samt dricksvatten-brunnar och energibrunnar, vattendrag etc.

Om observationspunkter för grundvatten saknas kan SGU:s Brunnsarkiv i viss mån nyttjas för översiktliga bedömningar av hydrauliska parametrar. I Brunnsarkivet återfinns normalt noteringar kring såväl brunnsdjup som bedömd kapacitet, vilket tillsammans med fakta avseende geologiska enheter och zoner kan användas för beräkning av bergmassans hydrauliska konduktivitet. Det finns dock några osäkerheter i brunnsarkivet.

Dels finns det inte någon garanti för att alla brunnborrare lämnar in sina brunnsprotokoll till SGU, dels kan det finnas gamla inrapporterade brunnar som inte längre är i bruk. Om brunnen inte är inmätt kan det vara osäkert var på fastigheten brunnen är placerad. Därför är det brukligt att göra en brunnsinventering där berörda fastighetsägare kontaktas.

Ansvarig hydrogeolog bör hantera samtliga installationer och övervakning av grundvattenrör för att säkerställa att de installeras där de fyller den funktion som förväntas. Om exempelvis ett grundvattenrör avsett för ett magasin i jord flyttas lite grann för att borrhjgen har svårt att komma fram och istället placeras på en bergyta kan nivåmåtningsresultaten bli missvisande. Det kan leda till felaktiga bedömningar av grundvattenmagasinets funktion. Alla aktiva observationspunkter med avseende på grundvattennivåövervakning bör funktionstestas minst en gång per år.

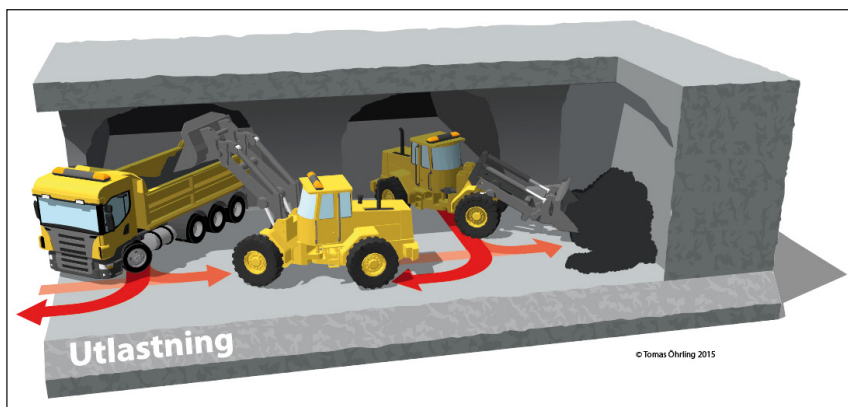
Grundvattenrör i jord installeras gärna som 2"-rör i stål med 1 meter perforerat filter och spets mot bergöveryta (alt. friktionsjordens med vattenförande del).

Grundvattennivåmåtningar och utredningar avseende bergmassans hydrauliska konduktivitet utförs med fördel i hammar- och/eller kärnborrhål. Bergborrhål kan med fördel gradas för att täcka in så stor del av bergmassan som möjligt. Om de ska kunna användas för att övervaka grundvattenmagasinet i berg behöver först foderrör drivas genom eventuella överlagrande jordlager. När hålet därefter är borrarat och klart krävs normalt tätning mellan ytan och berget för att hindra t.ex. nederbörd och ytavrinning att leta sig ner i hålet.

Vattenprovtagning bör utföras i såväl jord- som bergmagasinet för att utreda grundvattnets kemiska och fysikaliska egenskaper. Utöver detta bör analyser med avseende på korrosivitet utföras, samt eventuell föroreningsprovtagning om risk för förorenat grundvatten eller förorenad mark föreligger.

4.3 Utrymmesbehov

Planering av erforderligt utrymme för utlastning av bergmassor (se illustration i Figur 4-9), trafikplanering, mötesplatser, uppställnings- och serviceytor, etc. ska ske tidigt i projektprocessen.



Figur 4-9 Illustration över utlastning av bergmassor efter sprängning (Öhrling, 2015)

Etableringsområde behövs i anslutning till byggverksamhet för till exempel lagring av byggmaterial och uppställning av arbetsbodas.

4.4 Övergång mellan berg och jord

Övergång mellan berg och jord är oftast den mest känsliga delen med avseende på grundvatten och därmed viktig att klarlägga. Övergången mellan olika geotekniska förhållanden innebär risker avseende stabilitet, grundvatten och sättningar (se kapitel 4.2).

Övergång utförs på olika sätt beroende på markförhållandena i området samt konstruktionens och omgivningens toleranser. Släntstabiliteten samt eventuella förstärkningsbehov i anslutning till tunnelpåslag måste beaktas.

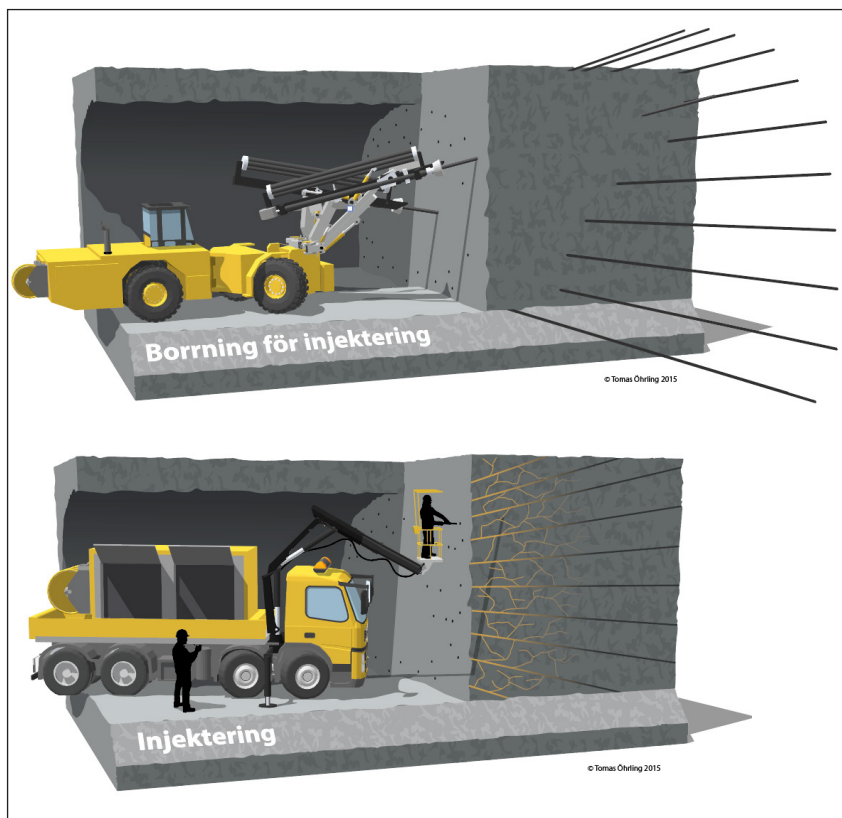
Vid byggnation av pendeltågstunneln Citybanan hade det gjorts många jobbsonderingar inför tunneln som skulle gå genom jord och berg. Penetrationen förstörde den valvverkan som jorden hade ovanpå, vilket resulterade i att injekteringsmedel sköts upp genom jorden och orsakade sättningar i kyrkogården ovanpå. Det blev ett tvärstopp under tre veckor, till dess att det togs fram en ny tillfällig lösning med horisontella jetpelare en bit ovanför tunneln samt en stålbåge som monterades runt tunneln, kompletterad med fiberarmerad betong, innan den permanenta tunneln anlades.

4.5 Inläckage och tätningsmetoder

Omfattande erfarenheter av tätning i svenskt urberg har visat att injektering oftast är den enklaste och ekonomiska fördelaktiga metoden för att hindra inläckage av oönskat vatten vid svenska förhållanden. Injektering används regelbundet när krav på täthet finns (Vägverket, 2000).

Vid injektering borras ett antal salvhål i berget som korsar bergets spricksystem. Därefter kopplas hålen till en injekteringspump som pressar ut injekteringsmedel i sprickorna som därmed tätas, se Figur 4-10. Den vanligaste och mest beprövade typen av injekteringsmedel är cementsuspension. Kunskapen om cementinjektering samt injekteringsmedlets spridning har ökat avsevärt de senaste årtiondena och materialutveckling har lett till att cementsuspensioners inträngningsförmåga blivit betydligt bättre än de varit historiskt. Förinjekteringen som sker innan schaktning påbörjas är normalt den injekteringstyp som ger de mest effektiva resultaten, efterinjekteringen efter utsprängning är dock också viktig för att undvika restläckage. (BESAB, u.d.)

För att bedöma ett injekteringsmedlets eventuella miljöpåverkan behövs kunskap om produkten och de ingående ämnena (farobedömning), analys av exponeringsvägar och halter i de exponerade miljöerna (exponeringsanalys) samt en sammanvägning av farobedömning och exponeringsanalys inklusive en redogörelse av osäkerheter i bedömningen (riskkaraktärisering). Data som krävs vid miljö- och hälsoriskbedömning enligt Vägverkets rapport *Tätning av bergtunnlar – förutsättningar, bedömningsgrunder och strategi vid planering och utformning av tätningsinsatser* (Vägverket, 2000) är:



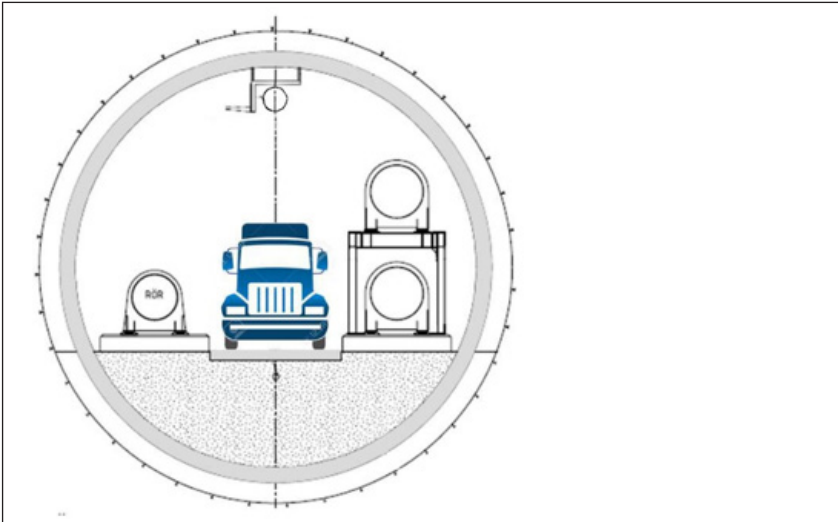
Figur 4-10 Illustration av utförande av borrning för injektering och injektering (Öhrling, 2015)

- Ämnenas inherenta egenskaper, d.v.s. de inneboende miljöegenskaperna för respektive kemikalier avseende yttre miljö och människa (arbetsmiljö)
- Användning i det aktuella fallet; mängder, tidsaspekter, appliceringsförfarande
- Geologiska och hydrogeologiska förutsättningar
- Hur mycket av beståndsdelarna i injekteringsmedlet som bedöms läcka ut i naturen.
- Nedbrytning eller omvandling av de kemiska beståndsdelarna
- Möjliga spridningssätt och spridningsvägar (direktexponering till personal, grundvatten, länshållningsvatten etc.)
- Recipientdata

I SFAL ställs extra höga krav på täthet i vissa delar av tunneln som därför kan komma att få en betonginklädnad som gjuts mot bergväggen, se Figur 4-11. Behovet avgörs vid utsprängningen när det kan avgöras om injekteringen varit tillräcklig för att uppnå önskad täthet eller om även betonginklädnaden behövs.

Erfarenhetsmässigt reducerar inte inklädnaden inkläckaget helt, mindre mängder vatten kommer fortfarande kunna ta sig in i tunneln via sprickor i betongkonstruktionen. Sprickorna kan reduceras genom utjämning av bergytan bakom betonginklädnaden med sprutbetong, armering, korta gjutlängder, betonghårdning med kylning samt efterinjektering, eller med

ett tätt membran mellan berg och betonginklädnad (Ramböll Sverige AB, 2015).



Figur 4-11 Tunnelsektion under Mälaren med en cirkulärt gjuten betonginklädnad/lining

4.6 Stigort/räddningsschakt

Tillgängligheten för in- och utfart är viktigt ur säkerhetsperspektiv. De enklaste utrymningsvägarna är nedfarter och påslag, men de kan vara svåra att få plats med i en trång stadsmiljö. Det viktigaste att tänka på vid utformningen av räddningsschakt är att den gör det möjligt att få ut personer som inte kan gå själva. Inga stegar får förekomma. Exempel på ett räddningsschakt visas i Figur 4-12.



Figur 4-12 Exempel på ett räddningsschakt.

Ett arbetsställe under jord ska normalt ha minst två av varandra oberoende utrymningsvägar. Om detta inte går att ordna ska åtgärder vidtas som gör säker undsättning eller utrymning möjlig. Mobila eller fasta räddningskammare ska finnas där så erfordras. Utrymningsvägarna får inte vara blockerade och ska vara tydligt markerade.

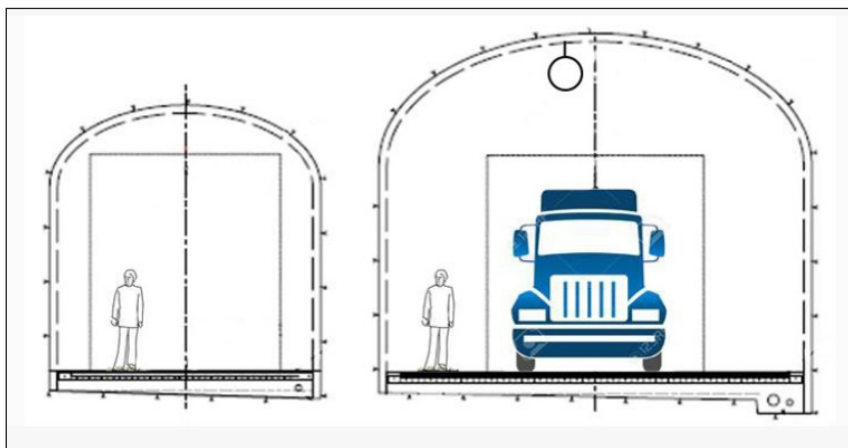
Räddningsschakt kan även erfordras för ventilationssystem och övrig nödvändig kommunikation, se kapitel 8 och 9.

4.7 Arbetstunnlar

Arbetstunnel öppnas under byggskedet och används för framdrift av tunnelbygget. Det är vanligast med arbetstunnlar vid konventionell sprängning, men kan förekomma även vid TBM, beroende på att det annars kan bli långt till utgångar vid service under driftskedet. Den bör ha tillräcklig bergtäckning, undvika kollision med befintliga undermarksanläggningar (ledning, bergrum, tunnlar) samt ha tillgång till el, VA, etc. Tunnelmynning placeras med avseende på anslutande vägar och så att närhet till skolor, sjukhus, bostäder, verksamheter, kultur- och naturvärden, rekreationsområden m.m. undviks.

Servicetunnel avser en körbar tunnel under drifttiden som uppfyller krav på funktioner för underhåll av pump- och serviceinstallationer samt räddningstjänstens insatser. Tunnlar som under byggskedet fungerar som arbetstunnlar till huvudtunneln och genom vilka uttransporter av bergmassor skett kan bli servicetunnlar och utrymningsvägar i driftskedet. De kan även nyttjas för ventilation och för räddningstjänstens insatser.

Avloppstunneln behöver ha ett antal servicetunnlar för att service ska kunna utföras på huvudtunneln. I Stockholms framtida avloppsrening, SFAL, kommer service- och arbetstunnel att ha olika tvärsnitt, se Figur 4-13. Bild från en av Gryaabs servicetunnlar i Göteborg visas i Figur 4-14.



Figur 4-13 Arbets- och servicetunnel (SVOA, 2018)

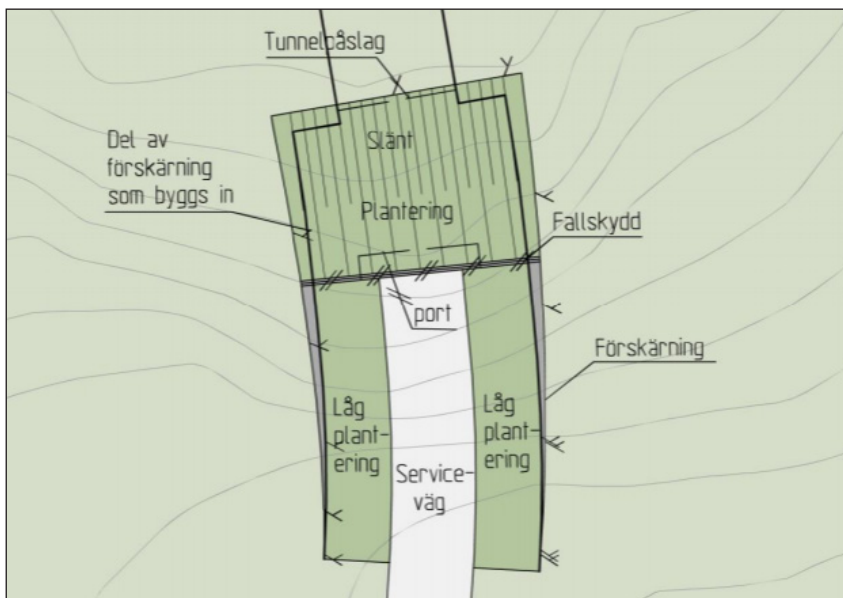


Figur 4-14 Bild på servicetunnel i Gryaab tunnelssystem, Göteborg (Gryaab, 2019)

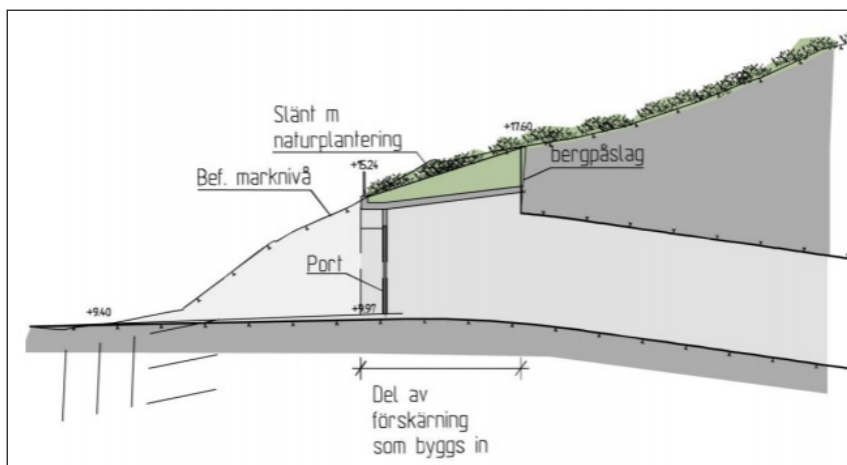
4.8 Tunnelpåslag

Tunnelpåslaget avser den öppning där tunneldrivningen påbörjas. I Stockholms framtida avloppsrening, SFAL, utformas permanenta tunnelpåslag efter en gemensam princip som anpassas efter respektive plats. Extra förstärkningsåtgärder vid tunnelpåslaget kan krävas för de första sprängsalvorna.

Grundtanken är att ge påslagen en så liten inverkan som möjligt så att de smälter in i omgivningen, vilket främst görs genom att påslaget övertäcks och porten skjuts fram så att den blir lika hög som omgivande marknivåer, se Figur 4-15 och Figur 4-16. Att dra fram porten och övertäcka den med



Figur 4-15 Principutformning i plan av tunnelpåslag för SFAL, (SVOA, 2015).



Figur 4-16 Principutformning i sektion av tunnelpåslag för SFAL (SVOA, 2015).

naturmark gör att det visuella intrycket av den bergtäckning (minst 3 m) och förskärning som krävs kan reduceras avsevärt (SVOA, 2015). I Figur 4-17 visas bilder på exempel på tunnelpåslag vid Käppalaverkets samt Gryaabs befintliga tunnlar.



Figur 4-17 Exempel på tunnelpåslag från Käppalaförbundets system t.v. och Gryaabs t.h. (Käppalaförbundet, 2019) (Gryaab, 2019).

Ibland kombineras tunnelpåslag med anslutning till övrigt VA-system, se exempel från Käppalas tunnelsystem i Figur 4-18. Anslutningar till befintliga VA-system kan dock vara geotekniskt komplicerade då planläge ej kan styras, se mer i kapitel 6.5.

Dagvatten utanför tunnelpåslag till spillvattentunnel ska ledas bort då det är oönskat med tillskottsvatten i spillvattentunnel.



Figur 4-18 Tunnelpåslag med anslutning till vänster i bild (Käppalaförbundet, 2019).

4.9 Brand

Sannolikheten för branduppkomst är oftast störst under anläggnings-skedet, samtidigt som brandtekniska system helt eller delvis ännu inte hunnit tas i drift. Således är både risk samt konsekvenser av brand i regel som störst under detta skede. Det finns krav på brandsäkerhet inom arbetsmiljölagstiftningen. Det är byggherren som ansvarar för brand-skyddet, även under anläggningsskedet. För att minska riskerna bör byggherren noga planera och utföra arbetet på ett säkert sätt, samt vidta kompletterande och lämpliga organisatoriska åtgärder för att kompensera för bristerna i brandskyddet. Om byggherren saknar kompetens inom området bör hen biträdas av sakkunnig person vid utarbetande av brand-skyddet för anläggningsskedet. Åtgärderna bör vara utförligt beskrivna i en brandskyddsbeskrivning som bifogas projekteringshandlingarna (se nedan) (GRAMKO:s arbetsgrupp Brand, 2016).

Räddningstjänsten kan kräva att det finns insatsplaner som möjliggör en så effektiv insats som möjligt. Räddningstjänsten kommer dock aldrig få tillträde till tunneln eftersom den inte kan utformas så att den uppfyller deras arbetsmiljökrav

Inför uppstarten av anläggningsskedet bör enligt GRAMKO:s rapport *Brandskydd i Gruv och Berganläggningar* ett dokument upprättas som beskriver brandskydd under anläggningsskedet, där brandskyddet och utrymningssäkerheten specificeras i detalj. Dokumentet syftar dels till att samla alla detaljer kring brandskyddet, dels till att synkronisera de olika brandskyddsåtgärderna under anläggningsskedet. Exempel på punkter som bör ingå i dokumentet är:

- organisation och ansvarsfördelning
- insatsplaner till Räddningstjänsten

- utrymningsvägar
- utrymningsövningar
- uppsamlingsplatser/återsamlingsplatser
- utrymningsplaner
- placering och antal räddningskammare
- nödbelysning
- etableringsplatser för entreprenörer
- uppställningsplatser för gasflaskor
- placering och hantering av brandfarlig vara
- placering av handbrandsläckare
- brandvattenförsörjning
- ventilation (Reversibla fläktar erfordras för rökgasventilation vid brand)
- materialhantering
- heta arbeten
- besöksverksamhet
- kommunikation
- personalkontroll och positionering
- utbildning.

Anläggningsägaren är ansvarig för att en fullständig brandskyddsdokumentation upprättas i enlighet med de krav som ställs i Boverkets byggregler.

Anläggningens egen brandorganisation bör vara involverad i arbetet, främst vid kravställande som inte täcks via lagstiftningen – exempelvis funktionskrav på utrustning eller skydd av särskilt viktiga inventarier eller infrastruktur. (GRAMKO:s arbetsgrupp Brand, 2016)

4.10 Ventilation

Vid sprängning eller användning av arbetsfordon, maskiner och kemiska ämnen under jord ska riskerna för olika slags luftföroreningar som det begränsande utrymmet ger särskilt kontrolleras. Regelbundna kontroller ska göras av luftens kvalitet till exempel med hjälp av direktvisande instrument och/eller med stationära mätninginstrument som varnar vid luftföroreningar av till exempel kvarts och kolmonoxid. Radon räknas såsom joniserande strålning och ska finnas beskriven i arbetsmiljöplanen. Se även kapitel 8.

Mekanisk ventilation ska installeras i tunnlar i driftskedet. I SFAL planeras installation av frånluftsfläktar som skapar undertryck i tunnelarna i syfte att förhindra spridning av lukt vid anslutningar till tunnelarna (SVOA, 2015).

- Enligt rekommendationer bör forcerad ventilation tillämpas vid tunnelfronten och detektering av temperatur, luftfuktighet och gaser samt gasrenare (scrubbers) erfordras.

5 Typer av hydrauliska tunnlar och deras funktioner

5.1 Användningsfunktioner

Huvudfunktionen för hydrauliska tunnlar är att transportera vatten mellan två punkter med hjälp av självfall, men de kan också användas till utjämning, magasinering och avsättning. De primära designparametrarna är normala och stabila hydrauliska förhållanden.

Vattenförande tunnlar kan benämnas som antingen våta eller torra. En våt tunnel kan ha en normalt låg vattenyta eller så kan den vara vattenfylld. Tunnlar med normalt låg vattenyta kan oftast beträddas torrskodd medan en vattenfylld tunnel endast kan beträddas av dykare. I en torr tunnel leds vattnet genom inhängda rör och det går att gå eller, i större tunnlar, köra fordon bredvid rören. Rör i torra tunnlar är normalt lättare att få åtkomst till och därmed lättare att åtgärda/justera än rör i våta tunnlar.

5.1.1 Vattentransport

För vattentransport från A till B används tunnlar med fri vattenyta, trycksatta fyllda tunnlar (dykartunnlar) eller torra tunnlar där vattnet leds genom inhängda rör. Tunnlarnas uppgift är att samla ihop vatten från omkringliggande ledningsnät, tunnlar, pumpstationer och eventuellt dagvatten.

5.1.2 Utjämning

Denna typ av tunnlar används för att i) kunna utjämna flödestoppar, ii) undvika att pumpar startar för frekvent i pumpstationer, iii) hantera problem med oscillering. Erfarenheter från anläggningsägare refererar oftast till att utjämna flödestoppar för att undvika att nedströms pumpstation eller reningsverk behöver dimensioneras för flödestoppar som normalt bara uppstår en eller ett par gånger per år.

Tunnlar för utjämning har som uppgift att hantera stora inkommande vattenvolymer i syfte att ge ett lägre, jämnare utflöde ur utjämnningstunneln. Huvuduppgiften är därmed inte att transportera vatten utan att tillfälligt uppehålla det. En nyligen byggd utjämnings-tunnel är Themsens tidvattentunnel i London (Tideway, u.d.), mer om den går att läsa i rapporten *Review of the Thames Tideway Tunnel* (Morse, 2017).

Tunnlar för utjämning bör ha bra lutning så att rens och sediment sköljs ut då tunneln töms på vatten. Tunnlar som aldrig kan användas för utjämning är fyllda tunnlar (dykartunnlar) och tunnlar med fri vattenyta där vattennivån inte tillåts variera så mycket.

Ostadiga fenomen uppstår om det finns en störning eller ett avbrott i ett stabilt flöde eller drift. Inom VA-system kan detta exempelvis uppstå vid start- eller stopp i en pumpstation. Ett ostadigt fenomen i ett hydrauliskt system ger två effekter med olika tidsskalor: en ”elastisk” svängning eller

en fortplantning av en våg, även kallat tryckslag, (water hammer) eller water column separation, och svallning (massoscillation). I långa trycksatta system är sannolikheten att få tryckslag eller liknande fenomen som störst, och i stora flödessystem är det större sannolikhet att träffa på svallning.

Tunnlar som används för utjämning utgör störning för ventilation / undertryck i tunnlar. Se kapitel 8 om ventilation.

Inom Stockholm Vattens ansvarsområde finns flera tunnlar för utjämning, bl.a. Ormen och Underverket som har konstruerats i fördröjande syfte. Ett problem har varit att fördröjningen oundvikligen lett till viss sedimentation. I flera fall har det skapat problem då anläggningen inte i tillräckligt stor grad varit anpassad för att hantera sedimentationen effektivt och säkert, t.ex. har vattenlås nästan satts igen troligtvis p.g.a. bristande möjlighet till tillsyn och underhåll.

Fördröjningsmagasin (exempelvis Ormen) har avancerad styrning som är optimerad för att minska vattenvolymerna på rätt ställen i syfte att undvika källaröversvämningar. Problemet är att anläggningsägaren/driften inte alltid har haft full insikt om varför styrningen är viktig och därmed kan viss effekt gå förlorad p.g.a. handhavande. Rörliga luckor i sådana system har även inneburit dyr drift då de behövt bytas ut ungefär var 20:e år.

Ett annat problem i Stockholms Vattens utjämningstunnlar har varit att anläggningsägaren inte alltid har haft koll på hur mycket tunneln kan fördröja. Det saknas helt enkelt dokumentation om vilket maxflöde/volym som anläggningen kan klara innan regleringen orsakar mer skada än nytta. Detta leder till att åtgärder först görs när olyckan har inträffat, dvs inget proaktivt arbete. Detta gäller inte minst luft/lukt som plötsligt kan komma ut på fel ställen.

Vissa fördröjningsmagasin har sandfång eller liknande som ska hantera s.k. "first flush", men driften av dessa i tunnlar har ibland varit bristfällig och funktionen är oklar. Hur mycket sand/slam som skölj med vid tömning är inte heller känt (Händevik, 2018).

Gryaab i Göteborg har goda erfarenheter av fördröjningsmagasin, de har fungerat bra förutom upprepade problem med sand och slam som varit svårt och kostsamt att suga ut. Troligen hade sandfång uppströms magasinen underlättat. För att undvika sedimentproblem bör magasinen rensas regelbundet, Gryaab gör det oftast genom att dämna upp och sedan släppa vatten så att sedimenten spolats bort. Ett alternativ är att istället spola tunnlar med sjövattnet, vilket Käppalaverket har möjlighet till i några av sina magasin (Nielsen, 2018). Kom ihåg att innan spolning se över uppströmskonsekvenser med tanke på rens, risker för översvämning m.m.

Gryaab poängterar vikten av en väl genomtänkt design där utjämningsvolymen blir så stor som möjligt, gärna med dynamisk regleringsanordning, det har erfarenhetsmässigt fungerat bäst. För att minska problem med luftfickor bör svackor i tunneltaket undvikas. Se även över om det kan behövas nödtömning av tunneln för inspektion eller underhåll, då kan

det vara bra att förbereda för dränkbara pumpar m.m. (Pettersson, et al., 2018).

Trollhättan Energi AB, TEAB (VA-huvudman i Trollhättan) utreder för nuvarande möjligheter att skapa ett system med en lösning för fördröjning inom tunnelsystemet, i projekt Flödesstyrning tunnlar, med sikte mot en variant av det som byggts upp i Göteborg (www.vattenigoteborg.se). (Bohman, et al., 2018)

I Oslo finns flera väl fungerande utjämningsmagasin. Där är magasinerna en förutsättning för att avloppsreningsverken ska kunna klara reningen (Bakken, 2018).

5.1.3 Magasiner

Skillnaden mellan tunnlar för utjämning och för magasinering och avsättning är att utjämningen bara är en bieffekt av stora tvärsektioner medan magasin och avsättningstunnlar är utformade för fler funktioner (t.ex. att skilja av sand och sten). Dock kan utjämning, magasinering och fördröjning betraktas med samma upplägg. Helst ska avloppsvattnet inte bli för "gammalt" och stå för länge i tunnarna, utan vattnet bör omsättas, eventuellt genom omrörning. Behandlingsprocesser kan behövas i dessa tunnlar, så som luftning, lukthantering m.m. Detta kan även vara kopplat till tillståndet, utformning m.a.p. berg, geologi och hydrogeologi.

5.1.4 Avsättningsmagasin

Ett avsättningsmagasins funktion är att fånga större partiklar i vattnet så att det inte uppstår problem med sedimentation i någon lågpunkt i tunneln eller i efterföljande pumpstation. Det är oftast sand, grus och större stenar som samlas upp i sådana magasin som vanligen benämns sand- eller stenfång.

Årstatunneln (dagvatten) i Stockholms Vattens regi har i den nedre delen en avsättningsanläggning. När anläggningen sanerades 2016 till 2017 uppstod flera problem eftersom den inte var konstruerad för driftpersonal med dagens säkerhetsränk. Rensningen kostade ca 10 mnkr, varav bortforsling av det blöta sedimentet stod för en stor del av kostnaden. För att minska problemen i framtida tunnlar bör stora avsättningsmagasin vara konstruerade med antingen större underjordiska utrymmen för hantering av slamavvattning eller med reserverat utrymme vid ytan där det kan hanteras på plats. Vatten/el m.m. bör vara framdraget och ev. en pumpstation för sediment bör byggas från början. Om Stockholm Vatten skulle bygga nya avsättningsanläggningar idag skulle de skapa bättre åtkomst (tillgång med fordon) samt möjlighet till bypass för säkrare drift och övervakning så att det går att avgöra när drift behövs (i den bästa av världar, om det är praktiskt och ekonomiskt genomförbart är en annan sak).

Generellt belastas stora avsättningsmagasin/tunnlar ofta av dagvatten vilket leder till stora sedimentmängder som är tidsödande att omhänderta. Därför rekommenderas att anläggning konstrueras på ett sådant sätt som gör att största delen av dagvattnet kan avledas till ett ytligt system under

rengöringen av avsättningsmagasinet. Det minskar riskerna för driftspersonalen och möjliggör snabbare sanering.

För att minska dagvattenbelastningen under saneringen av Årstatunneln konstruerades temporära regleringar uppströms de största anslutningarna till tunneln där dagvattnet avleddes till närliggande dag- och spillvattensystem som inte belastade tunnel. Regleringen bestod av b.l.a. pumpar, skibord och överkopplingar. För att minska risken för negativa effekter på mottagande system så som skadlig dämning dimensionerades och testades varje reglering först i en övergripande hydraulisk modell. (Hådén, 2016)

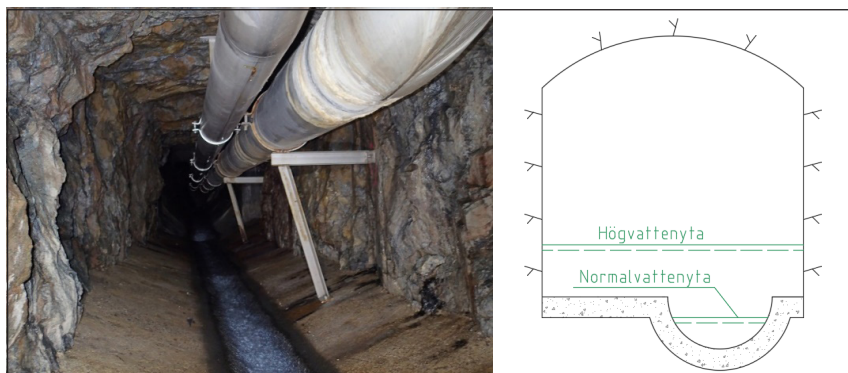
5.2 Typer av tunnlar ur ett hydrauliskt perspektiv

Detta kapitel beskriver tunnlar med fri vattenyta, trycksatta tunnlar och torra tunnlar med inhängda rör.

Alla nedanstående tunnlar kan användas för spill-, dagvatten och råvatten för dricksvatten, dock bör tunnelns sträckning beaktas extra noga när det gäller dricksvatten.

5.2.1 Tunnlar med fri vattenyta

Denna typ av tunnlar dimensioneras för att aldrig gå fulla, det får endast ske i undantagsfall. Tunnelbotten utformas ofta med antingen en votad botten (v-formad eller liknande) eller en botten med en ränna. Tillgång till dessa tunnlar kan ske från en sidotunnel där gångbordet ligger högre än den högsta vattennivån i den vattenförande tunneln. Se även till att eventuella framtida flödesökningar inte ger en vattenyta högre än gångborden. I denna typ av tunnel går det även att hänga in rör, kablar eller annat som behöver förläggas i tunneln, se exempel i Figur 5-1. Viktigt är dock att beräkna den flödesmässiga kapacitetsminskning som installationer och dess upphängning kan skapa. Installationerna kan även ge upphov till ansamling av rens och sediment. Här är materialvalet viktigt för att det ska klara den svåra miljön med bl.a. svavelväte. I längden blir det troligen billigare med en stor tunnel med en avskild platå där fordon kan framföras, men det kan skilja sig mellan olika projekt med olika förutsättningar.



Figur 5-1 T.v. exempel på tunnel med v-botten och inhängda rör (SVOA, 2018). T.h. tunnel med u-formad ränna med normalvattenyta och högvattenyta (Karlsson, 2019)

Eftersom tunnlar egentligen är slutna rör finns det en risk att de emellanåt blir trycksatta, tunneln exponeras då teoretiskt av samma problem som en trycksatt tunnel, vilket beskrivs i nästa kapitel. Det är viktigt att i projekteringen titta noga på eventuella risker som kan uppkomma om tunneln med fri vattenyta skulle bli trycksatt. Orsaker till en förhöjd trycknivå kan vara höga flöden (högre än de dimensionerande), ändringar i nedströms förhållande t.ex. en lucka som sätter igen eller en pumpstation som stannar, eller vågbildning p.g.a. störningar vid inlopp eller störningar för pumparna.

Stockholm Vatten upplever att tunnlar med fri vattenyta ofta har bra avledning, stor kapacitet och generellt lågt behov av drift och underhåll. Det kan dock vara svårt att mäta flöden i del tunnlar eftersom de oftast ej är byggda för detta eller annat uppströmsarbete som t.ex. spårning av utsläpp.

För transporter in- och ut ur tunnarna använder sig SVOA av extern personal som ofta använder amfibiefordon eller båtar om det behövs. Själva inspektion sker dock ofta till fots. Endast en liten del av arbetet görs numera av intern personal.

TEAB:s tunnelsystem i Trollhättan har endast möjlighet till transport med mindre fordon på ett fåtal platser i tunnelsystemet, en möjlighet som sällan utnyttjas. Drift och inspektion brukar i regel ske till fots. Transport av verktyg hanteras olika beroende på mängd/volym verktyg, vad som ska göras och typ av tunnel. Vid vissa tillfällen har personal fått lyfta av lock eller fundament vid nedstigningsorten för att få ned större maskiner eller verktyg. Tyngre verktyg har ibland dragits på vagn, detta fungerar dock enbart i kombinerade avloppstunnlar. I de flesta separerade tunnlar blir spillvattenledningar ett hinder som gör att det inte är möjligt att dra en vagn i tunneln. Eftersom TEAB jobbar med att separera kombinerade tunnlar för att arbeta bort tillskottsvatten till reningsverket Arvidstorp kan vagntransporter bli ett större problem i framtiden. Med tanke på att tunnlar är mer eller mindre nederbördspåverkade behöver insatser planeras noga utifrån väderprognoser och risken för stora flöden gör att ingen förvaring får ske i tunneln från en dag till annan. (Bohman, et al., 2018)

5.2.2 Fyllda trycksatta tunnlar

Fyllda, trycksatta tunnlar benämns även som dykartunnlar (jmf. dykarledning). Tillgång till dessa tunnlar görs med hjälp av dykare eller undervattensrobot. Service underlättas om det finns parallella, redundanta tunnlar så att en tunnel kan stängas av och servas samtidigt som den andra är i drift.

I denna typ av tunnel går det att hänga in rör, kablar eller annat som behöver förläggas i tunneln. Viktigt är dock att beräkna den, ibland betydande, flödesmässiga kapacitetsminskning som installationer och dess upphängning skapar samt att ha i åtanke att det kommer att samlas rens och sediment runt installationerna. Installationerna minskar även utrymmet för fordon så att de i värsta fall inte kan passera. Inhängda rör kan även påverkas av lyftkrafter om de är tomma/delvis tomma samtidigt som

tunneln går full, vilken kan leda till haveri om inte upphängning m.m. har dimensionerats för det (Händevik, 2018). Dessutom måste all utrustning som påverkas vid dämning (luckor, portar, ventiler, ev. ventilation) vara utformade så att de klarar trycket (Pettersson, et al., 2018).

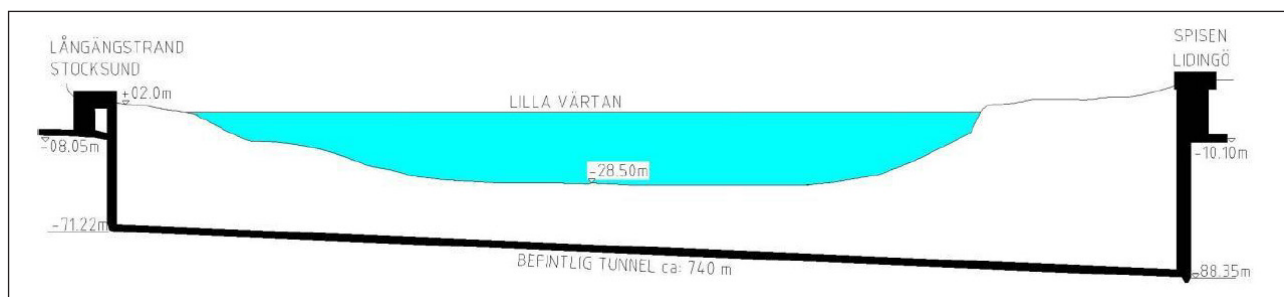
Installationer i trycksatta rör är svåråtkomliga och inspektion eller ombyggnad kan endast ske om tunneln töms på vatten, rens och sediment. Erfarenheten är att trycksatta tunnlar aldrig går att komma åt för driftpersonal om det inte finns parallella tunnlar som kan stängas av och tömmas en i taget. I planerings- och projekteringsfasen är ofta tanken att trycksatta tunnlar aldrig ska behöva röras, men nya tunnelbyggen för vägar, tunnelbana etc. kan inkräkta på VA-tunnlarnas område och leda till att tunneln måste ändras/åtgärdas.

Kretslopp och Vatten, Göteborg stad, anser att trycksatta tunnlar bör hållas rena från allt annat än det vattnen som är tänkt att rinna i dem. Telekablar, inhängda rör och liknande installationer bör undvikas eftersom det förr eller senare alltid skapar problem. Regeln är att undvika att bygga något som inte går att komma åt på ett vettigt och säkert sätt. Inga installationer är underhållsfria och fungerande för all framtid, det finns många exempel på detta i Göteborg. (Torstensson, 2019)

Stockholm Vattens förlängning av Östbergatunneln mellan Sickla-Henriksdal (dagvattentunnel) är en dykartunnel med bra avledning då tunneln är fylld och hela tvärsnittsarean används. Hanteringen av sediment är emellertid svår då varken tunnel eller sediment är tänkt att kunna tömmas. I tunneln byggdes visserligen en sedimentpumpstation på den lägsta delen, men av någon anledning så satte stationen igen och sediment och sand stelnade i lågpunkten och i rörsystemet så att stationen inte gick att använda.

Sediment behöver inte vara ett problem med rätt tunnelutformning och möjlighet till spolning. Dock måste mottagande reningsverk och/eller pumpstation vara förberedd för att klara rensstötar. (Pettersson, et al., 2018)

En sektionsritning över Käppalaförbundets dykartunnel under Lilla Värtan visas i Figur 5-2. Tunneln har hittills aldrig inspekterats eftersom den är för djup (60–90m) för att dykare ska kunna ta sig ner. Under 2019 planeras dock inspektion m.h.a. sjöuggla (en typ av undervattensrobot). (Nielsen, 2019)



Figur 5-2 Sektionsritning över dykartunneln under Lilla Värtan uppströms Käppalaverket (Käppalaförbundet, 2019)

Ytterligare en källa till problem i trycksatta tunnlar är interaktionen med luft. Det finns en hel del litteratur om problem p.g.a. snabb fyllning eller luftfickor i trycksatta rör som är utdragbara för trycksatta tunnlar. Problem kan vara:

- Trycktransienter i systemet som leder till vibrationer eller flödespulsationer
- Avblåsning eller utblåsning, ett våldsamt utsläpp av luften som sitter vid uppströms inlopp eller nedströms utlopp
- Reduktion av flödeskapacitet

Listan med kända problem är många. En ökad typ av problem är utblåsning. Ingen referens för Sverige har hittats, men i Norge skedde en känd utblåsning som en olyckshändelse i Holmalinånas intag. Olyckan ledde till en utredning om orsakerna och vidare utredningar om detta fenomen. Liknande problem har rapporterats från runt om i världen och särskilt i dagvattensystem (inkluderande dagvattentunnlar), de är kända under namnet "urban geysering".

Exempel på kända problem med utblåsning eller "geysering":

- USA, Chicago, IL 2010-06-23 (Vasconcelos & Chosie, 2013)
- Kanada, Edmonton 1995-07-04 (Zhou, et al., 2002)
- Minneapolis, Minnesota on numerous events (Vasconcelos & Wright, 2011)
- Kanada, Montreal, Quebec 2011-07-18 (Vasconcelos & Chosie, 2013)
- Mexico City, September 2009 (Estrada, et al., 2015)
- USA, Colorado at Dillon Dam Intake. (Falvey & Weldon, 2002)

Luftrelaterade problem i hydrauliska strukturer i Skandinavien:

- Pulsationer vid flödesutlopp, Letten Dam (Liu, 2012)
- Holmalinåns utblåsning (Bekkeinntakkomiteen, 1986)

Om tunneln passerar ett hinder längs den tänkta tunnelsträckningen, t.ex. en annan tunnel eller en sjö, kan tunneln behöva gå djupare en delsträcka. Tunneln kan då jämföras med en dykarledning. Om detta är fallet är det viktigt att analysera riskerna med sedimentering, i värsta fall att sediment med tiden blir en flödesbegränsning. För att minska problem med sedimentation bör tunneldelar dimensioneras så att de får så hög flödes hastighet att sedimentering inte kan uppstå (som dykarledningar dimensioneras). I praktiken är det svårt att dimensionera en tunnel på detta sätt eftersom tryckförlusterna oftast blir stora. En lösning som rekommenderas är att låta tunneln övergå till flera rör där ett av rören dimensioneras för att leda låga och normalflöden, se kapitel 5.2.3. Vid högre flöden blir övriga rör aktiva och på så vis kan problem med sedimentering reduceras. Det är även viktigt att ha möjlighet att spola en dykarledning, antingen med en pumpstation eller med vatten från ett spolmagasin (May, 2000).

5.2.3 Torra tunnlar med inhängda rör

Denna tunneltyp är torr på insidan och vattnet leds istället i rör som hänger/står på stativ/fundament. Mellan eller bredvid rören bör det fin-

nas möjlighet att kunna gå eller köra fordon. Fördelen med denna typ av tunnel är att den samt rören relativt enkelt kan inspekteras, samt att det är möjligt att i framtiden montera fler rör och/eller byta till större rördimensioner.

För Stockholm Vatten och Avfall har dubbla funktioner (exempelvis bräddtunnel med inhängda rör) i tunnlar inneburit att flera pumpstationer kunnat undvikas. Ett problem har varit att rören inte alltid kunnat få den lutning som krävts för självrens då tunnelns lutning till mycket även styr ledningens lutning. Ett annat problem är brist på övervakning som gör att inhängda rör kan vara ur funktion länge utan att det upptäcks. Hängande rör är dessutom svåra att reparera då de ofta inte har en avstängningsventil vilket gör att personal blir täckta med avloppsvatten vid byte av en sektion. Tunnlar med inhängda rör är förmodligen ofta en efterkonstruktion som tillkommit på grund av ekonomiska aspekter eller när behov av avledning av fler fraktioner uppkommit. (Händevik, 2018)

TEAB, Trollhättan, har några tunnlar där dricksvatten leds via inhängda vattenrör i avloppstunnel, men ser det dock inte som fördelaktigt och arbetar därför med att bygga bort dessa över tid. På några platser finns även kablar (fiber, tele) i tunnlar, vilket gör arbete i tunneln mer komplicerat, dock finns en viss osäkerhet kring huruvida dessa kablar är i drift eller ej. (Bohman, et al., 2018)

5.2.4 Råvattentunnlar för dricksvatten

Tunnel för transport av råvatten från täkt till vattenverk är ovanligt i Sverige, det finns endast en; Bolmentunneln i Skåne, se bild i Figur 5-3. Bolmentunneln började byggas 1975 och driftsattes 1987 av bolaget Sydvatten som numera ägs av 17 skånska kommuner (Sydvatten, u.d.). Tunneln, som i nedre delen är helt vattenfylld, har en rå bergyta med en tvärsnittsarea på 9 m². I genomsnitt leds 1,5 m³/s råvatten med självfall över 90 meters höjdskillnad genom en sträcka på 80 kilometer från Bolmens södra ände till Äktaboden i närheten av Perstorp där bergtäckningen tar slut. Från Äktaboden transporteras vattnet ytterligare 25 kilometer i



Figur 5-3 Figur visar Bolmentunneln (Världenshäftigaste, 2016)

en råvattenledning innan det når Ringsjöverket där det renas. Ungefär 0,1 m³/s grundvatten läcker in genom tunnelns väggar (Världenshäftigaste, 2016).

I Finland finns den 120 km långa Päijännetunneln som leder råvatten från sjön Päijänne till vattenverket i Helsingfors. Tunneln planerades redan på 1960-talet men togs i drift först 1982, renoveringar genomfördes 2001 och 2008. Tunneln är sprängd på 30 till 100 meters djup i berggrunden och är noga placerad för att minska omgivningspåverkan. Varje år transporteras 86 miljoner m³ eller ca 2,7 m³/s vatten här. Vattnet rinner ner i tunneln med det naturliga trycket från sjön. I tunneln har även turbiner placerats som av vattenflödet ger elenergi. (HRM, u.d.)

5.3 Anslutningar, specialkonstruktioner och pumpstationer

5.3.1 Tunnelinlopp och anslutningar till tunnlar

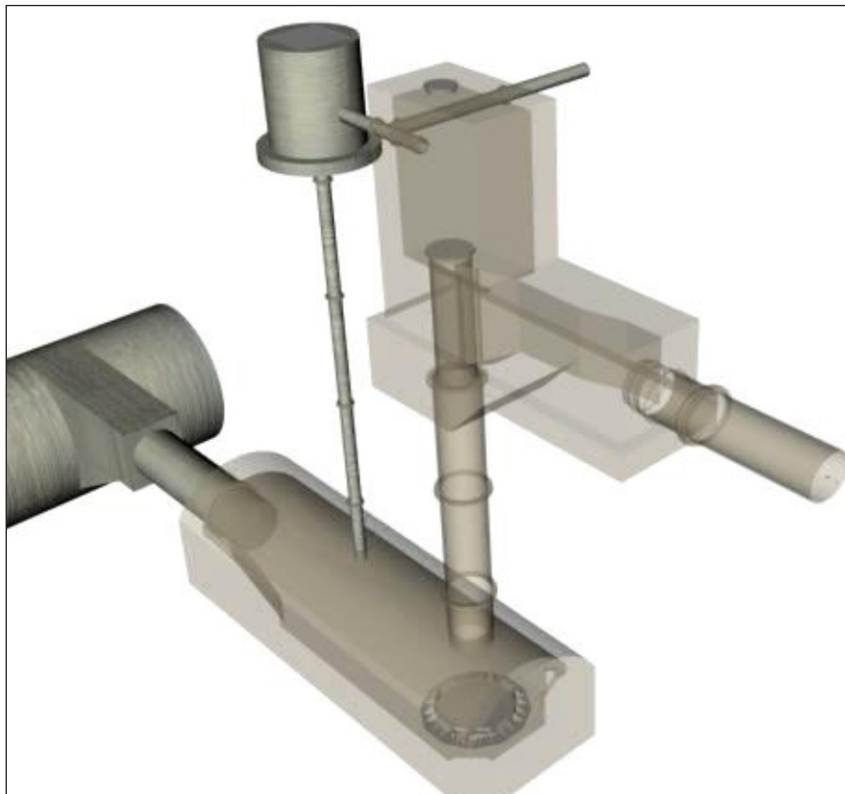
Anslutningar som leder vatten till en tunnel kan bestå av anslutande tunnlar, ledningsnät, rör och borrhål eller pumpstationer. Alla anslutande flöden bör förläggas så att anslutningen sker i huvudflödets flödesriktning. Anslutningarna är en källa för inkommande och utgående luft och lukt och det är därför viktigt att utforma dem på rätt sätt för att undvika drift- och arbetsmiljöproblem i tunnlar samt störning på omgivningen. Luften från vattnet i spillvatten innehåller mer partiklar och lukt jämfört med inkommande luft från öppningar i tunneln. (Händevik, 2018)

För tunnlar som används som utjämningsmagasin och ibland trycksätts är det viktigt att både tunneln och dess inlopp utformas så att risken för luftfickor minimeras. Om luften hamnar i en ficka finns det risk för att den ackumuleras så pass mycket att trycket blir för stort. Övertryck med luft i tunneln kan skapa så kallade ”storm sewer blowouts” som kan vara en fara för personer i närheten av tunnelns anslutningar (exempel kan ses på t.ex. Youtube via sökning på ”storm sewer blowout”). Beroende på hur intaget designas, med eller annan lösning, absorberar vattnet mer eller mindre luft. Internationellt i större städer finns större tunnlar där detta luftflöde beaktas mer (Händevik, 2018).

Skriften *Drop Structure Design for Wastewater and Stormwater Collection System*, (Williamson, 2001) tar upp många aspekter som måste beaktas vid anslutningar till tunnlar.

Vertikala schakt: En typ av anslutningsstruktur är vertikala fall/schakt som används för att ansluta ett ytligt ledningsnät med djupare liggande dag- eller spillvattentunnlar. I många fall är höjdskillnaden mellan över- och underdelen av det vertikala fallet stor. Om flödet tillåts att falla okontrollerat kommer det att bygga upp en betydande mängd energi som med tiden kan erodera och slå sönder byggnadsdelar. Två typer av lösningar brukar användas för att hantera energin i vertikala fall, dels virvelkammare/virvelschakt (Vortex type drops) och dels ”Plunge type drops”. Virvelkammare gör att flödet roterar nedåt i en spiral och klänger sig fast vid schaktets vägg, se Figur 5-4. ”Plunge type drops” leder flödet rakt ned där en

absorberande anordning används, likt en pool. En bra sammanställning av denna typ av strukturers design finns att läsa i *Drop Structure Design for Wastewater and Stormwater Collection System* (Williamson, 2001).



Figur 5-4 Exempel på ett vertikalt schakt med en virvelhammare (Margevicius, 2015)

Vertikala anslutningar utförs ofta genom att vattnet leds genom ett borrhål från marknivå/ledningsnätetsnivå ner till tunneln. I borrhålet placeras ett stålrör (foderrör) som skyddar bergytan från erosion, se exempel i Figur 5-5. Vid rörets utlopp bör en tjock stålplåt (fartygsplåt) placeras som ser till att vattnet som forsar ut inte eroderar bort betong eller berg i botten. Anslutningen från ledningsnätet till vertikalschakt kan utföras på flera sätt. För att öka flödeshastigheten mellan ledningsnätet och det vertikala röret byggs ofta någon form av tratt, alternativt ett rör eller kanal, som gradvis ökar lutningen mot schaktet. Att öka flödeshastigheten på detta vis är viktig då det minskar dämningen uppströms. En av få standardiserade metoder som finns dokumenterad i litteratur är s.k. virvelkammare (Hager, 2010).

För att dimensionera och beräkna ett vertikalt schakts kapacitet behövs information om både hur vattnet flödar in och ut från schaktet. För varje vertikalschakt måste anslutningen studeras i detalj så att rätt beräkningsmetod används för det aktuella fallet. Generella förenklade beräkningsformler bör undvikas/användas med försiktighet. Undvik även att leda stora flödesmängder till endast ett schakt, behövs större kapacitet det bättre att dela upp flödet på flera schakt än att använda ett stort. Det är viktigt att den luft som följer med vattnet också får plats i schaktet och att den omhändertas på nedströmssidan.



Figur 5-5 Exempel på borrhålsanslutning från tunnel i Göteborg (Gryaab, 2019)

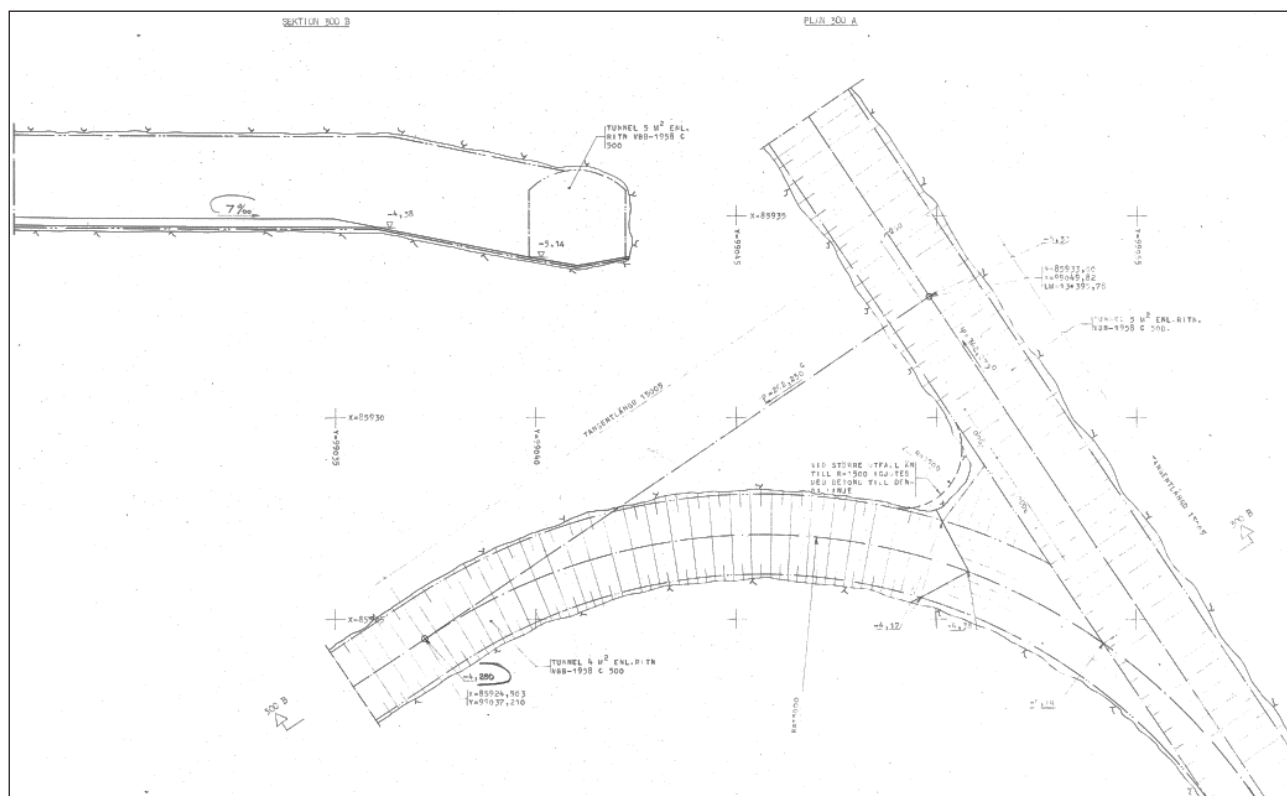
Om en VA-tunnel, eller tunnelinlopp, är designat för att kunna hantera superkritisk urladdning (branta ledningar) måste luftintaget beaktas. Superkritisk urladdning sker när Boussinesq-talet är större än 6. Se ekvation 5-1 nedan. (ATV, 2001)

$$Bou = \frac{v_T}{\sqrt{g * r_{hy}}} \quad \text{Ekvation 5-1}$$

Där r_{hy} står för hydraulisk radie i meter och g står för gravitationen i meter per sekundkvadrat, och v_T står för hastigheten i meter per sekund. Med den hydrauliska dimensioneringen av en brant sträcka finns tre olika sektioner som ska differentieras:

- inflöde med accelerationssträcka utan luftupptagning,
- genomflöde med luftupptagning och jämviktsträckning,
- utflöde med energiomvandling. (Händevik, 2018)

Optimala vinklar för anslutningar: Den horisontala anslutningen mellan huvudtunnel och sidotunnel ska både vara konstruerbar och vara bra ur ett hydrauliskt perspektiv. Studier har visat att detta kan uppnås med en vinkel på anslutningen mellan 60–75° (Williamson, 2001). Figur 5-6 visar en exempelritning på en anslutning till en huvudtunnel. Den vertikala anslutningen mellan huvudtunnel och sidotunnel ska även beaktas. Utformningen påverkar ventilationens funktion samt avgör om det går att kontrollera händelseförloppet när tunneln går full så att okontrollerade ”blow outs” inte sker (Williamson, 2001) (Händevik, 2018).



Figur 5-6 Exempel på anslutning till en huvudtunnel (Käppalaförbundet, 2019)

Stockholm Vatten upplever att avsaknaden av en standard gör att många olika metoder/konstruktioner har använts genom tiderna. Därför är svårt att veta hur bra anslutningarna fungerar i verkligheten jämfört med vad de dimensionerades för. Förr var inte heller ventilation och lukthantering vid anslutningar eller i tunnlar prioriterat, men nu när det återkommande inkommer felanmälningar av lukt i anslutning till t.ex. borrhål så görs olika åtgärder med t.ex. kolfilter och barkfilter. (Händevik, 2018)

Vid nya områden eller efter separering av ledningsnät ansluter TEAB spillvatten och ibland även dagvatten till tunnel via anborrning. Dessa anborrningar kräver stor säkerhet vid projektering och precision/träffsäkerhet vid utförande. Oftast sker en sonderingsborrning (ca 2 cm i diameter) för att säkerställa nivå och läge. (Bohman, et al., 2018)

5.3.2 Vattenlås

Vattenlås vid anslutningar till tunnlar har som syfte att hindra luft, och till viss del lukt, att ta sig från anslutande ledningsnät/tunnlar till tunneln de ansluter till. En stor risk med vattenlås är att det lätt blir en sedimentfälla vilket med tiden kan ge lägre flödeskapacitet eller stopp i anslutningen. Även om vattenlåset sköljs igenom vid högflöden vid större regn kan högflödena uppstå så sällan att det finns risk att sand, sediment och/eller rens sedimenterar så hårt att det inte följer med när högflöde väl uppstår. Ett fungerande sandfång uppströms ett vattenlås bör finnas för att minska risken för att sand hamnar i vattenlåset. Det är ändå viktigt att göra en noggrann bedömning av om vattenlåsen kommer kunna underhållas så att det inte sedimenterar mer än det är dimensionerat för att undvika att flödeskapaciteten med tiden inte minskar.

Vattenlås är generellt svåra att underhålla i tunnlar. Vid inloppet till Danvikstull Pumpstation i slutet av Södermalmstunneln hade Stockholm Vatten tidigare ett vattenlås i betong. Brist på underhåll (troligen) gjorde att det till slut blev nästintill igensatt av sedimentation som gav en strypning och lägre kapacitet i inloppet. Vattenlåset hindrade inte att själva stationen (betong och skruvpumpar) frättes upp efter ca 40 år. Vattenlåset ersattes tillslut med en tung gummiduk. Många av Stockholm Vattens borrhål m.m. saknar vattenlås troligen p.g.a. att luft/luft förr i tiden inte hanterades. (Händevik, 2018). Trollhättans tunnelnätverk är ett exempel på nätverk som är helt utan vattenlås (Bohman, et al., 2018).

5.3.3 Energiavledare (stilling basins)

En energiavledare behövs för att på ett kontrollerat sätt ta hand om övergången mellan olika hydrauliska strömningar. Denna typ av struktur kan ha flera användningsområden. De kan dels hantera och avleda energin i snabbt strömmande flöden eller fallande vatten för att förhindra skador på byggnadsdelar, och dels hantera hydrauliska språng (hydraulic jump) inom en kontrollerad tunneldel för att förhindra okontrollerat flöde och vågor från att ta sig längre nedströms. Exempel på placering av energiavledare är efter utlopp från ett vertikalt schakt där den tar hand om vattnets höga flödes hastighet.

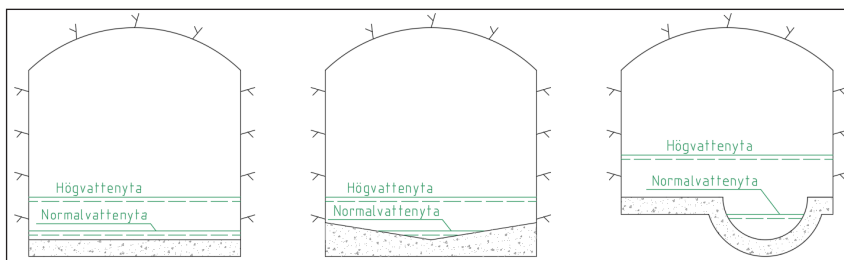
Riktvärden och information om energiavledare finns att läsa i *Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators* (Peterka, 1958) och i *Wastewater Hydraulics* (Hager, 2010), där det finns generella designkriterier beskrivna för lutande kanaler som bräddavlopp och utlopp och energiavledare.

5.3.4 Hävertar

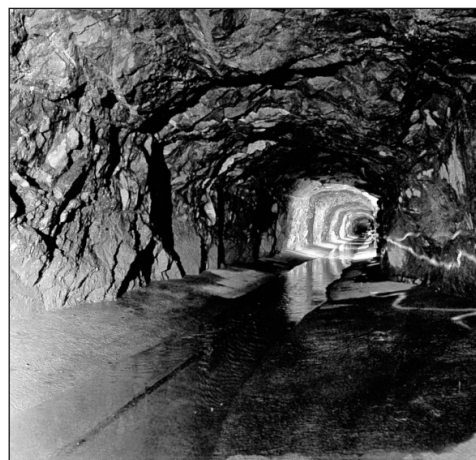
Risk för hävertverkan finns oftast på trycksidan av en pumpstation om vattnet på nedströmssidan av tryckröret tillåts rinna bakvägen ner genom röret och tillbaka in i pumpsump eller tunnel. Hävertverkan ska undvikas.

5.3.5 Rännor

Rännor och voter gjuts normalt i tunnlar där vattnet rinner med fri vattenyta. Syftet är att minska risken för sedimentation genom att låta låg- och normalflöden rinna i rännan för att hålla upp flödeshastigheten, vid högre flöden kan vattnet tillåtas att stiga över rännans kant. En U-ränna placeras oftast i mitten eller vid ena sidan av tunnelbotten. Voter kan användas i tunnlar med fri vattenyta och i trycksatta tunnlar där de antingen kan placeras på ena sidan av en tunnel eller som ett V som lutar tunnelbotten från tunnelväggarna ner till centrum av tunneln. Om vinkeln på voten i botten av tunneln är stor blir sidorna mycket hala och halk/skaderisken ökar markant (Händevik, 2018). I Figur 5-7 visas exempel på hur tunnelsektioner med vot och U-ränna kan se ut och i Figur 5-8 bilder från tunnlar med olika typer av voter.



Figur 5-7 T.v. tunnelsektion utan ränna, mitten med V-botten (vot).
T.h. u-formad ränna (Karlsson, 2019)



Figur 5-8 T.v. visar en nybyggd tunnel där en v-formad botten i betong tillverkas.
T.h. tunnel med v-formad betongbotten (Käppalaförbundet, 2019)

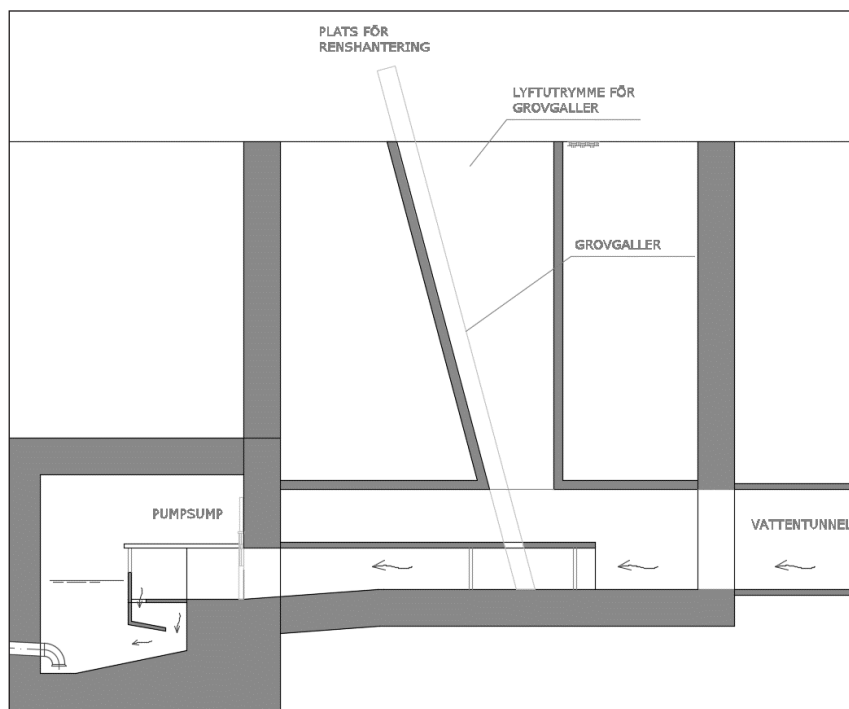
En V-formad tunnelbotten ger oftast en större yta för fordon än en tunnel med en U-ränna (även om det går att få plats med fordon även vid U-ränna i vissa fall). Oavsett typ är det svårt att helt undvika att köra i vatten/slam. En tunnel med en U-formad ränna har fördelen att den möjliggör för driftpersonal att gå torrskodd vid sidan av rännan vid låga och normala flöden. Att tänka på är att körbara ytor i framtiden kan ses som tillgänglig plats för att montera t.ex. rör eller andra installationer.

För att undvika underhållskostnader bör betong läggas i botten av tunneln som standard. Gjutningen ska ske ända in mot kant samt förankras i tunnelbotten, i annat fall riskerar betongen att underspolas och/eller lyftas. Stockholm Vatten har vissa tunnlar, främst för dagvatten, som inte har en gjuten utan en asfalterad botten, vilket kan ge stora drift- och underhållsbehov i framtiden. Vissa äldre kulvertar (t.ex. Årstafältskulverten) har haft en ingjuten ledning i botten/sidan som på vissa platser kollapsat och åkt ner i botten på kulverten (Händevik, 2018).

I Göteborg används V-formade bottenprofiler i betong (Pettersson, et al., 2018). I Trollhättans tunnelnätverk finns både U- och V-formade rännor (Bohman, et al., 2018).

5.3.6 Rensgaller

Grovrens-galler i tunnlar används för att skydda pumpar i nedströms pumpstationer, Figur 5-9 visar en exempelsektion på hur rens-galler kan placeras. Pumptypen i pumpstationen och typ av vatten påverkar behovet av rens-galler och vilken spaltvidd som behövs. Vanligtvis används spaltvidder på 20 mm för grovrens-galler. Det är viktigt att hitta ett sätt att



Figur 5-9 En sektion från ett exempel på hur ett grovgaller kan placeras efter en spill- eller dagvattentunnel och före en pumpstation (Karlsson, 2019).

hantera det avskilda rensat vilket sällan är enkelt då det ofta handlar om höga lyfthöjder när grovrensgallren sitter djupt ner i en tunnel. Rensat kan t.ex. behöva transporteras från gallret hela vägen upp till markytan. Om tunneln ska kunna gå fylld måste motorer och drifter samt släppunkt för rensat placeras över högsta vattennivå. Det finns även rensgaller som når ända upp till markytan eller högsta vattennivån och de kan ofta även lyfta rensat från tunneln upp till markytan. Denna typ av rensgaller kan bli väldigt höga, upp till 20–30 meter (se Figur 5-10), beroende på tunnelns djup. De rensgaller som finns på den svenska marknaden görs generellt upp till 20 meter, men det går även att specialbeställa längre galler.

Grovrensgaller är sällsynta i tunnlar i Sverige p.g.a. dåliga drifterfarenheter, svår arbetsmiljö och besvärlig hanteringen av rensat. Rensat som samlas in måste även köras och läggas på deponi vilket är tidskrävande. De grovgaller som har funnits i Stockholm Vattens tunnlar har plockats bort och placerats på gångborden i tunnelarna (Händevik, 2018). Även Käppala har tagit bort grovgaller p.g.a. hanteringsproblem. I pumpstationerna används istället Hidrostat-pumpar vilka har en ”skruv” på sugsidan av pumphjulet som gör att det i princip aldrig blir stopp p.g.a. igensättning (Nielsen, 2018).

Vrakgaller kan installeras för att ta hand om större föremål så som stockar och stenar. Att istället mala sönder både rens och större material med kvarnar (t.ex. Channel Monster) innan det når pumpstationen kan vara ett attraktivt alternativ. Det malda rensat kan sedan lätt tas upp på t.ex. 2 mm fingaller vid reningsverket. Det är viktigt att det finns åtkomst för drift runt kvarnarna och att, om tunneln ska kunna gå full, motorer och drifter anläggs över högsta vattenytan. Arbetsmiljö är en utmaning på grund av att renshantering alltid innebär mycket skötsel och handpåläggning. Vanligt förekommande grovrensgaller har spaltvidd 20 mm. I avloppsreningsverk används generellt rensgaller med 2–5 mm spaltvidd. (Strandberg, 2018)

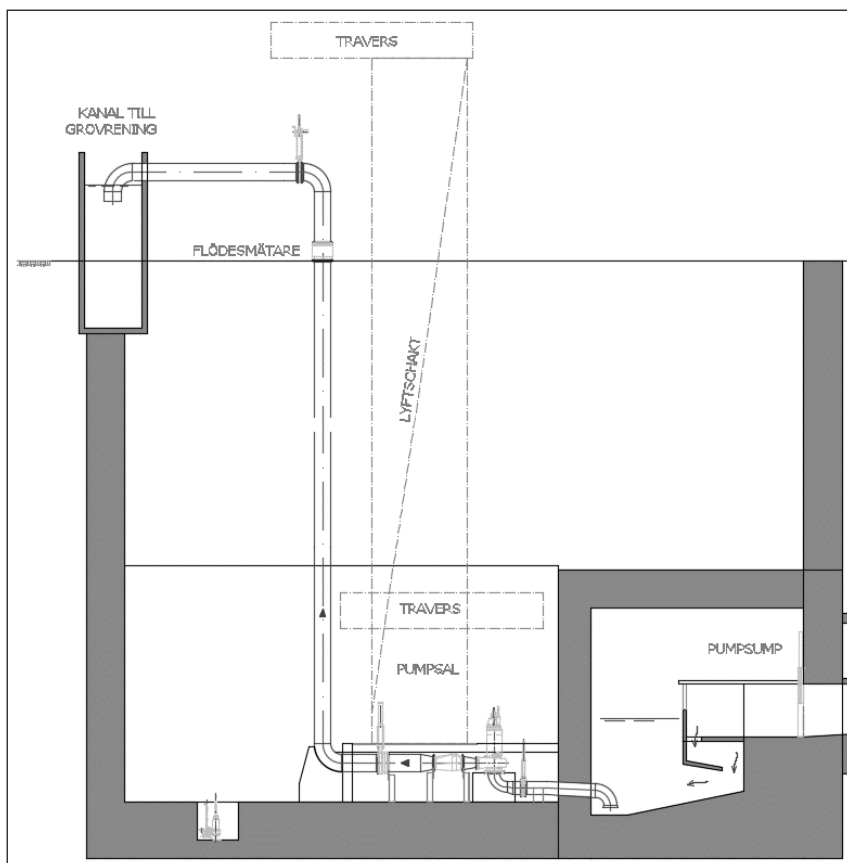
5.3.7 Pumpstationer

En pumpstation i slutet av en lång tunnel har stora krav på driftsäkerhet eftersom pumpningen är det enda sättet att transportera vattnet ut från tunneln. Om pumpstationen skulle stanna måste det finnas en bräddpunkt för nödräddning från pumpsump eller från tunneln. Både pumpstationens driftsäkerhet och kringliggande arbetsmiljö som ska underlätta underhåll måste tas hänsyn till. Ett exempel på en pumpstation visas i Figur 5-11.

Vid utformning av inlopp från tunnel till pumpsump, se över inloppet till pumpsumpen/pumpsumparna tillsammans med pumpleverantören för att få en så bra hydraulisk funktion och placering av sugledningarna som möjligt. Frågor som bör ställas är: hur många pumpsumpar önskas/behövs? Ska pumpsumpen/arna kunna stängas av under drift? Hur fås åtkomst till pumpsumparna? Behövs manluckor? Se även över avstängning till pumpsumparna och hur luckor eller ventiler manövreras, ska de sitta på tunnelsidan eller i pumpsumpen och hur fås åtkomst vid service? Var noga med



Figur 5-10
Installation av stort grovrensgaller
(Nordic Water, 2017)



Figur 5-11 En sektion från ett exempel på en pumpstation som lyfter vatten från en tunnel (Karlsson, 2019).

rätt lutning mot pumparna/sugledningarna och hur vattnet fördelar sig mellan pumparna/sugledningarna. Bafflar brukar användas för att ta ner energin i vattnet innan det når sugledningarna. Tänk på åtkomst för drift och service samt rengöring av pumpsumpar från sand och sediment.

Renoveringsmöjligheter i driftskede för pumpstationens alla delar bör tänkas igenom vid dimensionering/utformning av stationen. Troligtvis kommer det att vara svårt att avleda vatten från den del som ska renoveras om det inte är genomtänkt från början. Möjlighet till att dela av pumpsumpen i sektioner genom installation av temporära luckor/väggar samt möjlighet att kunna leda vattnet till en eller flera av genomföringarna direkt till pumparna kan underlätta.

Vid val av pumpar bör följande frågor besvaras: Är torruppställda eller dränkta pumpar att föredra? Centrifugalpumpar eller snäckpumpar? Ska torruppställda pumpar och/eller pumpstationen kunna dräckas (vid läckage) och kunna fortsätta att vara i drift? Gör en LCC för att se över energibehovet.

När det gäller spänningsmatningar rekommenderas två elmatningar (A- och B-sida) för varje pump för att säkerställa redundans. Skanna tidigt av marknaden och ta tidigt in offerter från flera troliga pumpleverantörer för olika spänningsmatning, men även för optimal verkningsgrad m.m.

Transport av pumpar och annan utrustning från tunnel, pumpsump och pumpsal till markytan bör möjliggöras. En travers kan användas för att lyfta pumpar i pumpsalen. Om det finns en körbar tunnel från markytan till pumpstationen räcker det att pumparna lyfts upp på en lastbil, men om det inte finns en körbar tunnel bör pumparna kunna lyftas upp till markytan via ett lyftschakt. Access till pumpstationerna hos Stockholm Vatten är i de flesta fall via en separat tunnel (Händevik, 2018).

Se tidigt över access till pumpstationen. En transporttunnel tillsammans med hiss och trappschakt är att föredra, men det finns flera exempel i Sverige där det endast finns hiss och trappschakt tillsammans med ett lyftschakt.

Snåla inte med serviceutrymme runt pumparna, dels för att förenkla för driftpersonal och dels eftersom pumpmodellen vid upphandling kan bli en annan än den som först var tänkt. Eftersom tunnelprojekt kan dra ut på tiden händer det också att den tänkta pumpmodellen hinner bli utbytt mot en ny version som kräver en annan yta. I exempelvis Oslo finns missnöje med tunneln Midgårdssormens (stor utjämnings-bassäng/tunnel-bassänger) pumplösning på inloppet till Bekkelagets reningsverk. Det blev trångt och inte optimalt med hänsyn på pumpval och pumpstationsutformning (Bakken, 2018).

Stockholm Vatten har pumpstationer t.ex. i Ormen, Danvikstull, Ludden, Älvsjömärlarmagasinet och Bromma-Märlarmagasinet och Bromma som har hög funktion, en pumpstation i tunnel ersätter ett stort antal stationer nära markytan. Dock är driften ibland svår. Det rekommenderas att pumpstationer designas så att det blir luftövertryck i delen av stationen där merparten av arbetet sker så att personal inte utsätts för tunnarnas atmosfär. Då driften är svårare i tunnlar än vid markytan bör tunnelförlagda pumpstationer bestå av bästa möjliga materialval så att renovering behövs så sällan som möjligt. Satsa även gärna på en avancerad och tillförlitlig övervakning så åtgärder kan göras i tid. Pumpstationerna är ofta kritiska för hela systemet så åtgärder ska helst göras proaktivt och inte när en pump redan har havererat (Händevik, 2018). För att hantera "first-flush" situationer är det viktigt att pumpstationen är robust byggd med tillräckligt bra pumpar (Bakken, 2018).

Gryaab använder gärna torruppställda pumpar som är lätt att serva, vilket lönar sig i längden trots att de (troligen) har högre investeringskostnad. Det är även bra att kunna avskilja varje pump/pumpgrupper eftersom det underlättar drift och underhåll. Inbyggda och färdiga sugningsanordningar eller inbyggda sedimentpumpar rekommenderas för att möjliggöra rengöring (Pettersson, et al., 2018).

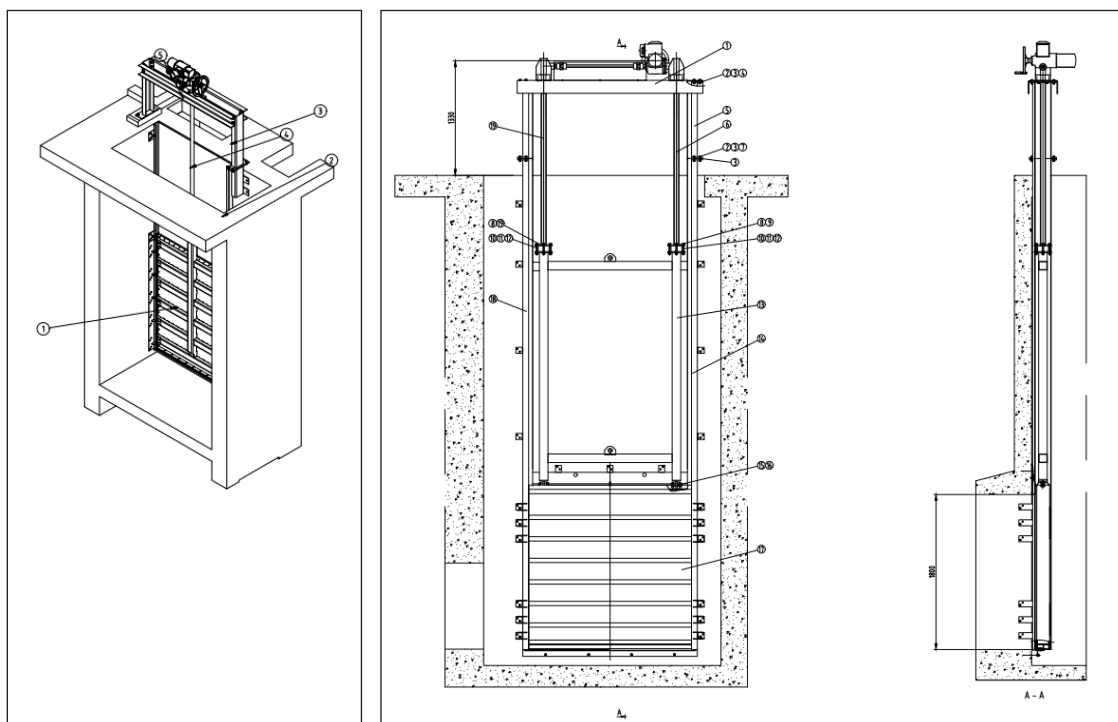
Käppalas två pumpstationer bräddar vidare i tunnelsystemet vid strömbrott, d.v.s. ej ut i naturen. Låga flödes hastigheter gör att det sedimenterar i tillloppstunneln vid dessa sällsynta tillfällen (Nielsen, 2019). Pumpstationen i Antuna, se Figur 5-12, renoverades 2016–2018 och fick då bl.a. förnyad anslutning till avloppstunneln som gjort det lättare att flödesutjämna vid höga flöden.



Figur 5-12 Antuna pumpstation, Upplands Väsby (Käppalaförbundet, 2019).

5.3.8 Ventiler och luckor (flödeskontrollerande konstruktioner)

Ventiler och luckor i tunnlar används för att stoppa, dämna eller styra ett flöde och är således viktiga för tunnelns styrning. Exempel på utformning av en nödbräddslucka och en sjövattnsslucka visas i Figur 5-13.



Figur 5-13 T.v. ritning över nödbräddslucka och t.h. över sjövattnsslucka, båda i pumpstationer i Käppalaförbundets tunnelsystem (Käppalaförbundet, 2019).

En stor utmaning vid placering i en tunnel är åtkomsten, det gäller särskilt för trycksatta tunnlar. Luckor och ventiler blir ofta svåra att manövrera, men det underlättar med väl tilltaget utrymme samt manöverdon med god materialkvalitet. Avstängningsmöjligheter, både i tunnel och innan pumpsump, måste noga ses över. (Bakken, 2018)

Ventilerna ska kunna motioneras och smörjas kontinuerligt, vilket är en kostnad, men kostnadseffektivt ur LCA-perspektiv. Eftersom ventiler och luckor ofta hamnar på svåråtkomliga platser bör kvalitetssäkrade, robusta modeller installeras från början så att tidiga ominstallationer/reparationer kan undvikas. Erfarenhet är viktigt vid val av nya ventiler, det finns många som efter installation visat sig inte hålla måttet. Gör gärna en LCC-analys för ventilens livslängd.

Utifrån ett driftperspektiv bör luckor vara motorstyrda. Om luckorna och ventilernas don ska kunna dränkas kan de även behöva styras med hjälp av hydraulolja ifrån en plats över högsta möjliga vattennivå. Det kan också vara en framtidssäkring att bygga för tvåsidigt tryck. (Pettersson, et al., 2018)

TEAB håller för närvarande på att, inom projektet Flödesstyrning tunnlar, konstruera ett prognosystem som gör det möjligt att styra/dämma flöden inom tunnelnätverket (se även under kapitel 5.1.1). Att fjärrstyra flödena proaktivt ses här som en stor outnyttjad potential inom tunnelsystemet.

I Trollhättans tunnelsystem uppkommer ibland övertryck i samband med större flöden, vilket kan leda till att avloppet tillfälligt inte kan flöda ned via anborrning eller att fastigheters vattenlås påverkas. Övertrycket kan även ge luktproblem och orsaka lyft av brunnslöck, eventuellt även källaröversvämningar. För att motverka problemen har TEAB satt klaffar/luckor på utvalda platser som gör att trycket i tunneln inte påverkar ledningsnätet. TEAB har dock inte gjort beräkningar på hur fenomenet med övertryck påverkar systemet, utförda insatser är föranledda av erfarenheter. Kanske behövs ytterligare forskning ske på området. (Bohman, et al., 2018)

5.3.9 Flödesmätningsstrukturer

Liksom i många hydrauliska system kan det finnas ett behov av kontinuerlig flödesmätning i, eller i anslutning till, VA-tunnlar. Rätt plats för mätningen behöver inte nödvändigtvis vara i tunneln. Lokala förhållanden och önskemål i ett projekt kan leda till att flödesmätningen kan placeras vid inloppen, längs med tunneln eller vid utloppet. Flödesmätare bör dock alltid placeras på platser där erforderliga raksträckor kan tillgodoses. Helts placeras flödesmätare innan eller efter tunneln eftersom allt som placeras i tunneln innebär ökat arbete och ökade risker för drift-/mätpersonal och därför undviks om möjligt.

Arbetsmiljöaspekter som måste beaktas är belysning, exponering för aerosoler och ventilation. Viktigt är också åtkomlighet nära tunnelpåslag för transport av material och servicepersonal samt att bra åskskydd installeras, både för el-matning och signalsystem (Pettersson, et al., 2018).

De flödesmätningssanordningar som oftast används i tunnlar är Parshall-rännor, långhalsade rännor, MAG-mätare och korskorrelerad doppler (s.k. VH-mätare/Area-hastighetsmätare). För tunnlar med fri vattenyta kan Parshallrännor, långhalsade rännor eller dopplermätning användas, men även överfallsskibord/Thompsonöverfall. För mätning i tunnelinhängda

rör fungerar MAG-mätare eller insticksmätare. Tunnlar som alltid går fyllda och är trycksatta är svåra att flödesmäta i, mätning bör istället göras uppströms eller nedströms den fyllda tunneldelen. Idag finns det flera lösningar för att mäta flöde i en kanal oavsett sektionens geometri t.ex. VH-mätare. Flöden kan även mätas direkt på tryckrören från pumpstationer.

I vissa fall förloras information om komponenterna som flödet består av, det går därmed inte att spåra olika typer av tillskottsvatten (snabba respektive långsamma). Detta gäller i första hand när inflödet är större än pumparnas kapacitet eller då ”sumpvolymer” är stor i förhållande till flödestoppvolymer. Som komplement till mätning av det pumpade flödet bör även nivån i tunneln/sumpen kontrolleras. För detta kan det krävas djuphavssensorer som är mer tåliga och klarar stora mätintervall.

Flödesmätningens anordningar som Stockholm Vatten använder i tunnlar är Parshallrännor, MAG-mätare och korskorrelerad doppler (Nivus). Parshallrännor placeras direkt i tunnarna och MAG-mätare och korskorrelerad doppler i kulverterade sektioner. För normala flöden används Parshallrännor och för kulverterade delar av tunneln har stora MAG-mätarsektioner fungerat bra. (Händevik, 2018)

Inom Gryaab finns viss tveksamhet till insticksmätare på grund av störning av fasta partiklar och sediment, men används korskorrelation bör det fungera då de placeras i nära anslutning intill rörväggen (Pettersson, et al., 2018).

Parshallrännor i tunnarna ligger ofta i samma atmosfär som tunnarna, vilket gör att trappschakt, belysning m.m. slits fort och arbetsmiljön blir osäker. Parshallrännor har också problem med för små/stora flöden eller vid dämning från nedströms liggande tunnlar. De kräver även att utloppet inte däms för mycket nedströms ifrån och specialkalibreras de inte på plats blir noggrannheten dålig vid små flöden. Vid för stora flöden rinner vatten över konstruktionen och ingen flödesdata alls kan uppmätas. Ett sådant exempel är parshallrännan i Sundbybergs Underverket som leds in till Järvatunneln i Stockholm. Den klarar inte att mäta flödet när det blir intressant d.v.s. när större regn inträffar. I framtiden vill Stockholm Vatten alltid mäta i kulverterade sektioner med bypass-möjlighet så att driften kan se mätningen. (Händevik, 2018)

Gryaab använder ofta parshallrännor i kombination med ultraljudnivåmätning, men vid lågflöden kan sedimentering störa noggrannheten och ett visst behov av rensning kan uppstå i rännan. Även vid användning av överfallskibord/Thompsonöverfall i tunnelsystemet ses en risk för ansamling av sediment som kan påverka mätningen.

För trycksatta rör har Gryaab erfarenhet av att MAG-mätare i regel fungerar bra. Vid större rördimensioner kan dock ett bra alternativ vara löptidsmätare (typ clamp on). Att mäta flödet på tryckrören ifrån en pumpstation med fyllda rör är alltid att föredra framför delvis fyllda.

Delvis fylld MAG-mätare (induktiv flödesmätare, se Figur 5-14) har fungerat bra, men ibland finns behov av återkommande rensning om belägg-

ningar uppstår. För öppna kanaler har hög noggrannhet uppnåtts med korskorrelationsmätning placerad på en ponton. Fettansamlingar kan dock störa signalen. (Pettersson, et al., 2018)



Figur 5-14 Flödesmätning med delvis fylld mätare
(Käppalaförbundet, 2019)

Vid rätt vald mätmetod ligger mätnoggrannheten normalt mellan 2–5 %, men avvikelser förekommer vid varierande flöden (Pettersson, et al., 2018). I öppna kanaler med stor flödesvariation (5–20 gånger torrvädersflöde) är det i praktiken svårt att få hög noggrannhet på flödesmätningen för samtliga flödesnivåer, syftet av flödesmätningen behöver därför fastställas; ska normala basflödet och totalvolym eller toppflöden mätas? Vid stor variation i flödet är det realistiskt att anta en mätnoggrannhet på som bäst ± 10 % (Käppalaförbundet, 2019).

Det finns mycket erfarenhet samt dokumentation om hur flödesmätningsstrukturer bör designas och driftas, en bra guide för detta är Discharge measurement Structures, Third edition (Bos, 1989).

5.3.10 Bräddning från tunneln (spillvatten)

I vissa tunnlar får inte vattennivån stiga över en viss nivå, vid denna nivå måste ett bräddskibord eller en bräddlucka placeras. Bräddning kan inträffa vid flöden som överstiger tunnelns dimensionerande flöde, vid dämning eller om tunnelns pumpstation är ur drift. Bräddning sker inte sällan i kombination med att anläggningens elförsörjning är utslagen varför bräddpunkter i möjligaste mån ska utföras som passiva konstruktioner med t.ex. överfallskanter. Bräddpunkter ska visas i en hydraulisk profil som tydligt åskådliggör vid vilka vattennivåer och flöden som det kan brädda. Om det inte är möjligt att skapa en bräddpunkt som bräddar via självfall måste bräddflödet kunna pumpas ut. Dock bör lösningar där det krävs pumpning eller aktivt öppnande av en bräddlucka undvikas eftersom dessa

installationer kommer i drift väldigt sällan och kanske inte ens fungerar när de måste.

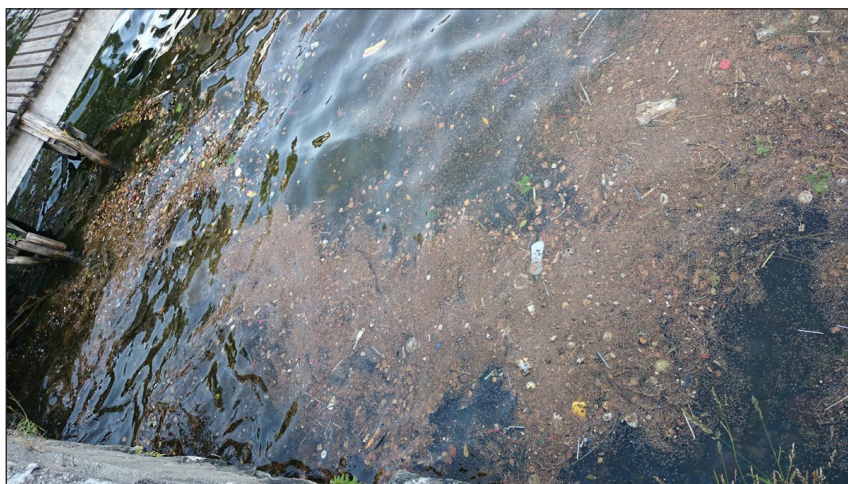
Bräddflöde kan ledas till ett fördröjningsmagasin eller recipient, alternativt undviks bräddning genom att flödet istället däms upp till inkommande tunnlar/ledningsnät. Bräddning av spillvatten ska undvikas så långt som möjligt och om det mot förmodan måste bräddas ska det göras kontrollerat. Det finns olika former av silar/galler (kan benämnas bräddvattensil) som kan användas på bräddvatten i tunnlar eller kanaler med rensanordning där rensat återförs till huvudströmmen som går till avloppsverket.

Det är skillnad på bräddning och nödutsläpp (se SNV allmänna råd 93:6, gäller fortfarande vid kontroll 2019). Med bräddning avses utsläpp då tillrinning är större än anläggningskapacitet (pumpstation, avloppsverk etc.) och med nödutsläpp avses utsläpp på grund av haveri, t.ex. strömavbrott.

För Stockholm Vatten har övervakningen av bräddtillfällen, bräddvolymmer samt bräddarnas kapacitet fungerat dåligt. Modeller har använts för att beräkna och förutspå bräddning, men de kan endast visa när överbelastningen sker p.g.a. regn.

Bräddning i Stockholm Vattens tunnelnät sker ofta från relativt djupa nivåer där bräddflödet går via stora rör eller tunnlar till recipienten. Dessa utloppsrör/tunnlar är kritiska för systemet men de driftas sällan. Statusen för ledningar som går ut under havsnivån är helt okänd. Bräddning sker passivt i de flesta fall men några aktivt styrda skibord finns i vissa tunnlar. (Händevik, 2018)

Bräddning skedde exempelvis till följd av de skyfall som föll sommaren 2014. Eolshälls pumpstation i södra Stockholm klarade då inte av att få undan de stora avloppsvattenmängderna och ca 30 000 m³ orenat avloppsvatten bräddade till Mälaren, se Figur 5-15. (Bungerfeldt, 2014)



Figur 5-15 Flytande fekalier och skräp som bräddat från Eolshälls pumpstation till Mälaren, Stockholm (Heinonen, 2014).

Käppalaförbundet anser att bräddnivåer ska beskrivas i en hydraulisk profil eftersom nödutsläpp inte får ske på fel ställen vid eventuella pumpstopp.

I Käppalas tunnelsystem är bräddningen utformad så att vattnet rinner förbi pumpstationen till tunneln nedströms, förutom vid reningsverkets pumpstation där bräddning sker uppströms ut till Saltsjön. En av förbundets pumpstationer har nyligen byggts om så att det lättare går att dämna i tunneln vid behov, d.v.s. tunneln utnyttjas som magasin så att bräddning kan undvikas. Käppalas tunneldel på Lidingö var redan från starten 1969 utformad så att den kunde utnyttjas som magasin innan inpumpning till avloppsverket. (Nielsen, 2019)

I TEAB:s tunnelsystem finns en bräddpunkt innan reningsverket, där spillavloppsvattnet vid högre flöden bräddar till recipient. På några platser finns bräddpunkter inom tunnelnätverket där spillvatten antingen kan föras till recipient, eller där dagvatten kan brädda över till kombinerad tunnel och ledas vidare till reningsverket. Bräddnivån styrs på de flesta platser passivt via en fast vägg/överfall. (Bohman, et al., 2018)

I Norge har silar eller galler installerats vid vissa bräddpunkter, de blir dock ofta hårt belastade av rens. Vid bräddpunkter där det enbart finns en bräddöverfallskant händer det istället att skräp (tops, papper etc.) hamnar i recipienten efter ett kraftigt regn. (Bakken, 2018)

6 Hydrauliska förutsättningar

Detta kapitel syftar till att beskriva vilka förutsättningar som bör finnas vid utredning/projektering/byggande av en avloppstunnel. De hydrauliska förutsättningarna ska vara framtagna tidigt i projektet.

6.1 Designöverväganden

Det finns ett flertal designöverväganden som behöver beaktas vid konstruktion av en VA-tunnel. Dimensioneringen kan bl.a. påverkas av befolkningsprognos, framtida regn, eventuell utjämningsfunktion och en pumpstation eller ett avloppsreningsverkets kapacitet.

Först och främst bör det vara fastställt att en tunnel är den lösning som passar ändamålet bäst, ett nytt/uppgraderat ledningsnät ska ha utretts som alternativ. När väl tunnel fastställts som lösning är följande exempel på vad som påverkar dess dimensionering:

- Storlek på dimensionerande regn och flöden inklusive inläckage
- Hantering av flödestoppar; ska de kunna fördröjas i tunneln eller pumpas ut via större pumpstation? Ska en eventuell pumpstation dimensioneras för samma flöden som tunneln?
- Risker med sedimentation och "first flush" vid buffring/fördröjning av flödet i tunneln
- Tunnelns livslängd (bör vara minst 100 år). För en lång livslängd krävs att tunneln dimensioneras så att det finns möjlighet till renovering av betong- och stålkonstruktioner i tunneln och dess pumpstationer.
- Framtidsvisioner; om plats för ytterligare en framtida tunnel ska förberedas eller om den enskilda tunneln ska dimensioneras för flera hundra års drift
- Redundans
- Bräddfunktioner
- Avstängningsmöjligheter
- Metod för tömning av tunneln och hur länge tömning kan tillåtas pågå
- Lufthanteringen för hela tunneln/tunnelsystemet (utblås vid inlopp, bildning av luftfickor, luftsläpp eller inflöde av luft m.m.)
- Metod för vattenfyllning av tunnel/tunnlar (hur den fylls, hur snabbt och hur luft släpps ut under fyllningstiden)
- Möjlighet till självrensning, både i tunnlar med fri vattenyta och för fyllda tunnlar och dykarledningar. Se kapitel 6.10 Sedimentation och självrensning.
- Möjlighet till spolning av tunnlar och dykarledningar
- Borrhål utformas så att de inte begränsar kapaciteten uppströms i ledningsnätet.

- Installationer. Undvik installationer i vattnets väg för att få bästa möjliga hydrauliska förhållande.
- Geologiska och hydrogeologiska miljöer, ger input till hur tunneln och eventuella pumpstationer kan designas.
- Tillträde, utrymningsmöjligheter och tillfartsvägar

Stockholm Vatten har vid tunneldimensionering haft en tidshorisont om 100 år för befolkningsprognosen (även om befolkningsprognoser blir en ren gissning ca 30 år efter befolkningsframskrivningens slut). Regnkomponenten har bestått av ett 10-års regn med en klimatkfaktor om 1.2. Effekten av höjd nivå på Mälaren/Saltsjön har även beräknats/uppskattats och tagits hänsyn till då det är känt att höga nivåer leder till ökat inläckage. Även beräknad ökning av mängden tillskottsvatten med hänsyn till förändrat klimat har tagits med i beräkningar. Ingen hänsyn har dock tagit till en eventuell ökning av total area ansluten dagvattenyta eller läckage och dränering. (Händevik, 2018)

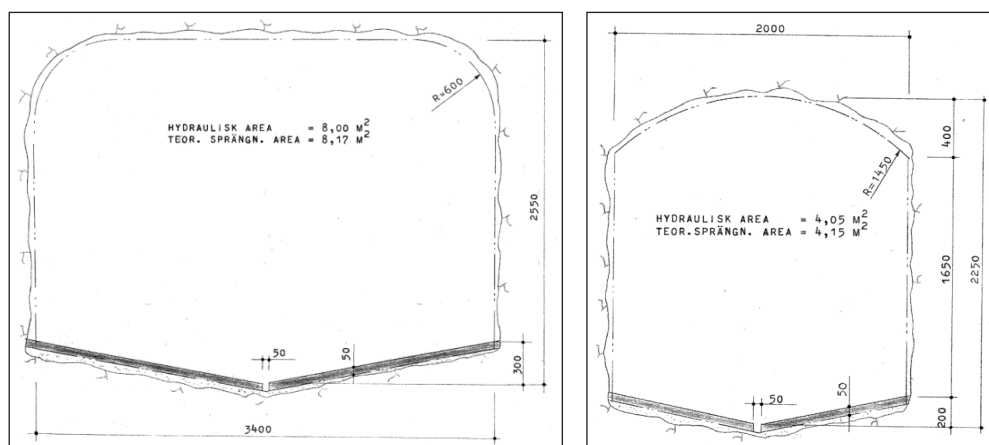
Mer om befolkningsprognos, inläckage och klimatpåverkan finns i kapitel 6.11 Randvillkor.

6.2 Tunnellayout

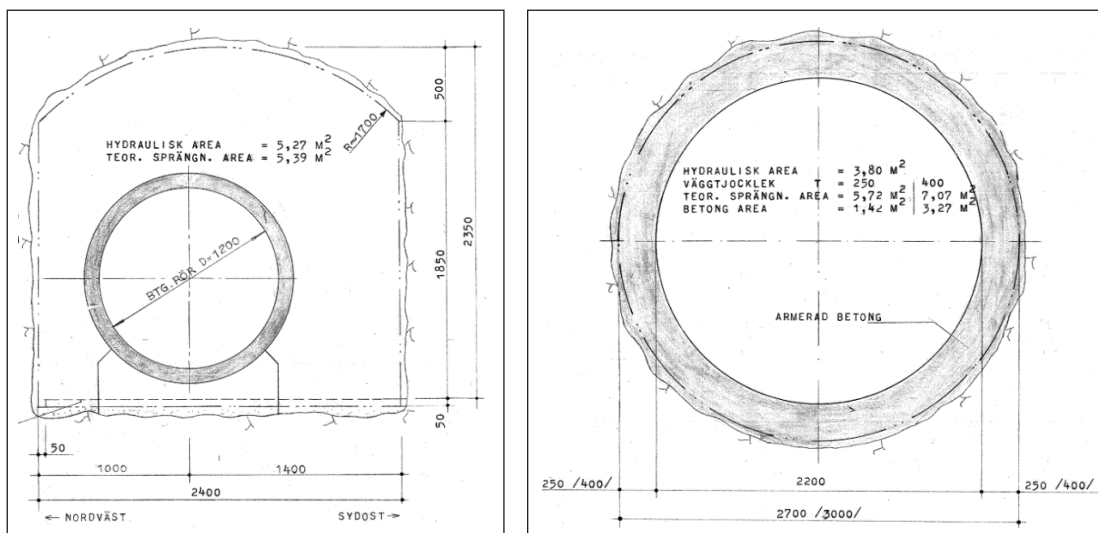
Avloppsvatten kan med fördel ledas i tunnlar med fri vattenyta och en dimensionerad lutning eftersom de förutses designas så att de blir självrensande. Fyllda tunnlar eller dykartunnlar bör undvikas, men om de behövs så ska transport av vatten innehållande mycket rens och/eller sediment undvikas.

6.2.1 Den bästa hydrauliska sektionen

Det finns ingen tunnelsektion som är perfekt för alla scenarion. Det gäller att göra en bedömning av varje enskilt fall och välja den tunnelsektion som är bäst för det aktuella vattnet, flödet, lutningen o.s.v. Generellt ger en smal och hög tunnel mindre problem med sedimentation än en bred och låg. Exempel på hydraulisk area för olika tunnelsektioner visas i Figur 6-1 och Figur 6-2.



Figur 6-1 Tunnelsektioner med v-formad botten från Lidingö, uppströms Käppalaverket (Käppalaförbundet, 2019)



Figur 6-2 T.v. tunnelsektion som visar en torr tunnel med ett rör som leder vattnet, från tunnel under Stocksundet uppströms Käppalaverket. T.h. tunnelsektion som visar en cirkulär betonglinad tunnel under Lilla Värtan uppströms Käppalaverket (Käppalaförbundet, 2019)

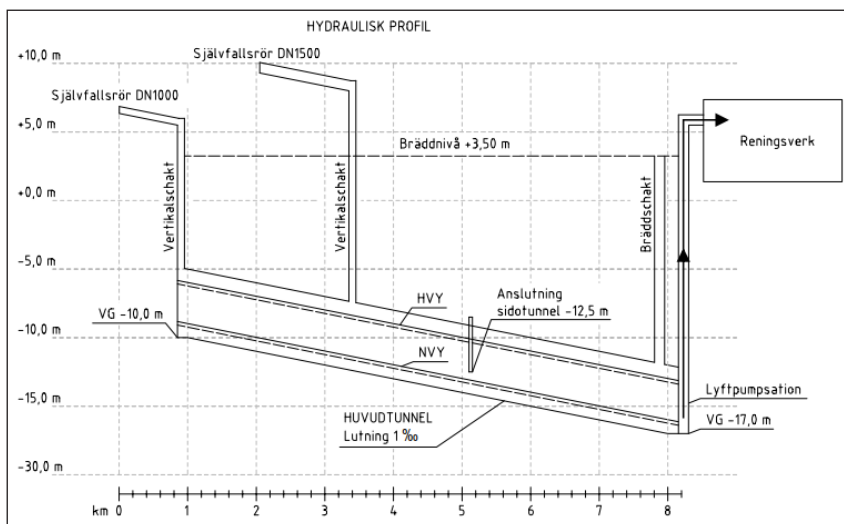
Tunnellutning: Vid beräkning av självrensning hamnar ofta lutningskraven på mellan 1 till 2 promille. Gryaab, Käppala och Stockholm Vatten har bra erfarenhet av 1 promilles lutning i våta tunnlar för självfall. Lutningen bör styras av krav på självrensning där en för flack lutning endast ger självrensning vid höga flöden, inte en gång per dygn vilket är det minimum som rekommenderas. En för brant tunnellutning i förhållande till flödet kan å andra sidan ge upphov till oönskade hydrauliska språng eller andra fenomen. Mer om självrensning finns i kapitel 6.10.

6.3 Krökar

Tunnel- eller kanalkrökar skapar förutom tryckförluster även risk för sedimentation uppströms eller nedströms kröken. Undvik därför krökar med större vinkel än 45 grader eller andra konstruktioner som hindrar att vattnet flödar fritt.

6.4 Hydrostatiskt tryck

Vid dimensionering av en ny tunnel måste en hydraulisk profil (se exempel i Figur 6-3) göras där den nya tunneln och eventuellt anslutande tunnlar och ledningssystem finns med. Med hjälp av den hydrauliska profilen kan det utläsas om tunneln ligger på rätt nivå samt om det finns partier som har problem med t.ex. höga vattennivåer. Det behöver även utredas hur grundvattensystemet ser ut i området, om det finns berg med sprickzoner och hur stor risken är för inläckage eller att den nya tunneln påverkar eventuella andra närliggande tunnlar eller vattenförande områden. Om tunneln avbördar direkt till recipient måste även påverkan av recipientens vattennivåändringar på trycklinjen för tunnelns vattenflöde beaktas.



Figur 6-3 Exempel på en hydraulisk profil för en huvudtunnel (fiktiv) med en lyftpumpstation (Karlsson, 2019)

6.5 Anslutningspunkter och borrhål

Ett anslutningsschakt ska inte begränsa kapaciteten i ledningsnätet genom att orsaka dämning uppströms. Det gäller därför att noggrant titta på hur inkommande ledningsnät ser ut vid varje anslutningspunkt så att anslutningarna dimensioneras korrekt. Om det finns möjlighet till flödesmätning innan eller i anslutning till varje anslutningspunkt är det en fördel då det underlättar spårning av t.ex. tillskottsvatten mer än vad en gemensam flödesmätning nedströms tunneln kan göra. Se exempel på anslutningspunkter från Käppalaförbundets och Gryaab's tunnelsystem i Figur 6-4.



Figur 6-4 T.v.: Anslutning mellan våt tunnel och rör (Gryaab, 2019). T.h.: anslutning med mätning vid tunnelpåslag (Käppalaförbundet, 2019).

Anslutningspunkter via borrhål och via vertikala eller nära vertikala schakt kan utformas på flera sätt. Stockholm Vatten har ett flertal sådana anslutningar där de använt en formel med konstanter för olika inloppsgeometrier för att få fram bästa möjliga utformning. En i Tyskland standardiserad metod är att använda sig av s.k. virvelschakt som har färdiga dimensioneringsformler (Hager, 2010), se kapitel 5.3.1 för mer information.

6.6 Grundvatten

En bedömning av hur stor andel av det totala flödet i tunneln som kommer bestå av inläckande grundvatten bör göras, därefter görs en bedömning av inläckagets eventuella påverkan på den hydrauliska dimensioneringen. Oftast är storleken på det inläckande grundvattenflödet försumbart i förhållande till tunnelns tänkta huvudvattenflöde, vilket gör att inläckaget inte behöver tas med vid hydraulisk dimensionering av tunneln.

Grundvatten i tunneln bör undvikas genom konstruktion av en så tät tunneln som möjligt. Vid risk för grundvattenpåverkan ska tunneln både för- och efterinjekteras. Kontrollera gällande miljödömande och vilka funktionskrav som finns på inläckande vatten som kan påverka villkor i tillståndsärendet (se kapitel 3).

6.7 Ytbeläggning, Mannings tal

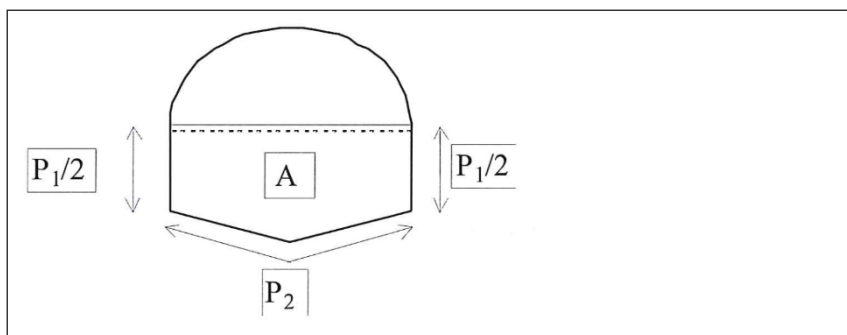
Ytbeläggningen i en tunnel påverkar tunnelns flödeskapacitet. Tunnelbotten eller vägg som är klädd med betong, asfalt eller råberg påverkar flödet och ev. avsättning av rens och sediment. Detta hänger även ihop med självrensning som behandlas i kapitel 6.10.

Vanliga beläggningar i tunnlar är betong och asfalt. Oftast läggs betong i botten i sektioner med normalflöden, tunnelväggar och tunneltak brukar bestå av råberg. Om berget är dåligt behövs förstärkningar eller relining i delar av eller i hela tunneln, inklusive väggar och tak.

Mannings tal beskriver hur grov eller fin en yta för vattentransport är. En grov yta ger ett lågt Mannings tal, vilket ger stora friktionsförluster och en fin yta ger ett högt Mannings tal med lägre friktionsförluster. Tunnlar med mycket ytor av betong får ett högre Mannings tal än tunnlar med stor andel utsprängt råberg. För en tunnel med råsprängt berg ligger Mannings tal mellan 25 till 35 och där betong dras upp på tunnelväggarna kan Mannings tal hamna mellan 40–70 beroende på hur mycket av tunneln som kläs i betong.

Sammanvägning av råheter (medelvärde för Mannings tal): Mannings tal kan även beräknas för en tunnel som har olika ytråhet för tunnelbotten, väggar och tak enligt ekvation 6-1 nedan (Ljunggren & Svensson, 2013) där M_m är medelvärdet för Mannings tal, M_1 och M_2 är Mannings tal för respektive tunnelbotten eller vägg och P_1 och P_2 är motsvarande för den våta längden. Ekvationen kan byggas på med fler prefix om tunneln har fler delar med olika ytråhet.

$$M_m = \frac{P_1 \times M_1 + P_2 \times M_2}{P_1 + P_2} \quad \text{Ekvation 6-1}$$



Figur 6-5 Figur med parametrar för beräkning av medelvärdet för Mannings tal i en tunnelsektion med olika ytor (Ljunggren & Svensson, 2013)

6.8 Turbulens/virvelströmmar

Turbulens och virvelströmmar ska helst undvikas i tunnlar och rör. Flödes-hastigheten tillsammans med eventuella konstruktioner som stör vatten-flödet har betydelse för risken att turbulens/virvlar uppstår. Oftast uppstår turbulensen upp- och nedströms konstruktioner som stör vattenflödet eller efter skarpa krökar. Även anslutningar av sidotunnlar eller rör kan ge upphov till turbulens och störningar av huvudtunnelflödet.

6.9 Kavitation

Problem med kavitation kan uppstå i samband med pumpning eller vid reglerluckor. I pumpstationer finns risk att kavitationen orsakar förslitningar på pumphjul och/eller i anslutande rörsystemet. Vid reglerluckor kan kavitation uppstå då luckan öppnas uppåt och vatten strömmar med hög hastighet under luckan, kavitationen kan då orsaka erosionsskador på betongen i kanal/tunnelbotten. Problemet kan avhjälpas genom installation av en stålplåt på kanalbotten direkt efter reglerluckan.

I Sankt Petersburg finns det en pumpstation som lyfter stora flöden från en djup tunnel in till norra reningsverket. Pumpstationen är konstruerad så att den skyddas mot höga vattennivåer med hjälp av en stor port som reglerar flödet in till stationen. Problemet är att porten sänks vid riktigt höga flöden så att vattnet bara kan flöda genom en glipa på några centimeter, hastigheten blir då extremt hög vilket orsakar stora problem med kavitation. (Händevik, 2018)

Käppala har enligt en rapport haft problem med skador på betongen på grund av kavitation orsakad av hög flödes hastighet under och nedströms en numera borttagen lucka. (Nielsen, 2018)

6.10 Sedimentation och självrensning

Självrensning dimensioneras olika för en tunnel med fri vattenyta och för en trycksatt tunnel/dykartunnel. För beskrivning av dimensioneringsmetoder för olika fall, se Avledning av dag-, drän- och spillvatten P110 (Svensson, et al., 2016).

För spillvatten brukar rekommenderas att självrensflöde ska uppnås vid maxtimmen under minimidygnet, flödet behöver då vara så pass stort att det ger upphov till en bottenskjuvspänning på 1,5 N/m². Bottenskjuvspänningen beror på, utöver flödes hastigheten, tunnelns sektion och lutning. Hur stort självrensflödet blir varierar således mellan olika tunnlar. (Händevik, 2019)

I tunnlar med dålig lutning kan självrens uppnås m.h.a. spolning från ett spolvattenmagasin, dagvatten, brutet vatten eller en recipient användas. Spolning gör dock att rensstötter till t.ex. ett avloppsreningsverk eller pumpstation kan uppstå.

Tunnlar med fri vattenyta. Självrensning tillämpas i tunnlar där den naturliga dygnsvariationen rensar tunneln. Om sediment och rens fastnar på olika platser i en tunnel vid normalflöden kommer dessa med största sannolikhet att sköljas med vid högflöden vilket kan skapa flödestoppar med slam och rens i avloppsreningsverket. Det är bättre att dimensionera tunneln så att allt sediment och rens följer med vattnet, åtminstone minst en eller flera gånger per dygn.

Dykarledningar. Dykarledningarna och även rör i torra tunnlar behöver dimensioneras så att rens och partiklar i vattnet följer med och lyfts upp från lågpunkten. I *Self cleansing flow conditions for inverted siphons* (May, 2000) finns det bra riktvärden för vilka flödes hastigheter som bör dimensioneras för.

Stockholm Vatten har rensat vissa tunnlar i Brommaområdet i västra Stockholm vid ett antal tillfällen. De rekommenderar att sediment i tunnelsystemet tas om hand innan spolning för att undvika senare problem i reningsverket. (Händevik, 2018)

Figur 6-6 visar en bild från en avloppstunnel (Sicklatunneln) med trögflytande slam som riskerar sedimentera.



Figur 6-6 Slam/sediment i Sicklatunneln, Nacka (Mats Wåhlin AB, 2009).

6.11 Randvillkor

6.11.1 Befolkning och förbrukningsprognos

Eftersom en tunnel ska brukas under lång tid (minst 100 år) är det viktigt att se över hur en eventuell kommande befolkningsökning kan påverka tunneldimensionen. Stockholm Vatten har dimensionerat sina kommande tunnlar mot längsta befolkningsframskrivningen som fanns vid tillfället för dimensioneringen, d.v.s. 30 år, extrapolerat fram till 100 år. Befolkningsökningen påverkade inte tunnelns (sprängda) dimension som istället styrdes av maskinernas storlek/billigaste tvärsnittet. Maskinerna krävde betydligt större tvärsnitt än vad som krävdes av det dimensionerande spillvattenflödet. Däremot påverkade befolkningsökningen dimensioneringen av tunnelpåslagen. (Händevik, 2018)

6.11.2 Inläckage

Stockholm Vatten har för sina tunnlar antagit en oförändrad mängd inläckage, d.v.s. ledningsnätets åldrande motverkas av förnyelse av ledningsnätet. De har dock räknat med en ökad tillskottsvattenmängd på grund av förändrat klimat, även om det innebar en marginell ökning. (Händevik, 2018)

Stockholm Vatten har haft problem med inläckage vid sättningszoner i områden ovanför vissa tunnlar, t.ex. Älvsjötunneln, vilken troligen har en koppling till att tunneln dränerar vatten från ovanliggande mark (Händevik, 2018). Sweco har tagit fram en rapport som teoretiskt visar inläckage i Stockholms tunnlar. Sweco har även gjort en utredning om inläckage i Trollhättans tunnelsystem.

Se även kapitel 6.6 om grundvatten.

6.11.3 Klimatpåverkan

Klimatförändringars inverkan bör beräknas i ett tidigt skede då de kan ha inverkan på systemval och dimensionering.

Framtidens (troligen) ökade dagvattenvolymer kan innebära att en tunnel oftare blir att föredra framför ett ledningssystem vid markytan p.g.a. möjlighet till större magasineringsvolym. Om det framtida systemet kräver pumpning till recipient kan det dock i vissa fall vara bättre att bygga ett yttligt ledningssystem än en tunnel.

Under 2010-talet gjorde Stockholm Vatten inga konkreta åtgärder för att motverka klimatförändringarnas effekter mer än att kartlägga bräddningar och hur det framtida klimatet (nederbörden) skulle påverka belastningen av tunnarna. Resultatet visade att den ökade befolkningen har större påverkan än den ökade nederbörden. Kartläggningen gjorde att flera projekt startades med syfte att minska bräddning, främst genom separation av spillvatten och dagvatten i tunnarna. (Händevik, 2018)

TEAB tar hänsyn till klimatförändringar genom att arbeta med ett system för att styra nivån i tunneln och intaget till reningsverket, så att flödestoppar kan hanteras bättre (se även kapitel 5.1.2). (Bohman, et al., 2018)

Klimatförändringarna tros även leda till havs- och recipientnivåhöjningar vilka påverkar tunnlar som mynnar eller bräddar till hav/recipient, mer om detta finns i nästa kapitel (kapitel 6.11.4).

6.11.4 Havsnivåhöjning

Havsnivåhöjning eller annan recipients vattennivåhöjning påverkar tunnlar som mynnar i recipienten. Effekten av nivåhöjningen blir att tunnelns kapacitet minskar, alternativt att den trycknivå som behövs uppströms för att få utflöde ur tunneln ökar. Många befintliga tunnlar kan behöva en utloppspumpstation för att klara att leda ut framtida flöden till recipient. Bräddpunkter som ligger lågt påverkas också på samma sätt. För att minska risken för framtida underkapacitet bör eventuella havs- och/eller recipientnivåhöjningar därför tas i beaktande vid dimensioneringen av nya tunnlar.

Käppalaförbundet tror dock inte att tunnelnätet är det som först blir begränsande för systemet vid havsnivåhöjningar, utan istället det anslutna ledningsnätet. Ut från avloppsverket har de alltid möjlighet att pumpa vattnet. De har även en pumpstation som kan pumpa vatten från tunneln vid Långängstrand (vid dykarledning under Värtan till Lidingö). (Nielsen, 2019)

Stockholm Vattens bräddpunkter genom utloppstunnlar till t.ex. Saltsjön kommer att påverkas av havsnivåhöjning genom sänkt kapacitet. På sikt kommer utloppspumpstationer att behövas för att pumpa ut brädd/dagvatten till Saltsjön (Östersjön) när havsytan är hög. (Händevik, 2018)

För TEAB:s tunnelsystem åt recipienten Göta Älv som är reglerad och därför kommer de troligen inte få problem med vattennivåhöjningar. (Bohman, et al., 2018)

7 Riskhantering

Riskhanteringen avser den process då oönskade händelser i ett projekt identifieras och där de utifrån en möjlig konsekvens och en förväntad sannolikhet kan komma att klassas som en risk. En potentiell risk kan ha olika tyngd i de olika projektstegen, därför är det viktigt att kontinuerligt följa upp arbetet med riskhantering.

7.1 Riskidentifiering

Det är vanligt att i varje projektsteg utveckla tidiga riskidentifieringar för att sedan i byggskedet lämna över den till entreprenören för fortsatt arbete. Identifieringen utförs enligt principen ”brain storming” baserat på erfarenheter från projektören och beställarens projektorganisation och eventuella externa deltagare. Det är alltid en styrka om personer med erfarenhet från utförande eller liknande projekt samt att flertalet teknikområden, driftspersonal kan delta.

Det är vanligt att särskilja arbetet med projektrisker och arbetsmiljörisker. När arbetsmiljörisker beskrivs handlar det många gånger om att värdera helt andra kostnader då det står i relation till personskador eller t.o.m. människoliv. Därför blir kostnadsbilden skev om projektrisker och arbetsmiljörisker blandas, projektriskerna har en tendens att bli väldigt små.

Projekteringen ska ta hänsyn till risker även för driftskedet och möjligheten till inspektion då det kan behöva projekteras lösningar för att anläggningen ska kunna fungera enligt de grundläggande förutsättningarna. Under driftskedet kommer det komma in mera risker kopplade mot arbetsmiljö än risker som mer till utförandeskedet. Arbetsmiljöverkets har rekommendationer och även presenterat möjliga orsaker som kan ge upphov till risker.

7.2 Erfarenhetsbaserade metoder och processer

Riskanalys och riskhantering är systematiska metoder för att hantera och identifiera risker i projekt eller organisationer. Riskhanteringen bidrar till att sätta riskarbetet på dagordningen och bli en integrerad del av projektledningen och synliggör därmed olika riskhändelser för ledningen. Vidare så klargörs det, som en del av processen, vem som är ansvarig för att hantera riskhändelsen. Om en riskhändelse är oacceptabel ger riskhanteringen en strukturerad metod för att skapa planer för att reducera risken. Det är viktigt att riskhantering är en integrerad del av projektledningen som följs upp löpande. Ett kontinuerligt pågående arbete med risker är nödvändigt så att inte en riskanalys utförs och sedan glöms bort.

Målsättningen med upprättandet av en riskanalys är att identifiera oönskade händelser och göra en riskvärdering utifrån möjliga konsekvenser och en förväntad sannolikhet att identifierade skadehändelser inträffar, se Figur 7-1.

1. Lista önskad händelse, skadehändelse

Tänkta eller möjliga önskade händelser, överklagad dom, svårigheter att driva spont, grundvattenproblem, förorening.

2. Beskriv orsaken till den önskade händelsen

Här ges en tydlig beskrivning av orsaken till den önskade händelsen, ex spontan fastnar på föremål i fyllningsmassan eller block eller driver snett så att låsfriktionen blir för stor.

3 Möjliga konsekvenser av den önskade händelsen

Vilken eller vilka möjliga konsekvenser kan uppträda om den önskade händelsen inträffar, ex spontan blir inte tät, inläckage av grundvatten.

4 Sannolikhet

Beskriver hur stor sannolikheten är att en önskad händelse enligt beskrivningen ska inträffa. En siffra mellan 1-5, där 5 avser mycket stor sannolikhet.

5. Konsekvens

Konsekvensen kan delas in i undergrupper som här: kostnad, tid, arbetsmiljö, 3:dje person och omgivning / miljö. Konsekvensen kan skilja mellan de olika undergrupperna för en och samma händelse.

6. Risknivå beräknas

Riskenivå kan nu utifrån sannolikhet och konsekvens beräknas som produkten mellan dessa.

7. Förslag på riskreducerande åtgärd

Beskriver förslag på riskreducerande åtgärd som bedöms kunna göras under projekteringen.

Figur 7-1 Exempel på aspekter i en riskanalys.

Beskrivningen av sannolikheter och konsekvenser är något som alla deltagare i risarbetet ska vara väl medvetna om, detta för att alla önskade händelser ska viktas på samma grunder. Värderingskriterierna ska anpassas för det enskilda projektet då projektets entreprenadkostnad och byggtid har avgörande roll vid riskvärderingen. Dessa värdekriterier kan inledningsvis bli justerade då det kan visa sig bli för ojämna fördelningar mellan risknivåerna. Det är dock viktigt att fastslås dessa i ett tidigt skede så att tidigare värderingar inte plötsligt får en felaktig risknivå samt att det kommande arbetet inte behöver omarbetas.

Nedan ses tabeller (Tabell 7-1 och Tabell 7-2) och figurer (Figur 7-2 och Figur 7-3) som beskriver exempel på fördelning av sannolikheten, en konsekvensbeskrivning och värderingskriterier med exempelnivåer för tid och kostnad.

Tabell 7-1 En möjlig fördelning av sannolikheten. En sannolikhet på 0,005 är detsamma som 1/200 att något inträffar.

Sannolikhet (S)	Innebörd	Prioriteringsfaktor	Värde
Mycket stor	Mycket troligt att den inträffar	5	1
Stor	Troligt att den inträffar	4	0,5-0,99
Medel	Kan inträffa	3	0,05-0,5
Låg	Bedöms troligen inte inträffa	2	0,005-0,05
Mycket låg	Bedöms inte inträffa	1	< 0,005

Tabell 7-2 En möjlig beskrivning av konsekvenser, dess riktlinjer och värde.

Konsekvens (K)	Riktlinje	Prioriteringsfaktor	Värde
Mycket stor	Konsekvensen är mycket kritisk för utformningen/utförandet av den stundande anläggningen	5	5
Stor	Konsekvensen är allvarlig för utformningen/utförandet av den stundande anläggningen	4	4
Medel	Konsekvensen har viss betydelse för utformningen/utförandet av den stundande anläggningen	3	3
Låg	Konsekvensen är liten för utformningen/utförandet av den stundande anläggningen	2	0,005-0,05
Mycket låg	Konsekvensen har ingen betydelse för utformningen/utförandet av den stundande anläggningen	1	< 0,005

Kostnad – uttryckt i kostnader för projektet i kronor									
Konsekvens (K)	Mkt stor		Stor		Medel		Låg		Mkt låg
Sannolikhet (S)	> 50 Mkr	5	50-20 Mkr	4	20-5 Mkr	3	5-1 Mkr	2	< 1 Mkr
Mkt stor 5	25		20		15		10		5
Stor 4	20		16		12		8		4
Medel 3	15		12		9		6		3
Låg 2	10		8		6		4		2
Mkt låg 1	5		4		3		2		1

Tid – uttryckt som försening i antalet månader									
Konsekvens (K)	Mkt stor		Stor		Medel		Låg		Mkt låg
Sannolikhet (S)	>12 månader	5	12-6 månader	4	6-3 månader	3	3-1 månader	2	< 1 månad
Mkt stor 5	25		20		15		10		5
Stor 4	20		16		12		8		4
Medel 3	15		12		9		6		3
Låg 2	10		8		6		4		2
Mkt låg 1	5		4		3		2		1

Figur 7-2 Exempel på värderingskriterier för kostnad och tid

	Mycket kritisk eller stor (röd) risken äventyrar projektet i mycket stor eller stor utsträckning. Riskreducerande åtgärder skall vidtas.
	Allvarlig (gul) risken kan äventyra projektet i stor eller medelstor utsträckning. Rimliga riskreducerande åtgärder med avseende på tid och kostnad skall vidtas.
	Förhöjd (grön) risken påverkar projektet i viss eller liten mån. Risken hanteras genom att risken överförs till byggskedet.

Figur 7-3 Exempel på kopplingen mellan färgskala och storlek på risk.

Arbetet med riskhanteringen är en iterativ process som där tillförlitligheten ökar med kontinuerligt arbete med riskidentifiering, åtgärdsframtagande och kontinuerliga omvärderingar av risk. Riskarbetet detaljeringsnivå anpassas till tillgänglig information och projektskede. På detta sätt kommer arbetet med de riskreducerande åtgärderna styra projektets totala risknivå som naturligtvis påverkar projektets totalbudget. Det är också viktigt att resultatet från riskarbetet kommer med vid successiva analyser av tidplan respektive kalkyl, antingen som underlag för bedömning av enskilda poster alternativt som generella villkor i det successiva arbetet.

Baserat på dokumentationen från identifieringen, värderingen och åtgärdsförslag sammanställs de identifierade riskerna som sedan ska finnas lättillgängligt genom projektet. Se exempel på riskregister i Figur 7-4 och åtgärdslista i Figur 7-5.

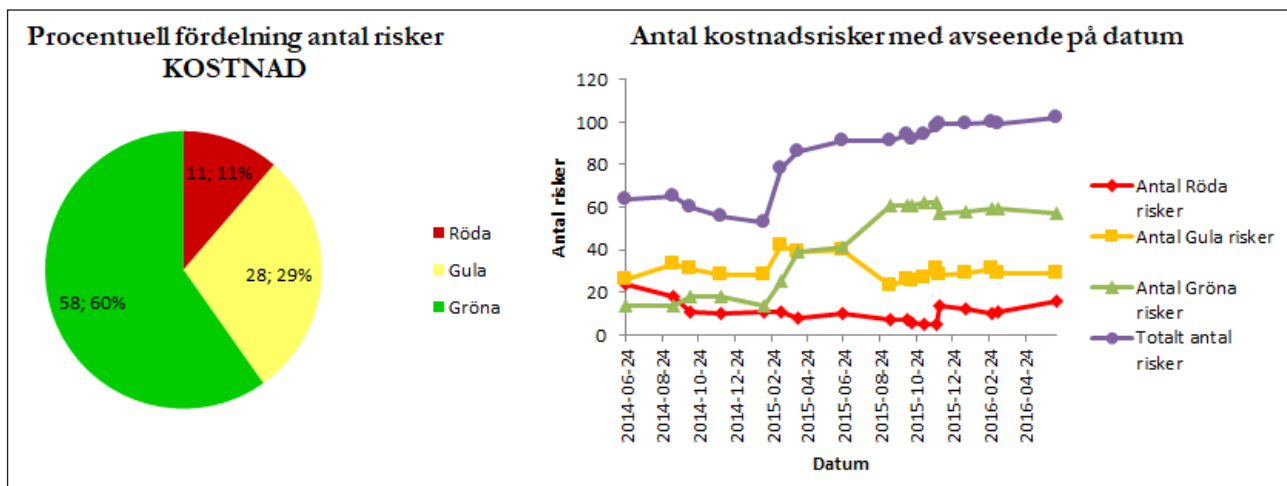
ID	Delprojekt	Skede	Entrepreneur Område	Risikagare	Hændelse (Risk for...)	Årsak (... på grund af ...)	Påvirkning (... hvilket medfører at ...)	Risikatus	Risk identificeret	Sannolikket	Konsekvens				Risikaværdi				Kommentar	Risk næsten	Kvantitativ analyse?
											Kostnad	Tid	Arbejdsindsats	Ytelse	Goodwill						
68		Produktion		TA Berg	Begrebs i tunnel	Hydraulisk brud	Kraftig forsvælg og øktet kostnad	Under arbejde	2015-04-07	1	5	5			3	6	6	4	2015-11-20 PL K 4 => 5 2015-08-31, TA Berg K 3 => 4 (1,4,5 => 1,3,5) 2014/09/24,	2015-08-31	ja
68		Produktion		TA Hydro	Sætningskardor på bygninger	Grundvandsindtrængning	Reparations- & ombygningsarbejdet	Under arbejde	2015-04-08	3	5	0		3	3	8	6	6	2015-10-08 Rak 369 styrkes pga dubbelst, ligger på an Ytre mål 0 => 3, samt byter indlagte fald PL til TA Hydro 2015-08-18 PL K 2 => 3 14/0915 x var udgået indlagte da dette er en glib indlagte flyttes sikken udfaldet over til PL (2015-02-03 PL SFAL Sammenlignet 2 => 3)	2015-08-18	ja
138		Projektering		PC	Politisk tværvidning	Inte sålt in projektet ordentligt, politisk spæl	Stop af projekt/pålig øktet kostnad	Rapportering	2015-11-13	1	5	5				6	6		Rapportering til PC 2015-11-13		
236		Udgørelse		PL	Øktet entreprenorkostnader	Fel i FU	Øktet ÅTOR	Under arbejde	2015-04-08	1	5	5				6	6		2015-08-18 PL S 3 => 1, K 3 => 4, T = 5 2015-04-08 (3,3,0 => 3,3,0) 2014-12-01 Transferring til PC	2015-08-18	
274		Produktion		TA berg	Berget går ej at tita med inpektning	Bergets egenkapital, værdifaldende	Lining	Under arbejde		5	5	4			3	10	9	8	2015-11-20 PL K 4 => 3 2015-08-31, TA Berg K 3 => 4, T 5 => 4 Fald kvantitativ analyse	2015-08-31	ja

Figur 7-4 Exempel på riskregister

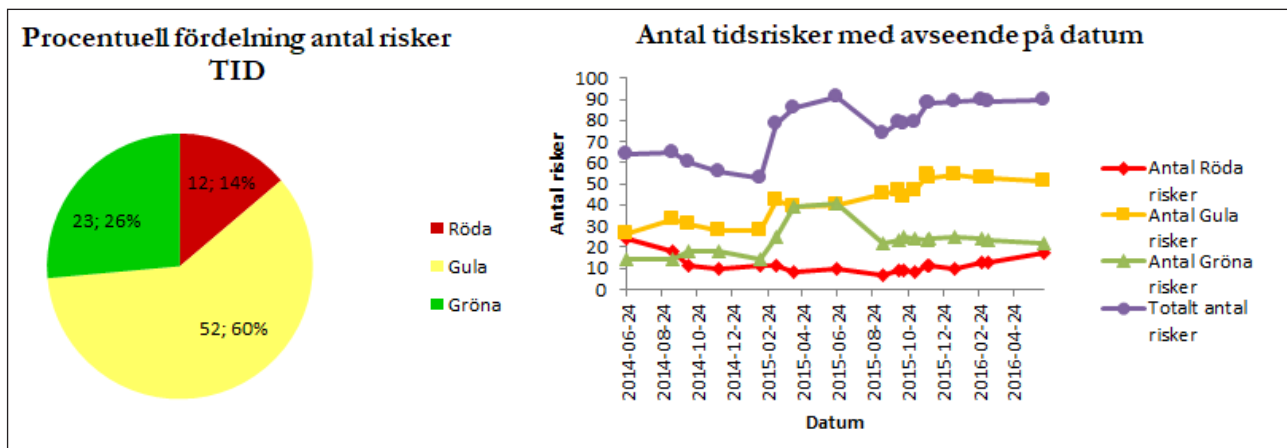
Risk ID	Åtgärds ID	Riskägare	Händelse (Risk för...)	Orsak (... på grund av ...)	Påverkan (... vilket medför att ...)	Riskvärde					Riskåtgärddare	Senast åtgärddatum	Åtgärds status	Åtgärds sen	Kommentarer
						Kostnad	Tid	Arbetsinsat	Värdeinsat	Goodwill					
73	73.1	E	Entreprenörens övervakning vid byggstarten	Felaktiga sprutningsmetoder	Stöda, stöning 3e guret					3	AB	2016-02-15	inönd		2016-02-25 inönd pga ink dubbeländ, se ink 118
74	74.1	ProjL	Beitade kvaliteten på installationer spöknagarna i Målarpassagen	Felprojektering/beställning	Projektering/upphandling	3	5				TA VA	2016-10-28		SEN	2016-05-30 Framförd från 2016-03-31 till 2016-10-28 Avstämning med driften gällande anordningar ska boka av i i ettan på just Kvartalen. 2016-01-13 Kommentrar har ej följt upp med driften som takt. 2015-10-29 Mötesnotiser pånådd, bokar möten efter hand inläst.
75	75.1	E	Beitade kvaliteten på installationer spöknagarna	Enfylling hantering i leverans	Nya leveranser	3	6				TA ROR	2015-12-31	klar		2016-01-13 Fins med i TE.
76	76.1	E	Beitade kvaliteten på installationer spöknagarna	Felmonterat & bifylling kontroll av bygglösning	Nya installationer arbeten, ledet till tidförbrukning	5	5				PL	2017-06-30		SEN	2015-08-18 Satt framförd till 2015-02-01 => 2017-06-30
79	79.1	PL	Negativ påverkan på befästa energipannor. (Utvärs de som ersättning budgeterat för.)	Beitfylling injektöring eller utskiftning	Skadeförändringar	6				7	TA Mjölo	2015-12-31		SEN	2015-08-18 Inönd framförd 2015-05-15 => 2015-12-31 31 2015-04-09 Framförd från 2015-03-01 till 2015-05-15. Tidspåverkan? x tycker det bör ändras till 2015-01-31. Bäst vore klart ett år före byggstart. Övervakning kontrollprogram finns. Nu gäller det att komma ut i fält och se vilka brunnar som kan påverkas.

Figur 7-5 Exempel på åtgärdslista.

I dessa skeden går det sedan att koppla en kvalitativ kostnad för respektive risk och på så sätt även ha en totalkostnad för projektriskerna.



Figur 7-6 Exempel på fördelning av risker kopplade till kostnader samt tillhörande graf som visar hur arbetet med åtgärderna förändrar riskbilden genom projektet.



Figur 7-7 Exempel på fördelning av risker kopplade till tiden samt tillhörande graf som visar hur arbetet med åtgärderna förändrar riskbilden genom projektet.

Fördelningen av de olika riskerna i Figur 7-6 och Figur 7-7. Figur 7-7 visar dock att riskmatrisen hade rätt skala för riskbedömning i projektet. Syftet med åtgärdsarbetet är att minska röda risker till gult och gula risker till grönt.

För att kunna uppnå god kvalitet i projektet bör identifiering av risker inom varje delmoment ske kontinuerlig.

Osäkerheterna kan ibland avta allteftersom projektet fortgår och ny information samlas in, en sådan typ av osäkerhet kallas "epistemisk". Osäkerheter som istället beror på naturlig variation eller slumpmässiga system kallas "aleatorisk". Eftersom en aleatorisk osäkerhet är slumpmässig kan den inte hanteras genom mer kunskap om systembeteendet. (Ferdous, et al., 2011)

Geotekniska förhållanden innefattar ofta osäkerheter, speciellt i projektens inledande faser. Det, i kombination med att de geotekniska förhållandena har stor betydelse för projektet som helhet, gör att området kan kategori-

seras som ett högriskområde. Riskerna gäller inte endast konstruktionen utan de kan även påverka miljö, arbetsmiljö och resurser på ett oönskat sätt.

Geotekniska såväl som övriga risker kräver löpande identifiering parallellt med ett välbetänkt och hållbart beslutfattande gällande hantering av oönskade händelser.

Metodbeskrivningar från Svenska Geotekniska Föreningen (SGF), rapport 1-2014 och 2-2014, samt arbetsgång för en strukturerad riskhantering i ISO 31000, 2018, ger anpassade vägledningar för en kontinuerlig riskhantering i geotekniska byggnadsprojekt såsom VA-tunnlar.

Erfarenheter har visat att risker förknippade med geotekniska osäkerheter bäst hanteras genom att helt enkelt minska osäkerheterna. Den geotekniska utformningen har traditionellt sett i stor utsträckning baserats på observationsmetoder i kombination med förutbestämda åtgärder. (Spross, et al., 2018)

Observationsmetoder kan ske genom undersökningar i tidiga skeden och genom övervakning i konstruktionsbeteendet. Att använda observationsmetoder innebär att tunneldesignen/utformningen endast är preliminär vid uppstartsfasen. Därefter används observationer av geotekniska förhållanden kontinuerlig för att minska osäkerheterna. Om observationerna indikerar att den ursprungliga designen/utformningen inte är passande ändras den utifrån fördefinierade beredskapsåtgärder. Således är den slutgiltiga utformningen inte känd förrän projektet är klart. (Spross, et al., 2018)

8 Installation i VA-tunnlar

8.1 VVS

8.1.1 Tunnelventilation under byggske

Under produktion krävs enligt arbetsmiljöföreskrifter en god ventilation så att luftförorening i form av damm, avgaser och andra partiklar förs bort från arbetsplats där människor vistas. Detta ska planeras i god tid och utrymme för ventilationskanaler förordnas, tunnelhöjd kan styras av det. Tilluftssystemet behöver ta hänsyn till lufttemperaturen in i tunneln så att frostrisken minimeras. Avluften ska också filtreras så att inga föroreningar släpps ut till omgivningen.

I vanliga fall är entreprenören ansvarig för god arbetsmiljö och denne dimensionerar och installerar ventilationsutrustningarna.

8.1.2 Spillvattentunnelventilation under drifttid

I spillvattentunnlar kan det skapas luktproblem till omgivningen vid påslag, anslutningar och andra öppningar mot tunneln. Detta kan reduceras genom att skapa undertryck i tunneln med hjälp av mekanisk ventilation. Ett undertryck motsvarande 70 Pa är en riktlinje, det bör inte understiga 50 Pa (exempelvis på Käppalaverken är undertrycket 50 Pa (Nielsen, 2018)). För att kunna uppnå ett balanserat undertryck för ett fläktsystem (sträcka betjänt av ett fläktsystem), krävs ca 1 m fri höjd.

Det är huvudsakligen svavelvätekoncentrationen som är avgörande för luftreningsbehovet och luften som släpps ut via fläktar behöver renas om det finns bebyggelse relativt nära.

Val av reningsmetod beror på placering av avluftsplatsen, dess omgivning samt beräknad koncentration och luftflöde. En utredning inklusive LCC-analys behöver göras innan metod bestäms.

En kombination av olika metoder brukar vara en bra lösning. Olika aktörer förespråkar olika tekniker (Nielsen, 2018). UV-fotooxidation med kolfilter är en vanlig kombination. En tumregel är att lukt från kolfiltret sprids ca 100 meter och därav bör bebyggelse inom 100 meter från filtret undvikas. Det krävs dock en skorsten för denna typlösning. Lösningen nyttjas b.l.a. vid Käppalaverket (Nielsen, 2018).

Eventuella portar, dörrar, luckor och likande måste vara stängda under normala driftförhållanden om inget annat anges. Detta eftersom ventilationens styrutrustning ofta är tryckreglerande. Skulle en port, dörr eller lucka stå öppen leder det till ett felaktigt tryckfall, troligtvis lyckas inte ventilationen då upprätthålla undertryck och lukt sprids. (Nielsen, 2018)

Att installera extra redundanta fläktar för ventilation rekommenderas inte. Detta på grund av att vinsterna med redundans är små och att utrustningen relativt snabbt går sönder i de aggressiva förhållandena. (Nielsen, 2018)

Det finns olika kommersiella tekniker för luftrening som listas nedan:

Absorption (skrubber): En skrubber är en anordning som används för rening av luftföroreningar såsom partiklar, svaveldioxid och tungmetaller i rökgaserna från kraftverk och annan industri genom att fukta luften. Luften åker genom en absorptionskolonn i motströms riktning och kommer där i kontakt med vätskan. För att nå så hög effektivitet av absorptionen som möjligt bör luften ha en hög koncentration av de ämnen som ska avskiljas och vätskan bör ha en låg koncentration. I skrubbern tillsätts ofta alkalier eller syror vid syra/basreaktioner eller oxidationsmedel, t.ex. ozon, då organiska ämnen behöver behandlas. En kemisk skrubber är ofta välfungerande men begränsas i hur låg koncentration av lukt som kan uppnås (ÅF, 2015). Ett exempel på en skrubberanläggning visas i Figur 8-1.

Adsorption (aktivt kol): Organiskt material adsorberas lätt till aktivt kol. Ofta kan 99 % av lukten avlägsnas. Filtret kan placeras utomhus eller inuti (Miljø-Teknologi-AS, Hämtad: 2019-02-019). Adsorptionen uppnås med hjälp av så kallade van der Waals-bindningar, denna bindning är reversibel genom tillförandet av energi. Aktiverat kol är den vanligaste absorbenten och är relativt billig; den har en del begränsningar dock t.ex. en låg högsta desorptionstemperatur. Aktivt kol används väl vid behandling av luktande gas, kolet blir till slut mättat och måste då bytas ut. Utöver att kolet behöver bytas ut, är det även känsligt för relativ fuktighet och får vid hög fuktighet nedsatt funktion. Detta kan lösas genom att förvärma luften och på så sätt få ner den relativa fuktigheten (ÅF, 2015).

Gryaab använde först kolfilter till sin anläggning men luften från tunneln innehöll så pass mycket fukt att kol-filtrerna tappade sin funktion. Dessa kol-filter skrotades till slut helt och byttes ut mot bio-filter istället (Pettersson, et al., 2018).

Ett exempel på en anläggning med aktivt kol visas i Figur 8-2.



Figur 8-1
Skrubberanläggning från Gerhard Weber Kunststoff-Verarbeitung GmbH (Weber-Kunststofftechnik, u.d.).



Figur 8-2 Aktivt kol från Miljø-Teknologi.

UV-fotooxidation: I metoden förs luften som ska behandlas genom en kam-mare upplyst med UV-ljus så att både organiska och icke-organiska för-oreningar bryts ned. UV producerar ozon som har en kraftig oxidations-potential vilket innebär att den lätt reagerar med organiska ämnen och bryter ner dessa. De icke-organiska ämnena absorberas genom direktfoto-lys och bryts ned direkt av UV-strålningen. UV-fotooxidation kombineras gärna med ett aktivt kol-filter, där kolet agerar som katalysator och reduce-rar dessutom ozonet till syrgas (ÅF, 2015). Exempel på en anläggning med UV-fotooxidation visas i Figur 8-3.



Figur 8-3 UV-fotooxidation från Miljø-Teknologi.

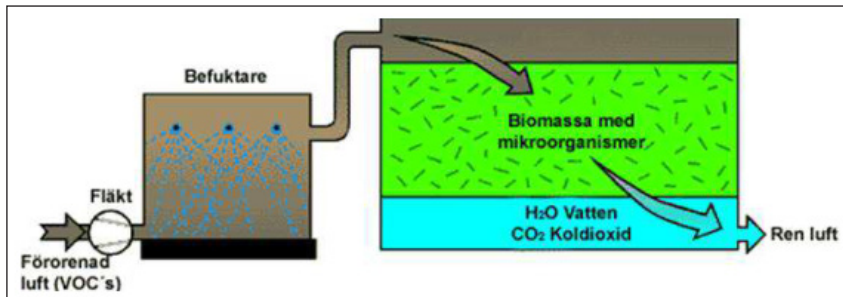
Biofilter: Luktreduktion i biologiska filter innebär att gasformiga, illaluk-tande ämnen i luften absorberas i filtret och vid tillräckligt lång kontakt-tid elimineras de av mikrofloran. Filtermassan består vanligen av jord, kompost, bark eller lecakulor (Berg, 2001). En principskiss av ett biofilter visas i Figur 8-4. Det kan även ta ett tag för processen att komma igång och uppnå full luktreduktion. Under denna period, som kan uppgå till 6 månader, så sprids lukt i större utsträckning (Pettersson, et al., 2018). Då dessa filter är biologiskt aktiva behöver de hålla en stabil fuktbalans, av den anledningen måste bädden återfuktas under varma somrar. Under 2018 upplevde Käppalaverket att biofilter torkade ut och att odör spreds där det inte fanns automatiska återfuktningssystem. Gryaab har dock inte haft samma problem, endast ytskiktet varit torrt även under somrarna. Det är även möjligt att dränka bädden.

Om luften är så pass fuktig att bädden täpps igen (ovanligt) är det möjligt att installera avrinning från (Nielsen, 2018).

Biofiltrens kompost behöver bytas ut med 7 till 10 års mellanrum (Niel-sen, 2018). Även vid byte av kompost kan det ta ett tag för processen att sätta igång och därför bör den inte bytas på sommaren eller våren, både på grund av den torrare luften samt på grund av att fler vistas i naturen och blir påverkade av eventuell lukt. Hösten är den bästa tidpunkten att

genomföra bytet. För att accelerera uppstarten av processen i filtret kan komposten bevattnas (Pettersson, et al., 2018).

Biofilter kan även vid full funktion tendera att lukta en del. En tumregel är att lukt från kompostfilter sprids ca 500 meter och därav bör inte bebyggelse finnas inom det avståndet från filtret. Detta kan dock vara svårt att uppnå då bebyggelse kryper allt närmare verken. (Pettersson, et al., 2018)



Figur 8-4 Principskiss över biofilter (ÅF, 2015).



Figur 8-5 Kompostfilter i Hjällbo, t.v. filter samt fläkthus, t.h. filtrets insida utan bark/biomassa (Gryaab, 2019)

Jonisering: I ett elektronrör tillförs joner genom en elektrisk urladdning. Vanligen bildar joniseringsutrustning en stor mängd ozon, vilket agerar som oxidationsmedel och därmed påverkar effekten. Det kan också leda till förhöjd ozonkoncentration i arbetsmiljön. (ÅF, 2015)

Oxidation (förbränning): Oxidation innebär att de organiska föroreningarna oxideras till koldioxid och vatten. Vid termisk oxidation krävs vanligtvis temperaturer mellan 750–1000 °C vilket innebär höga driftkostnader, varför spillvärmens försöks att utnyttjas i så stor mån som möjligt. (ÅF, 2015)

8.1.3 Ventilation vid varierande vattennivå i tunnlarna

Om tunnlarna används som utjämningsmagasin för att begränsa maximalt vattenflöde till reningsanläggningen så kommer vattennivån att variera, därmed även den fria arean för ventilationsluftströmmen längs tunnlarna.

Vid stigande vattennivå ökar tryckfallet för luftflödet och undertrycket ökar i riktning med lutningen längs tunnlarna. Från tidigare beräkning visade det resultatet att när vattennivån når upp till 1 m under tunneltakets högsta punkt ökar tryckfallet från 70 Pa till 270 Pa. Resultatet blir ett undertryck som varierar från 70 Pa till 270 Pa längs tunneln. Fläktarna behöver då öka sitt varvtal för att kompensera för det ökande tryckfallet. Anläggningen kommer att fungera, men när vattennivån stiger ytterligare kommer tryckfallet att öka snabbt och då kan funktionen inte garanteras.

8.1.4 Ventilation i servicetunnel och övriga tunnlar

Om arbete sker i tunnel måste ventilationen fungera för att uppnå godkänd luftkvalitet utan föroreningar som svavelväte, låg syrenivå och andra kemikalieutsläpp. I en tunnel med "dåliga värden" är det ibland möjligt att endast vädra ur innan arbete ska utföras för att nå en godkänd luftkvalitet. Detta bör dock säkerställas med luftmätningar.

All ventilation bör förses med nödstopp. Knapparna bör finnas tillgängliga vid varje brandcellsgräns för att kunna nyttjas vid eventuellt rök eller annan gasspridning. Det bör även finnas knappar i nära anslutning till respektive ventilationsdon. Ett ventilationssystem för rökgasevakueringskan vara nödvändigt.

8.1.5 Luftriktning

Gryaab har haft stora problem med luftriktningen i sina tunnlar. Vid ett tillfälle placerades frånluftsdon på ett sådant sätt att luften kunde ta sig dit via flera olika vägar och luftens riktning var då svår att förutspå. Detta gjorde att luften kunde gå bakvägen och klagomål angående lukt förekom. En tilluftsfläkt sattes in för att åtgärda problemet.

En stor framtida utmaning är att hantera luktproblem med ständigt växande städer som byggs närmare och närmare tillfartstunnlarna. Då Gryaab inte har någon mekanisk ventilation i sina tunnlar måste portarna ställas upp för att vädra med hjälp av självdrag. Under denna vädring är luftriktningen svår att styra då den kan bero på bland annat temperaturen i tunnlarna och utomhus samt på borrhål i tunneln där luft både kan strömma in och ut ur tunneln. Att portarna behöver ställas upp under så pass lång tid skapar en del luktproblem som kan komma att påverka den allt närmare bebyggelsen. Gryaab vet inte hur de ska lösa luktproblemen i framtiden och ser det som sin största utmaning framöver.

Tunneln kan bli punkterad med borrhål vilket gör luftriktningen väldigt svår att förutspå och kan ändra beteendet på luften från vad som var tänkt i projekteringsstadiet. Detta kan ibland lösas med både tilluft och frånluft, så det skapas övertryck från ett håll och undertryck från ett annat. (Pettersson, et al., 2018)

8.2 Övervakning och instrumentation

8.2.1 Inbrott och passersystem

Larm och/eller passersystem för tunnlar skalskydd rekommenderas för att förhindra obehöriga att ta sig in i tunneln. Skulle luckor och dörrar utrustas med en kortläsare och/eller larmmagneter ger det möjligheten att identifiera intrång. Rörelsedetektorer är inte att föredra då djur, ofta råttor, kan orsaka falsklarm.

Passersystem behöver, av ekonomiska och praktiska skäl, övervägas för respektive anläggning. Med systemet fås fullständig kontroll över vem som rör sig var i tunneln. Det går även att sektionera upp tunneln i olika ytor och därefter programmera det så att viss personal endast har tillgång till vissa områden. Ett passagesystem lyfter anläggningens säkerhetsnivå men det är inte alltid den optimala lösningen. Det är ofördelaktigt att installera ett passagesystem i en befintlig anläggning då dörrar och luckor behöver bytas ut eller byggas om för att uppfylla säkerhetsklassen som systemet är byggt för.

Larmmagneter är en enklare lösning, jämfört med passersystem, för detektering av forcerat skalskydd. Lösningen är därför mer ekonomiskt fördelaktig, men den kan inte kontrollera att behörig person passerar utan larmar om personer rör sig genom skalskyddet oavsett om de är behöriga eller ej. Denna lösning kan dock med relativ enkelhet appliceras på redan befintliga tunnlar.

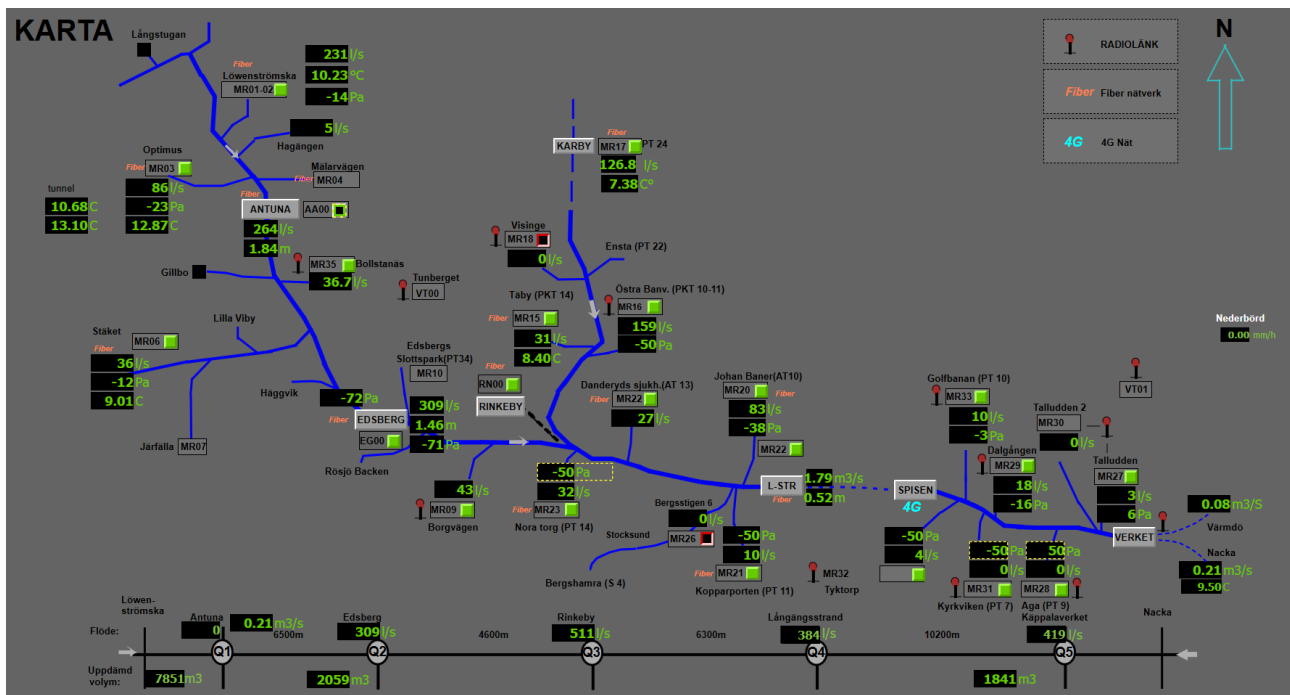
Historiskt finns det inga större bekymmer med oönskat intrång i VA-tunnlar, men det förekommer. Barn måste hållas utanför tunneln med skalskydd (Nielsen, 2018). Gryaab har med jämna mellanrum haft inbrott, speciellt i de icke-våta tunnlar, trots att de har larm. Därför ska kameror installeras för att övervaka om någon går in i tunneln och, framförallt, så att de i så fall kommer ut. Gryaab är noggrannare med larm och inbrott i färsk- och spillvattentunnlar än dagvattentunnlar (Pettersson, et al., 2018).

I övrigt ser gärna driften att inga system installeras i tunneln eftersom det ger fler moment som kontinuerligt måste ses över. Om system installeras kan de dessutom inge en falsk trygghet, om nu dessa skulle sluta fungera.

8.2.2. Övergripande system

Ett centralsystem för kommunikation och bevakning av tunneln är att rekommendera. Ett fungerande kommunikationssystem är krav för att en VA-tunnel ska vara säker att vistas i. För att kunna ge en fungerande och säker kommunikation är fiberkablar i tunnel en bra lösning. Radiolänkar bör ersättas med 4G eller fiber, olika små system bör undvikas. Det är viktigt att välja rätt kvalitet för komponenterna med hänsyn till miljöfaktorer i tunnlar.

Käppalaförbundet har fiber och i vissa fall förekommer radiokommunikation men det håller på att fasas ut (Nielsen, 2018). Övervakningskarta över Käppalaverkets tunnelsystem med dess olika kommunikationsvägar (radiolänk, fiber och 4G) visas i Figur 8-6.



Figur 8-6 Karta över Käppalaförbundets tunnelsystem med övervakning av flöden, tryck, temperatur mm via radiolänk, fibrer eller 4G (Käppalaförbundet, 2019).

8.2.3 Styrssystem för ventilation i spillvattentunnlar

Ett tryckstyrat ventilationssystem med dygnet-runt drift är en vanlig lösning för ventilation i spillvattentunnlar. Vid bräddning och magasinering kommer vattennivån att stiga i vissa delar av tunneln vilket gör att tryckfallet för ventilationssystemet ökar. Vid viss trycknivå bör ventilationsfläktar stängas av, det kan styras med vattennivågivare eller tryckgivare. Återställning sker manuellt alternativet efter en tid.

Vid Käppalaverket mäts trycket i tunneln, men fläktarna styrs inte av trycket utan manuellt. Detta fungerar bra och undertrycket bibehålls (Nielsen, 2018). En bild på av styrssystem för ventilation visas i Figur 8-7.

Vid kris, t.ex. brand, översvämning etc. ska fläktar stängas av. Service-tunnel och övriga teknikutrymmen bl.a. elrum m.m. ska brandövervakas. Brandspjäll ska stängas vid brand.

8.2.4 Styrsignaler

Styrsignal ska vara i milliamperere (mA) och inte volt (V) för att säkerställa att rätt signal når fram.

I Käppalaverket nyttjas Modbus som protokoll för styrenheter.

8.2.5 Mätning

Flödesmätare bör installeras vid varje gren så att tunnelsystemets status kan analyseras samt framtida utbyggnation underlättas. Detta är något som Käppalaverket har gjort för att kontrollera flödesvolym till tunneln från olika kommuner, och därmed avgiften för respektive kommun (Nielsen, 2018). Även fasta mätpunkter för vattenprov bör installeras, det möjliggör upptäckt av ev. utsläppskällor i god tid. I Käppala håller ett system



Figur 8-7 Styrsystem för ventilation (Käppalaförbundet, 2019).

med fasta mätare på att installeras (2019) och hos Gryaab finns ett system redan installerat. Gryaabs mätsystem har kommit till stor nytta då de gjort att föroreningar upptäckts och kunnat stoppas. Källan till föroreningarna hade varit svår eller helt omöjlig att hitta utan mätstationerna (Pettersson, et al., 2018).

För att mäta undertrycket i tunneln bör tryckgivare placeras på insidan av portar eller luckor som mynnar ut mot atmosfärstrycket så att det inte uppstår övertryck som kan ge lokala luktproblem. (Nielsen, 2018)

Tryckgivarnas mätpunkter bör placeras skyddat så att de inte kan påverkas av vind. När det blåser kan det uppmätta trycket bli felaktigt högt och tryckstyrda fläktar varvas ner för att minska tryckskillnaden, vilket medför risk att undertrycket i tunneln minskar.

8.3 Materialval

8.3.1 Korrosionsbeständighet

I VA-tunnlar är miljön, både i vatten och luft, mycket sur vilket ger upphov till starka korrosiva förhållanden; därför ska produkter som har korrosionsklassning väljas. Det är få komponenter som fungerar i denna miljö. Exempel på material som angripits av korrosion visas i Figur 8-8.

Standardmetoder för provningar och bestämning av korrosionsbeständighet är t.ex.:

- Saltdimsprovningar (både kontinuerliga och intermittenta saltdims-exponeringar)
- Fuktprovningar
- Gaskorrosionstest i cirkulerande luft med föroreningar (SO_2 , NO_x , H_2S , NH_3 , Cl_2)
- Naturliga och accelererade utomhusprovningar
- Neddoppningstester
- Tester för bestämning av hårdighet mot selektiv korrosion, spänningskorrosion, etc.

(SP, Hämtad: 2019-02-05)



Figur 8-8 Exempel på korrosionsangrepp i tunnel, (Michael, 2019), (Händevik, 2016)

Fläktar för ventilation ska vara rostfria. Erfarenhetsmässigt har korrosion inte varit några större problem när robusta fläktar installeras (Nielsen, 2018). Inne i elskåp, som är rostfria, används elvärme för att hålla fuktigheten nere. Kanaler bör också utföras i rostfria material. Gryaab använder rostfria material så långt det går i alla komponenter. Gamla installationer är ofta icke-rostfria och har alla angripits. De instrument som används, t.ex. flödesmätare CO₂-mätare och temperaturgivare, sitter i en skyddad, uppvärmd glasfiberkur med endast givare ute i tunneln. Detta leder till att instrumenten klarar sig relativt bra. Gryaab har försökt att placera mätinstrument oskyddat men livslängden har då varit så kort som två veckor.

Två olika material bör inte blandas då de riskerar bli galvaniska, exempelvis skulle ett rostfritt material snabbt lösa upp ett icke-rostfritt. Gryaab använder skärmade standardkablar med bra resultat. Vissa plaster är känsliga för svavelväte, men akrylplast har varit motståndskraftigt. Svavelväte kan också angripa och bilda en hinna över elektronik. (Pettersson, et al., 2018)

Utrustning som kommer i kontakt med vatten rekommenderas att vara syrafast (Nielsen, 2018).

8.3.2 Betong

Betong fräts ibland sönder av svavelväte som uppstår i tunnarna, främst gäller detta ytor som inte alltid är vattentäckta (exempelvis tak och ytor som kan torrläggas och där långa tryckledningar ansluts). En ny typ av ytbeläggning som kallas Polyurea har testats för att komma ifrån dessa sönderfrätningar. Beläggning med Polyurea är en relativt kostsam metod, men i LCA-perspektiv är det troligen gynnsamt.

För nya konstruktioner finns det betongrecept för svavelväteresistent betong. Svavelväte är främst ett problem i avloppstunnlar, dricks- och dagvattentunnlar har inte samma problematik.

8.3.3 Typlösningar för hängande rör i tunnlar

I tunnlar som blir vattenfyllda ska eventuella rör (i rostfria och syrafasta material) hängas längs väggarna för att underlätta drift- och underhållsarbete.

Stora betong-/stålrör står ofta på stativ i torra tunnlar. Stativen får ofta korrosionsskador varför rostfritt syrafast material bör användas även för stativ om möjligt (SOP, Gryaab).

8.3.4 IP-klassning

För elektrisk eller elektronisk utrustning i krävande miljöer, där damm, korrosiva ämnen, fukt och vatten kan tränga in, är en god kapsling av yttersta vikt för att minska riskerna för elchock, brand och explosion.

Minimikrav ges bland annat av starkströms-föreskrifterna samt i produktstandards för elsäkerhet och explosionsskydd. Kapslingskrav ställs också på produkter med höga krav på tillförlitlighet och där inträngande damm kan medföra störningar.

Grad av skydd mot beröring och inträngande föremål är "IP XY" där X och Y byts ut mot siffror. X representerar skydd mot damm samt tryck och Y mot vätskeintrång. X skolas mellan 0, som är oskyddat, och 6, som är dammskyddat och tål 20 mbar. Y skolas mellan 0, som är oskyddat, och 9 som tål högttryckstvätt (SP.se, Hämtad: 2019-02-19). Gryaab använder helst IP-klass 67, men som lägst 65 för kablage (Pettersson, et al., 2018).

8.4 Belysning

Erfarenhet visar att det är väldigt svårt att hitta belysning som klarar av det klimat och de förutsättningar som råder i en VA-tunnel. Gryaab har provat att använda LED-belysning men utan framgång och är tveksamma till om det överhuvudtaget går att få det att fungera. (Pettersson, et al., 2018)

9 Arbetsmiljö, drift och underhåll

VA-tunnlar utgör en unik utmaning när det kommer till arbetsmiljö och hur underhållsarbete ska och kan utföras. När de flesta av dagens tunnlar byggdes var inte arbetsmiljön under driftskedet en parameter som det togs hänsyn till, vilket har inneburit att det förebyggande underhållsarbetet har varit bristande. Konsekvenserna av detta är den verklighet som tunnelägare och driftpersonal numera måste förhålla sig till vid planering, genomförande och kostnadskalkyler av underhållsarbete. De främsta anledningarna till att underhållsarbete inte utförts är arbetsmiljömässiga risker, så som höga flöden eller dåliga ventilationsmöjligheter.

9.1 Arbetsmiljö

Arbetsmiljön i tunnlar varierar stort och beror delvis på om det är en våt eller en torr tunnel. I torra tunnlar finns möjlighet att installera sådant som förbättrar arbetsmiljön, t.ex. ljus, längdmarkeringar, riktningspilar till närmaste stigschakt eller tillfartstunnel och kommunikationsmöjligheter. I våta tunnlar är sådana installationer komplicerade och ej alltid varaktiga på grund av den ogästvänliga miljön.

Vid arbete i tunnlar finns hälsomässiga risker för driftpersonal. Ett av de större problemen för en säker arbetsmiljö i tunnlar är radonrisken och effekter av dålig ventilation. Tunnlar, speciellt i Göteborgsområdet, har ofta höga halter av radon vilket begränsar vistelsetiden i tunneln och därför krävs att det finns väl fungerande ventilation. Även med ventilation så kan den ackumulativa mängden radon som driftpersonal utsätts för vara hälsoskadlig på årsbasis. Radonhalten måste därför tas i beaktning vid planering av underhållsarbete. Flera tunnlar med höga radonhalter kan t.ex. inte underhållas under ett och samma år, utan arbetet ska spridas ut under ett flerårsperspektiv.

Utöver radon är även svavelväten och låga syrehalter arbetsmiljömässiga problem som måste tas hänsyn till. Dessutom är infektionsrisken stor, speciellt i våta tunnlar. Andra risker att beakta är risk för drunkning, risk för nedfallande sten och risk för inandning av stendamm.

Spillvattentunnlar klassas i Stockholm som ”röd zon”. En röd zon är en SVOA-term som innebär hög säkerhet, krav på skyddsutrustning och förbud mot ensamarbete. Ingen människa får vistas där utan skyddsutrustning.

9.1.1 Nödutrymningsvägar

För att skapa en god arbetsmiljö i tunnlar bör avstånden mellan utrymningsmöjligheter inte vara för stora. Många äldre tunnlar är både trånga och har långt till närmsta utrymningsmöjlighet. I värsta fall är den enda möjliga utrymningsvägen samma plats som där arbetet startades vid nedgång till tunneln.

Erfarenheten från de tunnlar som finns idag är att det är för långa avstånd mellan nödutrymnings-möjligheter. Det är dock inte bara avsaknaden av nära utrymningsvägar i tunneln som utgör ett hinder för drift- och underhållsarbete, även arbetstunnlar ned till tunneln kan vara svåråtkomliga och trånga. Det leder bland annat till att utrustning kan vara svårt att få ner i tunneln, och i vissa fall går det inte alls. De svåra och trånga arbetstunnlarna utgör även problem med att bortforsla skrotat berg. Alla dessa hinder och svårigheter kräver kreativa, och i många fall kostsamma, lösningar för att kunna genomföra drift- och underhållsarbete på ett säkert sätt för den personal som utför arbetet.

Vid skrivandet av denna rapport finns det inte några gällande riktlinjer eller lagar gällande nödutrymningsvägar för VA-tunnlar. Under framtagandet av systemhandling för tunneln ÖVA (Österåker Vaxholm Anslutning) användes maximalt två kilometer mellan nödutrymningsvägar. I VEAS-tunneln i Oslo däremot finns det utrymningspunkter var 500–1 000 m på grund av svårigheter att gå i slam (Bakken, 2018).

9.1.2 Arbete i tunnel

Utifrån den arbetsmiljö som råder i tunneln måste säkerhetsutrustning anpassas efter behov. Gasvarnare och oxybox ska dock alltid användas. Att ha i åtanke är att det är anläggningsägaren som är skyldig att informera entreprenörer vilka arbetsmiljöaspekter som råder i tunneln. Därav måste det finnas färdiga regler för hur underhållsarbetet får bedrivas i tunneln innan överlämnandet sker till anläggningsägare vid t.ex. en nybyggd tunnel.

Att inte förglömma är den arbetsmiljö som finns i tunnelns pumpstationer. När en pumpstation har stått länge kan det lätt bildas gas, därför måste säkerhetslarm och gasvarnare alltid medtas och användas vid arbete i stationen. Exempel på säkerhetsutrustning syns i bilderna i Figur 9-1.



Figur 9-1 Exempel på säkerhetsutrustning som används vid arbete i tunnlar, (Kartverkstan, 2018) och (Mats Wählin AB, 2009)

Inför vistelse i tunnel ska följande förberedelser alltid genomföras enligt Stockholm Vatten och Avfalls checklista för vistelse i tunnel (se även bilaga 3):

- Skriftligt arbetstillstånd med ifylld checklista ska i god tid returneras till ansvarig chef.
- Vistelse i tunnel skall i god tid säkerhetsplaneras.
- Kontrollera att bergtunneln är besiktad och eventuellt skrotad/förstärkt. Vid tillträde till ej skrotad tunnel, skall bergkunnig tillkallas.
- Tunneln ska luftas minst ett dygn före tillträde. Lutning dras genom och förbi den sträcka som skall beträdas.
- Väderprognos avlyssnas före tillträde p.g.a. risk för regn och stigande vattennivå.
- Vattendjup större än 50 cm skall undvikas.
- Alternativa utrymningsvägar skall kontrolleras och öppnas. Det kan i vissa fall vara nödvändigt att vidta nödvändiga trafiksäkerhetsåtgärder.
- Aktuella kartor över tunnelsystem skall inhämtas från regionen, dessa studeras och medförs vid arbete.
- Regionen skall alltid kontaktas i god tid före tunnelbesök. Dessutom skall jourhavande arbetsledning informeras vid upp och nedstigning i tunnlar under icke ordinarie arbetstid.
- Vid behov av manövrering av pumpar får detta endast utföras av avdelad personal.

Arbetstagare som i sitt arbete utsätts för avloppsvatten, avloppsslam eller latrin skall ha ett fullgott skydd mot polio, stelkramp och hepatit A och B. Vaccination mot övriga sjukdomar skall ges vid behov.

Vid nedstigning och vistelse i tunnel ska följande rutiner följas:

- Utför luftprov vid nedstigning och fortlöpande i erforderlig omfattning med kontrollinstrument (O_2 , H_2S , CO och explosiva gaser).
- Varje arbetstagare skall vara utrustad med personlig skyddsutrustning.
- Medtagen el-utrustning skall vara försedd med jordfelsbrytare och spolsäker.
- Minst en vakt skall finnas vid varje nedstigningsöppning.
- Vakt skall ha kunskap om användning av räddningsutrustning.
- Anmälan skall ske till tunnelledaren vid ned- och uppstigning.

I Käppalaförbundets rutin för arbete i tunnel (se även bilaga 4) ligger ansvaret hos upphandlad dyk- och säkerhetsentreprenör att:

- Genomföra riskbedömning inför varje arbete tillsammans med de som ska delta i arbetet.
- Bistå alla som deltar i arbetet i tunnel med tillräcklig skyddsutrustning.
- Genomföra provtagning och analys av sediment när det påträffas.
- Lämplig utrustning för att utföra arbetet finns tillgänglig, är kontrollerad och, om tillämpligt, kalibrerad.
- Leda arbetet i tunneln så att det kan utföras med högsta rimliga säkerhetsnivå.

Arbete i tunnel får aldrig utföras ensam. Arbete i tunnel ska alltid utföras tillsammans med personal från upphandlad dyk- och säkerhetsentreprenör som säkerställer att arbetet utförs på ett säkert sätt.

För Göteborgsregionen finns tunnelföreskrifter framtagna för arbete i tunnlar och kulvertar (se även bilaga 5). Vid arbete i tunnlar gäller följande:

- Det är förbjudet att vistas ensam i tunnel. Arbetskamrat eller annan behörig person ska finnas inom hör- och synbart avstånd.
- Vid vistelse i tunnel föreligger skyldighet att förvissa sig om var närmaste telefon finns samt vilka utgångar och stigorter som är tillgängliga för in- och utpassering.
- Skyddshjälm och skor med stålhätta är obligatoriskt och ska alltid användas. Respektive huvudman kan ha ytterligare krav.
- I fordon och maskiner som nyttjas under jord ska det finnas tillräckligt många flyktfilter för det antal personer som kan transporteras med dem.
- Alla fordon, som används för transport inne i tunnelsystemen, ska vara utrustade med två stycken pulversläckare.
- Tunnelbesök får endast ske vid normala eller låga avrinnings- och nivåförhållanden. Avstämning om väderförhållande ska alltid ske med respektive tunnelägare.
- Om möjligt ska ventilation ordas genom att öppna portar i varje ände av den tunneldel där arbete utförs.
- Minst två gasvarnare ska alltid medföras som ska varna för förekommande gaser. Gasvarnaren ska därutöver kontinuerligt mäta förekomsten av syre, svavelväte och explosiva ämnen.
- Skyddsmask med filter mot minst svavelväte och lösningsmedel ska medföras, samt syrgas som räcker i minst 20 minuter.

9.2 Utbildning

De flesta anläggningsägarna kräver att alla som arbetar eller vistas i tunnlar måste ha gått en utbildning om arbete i slutna utrymmen samt alltid ha tillgång till rätt utrustning. Utöver utbildningen ska alla vara säkerhetsklassade om tunneln är ett skyddsobjekt. SVOA har även tagit fram en så kallad ”röd zon”-utbildning för arbete i tunnlar.

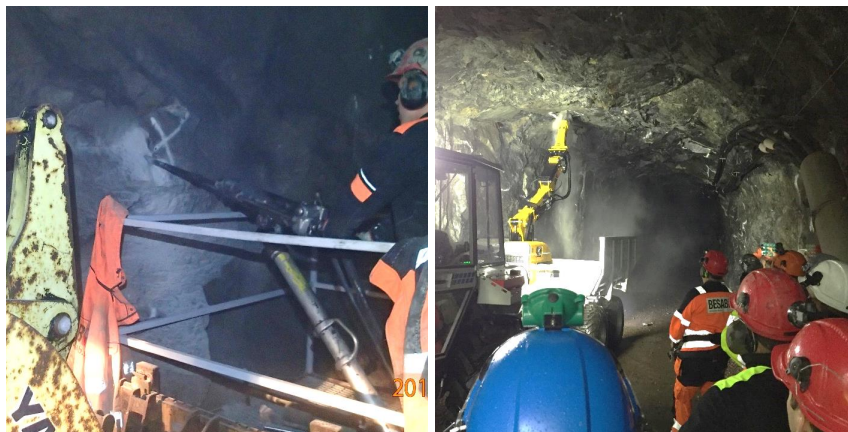
9.3 Skrotning

Innan en tunnel kan bomknackas/skrotas ska en besiktning av bergsakunnig vara utförd. Vanligtvis finns det en besiktningsplan för berg. För Gryaabs tunnlar skiljer sig intervallerna mellan besiktningsstillfällena mellan 2–10 år beroende bland annat på ålder och kvalitet på berget. För att kunna genomföra en besiktning krävs det i de flesta fall att en lift används för att kunna undersöka tunneltaket.

Efter genomförd besiktning bestäms hur och var skrotningen ska utföras. I vissa fall kan skrotningen ske utan skyddsordning, och löst berg kan rasas

ned. Bilder från skrotning i Göteborg utförd dels manuellt med borrhammare och dels helt maskinellt visas i Figur 9-2.

Erfarenheten är att i många befintliga tunnlar är det svårt att få in en lift varför skrotning kan behöva göras med långa spett eller från båt eller annat fordon.



Figur 9-2 Skrotning med borrhammare och maskin (Gryaab, 2019).

9.4 Användning av tunnlar för utjämning

Vid byggnation av tunnlar ges VA-systemet större marginaler i form av flödesutjämning och fördröjning i jämförelser med ledningar. Utifrån beräkningar på nivåer i tunnelsystemet kan bedömningen göras för om och när en tunnel kan användas som fördröjningsmagasin. Fördröjning och flödesutjämning underlättar speciellt styrningen för reningsverk som ligger nära sin maximala kapacitet så att bl.a. bräddning lättare kan undvikas vid större flöden. Att ha i åtanke är dock att när/om en tunnel används för fördröjning så påverkas möjligheten att genomföra underhållsarbete och besiktningar. Det är lämpligt att placera utjämningsanläggningarna så att de går att rensa vid behov t.ex. genom tillräcklig storlek på stigschakt/tunnelnedfarter.

På grund av den utjämnande funktion som tunnlar har, underlättar det för driften om tunneln är stor. En större tunnel ger mer utjämningskapacitet och säkrare förhållande för vistelser i tunneln då vattennivån inte är lika hög. Stora tunnlar kan dock försvåra för besiktning och underhåll om det krävs större maskinell utrustning för åtkomst.

Tunnlarna bör kunna dämmas då och då för att möjliggöra drift och underhåll, dämningmöjlighet vid en eventuell pumpstation nedströms utjämningen gör exempelvis att sediment eller liknande tas bort.

En tunnel för utjämning bör även utformas så att det finns möjlighet till magasinering (hela tunneln ska kunna gå full). Denna funktion utgör dock störning för ventilation/undertryck i tunnlar, se kapitel 8 om ventilation.

Tunneln blir ofta väldigt smutsig vid utjämning vilket påverkar efterföljande driftarbete. Biologiskt material och smittoämnen fastnar på väggarna vilket gör att den direkta arbetsmiljön påverkas negativt samt att smittorisken ökar.

9.5 Rengöring

I de tunnlar där självrens inte är tillräckligt eller obefintlig, spolas tunneln eller rensas med mekanisk utrustning. Detta görs för att tunneln inte ska förlora sin funktion och för att blockeringar inte ska uppstå. Allteftersom en tunnel är i drift identifieras sträckor som är extra känsliga för igensättning eller sedimentation. Av erfarenhet behöver dagvattentunnlar som mynnar i sjö och hav täta intervaller för rengöring. Andra vanliga segment som behöver rengöras ofta är sträckor med svackor.

Ansamlingar undviks i större utsträckning i tunnlar som har en votad (V-formad) botten, se kapitel 5, och med ett varierat flöde och nivå. På så sätt undviks det att rens och sediment fastnar i tunneln, istället rör det sig suggestivt framåt. Själva rengöringen av tunneln kan behöva göras så ofta som två gånger i månaden. Vilken typ av rengöring som behövs bestäms utifrån genomförda inspektioner, men vanligtvis sker reningen genom en medveten nivånedtagning. Gryaab rengör sina tunnlar betydligt mer sällan än 2 gånger per månad, installationer kan spolas max 1 gång/år och mättrännor 2 gånger/år. Närmast reningsverket sker kontrollerad dämning som släpps, s.k. rensdragning, varje vecka, men det rengör endast en liten del av tunnelsystemet i stort (Pettersson, et al., 2018).

För våta tunnlar med inhängda rör bör rören hängas i konsol för att underlätta rengöring. Placering av rören bör även göras med åtanke för åtkomst vid framtida byten och reparationer. Dock bidrar de upphängda rören till att arbetsmiljön i tunneln blir sämre då det lätt fastnar biomaterial och annat på konsolerna.

9.6 En full tunnel ur driftperspektiv

Ur ett driftperspektiv är en tunnel full långt innan den är full ur ett kapacitetsperspektiv. Det beror på att driftpersonal i flesta fall förflyttar sig genom gång eller med ett amfibiefordon eller båt, exempel på arbetsförhållanden visas i Figur 9-3. Vid en viss vattennivå uppstår det därav en fara för driftpersonal att vistas i tunneln, tunneln är då full ur ett driftperspektiv.

En full tunnel ur ett driftperspektiv kan även innebära att tunnelns flödesutjämningsfunktion reduceras så att den inte blir bättre än för en ledning.

Enligt det så kallade Rescdam-projektet (Karvonen, et al., 2000) är det kombinationen av vattennivå, hastighet samt tunnelgolvets yta (ojämnheter, friktion etc.) som avgör om och när tunneln kan beträdas. En tumregel som Stockholm Vatten och Avfall använder sig av är nivåer får uppgå till max 80–90 cm vid normala förhållanden. Vid högre nivåer blir det svårt att ta med sig utrustning och olycksrisken ökar. Vid sämre förhållanden (höga hastigheter och/eller ojämna tunnelgolv) är högsta tillåten nivå lägre, se Tabell 9-1.

För att minimera risken för att höga nivåer ska uppstå under ett pågående driftarbete utförs ofta drift- och underhållsarbeten under den årstid då flödena generellt är lägre, vilket kan variera mellan olika delar av landet. För norra/mellersta Sverige är flödena i regel lägst under snösäsong (vinter-

halvåret), medan vegetationsperioden (sommарhalvåret) kan vara att föredra i de södra delarna av landet då större andel av nederbörden absorberas av växter och jord.



Figur 9-3 Arbetsförhållande i tunnel för driftpersonal (Kartverkstan AB, u.d.)

Tabell 9-1 Beräknat vattendjup och hastighet för en exempeltunnel.
Tolkning för när det är ok att drifta tunneln för en person på 82 kg och 180 cm (Händevik, 2017).

Vattendjup [m]	Vattendjup · hastighet [m ² /s]	Tolkning för en person 82 kg och 180 cm lång
0	0,00	OK, under dåliga förhållanden
0,1	0,00	
0,2	0,06	
0,3	0,13	
0,4	0,20	
0,5	0,29	
0,6	0,38	OK, under normala förhållanden
0,7	0,48	
0,8	0,58	
0,9	0,70	
1,0	0,82	OK, under bra förutsättningar
1,1	0,95	
1,2	1,09	
1,3	1,24	Risk för fall/drunkning
1,4	1,39	
1,5	1,56	
1,6	1,73	
1,7	1,90	
1,8	2,09	
1,9	2,28	
2,0	2,48	

9.7 Uppföljning och kontrollprogram

För varje tunnel ska en plan för uppföljning och ett kontrollprogram tas fram. Kontrollprogrammet ska innehålla kontroll av t.ex. berg och sediment i tunneln. Övriga viktiga aspekter som bör tas med är kontroll av grundvattenpåverkan, riskobjekt som är grundvattenberoende och/eller sättningskänsligt samt, vid behov, sättningsövervakning.

Inspektioner av tunnlar bör göras regelbundet och innefatta att hela tunneln filmas av driftpersonal som antingen går eller kör hela tunnellängden.

Kontinuerliga inspektioner och förebyggande underhåll är av stor vikt för att en tunnels funktion ska kunna säkerställas. Tidsintervall mellan inspektioner varierar beroende på t.ex. ålder på tunnel, bergskvalitet och pågående exploatering i närområdet. Käppalaförbundet har som rutin att inspektera vart tredje år. Gryaab har intervaller som varierar mellan två till tio år. Se bilaga 6 för exempel på hur Gryaab arbetar med inspektioner.

Utifrån genomförda inspektioner ska en underhållsplan upprättas för varje tunnel. I underhållsplanen specificeras vilket underhåll som måste göras och när. Om underhållsplanen följs så undviks det att brister i underhållsarbetet leder till ödesstigna konsekvenser. Ett exempel där bristande förebyggande underhåll ledde till stora konsekvenser är totalstopp i en anslutningstunnel i Solna på grund av en fettkaka (Nielsen, 2019).

10 LCC, Livscykelkostnadsanalys

10.1 Principer och metodik

LCC står för Life Cycle Cost, på svenska livscykelkostnad, och är en metod som syftar till att överskådligt bedöma totalkostnaden för en produkt eller anläggning under hela dess livstid. Beräkning av livscykelkostnader används generellt för att välja mellan olika investeringsalternativ. En LCC-analys byggs upp av indata i form av investeringskostnader, dvs. samtliga kostnader innan en produkt eller anläggning sätts i bruk, tillsammans med en bedömning av framtida ekonomiska kostnader. Det är viktigt att poängtera att ett LCC-tal är ett jämförelsetal och inget annat. Det framräknade LCC-talet är av relevans först då dess indata kan beskrivas med så korrekta kostnader som möjligt. (SBUF, 2015)

Det är vanligt att LCC blandas ihop med LCA (Life Cycle Assessment). Den grundläggande skillnaden är att LCC avser en ekonomisk beräkning medan LCA avser beräkning av miljömässig påverkan under anläggningens livstid, exempelvis genom beräkning av samlade koldioxidutsläpp. Även om en LCC traditionellt sett inte tar hänsyn till miljömässiga aspekter kan det dock läggas till som komponent i vissa LCC-kalkyler (Upphandlingsmyndigheten, 2017). I aktuell rapport behandlas inte LCA närmre.

Det finns olika sätt att konstruera en LCC-modell men alla bygger på en ekonomisk modell i grunden. Hur själva modellen är utformad i form av kostnadsposter skiljer sig åt beroende på vem som skapat den och vad den ska tillämpas på. LCC-kalkyler baseras i regel på den så kallade nuvärdesmetoden. Nuvärdesmetoden används för att räkna om förväntade framtida utgifter till motsvarande värde idag, det så kallade nuvärdet. Den totala livscykelkostnaden kommer sedan att motsvara summan av nuvärdet för alla kostnader. Vid beräkning av nuvärde används en kalkylränta, även kallad diskonteringsränta, eftersom en krona idag kommer att ha ett annat värde imorgon. (Eriksson & Edelman, 2014)

I denna rapport utvecklas fortsättningsvis vad en LCC analys avseende val av VA-tunnlar bör innehålla.

10.2 Kostnadskomponenter

10.2.1 Förberedande aktiviteter

Innan val av tunnelalternativ genomförs, ska en förstudie där alternativ såsom traditionell VA-anläggning (självfallsledning/tryckledning) jämförs mot att anlägga en VA-tunnel. Jämförelsen bör ha utförts i form av en LCC-analys där alla komponenter såsom inledande studier, investeringskostnader, drift, underhåll, livslängd mm belyses. Inledande förstudie tar i regel några år i anspråk. Kostnaden för denna studie är i allmänhet liten i ett livscykelperspektiv. Projekteringsfasen kan vara relativt omfattande och pågå under flera år. Kostnaden för projekteringsfasen ligger dock vanligtvis under 10 % av den totala investeringen i tunneln (Lindblom, 2009).

Exempel på kostnadsposter gällande förberedande aktiviteter är:

- Framtagande av handlingar som rör tillståndprocessen såsom ansökan, miljökonsekvensbeskrivning (MKB) och teknisk beskrivning. Tillståndprocessen beskrivs detaljerat i kapitel 3.
- Förberedande utredningar såsom lokaliseringsutredningar, geotekniska och hydrogeologiska utredningar, förprojektering mm.
- Projekteringsfas
- Framtagande av förfrågningsmaterial

Det är av stor ekonomisk betydelse att bästa tillgängliga bergpartier för ändamålet utnyttjas. Oförutsedda förstärknings- och tätningsåtgärder kan bli mycket kostsamma i byggskedet varför kravet gällande goda förkunskaper om berget bör vara av hög prioritet.

10.3 Produktionskostnader

Kostnader i byggfasen är mångdubbelt större än projekteringskostnaden (Lindblom, 2009). Vid tunneldrivning finns delvis kända kostnader, såsom priset för en kubikmeter losshållet berg. Kostnader i produktionsskedet som är svårare att uppskatta i förväg är exempelvis mängden förstärkning och förinjektering. En annan produktionskostnad är hantering av eventuella föroreningar som påträffas under tunneldrivningen.

Idag kostar det mer att bygga en tunnel med mindre dimension än en större på grund av tunneldrivningsaggregatens storlek. Omkring 20–25 m² bedöms vara det mest kostnadseffektiva, då finns plats för maskiner och utlastning på ett rationellt sätt.

10.3.1 Operativa kostnader

Dagens tunnlar planeras ha en livslängd på över 100 år vilket medför underhållskostnader för bibehållen funktion. Att planera underhållet i ett tidigt skede, helst i samband med projekteringen, kan leda till en långsiktig och god driftsekonomi.

Kostnadsposter under drifttiden är exempelvis:

- Besiktning av tillskottsvatten/inträngande grundvatten
- Besiktning av sprickor/spänningar
- Bomknackning och skrotning
- Rengöring
- Mätningar och övervakning
- Ventilation

Om det förekommer någon passage med pumpning längs VA-tunneln tillkommer energikostnader samt underhållskostnader för pumpsystemet under hela anläggningens drifttid.

Det mest centrala för LCC-talet gällande underhåll i bergtunnlar är kostnaden för en enskild underhållsinsats samt hur ofta denna insats planeras ske. I trafiktunnlar sker besiktningar med täta intervall, omkring vartannat

år. Gällande VA-tunnlar sker besiktning generellt mer sällan, vartannat till vart tionde år. (Lindblom, 2012)

För att en bergtunnel ska vara kostnadseffektiv under hela drifttiden måste förstärkningen vara rimligt beständig utifrån ändamålet för den specifika tunneln. Dimensionering och utformning är viktiga parametrar för att underlätta för inspektion och underhåll, och därmed även ur ett kostnads-perspektiv.

För moderna bergtunnlar har kvaliteten på förstärkningar förbättrats som resultat av en förbättrad materialkvalitet vilket i sin tur minskar kostnader för kompletterande tätning och andra åtgärder i driftskedet (Lindblom, 2012).

10.3.2 Stilleståndskostnader

Stilleståndskostnader kan uppkomma i samband med underhålls- eller reparationsarbeten i tunneln. En avstängning kan innebära merkostnader till följd av bortledning (pumpning), magasinering eller bräddning. Stilleståndskostnader kan även uppkomma till följd av behov av omprojektering i produktionsfasen.

Ett exempel är Bolmentunneln (råvattentunnel) där det inträffat tunnelras (se Figur 10-1) vid tre tillfällen, det första redan före den driftsattes i mitten av 80-talet, vilket senare ledde invigningen av tunneln med ett år. År 1995 åtgärdades ett andra ras. I oktober 2008 upptäcktes nya tunnelras vilket föranledde omfattande inspektions- och förstärkningsarbeten som pågick under två år till en kostnad av 220 mnkr. (Sydvatten AB, 2017)



Figur 10-1 Ras i Bolmentunneln (Karlsson, 2019)

10.3.3 Miljökostnader

Idag pågår lösa diskussioner inom Naturvårdsverket och Länsstyrelserna kring uttag av en framtida avgift för bräddning av avloppsvatten. Naturvårdsverket arbetar även med ett regeringsuppdrag syftande till att analysera nuvarande kunskapsläge avseende dagvattenproblematiken. (Natur-

vårdsverket , 2018) Rapporten mynnade i förslag till utredningen om regleringen kring dagvatten (Naturvårdsverket, 2017).

Miljökostnader är generellt mer knutna till LCA-analyser.

10.3.4 Övriga kostnader

Under en tunnels livstid på 100–125 år kommer organisationen som drif-tar tunneln behöva byta personal ett antal gånger vilket kommer medföra kostnader i samband med upplärning/överlämning.

I samband med avveckling och rivning av en tunnel uppkommer kostnader som behöver tas hänsyn till vid LCC-beräkning. Såsom tätning av tunnelmynningar, stigarschakt mm.

10.4 Nulägesanalys och diskontering

Vid beräkningar i en LCC måste faktumet att många kostnader sker i framtiden tas i beaktande. Detta gör att det är nödvändigt att omvandla värdet av dessa framtida kostnader till nuvärde genom diskontering (Bous-sabaine, 2008). Om livscykeln för produkten som analyseras dessutom är lång måste ett beslut tas kring hur inflationen behandlas. Diskonterings-ränta bör ta hänsyn till förväntad inflation användas vid diskontering av nominella livscykelkostnader. För reella livscykelkostnader bör räntan anpassas för att eliminera effekterna av inflation vilket kan göras genom att subtrahera förväntad inflation från en nominell ränta.

Historisk har den reala räntan följt konsumentprisindex (KPI), alltså prisutvecklingen på varor och tjänster, vilket innebär att sådana prognoser beräknar vilket värde investeringar får i framtiden. KPI kan fås från Statis-tiska centralbyrån, SCB.

För att omvandla framtida kostnader till dagens värde används nuvärdes-metoden (ekvation 10–1) för hela livscykeln.

$$LCC = G + \sum_{t=0}^n \frac{Ct}{(1+d)^t} \quad \text{Ekvation 10-1}$$

Där:

LCC = livscykelkostnader (nuvärde av kostnader över anläggningens hela livscykel, summerat för alla år, t)

n = antal tidsperioder, ofta förväntad livslängd

Ct = kostnader för varje tidsperiod

d = diskonteringsränta

G = grundinvestering

Alternativet som har det lägsta nuvärde blir det alternativ som är mest fördelaktigt över hela livscykel.

10.4.1 Diskontering och tidshorisont

Diskontering är ett begrepp som används vid alla samhällsekonomiska beräkningar. Det innebär en omräkning med hjälp av en räntesats för att ta hänsyn till att nyttor och kostnader inträffar vid skilda tidpunkter och därför inte kan jämföras direkt med varandra. En diskonteringsränta används för att räkna om alla nyttor och kostnader i kostnads-nyttoanalysen till ett nuvärde.

Diskontering är en omdebatterad metod, eftersom kostnaderna med åtgärder som syftar till att åstadkomma exempelvis en klimatanpassning ofta inträffar före nyttorna som åtgärderna leder till. I en nuvärdesberäkning tenderar detta att leda till att nyttorna väger lättare än kostnaderna. Allmänt gäller att ju högre diskonteringsränta och ju längre fram i tiden en konsekvens inträffar desto lägre blir dess nuvärde.

Om diskonteringsräntan däremot är noll värderas framtida kostnader och nyttor lika högt som dagens kostnader och nyttor.

Diskontering i samhällsekonomiska kalkyler av klimatåtgärder diskuteras ingående i exempelvis rapporten *Diskontering i samhällsekonomiska analyser av klimatåtgärder* (Söderqvist, 2006). Där beskrivs hur det kan vara rimligt att använda räntesatser nära marknadsräntan för kortare tidsperioder, medan det kan vara försvarbart att använda lägre räntesatser för längre tidsperioder som berör flera generationer.

För samhällsekonomiska kalkyler inom transportområdet rekommenderar exempelvis Trafikverket i rapporten *Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn* (Trafikverket, 2016) en räntesats på 3,5 %. Denna räntesats baseras på studier av marknadsräntor.

För samhällsekonomiska kalkyler av åtgärder som berör flera generationer av människor argumenteras ofta att räntesatsen istället bör sättas utifrån en etisk utgångspunkt för att inte diskriminera framtida generationer i förhållande till dagens generation, samt utifrån prognoser om den framtida ekonomiska utvecklingen. Detta förhållningssätt tenderar att leda till lägre diskonteringsräntor. Ett exempel på detta är rekommendationerna i den s.k. Stern-rapporten (Stern, 2006), som utvärderar samhällsekonomiska effekter av klimatförändringar. Stern-rapporten har fått ett mycket stort genomslag i klimatdebatten och föreslår en diskonteringsränta på 1,4 % för samhällsekonomiska kalkyler rörande klimateffekter och åtgärder mot klimatförändringar.

Valet av diskonteringsränta kan påtagligt påverka utfallet i en nuvärdeskalkyl, såväl vad gäller nettonuvärdets absoluta storlek, men i vissa fall också rangordningen av alternativ. Vilken räntesats som väljs grundas i vilken grundläggande syn som beslutsfattandet utgår ifrån. Vid genomförandet av en kostnads-nyttoanalys kan det vara svårt att avgöra vilken räntesats som är lämplig. I sådana fall är det lämpligt att genomföra nuvärdeskalkyler med olika diskonteringsräntor och undersöka hur slutresultatet varierar med valet av räntesats.

Tidshorisonten är också av stor betydelse bl.a. eftersom en längre tidshorisont innebär att åtgärden skyddar mot skadekostnader under en längre tid. Sweco har i flera utredningar rörande klimatanpassning valt att använda tidshorisonten 100 år. Detta med hänsyn till tillgänglig information och tillförlitlighet i det statistiska underlaget och modellberäkningar. I analyserna antas vanligen att förhållanden rörande bebyggelse, markanvändning, samhällsfunktioner, mm är konstant under den valda tidshorisonten. Det kan även med avseende på tidshorisont vara intressant att undersöka hur olika val påverkar slutresultatet. Vid en lägre diskonteringsränta kan tidshorisontens längd ha stor inverkan på analysens utfall.

10.5 Erfarenheter

De VA-tunnlar som har byggts under 1900-talets, t. ex. Bolmentunnel (råvatten för dricksvattenproduktion), Ormen och Underverket (tunnlar för avloppsutjämning) samt Gyaabs tunnel i Göteborg, har byggts eftersom det funnits ett behov och tunnlar ansetts var ett bra lösningsalternativ. Emellertid har inte LCC-metodiken använts som beslutsunderlag i dessa fall.

Inför den planerade Malmö avloppstunneln har en kostnads-nyttoanalys genomfört där LCC-metodiken tillämpas (Sweco, 2018). I denna utredning har nyttor och kostnader uppskattats (inklusive samhällskostnader som trafikförseningar) som är kopplade till en ny avloppstunnel (Alternativ 1) och ett helt nytt tryckavloppssystem (Alternativ 2) från centrala Malmö till det befintliga avloppsreningsverket. Kostnads-nyttoanalysen var viktig i arbetet med att undersöka åtgärdernas ekonomiska lönsamhet och för att kunna rangordna alternativen och därmed få fram ett inriktningsbeslut.

Det har funnits olika studier och utredningar som har använt LCC-metodiken främst för att jämföra olika bygg- och tätningsmetoder.

Injekteringsarbeten identifieras ofta som ett problemområde när det kommer till oförutsedda kostnader. I många tunnelprojekt sker stora kostnadsöverskridningar till följd av oförutsedda inläckage. I BeFo Rapport 137 diskuteras de ekonomiska fördelarna med användning av behovsprövad injektering i budget och tidplaner. Detta kan innebära rent praktiskt att det anslås ett budgetspann som relateras till osäkerheter i injekteringsbehov längs tunnelsträckningen istället för att hålla en fast budget. (Wilén, et al., 2014)

Oförutsedda injekteringskostnader har varit föremål för flera rättsmål. Ett exempel på detta är Ryatunneln, Lerums spillvattentunnel, som byggdes av österrikiska entreprenören BeMo (Alpine BeMo Tunneling GmbH) vilka fick betala vite på 21 mnkr till följd av att bygget var försenat. BeMo kontrade genom att stämma byggherren Gryaab på 261 mnkr för felaktigt beskrivet underlag avseende bergkvalitet och vattenflöden vilket resulterade i oförutsedda tätningsarbeten. (Lerums Tidning, 2015)

En BeFo-rapport från slutet av 70-talet tar upp före- och efterkostnader avseende förstärkning och injektering för bl.a. tre VA-tunnlar (BeFo, 1979). Slutsatsen var att utförda förundersökningar generellt gav en tillfredsställande prognos avseende drivningsförhållanden och omfattning av

nödvändiga förstärkningsåtgärder. Däremot förekom stora svårigheter att förutse inläckage och behov av injektering kring de studerade anläggningarna. Injekteringskostnaderna sågs påverka de totala drivningskostnaderna i betydligt större utsträckning än förstärkningsåtgärderna, se Tabell 10-1.

Tabell 10-1 Utfall av förstärknings- och injekteringskostnader för tre äldre VA-tunnlar redovisat i procent av prognoserande kostnader (BeFo, 1979).

Tunnel	Användning	Förstärkning	Injektering
Bolmentunneln	Råvatten	67 %	230 %
VA-tunnlar: Göteborg Slottskogen-Annedal-Möndal	Spillvatten	111 %	180 %
VA-tunnlar: Göteborg Volvo-Torslanda och Syrahåla-Bulycke / Torsviken-Bulycke	Gemensamhets-tunnlar/Dagvatten	88 %	132 %

Äldre tunnlar förstärktes generellt med ingjutna bultar utan speciellt korrosionsskydd och svaga partier kompletterades med sprutbetong som i allmänhet var oarmerad. Tätning mot vattenläckage gjordes endast sporadiskt med cementinjektion. För moderna bergtunnlar har den förbättrade materialkvaliteten i förstärkningar lett till minskade kostnader för kompletterande tätning och andra åtgärder i driftskedet. (Lindblom, 2012)

11 Forskning och utveckling samt revideringsförslag

Vissa delar som rör VA-tunnlar har inte kunnat besvaras inom projektets ramar. I detta kapitel sammanställs en lista över områden som kan komma att utvecklas i eventuella framtida rapportrevideringar, där merparten härstammar från granskningskommentarer som inte kunnat besvaras av arbetsgrupperna eller övriga medverkande i projektet. På samma sätt sammanställs områden där behov för forskning och utveckling har identifierats under projektets gång.

11.1 Förslag på kompletteringar

- Servitut och 3D-fastighetsbildning nämns inte i nuvarande rapport, men de kan komma att påverka framtida tunnelprojekt. Erfarenheter av detta finns bl.a. från Västlänken (järnvägstunnel, Göteborg).
- Ett mer utvecklat resonemang kring variationer i geologi inom Sverige, samt hur det påverkar val av tunneldrivningsmetod samt tätningsmetod är önskvärt. Speciellt saknas erfarenheter/kunskap kring mjuka, sedimentära bergarter och jord (vanligt i södra Sverige).
- Kunskapsåterföringen om betongkvalitet kan utvecklas i kapitel 4.
- För hydraulikdelen (kapitel 5 och 6) skulle beräkningsexempel samt formelsamling eller liknande vara önskvärt. Det finns för nuvarande (2019) ingen/lite svensk litteratur som beskriver beräkningsmetoder för VA-tunnlar.
- Beräkningsexempel vore önskvärt även för dimensionering av vertikalschakt, självrens, dykarledning, samt för beräkning av volym luft som medföljer vattenflödet via störtchakt.
- LCA (Life Cycle Assessment) låg utanför ramen av projektet, men rekommenderas att tas upp vid eventuellt fortsatt arbete med rapporten. Även LCC (kapitel 10) kan beskrivas mer utförligt, t.ex. saknas en ”grundbudgetkalkyl” som ger en grov storleksordning på VA-tunnelprojekts totalkostnad. Även en jämförelse mellan uppskattad LCC för tunnel och ledningsnät vore önskvärt. Erfarenheter från VA-Syds ”Malmötunnel” där tunnelalternativ vägdes mot ledningsnät kan tas med som exempel.

11.2 Förslag på forskning och utveckling

- Väl fungerande lösningar för kommunikation i tunnlar, framförallt i våta tunnlar, saknas. Det finns en stor efterfrågan av fungerande lösningar från tunnelägare och drift. Belysning i tunnelmiljö är ytterligare ett område som kan fördjupas/forskas om, det saknas fungerande alternativ idag (2019).

- Utveckling av fysiska hydrauliska modeller över tunnelsystemen i hydrauliskt laboratorium vore önskvärt. Modellerna kan vara värdefulla då de möjliggör simuleringar av tunnarna innan de byggs, vilket kan förebygga hydrauliska problem.
- Gedigen forskning kring ventilation i tunnlar saknas. Val av utrustning är främst erfarenhetsbaserat i dagsläget (2019). Forskning i området önskas för att kunna ge svar på vilka metoder som är enklast, bäst och billigast. Att ventilation och hydraulik hör ihop t.ex. via utformning av inlopp/utlopp är även det relativt outforskat trots att det är en viktig aspekt för att komma tillrätta med luktbekämpning och ventilations-system.
- Sprutbetongens livslängd i VA-tunnlar är för nuvarande okänd och det saknas även kunskap kring hur den bäst underhålls och repareras. Kunskapen efterfrågas av exempelvis Gryaab som använder sprutbetong på flera sträckor i sitt tunnelsystem.
- Inläckage och tillskottsvatten i tunnlar som en viktig fråga för både hydraulik och tillstånd kan utvecklas. Främst befintliga tunnlar saknas riktlinjer och metoder för hur inläckage och tillskottsvatten ska kontrolleras. Det saknas också forskning kring hur mängderna förändras över tid.
- Bräddning, bräddningsstrategier inklusive hantering av Extremsituationer kan utvecklas och diskuteras vidare med intressenter och myndigheter.
- Bedömning av tunnelstatus och strategier för en smartare drift och underhåll kan utvecklas. Kan ny teknik så som digitalisering och ”smarta ledningsnät”, drönare (används i gruvor) etc. utnyttjas?
- Riktlinjer kring avstånd mellan räddningsschakt önskade, det saknas i arbetsmiljöregler och andra direktiv i dagsläget.
- En handbok för dimensionering av VA-tunnlar framtagna av Svenskt Vatten efterfrågas inom branschen.

12 Referenslista

Personliga kontakter

- Bakken, S.-E., *Civilingenjör, Sweco Norge*, 2018
- Berzell, A., *Specialist hydrogeologi, Trafikverket*, 2018.
- Bohman, S., *Rönnätsavdelningen*, Dahlgren, O., *VA-ingenjör*, Håkansson, S., *VA-ingenjör*, Källehult, T., *Rönnätsavdelningen*, Rundahl, P., *Processingenjör, Trollhättan Energi AB, Avloppsreningsverk Arvidstorp*, 2018.
- Händevik, A., *Utredningsingenjör, Kalmar Vatten AB, Kalmar*, 2018 och 2019.
- Karlsson, M., *Teknikkonsult VA-process, Ramboll*, 2019.
- Lindblom, L., 2018., *Kvalitetsstyrning, Stockholm Vatten och Avfall AB*, 2018.
- Moreno Arancibia, P., *Spridningsmodellör, Sweco Environment*, 2018.
- Nielsen, M., *VD-stab Teknik, Käppalaförbundet*, 2018 och 2019
- Pettersson, S.-O. *Avdelningschef teknisk försörjning*, Selnert, E. *Tunnelingenjör & Eidenby, J. gruppchef El Ryaverket, Gryaab*, 2018.
- Strandberg, M., *Projektledare, Gryaab*, 2018.
- Torstensson, F., *Chef för ledningsnätsavdelningen, Kretslopp och Vatten*, 2019.

Referenser

- BIBLIOGRAPHY\1033 \f1053 ATV, 2001. STANDARD ATV-DVWK-A 110E Hydraulic Dimensioning and performance Verification of Sewers and Drains.* Hennem: ATV-DVWK German Association for Water, Wastewater and Waste.
- BeFo, 1979. *Förundersökningarnas värde och omfattning*, u.o.: Stiftelsen Bergteknisk Forskning & Statens Råd För Byggnadsforskning.
- BeFo, 2012. *BeFo Rapport 117. Effekter på grund- och ytvattenförhållanden vid grundvattenbortledning från berganläggningar. Steg 1 – Förstudie.* Stockholm: Stiftelsen Bergteknisk Forskning.
- Bekkeinntakskommiteen, 1986. *Bekkeinntak på Kraftverkstunneler, Sluttrapport fra Bekkeinntakskommiteen.* u.o.:u.n.
- Berg, J., 2001. *Undersökning av luktreducerande system och deras effekter i storskaliga biogas- och komposteringsanläggningar i Europa.* u.o.:Jordbrukstekniska Institutet.
- BESAB, u.d. *www.besab.se*. [Online]
Available at: <https://www.besab.se/produkter-tjanster/berg/injektering/>
[Använd 22 02 2019].

- Bos, 1989. *Discharge measurement Structures Third edition (Bos, 1989)* Wageningen. 3 red. u.o.:Wageningen.
- Boussabaine, A. o. K. R., 2008. *Whole Life-cycling costing: Risk and risk responses*. Chichester, Storbritannien: Blackwell Publishing.
- Bungerfeldt, U., 2014. sverigesradio.se. [Online]
Available at: <https://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?programid=103&artikel=5933415>
[Använd 26 04 2019].
- City Link, 2016. *Tillstånd till bortledning av grundvatten från tunnelanläggningen City Link etapp 2, Mål nr 2772-15.*, u.o.: u.n.
- Citybanan, 2010. *Bortledande av grundvatten från spårtunnel Tomtebodas Riddarholmen, tillfartstunnel vid bangårdsområdet och arbetstunnel vid Norra Station m.m. för Citybanan, MÖD 2010:9*, u.o.: u.n.
- Direktivet om miljökvalitetsnormer, 2008. *Europaparlamentets och rådets direktiv 2008/105/EG om miljökvalitetsnormer inom vattenpolitikens område*. [Online]
Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=celex:02008L0105-20130913>
[Använd 02 10 2018].
- Energimyndigheten, 2017. *Manual till verktyg för beräkning av livscykelkostnad - Förklaringar och exempel*. [Online].
- Eriksson , M. & Edelman , M., 2014. *BeFo Rapport 131, LCC Analyser för vattenavlednings- och bergförstärkningssystem*, Stockholm: Stiftelsen Bergteknisk Forskning.
- Estrada, O. P. o.a., 2015. *Failure of a drainage tunnel caused by an entrapped air pocket*. u.o.:Urban Water Journal.
- Falvey, H. & Weldon, J., 2002. *Case Study: Dillon Dam Trashrack Damage*. *Journal of Hydraulic Engineering*. u.o.:Journal of Hydraulic Engineering.
- Ferdous, R. o.a., 2011. *Fault and Event Tree analyses for Process Systems Risk Analysis: Uncertainty handling formulations*, u.o.: Risk Analysis, Vol. 31, No.1, ss. 86-107.
- Frizell, K. W., 2012. *Cavitation In Hydraulic Structures-Bridging the Gap Between the Laboratory and the Real World*, u.o.: Utah State University.
- Förbifarten, 2014. *Tillstånd till grundvattenbortledning för byggande och drift av E4 Förbifart Stockholm, Mål nr 3346-11*, u.o.: u.n.
- GRAMKO:s arbetsgrupp Brand, 2016. *Brandskydd i gruv- och berganläggningar*, Stockholm: SveMin.
- Gryaab, 2019. *Bild från Eva Selnert och Sven-Ove Pettersson*. Göteborg: u.n.
- Hager, 1985. Head-discharge relation for vortex shaft. *Journal of Hydraulic Engineering*, p. Volume 111 Issue 6.

- Hager, W. H., 2010. *Wastewater Hydraulics Theory and Practice*. 2 red. Berlin: Springer.
- Heinonen, K., 2014. *sverigesradio.se*. [Online]
Available at: <https://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?programid=103&artikel=5933415>
[Använd 26 04 2019].
- Holmberg och Sjö Dahl, 2015. *Rättigheter för avloppstunnlar – En studie av möjliga alternativ med fördjupning i ledningsrätt, fokus Trollhättan*. u.o.:Högskolan Väst.
- Holmberg, K. & Sjö Dahl, J., 2015. *Rättigheter för avloppstunnlar*, Trollhättan: Högskolan Väst.
- HRM, u.d. *Hur gör man världens bästa dricksvatten?*. Helsingfors: Samkommunen Helsingforsregionens miljötjänster.
- HVT, 2016. *Hardangerviddatunnelene.no*. [Online]
Available at: <https://hardangerviddatunnelene.no/2016/11/17/ny-rapport-tunnel-kan-bygges-50-billigere-enn-statens-vegvesens-anslag/>
[Använd 29 04 2019].
- Hådén, D., 2016. *Arbetsberedning Årstatunneln*, u.o.: PEAB.
- Händevik, A., 2017. *PM - När man får jobba i strömmande vatten*, u.o.: Stockholm Vatten och Avfall.
- Isaksson, T., 1998. *Tunneldrivning med skäld - Riskbaserad beslutsmodell*, Stockholm: KTH.
- Kartverkstan AB, u.d. *www.kartverkstan.com*. [Online]
Available at: <https://www.kartverkstan.com/>
[Använd 04 12 2018].
- Kartverkstan, 2018. *Bilder från Olle Bolling*. u.o.:u.n.
- Karvonen, R., Hepojoki, H. & Louhio, A., 2000. *The Use of Physical Models in Dam-Break Analysis. RESCDAM final report.*, Helsinki: Helsinki University of Technology.
- Kulturmiljölagen, 1998. *1988:950*, u.o.: Riksdagen.
- Käppalaförbundet, 2019. *Bild från Mikeal Nielsen*. u.o.:u.n.
- Käppalaförbundet, 2019. *Text från Magnus Olsson*. u.o.:u.n.
- Lerums Tidning, 2015. *Tunneltvisten är över - parterna förlikas*. [Online]
Available at: <https://www.lerumstidning.se/2015/07/tunneltvisten-ar-over-parterna-forlikas/>
[Använd januari 2018].
- Lindblom, U., 2009. *Underhåll av berganläggningar - etapp 2*, u.o.: Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, SBUF .
- Lindblom, U., 2012. *BeFo Rapport 120. Underhållskostnader för bergtunnlar i ett livslängdsperspektiv*, Stockholm: Stiftelsen Bergteknisk Forskning.

- Liu, T., 2012. *Air-pocket transport in conjunction with bottom-outlet conduits for dams*. Stockholm: KTH.
- Ljunggren, O. & Svensson, G., 2013. *Tillämpad hydraulik för VA-ingenjörer*. u.o.:Svenskt Vatten.
- Margevicius, T., 2015. *Waternz*. [Online]
Available at: https://www.waternz.org.nz/Folder?Action=View%20File&Folder_id=401&File=A%20Comparison%20of%20Four%20Types%20of%20Sewage%20Drop.pdf
[Använd 20 02 2019].
- Mats Wählin AB, 2009. Stockholm: u.n.
- May, R. W. P., 2000. *Self cleansing flow conitions for inverted siphons*. Report SR 559 red. Wallingford: Wallingford Ltd.
- Michael, I., 2019. *Issa Michael*. u.o.:Sweco.
- Miljø-Teknologi-AS, Hämtad: 2019-02-019. <https://www.mtgruppen.no/mt-carbon>. u.o.:u.n.
- Morse, A., 2017. *Nao*. [Online]
Available at: <https://www.nao.org.uk/wp-content/uploads/2017/03/Review-of-the-Thames-Tideway-Tunnel.pdf>
[Använd 20 02 2019].
- Naturvårdsverket , 2018. *Analysera kunskapsläget för dagvattenproblematiken*. [Online]
Available at: <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Regeringsuppdrag/Redovisade-2017/Analysera-kunskapslaget-for-dagvattenproblematiken/>
[Använd 01 2019].
- Naturvårdsverket, 2017. *Analys av kunskapsläget för davattenproblematiken – Redovisning av regeringsuppdrag*, u.o.: u.n.
- Nordic Water, 2017. u.o.:u.n.
- PBL, 2011. *Plan- och byggförordningen /2011:338/ 6 kap, 1§*. u.o.:u.n.
- Peterka, A. J., 1958. *Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators*. Denver: u.n.
- Ramböll Sverige AB, 2015. *Bilaga F Teknisk beskrivning, Grundvattenbortledning*, Stockholm: SVOA.
- Sahlström, E., 2002. *Bergsprängningens milstolpar udner 50 år. Leveranstidningen Etreprenad*.
- SBUF, 2015. *LCC och LCA gällande anläggningskonstruktioner*, Luleå: Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond.

- SFS 1998:1388, 1998. *Förordning (1998:1388) om vattenverksamhet m.m.*. [Online]
Available at: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-19981388-om-vattenverksamhet-mm_sfs-1998-1388
[Använd 25 09 2018].
- SFS 1998:808, 1998. *Miljöbalk 1998:808*. [Online]
Available at: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/miljobalk-1998808_sfs-1998-808
[Använd 25 09 2018].
- SFS 1998:940, 1998. *Förordning (1998:940) om avgifter för prövning och tillsyn enligt miljöbalken*. [Online]
Available at: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-1998940-om-avgifter-for-provning_sfs-1998-940
[Använd 25 09 2018].
- SFS 2017:966, 2017. *Miljöbedömningsförordning 2017:966*. [Online]
Available at: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/miljobedomningsforordning-2017966_sfs-2017-966
[Använd 23 09 2018].
- SP.se, Hämtad: 2019-02-19. <http://www.sp.se/sv/index/services/ip/Sidor/default.aspx>. u.o.:u.n.
- SP, Hämtad: 2019-02-05. <http://www.sp.se/sv/index/services/corrosion/Sidor/default.aspx>. u.o.:u.n.
- Spross, J., Stille, H., Johansson, F. & Palmstrom, A., 2018. *On the Need for a Risk-Based Framework in Eurocode 7 to Facilitate Design of Underground Openings in Rock*, u.o.: SpringerLink.
- Stern, N., 2006. *The Economics of Climate Change - the Stern Review*. Cabinet Office, HM Treasury,, Cambridge: Cambridge University press, Cambridge.
- Sweco, 2018. *Kostnads-nyttoanalys Malmö avloppstunnel – utredningsfas 2*, Malmö: VA SYD.
- Swedishrockyjournal.se, 2019. *Swedishrockyjournal.se*. [Online]
Available at: <http://www.swedishrockyjournal.se/metoder-for-tunneldrivning.html>
[Använd 22 02 2019].
- Svensson, G. o.a., 2016. *Avledning av dag-, drän- och spillvatten P110*. Stockholm: Svenskt Vatten.
- SVOA, 2013. *Västerorts framtida avloppsrening – Underlag inriktningsbeslut*, Stockholm: Stockholm Vatten VA AB.
- SVOA, 2015. *Stockholms framtida avloppsrening, avloppstunneln, Teknisk beskrivning kap 9*, Stockholm: Stockholm Vatten VA AB.

- SVOA, 2018. *stockholmvattenochavfall.se*. [Online]
Available at: <http://www.stockholmvattenochavfall.se/framtidensavloppsrening/ny-avloppstunnel/tunnelfakta/hur-kommer-tunneln-se-ut/>
[Använd 25 02 2019].
- Sydvatten AB, 2017. *Årsredovisning 2016*, u.o.: u.n.
- Sydvatten, u.d. *Bolmentunneln*. [Online]
Available at: <http://sydvatten.se/var-verksamhet-2/bolmentunneln/>
[Använd 20 Februari 2019].
- Söderqvist, T., 2006. *Diskontering i samhällsekonomiska analyser av klimatåtgärder. Rapport 5618*, Stockholm: Naturvårdsverket.
- Tideway, u.d. *Tideway*. [Online]
Available at: <https://www.tideway.london/>
[Använd 20 02 2019].
- Torstensson, F., 2019. *Kretslopp och Vatten* [Intervju] 2019.
- Trafikverket, 2016. *Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 5.2. Kapitel 3 Kalkylprinciper och generella kalkylvärden.*, Stockholm: Trafikverket.
- Tyréns, 2017. *Teknisk och miljömässig utredning, alternativ utsläppspunkt Gryaab*, Göteborg: Tyréns beställd av Gryaab .
- Upphandlingsmyndigheten, 2017. *Skillnad mellan en miljö-LCA och LCC*. [Online]
Available at: <https://www.upphandlingsmyndigheten.se/omraden/lcc/perspektiv/skillnad-mellan-en-miljo-lca-och-lcc/>
[Använd 01 2019].
- Vasconcelos, J. G. & Chosie, C. D., 2013. *Kinematics of Entrapped Air Pockets within Stormwater Storage Tunnels*. u.o.:u.n.
- Vasconcelos, J. G. & Wright, S. J., 2011. *Geysering Generated by Large Air Pockets Released through Water-Filled Ventilation Shafts*. u.o.:u.n.
- Vattendirektivet, 2000. *God vattenkvalitet i Europa (EU:s vattendirektiv). Direktiv 2000/60/EG – en ram för gemenskapens åtgärder på vattenpolitikens område*. [Online]
Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=LEGISSUM:l28002b>
[Använd 02 10 2018].
- Wilén , P., Kvartsberg, S. & Zetterlund, M., 2014. *BeFo Rapport 137. Behovsprövad injektering — Hydrogeologiskt baserad metodik för implementering*, Stockholm: Stiftelsen bergteknisk forskning .
- Williamson, S., 2001. *Drop Structure Design for Wastewater and Stormwater Collection System*. New York: Parsons Brinckerhoff Inc.
- Vägverket, 2000. Borlänge: Vägverket.

- Vägverket, 2000. *Tätning av bergtunnlar - förutsättningar, bedömningsgrunder och strategi vid planering och utformning av tätningsinsatser*, Borlänge: u.n.
- Världenshäftigaste, 2016. *Världenshäftigaste*. [Online]
Available at: <https://www.varldenshaftigaste.se/artiklar/bolmentunneln/>
[Använd 20 Februari 2019].
- Västlänken, 2017. *Västlänken och Olskroken planskildhet, Tillståndsansökan för vattenverksamhet*, u.o.: u.n.
- Weber-Kunststofftechnik. *Waste air purification plants*. [Online]
Available at: HYPERLINK "https://weber-kunststofftechnik.de/en/products/waste-air-purification-plants.html" <https://weber-kunststofftechnik.de/en/products/waste-air-purification-plants.html>
[Använd December 2018]
- Zhou, 2002. *Observations of Air–Water Interaction in a Rapidly Filling Horizontal Pipe*. Edmonton: u.n.
- Zhou, Hicks & Steffler, 2002. *Transient flow in a rapidly filling horizontal pipe containing trapped air*. u.o.:Journal of Hydraulic Engineering.
- ÅF, 2015. *Luktutredningar i samband med utbyggnad av tunnelsystem och reningsverk, Bilaga 1*. u.o.:u.n.
- Öhrling, T., 2015. Stockholm: Stockholm Vatten och Avfall AB.

Bilaga 1 - Arbetsmedlemmar

Teknikområde	Hydraulik and Hydrologi (Kapitel 5 & 6)
Samordnare	Mattias Karlsson (Ramboll)
Arbetsmedlemmar	Torbjörn Olsson (Sweco), K-G Stenberg (Sweco), Svein Erik Bakken (Sweco), Marco Alicera (WSP), Emanuel Isaksson (SVOA), Alf Händevik (Kalmarvatten)
Teknikområde	Berg, Geoteknik och Hydrogeologi
Samordnare	Eva Lindahl (2019-01, Sweco), Alexander Koutsouris (2018-07 – 2018-12, Sweco), Anna Lundgren (2017-09 – 2018-07, Sweco)
Arbetsmedlemmar	Carl-Olof Söder (Sweco), Petter Engwall (Sweco), Jan Salomonson (Ramboll), Mattias von Brömssen (Ramboll), Viktor Enbom (WSP), Lars Henricsson (WSP), Mikael Johansson (fd WSP numera Iterio)
Teknikområde	Drift och Underhåll (Kapitel 9)
Samordnare	Caroline Persson (2018-08, WSP), Josefin Hamrefors (2017-09 – 2018-08, fd WSP numera Tyréns)
Arbetsmedlemmar	Jessica Öhr Hellman (WSP), Ulf Jernetz (Käppala), Tommy Söderstam (Käppala)
Teknikområde	Juridik, Ekonomi och Miljö tillstånd (Kapitel 3 & 10)
Samordnare	Eva Lindahl (2018-10, Sweco), Anna Brunsell (2017-09 – 2018-10, Sweco)
Arbetsmedlemmar	Anders Berzell (fd Sweco, numera TRV), Malin Lindqvist (WSP), Sandra Henze (WSP), Tony Andersson (WSP), Johanna Lingmerth (Sweco), José Ignacio Ramírez (Sweco), Jonas Backö (Sweco)
Teknikområde	VVS och Instrumentation (Kapitel 8)
Samordnare	Issa Michael (Sweco)
Arbetsmedlemmar	Sebastian Sporre (Sweco), Johan Thorell (Sweco), Jan Forsberg (Sweco), Petter Björkman (Ramboll), Olle Lindeberg (Käppala)
Teknikområde	Konstruktion och Betong (Kapitel 4)
Samordnare	Hans Hillborg (Sweco)
Arbetsmedlemmar	Hans Hillborg (Sweco), Carl-Olof Söder (Sweco), Jan Salomonson (Ramboll)
Kapitel 2, Ansvarig	Mathias Linder (Sweco)
Kapitel 7, Ansvarig	Jan Salomonson (Ramboll)
Referensgrupp	Alf Händevik (Kalmarvatten), Eva Selnert (Gryaab), Mats Strandberg (Gryaab), Magnus Olsson (Käppala), Tommy Söderstam (Käppala), Susanna Håkansson (Trollhättan energi), Karin Blixt (COWI), Mathias Von Scherling (RISE), Stefan Milotti (VA-Syd), Fredrik Torstensson & Olle Ljunggren (Kretslopp och Vatten, Göteborgs Stad), Tomas Wallroth (Bergab)
Ekonomi	Martin Dahlin (Sweco), Cornelia Stenholm (Extern konsult SVOA)

Bilaga 2 - Terminologi

Ord	Förklaring	Källa
AB04	Allmänna bestämmelser för byggnads-, anläggnings- och installationsentreprenader	
AF	Administrativa Föreskrifter	
Akvifer	Geologisk formation med tillräcklig genomsläpplighet (hydraulisk konduktivitet) och effektiv porositet för att medge ett betydande flöde eller uttag av betydande mängder grundvatten.	SGU
AMA	Allmän Material- och Arbetsbeskrivning är en samling av projekterings- och utförandestandarder som sammanställts och ges ut av Svensk Byggtjänst.	
Amfibiefordon	Fordon, vanligtvis fyrhjuling, som kan används både på land och i vatten.	
Anbörning	Att genom hålbörning och fastsvetsning ansluta ett nytt rör till befintlig rörledning.	
Bergtäckning	Antal meter berg ovanför en tunnel (med avseende på risk för liten bergtäckning, som kan medföra att tunneln rasar in).	
Blow out	Blowouts innebär översvämning från tunneln ut i det fria på grund av att luftmassor lyfter tillbaka vattnet ut genom brunnar	
FFU	Förfrågningsunderlag	
Föreläggande	Ett beslut av en domstol eller en myndighet som ofta innebär att den som beslutet gäller ska göra något.	
GK3-områden	Inför utformning och byggande av en grundkonstruktion eller annan geokonstruktion ska man göra en kategorisering av grundkonstruktionen beroende på hur svår den är att bygga och vilka risker som byggandet medför. De kategorier som finns kallas Geoteknisk kategori GK1, GK2 och GK3, där GK1 är den enklaste. De olika kategorierna innebär olika krav på projektering, dimensionering och kontroll. I det europeiska regelverket Eurokod, som tillämpas i Sverige, sägs att en oberoende granskare ska tillsättas vid byggprojekt i kategori GK3.	SGI
Grundvatten	Det vatten som finns i den mättade zonen, dvs. den del av marken där alla por- och sprickutrymmen är fyllda med vatten och vars portryck är lika med eller större än atmosfärstrycket.	SGU
Grundvattendirektivet	Direktivet om skydd för grundvatten mot förorening genom vissa farliga ämnen (Grundvattendirektivet, 80/68/EEG) upphävs 2013. Frågor om skydd av grundvatten tas upp i ett nytt dotterdirektiv till Vattendirektivet (Direktiv 2006/118/EG om skydd för grundvatten mot föroreningar och försämring). Syftet med det nya dotterdirektivet är att komplettera vattendirektivets bestämmelser om skydd av grundvatten med kriterier för bedömning av god kemisk grundvattenstatus och kriterier för att upptäcka och vända uppåtgående trender. Stigande föroreningskoncentrationer eller sjunkande grundvattennivåer är exempel på sådana trender.	Vattenförvaltningen
Grundvattenförekomst	Grundvatten i ett grundvattenmagasin.	SGU
Grundvattenmagasin	Geologisk formation med tillräcklig genomsläpplighet (hydraulisk konduktivitet) och effektiv porositet för att medge ett betydande flöde eller uttag av betydande mängder grundvatten.	SGU
Grundvattenstatus	Grundvattnets status bedöms utifrån kvantitativ status och kemisk status. Statusen bedöms till god eller otillfredsställande.	Vattenförvaltningen
Grundvattenyta	Gränsytan mellan den mättade och den omättade zonen och där grundvattnets trycknivå är lika med atmosfärstrycket.	SGU
Hydraulisk gräns (rand)	En hydraulisk gräns utgör ett område där grundvattenförutsättningarna förändras drastiskt och kan t.ex. bestå av en vattendelare, en strandkant, en övergång mellan två geologiska formationer etc. Hydrauliska gränser kan vara positiva (tillför vatten till ett magasin) eller negativa (tillför inget vatten till ett magasin).	
Hydraulisk konduktivitet	Detta är ett mått på markens (ett geologiskt materials) vattengenomsläpplighet. Konduktiviteten noteras vanligtvis i m/s och betecknas K.	
Hydromorfologisk påverkan	Människans påverkan på vattnets form och flöde. Vanligen består denna av omgrävning av vattendrag, såsom rensningar, kanaliseringar eller dammanläggningar.	Vattenförvaltningen
Isälvsavlagring (rullstensås eller grusås)	En isälvsavlagring är en lång rygg av avrundade stenar, grus och sand som storlekssorterats och avlagrats av isälvar vid inlandsisens avsmältning.	

Ord	Förklaring	Källa
Jb-sondering	Sondering i jord och berg med trycklufts- eller hydrauldrivna bormaskiner. Syftet är att klargöra djupet till bergytan samt bedöma bergets relativa fasthet och sprickighet.	
Kemisk status	Ytvatten och grundvatten bedöms utifrån kemisk status. Där bedömningar görs utifrån halter av förorenade ämnen, det finns en lista på halter för prioriterade ämnen och andra ämnen som har gemensamma miljö-kvalitetsnormer inom EU. Statusen sätts till God eller Uppnår ej god.	Vattenförvaltningen
Kvantitativ status	Grundvatten bedöms utifrån kvantitativ status och kemisk status. För att uppnå god kvantitativ status för grundvatten får man, enligt Vattendirektivet, inte långsiktigt ta ut mer vatten ur en grundvattenförekomst än vad som kan kompenseras genom nybildning av vatten. Man ska inte heller göra ingrepp som kan leda till ändrade strömförhållanden och därpå följande inträngning av saltvatten i grundvattentakten. Kvantitativ status bedöms som god eller otillfredsställande.	Vattenförvaltningen
MAG-mätare	Magnetisk flödesmätare som känner av konduktiviteten (förmågan att leda elektricitet) i vätskan.	
Mannings tal	Mannings tal är en skrovlighetskoefficient ($m^{1/3}/s$) och används vid flödesberäkningar. Exempel på nivåer: Stål 90–110 $m^{1/3}/s$. Slät jord 35–50 $m^{1/3}/s$. Sprängt berg 20–25 $m^{1/3}/s$.	
MER	Mät- och ersättningsregler	
MF	Mängdförteckning	
Miljökvalitetsnormer	Förkortas ofta MKN och är bestämmelser om kraven på kvaliteten i vattnet. Miljökvalitetsnormer är styrande för myndigheter och kommuner. De grundläggande kraven är att vattnet ska uppnå God status.	Vattenförvaltningen
MKB	Miljökonsekvensbeskrivning	
ModBus	Ett protokoll för PLC-baserade system. En kommunikationsstandard som stöds av många produkter och tillverkare.	
Mättad zon	Den del av ett grundvattenmagasin där porutrymmet helt är fyllt med vatten och där portrycket är lika med eller större än atmosfärstrycket.	SGU
OMER	Objektspecifika mät- och ersättningsregler	
Omättad zon	Den del av en geologisk formation där porutrymmet helt eller delvis är fyllt med luft, jämför markvatten.	
Organiska jordarter	Organiska jordarter är jordarter som i huvudsak består av organiskt material. De kan indelas i torv, gytta, lera och dy. Denna indelning har med bildnings-sättet och framförallt växtmaterialens struktur att göra.	
Oxybox	Syrgasutrusning som alltid ska medföras vid vistelse i tunnlar. Används vid t.ex. rökskada och dykolycksfall.	
Parshallränna	En mätränna dit vatten leds för att mäta ett flöde. Den består av en kanalsektion med förträngning.	
Skrotning (av berg)	Löst sittande sten spettas loss och berget förstärks sedan genom att långa stilbultar och vajrar gjuts in. Ofta betongsprutas taket efteråt.	
Systemhandling	I detta skede utreds vilka tekniska system, material med mera som utgör de optimala lösningarna för projektets kravbild.	
TB	Teknisk Beskrivning	
TBM	Tunnelbormaskin	
Thompsonsöverfall	Ett Thompsonöverfall (ibland Thomsonsribord) är en V-formad öppning genom vilken vattnet rinner mot en fri vattenyta. Det möjliggör ett enkelt och driftsäkert sätt att mäta vattenflöden. Metoden är bl. a. mycket lämplig för att möta flöden i förorenat vatten, exempelvis vatten i sedimentationsbassänger. Ofta säger man Thompsonöverfall för alla typer av V-formade överfall, men egentligen är det endast de som har en öppningsvinkel på 90 grader som kallas Thompsons.	
Totalentreprenad	Entreprenören svarar för både projektering och utförande.	
Utförarentreprenad	Beställaren svarar för projekteringen och entreprenören svarar för utförandet.	
Vattendirektivet	Ramdirektivet för vatten fastslår en ram för den europeiska gemenskapens vattenpolitiska samarbete (2000/60/EG).	

Ord	Förklaring	Källa
Vattenförekomst	Vattenförekomster kan delas in i ytvattenförekomster och grundvattenförekomster. Enligt definitionen i Vattendirektivet är en ytvattenförekomst "en avgränsad och betydande ytvattenförekomst som till exempel en sjö, ett magasin, en å, flod eller kanal, ett vatten i övergångszon eller en kustvattensträcka." Enligt direktivet är en grundvattenförekomst "en avgränsad volym grundvatten i en eller flera akviferer". En vattenförekomst är också, enligt Vattendirektivet, den minsta storleken för beskrivning och bedömning av vatten. En vattenförekomst är homogen i samtliga indelningar som går att göra. En vattenförekomst tillhör sålunda en typ, har en status (vattenkvalitet) och bedöms utsättas för en specificerad nivå av påverkan. Ett vattendrag eller en sjö kan alltså bestå av flera vattenförekomster.	Vattenförvaltningen
Vattenverksamhet	En juridisk term som definieras i Miljöbalkens kap 11 och som rör arbeten i och påverkan på yt- och grundvatten.	
Viktsondering	Vid viktsondering pressas en skruvformad spets ner i jorden med belastning och vridning. Metoden används för att översiktligt bestämma jordlagerföljd och fasthet hos lösare jordlager.	
Votad botten	V-formad botten i en tunnel.	
VU	Verksamhetsutövare	
Ytvattenförekomst	Avgränsad ansamling av stillastående eller strömmande ytvatten som avgränsas av strandlinje eller vattenplatser.	SS 63 70 08
Ytvattenstatus	Ytvattenförekomster (sjö, vattendrag, kustvatten, dvs. inte grundvatten) statusklassas utifrån ekologisk och kemisk status.	
Öppet grundvattenmagasin	Ett grundvattenmagasin där trycknivån i grundvattenförekomsten endera inte når upp till den undre begränsningsnivån på en täckande lågkonduktiv geologisk formation eller där sådan formation saknas. Ett öppet grundvattenmagasin avgränsas uppåt av en grundvattenyta vid vilken det hydrostatiska trycket är lika med atmosfärstrycket.	(SGU)

Bilaga 3 - Checklista för vistelse i tunnel (SVOA)

Stockholm Vattens Miljö & Kvalitetshandbok

Dokumentnr: H.5.2.2.	Dokumentnamn: Vistelse i avlopps- och dagvattentunnel/kulvert = röd zon	Utgåva: 4	Sida: 143 (3)
Ansvarig för dokumentet: Björn Backlund	Granskad och fastställd av: Krister Sörling	Signatur:	Gäller från: 2016-05-24

Ansvar:

Sektionschef på Ledningsnät Rörnät (LRN resp LRS) ger arbetstillstånd före varje vistelse i avlopps- och dagvattennätet.

Ensamarbete får ej förekomma

Syfte:

Att skapa en säker arbetsmiljö och minimera risker för ohälsa, samt följa gällande lagar och föreskrifter.

Kompetens:

Arbetsgivaren har ansvaret för att informera sina anställda om de risker som kan vara förknippade med arbetet. Detta gäller även för personer som tillfälligt arbetar med t ex rengöring, tillsyn, reparation och besiktningar.

Dokumenterad skydds- och säkerhetsutbildning krävs för den som vistas i tunneln eller är vakt.

Den som tjänstgör som vakt skall dessutom ha erfarenhet från avlopps- dagvattentunnelarbete.

Risker

Hälsofarliga gaser

Industriutsläpp

Hygieniska (Bakterier mm)

Drunkning

Fall

Psykiska

Skyddsutrustning:

Fallskydd

Gasvarnare

Helmask med filter, (vid behov) masken försedd med adapter för tryckluftsanslutning

Skyddshjälm (vid behov)

Utrymningsluft i reserv(vid behov, kemisk syrgasapparat, tryckluft)

Fallskyddssele

Arbetshandskar (vattentäta)

Kloakdräkt med skyddsstövlar, stålhatta och spiktrampskydd.(För SVAB:s driftpersonal personlig skyddsutrustning)

Handlampa

Förstahjälpen utrustning

Stav (vid behov)

Utrustning för kommunikation. (vid behov)

Tryckluftsapparat med säkerhetstryck (vid behov)

Räddningsflotte (vid behov)

Flytväst (vid behov)

Vakt skall på plats ha tillgång till:

Flyktmask med tryckluft

Mobiltelefon
Personlig skyddsutrustning (se skyddsutrustning)
Lyftutrustning. Godkänd för personlyft.
Brandsläckare typ ABE
Saneringsutrustning
Larm- och checklista
Kartor över aktuell tunnel

Räddningsutrustning placerad hos räddningstjänsten Tyresö brandstation:

Räddningsflotte
3st helmasker med filter, maskerna försedda med adapter för tryckluftsanslutning
3st kloakdräkt med skyddsstövlar, stålhätta och spiktrampskydd samt 1st gasvarnare
Denna utrustning ägs och servas av SVAB

Utförande:

Förberedelse:

Skriftligt arbetstillstånd med ifylld checklista (Se H.5.2.2.2) skall i god tid returneras till ansvarig chef.
Vistelse i tunnel skall i god tid säkerhetsplaneras.
Kontrollera att bergtunneln är besiktad och eventuellt skrotad/förstärkt. Vid tillträde till ej skrotad tunnel, skall bergkunnig tillkallas.
Tunneln skall luftas ut minst ett dygn före tillträde. Luftning dras genom och förbi den sträcka som skall beträdas.
Väderprognos avlyssnas före tillträde p g a risk för regn och stigande vattennivå.
Vattendjup större än 50 cm skall undvikas.
Alternativa utrymningsvägar skall kontrolleras och öppnas. Det kan i vissa fall vara nödvändigt att vidta nödvändiga trafiksäkerhetsåtgärder.
Aktuella kartor över tunnelsystem skall inhämtas från regionen, dessa studeras och medförs vid arbetet.
Regionen skall alltid kontaktas i god tid före tunnelbesök. Dessutom skall jourhavande arbetsledning informeras vid upp och nedstigning i tunnlar under icke ordinarie arbetstid.
Vid behov av manövrering av pumpar får detta endast utföras av därför avdelad personal.

Vaccination:

Arbetstagare som i sitt arbete utsätts för avloppsvatten, avloppsslam eller latrin skall ha ett fullgott skydd mot polio, stelkramp, hepatit A och B. Vaccination mot övriga sjukdomar skall ges vid behov.

Nedstigning och vistelse i tunnel

Utför luftprov vid nedstigning och fortlöpande i erforderlig omfattning med kontrollinstrument (O₂, H₂S, CO och explosiva gaser).

Varje arbetstagare skall vara utrustad med personlig skyddsutrustning.
Medtagen el-utrustning skall vara försedd med jordfelsbrytare och spolsäker.
Minst en vakt skall finnas vid varje nedstigningsöppning.
Vakt skall informeras om erforderlig tidsåtgång för tunnelarbete samt vägbeskrivning.
Vakten skall ha kunskap om användning av räddningsutrustning.
Anmälan skall ske till tunnelledaren vid ned- och uppstigning.

Vid nödsituation eller om tunnelfolket inte återkommer inom avtalad tid skall vakten:

Larma - 112

Rädda människor i fara, ge den skadade första hjälpen.

Vakt skall avvakta räddningstjänsten eller undsättning innan han kan gå ner i tunneln.

Städning:

Alla som utför arbeten i tunnlar eller på annat sätt skräpar ned är skyldiga att städa efter sig.

Händer och utrustning skall rengöras direkt efter tunnelbesök. Tvättutrustning medförs eller finns vid nedgångsöppning.

Avvikelse:

Rapporteras till arbetsledningen.

Olycksfall anmäls på arbetsskadeblankett.

Tillbud och avvikelse anmäls på avvikelse/ tillbudsblankett

Dokumentnr: H.5.2.2.1	Dokumentnamn 13 Checklista för vistelse i avlopps- och dagvattentunnel/kulvert .	Utgåva: 4	Sida: 146 (165)
Ansvarig för dokumentet: Björn Backlund	Granskad och fastställd av: Krister Sörling	Signatur:	Gäller från: 2016-05-24

Checklista för vistelse i tunnel

Plats:.....

Tid och datum:.....

	Ja	Nej
Är bergtunneln besiktad och eventuellt skrotad/förstärkt?	☐	☐
Om nej varför.....		
Skall bergkunnig tillkallas?	☐	☐
Om nej varför.....		
Är tunneln luftad minst ett dygn före tillträde?	☐	☐
Om nej varför.....		
Är väderprognosen avlyssnad före tillträdet?	☐	☐
Om nej varför		
Är alternativa utrymningsvägar kontrollerade och öppnade?	☐	☐
Om nej varför		
Är ryggbågen kapad och förberedd för vinschning och därefter försedd med kätting ?	☐	☐
Om nej varför		
Finns aktuella kartor över tunnelsystemet?	☐	☐
Om nej varför		
Är jourhavande arbetsledning informerad vid arbete under icke ordinarie arbetstid?	☐	☐
Om nej varför		
Behöver nödvändiga trafiksäkerhetsåtgärder vidtas?	☐	☐
Om nej varför		
Finns behov av manövrering av pumpar?	☐	☐
Om nej varför		
Har samtliga arbetstillstånd för detta arbete	☐	☐
Om nej varför		

Antal deltagare i nedstigningen i tunneln.....

Vakter:

Namn.....telefonnummer på plats.....

Namn.....telefonnummer på plats.....

Namn.....telefonnummer på plats.....

Ansvarig under tunnelvistelsen:.....

Skall se till att reglerna följs, och att arbetet avbryts om så erfordras

Underskrift tunnelledaren:.....

Denna blankett sparas ifylld under minst ett år och delges Jouren

Underskrift sektionschef:.....

Underskrift samordningsansvarig för arbetsmiljön:.....

Företag:.....

Bilaga 4 - Käppalaförbundets rutin för arbete i tunnel



Instruktion

Kravreferens	Sid
AFS 2001:1	148 (2)
Dokumentnummer	
KF S 2017-00036	

Gäller fr.o.m.	Version	Utfärdat av
2017-04-11	1	Linda Taberman

Godkänt datum	Godkänt av
	Andreas Thunberg

Rutin för arbete i tunnel

Syfte

Syftet med denna rutin är att fastställa de regler som gäller inom Käppalaförbundet vid arbete i tunnel. Detta för att uppfylla svensk lagstiftning och de certifieringskrav som förbundet valt att följa.

Tunnlar inom Käppala

Hela Käppalaförbundets tunnelsystem omfattas av denna rutin. Exkluderat är arbeten på de mät- och pumpstationer som finns anslutna längs tunneln.

Ansvar

Arbete i tunnel får endast ske efter skriftlig tillståndsgivning. Samordningsansvarig är produktionschefen på Käppalaförbundet. Inget arbete i tunnel får utföras utan ledning av upphandlad dyk- och säkerhetsentreprenör.

För tillståndsgivare se Tillståndsgivare Käppala.

Tillståndsgivare på Käppala ansvarar för att:

Kontrollera genomförd riskanalys inför aktuellt arbete och på det basera sitt beslut om tillståndsgivning.

Stämma av mot övriga pågående arbeten med samordningsansvarig.

Upphandlad dyk- och säkerhetsentreprenör ansvarar för att:

Genomföra riskbedömning inför varje arbete tillsammans med de som ska delta i arbetet.

Bistå alla som deltar i arbete i tunnel med tillräcklig skyddsutrustning.

Genomföra provtagning och analys av sediment när det påträffas.

Lämplig utrustning för att utföra arbetet finns tillgänglig, är kontrollerad och, om tillämpligt, kalibrerad.

Leda arbetet i tunneln så att kan utföras med högsta rimliga säkerhetsnivå.

Samordningsansvarig på Käppala ansvarar för att:

Samordna tunnelarbetet med övriga pågående arbeten och driftlägen så att tunnelarbetet kan utföras med högsta rimliga säkerhetsnivå.

Den som deltar i arbete i tunnel ansvarar för att:

Utföra arbetet i enlighet med vad som beskrivs i denna rutin.

Tillståndsgivning

En riskanalys ska genomföras och dokumenteras innan tillståndsgivning, tillsammans med samtliga som ska delta under arbetet. Ett nytt tillstånd ska utfärdas då:

- Arbete sker i en annan del av tunneln än det ursprungstillståndet anger
- Annan personal involveras i arbetet i det slutna utrymmet men som inte tidigare angivits på ursprungstillståndet
- Arbetet sträcker sig över till nästa skift/dygn
- Förutsättningar och risker förändras i arbetsområdet

Bemanningskrav

Arbete i tunnel får aldrig utföras ensam. Arbete i tunnel ska alltid utföras tillsammans med personal från upphandlad dyk- och säkerhetsentreprenör som säkerställer att arbetet utförs på ett säkert sätt.

Bilaga 5 - Tunnelföreskrifter inom Göteborgsregionen

TUNNELFÖRESKRIFTER

SÄKERHETSFÖRESKRIFTER OCH ALLMÄNNA ANVISNINGAR FÖR TUNNLAR OCH KULVERTAR INOM GÖTEBORGSREGIONEN

Tunnelföreskrifterna utgör ett komplement till övriga gällande lagar och föreskrifter som rör tunnlar och kulvertar. Tunnelföreskrifterna är upprättade av

Gryaab AB
Göteborg Energi AB
Göteborg Energi Nät AB
TeliaSonera Sverige AB
Kretslopp och vatten, Göteborgs stad

<u>Tunnelägare</u>	<u>Dagtid</u>	<u>Beredskapstid</u>	<u>Kontaktperson</u>	<u>Direkt</u>
--------------------	---------------	----------------------	----------------------	---------------

Fastställd 2017-02-01

Version 2

Förtydligande:

I denna version 2 av dessa Tunnelföreskrifter gällande från 2017-02-01 är texten på sidan 3 utbytt enligt följande: *i Alelyckan, och Härlanda tjärn.* är utbytt mot *för dricksvattenproduktion*. Enstaka stavfel och viss layout är också ändrad.

ALLMÄNT

Obehörig person äger inte tillträde till tunnlarna.

Hos respektive tunnelägare ska finnas en kontaktperson. Behörighet för att vistas i tunnel beslutas av respektive huvudman.

Behörig som har anledning att vistas i tunnlarna ska tilldelas tunnelföreskrifterna och instrueras om innebörden av dessa.

Mottagen tunnelföreskrift kvitteras på mottagningsbevis som finns på sista sidan och arkiveras därefter hos respektive tunnelägare.

Beakta att respektive tunnelägare kan ha kompletterande bestämmelser utöver tunnelföreskrifterna.

För arbeten i Telias och Göteborg Energi Fjärrvärmestunnlar krävs arbetstillstånd enligt särskild blankett ”Ansökan om arbetstillstånd”. För arbete i Gryaabs tunnlar ska avställningsblankett och arbetsmiljöplan lämnas till Gryaabs Tunnelingenjör.

Det är förbjudet att vistas ensam i tunnel. Arbetskamrat eller annan behörig person ska finnas inom hör- eller synbart avstånd. Undantag kan medges för tunnelägarens personal vid arbete i Göteborg Energi Nät AB: s transformatorstationer samt för tillsynsarbete i Kretslopp och vattens bergrum för dricksvattenproduktion.

Rökning är förbjuden i tunnlarna.

Fotografering är förbjuden i tunnlarna. Undantagsvis kan respektive tunnelägare ge dispens.

Vid vistelse i tunnel föreligger skyldighet att förvissa sig om var närmaste telefon finns samt vilka utgångar och stigorter som är tillgängliga för in- och utpassering.

All obehörig beröring av installationsdelar som exempelvis manöverknappar, rattar, vred, ventiler m. m är absolut förbjudet.

Rör, ledningar och kablar med tillhörande anordningar får inte användas som gångbryggor eller på annat sätt utsättas för belastning.

Kontrollera att ingen person lämnas ensam kvar i tunnel.

Vid akut nödsituation - larma via 112. Därefter informera berörd driftcentral. Ordna mottagande och vägvisning för räddningspersonal.

All in- och utpassering i tunnlarna ska alltid anmälas till respektive tunnelägare enligt de regler denne tillämpar.

Notera att det finns flera tunnlar med mer än en ägare samt att det kan vara en ägare för påslagstunneln och en för huvudtunneln. I dessa fall måste bägge tunnelägarna informeras vid in- och utpassering.

Vid planerade arbeten i tunnlarna ska tunnelägaren informera övriga berörda.

Skyddsobjekt

Flera av tunnlarna är skyddsobjekt.

Bevakning av skyddsobjekt

Respektive tunnelägare utfärdar egna bestämmelser

ARBETSPLATS

När gång och transportväg under pågående arbete är spärrad för passage ska detta markeras med röda elektronblyxtlampor eller fasta signallampor på båda sidor av berörd tunnelsektion. I de flesta torra tunnlar finns fasta röda signallampor för avstängning av berörd tunnelsträcka.

Vid arbete som hindrar genomfart och som beräknas pågå mer än en dag ska skylt "Arbete pågår" utplaceras på båda sidor av berörd tunnelsektion. Dessutom ska berörd tunnelägare informeras.

BELYSNING – NÖDBELYSNING - UTRYMNINGSMARKERING

I vissa tunnlar är belysningen uppdelad i sektioner.

I vissa tunnlar kan belysning saknas helt.

I Telias tunnlar släcks belysningen automatiskt efter fyra (4) timmar och måste vid behov åter tändas.

I vissa tunnlar finns ledbelysning. Ledbelysningen skall alltid lysa och vara till hjälp för orientering.

Som nödbelysning i samtliga anläggningar används medhavd handlampa, till vilken reservglödlampa, eller extra handlampa, ska medföras.

I vissa tunnlar finns nödbelysningsarmaturer som vid strömavbrott fungerar i högst två timmar.

I vissa tunnlar finns nödbelysning i form av belysta och efterlysande markeringar som utformats till vägvisare.

Glöm inte att släcka belysningen efter besök. För aktivering av efterlysande markeringar finns belysning som inte kan släckas.

BRAND

Om brand uppstår: Ring räddningstjänsten telefon 112 och försök om möjligt släcka. Utsätt dig dock inte för några risker. Lämna/utrym om fara uppstår.

Ange om möjligt två av varandra oberoende infarter.

Brännbara vätskor eller kemiska ämnen får inte införas i tunnlar i större kvantiteter än de som erfordras för högst en dags arbete. Gasflaskor el liknande får ej förvaras i tunnel efter arbetets slut för dagen.

Arbetsställningar och lämmar m. m av trä samt presenningar av brännbart material ska undvikas.

Hiss får inte användas vid brand.

ELKABLAR 0,4 kV - 130 kV

I vissa tunnlar finns elkablar vars driftspänning kan vara från 0,4 kV till 130 kV. Alla kablar ska betraktas som driftsatta.

Vid elsvetsning är det förbjudet att ansluta återledaren till blank jordledare, jordledarplint, kabelarmering eller till andra ledande delar i kablar. Klämman för återledare ska anslutas så att svetsströmmens återväg till svetsaggregatet med säkerhet kan förutses.

För att undvika personskada ska skydd anbringas mellan arbetsstället och elkabeln. Kontakta Göteborg Energi Nät AB.

Elkablar ska alltid skyddas när arbete pågår i närheten.

ENTREPRENÖR

Entreprenör som utför arbete i tunnel ska i god tid före arbetets början ansöka om tillstånd för arbetena samt lämna namn och personnummer på personal de kommer att använda för denna verksamhet.

Entreprenörens personal ska om tunnelägaren så kräver bära synlig namnbricka som tillhandahålls av tunnelägaren. Namnbrickan överlämnas tillsammans med säkerhetsföreskrifterna. Entreprenörens personal ska kunna visa legitimationshandlingar som visar hans tillhörighet till entreprenören.

Entreprenören ska delge sin personal tunnelföreskrifterna och instruera om innebörden av dessa. Dokumentation om delgivningarna skickas till tunnelägaren.

FELRAPPORT

Fel som inträffar eller upptäcks på kablar och ledningar eller annan utrustning ska anmälas till berörd tunnelägare.

Nedfallna stenar eller tecken på ras från betong eller berg ska omedelbart meddelas till respektive tunnelägare.

GASFLASKOR

Användning av gas och gasol ska om möjligt undvikas i tunnlar och kulvertar.

Exempel på gaser är brännbara gaser (t.ex. acetylen, gasol och vätgas),

brandunderhållande gaser (syrgas, oxygen) samt obrännbara gaser

(nitrogen, argon och koldioxid).

Vid användning av acetylen ska både acetylen¹ (bränngas) och syrgas² (oxygen) vara försedda med godkända bakslagsskydd samt backventiler mellan svetshandtag (brännarhandtag) och slang.

I tunnel eller på arbetsplatsen får endast finnas det antal gasflaskor som behövs för arbetets utförande. Säkerhetsregler utfärdade av Svenska Brandskydds-föreningen ska följas.

Gasflaskor får inte kvarlämnas på arbetsplatsen efter arbetstidens slut, de ska förvaras i utrymme utanför tunnel.

Gasflaskor ska vid transport eller då de inte är i bruk alltid vara försedda med påskruvad skyddskåpa. Skyddskåpan skyddar flaskventilen mot skador. Flaskventilen ska vara stängd och försedd med tätpropp. Gasflaskor ska transporteras stående och säkras så att de inte kan förskjutas och skadas. Lastutrymmet ska ha god ventilation. Fordon som återkommande används för transport ska märkas med skylt "Gasflaskor – förs i säkerhet vid brandfara".

Om gasläcka befaras eller har uppstått, tänd eller släck inte det elektriska ljuset förrän felet är avhjälpt och gasen har bortventilerats.

Vid akut nödsituation - larma via 112. Därefter informera berörd driftcentral. Ordna mottagande och vägvisning för räddningspersonal.

HETA ARBETEN

För att utföra heta arbeten krävs certifikat.

¹ SÄIFS 1998:7

² Svetskommissionens regelguide för säker gashantering

Godkänt certifikat för heta arbeten som är utfärdat av Svenska Brandskyddsföreningens eller dess motsvarighet i Finland, Norge och Danmark ska alltid medföras.

Respektive tunnelägares rutiner för heta arbeten ska följas.

Skyddshandske (brandhandske), slang med vatten eller 2 st. pulverbrandsläckare i lägst effektivitetsklass 34A 233B C (minst 6 kg) samt brandfilt och ventilnyckel

(acetylen) ska ingå i utrustningen för omedelbar släckinsats

Vid svetsningsarbeten ska kablar och ledningar skyddas med tillfälligt skydd.

Vid elsvetsning är det förbjudet att ansluta återledaren till blankjordledare, jordledarplint, kabelarmering eller till andra ledande delar i kablar.

HISSAR

Efter användning av hiss ska den alltid återställas till det övre planet.

LARM

De flesta portar, dörrar och luckor är larmade. Läs noga tunnelägares anvisningar för hur larmet kan kopplas av och på eller till vem in- och utpassage ska meddelas.

Giltiga koder för bortkoppling av larm finns hos respektive tunnelägares kontaktman.

Om larmet utlöses sker uttryckning av vaktbolag. Kostnaden för larm orsakat genom slarv debiteras den vars personal utlöst larmet.

NYCKLAR/KORT

Nycklar/kort hanteras och utlämnas av respektive tunnelägare enligt interna bestämmelser.

Nycklar/kort får inte förvaras obevakade.

Nycklar/kort ska hanteras på samma sätt som andra värdehandlingar.

Den som erhållit nyckel/kort ansvarar för att nyckeln/kortet inte förkommer och att nyckeln/kortet på uppmaning kan uppvisas eller återlämnas.

Förlust av nyckel/kort ska omgående anmälas till tunnelägaren.

ORIENTERING

Vid grenpunkter och utfarter finns vägvisare. Tunnelsektionerna är i regel längdmarkerade på exempelvis ledningar, körbana, gångbana eller skyltar.

PORTAR - DÖRRAR - LUCKOR

Alla portar, dörrar, luckor kan för utpassering öppnas utan nyckel. Där inte panikregel är installerad kan öppning ske med vanligt dörrhandtag utan nyckel.

Dörr som för utpassering leder via TeliaSoneras stationer kan endast öppnas med TeliaSoneras nyckel och är därför olämpliga som utrymningsvägar. Telefon finns monterad på tunnelsidan vid sådan dörr och kan vid brand eller annan fara användas för larm till 112.

Port, dörr eller lucka får inte lämnas obevakad om den lämnas öppen. Detta gäller även vid korta in- eller utpasseringar. Se även kapitlet VÅTA TUNNLAR.

Portar mellan torra och våta tunnlar ska hållas stängda.

Kontrollera att portar och luckor är låsta när anläggningen lämnas. Kontrollera också att eventuellt larm blir påkopplat och att ljuset är släckt.

RESERVKRAFT

Vid användande av reservkraftaggregat måste särskild arbetsmiljöplan upprättas och godkännas av tunnelägaren. Viktigt är att det sörs för god ventilation.

SEKTIONSLJUS

I vissa tunnlar är transportsträckorna försedda med rött sektionsljus som ska förhindra trafikmöten inom den tända sektionen. Sektionsljuset tänds/släcks vid gren- eller ändpunkter. Var noga med att tända och släcka vid förflyttning mellan sektioner.

SJUKVÅRDSUTRUSTNING

Vid arbete eller besök i tunnel medtages egen förbandslåda.

Sjukbår på hjul finns på platser märkt med samaritskylt: Vitt kors på grön botten.

SKYDDSUTRUSTNING PERSONLIG

Skyddshälm och skor med stålhätta är obligatorisk och ska alltid användas. Respektive huvudman kan ha ytterligare krav.

I fordon och maskiner som nyttjas under jord ska finnas tillräckligt många flyktfilter för det antal personer som kan transporteras med dem.

STUDIEBESÖK

Respektive tunnelägares interna regler ska följas.

Allmänt gäller att studiebesök ska tillåtas mycket sparsamt. Studiebesöket ska bedömas ha mycket stort värde för de besökande och det ska alltid godkännas av respektive tunnelägare.

En ansvarig person ska alltid följa med besökande. Den ansvarige svarar för de besökandes säkerhet.

TELEFON

Telefon finns vid vissa tunnelingångar och stigschaktshissar samt dessutom på cirka var 500:e meter inom de torra tunnelsystemen.

Observera att kommunikation med mobiltelefon eller personsökare inte fungerar i tunnarna.

Anläggningar med telefon

Gryaab	Rösbotunneln, Röda Sten
Göteborg Energi	Samtliga tunnlar
TeliaSonera	Samtliga tunnlar

TRANSPORTER

Bilar och specialfordon får endast införas i tunnel om så är nödvändigt för anläggnings- och underhållsarbete samt framföras med största försiktighet. Max hastighet är 20 km/tim.

För transport med fordon på gång- eller cykelbana för underhållsarbete i tunnel krävs beslut av trafiknämnden om undantag från lokal trafikföreskrift. Fordon som framförs på gång- och cykelbana samt lokala körbanor för nedfart i transporttunnel ska framföras med gånghastighet och påslagen ”saftblandare” eller blixtljus. Fordonet ska vara märkt med tillståndshavarens logotype.

För att minimera risk för brand i tunnelsystemen ska diesel eller paraffinolja (Ecopar) användas som bränsle i fordon och arbetsmaskiner. *Se Räddningstjänsten Storgöteborg rapport Risker med olika bränslen i tunnlar 2015-05-20 diarienummer 0307/15*

Alla fordon, som används för transport inne i tunnelsystemen, ska vara utrustade med två stycken pulversläckare 34A 233B C 6 kg.

Tomgångskörning är absolut förbjuden.

Fordon, transportmaskiner och lastmopeder ska efter arbetsdagens slut placeras vid tunnelutgång respektive stigort eller på annan lämplig plats och på ett sådant sätt att fri passage med exempelvis brand- och servicefordon alltid kan ske.

Tankning av fordon eller motorredskap är förbjudet i alla tunnlar.

Parkering av privatbilar får inte ske i tunnel.

Parkering av tjänstebil i tunnel får endast ske där det är nödvändigt för arbetets utförande. Bil ska parkeras så att fri passage möjliggörs.

VENTILATION

Ventilationsanläggning finns i de flesta torra tunnlar.

Fläktarna i Angeredstunnlarna är tidsstyrda och är i drift mellan kl 03-06 varje dygn. Vid manuell start, vid Eriksbo, går dessa fläktar i två timmar. Vid varje port eller lucka finns nödstopp som används för att exempelvis minska rökspridningen i samband med eventuell brand. Om nödstoppet används stannar samtliga fläktar. Vid återstart måste nödstoppsreglaget först dras ut.

I Teliasoneras tunnlar är fläktarna tidsstyrda och är i drift mellan kl 00-03 och 08-15 varje arbetsdygn. Fläktarna kan manövreras manuellt vid varje fläkt.

I Göteborg Energis tunnlar är alla fläktar tids- eller termostattyrd. De tidsstyrda fläktarna är i drift mellan kl 05-16 varje dygn. Efter manuell start måste de också stoppas manuellt. Nödstopp finns vid varje fläkt.

Port mellan tunnelsektioner ska stängas efter in- eller utpassering annars fungerar inte ventilationen på rätt sätt. Detta gäller dock inte port vid grenpunkt Gårdsten, vilken måste vara öppen för en fungerande ventilation.

VÅTA TUNNLAR

Tunnelbesök får endast ske vid normala eller låga avrinnings- och nivåförhållanden. Avstämning om väderförhållanden ska alltid ske med respektive tunnelägare.

Om möjligt ska ventilation ordnas genom att öppna portar i varje ände av den tunneldel där arbete utförs.

Vid arbete i våta tunnlar ska det alltid finnas en tunnelvakt utanför aktuellt tunnelpåslag. Tunnelvakten ska vara ständigt nåbar för att kunna ta emot information från tunnelägaren.

Om låsbara gallergrindar försedda med nödvred monteras i en andra portöppning för ventileringsbehövs ingen vakthållning vid denna port.

Vid arbeten endast i själva tunnelpåslaget eller tillfartstunneln är det tillräckligt att ha en kätting med förbudsskylt som hängs över tunnelinfarten.

Minst två gasvarnare ska alltid medföras som ska varna för förekommande gaser. Gasvarnaren ska därutöver kontinuerligt mäta förekomsten av syre, svavelväte och explosiva ämnen.

Skyddsmask med filter mot minst svavelväte och lösningsmedel ska medföras, samt syrgas som räcker minst 20 minuter. Vid kortare arbeten (besiktning, mätning, provtagning mm) i tunnelpåslag eller transporttunnel räcker det med skyddsmask samt två gasvarnare.

För kortare besök såsom studiebesök eller liknande ska särskild riskbedömning göras avseende behov av skyddsutrustning.

Vid plötslig lukt av lösningsmedel eller bränsle ska skyddsmask omgående sättas på och tunneln omedelbart lämnas. Kontakta räddningstjänst och respektive tunnelägare. Med tanke på risken för gnistbildning får under inga omständigheter fordon användas.

Halkskydd ska användas om det är aktuellt att gå i den våta tunneln.

Vid båtfärd ska flytväst användas. Båten ska vara utförd av gummi och de uppblåsbara delarna ska vara sektionerade. Båten ska vara utrustad med åror, båtshake, luftpump och lång lina.

Vid vadning ska flytväst, stav och livlina för sammanlänkning användas.

I övrigt gäller ovanstående regler för ”Skyddsutrustning Personlig” även i våta tunnlar. Var noga med hygien efter besök i våta tunnlar.

Normalt ska det vara två arbetsfordon som kör tillsammans vid arbeten i våta tunnlar. Ett back-up fordon ska finnas tillgängligt för att kunna undsätta vid någon form av tillbud. Fordon som framföres i tunnel ska ha fyrhjulsdrift med skyddad placering av generator samt vara utrustad med extra belysning.

Portar får inte lämnas olåsta.

Det finns ingen permanent belysning i våta tunnlar.

ÅNGA

Vattentemperaturen i fjärrvärmerören kan vara över 100°C. Vid eventuellt läckage bildas ånga. Även ett litet läckage kan orsaka svåra brännskador och begränsa sikten så att utrymning försvåras.

Om ångutsläpp upptäckts ska tunneln utrymmas kontakt tas med Göteborg Energi AB - Fjärrvärme.

ÖVERSIKTS- OCH INSATSPLAN FÖR BERGUTRYMMEN

För bergutrymmen inom Göteborgsregionen finns en översikts- och insatsplan som är avsedd som ett hjälpmedel vid räddningsinsatser och för orientering. Planen finns hos respektive tunnelägare samt hos Räddningstjänsten.

MOTTAGNINGSBEVIS

Härmed intygas att jag informerats om och mottagit ett exemplar av tunnelföreskrifter för tunnlar och kulvertar inom Göteborgsregionen gällande fr.o.m. **2017-02-01**.

Jag förbinder mig att noggrant iaktta och tillämpa dessa föreskrifter.

Jag ansvarar för att person som följer med mig i tunnlar och kulvertar inom Göteborgsregionen informeras om innebörden av dessa föreskrifter.

Göteborg den

Namnteckning

Företag

Namnförtydligande

Företagets telefonnummer

Mobiltelefonnummer

E-post

Bilaga 6 - VA-projekt, inspektion av förbindelseledningar förlagda i och mellan tunnelsektioner



INLEDNING;

Förbindelseledningar är ledningar som ligger förlagda mellan och i olika tunnelsektioner i vårt tunnelsystem. Delar av dessa ledningar ligger förlagda under vattendrag. Ledningar som denna text innefattar är; Agnesberg/Bäckebo under Göta Älv, Röda Sten/Färjenäs under Göta Älv, via ledning i "torr" tunnel samt mellan, Järnväggsgatan/Varbergsgatan under Mölndalsån.

VAD SKALL INSPEKTERAS;

Förbindelseledningar förlagda i tunnel, mark och under vatten.

VARFÖR BEHÖVER LEDNINGARNA INSPEKTERAS;

Ledningarna inspekteras för att Gryaab skall ha en god kontroll av ledningarnas status, detta för att kunna besluta om framtida underhållsåtgärder. Vi skall även löpande kunna lämna information om förbindelseledningarnas status till Länsstyrelsen.

HUR SKER INSPEKTIONEN;

Vi har undersökt olika mätmetoder för att kunna status bestämma ledningarna som inte är åtkomliga från utsidan. Mätning från insida ledningen har visat sig vara besvärligt. Då projektet startade 2011, fanns det inte så mycket referenser på sådana mätningar, speciellt på större ledningsdimensioner, dvs. DN600-1400 samt med de längder det är frågan om, 100-800m.

I vårt fall så vill vi ju mäta statusen på betonginfodringen samt även bakomliggande stålmantel. Just denna kombination är svår att utföra.

Vi har tillsammans med DEKRA Kontroll AB tagit fram en ROV (Fjärrstyrd robot) som mäter tjocklek på stål med hjälp av ultraljud, kontrollera eventuellt slitage med hjälp av laserskanning samt även filmar ledningen för att kunna göra en visuell kontroll.

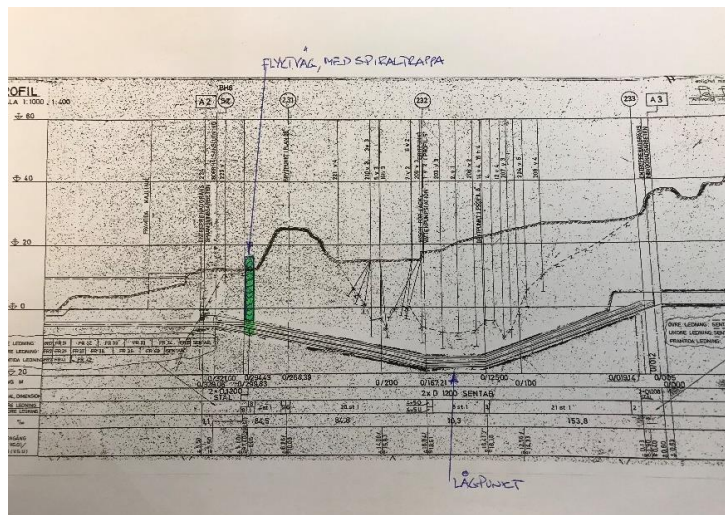


För att kunna inspektera ledningen behöver vi därför tömma och spola ledningen innan inspektionen görs.

Vi har nu lyckats genomföra inspektioner i alla ovan nämnda sträckor. Det har tagit tid på grund av att alla sträckor har haft olika förutsättningar för att kunna tömmas och inspekteras.

Nedan följer några exempel på åtgärder som vi fått göra för att kunna inspektera ledningarna;

- För ledningar mellan Röda Sten och Färjenäs så byggdes ett 20m djupt flyktschakt. Detta för att kunna jobba i tunneln på ett säkert sätt. Tunneln hade endast en utgång och i mitten av den en lågpunkt, detta innebar att vid arbete längst inne i tunneln kunde man vid eventuellt brott på ledningarna bli instängda. (Se nedan ritning, Tunnel Röda Sten Profil)



Tunnel Röda Sten Profil

Eftersom vi i tunneln har 2st 1200mm betongledningar så blev projektet med att anlägga flyktschaktet speciellt. Vi var rädda för att arbetet med schaktet skulle kunna skada ledningarna, framför allt, vibrationer från sprängningar.

Vid upphandling fick entreprenörerna beskriva hur dom tänkt utföra arbetet. Vi fastnade då för en metod som innebar att man wiresågade sig ner genom berget. Schaktet anlades så att man kom ner ett par meter vid sidan om vår tunnel, när vi nått önskat djup så sågades en förbindelse tunnel in till befintlig tunnel.

Se nedan bilder.



Wiresågning startar



Wiresågning ner en bit i berget



Wiresågning för förbindelstunnel förbereds



Stenblock från förbindelstunnel på väg ut.



Förbindelstunnel klar



Schakt på 20m, byggnation av fundament

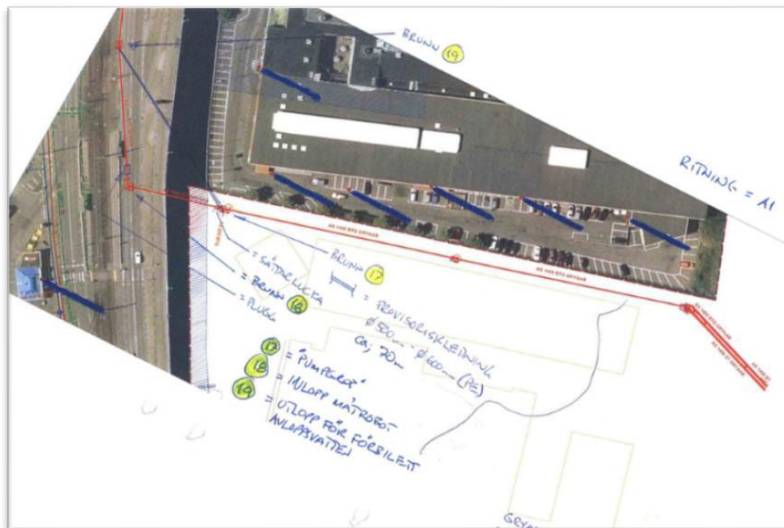
- För ledning under Mölndalsån så var vi tvungna att bygga en provisorisk ledning förbi den ledningssträcka som skulle inspekteras. Detta för att mellan tunnlarna, Järnvägsgatan och Varbergsgatan ligger det bara förlagd en ledning. Ledningen som i detta fallet skulle inspekteras är en, 30m lång stålledning och har en diameter på 1000mm. Den installerades i slutet av 1960-talet.

Inspektionen utfördes i början av december 2018. Dieseldrivna pumpar hyrdes in, beräknad kapacitet på ca; 450l/s. Provisorisk bro byggdes över Mölndalsån. Pumpar installerades för att suga från brunnar uppströms ledningen och sedan via ledningar över den provisoriska bron till brunnar nedströms ledningen. (Se ritning; **"Layout A1 tillfällig ledning Mölndalsån"**)

Alldeles innan ledningen går in under Mölndalsån är det byggt en kammare med uttag för en sättlucka. I samband med detta projekt så byggdes en lucka för att placeras i ovan nämnda kammare. Den byggdes i stål och förseddes med en uppblåsbar packning runt kanten. Luckan var helt tät.

Arbetet med inspektionen genomfördes på natten eftersom vi har lägst flöde i ledningen, samt att vi även var tvungna att stänga av Mölndalsvägen i norrgående riktning.

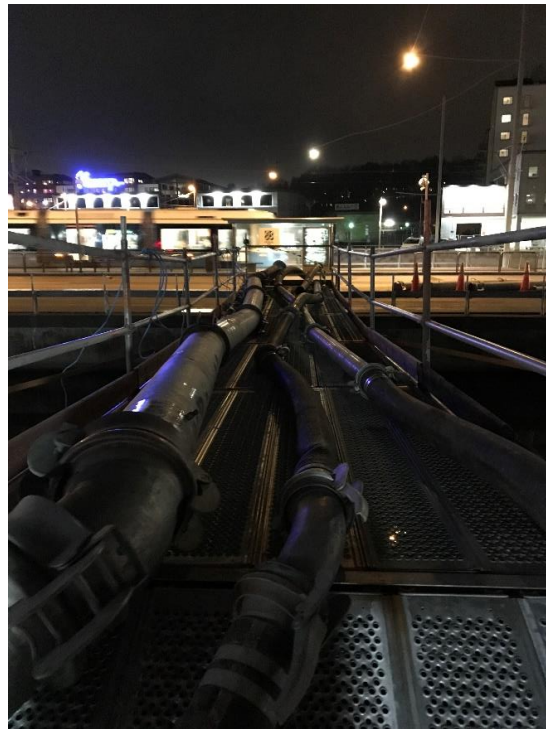
Ledningen tömdes med slamsugningsbilar och inspekterades, vi kunde konstatera att ledningen var i gott skick.



Layout A1 tillfällig ledning Mölndalsån



Provisoriska pumpar



Provisorisk bro

RESULTATEN AV INSPEKTIONERNA;

Resultatet av inspektionerna finns i rapportform samt en film för varje enskild ledning.

Genomgående kan man sammanfatta med att besiktigade ledningar är i gott skick.

På en sträcka av ca

80m på en ledning på sträckan Agnesberg/Bäckebo så såg man armeringen på betongledningen, vid inspektion 2015. Denna sträcka relinades under 2016. En ”strumpa” drogs in i ledningen och denna hårdas inne i ledningen och man får på detta sett ett armerat rör inne i betongledningen.

Plan finns för när nästa inspektion skall göras, återkommande inspektioner görs med ett 5 års intervall. I en av ledningarna kommer inspektionen att göras med lite kortare intervall.



Box 14057 • 167 14 Bromma
Tfn 08 506 002 00
Fax 08 506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se