



## TYPSEKTIONER FÖR VÄGTUNNLAR I BERG

Christer Andersson

Tomas Sandman



# **TYPSEKTIONER FÖR VÄGTUNNLAR I BERG**

## **Standard sections for road tunnels in hard rock**

Huvudförfattare:

Christer Andersson, Ramböll

Tomas Sandman, Ramböll

Arbetsgrupp knuten till utredningen:

Christer Andersson, Tobias Tyberg, Martin Edelman, Tomas Sandman,

Ingemar Uhlin, Håkan Olofsson, Håkan Stenlund, Ali Farhang/Ramböll.

Lars Österlund/ÅF Infrastructure.



## Förord

Trafiktunnlar löser många av de utmaningar som finns idag och för närvarande projekteras och byggs såväl väg- som spårtunnlar i stor omfattning. Tunnlarnas utformning varierar från projekt till projekt vilket beror på funktionskrav, geologiska förhållanden och andra yttre faktorer men också på vilken projektör eller entreprenör som utfört arbetet. Det finns idag heller inga klara riktlinjer eller krav i Sverige som styr layout eller typsektioner för tunnelutformningen. Eftersom storleken på tunnelsektionen är en av de mera kostnadsdrivande komponenterna i ett bergtunnelprojekt bör en tunnelsektion med minimerat berguttag och som är anpassat till en effektiv arbetscykel eftersträvas.

I ett arbete som Trafikverket genomfört har det konstaterats att standardiserade konstruktionslösningar för typsektioner har potential att leda till både kostnads- och tidsvinster totalt sett för vägtunnelprojekt i berg, det vill säga för såväl projektering, byggande och drift av anläggningen. Genom att använda kända och beprövade lösningar kan effektiviteten höjas, byggtiden reduceras och kostnader för att hålla kravnivån på funktion och kvalitet kan sänkas. Standardiserade typsektioner ger också en förutsägbarhet i tidigt skede för beställare och projektörer och senare också för entreprenören i samband med byggskedet.

Utvecklingsprojektet är ett steg för att hitta lämpliga typsektioner för vägtunnlar baserat på några olika fall avseende tunnellängd med hög trafik i urban miljö. I projektet har man utgått från ett fritt inre minimimått för två respektive tre körfält med hänsyn till ventilation och lösningar för placering av tvärtunnlar, VA och kanalisation för installationer och kraftförsörjning. Arbetet baseras bland annat på en workshop där kompetenser från olika fackområden samlades för att kommentera och diskutera olika förslag. Denna rapport beskriver arbetet och dess resultat med förslag till typsektioner för diskussioner i en vidare krets.

Utvecklingsprojektet initierades av Trafikverket och BeFo gav genom en riktad utlysning Ramöll uppdraget att utföra projektet. Det leddes av Christer Andersson och Tomas Sandman, båda Ramböll. Övriga medverkande i arbetsgruppen var Tobias Tyberg, Martin Edelman, Ingemar Uhlin, Håkan Olofsson, Håkan Stenlund, Ali Farhang (samtliga Ramöll) och Lars Österlund (underkonsult och egen verksamhet). En referensgrupp bestående av Lars Martinsson, Per Thunstedt, Liselott Berndtsson, Lars Elertson, Håkan Ahlström (samtliga Trafikverket), Terje Kirkeby (Statens Vegvesen), Anders Wengelin (KTH) och Per Tengborg (BeFo) har bidragit med synpunkter under projektets gång. Projektet finansierades av BeFo (Stiftelsen Bergteknisk Forskning).

Stockholm i november 2016

Per Tengborg



## Sammanfattning

I takt med att miljö-, hälso- och säkerhetsmotiv kommit att påverka transportinfrastrukturen har vägtunnlar blivit allt vanligare i Sverige. Eftersom erfarenheten av moderna vägtrafiktunnlar är relativt begränsad i Sverige har det lett till en viss osäkerhet i hur en väl avvägd utformning bör se ut, vilket medfört ibland kostsamma anläggningar. Det har aktualiserat ett behov av att utveckla en mer kostnadseffektiv projekterings- och byggprocess.

Föreliggande utredning är ett resultat av en bred övertygelse att projekterings- och byggprocessen för tunnlar kan bli mer rationell och kostnadseffektiv än vad den är idag samt att samhället som följd därav kan få mer trafikinfrastruktur för pengarna.

Det finns också ett stort behov av att tidigare i planeringsprocessen kunna genomföra enklare kostnadskalkyler för planerade väginfrastrukturanläggningar. Varje nytt tunnelprojekt tenderar att påverkas av många olika intressenter vars intressen i projekten ofta verkar kostnadsdrivande och att kostnaderna för offentliga väginvesteringar därför blir dyrare än nödvändigt (Riksrevisionen, RiR, 2010:25) och att det därmed finns risk att fel investeringar genomförs.

En orsak till kostnadsdrivande lösningar för vägtrafiktunnlar är avsaknaden av typiserade och evidensbaserade lösningar för säkerhet och funktion.

Begränsad erfarenhet inom området har inneburit att osäkerheten varit förhållandevis stor beträffande vad som kan anses vara bra nog. Osäkerheten resulterar ofta i kostnadsdrivande lösningar.

Denna utredning är ett första steg mot utveckling av typiserade lösningar för ett mer rationellt och kostnadseffektivt byggande med beaktande av väl avvägda funktionskrav.

Vägtunnlar kan vara korta eller långa, ha högst varierande trafikmängd, ligga i urban miljö eller i glesbygd. Det ställer naturligtvis olika och specifika krav på tunnelns utformning men för många ”vanliga” tunnlar finns det stora vinster i att utveckla standardiserade/typiserade lösningar.

De typiserade lösningar som redovisas i denna rapport är i första hand anpassade för bergtunnlar med en längd av cirka 500 till 1000 m på en högrafikerad vägsträcka utanför storstad. Ambitionen är emellertid att med utgångspunkt från de erfarenheterna som denna utredning har givit utveckla typiserade lösningarna även för andra tunneltyper, såsom t.ex.:

- Korta tunnlar mellan 100 – 500 m samt tunnlar längre än 1000 m
- Högtrafiktunnlar i urban miljö med av- och påfarter
- Betongtunnlar

I storstadsmiljö behöver tunnarna vanligen anpassas till så många andra befintliga anläggningar att användande av typsektioner inte alltid är ett relevant angreppssätt.

Rapporten omfattar inte bergförstärkning och bergdränering samt de utrymmen som kan krävas för detta.

Andra avgränsningar som gjorts är att den studerade tunneltypen i rapporten är fri från av- och påfartsramper. Sådana lösningar är mer vanliga i större tunnelsystem i storstadsmiljö.

Vid utrednings början (2014) var Boverkets föreskrifter och allmänna råd om säkerhet i vägtunnlar styrande dokument. Från och med 18 maj 2015 gäller Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om säkerhet i vägtunnlar, TSFS 2015:27. Rapporten har därför reviderats med beaktande av Transportstyrelsens föreskrift. Även nyutgåva av VGU år 2015 har föranlett revideringar.

De typiserade lösningarna har arbetats fram med hjälp av synpunkter från projektets referensgrupp samt en workshop på detta tema som genomfördes i BeFo:s regi.

Projektgruppens arbete har resulterat i ett förslag som innehåller följande huvudpunkter:

- I tvärtunnlarna för utrymning och räddningsinsats placeras där så är lämpligt även teknikrum.
- Tunnelavlopps- och dränvattenledningar läggs under höger vägren i båda tunnarna, ledning för vattenförsörjning läggs i en av tunnarna (ej i samma tunnel som kanalisationen).
- Kanalisation för installationer och kraftförsörjning görs under vänster vägren i en av tunnarna (ej samma som vattenledningen läggs i).
- Tunnlar och tillhörande installationer utformas med syftet att hålla antalet underhållstillfällen nere och därmed öka tillgängligheten och samhällsnyttan.
- Tunneln har en fri höjd om 4,7 m över hela dess bredd.
- Total bredd inklusive vägren blir 9,7 respektive 13,2 m för tunnlar med två respektive tre körfält.



I Transportstyrelsens föreskrift har även tunnlar i intervallet 100-500 meter inkluderats (BVT1 avsåg bara tunnlar över 500 m) varför det, i det fortsatta arbetet, finns skäl att utveckla typiserade lösningar även för dessa tunnllängder samt därmed också lösningar med ett körfält i vardera riktningen.

Nyckelord:

Vägtunnel, tvärsektion, teknikutrymme, vägren, kanalisation, VA-tunnel, inklädnad

## Summary

A standard cross section that can be used for road tunnel in Sweden is proposed in this report. The cross section is designed for a heavily trafficked road on the country side. It is found that it is not feasible to use standard cross sections in urban environments. This because of the existence of preexisting facilities underground that needs to be taken in account.

The work is limited to the inner cross section of the tunnel. The space you can see when travelling within it. Additional space for rock support and drainage is not included. The work is also limited to avoiding access ramps in the tunnel.

It is essential that the proposed section meets all legal demands. After compiling these a type tunnel was described (traffic, length etc.) and all geometries adjusted to meet the demands in this type of tunnel.

A steering group as well as a BeFo organized workshop has given input in the design works. The proposed design is based on the following main items.

- Cross tunnels between the road tunnels are used as emergency exits and access points for the fire brigade. In this design the cross tunnels are also used for technical installations.
- Sewer and drainage pipes are placed beneath the right shoulder in both of the tunnels. One pipe for wash and fire water is placed under the same shoulder in one of the tunnels.
- Channelization for electrical power and signals are placed in one of the tunnels beneath the left shoulder. Not in the same tunnel as the water pipe is placed in.
- The tunnels and installations are designed to keep the maintenance at a low level and thereby increase the utilization of the tunnels.
- The tunnel has a free height or 4.7 m across the entire width.
- The total width including shoulders is 9.7 respectively 13.2 m for tunnels with two and three lanes.

Key words:

Road tunnel, cross section, cross tunnel, shoulder, channelization, drainage, lining

## **Nomenklatur**

### **Tunneldelar**

Trafiktunnlar = Tunnlarna för vägtrafik

Tvärtunnlar = Tunnlarna som förbinder trafiktunnlarna, används för bland annat nödutrymning och installationsutrymme

Riktningsskyltar är alltid givna i trafikriktningen.

### **Installationer mm**

TDU = Teknikdriftutrymme (mindre utrymme för tekniskåp)

Teknikskåp = Datarack /kabelskåp/skåp centralenheter

Centralutrustning/apparat för olika system = har till uppgift att ta emot, analysera och verkställa signaler ifrån och till olika styrda objekt, till exempel elcentraler, belysningscentraler, brandlarmcentraler, mm

Tunnelbelysning = Normalbelysning, reservbelysning och nödbelysning i tunneln

Impulsfläktar = Fläktar med funktionen att upprätthålla god tunnelmiljö. De bortför emissioner från fordonen och brandrök i händelse av brand

### **Vägtyp**

Motorväg = Väg med planskilda korsningar och skilda körbanor med mellanliggande mittremsa. Vanligen med en skyltad hastighet 110 km/h.

### **Vägbyggnad**

Väggkropp = Vägens överbyggnad

Körfält = Utrymme där ett fordon rymmer

Körbana = Summa av alla körfält

Vägren = Belagd yta vid sidan av körbanan

Vägbana = Körbana + vägren

### **Dag- och dränvattensystem**

Dagvatten = Smältvatten samt dagvatten från tunnelmyningar

Tunnelavloppsvatten = Tvättvatten, utsläpp vid fordonsolyckor och förorenat släckvatten

Dagvattenbrunn = Brunn avsedd att samla upp dagvatten (i rapporten presenterat förslag är dagvattenbrunnen utan sandfång och utan vattenlås)

Tillsynsbrunn = Brunn för inspektion och rensning.

Dränvatten = Grundvatten som rinner genom bergmassan och in i tunneln

Dränvattenbrunn = Brunn för inspektion, rensning och uppsamling av dagvatten.

Invallning = tvärgående betongskärmar i ledningsschaktet var syfte är att utgöra mätvallar för kontroll av inläckande vattenflöden

Betäckningar = Brunnslock

Markfilter = Beredd gräsklädd väglänt för filtrering av partikulära föroreningar

Avvattning = Benämning för avledning av vatten från vägyta. (används i Trafikverkets kommande handbok ”Hantering av vägdagvatten”)

### **Bergteknik**

Bergschakt = Losstagning av berg, i denna rapport genom bormning och sprängning

Salva = Enskilt sprängtillfälle för losstagning av berg

Ledningsschakt = schakt av utrymme med enda uppgift att innehålla ledningar

## Innehållsförteckning

<b>1.</b>	<b>Inledning .....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>Avgränsningar och specifikationer ur projektbeskrivningen.....</b>	<b>1</b>
<b>3.</b>	<b>Metod.....</b>	<b>3</b>
3.1	Ingående utrymmen och funktioner i tunneln.....	3
3.2	Definition av typtunnel för vilken utredningen är tillämplig.....	4
<b>4.</b>	<b>Tunnlar i Norge .....</b>	<b>7</b>
4.1	Tvärsektion .....	7
4.2	Säkerhet.....	8
4.3	VA och installationer.....	9
4.4	Vatten och frostsäkring .....	10
4.5	Väggkropp .....	12
<b>5.</b>	<b>Utformning av det fria trafikutrymmet (fria rummet) .....</b>	<b>15</b>
5.1	Trafikutrymmets bredd.....	15
5.1.1	Körbana .....	15
5.1.2	Vägren och hinderfri bredd .....	16
5.2	Trafikutrymmets fria höjd.....	19
5.3	Föreslagen utformning .....	20
<b>6.</b>	<b>Utformning av utrymmet under vägbanan .....</b>	<b>23</b>
6.1	Avvattning av tunnelavloppsvatten och dränvatten.....	23
6.2	System för omhändertagande av tunnelavloppsvatten och dränvatten .....	23
6.2.1	Utformning och dimensionering av tunnelavloppsvattenledning .....	23
6.2.2	Utformning och dimensionering av dränvattenledning.....	26
6.2.3	Rening av tunnelavloppsvatten .....	26
6.3	Vattenförsörjning till tunneln .....	27
6.3.1	Inom verksamhetsområde för kommunalt vatten .....	27
6.3.2	Utanför verksamhetsområde för kommunalt vatten .....	27
6.4	Kabelkanalisation .....	27
6.5	Väggkropp .....	27
6.6	Schaktbotten .....	28
6.6.1	Föreslagen utformning .....	28
<b>7.</b>	<b>Utrymme ovan det fria trafikutrymmet .....</b>	<b>29</b>
<b>8.</b>	<b>Vatten och frostsäkring .....</b>	<b>33</b>
8.1	Lining .....	33
<b>9.</b>	<b>Utformning av sidofunktioner .....</b>	<b>35</b>
9.1	Tvårtunnlar .....	35
9.2	Teknikutrymmen .....	35

9.3	Utformning av säker angöring till tvärtunnlar med centralutrustning .....	37
<b>10.</b>	<b>Underhåll .....</b>	<b>39</b>
10.1	Snöröjning .....	40
<b>11.</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>41</b>
11.1	Fri höjd .....	41
11.2	Vägren .....	41
11.3	Installationer .....	41
11.4	Tunnelavloppsvattenledning .....	41
11.5	Kanalisation .....	41
11.6	Jämförelse Norge – Sverige .....	42
<b>12.</b>	<b>Föreslagen typsektion .....</b>	<b>45</b>
12.1	Tillämpning av typsektionen .....	46
<b>13.</b>	<b>Rekommendationer till fortsatta utredningar .....</b>	<b>47</b>
13.1	Vägledande metoder .....	47
<b>14.</b>	<b>Erkännanden .....</b>	<b>48</b>
<b>15.</b>	<b>Referenser .....</b>	<b>49</b>
<b>16.</b>	<b>Bilaga 1 .....</b>	<b>50</b>

## 1. Inledning

Ramböll har på uppdrag av BeFo utrett lämplig utformning av typsektioner för vägtunnlar i berg. Användande av standardiserade typsektioner öppnar möjligheten för en mer rationell projekterings- och byggprocess samtidigt som kostnader kan bli enklare att uppskatta i tidigare skeden. Ett extra fokus har lagts på att undvika en överstandard som inte går att motivera i en kostnads-/nyttoanalys men typsektionerna ska samtidigt vara produktionsvänliga och medge flexibilitet.

Arbetet har utförts med beaktande av den teknik som erfordras för att uppfylla en trafik tunnels alla funktionella krav. Löpande har arbetet stämts av med en referensgrupp som varit knuten till utredningen varvid värdefulla synpunkter succesivt kunnat arbetas in. En bredare workshop i BeFo:s regi har även genomförts inom ramen för utredningen.

## 2. Avgränsningar och specifikationer ur projektbeskrivningen

Vägfartstunnlar byggs av många olika övergripande skäl och de får därmed högst varierande utformning. En trafik tunnel i en trafik tät och komplex urban miljö skiljer sig från en trafik tunnel som byggs främst av topografiska skäl. Utredningen har därför i ett första skede utgått från att ta fram en typsektion för en tunnel med begränsad längd utan av- och påfarter.

Utredningen ser emellertid att det skulle vara värdefullt att ta med sig de erfarenheter som vunnits i denna pilotstudie i ett bredare arbete med fler tunnel typer i syfte att skapa förutsättningar för att utveckla mer rationella tunnelloösningar.

I övrigt har utredningen utgått ifrån den projektplan för standardisering av konstruktionslösningar som PIA (Produktions- och Innovationsutveckling i Anläggningsbranschen) tagit fram. Enligt projektplanen ska förslag till typritningar tas fram för normalprofiler av inre kontur i vägtunnlar med två och tre körfält. Typsektionen ska kunna tillämpas oberoende av val av förstärknings-, inklädnads- eller liningkoncept. Dock har projektgruppen valt att exemplifiera typtunneln med lining eftersom BeFo rapport 131 har påvisat tydliga ekonomiska fördelar i ett LCC-perspektiv med en lininglösning. Detta behandlas i ett separat avsnitt i denna rapport.

Betongtunnlar ingår inte i denna utredning. Inte heller tunnlar borrade med TBM ingår i utredningen.

Vid typsektionens utformning har sektionsspåverkande konstruktioner och installationer beaktats och dess funktion och utrymmesbehov översiktligt beskrivits.

Erfarenheter från Norge som är ett stort tunnelland har inhämtats, värderats och jämförts med de speciella förhållanden som råder i Sverige.

I uppdraget ingår att följa svensk lag och EUs lagstiftning/direktiv. Men beträffande icke lagreglerade regelverk (Trafikverkets regelverk) kan avvikelse medges när det är motiverat. Avsteg från Trafikverkets regelverk och motiv ska preciseras.



### 3. Metod

Väsentliga anläggningskrav för en trafikunnel är att den är tillförlitlig, tillgänglig, underhållsmässig, trafiksäker och trygg samt säker i händelse av olycksincidenter. Till det ska också läggas att tunneln ska vara rationell att bygga samt vara kostnads-/nyttoeffektiv såväl i investering som i ett LCC-perspektiv. Utredningsarbetet har i alla delar värderat alternativa utformningar mot bakgrund av dessa funktionella krav.

Boverkets föreskrifter och övergripande krav från Trafikverkets publikation 2015:086 Vägars och gators utformning, VGU, ger inte erforderlig vägledning för en komplett design av tvärsnittet. Avsnitt som inte detaljreglerats har arbetats fram genom diskussioner i projektgruppen, mellan projektgruppen och referensgruppen samt under den workshop som genomfördes som en del av projektet.

Förutom själva trafikutrymmet ska tunneln, för dess funktion och säkerhet, förses med säkerhetssystem, trafikinformationssystem och avvattningssystem. Bland de mer utrymmeskrävande är fläktar, tunnelinformationsskyltar, tunnelbelysning, teknikutrymmen samt uppställningsplats för servicefordon. Även avvattningssystemet och kabelkanalisation i vägbanan och på kabelstege påverkar tunnelsektionen.

Utifrån dessa förutsättningar och avgränsningar har arbetet bedrivits med att ta fram de geometriska utrymmen som krävs för de olika teknikområdena.

#### 3.1 Ingående utrymmen och funktioner i tunneln

De ingående utrymmena i en tunnel som sammantaget formar i tunnelsektionen är:

- Det fria trafikutrymmet (fria rummet)
- Utrymme vid sidan av det fria trafikutrymmet
- Utrymme ovan det fria trafikutrymmet
- Vägöverbyggnad samt avvattningssystem, brandvatten, ledningskanalisation och sprängbotten

Ytterligare ett antal funktioner behövs för att forma den kompletta tunnelanläggningen, såsom:

- Tvärtunnlar (utrymnings- och insatsväg)
- Teknikdriftutrymmen (de större eldriftutrymmena, ELDU placeras utanför tunneln och beskrivs inte i detta dokument)
- Tillträdesutrymme till teknikdriftutrymmen

Respektive tunnelutrymme innehåller ett antal funktioner som sammantaget bildar den kompletta tunnelanläggningen. De olika tunnelutrymmena med respektive funktioner

beskrivs var för sig i de följande kapitlen. I slutet på rapporten finns ett diskussionskapitel som sammanställer de olika avvägningar som i vissa fall gjordes i samband med att valen nedan fastställdes.

### 3.2 Definition av typtunnel för vilken utredningen är tillämplig

Tunnlar i trafiktäta och komplexa urbana miljöer trängs ofta med annan underjordisk infrastruktur vilket gör dessa anläggningar unika och inte möjliga att förutse utformning av. Utredningen har därför i detta skede studerat en enklare tunnelutformning.

Typtunneln är tänkt att vara en högtrafikerad vägtunnel på riksvägnätet utan den komplexitet som kan vara typisk för vägtunnlar i en tät urban miljö. Tunnellängden är tänkt att vara mellan 500 meter och 2 kilometer utan av- och påfarter.

Utredningen utgår ifrån följande specifikation för typtunneln:

- Tunneln förutsätts ligga på det nationella vägnätet som utan särskilda restriktioner upplåtes för ADR-transporter
- ÅDT 40000, 2000 fordon/h och körfält vid maxtimmen
- Två respektive tre körfält i vardera riktningen
- Längd, mellan 500 m och 2 km.

Kommentar:

Under 500 meter omfattas inte tunneln av EU-direktiv och den svenska tunnelsäkerhetslagen. Dock har även de kortare tunnlar inkluderats i Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om säkerhet i vägtunnlar (TSFS 2015:27),

Tunnlar över 2 km bedöms som mindre vanligt förekommande. Längre tunnlar kan också kräva andra typer av installationer och eldriftsutrymmen. Kravbilderna beträffande tunnelsäkerheten ändras dock inte varför dessa delar i utredningen bedöms vara tillämpliga även för längre tunnlar.

- Två parallella enkelriktade tunnlar

Kommentar:

Vald trafikmängd och tunnellängd ställer krav på två enkelriktade tunnlar med mellanliggande tvärtunnlar för utrymning och räddningsinsats

- Längslutning 1:100

Kommentar:

För tunnlar med en längslutning > 3 % ska enligt TSFS 2015:27 en särskild riskanalys genomföras (anm. Här finns ett behov av att utveckla vägledande metoder för att få en konsistent, spårbar och transparent designprocess).

Tunnlar kan luta upp till 5 % om ingen annan lösning är geografiskt möjlig.

Utredningen ser ett stort behov av att utveckla vägledande metoder för att få en konsistent, spårbar och transparent designprocess.

- Inga lågpunkter inne i anläggningen  
 Kommentar:  
 Tunnlar utanför tätort och tunnlar som inte passerar under vattendrag kan vanligen byggas utan lågpunkt inne i tunneln.
- Den horisontella linjeföringen förutsätts vara enkel utan förändring av vägbanans tvärfall utmed tunneln
  - Utformningen av typtunneln förutsätter tvärfallet 2,5 % som enligt VGU 2015:086 gäller för raksträcka och stor radie. Tvärfallet sker mot höger.
  - Linjeföringen tillåts variera inom de ramar som innebär att förändring av tvärfall eller siktbreddning inte behöver ske. Det innebär att kurvradien åt vänster måste vara minst 2800 m (110 km/h), 2400 m (100 km/h) och 1600 m (80 km/h) vid ett tvärfall av 2,5 % åt höger, annars måste vägen skevas om, (VGU Tabell 3.1-11).
  - Tvärfall och skevning gäller för öppen väg. Vägbanans friktion är därvid styrande med hänsyn till risken att fordon kan glida i sidled. I tunnel kan det finnas anledning att eventuellt använda sig av andra friktionsvärden än vedertagna.
- Tunneln förutsätts vara ansluten till Trafikverkets trafikledningscentral, TLC  
 Kommentar:  
 Kravet enligt TSFS 2015:27 är att tunnlar över 3000 m längd med trafikflöde över 4 000 ska anslutas till en övervakningscentral och att tunneln vid behov ska kunna stängas utan dröjsmål vid olycka och tillbud. Även trafiksignaler ska kunna fjärrstyras från en TLC.  
 Utredningen ser ett värde i att även tunnlar från 500 m ansluts till en övervakningscentral.

Anslutning till TLC innebär att vitala funktioner övervakas samt att TLC har möjlighet att styra vissa trafikala och säkerhetstekniska funktioner.

Exempel på funktioner eller avvikelser från det normala som övervakas är stillastående fordon, kö, olycka, luftkvalitet, brand, dörrpassager.

Felfunktionslarm går till TLC.

TLC:s ögon i anläggningen är kameraövervakning.

TLC styr trafiken med MCS (hastighetsrekommendation, körfältsbyte och stängning av körfält)

TLC informerar trafikanterna via tunnelinformationsskyltar, TIS

TLC eller det automatiska styrsystemet, PCMS, styr ventilationssystemet (impulsfläktar) för att förhindra dålig luftkvalitet och för att styra bort brandrök i händelse av brand.

TLC styr stängning av tunneln (med bom) i händelse av olycka.

- Tekniska system som krävs för att styra och operera tunnelanläggningen förläggs dels i eldriftutrymmen, ELDU, utanför tunneln, dels i teknikskåp i teknikdriftutrymmen inom tunnelanläggningen.

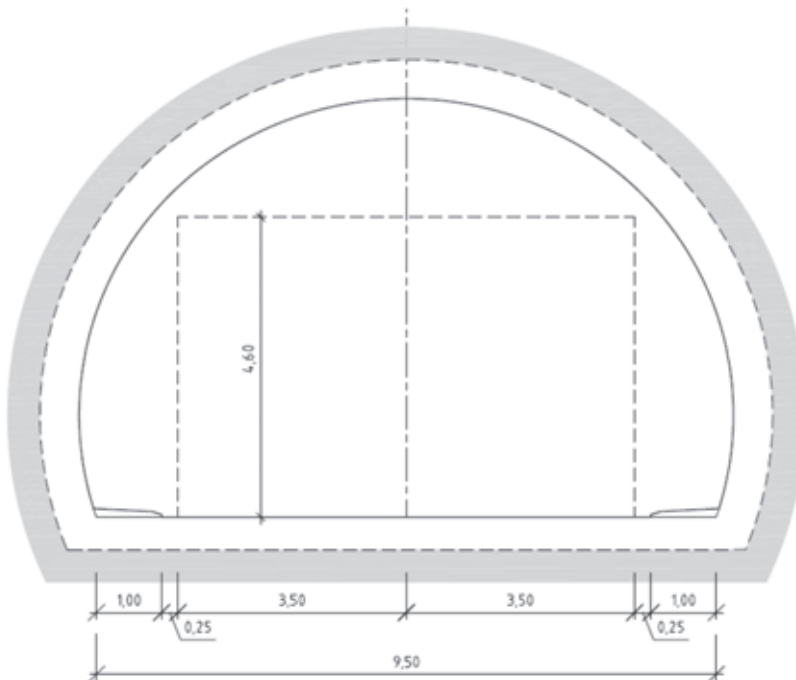
#### 4. Tunnlrar i Norge

Det norska synsättet på vägtunnlar har influerat detta arbete. Innan arbetet med de svenska typsektionerna presenteras ges därför en introduktion till hur projektgruppen tolkar att frågorna hanteras i Norge.

Erfarenheter på norskt synsätt för typsektioner av vägtunnlar har inhämtats dels genom norskt deltagande i referensgruppen och dels genom studier av normer. Statens vegvesen i Norge beskriver typutförande för sina vägtunnlar i Håndbok N500. En genomgång av delar i handboken som berör innehållet i denna rapport sammanställs i detta kapitel. Handboken innehåller utförande för flera tunneltyper baserat på ÅDT och tunnellängd. För att underlätta jämförelsen läggs fokus på den norska tunnelklassen F som i mångt och mycket motsvarar den typtunnel som detta projekt arbetat med.

##### 4.1 Tvärsektion

Typsektionen för tunnelklass F redovisas i Figur 1. Typsektionen har en fri höjd om 4,60 m ovanför körbanan. Körbanan begränsas av en förhöjd vägren med en icke avvisande kantsten. Den fria höjden upprätthålles till strax innanför kantstenen.



Figur 1. Typsektion för tunnelklass F, Håndbok N500.

#### 4.2 Säkerhet

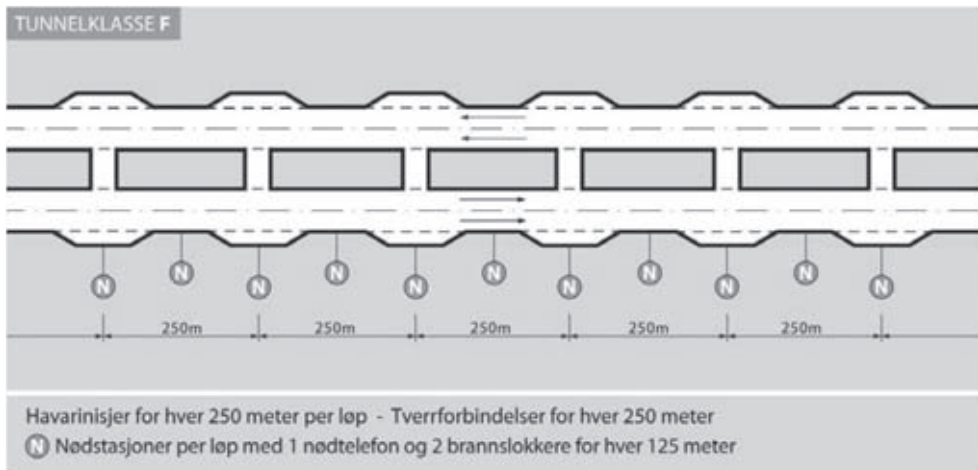
Varje tunnelrör utförs med haverinisch och tvärtunnel var 250:e meter (Figur 2). Som komplement till detta installeras nödstationer var 125:e meter som innehåller en telefon och två brandsläckare. I de fall teknikutrymmen behövs i tunneln placeras de i en tekninisch som läggs i anslutning till en haverinisch.

Släckvatten ska finnas tillgängligt i tunneln enligt något av följande alternativ:

- rörledning kopplat till kommunala vattensystemet
- vattenreservoar om minst  $6 \text{ m}^3$  i anslutning till haverinisch
- tankvagn med minsta volym  $6 \text{ m}^3$
- släckvattenreservoar i anslutning till eventuell lågpunkt i tunneln

Tunnelement ska monteras till en höjd på 3,5 m ovanför körbanan (Figur 6).

Tunnelement kan även nyttjas för hela profilen.



Figur 2. Plan över tunnelklass F, Håndbok N500.

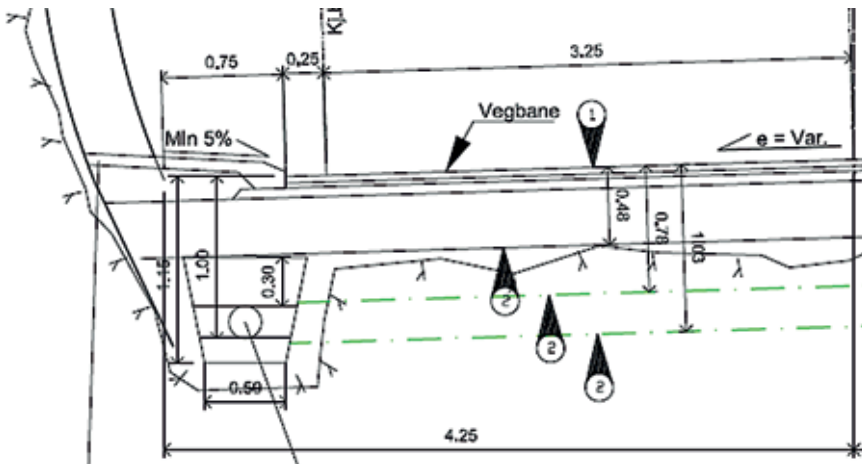


Figur 3. Utformning av haverinisch, Håndbok N500.

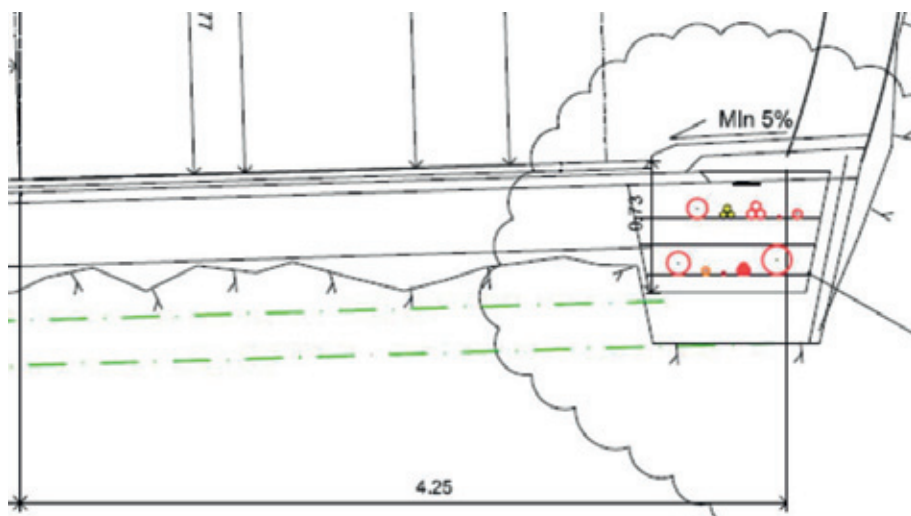
#### 4.3 VA och installationer

VA läggs i en ledningsschakt under vägreken. Ledningarna läggs på frostsäkert djup och ledningsschaktens djup anpassas till detta. Isolering kan användas för att minska ledningsschaktens djup. Om tunneln har stora inläckage kan ledningsschakter läggas under bägge vägrenarna för den sträckning där det större inläckaget sker.

Dagvattenledningarna dimensioneras för att klara uppsamlingen av tvättvattnet vilket ger en minsta diameter om 150 mm. Figur 4 och Figur 5 illustrerar VA ledningar under ena vägreken och kanalisation under den andra vägreken för samma tunneltvärsnitt.



Figur 4. Illustration av ledningsschakt för VA under vägreken. I högtrafikerade tunnlar samlas tunnelavloppsvattnet upp separat och ytterligare en ledning tillkommer.



Figur 5. Illustration av ledningsschakt för kanalisation under vägrener.

#### 4.4 Vatten och frostsäkring

Tunnelement ska monteras till en höjd på 3,5 m ovanför körbanan. Dessa element utgör en del av vatten och frostisoleringen i tunneln men ska också hindra fordon att köra in i en ojämn bergvägg med tillhörande risker. Ovanför väggelementen nedpendlas frostskyddande PE-skum som täcks med sprutbetong som brandsäkring. Som alternativ till detta kan betongelement användas i hela profilen. Frostisoleringen ska utformas för att undvika frost i berget för frostmängder med tio års återkomsttid. Figur 6 illustrerar väggelement och installerade PE-skummattor innan de täcks med sprutbetong och Figur 7 en tunnel helt inklädd med betongelement. Mindre trafikerade tunnlar kan använda barriärelement istället för väggelement. Bergdränlösningen för väggens nedre del i detta fall illustreras i Figur 8.

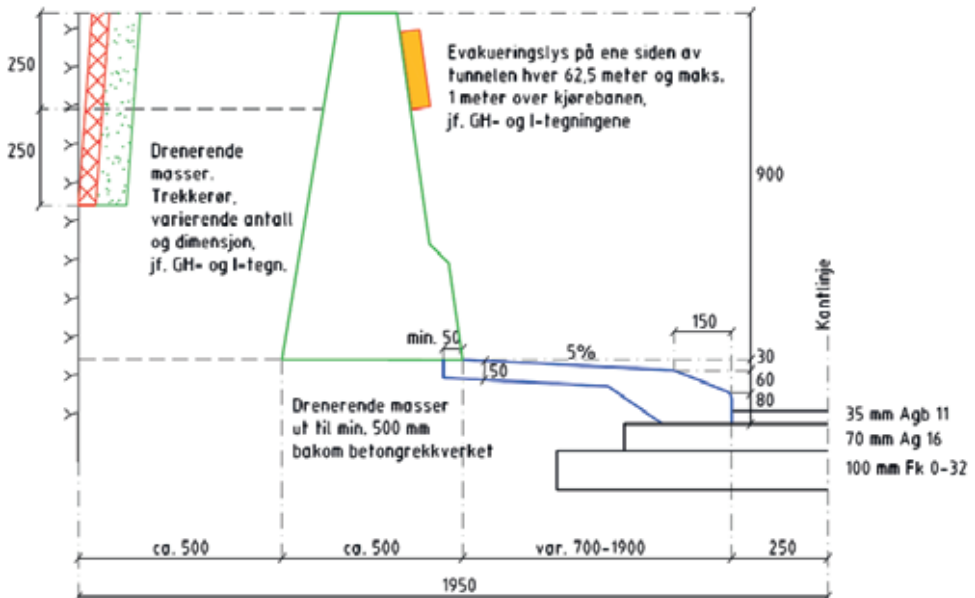




*Figur 6. Väggelement och PE-skum i tak och anfang. PE-skummet täcks med brandskyddande sprutbetong.*



*Figur 7. Exempel på tunnel med betongelement längs hela profilen. Lørentunnelen, Norge.*



Figur 8. Illustrasjon av dreneringsløsning når barriereelement anvendes istället för väggelement.

#### 4.5 Vägkropp

I håndbok N200 Vegbygging anges att det för vägar i tunnlar är mer kostnadseffektivt att schakta ut tjälfarliga massor och därmed kunna bygga en låg vägkropp jämfört med alternativet att spränga djupare och täcka bottnen med ett tjockt förstärkningslager. Därför finns riktlinjer i handbok N500 att för en frostmängd > 10 000 timgrader får endast 50 mm sprängmassor lämnas kvar på sulan där det finrenas. Avjämning läggs sedan på detta. Hanboken anger vidare att maskinskrotning ska utföras på gaddar i sulan för att minska risken för vattenansamlingar på bergterrassen.

Vid en frostmängd om 10 000 timgrader med återkomsttid om 100 år byggs vägkroppen upp enligt följande:

- schaktning av sprängmassor så att maximalt 50 mm blir liggande på sprängbotten
- fyllning med grus/sten med litet innehåll av finmaterial (3 %) upp till teoretisk schaktbotten
- Kombinerat förstärknings och dreneringslager om minst 500 mm
- bärlager, bindlager och slitlager

Det finns även en variant där isolering läggs under bärlagret. Under detta tillkommer sedan endast ett 100 mm tjockt dräneringslager ovanpå avjämningslagret mot tunnelbotten.



## 5. Utformning av det fria trafikutrymmet (fria rummet)

Det fria trafikutrymmet är det utrymme inom vilka alla tillåtna fordonstyper ska kunna framföras. Det fria trafikutrymmet har en bredd som styrs av körbana och vägrens bredd. Höjden styrs av tillåten fordonshöjd med tillägg för, dels de dynamiska rörelser som kan uppstå från de tunga fordonen, dels extra marginal för underhållsbeläggning och påbyggnad av snö och is etc.

### 5.1 Trafikutrymmets bredd

Trafikutrymmet (Figur 9) ska erbjuda en trafiksäker och trygg miljö samt vara så utformad att det fungerar tillfredställande vid såväl normal drift som vid störningar och större olyckor.

Trafikverkets publikation Vägars och gators utformning, VGU 2015:086 (krav) och VGU 2015:087 (råd), anger minimikrav för det så kallade Fria (trafik)rummet.

Det fria rummet, fri bredd och fri höjd, definieras som det minsta utrymme som erfordras för ett säkert och effektivt nyttjande av vägbanan för trafik.



Figur 9. Exempel på trafikutrymme i Södra länken.

#### 5.1.1 Körbana

VGU 2015:086 tabell 1.1-1 anger att körfälten ska vara 3,5 m breda för motorväg i tunnel för VR 110/120. TSFS 2015:27 föreskriver en minsta bredd om 3,5 m på det högra körfältet för tunnlar som upplåtes för tunga lastbilar (tung trafik).

Trafikverkets vägtunnlar upplåtes vanligen för tung trafik varför det högra körfältets bredd i en typsektion bör vara 3,5 m även om det inte är frågan om en motorväg. För tunnlar som inte är klassade som motorväg kan vänster körfält vara 3,25 m.

Bredden 3,5 meter har kommit att bli en vanlig bredd av komfortskäl men även för ökade möjligheter för räddningsfordon att ta sig fram i tät trafik.

Detta argument samt komfortökningen och trygghetskänslan som bredare körfält innebär att utredningsgruppen förordar en bredd om 3,5 meter för samtliga körfält.

### 5.1.2 Vägren och hinderfri bredd

För motorväg i tunnel anger VGU 2015:086 att höger vägrensbredd ska vara min 2 m (med syftet att kunna ställa upp havererade fordon) och vänster vägrensbredd min 0,5 m.

Vägrenen ska av trafiksäkerhetsskäl innehålla en hinderfri bredd. Den hinderfria bredden är den fria bredd vid vilken trafikantens val av läge i sidled inte ska påverkas, d.v.s. där den så kallade väggeffekten inte ska påverka trafikanten. Väggeffekten är hastighetsberoende.

VGU 2015:086 anger för motorväg i tunnel en vägren/hinderfri bredd om 2 m. Det är samma hinderfria bredd som till belysningsstolpar och andra hinder över 0,2 m vid hastigheter över 100 km/h. I övrigt är den hinderfria bredden inte så väl differentierad i VGU 2015:086. Det går emellertid att utläsa att väggeffekten påverkas av hastigheten i kvadrat. Vid hastigheter upp till 60 km/h anges den hinderfria bredden 0,5 m till lyktstolpe.

Utredningen utgår ifrån följande approximativa avstånd för att väggeffekten inte ska påverka trafikantens val av läge i sidled på vägbanan, Tabell 1.

Tabell 1. Avstånd till tunnelvägg m.h.t. den så kallade väggeffekten.

VR	Funktionskrav m.h.t. väggeffekt
70 km/h	0,8 m
90 km/h	1,5 m
110 km/h	2 m

VGU 2015:086 anger vidare för motorvägstunnlar att mitt-vägrenen ska vara 1 m och höger vägren 2 m. Det tolkas som att väggeffekten nedvärderas för vänster vägren (mitt-vägrenen).

Ett på tunnelväggen utanpåliggande barriärelement jämställer utredningen med vägräcke (VGU 2015:086 avsnitt fria rummet figur 3) och skulle därmed kunna accepteras vara placerad närmare vägbanan än 1,5 meter med hänsyn till väggeffekten, vilken kan vara tillämplig vid skyltad hastighet 90 km/h.

I TSFS 2015:27 anges att nödgångbana för utrymning ska ha en bredd om minst 0,8 m och att tunnlar med två eller fler körfält ska ha två gångbanor en på vardera sidan av tunneln samt att vägren kan fylla samma funktion som gångbana. Tunnlar med ett körfält ska ha minst en gångbana.

Sammantaget leder detta till följande, Tabell 2.

Tabell 2. Krav på vägrens bredd.

VR	VGU		Mitt-vägren (vänster vägren)	Vägren m.h.t. väggeffekt
	Motorvägstunnel			
	Vm (mitt-vägren)	V (höger)		
70 km/h	-	-	0,8 m	0,8 m
90 km/h	-	-	1 m	1,5 m
110 km/h	1 m (exkl. barriärelement)	2 m	1 m	2 m

Motorväg skyltas vanligen med hastigheten 110 km/h. För lägre skyltad hastighet och där trafiksituationen så medger torde det vara möjligt att minska den högra vägrenen till 1,5 m vid 90 km/h och 1 m vid 70 km/h med hänsyn till trafikkomfort.

Det leder till följande förslag, Tabell 3.

Tabell 3. Förslag på vägrensbredd med hänsyn till trafikkomfort.

VR	Mitt-vägren (vänster vägren)	Vägren m.h.t. väggeffekt
70 km/h	0,8 m	1 m
90 km/h	1 m	1,5 m
110 km/h	1 m	2 m

Med hänsyn till att utrymmet under vägbanan ska innehålla kanalisation för el, styr, tele samt vatten och avlopp och att betäckningar för dragbrunnar till kanalisation ska få plats inom mitt-vägrenen har utredningen kommit fram till att den behöver breddas till 1,2 m för exempeltunneln, se vidare i kapitel 6 ”Utformning av utrymme under vägbanan”.



Figur 10. Exempel på vägtunnel med två körfält och nödgångbana, Södra länken.

Målning av mittlinje mellan körfälten placeras centriskt mellan körfälten och ingår i dess bredd. Kantmålning placeras utanför körfältets bredd men får inkräkta på vägren respektive nödgångbana. Den måttkedja som erhålles med avseende på krav på körbana och vägren redovisas i Figur 11.

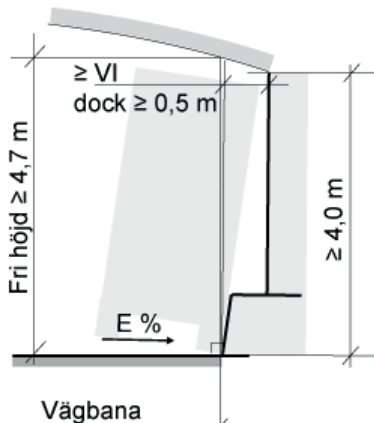


Figur 11. Måttkedja för körbana med dess sidoområden i en tunnel med två körfält.



## 5.2 Trafikutrymmets fria höjd

Ett fritt trafikutrymme till fasta konstruktioner ska enligt VGU vara  $\geq 4,7$  m, mätt vinkelrätt från vägbanan. Dimensionerande fordon är 4,5 m höga. Till det tas hänsyn till bland annat snö, is, tjällyftning och underhållsbeläggning samt svajande fordon. Detta sammantaget ger höjden 4,7 m i VGU, Figur 12.



### Räcke vid pelare eller övergång barriär/ tunnel/vägport od

Figur 12. Del av figur 1 i VGU 20145:086 illustrerande fri höjd vid övergång till tunnel.

Normalt i tunnlar så fräses man ner ytan på beläggningen innan underhållsbeläggning, därför skulle måttet 4,6 m vara tillräckligt, (anmärkning: Norge tillämpar 4,6 meter som fri höjd i tunnel). Inte heller är is snö och tjällyftning ett lika stort problem i tunnlar.

Erfarenheter från drift-och underhållsorganisationen på Trafikverket är emellertid att en fri höjd enligt VGU, (4,7 m), är att föredra eftersom den fasta inklädnaden i en tunnel är mer känslig för mekanisk påverkan än vad de fasta konstruktionerna på en bro är.

I Norge och Österrike gäller den fria höjden i trafikutrymmet över körfältens hela bredd. Däremot ingår inte tunnelutrymmet över vägrenen/nödgångsvägen som i norska tunnlar utgörs av en förhöjd skuldra/nödgångsväg med ett kantstöd mot körbanan.

Arbetsgruppen med stöd av referensgruppen har menat att den fria höjden bör gälla över hela vägbanan, d.v.s. hela vägen ut mot bergväggen. Argument däremot har dock framförts att det inte går att köra hela vägen mot bergväggen och att det fria rummet därför skulle kunna fasas av i anfanget mellan valv och vägg.

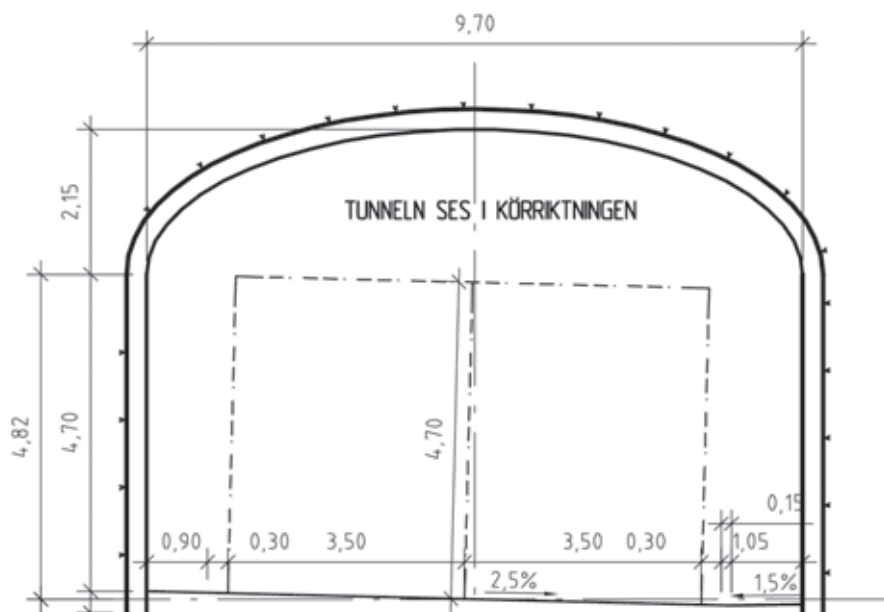
Känsliga installationer såsom trafikskyltar, belysning och impulsfläktar mm placeras ytterligare en bit ovanför det fria trafikutrymmet. Friutrymme för mer känslig utrustning är mindre en säkerhetsfråga och mer en fråga om drift- och underhållskostnader i relation till kostnaderna för en rymligare tunnelsektion. Den utformning som föreslås ger projektören utrymme att placera objekt högt ovanför vägbanan utan att ändra typsektionen.

### 5.3 Föreslagen utformning

Det fria trafikutrymmet, som i VGU benämns fria rummet får nedanstående mått som utgör en rektangulär box inom vilka inga fasta hinder får placeras. Tvärsnittet illustreras i Figur 13.

- höjd 4,7 m
- bredd 9,7 m alternativt 13,2 m
  - höger vägren 1,5m
  - två alternativt tre körbanor med en bredd om 3,5 m vardera
  - vänster vägren 1,2 m

Det fria trafikutrymmet sträcker sig över hela tunnelns bredd vilket innebär att vägghöjden är 4,7 m på både vänster och höger sida. Anfanget påbörjas således ovanför detta mått.



Figur 13. Illustration av föreslagen utformning.



## 6. Utformning av utrymmet under vägbanan

Här sammanställs de funktions och utrymmeskrav som krävs av de funktioner som ligger under vägytan. Funktionerna ställer krav som påverkar både slutligt schaktdjup och bredd på vägrenen.

### 6.1 Avvattning av tunnelavloppsvatten och dränvatten

Tunnelavloppsvatten i tunnlar är tillfälligt förekommande vatten på vägbanan som genereras dels av att bilarna drar med sig snö och vatten in i tunnlar, dels via tvättvatten från tunneltvätt samt eventuellt förekommande släckvatten i händelse av brand. Tunnelavloppsvattnet innehåller föroreningar i form av bl. a. tungmetaller, kolväten och cancerogena ämnen.

Dränvatten är grundvatten som dränerar fram ifrån otätheter i berget och i viss mån tunnelavloppsvatten som tränger igenom vägytan. Dränvattnet kan i de flesta fall ledas rakt ut i recipient utan behandling.

### 6.2 System för omhändertagande av tunnelavloppsvatten och dränvatten

Tunnelavloppsvattensystemet består av brunnar för att fånga upp tunnelavloppsvattnet men också utsläpp av brandfarlig vätska i händelse av olycka. Vidare består systemet av ledning för bortledning av tunnelavloppsvattnet samt sandfång och vattenlås.

Sandfånget ska hindra vidare spridning av mindre partiklar. Vattenlåset hindrar vidare spridning av mindre bränslespill och fungerar även som sektionering för att förhindra brandspridning i systemet i händelse av ett större utsläpp som antänt.

Dränvattensystemet ska hindra vattenansamling i ledningsschakten, varför bortledning via rörledning behövs i långa tunnlar eller med stor vatteninläckning. Invallning med mätdamm och dränvattenbrunn placeras vid lågpunkt. Mätdammen består av betongvallar som är gjutna tvärs tunnelns längdriktning. Principen är att det vatten som läcker in i tunneln fångas upp av vallen och ledas till en mätkammare där dränvattenflödet mäts.

Bortledning av dränvattnet kan ske i separat dränvattenledning till dike eller via tunnelavloppsvattenledningen.

#### 6.2.1 Utformning och dimensionering av tunnelavloppsvattenledning

Vid utformning av tunnelavloppssystemet har beaktats systemets funktioner, investeringskostnader samt drift- och underhållskostnader över tiden. Systemet består huvudsakligen av standardkomponenter.

Dimensionerande förutsättning för tunnelavloppsvattenledningens kapacitet är primärt att omhänderta tvättvattnet vid tunneltvätt, men även ha en kapacitet att omhänderta släckvatten i händelse av olycka och brand. Enligt TRVK Tunnel 11 bör det inbördes

avstånd vara ca 20 m för en tio meter bred tunnel för att begränsa teoretisk spridning av ett utsläpp. Utredningen finner inga skäl att frångå det avståndet.

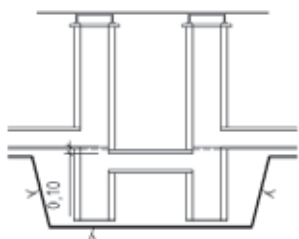
Med ett inbördes avstånd av ca 125 m anordnas dagvattenbrunnarna med vattenlås. Avståndet 125 m är valt för att få en måttkedja som är anpassad till utrymningsvägarnas inbördes avstånd, 250 m. Därmed hindras spridning av eventuell brand i systemet till position för angränsande utrymningsväg.

Med ett inbördes avstånd av ca 62 m (halva avståndet 125 m) förses dagvattenbrunnarna med sandfång. Avståndet är väl avvägt med avseende på funktion samt drift- och underhåll.

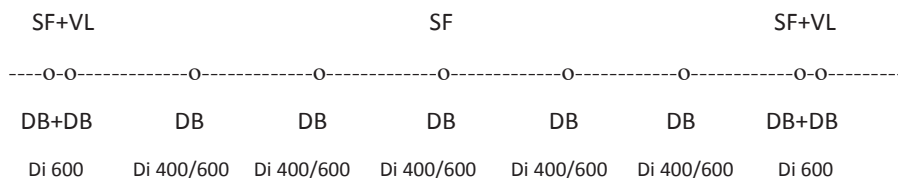
Samtliga dagvattenbrunnar placeras centriskt över tunnelavloppsvattenledningen för att ta så liten plats som möjligt.

Systemlösningen blir enligt följande:

- var 125 m utformas dagvattenbrunnarna (DB) såsom parvisa brunnar (DB600) med sandfång (SF) med mellanliggande rörförbindelse med vattenlåsfunktion (VL), se nedan samt ritning i bilaga 1.



- Mitt emellan dessa parvisa brunnar placeras de dagvattenbrunnar som endast är försedda med sandfång. Övriga dagvattenbrunnar utförs utan både sandfång och vattenlås. Se principutförning i Figur 14.



Figur 14: Tunnelavloppssystemets systemlösning. SF=Sandfång, VL=Vattenlås, DB=Dagvattenbrunn

Tunnelavloppsledningarna med tillhörande brunnar ska vara tillverkade av betong för att kunna motstå brinnande vätskor.

Vid dimensionering av dagvattenbrunnar utomhus är tumregeln att varje brunn ska avvattna en yta av 500-800 m<sup>2</sup>.

Tvättvattenflödet och brandvattenflödet blir dimensionerande vätskeflöden för tunnelavloppsvattenledningen. Detta flöde kan med tillräcklig marginal sättas till 20 l/s. Dock med hänsyn till praktiskt lämpliga rördimensioner föreslås, dimension 225 vilket ger en kapacitet av ca 50 l/s vid en lutning av 1/100, dvs. högre kapacitet mer än vad som erfordras.

Den föreslagna utformningen med dess kapacitet avviker ifrån dimensioneringskravet i TRVK Tunnel 11 som anger att avvattningsystemet ska ha kapacitet att omhänderta ett momentant utsläpp av 10 m<sup>3</sup> vätska som rinner av från vägytan inom loppet av två minuter samt att två samverkande brunnar ska klara det flödet (vilket motsvarar en ledningsdimension om cirka 300 mm). Utredningen anser att avvikelserna är väl motiverade av att föreslagna utformning mer än väl täcker in alla de olycksscenarier som utifrån samhällets krav på nytto/kostnads-optimering är rimliga. Trafikverket måste godkänna alla avsteg från TRVK Tunnel 11 i respektive projekt. Som jämförelse kan nämnas att den norska tunnelnormalen anger 150 mm ledningsdimension som minimidimension.

Faktiska utsläpp från bränsletankar handlar om kvantiteter upp till ca 1 m<sup>3</sup> på väg. Tankbilsolyckor med större utsläpp är ytterst ovanligt och bedöms inte relevanta att dimensionera ett avvattningsystem för. En bild på en tankbilsolycka som ledde till ett utsläpp om cirka 1 m<sup>3</sup> diesel återfinns i Figur 15.



Figur 15. Tankbilsolycka i Storvreta 2014 med utsläpp om cirka 1 m<sup>3</sup> diesel.

### 6.2.2 **Utformning och dimensionering av dränvattenledning**

Med ett antaget dränvattenflöde av 5 liter per minut och 100 meter tunnel blir det totala dränvattenflödet 1,7 l/s för en 2000 meter lång tunnel.

Under förutsättning att tunneln inte har inläckande vatten från påslaget/utsidan kommer dränvattenledningen gå torr flera hundra meter in i tunneln. Eftersom vattnet strömmar utefter fyllningen under dränvattenledningen. Först efter några hundra meter bedöms vattnet i fyllningen nå upp till den nivå där dränvattnet kan tränga in i dränvattenledningen.

Dränvattenledningen utförs toppslitsad med dimensionen 160 så att den kan fungera som en kombination av dränvattenledning och ledning för bortförande av vatten.

Var 100:e på dränledningen anordnas en rensbrunn, dimension 200, och var 400:e meter en dränbrunn, dimension 400.

Dränledningar med tillhörande brunnar kan vara tillverkade av plast.

Ungefär var 1000:e meter vid invallning anordnas brunn för mätning av dränvattenflödet. Mätningen görs för att kontrollera att villkoren för inläckage upprätthålls.

För att minska slitage och överpåverkan på betäckningar förläggs de utanför körbanan. Därmed kommer tunnelavloppsvattenledningen i sin helhet att ligga inom sidoytan utanför körbanan längs tunnelns högra vägg i trafikriktningen. Därigenom underlättas ifall rören i något läge skulle behövas grävas upp. Vägbanans tvärfall åt höger leder bort tunnelavloppsvattnet från tvärtunnlarna.

### 6.2.3 **Rening av tunnelavloppsvatten**

Trafikverket har som väghållare ansvar för det statliga vägnätets miljöpåverkan inklusive påverkan på yt- och grundvatten. Trafikverket arbetar därför fortlöpande med denna fråga i form av att ta fram såväl kunskapsunderlag som rekommendationer för att uppfylla kraven.

Innan tunnelavloppsvattnet leds till recipient ska föroreningar avskiljas. Det kan lämpligen ske genom att leda tunnelavloppsvattnet till ett markfilter, exempelvis en beredd gräsklädd vägsilant. Sådana enkla markfilter kan göras mycket effektiva och billiga. Dock om särskilda skyddsobjekt, d.v.s. känsligt ytvatten eller grundvatten, är belägna i närheten kan andra avskiljningsmetoder behövas.

Vägbanan byggs upp så att tunnelavloppsvattnet kan samlas upp via brunnar och ledningar under vägkroppen och ledas vidare till en energireducerande passage innan det via en spridningsränna leds till ett markfilter. Det har visat sig att öppna



våtmarksmiljöer utgör livsmiljöer för en stor mångfald av arter av växter och djur (Vägar och våtmarker – ett ekologiskt inspirationsprojekt utefter nya E6 i Halland, Vägverket region Väst, 1998.)

### 6.3 Vattenförsörjning till tunneln

Vattenförsörjningen till tunneln kan ske genom inkoppling till kommunalt vatten eller från särskilt anlagda vattenreservoarer. I samtliga fall gäller att vattenledningen ska vara fylld och frostskyddad.

Brandposterna placeras lämpligen var 250:e meter samordnat med tvärtunnlarna som också föreslås placeras var 250:e meter, se kap 9.1. TSFS 2015:27 anger att maximalt avstånd mellan brandposter får vara 250 m.

#### 6.3.1 Inom verksamhetsområde för kommunalt vatten

Om tunneln ligger inom område för kommunalt vatten förläggs vattenledning genom hela tunneln fram till tvärtunnlarna där brandpostuttag anordnas.

#### 6.3.2 Utanför verksamhetsområde för kommunalt vatten

Om tunneln ligger i ett område utan kommunalt vatten anläggs en vattenreservoar i anslutning till tunneln. Vatten från vattenreservoaren används för tvättning av tunneln och av räddningstjänsten som reservvatten i händelse av brand och släckinsats.

### 6.4 Kabelkanalisation

Kablar placeras i ingjutna plaströr under vänster väggen i en av tunnlar.

Kabelkanalisationen och vattenledningen läggs alltid i olika tunnlar för att undvika att vattenledningens tvärstick till tvärtunneln ska korsa kabelkanalisationen. Kanalisationen beskrivs ytterligare i stycke 9.2.

### 6.5 Vägkropp

Vägkonstruktionen i tunneln ska uppfylla TRVK Väg med de avsteg som framgår ur TRVK Tunnel 11.

Vägkroppen ska vara dränerad. Enlig TRVK väg ska dikesbotten ligga minst 0,3 m under terrassytan. För vägkonstruktion i tunnlar tolkas detta krav som att tunneln ska undersprängas 0,3 m under teoretisk terrass. Undersprängningen ansluts till ledningsschakt för VA. Massor från undersprängningen behöver dock inte schaktas ur. Vägöverbyggnaden för typtunneln kan ges följande lagerföljd från terrassen och upp 80 mm obundet bärlager, 170 mm bindlager och 40 mm slitlager. Totalt 280 mm.

## 6.6 Schaktbotten

Bergschakten under vägbanan ska rymma väggkroppen, ledningskanalisation och VA-ledningar. Ledningskanalisationen behöver ett djup som ungefär motsvarar väggkroppens höjd. VA-ledningar ska däremot läggas på frostfritt djup och schaktdjupet blir därmed ganska stort. Om berguttaget projekteras med en nära horisontell botten blir det en relativt stor schaktmängd som behöver tas ut vid sidan om det utrymme som VA kräver. Detta ger å andra sidan goda möjligheter att flytta VA-ledningar från ena tunnelsidan till den andra. En sådan flytt skulle initieras av att tunneln behöver svänga med en radie som innebär att vägens skevning behöver läggas om. Att istället lägga VA i en ledningsschakt ger mindre bergschakt men också mindre flexibilitet. Oavsett utförande krävs en regelbunden tvärkanalisation av vattenledningen från VA-ledningar in i respektive tvärtunnel.

Schaktbotten blir under byggskedet ofta blöt av vatten som tillsammans med borrhax och entreprenadmaskinernas nötning av materialet ovan terrassen skapar ett finkornigt sörjigt material som smutsar ned vägarna utanför arbetsområdet och är besvärligt att rensa ut ordentligt.

### 6.6.1 Föreslagen utformning

Sprängbotten görs med 2,5 % tvärfall åt höger. En ledningsschakt för VA avslutar terrassen på högern och bildar en lågpunkt i tvärsnittet. Tvärfallet väljs till 2,5 % för att harmoniera med tvärfallet på vägbanan varför endast ett tvärfallsmått behöver hanteras i projektet.

Ledningsschaktet bör inte vara djupare än cirka 1,5 m i förhållande till bergterrassen. Djupare schakt leder till mer komplicerad bergschakt. Isolering kan användas för att minska ledningsschaktens djup som styrs dels av frostinträngning och dels av storleken på vissa VA-komponenter.

Tvärkanalisationen för tvärtunnlarna föreslås ske genom att sticket i sprängsalvans botten ökas i läget för denna kanalisation. Då detta ger ett begränsat djup för kanalisationen krävs en lokal frostisolering vid dessa tvärstick.

Den dränering som sker genom avrinning från terrassen till ledningsschakten under byggskedet ger byggvägen en bättre prestanda och minskar nedsmutsning av vägarna utanför entreprenadområdet under förutsättning att ledningsschakten länshålles under byggtiden.

Schaktbottens utförande grundar sig till stor del på synpunkter som erhöles på workshopen. Trots att geometrin blir något mer komplicerad bedömdes det där att det blir billigare att spränga ut en ledningsschakt än att lägga hela schaktbotten på ledningarnas nivå.

## 7. Utrymme ovan det fria trafikutrymmet

Utrymmet ovanför det fria trafikutrymmet ska rymma tunnelbelysning, impulsfläktar för miljö- och brandventilation, trafiksystem med körfältsignaler och tunnelinformationsskyltar samt kabelstegar för belysningskabel, brandlarmkabel och andra kommunikationskablar.

Speciellt belysningsarmaturer körfältsignaler och tunnelinformationsskyltar kan vara känsliga för till exempel dåligt surrad lastbilstäckning. Fladdrande stroppar och täckningsmateriel kan skada dessa mer känsliga installationer. Ett extra frimått till dessa är därför lämpligt att ha. Kostnader för en större tunnelsektion sätter emellertid gränser för vad som är mest kostnadseffektivt, högre investeringskostnader och lägre eller vice versa.

Beträffande belysningen är utrednings förslag att den förläggs mer centriskt över körbanan (i tidigare projekt har den ofta varit sidorienterade ut mot tunnelsektionen anfang där utrymmet är som trängst). Tillräckligt frimått har då inte gått att tillskapa varför underhållsbehovet av skadade armaturer har belastat underhållsorganisationen.

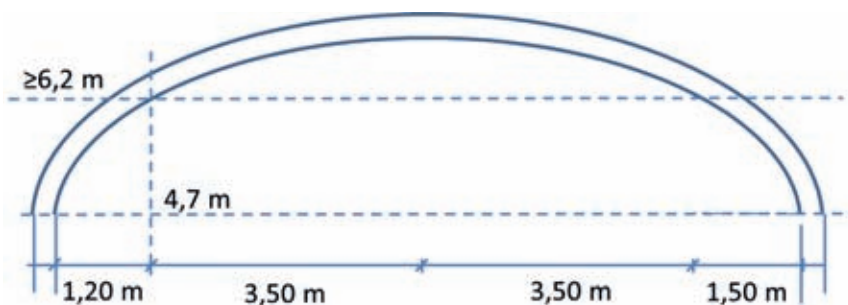
Genom att placera tunnelbelysningen centriskt där tunneltaket är som högst kan belysningen placeras på lämplig nivå med hänsyn till både belysningskrav och underhållsaspekter.

Körfältsignaler och tunnelinformationsskyltar placeras på skyltbryggor över körbanan (Figur 16). Bygghöjden på dessa är ca 1 meter. Skyltbryggan hängs in i tunneltaket i linje med körfältens yttre begränsningslinjer och spänner över alla körfält. Erforderlig höjd till tunneltaket i linje med körfältens begränsningslinjer blir då följaktligen följande:

Fri höjd i trafikutrymmet (4,7 m) + extra frimått med avseende på fladdrande stroppar (0,3 m) + skyltbryggans höjd (1 m) + montagehöjd för infästningsbeslag (<0,2 m), => ca 6,2 m (Figur 17).



Figur 16. Exempel på MCS-skyltar (Motorway Control System) och Tunnelinformationsskylt mellan MCS skyltarna.



Figur 17. Illustration av det utrymme som behövs för skyltbryggan vid sin infästningspunkt.

Beträffande mekanisk tunnelventilation anger TSFS 2015:27 att valet mellan så kallad längsventilation och tvärventilation (även en kombination kan förekomma) ska baseras på en riskanalys där bland annat prognostiserad trafiksituationen ska beaktas. (i TSFS saknas vägledande metoder för en sådan analys). Utredningen ser därför ett stort behov av att utveckla vägledande metoder för att få en konsistent, spårbar och transparent designprocess som leder fram till ett väl balanserat systemval.

I denna rapport har utredningen studerat utrymmesbehovet för ett systemval med impulsfläktar (längsventilation). Man kan räkna med en fläkt diameter på ca 1 m och ett montagemått ifrån taket av 0,1-0,2 m med impulsfläktar som är designade för att placeras i tunneltak. Den erforderliga höjden till tunneltaket i linje med impulsfläktarna blir då följande:

Fri höjd i trafikutrymmet (4,7 m) + extra frimått med avseende på fladdrande stroppar (<0,3 m) + fläkt diameter (1 m) + montagehöjd för infästningsbeslag (< 0,2 m) = < 6,2 m.



Figur 18. Impulsfläktar i tunneltak, Norra länken t.v. och Norrortsleden till höger.

Detta leder till att skyltbryggan för körfältsignaler och tunnelinformationsskyltar är dimensionerande för erforderlig tunneltakhöjd. Med avseende impulsfläktarnas byggmått kan de placeras fritt över körbanan.

Kabelstegar placeras jämsides med tunnelbelysningen som får sin kraftmatning från kablar på kabelstegen.



## 8. Vatten och frostsäkring

### 8.1 Lining

BeFo rapport 131 har studerat tillämpning av LCC vid val av vattenavlednings- och bergförstärkningssystem. Totalt studerades fem olika system, allt från selektiva dräner av PE-matta, till olika typer av duk och inklädnad inklusive betonginklädnad. För tunnlar med hög trafikintensitet blev ett system bestående av dränerad betonginklädnad mycket konkurrenskraftigt ur ett totalkostnadsperspektiv. Investeringskostnaden var jämförelsevis hög, men underhållsbehovet och därmed de framtida kostnaderna låga. Även för en tunnel med låg trafikintensitet stod sig systemet med betonginklädnad väl även om skillnaderna då var betydligt mindre. Eftersom mängden framtida underhåll för systemet var ganska lågt var systemet också ganska okänsligt för kalkylräntan vilken är svåruppskattad, och med en tidshorisont på 50-100 år i princip omöjlig att förutse. En viktig slutsats från BeFo rapport 131 var också att val av system bör utföras inom ramen för varje projekt då det kan finnas skäl och förutsättningar som inte omfattats i studien.

I beaktande av detta föreslår projektet generellt en lösning med dränerad betonginklädnad som vattenavledningssystem, men det slutliga valet bör avgöras inom ramen för varje enskilt projekt. Bedömningen är dock att man inom utrymmet för en betonginklädnad istället kan inrymma andra system för vattenavledning om det på projektnivå visar sig totalekonomiskt mer fördelaktigt.

Liningen motgjudes berget och ger en slät och oeftergivlig vägg. Barriärelement bedöms därför inte behövas i tunneln.





## 9. Utformning av sidofunktioner

Sidofunktionerna beskrivs i 3.1 och består huvudsakligen av tvärtunnlar, teknikdriftutrymmen samt tillträdesutrymmen till teknikdriftutrymmena.

### 9.1 Tvärtunnlar

Typtunneln beskriver två parallelltunnlar med trafik i vardera riktningen. Mellan tunnlar anordnas tvärtunnlar för utrymning och insats från räddningstjänsten med ett inbördes avstånd av 250 meter. Kravet i TSFS är 200 m. Vid andra avstånd ska en riskanalys göras. Den aktuella typtunneln har emellertid valts med en enkel linjeföring som innebär att avståndet mellan utrymningsvägarna kan ökas från 200 till 250 meter med erforderlig säkerhet. Utredningen ser därför ett stort behov av att utveckla vägledande metoder för att få en konsistent, spårbar och transparent designprocess som leder fram till ett väl balanserat systemval.

Utredningen föreslår att tvärtunnlarna även ska inrymma teknikutrymmen vars funktion beskrivs nedan. Vid workshopen framgick även att tvärtunnlarnas vidd bör tas till så att entreprenadmaskiner enkelt kan transportera sig i dessa. Vidden blir därmed i storleksordningen fem meter och det färdiga utrymmet blir därmed så stort att det kan inrymma både teknikutrymme, nödutrymning och insatsväg för räddningstjänsten.

### 9.2 Teknikutrymmen

För tunnelanläggningens drift erfordras elkraftförsörjning samt tele- och datakommunikation. Kablar för detta förläggs under vänster vägren i kanalisationsrör som fixeras med distanshållare av plast, typ OPI (Figur 19).



Figur 19. Exempel på kanalisation med OPI systemet. Paketet gjuts igen i ett senare skede.

I anslutning till tvärtunnlar med teknikdriftutrymmen (TDU) anordnas rektangulära dragbrunnar med måttet exempelvis 500 x 700. Från dessa dras kabel in till teknikskåpen i TDU (Figur 20).

Där placeras styrutrustning och centralutrustning för ITV, FM-radiokommunikation, övriga radiosystem, väghållarkanaler, mobiltelefoni, trafikstyrning (av körfältsignaler och tunnelinformationsskyltar) och belysningscentraler, mm. För att säkerställa driften av anläggningen vid till exempel elavbrott förses anläggningen med avbrottsfri kraft (UPS) och batteribackuper, vilka också placeras i teknikskåp i TDU.



Figur 20. Exempel på teknikutrymme med elinstallationer.

Skåpen (datarack/kabelskåp) placeras exempelvis bakom låsbara metalljalusier bredvid varandra mot en vägg. Byggdjupet blir då begränsat till 60 cm plus utrymmet framför skåpen. Längden på en sådan grupp av skåp beror av hur mycket som ska styras. Tillgängliga utrymmen i tvärtunnlarna räcker mer än väl till för erforderlig utrustning. En sådan lösning där tvärtunnlarna utnyttjas ger en mycket stor flexibilitet att skapa en optimal systemarkitektur.

Ventilering av tvärtunnlar och TDU sker antingen med uteluft genom uteluftkanaler eller separata uteluftintag, alternativt med filtrerad tunnluft. Tvärtunnlarna bör ha ett övertryck för att minska mängden smuts som kan tränga in.

Förhållandet att centralutrustning för teknisk utrustning på senare tid blivit väsentligt mindre utrymmeskrävande gör att de ryms inom modulsystem med datarack/kabelskåp och med fördel placeras i exemplifierade TDU närmare de styrande objekten i trafiktunneln. Det gäller såväl belysningscentraler som fördelningscentraler till impulsfläktar och annan centralutrustning för tekniska system samt UPS-utrustning mm.

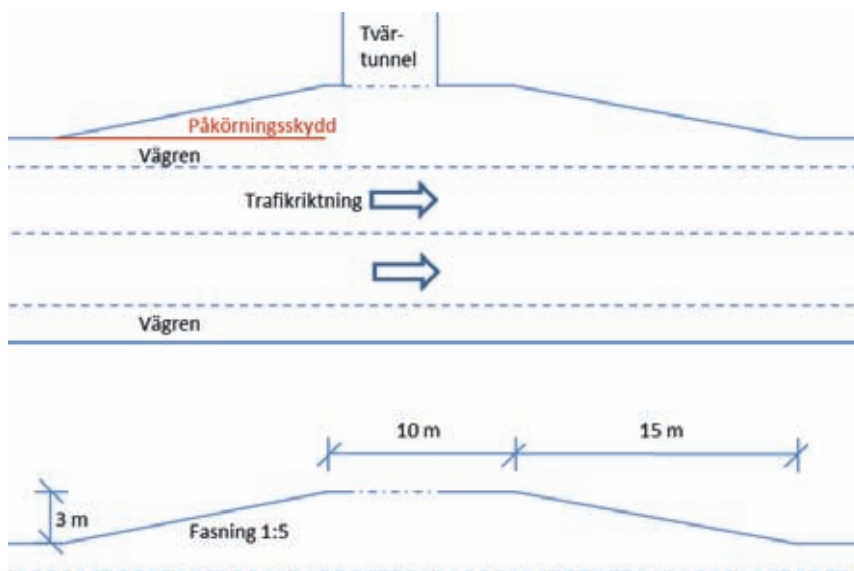
Med denna systemarkitektur reduceras mängden kablar väsentligt såväl under vägbanan som på kabelstege i trafiktunneln, vilket är utrymmesbesparande.

Utifrån ett drift- och underhållsperspektiv bör man också sträva efter att så långt möjligt begränsa sig till att hantera mellanspänning i tunnelanläggningen och om möjligt undvika att distribuera in högspänning. Högspänning ställer speciella krav på behörighet.

**9.3 Utformning av säker angöring till tvärtunnlar med centralutrustning**  
Uppställningsplatsen utformas på så sätt att servicefordonet helt kan parkera utanför trafikutrymmet. Uppställningsplatsen ska även vara så pass bred att dörrar kan öppnas och utrustning kan plockas i princip obehindrat ur fordonet. Längden på utrymmet anpassas så att fordonet med reducerad hastighet kan svänga in i fickan och backa in bakom påkörningsskyddet. Utvidgningen av sektionen görs med en fasning för att minska konsekvenserna av en påkörning. Utformningen av uppställningsplatsen illustreras i Figur 21.

Tillträde till uppställningsplatsen föreslås ske enligt följande:

- Trafikreglering med MCS. Hastighetsnedsättning, avstängning av vänster körfält.
- Dirketkontakt med trafikledningen som med kamerasystemen kontrollerar att vänster körbana är fri i den omfattning som krävs för att kunna angöra eller lämna uppställningsplatsen.
- Påkörningsskyddet kan göras flyttbart och därmed kan dess användning behovsanpassas.



Figur 21. Illustration av angöringsficka till tvärtunnel.

## 10. Underhåll

Underhåll i tunneln kräver tillträde till densamma. Varje form av tillträde för underhållspersonal i tunneln kräver någon form av säkerhetsarrangemang. Då ytorna i en tunnel är begränsade krävs i princip att hela tunneln eller i bästa fall ett av körfälten stängs av i samband med underhållsarbetet. Kostnaderna för säkerhetsarrangemangen och de samhälleliga kostnaderna blir avsevärda under en tunnels livslängd. Med syftet att hålla nere tillfällena som avstängningar behöver ske har följande beaktats av projektgruppen:

BeFo rapport 131 visar på att man för en tunnel med hög trafikintensitet ur ett totalekonomiskt perspektiv tjänar på tekniska lösningar som minimerar underhållsinsatserna både i antal och i tid. Att välja system uteslutande baserat på investeringskostnaden kan leda till en suboptimering. Att välja system som kräver att trafiken behöver stoppas med regelbundna intervall bör undvikas eller åtminstone minimeras. Likaså kan en högre investeringskostnad räknas hem om lösningen har en längre livslängd och därmed medför glesare intervall för ersättning eller utbyte av system. En viktig slutsats från BeFo rapport 131 är alltså att man åtminstone vid val av vattenavlednings- och bergförstärkningssystem bör bedöma mängd drift- och underhållsåtgärder, livslängd och samhälleliga kostnader för påverkan på trafiksituationen.

- Tunnelavloppsvattnet leds initialt genom ett markfilter. Om tunneln har en lågpunkt placeras pumputrustning i denna lågpunkt för uppfordran av vattnet till ett markfilter.
- Tillsyn kommer att behöva ske i teknikutrymmena i tvärtunnlarna men inte särskilt ofta. Tillträde sker då med bil som parkerar i parkeringsfickan utanför tvärtunneln som är avsedd för detta. I samband med att tillträdet sker stängs vänstra körfältet av med MCS skylten samtidigt som trafikledningscentralen övervakar trafiken genom kamerasystemet. Detta är särskilt viktigt när fordonet ska köra ut på vägen igen i vänster körfält.
- Tunneln är tillräckligt bred, även i tvåfältutförande, för att medge mötande trafik efter en hastighetsnedsättning. I samband med avstängning av det ena tunnelröret underlättas trafiksituationen genom detta förfarande. Avfasningar etc. anpassas därför för trafikflöden i båda riktningarna. Eftersom tillåten hastighet alltid kommer att vara låg motströms blir dessa åtgärder inte särskilt omfattande.
- Tunneln är tillräckligt hög för att medge placering av installationer så att de i så liten grad som möjligt skadas av fordon med bristande surning av kapell och last.

### 10.1 Snöröjning

En diskussionspunkt på workshopen var att när plogbilarna kör in i tunneln för de med sig snö från vägbanan utanför under en sträcka av cirka 40 m. Därefter är plogbladet tömt på snö. Om vägreken är smal studsar snön från tunnelväggen eller barriärelementet tillbaka ut på körbanan. Denna snö måste snabbt fraktas bort från vägbanan. Ofta genom att det direkt efter plogbilarna kör fordon med snöslungor som kastar upp snön på ett lastbilsflak. Denna kostnad återkommer år efter år och blir totalt kostsam. Genom att bredda vägreken till cirka 2 m i infartsområdet skulle vägreken kunna fungera som ett tillfälligt magasin för snön. Snön skulle inte behöva fraktas bort efter varje snöfall utan kunna planeras till lämplig tidpunkt på dygnet.

Projektgruppen har inte arbetat vidare med detta förslag men anser att marginalkostnaden för breddningen av vägreken mycket väl kan räknas hem med de minskade kostnaderna för snöröjningen.

## 11. Diskussion

### 11.1 Fri höjd

I Norge och Österrike gäller den fria höjden i trafikutrymmet över körfältens hela bredd. Däremot ingår inte tunnelutrymmet över vägrenen/nödgångsvägen som i norska tunnlar utgörs av en förhöjd skuldra/nödgångsväg med ett kantstöd mot körbanan.

Arbetsgruppen med stöd av referensgruppen har menat att den fria höjden bör gälla över hela vägbanan. Detta medför att hela valvet lyfts och tunnelns totalhöjd blir större.

Det finns möjlighet att minska tunnelhöjden om följande förändringar görs:

- Begränsa frihöjdens bredd över vägbanan så att avfasning kan ske ovan vägrenen.
- Minska det extra frimåttet till skyltarna som i denna rapport antagits till 30 cm vilket i typtunneln ger 5,0 m.
- Minska skyltbryggans bredd så att den inte behöver gå ut hela vägen till körfältens kantlinje mot vägrenen.

### 11.2 Vägren

Behovet av en vägren med bredd 1,2 m på vänster sida är ej helt klarlagt. Beroende på kanalisationens slutliga utformning kan eventuellt bredden minskas ned till 1,0 m. Transportstyrelsen arbetar med en översyn av direktiven och ett kommande förslag är att gångbanor ska finnas på varje sida men en bredd om minst 0,9 m. Utredningens förslag klarar med andra ord denna eventuella förändring.

### 11.3 Installationer

Modern teknik har medfört att utrymmena för teknikutrustningen avsevärt har minskat i omfång jämför med för några år sedan. Varför dessa med lätthet får plats i anläggningen utan att stora extra utrymmen behöver tillredas. Detta gäller både utrustning i teknikdriftutrymmen och objekt i tunneln. Rationellare tunnelanläggningar kan därmed byggas.

### 11.4 Tunnelavloppsvattenledning

Tunnelavloppsledningarna utförs i betong då de kan utsättas för brinnande vätskor. Plastmaterial är å andra sidan enklare att hantera. Risken för att brinnande vätskor ska hamna i avloppsroren bedöms som liten. En utredning som granskar kostnads och nyttoaspekten med de olika materialvalen

### 11.5 Kanalisation

I denna utredning föreslås kanalisationen ske under vägrenen på vänster sida i den ena tunneln. I Norra länken används istället ett kabelgalleri för dessa installationer. Detta

innebär att tunneln sprängs 1,5 till 2 m bredare än i detta förslag. En betongvägg installeras sedan mot vägreten så att ett fritt utrymme om cirka 1,5 m erhålles mellan betongväggen och bergväggen. I detta utrymme installeras sedan kabelstegar etc. för kanalisatonen. Detta ger stora möjligheter att komma åt ledningar etc. i princip obehindrat då galleriet kan användas som ett gångstråk. Nackdelen är att stora bergvolymen behöver sprängas ut för att rymma de relativt få kablar det är frågan om. Själva kablarna behöver dessutom endast underhållas i undantagsfall. För typtunneln bedöms det därför tillfyllest att lägga ledningarna i ingjutna rör. En livscykelkostnadsutredning av dessa alternativ skulle ge ytterligare vägledning om det bästa valet av alternativ.

#### 11.6 Jämförelse Norge – Sverige

En sammanställning av några riktlinjer för vägtunnlar i Norge och Sverige redovisas i Tabell 4. Huvudsakliga skillnader är skillnad på fri höjd och det fria utrymmets utbredning i sidled. Norge verkar satsa mer på frostisolering och har tydligare riktlinjer för hur tunneln ska rensas och vägöverbyggnaden konstrueras.



Tabell 4. Sammanställning av några riktlinjer för vägtunnlar i Norge och Sverige.

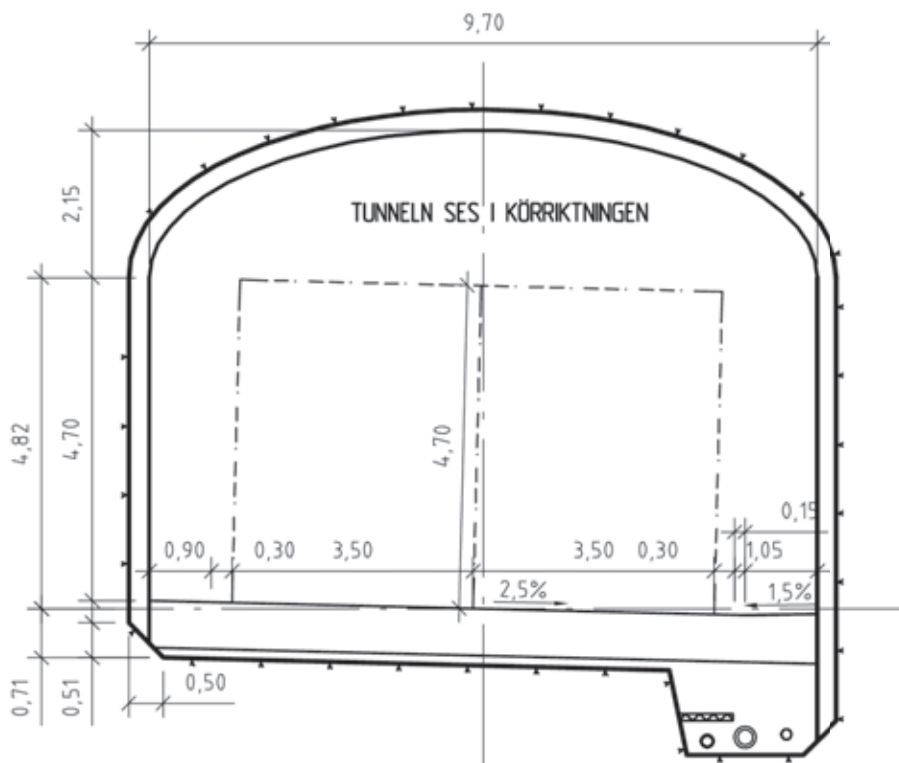
Anläggningsdel	Norge	Sverige
Fria rummet	Fri höjd 4,60 m ovanför körbanorna	Fri höjd 4,70 m ovanför hela vägytan
Vägren/sido-utrymme	1,25 m vägren på båda sidor	Hinderfri bredd om 2,0 m på högersidan och 1,0 m på vänstersidan (VR 110-120)
Nödutrymning o säkerhet	Tvärtunnlar var 250:e m, nödstation var 125:e m, haverinisch* var 250 m	Tvärtunnlar var 200 till 500 m. Analys om >200 m.
Släckvatten	Vattenledning ansluten till kommunala ledningsnätet om tillgängligt.  Reservoar om 6 m <sup>3</sup> . Kan utgöras av tankvagn förvarad i tunneln.	Alltid fylld vattenledning. Kopplad till kommunalt vatten eller reservoar där inkoppling till kommunalt vatten ej är möjligt.
Dränering och tunnelavloppsvatten	Separerade ledningar i ledningsschakt på frostfritt djup	Separerade ledningar i ledningsschakt på frostfritt djup
Hantering drän- och tunnelavloppsvatten	Leds ut i recipient, tvättar oftare för att minska momentana utsläpp.  Högtrafikerade tunnlar har separerad tunnelavloppsvattenhantering som renas separat.	Filtrering genom markfilter ofta rening av tunnelavloppsvatten.
Dimensionering tunnelavloppsvattenledning	Tvättning dimensionerande och ger en cirka 150 mm ledning	Avledning av 10 m <sup>3</sup> momentant utsläpp av vätska ger en cirka 300 mm ledning
Vatten och frostsäkring	Isolerade väggelement samt insprutad PE-skum hjassa-hjassa. Alternativt bara betongelement längs hela konturen. Båda dimensioneras så att frysning bakom isoleringen ej sker	Ingjuten tunnelduk. Dimensioneras för frysning bakom isoleringen med en last av 3 kN/m <sup>2</sup> samt vattentryck om 0,5 kPa
Bergrensning	Högst 50 mm sprängsten kvar på schaktbotten om frostmängden >10000 h°C	Oklara riktlinjer
Väg- underbyggnad	Om bergschakt gjorts under terrassnivån fylls schakten upp med dränerande material till terrassnivån.	300 mm dränerande material. Oklart vilket kvalitet det ska vara på dessa massor
Väg-överbyggnad	Oisolerad, frostmängd >10000 h°C  500 mm förstärkningslager ovanför teoretisk schaktbotten, sedan bundna bär och slitlager	80 mm obundet bärlager sedan bundna bärlager och slitlager som utgör 200 mm. Totalt 280 mm.
Väg-överbyggnad	Isolerad, frostmängd >10000 h°C  100 mm dränerande material, isolering, 220 mm betong, slitlager med asfalt.	

\*Troligen en funktion av att det fria rummet är smalare i norska tunnlar med sämre möjlighet att köra av höga fordon.

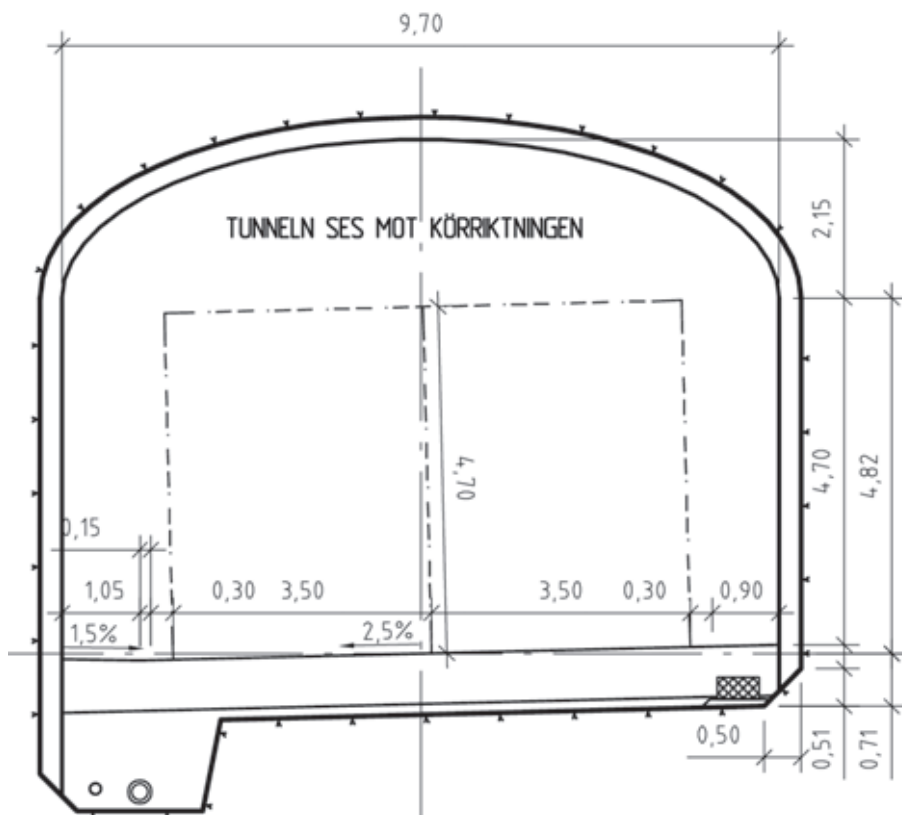


## 12. Föreslagen typsektion

Typsektionen presenteras i sin helhet i bilaga 1. I Figur 22 och Figur 23 nedan exemplifieras den föreslagna typsektionen med två snitt ur en tunnel med två körfält. I Figur 22 är körriktningen in i bilden och i Figur 23 ut ur bilden. I figurerna framgår de huvudsakliga måtten samt hur kanaliseringen är separerad från VA-delen. Hörnen har fasats av något för att ge en bättre spränggeometri men inte för mycket för att hindra urlastningen.



Figur 22. Körriktning in i bilden. VA under höger vägen i ledningsschakt. Vid tvärtunnlarna dras vattenledningen tvärs tunneltvärsnittet och in i tvärtunneln.



Figur 23. Körriktning ut ur bilden. VA på lågfartsidan och kanalisationen på högfartsidan mot pelaren mellan tunnelarna. Vid tvärtunnelarna installeras dragluckor för att kunna dra in kablaget till teknikutrymmet.

### 12.1 Tillämpning av typsektionen

Typsektionen kan användas för tunnlar som motsvarar specifikationerna på typtunneln. Typtunneln har utarbetats med syftet att samtliga teknikområden ska rymma sin utrustning inom de angivna måtten. Detta gäller med två undantag i) lining och bergförstärkning ii) djup för VA-ledningar.

Undantagen ovan projekteras från fall till fall beroende på bland annat bergförhållanden och köldmängd. Tjockleken på liningen och djupet på ledningsschakten är därför inte måttsatta i ritningarna tillhörande denna utredning.

### 13. Rekommendationer till fortsatta utredningar

Frost och frostinträngning. Schakten för VA-ledningarna kan bli ganska djup för att ledningarna ska kunna förläggas frostfritt. Samtidigt upplevs det att riktlinjer anpassade för frostfritt djup i tunnlar inte finns framtagna. I huvudsak används samma tabeller som för ovan jord. Då förhållandena ovan och under jord är mycket olika i detta avseende bör fördjupade studier av frostinträngning i tunnlar utföras. Detsamma gäller för vatten och frostsäkring ovanför vägytan. Genom att säkerställa en frostfri miljö mot bergytan behöver inte vatten och frostsäkring dimensioneras för last från isbildning. Dessa studier kan användas för att sätta ett LCC perspektiv på vatten och frostisoleringen och tydliggöra huruvida frostisolering är ekonomiskt ur ett längre perspektiv eller inte.

Norge har relativt tydliga riktlinjer för bergrensning och tjocklek av förstärkningslagren. I riktlinjerna anges vidare att det är billigare med en noggrann bergrensning kontra att öka schaktdjupet för att kunna lägga tjockare förstärkningslager ovanpå tjälfarliga massor. Tydligare riktlinjer bör arbetas fram även i Sverige med avseende på detta.

Långa sträckor i tunneln rinner dränvattnet i ledningsschaktens botten innan vattennivån stigit till dränledningens nivå. Nyttan med en kontinuerlig dränvattenledning bör utredas. Mer rationella tunnelavloppsvattenlösningar kan studeras.

Dimensionerande flöde för tunnelavloppsvattenledningen bör ses över. Dimensionerande flöde står inte i rimlig proportion till sannolikheten för att tankbilsolyckan ska inträffa.

Tunnellängden ger en inverkan på systemarkitekturen i tunneln. Genom att studera behovet för olika tunnellängder kan riktlinjer tas fram för systemarkitektur som funktion av tunnellängden.

Anslutningen mellan tvärtunnlarna och huvudtunnlarna med deras funktionella krav med avseende på säkerhet bör utarbetas mer detaljerat och kan därefter ingå i beskrivningen av det totala tunnelsystemet.

#### 13.1 Vägledande metoder

Utredningen har identifierat tre områden där det bedöms nödvändigt att utveckla vägledande metoder. Syftet med dessa vägledande metoder är att skapa en konsistent, spårbar och transparent designprocess som leder fram till ett väl balanserat systemval. De områden som identifierats är:

- Lutning i längdled, TSFS 2015:27, 8§
- Ventilation, TSFS 2015:27, 16§
- Avstånd utrymningsvägar, TSFS 2015:27, 24§

#### **14. Erkännanden**

Projektgruppen vill tacka referensgruppen för deras engagemang i projektet. Ett stort tack även till er som deltog i workshopen och lämnade värdefulla synpunkter.

Referensgruppen bestod av:

Terje Kirkeby, Statens Vegvesen; Lars Martinsson, Per Thunstedt, Liselott Berndtsson, Lars Elertson och Håkan Ahlström, TrV samt Anders Wengelin, KTH och Per Tengborg, BeFo.

## 15. Referenser

BeFo rapport 131, LCC analyser för vattenavlednings- och bergförstärkningssystem. Magnus Eriksson och Martin Edelman 2014.

Statens vegvesen, Vegtunneler, Normal Håndbok N500, Vegdirektoratet 2014.

Statens vegvesen, Vann of frostsikring i tunnel, Retningslinje Håndbok R510, Vegdirektoratet 2014.

Statens vegvesen, Vegbygging, Normal Håndbok N200, Vegdirektoratet 2014.

Trafikverket, Övergripande krav för vägars och gators utformning (VGU), Trafikverkets publikation 2015:086.

Trafikverket, TRVK Tunnel 11, Trafikverkets tekniska krav tunnel. Trafikverkets publikation 2011:087.

Trafikverket, TRVR Tunnel 11, Trafikverkets tekniska råd tunnel. Trafikverkets publikation 2011:088.

Trafikverket, Hantering av vägdagvatten, kommande handbok under utförande av Magnus Billberger, TrV. Personlig kommunikation.

Transportstyrelsens författningssamling. Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om säkerhet i vägtunnlar m.m. TSFS 2015:27.

## **16. Bilaga 1**

Typsektioner för vägtunnlar i berg. Ritning 3. Skala 1:100 i A1 format.  
(I detta rapportformat är ritningen inte skalenlig).











Box 5501  
SE-114 85 Stockholm

info@befoonline.org • www.befoonline.org  
Besöksadress: Storgatan 19

ISSN 1104-1773