InterCity-prosjektet

FORSLAG TIL TUNNELTVERRSNITT

☐	Akseptert
☐	Akseptert m/kommentarer
☐	Ikke akseptert / kommentert Revider og send inn på nytt
☐	Kun for informasjon
Sign:	

Revisjon	Revisjonen gjelder	Dato	Utarb. av	Kontr. av	Godkj. av
01A	Oppdatert høringsutkast	31.01.2017	MoK	GeH	SvS
00A	Høringsutkast	02.06.2015	MoK	GeH	SvS

Tittel: **InterCity-prosjektet** **FORSLAG TIL TUNNELTVERRSNITT**	Sider: **39**	+ 7 separate vedlegg	
	Produsert av:	Norconsult	
	Prod.dok.nr.:		Rev:
	Erstatter:		
	Erstattet av:		
Prosjekt: 965001 Parsell: 00	Dokumentnummer: **ICP-00-A-00033**	Revisjon: **01A**	
BANE NOR	Drift dokumentnummer: **NA**	Drift rev.: **NA**	

INNHOLDSFORTEGNELSE

1. SAMMENDRAG 3

2. INNLEDNING 5

3. KRAV OG FORUTSETNINGER FOR JERNBANETUNNELER 6

3.1. GENERELLE KRAV OG FORUTSETNINGER TIL JERNBANETUNNELER 6
3.2. KRAV OG FORUTSETNINGER VEDRØRENDE UNDER- OG OVERBYGNING 6
3.3. KRAV OG FORUTSETNINGER FOR JERNBANEELEKTRO 8
3.4. KRAV OG FORUTSETNINGER TIL AERODYNAMISKE FORHOLD 9
3.5. ØVRIGE KRAV OG FORUTSETNINGER 11

4. VURDERINGER OG NYE LØSNINGER KNYTTET TIL TVERRSNITTENE 15

4.1. SAMMENLIGNING MED ANDRE JERNBANETUNNELER 15
4.2. ERFARINGER MED PLASSERING AV JERNBANETEKNISK UTSTYR I TUNNELER 16
4.3. FORSLAG TIL NYE LØSNINGER FOR VA OG DRENERING 16
4.4. FORSLAG TIL LØSNINGER FOR JERNBANEELEKTRO 19

5. TVERRSNITT FOR DOBBELTSPORTUNNEL 22

5.1. GENERELT 22
5.2. TUNNELTVERRSNITT 22
5.3. FRAVIK FRA TEKNISK REGELVERK FOR DOBBELTSPORET TVERRSNITT 23

6. TVERRSNITT FOR PARALLELLE ENKELTSPORTUNNELER 25

6.1. TUNNELTVERRSNITT FOR SPRENGNING 25
6.2. TUNNELTVERRSNITT FOR TUNNEL DREVET MED TBM 26
6.3. FRAVIK FRA TEKNISK REGELVERK FOR ENKELTSPORTVERRSNITT 29

7. TVERRSNITT FOR HJELPETUNNELER 30

7.1. GENERELT 30
7.2. FORSLAG TIL TVERRSNITT FOR RØMNINGSTUNNEL 30
7.3. TVERRSNITT FOR PARALLELLE SERVICE- OG RØMNINGSTUNNELER 31
7.4. TVERRSNITT FOR TVERRFORBINDELSER 32
7.5. TVERRSNITT FOR TVERRSLAGSTUNNELER 34
7.6. TVERRSNITT FOR VERTIKALE SJAKTER FOR RØMNING 35

8. DOKUMENT INFORMASJON 38

8.1. ENDRINGSLOGG 38
8.2. REFERANSELISTE 38
8.3. TEGNINGSVEDLEGG 39
8.4. ØVRIGE VEDLEGG (VEDLEGGSRAPPORTER) 39

1. SAMMENDRAG

Norconsult har på oppdrag fra InterCity-prosjektet (IC) utarbeidet forslag til tunneltverrsnitt for ulike jernbanetunneler samt tilhørende hjelpetunneler. Tunneltverrsnittene er ment å bli standard tunneltverrsnitt for IC og inngå i Teknisk designbasis. Detaljerte tegninger av tunneltverrsnittene ligger som vedlegg til rapporten.

Tunneltverrsnittene er, med ett unntak, utformet for konvensjonell sprengning. Unntaket gjelder for enkeltsporet jernbanetunnel hvor TBM er aktuelt.

Tunneltverrsnittene for jernbanetunnelene er foreslått på basis av erfaringer fra nyere jernbanetunneler. Tunneltverrsnittene er vurdert ut fra det jernbanetekniske utstyret som er forutsatt benyttet i IC. I tillegg er andre tekniske løsninger gjennomgått, bl.a. føringsveier for kabler samt drenering. Ytterligere er det gjort teknisk/økonomiske vurderinger knyttet til aerodynamiske forhold.

Det har vært en hovedforutsetning fra IC å utforme tverrsnittene for jernbanetunnelene uten nisjer eller andre utvidelser for tekniske installasjoner. Hensikten er å kunne utføre tunneldrivingen og de etterfølgende installasjonsarbeidene med standardiserte løsninger mest mulig i hele jernbanetunnelens lengde, noe som vil gjøre tunnelbyggingen mer effektiv og ha positiv innvirkning på byggetid og kostnader.

Det som erfaringsmessig tvinger fram bruk av nisjer i jernbanetunnelene er drenskummer som kommer i konflikt med kabelkanaler, trekkekummer som kommer i konflikt med andre føringsveier for kabler eller andre tekniske installasjoner. Likeledes er det vanlig å etablere nisjer for elektrotekniske skap slik at skapene blir bedre beskyttet, bl.a. for trykk- og sug- og vindlaster. En annen erfaring fra nyere jernbanetunneler er viktigheten av å unngå drensgrøfter / drenskummer under fundamentene for vann og frostsikringen.

For å unngå nisjer /utvidelser i tunneltverrsnittet for teknisk utstyr, er det utviklet og foreslått nye løsninger for dreneringssystemet og tildels nye løsninger for kabelføring. De foreslåtte løsninger i underbygningen omfatter:

- Midtstilt drensgrøft og kummer
- Kabelkanaler lagt til grunn som hovedløsning som føringsvei.
- Rørkryss med kun ett lag under spor
- Etter anvisning fra Bane NOR (BN) fremføres AT-kabel som uisolert line i taket

Det bemerkes at noen nye løsninger krever dispensasjon fra Teknisk regelverk eller endring av dette. Det har også kommet noen endringer i Teknisk regelverk per 3. september 2015, 1. februar 2016 og 15. september 2016. Avvikende løsninger i forhold til nyeste revisjon er angitt i kapittel 5.5 og 6.5.

Tabellen nedenfor angir forslag til størrelse på jernbanetunneler og hjelpetunneler. Generelt gjelder det at frittromsprofilene for jernbanetunnelene til dels er for små til at krav til trykkendringer og laster fra trykk og sug for hastighet 250 km/t kan oppfylles uten trykkavlastingstiltak. Det bemerkes derfor at alle jernbanetunneler må sjekkes ut vedrørende behovet for trykkavlastningstiltak eller utvidelse av profilet.

Hjelpetunneler (og rømningssjakt) er utformet for å gi færrest mulige alternative tverrsnittsformer. Rømningstunneler, servicetunneler og tverrforbindelser er alle foreslått som 25 m^2 store tunneltverrsnitt. Tverrslagstunneler er foreslått som 60 m^2 store tverrsnitt på basis av anleggstekniske vurderinger samt SHA-vurderinger. Valg av løsning for rømningssjakt må vurderes ut fra en risikovurdering i hvert enkelt tilfelle.

Tabell 1: Sammenstilling av tunneltverrsnittene.

Type tunnel	Sprengningsareal m^2	Frittromsprofil[1] m^2
Dobbeltsporet jernbanetunnel	123	93
Enkeltsporet jernbanetunnel, sprengning	83	59
Enkeltsporet jernbanetunnel, TBM	81*	59
Rømningstunnel	25	-
Parallell service- og rømningstunnel	25	-
Tverrtunnel/tverrforbindelse	25	-
Tverrslag	60	-
Rømningssjakt	31	-

*) utboret tverrsnittsareal avhenger av metode for vann- og frostsikring, eventuelt behov for vanntett, udrenert tunnel.

[1] Luftrom over ballast og gangbane

2. INNLEDNING

Norconsult har fått i oppdrag å utarbeide forslag til tunneltverrsnitt for ulike tunneltyper i IC gjennom en henvendelse fra oppdragsgiver datert 12.03.2015. Følgende tunneltyper skal vurderes:

- Dobbeltsportunnel
- To parallelle enkeltsportunneler for henholdsvis konvensjonell sprengning og TBM-drift.

Løsningene skal utformes slik at frittromsprofilet ikke blir for trangt og det skal tilrettelegges for ulike vann- og frostsikringsløsninger (VF-sikring). Dertil skal det vurderes ulike tekniske løsninger, bl.a drenering og beredskapstiltak (røykvifter og brannvann) samt at det ikke skal være behov for nisjer i tverrsnittene. Tegninger / skisser som viser plass for jernbaneteknisk utstyr skal utarbeides.

For dimensjonering skal følgende legges til grunn:

- Dimensjonerande hastighet opp til 250km/t.
- Signalsystem basert på ERTMS (dvs. ingen optiske signaler i tunnel).
- Det er avtalt at KL-anlegget i dobbeltsportunnel skal plasseres sentralt i tunneltverrsnittet.

Rapporten redegjør for de vurderinger som er gjort i arbeidet med tunneltverrsnittene for jernbanetunnelene. Forslag til tunneltverrsnitt tar ikke høyde for eventuelle siktkrav som kan medføre breddeutvidelse eksempelvis som følge av liten horisontalkurvatur. Det bemerkes også at det på grunn av ulike forhold med hensyn til tunnellengde og toghastighet vil det bli behov for trykkutjevningstiltak avhengig av lokale forhold for de enkelte tunnelene.

I første høringsutgave av rapporten var det vist kontaktstøp i tunneltverrsnitt med buede vegger. Tilsvarende var det vist betongelementer i tverrsnitt med rette vegger. Eventuelle fordeler og ulemper ved de ulike formene for vann- og frostsikring er ikke behandlet i denne rapporten. Underveis i arbeidet med et revidert høringsutkast ble teknisk regelverk for tunneler endret, slik at løsningene med betongelementer og hvelv med PE-skum utgår. En uoffisiell revisjon datert 30.05.2016 ble drøftet med oppdragsgiver. De viste tunnelprofiler ble i denne utgaven utformet for vann- og frostsikring utført ved kontaktstøp eller sprøytebetong sandwich-konstruksjon med sprøytbar membran. For enkeltsportunneler er det også vist løsning for TBM og utforing med betongsegmenter. Foreliggende høringsutkast (revisjon 01A) er oppdatert etter mai 2016 bl.a. for å ivareta endringer i Teknisk regelverk og Teknisk designbasis for IC.

Oppgaven dekker også vurderinger og forslag til tunneltverrsnitt knyttet til hjelpetunneler for jernbanetunnelene. Dette er:

- Rømningstunneler
- Parallell service- og rømningstunneler
- Tverrslagstunneler
- Tverrforbindelse mellom enkeltsportunneler.
- Vertikal rømningssjakt

Hjelpetunneler er vurdert og beskrevet i kapittel 7.

I revidert høringsutkast er det tatt hensyn til innhentede kommentarer og vurderinger utført i samråd med BN. Det vises til e-poster med oppsummering av endringer som BN ønsker vurdert eller medtatt i revidert utkast, jfr. e-post fra oppdragsgiver 29. september og 12. november 2015.

De hovedgrep som endres omfatter:

- Bruk av standard kabelkanaler istedenfor en kombinasjon av trekkerør og kabelkanal.
- AT-ledning flyttes fra innstøpt trekkerør under gangbane til fritt oppheng i tunneltak som blank (uisolert) line.

Enkelte temaer er etter ønske utdypet og supplert (aerodynamiske forhold, frostinntrengning, drenssystemer). Forhold som er utdypet i denne utgaven av temarapporten er beskrevet i egne vedleggsrapporter.

3. KRAV OG FORUTSETNINGER FOR JERNBANETUNNELER

3.1. Generelle krav og forutsetninger til jernbanetunneler

Utforming av tunneltverrsnitt og utrustning i jernbanetunneler skal tilfredsstille krav i gjeldende versjon av TSI-sikkerhet i jernbanetunneler, TSI-SRT 2014, (ref. 1). For dimensjonerende hastigheter på 200 km/t eller mer gjelder også TSI-Infrastruktur (ref. 12).

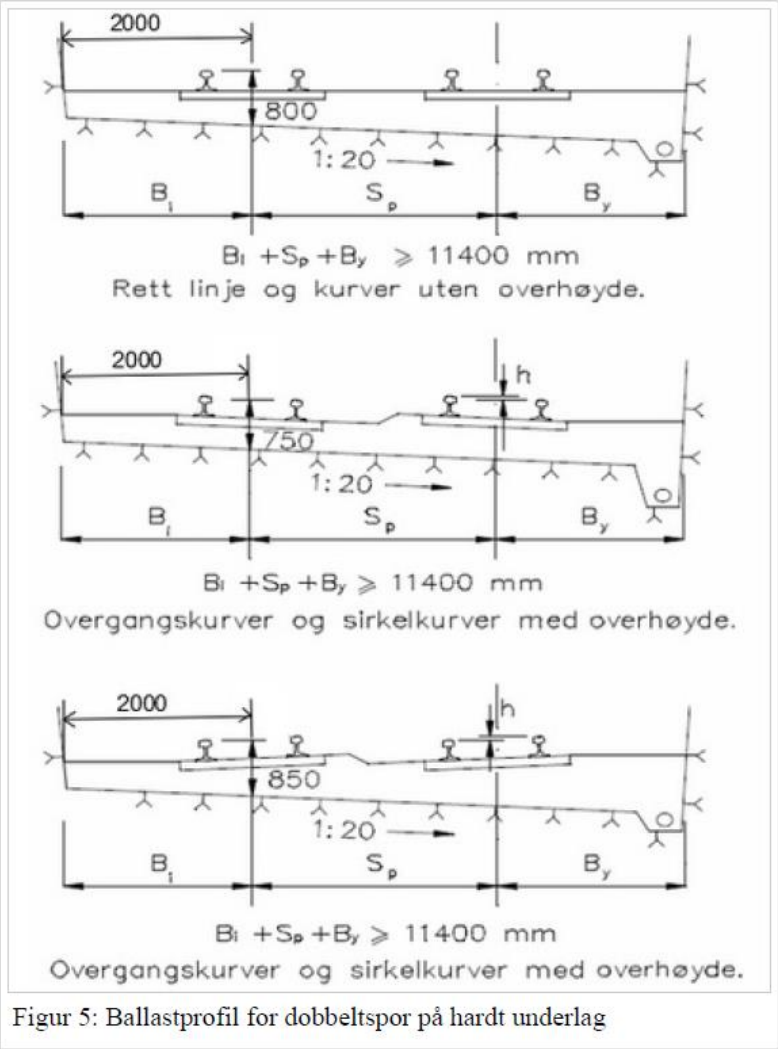
For design av tunneltverrsnitt tas det utgangspunkt i Jernbaneverkets gjeldende utgave av Teknisk regelverk (15.09.2016), Teknisk Designbasis for IC (ref. 2), samt god praksis fra norsk tunneldesign. Teknisk regelverk omfatter krav til prosjektering, bygging og vedlikehold av infrastrukturanleggene på jernbanenettet i Norge for dimensjonerende hastigheter t.o.m. 250 km/t. Da regelverket stadig er under utvikling og tilpasning til oppdaterte løsninger, er det foreslått avvik fra regelverket der dette kan medføre forbedringer av løsninger.

3.2. Krav og forutsetninger vedrørende under- og overbygning

Andre krav i Teknisk regelverk og TSI-SRT som gir føringer for jernbanetverrsnittene er:

- Bredden på gangbanen skal være minst 1,2 m. Lokale hindringer i rømningsområdet skal unngås. Evt. hindringer skal ikke redusere minimumsbredden til mindre enn 0,8 m etter Teknisk regelverk, og lengden på en slik hindring skal ikke overstige 2 m (Tunneler/Prosjektering og bygging/Sikkerhetstiltak, kap. 2 TSI-krav med kompletteringer).
- Overkant gangbane skal ligge i nivå med eller over SOK.
- I Teknisk regelverk - Felles elektro / Prosjektering og bygging / Kabellegging og kabelkanaler pkt. 2.1- medfører gjeldende utgave krav til kabelfritt profil og bredde på formasjonsplan at avstand fra spormidt til faste installasjoner (kabelkanal) må være minimum 2500 mm. Det er imidlertid avklart at de samme bestemmelser som gjelder i Teknisk regelverk for bruer, kapittel 3.5 Bredde, også kan gjøres gjeldende for tunneler (Figurer i regelverket for tunneler viser min. 2200mm).
- Horisontal avstand fra senterlinje spor til kantbjelke, kabelkanal eller annen fast installasjon som ligger over brudekket skal være ≥ 2200 mm [2].
- For hastigheter mellom 200 og 250 km/t skal det benyttes sporavstand 4,7 m mellom spormidt i dobbeltsporet tunnel (Underbygning/Prosjektering og bygging/Profiler og minste tverrsnitt, kapittel 4.2 Normalprofil for tunneler).
- Vertikal avstand fra SOK ned til underkant ballast (formasjonsplan) skal være ≥ 800 mm (750+50 mm) for dobbeltspor dimensjonert for 250 km/t etter Teknisk regelverk - Overbygning/Prosjektering/Ballast pkt. 2.1 og 2.3. Med en toleranse på 0/+20 blir tykkelsen 820 mm.
- Vertikal avstand fra SOK ned til konstruksjoner og kabler under banen (kabelfritt profil) skal være 900 mm (Teknisk regelverk – Felles elektro / Prosjektering og bygging / Kabellegging og kabelkanaler pkt. 2.1).
- Fall mot hovedgrøft i tunnel skal være 5 % (Tunneler/Prosjektering og bygging/Profil pkt. 3b).

[2] Regelverket har noen uklarheter med hensyn til «kabelfritt profil» og krav til bredde og dybde for formasjonsplanet (uk ballast). Fra Overbygning/Prosjektering/Ballast er det for tunneler henvist til figur 5, Ballastprofiler for dobbeltspor på hardt underlag. Se figur nedenfor.
Vi forutsetter imidlertid at ballastbredden innenfor faste konstruksjoner er som angitt, ≥ 2200 mm. Ballastdybden (sok – formasjonsplan) er e-post fra BN 12.11.2015 bekreftet å være 820 mm +0/-20 mm.



Figur 5: Ballastprofil for dobbeltspor på hardt underlag

(Figuren er hentet fra Teknisk regelverk og er tatt med i tilknytning til teksten i fotnote 2 på foregående side.)

3.3. Krav og forutsetninger for jernbaneelektro

Signal og tele

Ved innføring av ERTMS vil det ikke lenger være behov for optiske signaler. Det forutsettes at følgende elementer som er koblet til signalanlegget vil være nødvendig i alle tunneler: Akseltellere, baliser, nøkkelskap for arbeidsområder, avsporingsindikator, drivmaskiner, sveivskap, varmegangsdetektor, hjulslagdetektor, lokalstiller, AS-skap, mv.

Styrte baliser, avsporingsindikatorer, akseltellere og drivmaskiner har behov for trekkerør fra kum/kabelkanal til spor. Elementer som monteres på vegg og har behov for trekkerør er nøkkelskap, sveivskap, akselteller EAK og AS-skap.

Selv om de optiske signalene vil utgå ved ERTMS, erstattes de med skilt "E34 Stedsskilt" og "E35 Stoppskilt". Tunneltversnittet må være dimensjonert slik at skiltene ikke vil være i konflikt med togprofilet («Minste tverrsnitt for nye baner»). Antatt størrelse på skiltene er 70x70 cm. Skilt skal plasseres ca. 3 meter over SOK og ikke være i konflikt med rømningsprofilet. Det er behov for å fastsette siktkrav til disse skiltene. Merk at sikt til skilt ikke er vurdert i denne rapporten.

Kontaktledning

Hengemaster

Fra oppdragsgiver var det opprinnelig satt som forutsetning at det skal benyttes system 25 med sidestilte hengemaster for utliggere i dobbeltsportunneler. For å få plass til et slikt system er det nødvendig å utvide tverrsnittene for dobbeltspor tunneler med ca. 6 m^2. For videre dimensjonering av tverrsnittet er det avklart med oppdragsgiver at det skal benyttes midtstilte hengemaster for utliggere.

I enkeltsportunneler vil det være nødvendig med sidestilt oppheng. Tunneltverrsnitt for enkeltspor er tilpasset bruk av materiell for BN kontaktledningssystem S25.

Loddavspenning

Det er ved dimensjonering tatt utgangspunkt i godkjente loddavspenninger for system 25 som henges på vegg uten nisje.

Autotrafo-anlegg (AT)

Det har kommet innspill fra BN om at det på de nye strekningene kan bli en for stor andel med kabel i overføringssystemet. Dette har medført at det også er satt av plass til fremføring av blanke liner (uisolerte ledere) gjennom tunnelen for PL og NL. Optimal faseavstand på dagsoner mellom fasene (NL og PL) er 1 m. Det er ikke utført detaljering for optimal faseavstand i tunnel, minimumsavstanden er 400 mm og optimal avstand vil avhenge av avstanden mellom innfestingspunktene. Det er opplyst fra oppdragsgiver at det ikke er nødvendig å ta hensyn til sikkerhetsavstanden på 2 m mellom KL og AT-lederne da det er åpnet for mulighet til å koble ut AT-anlegget ved arbeid på KL-anlegget i tunnelene. For passering av hindre i tunnelen som ev. vifter kan AT i korte strekninger fremføres som isolert kabel i taket.

Skap og jernbanetekniske installasjoner

For å unngå gjennomføring av trekkerør og utsparing i vann- og frostsikringsløsning, er det forutsatt at skap og jernbanetekniske installasjoner monteres i frittromsprofilet. Ved dimensjonering av tverrsnittet er det tatt utgangspunkt i at skap kan henges på veggen og at de har en maksimal dybde på 500 mm. Det er forutsatt at skapene har kabelinnføring i bunnen. Det må stilles følgende krav til leverandørene av skapene når det gjelder krav til tetthet (IP-grad) og styrke for innfesting mht. aktuelle trykk- og suglaster i tunnelene:

- IP 65DM er kravet for utstyr langs sporet, ref. TRV 543 kapittel 4 tabell 4.4. Hvis det er krav om høytrykkspyling økes kravet til IP klasse 66. I spesielle tilfeller ved større varmeutvikling i skapet eller kondensproblemer vurderes spesielle tiltak for lufting.
- Tette skap bør dimensjoneres for trykk- og suglaster i henhold Tunneler/Prosjektering og bygging/Laster, kapittel 2.2 (±4 kPa for enkeltsportunnel og ±5 kPa for dobbeltsportunnel)

Felles elektro/Prosjektering og bygging/Elektrotekniske bygninger og rom, kap. 2.1.1 Bygning:

c) I tunneler skal det anordnes plass for teletekniske rom av kategori 3 (eventuelt frittstående skap) for hver 500 m.

Tekniske hus
Tekniske hus (hovedkiosker) forutsettes plassert i rømningstunneler, tverrforbindelser, tverrslag, etc.

Tekniske hus/HK inneholder rom for høyspent, lavspent og tele og i noen tilfeller også rom for signal.

Føringsveier for kabler
I Teknisk regelverk (Felles elektro/Prosjektering og bygging/Kabellegging og kabelkanaler, kapitel 2.6 Kabler i tunneler) er det angitt at:

c) I tunneler skal det etableres kabelkanal for kabler.
e) Matekabler med høyspenning og returledning i tunnel bør monteres på vegg eller henges i tak tilsvarende som på fri linje

Ved vurdering av konsept for føringsveier er det sett på alternative løsninger basert på innstøpte trekkerør med plasstøpt kanal eller kun innstøpte trekkerør. Det vises her til egen vedleggsrapport. Løsningene ble også drøftet med representant for BN 16.02.2016, der Norconsult ble anmodet om å komme frem til en anbefalt løsning.

Basert på en samlet vurdering er det foreslått å legge tradisjonelle kabelkanaler til grunn for tunneltverrsnittene.

3.4. Krav og forutsetninger til aerodynamiske forhold

De aerodynamiske effektene fra togbevegelse omfatter lufttrykksendringer og luftbevegelser i tunneler. Disse effektene kan ha innvirkning på komfort og helse for passasjerer og personell og påvirke sikkerheten for personer som visiterer tunnelen eller tilhørende rom. De utgjør også belastninger på tog og vogner samt innredninger og installasjoner i tunneler.

Trykk- og suglaster som genereres ved at tog entrer og kjører gjennom en tunnel vil variere med toghastighet, tunneltverrsnitt, tunnellengde, togets aerodynamiske utforming og eventuelle togmøter. I regelverket stilles det krav til lastvirkninger på konstruksjonene og komfortkrav for passasjerer og betjening om bord i togene ved trykkendringer. Frittromsprofilet må dermed tilpasses slik at lastvirkning og trykkendringer ikke overstiger kravene i regelverket.

Det vil være hensiktsmessig å velge standard tunneltverrsnitt for henholdsvis dobbeltspor- og enkeltsportunnel og unngå variasjon av tverrsnittsareal fra tunnel til tunnel i størst mulig utstrekning. For å senke kostnader velges et optimalt tverrsnitt i forhold til øvrige plassbehov. Der tverrsnittet ellers ville være for lite for å tilfredsstille kravene til maksimale aerodynamiske påvirkninger innføres trykkreduserende tiltak.

I vedleggrapport 1 er det redegjort for krav i regelverket og nødvendige tiltak for å tilfredsstille kravene.

For vurdering av trykkendringer ved togpassasje gjennom tunneler for IC er det avtalt å benytte toglengde på 330 m (tre Flirt-sett) og togtverrsnitt tilsvarende Flirt (A_{tog} = 12 m^2)

For tunnelen Holm - Nykirke, tunnelene på parsell Farriseidet – Porsgrunn, samt Ulvintunnelen, er det gjennomført strømningstekniske beregninger av trykkforhold i jernbanetunneler. Beregningene viser at det vil være økonomisk hensiktsmessig å redusere tverrsnittene og kompensere for kravene til lastvirkning og trykkendringer ved å etablere trykkutjevning for å unngå svært store tunneltverrsnitt som standardløsning. Trykkutjevning kan utføres ved trykkutjevningssjakter (utført i Ulvintunnelen) eller utvidede tunnelinnføringer (utført for tunnelene i Vestfold, Holm – Nykirke og Farriseidet - Porsgrunn).

Komfortkrav
I Teknisk regelverk - Tunneler/Prosjektering og bygging/Laster pkt. 2.3d, er det stilt krav til maksimale trykkendringer i ikke trykktette tog på 3 kPa/4s for enkeltsportunnel og 4,5 kPa/4s for

dobbeltsportunnel (UIC-verdier). Konsekvenser for valg av tunneltverrrsnitt basert på maksimalverdiene er redegjort for i vedleggsrapport 1.

I Endringslogg for Tunneler/Prosjektering og bygging 15.09.2016 anbefales det i endringsartikkel 1530 at dagens krav til trykktette og ikke-trykktette tog endres til et grunnleggende komfortkrav for alle tog:

- 2,0 kPa/4s (enkeltsporstunneler)
- 3,0 kPa/4s (dobbeltsporstunneler)

Anbefalingen i Endringsloggen samsvarer til dels med tidligere anbefalinger fra Norconsult og forutsetninger som ble lagt til grunn i utførte strømningsberegninger for nye tunneler (Vestfoldbanen, Dovrebanen). I tilleggsnotat til Vedlegg 1 er det redegjort for konsekvenser ved å innskjerpe komfortkravene.

For to parallelle enkeltsportunneler øker behovet for trykkreduserende tiltak ved endring av komfortkriteriet for trykkendringer fra 3,0 til 2,0 kPa på 4 sekunder. For tunneler med lengde 5 km eller mer kreves at tunneltverrsnittet (luft) må økes fra 59 m^2 og inntil 81 m^2. Det vil imidlertid være lønnsomt med trykkreduserende tiltak i form av åpne tverrforbindelser og/eller trykkutjevningssjakter. For kortere tunneler må tiltak vurderes spesielt.

For dobbeltsportunneler øker behovet for trykkreduserende tiltak ved endring av komfortkriteriet for trykkendringer fra 4,5 til 3,0 kPa på 4 sekunder. For tunneler med lengde 3 km kreves at tunneltverrsnittet (luft) må økes fra 93 m^2 og inntil 120 m^2, men med noe avtagende tverrsnitt for lengre tunneler (se graf nr. 2). Det vil imidlertid være lønnsomt å vurdere trykkreduserende tiltak i form av trykkutjevningssjakter eller utvidete portaler (trompeter). Behovet for trykkreduksjon er inntil 33 % for tunneler over 3 km. For tunneler rundt 4 ganger toglengden (1,2 km) må tiltak vurderes spesielt.

Generelt bør de angitte forutsetninger om krav til togtyper, blokkeringstverrsnitt, aerodynamisk utforming og møtescenarier vurderes.

Påvirkning fra trykkendringer på togmateriell og faste installasjoner
Det er ikke klart om minimumskravene til komfort også vil være tilstrekkelig for unngå skader eller ulemper ved påvirkning fra trykkendringer på togmateriell og faste installasjoner som skap, dører og andre lukkede volumer.

Dersom blandet trafikk med persontog i hastighet inntil 250 km/h og godstog inntil 120 km/h skal tillates uten fare for skade på godsvogner og lastbærere bør det vurderes nærmere om trykkendringene bør begrenses til verdier som er lavere enn basiskravene til komfort.

Ved å legge de grunnleggende komfortkravene som angitt i ovenstående avsnitt til grunn for dimensjonering, antas det at sikkerhetsmarginene for å unngå skader på togmatriell, gods og faste installasjoner vil være tilfredsstillende.

Lastkrav
Simulering utført for tunnelen Holm – Nykirke viser at de maksimale trykk- og suglaster på konstruksjoner i tunnelen begrenser seg til + 3 kN/ m^2 og -4 kN/ m^2. For dimensjonering av betongelementer som VF-sikring og andre konstruksjoner ble disse lastene lagt til grunn. Dette avviker fra krav i senere utgave av Teknisk regelverk som angir at VF-sikring for dobbeltspor skal dimensjoneres for trykk- og suglaster på ± 5 kN/m^2 (ref. 8). For tunneler med enkeltspor er kravene ± 4 kN/m^2.

Lufthastighet
TSI infrastruktur krever at tiltak iverksettes for å redusere luftbevegelsene i underjordiske stasjoner til et akseptabelt nivå. Kravet er ikke tallfestet, men en vindhastighet på 5 m/s benyttes som retningsgivende (Holmestrand stasjon, Citytunnelprosjektet i Malmö).

3.5. Øvrige krav og forutsetninger

Bergsikring og injeksjon
Bergsikringen utføres uavhengig av de aktuelle vann- og frostsikringsmetodene. Det forutsettes at det er berget som utgjør den bærende struktur i tunnelen. For bergsikring kreves det 100 års levetid for den permanente forsterkningen (Teknisk Designbasis for IC).

I Teknisk regelverk er det krav om at tunnelen skal være tilstrekkelig tett mot vanninnlekkasje med hensyn til risiko for skade gjennom miljøpåvirkning og tunnelens funksjon og sikkerhet. Tetting med forinjeksjon må derfor vurderes, jfr. Teknisk regelverk - Tunneler/Prosjektering og bygging/Tunneldrift, kapittel 3.6 Injeksjon.

Vann- og frostsikring
Konstruksjonstyper for vann- og/eller frostsikring som per i dag er godkjent for bruk i tunneler er lagt til grunn for utforming av tverrsnitt, jfr. Teknisk regelverk - Tunneler/Prosjektering og bygging/Vannsikring.

Følgende konstruksjonstyper for vannsikring skal benyttes:

a) Betongsegmenter for TBM
b) Kontaktstøpt betonghvelv med membran
c) Sprøytebetongkledning vanntettet med sprøytbar membran

Brannvann
I henhold til Teknisk regelverk og TSI-SRT er det ikke krav til uttak av brannvann i tunneler. Det er imidlertid krav til at beredskapsplasser utenfor hver portal skal være utstyrt med vannforsyning (minimum 800 l/min i to timer) nær det tiltenkte stoppestedet til toget, uansett lengde på tunnel. Det har generelt vært et krav fra lokale brann- og redningsetater at det skal være mulighet for uttak av brannvann i tunnelene. Det er således installert gjennomgående brannvannsledning i nyere tunneler. Fra oppdragsgiver er det forutsatt at det skal settes av plass for eventuelt brannvann i tverrsnittene.

Røykventilasjon
Det er ikke krav om røykventilasjon i TSI-SRT eller Teknisk regelverk. I nyere tunneler er det etter krav fra lokale brann- og redningsetater installert styrt røykventilasjon ved langsgående lufting. Fra oppdragsgiver forutsettes det at det skal avsettes plass i tverrsnittene for eventuell installasjon av røykvifter.

Sporoverbygning
Ved vurdering av tverrsnittene for jernbanetunnelene er det tatt utgangspunkt i krav til minste tverrsnitt for nye baner og tverrsnitt E i JD 520 Underbygning. Etter avtale med oppdragsgiver skal sporoverbygningen i hovedsak være basert på ballastspor. Unntak fra dette er enkeltsporet tunnel drevet med TBM, der det forutsettes brukt fastspor.

I sporoverbygningen skal det benyttes skinner profil – 60E1og sviller betong BN 60 i henhold til ref. 2.

Demping av strukturlyd
Krav er omhandlet i Teknisk regelverk - Overbygning/Prosjektering/Ballast, Kapittel 4 Ballastmatter mot strukturlyd. For å dempe uønsket overføring av strukturlyd til nærliggende bygninger er det nødvendig å konstruere spor med mindre stivhet og større elastisitet. For bane fundamentert til berg eller på betongkonstruksjon (f.eks. bruer) kan det benyttes ballastmatter lagt på et avrettingslag av betong i formasjonsplanet. Eventuelt kan mattene limes til svillenes underside (svillematter). Krav i forbindelse med strukturlyd kan finnes i TA-1442 Støy i arealplanlegging (ref. 9) og NS8175 Lydforhold i bygninger (ref.10).

Fra referanse 11 (Vurdering av strukturstøy for Dovrebanen Minnesund – Kleverud):

- En dobling av hastigheten vil beregningsmessig kunne gi ca 4 dB økning av strukturstøynivået. Målinger på andre steder viser imidlertid at strukturstøynivået ikke

nødvendigvis øker med hastigheten i dette hastighetsområdet. På grunn av høyere aksellaster og generelt dårligere vedlikehold av hjul tilsier erfaringen at godstogene oftest gir de høyeste strukturstøynivåene på trass av lavere hastighet. Det er i beregningene derfor forutsatt at godstogtrafikk i 80 km/time vil være dimensjonerende for tiltak.

- På dobbeltsporet Skøyen - Asker ble det på partier med spesielt lav overdekking anbefalt ballastmattene kombinert med minimum 1,6 meter ekstra dypsprengning med tilbakefylling av utsprengte masser under ballastmattene.

Drenssystemer
I Teknisk regelverk - Underbygning/Prosjektering og bygging/Banelegeme er det i kapittel 3.3 Drenering angitt at:

a) Dreneringssystemet skal dimensjoneres etter Underbygning/Prosjektering og bygging/Drenering.

b) Dreneringssystemet skal dimensjoneres slik at alt lekkasjevann i tunnelen føres frostsikkert ut av tunnelen.

Dette skal utføres ved følgende alternativer:

- *I frostsonen sikres dette ved isolert grøft på begge sider av tunnelen*
- *I frostfri del er det generelt tilstrekkelig med gjennomgående grøft på den ene siden av tunnelen*
- *I våte partier legges dobbel grøft, som føres over i enkel gjennomgående grøft ved hjelp av tverrgrøfter*

Det bør benyttes lukket drenering i tunneler.

Videre, er det i Underbygning/ Prosjektering og bygging/Drenering kapittel 7.2 angitt at i fjellskjæringer og tunneler legges drensgrøften på laveste side, idet planeringen legges i fall minst 5 % (1:20). Grøftebredden skal være minimum 0,5 m og dybden avpasses etter linjens fall. Grøftens fall i lengderetningen skal hele veien minst være 3,0 ‰. Drensrørene legges i et avrettingslag og overfylles med ballastpukk.

I arbeidet med denne rapporten er det vurdert en løsning uten drensrør og sandfang. De geologiske og hydrogeologiske forhold vil spille inn på et eventuelt valg om å utelate lukket drenering. Det angis her bl.a. mulighetene for tilslamming og avsetninger av mineraler og biologisk materiale. Det anbefales derfor en tunnelløsning med lukket drenssystem i tråd med den nevnte bestemmelsen i regelverket angitt ovenfor.

Frostisolasjon over drensgrøft og i tunnelsåle
«Frostsonen» er ikke definert nærmere i Teknisk regelverk, men Statens vegvesen definerer behovet for å isolere drensgrøfter der frostmengden er mer enn 6000 h°C (Håndbok N500, kapittel 8). I tråd med BNs Tekniske regelverk foreslås det at grøftene isoleres ved F_{100} > 6000 h°C. Det er viktig å bestemme frostsonen riktig og en optimalisering anbefales utredet i de konkrete prosjekter.

Fremfor å legge drensrørene (og brannvann) i frostfri dybde, som vil kreve forholdsvis dype grøfter, er det mest hensiktsmessig å isolere grøftene i tråd med regelverket (jfr. foregående avsnitt). Det anbefales videre å isolere hele sålen i frostsonen for å unngå iskjøving ved eventuelle lekkasjer fra berget, da normal ballastdybde ikke gir tilstrekkelig isolasjon mot frost. Innlekkasjevann føres da frostfritt til gjennomgående grøft.

Krav til frostsikringslaget som ligger mellom forsterkningslag og traubunn er gitt i Underbygning/Prosjektering og bygging/Frost. Det er angitt at tykkelsen av dette laget varierer avhengig av materialer og stedlige frostmengder, samt av dimensjonerende hastighet på strekningen. Laget kan falle helt bort hvis grunnen ikke er telefarlig.

Det er angitt i Teknisk regelverk - Underbygning/Prosjektering og bygging/Frost (kap. 3.2.4) at frostfundament av XPS kan benyttes ved spesielle tekniske og/eller økonomiske forhold[3]. En økonomisk vurdering tilsier at en løsning med XPS-isolasjon er minst kostnadskrevende (se vedleggsrapport 3). En løsning med dypsprengning vil bli nesten dobbelt så dyr som å bruke XPS som frostsikringslag.

Kravet til frostdimensjonering i teknisk regelverk, Underbygning//Prosjektering og bygging/Frost er angitt i kapittel 4, Frostdimensjonering:

> *a) Frostsikringslag skal dimensjoneres etter frostmengden på stedet målt i frosttimegrader. Bakgrunnen for valg av dimensjonerende frostmengde er at det statistisk sett ikke skal inntreffe mer enn én driftsforstyrrende gjennomfrysing av underbygningen i en 100-årsperiode.*

I BN er kravet til frostdimensjonering F100.

Frostinntrengning
Frostinntrengning og temperaturforhold generelt har betydning for følgende forhold:

- Definisjon av «frostsonen» ved dimensjonering av såleisolasjon (isolasjon av drensgrøft), jfr. foregående avsnitt
- Definisjon av «frostsonen» ved dimensjonering av vann- og frostsikring (hvelvkonstruksjoner)
- Beregningsgrunnlag for installasjoner (f.eks. sporvekseldrivmaskiner)
- Frostpåkjenning på eventuell sprøytbar membran

For Jernbaneverket er det i regelverket følgende krav til isolasjon/tiltak mot frost for vann- og frostsikringskonstruksjoner i hvelvet:

- Sprøytebetonghvelv og betongelementhvelv. Kan benyttes uten isolasjon ved frostmengde F100 ≤ 8.000 h°C[4]
- Kontaktstøpt betonghvelv med membran. Det er antatt at riktig utført konstruksjon ikke vil bli påført skader selv ved store frostmengder (Eventuelt istrykk i konstruksjonens drenslag vil ikke overstige dimensjonerende laster)
- Sprøytebetongkledning vanntettet med sprøytbar membran. Egenskapene til sprøytemembranen vil over lang tid kunne bli svekket dersom den utsettes for gjentagende frostsykluser i oppfuktet tilstand. Det er derfor begrensninger for bruk av denne konstruksjonsmetoden i frostsonen ifølge Teknisk regelverk.

For korte tunneler (< 500 m) legges utvendig frostmengde til grunn for beregning av behov for isolasjon. For lengre tunneler utføres beregninger av frostinntrengning vanligvis ved en forenklet metode basert på erfaringsgrunnlag fra Statens vegvesen (referanse 8). Normalt er den drivende kraften for naturlig utskifting av luft i tunneler temperaturforskjellen der varm luft er lettere enn kald og stiger og blir erstattet av kald tung luft (pipeeffekt). I horisontale tunneler vil varm luft strømme ut ved åpningene og bli erstattet av kald luft nede ved vegbanen. I korte tunneler og ved langvarig kulde vil kaldluften etter hvert trenge gjennom hele tunnelen. Fremherskende vindretning, mekanisk ventilasjon og stempeleffekten fra trafikken påvirker frostinntrengningen.

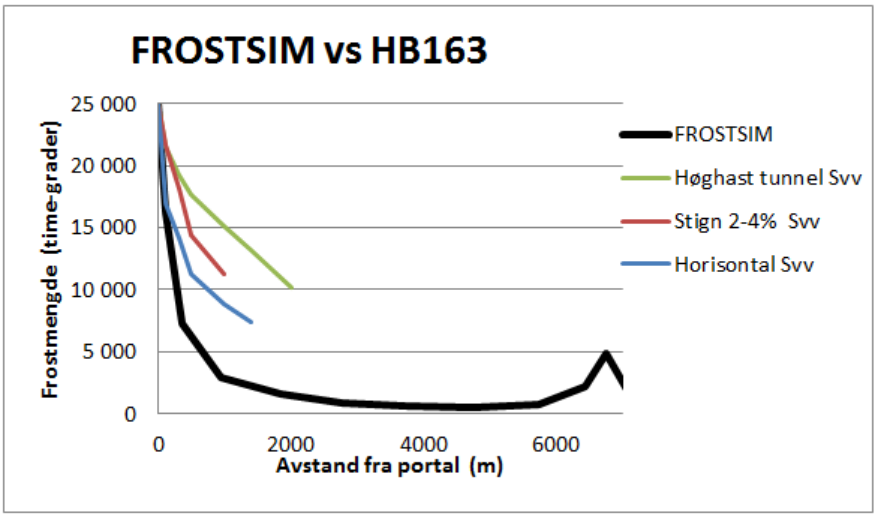
Vegvesenets erfaringsgrunnlag er konservativt og det kan i mange tilfeller være hensiktsmessig å foreta mer avanserte beregninger eller simulering av frostinntrengningen.

Som et eksempel vises det i figur 1 beregnet frostmengde i tunnel Holm – Nykirke ved hjelp av et eget dataprogram (FROSTSIM). Frostmengden i området er 25.000 h°C (F_{100}). Økningen i frostmengde

[3] Spesielle tekniske og/eller økonomiske forhold kan være:
- Etterisolering av nytt spor som er frostskadet pga. underdimensjonering eller feilkonstruksjon.
- Der det ikke er plass til å bygge fullt frostsikringslag pga. avstander til overliggende konstruksjoner

[4] Spesielle tekniske og/eller økonomiske forhold kan være:
- Etterisolering av nytt spor som er frostskadet pga. underdimensjonering eller feilkonstruksjon.
- Der det ikke er plass til å bygge fullt frostsikringslag pga. avstander til overliggende konstruksjoner

mer enn 6000 m fra portal skyldes et åpent tverrslag (R7) som skal fungere som trykkutjevning for stasjonen.



Figur 1. Frostinntrengning - jernbanetunnel Holm – Nykirke.

Forskjellen mellom forenklet beregning og en databasert simulering kommenteres som følger:

- Tunnellengde. Vegvesenets erfaringsgrunnlag skriver seg hovedsakelig fra tunneler bygget i 1970-årene. Disse tunnelene er relativt korte (sammenlignet med eksemplet over fra Holm – Nykirke). For tunneler under en viss lengde er det grunn til å anta at frosten vil gå gjennom hele tunnelen. Et program som FROSTSIM vil i større grad ta hensyn til tunnellengden.
- Vegvesenets kurver skiller ikke mellom isolerte og u-isolerte strekk.
- Stempeleffekten. Eksempelet vist i figuren over forutsetter flere tog (5 stk) i samme retning før det kommer et tog i motsatt retning. Et mer normalt rutemønster i dobbeltsporet tunnel vil medføre kortere tid mellom hver gang luftstrømmen skifter retning. Dette vil medføre mindre frostinntrengning.
- Overflatetransport av kulde. Varme eller kulde vil bli transportert av togets overflater, inkludert snø som har pakket seg på boggiene. Dette vil virke på samme måte som luftstrømmen gjennom tunnelen. En grov beregning indikerer at 20 til 30 tog per time vil medføre transport av like mye varme/kulde som 5 tog per time i samme retning brukt i simuleringen fra eksemplet i figuren. Varme fra togets motorer vil motvirke overflate-transportert kulde til en viss grad.

Det vises til vedleggsrapport 4 for mer utfyllende vurdering av frostinntrengning og behov for tiltak. I vedlegget er det listet opp følgende (foreløpige) konklusjoner:

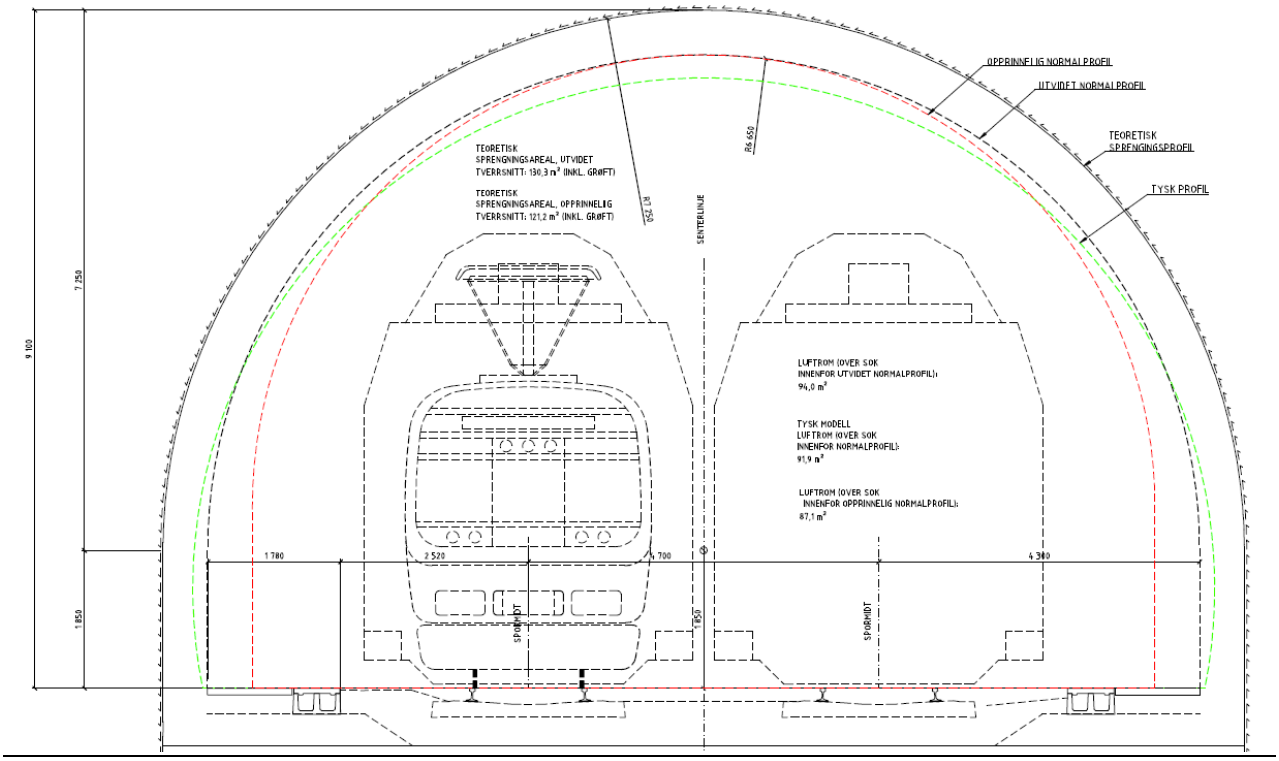
- Modellene fra Statens vegvesen for å beregne frostmengder i tunnel er konservative og det kan være hensiktsmessig å benytte mer presise beregningsverktøy.
- Frostinntrengning i tunneler vil variere med beliggenhet av tunnel (geografi, frostmengde), tunnelretning (vind), lengde, stigningsforhold (oppdrift), trafikkmengde og det kan ikke gis en generell vurdering uten å ta hensyn til disse forhold.
- Det bør utføres en nærmere vurdering av behov og omfang for frostisolasjon i såle/over grøft evt. basert på målinger.
- Frostinntrengning, dvs. temperaturer under frysepunktet som dimensjoneringsgrunnlag for sprøytemembran, eventuelle sporveksler eller andre installasjoner som er utsatt for risiko ved frost kan være betydelig, avhengig av utetemperatur og varighet (> 1000 m).

4. VURDERINGER OG NYE LØSNINGER KNYTTET TIL TVERRSNITTENE

4.1. Sammenligning med andre jernbanetunneler

Normalprofilet for tunnel Holm - Nykirke, som har dimensjonerende hastighet 250 km/t, er vist i figuren nedenfor. Tunneltverrsnittet har rette vegger og ca. 94 m^2 frittromsprofil. Dette er også det tverrsnittet som er benyttet på strekningen Farriseidet - Porsgrunn. Tidligere normalprofil for 200 km/t, bl.a. brukt i Romeriksporten og Bærumstunnelen er 1,2 m smalere og har ca. 87 m^2 frittromsprofil. Utvidelsen viser den ekstra bredden som er lagt inn i tverrsnittet for 250 km/t idet høyden på tunnelen er den samme.

Et tysk normalprofil med buede vegger for hastigheter mellom 230 og 300 km/t er vist med grønt i figuren. En ser at høyden i dette tverrsnittet er lavere, men til gjengjeld noe bredere. Til sammenligning har det tyske tverrsnittet ca. 2 m^2 mindre frittromsprofil.



Figur 2: Tverrsnitt i Holm-Nykirke angitt med sort, tverrsnitt fra Bærumstunnelen og Romeriksporten med rødt og tysk normalprofil for toghastigheter fra 230 – 300 km/t i grønt.

For vurdering av tunneltverrsnittene for jernbanetunneler er løsninger fra en del nye og pågående jernbanetunneler brukt som utgangspunkt. Dette gjelder bl.a. Ulvintunnelen, som har buede vegger. Ulvintunnelen er til sammenligning 0,2 m smalere enn tunnelen Holm - Nykirke.

Norconsult har for BN Teknologi, utarbeidet et notat som omhandler tunneltverrsnitt (ref. 3). Det anbefalte tunneltverrsnittet basert på Ulvintunnelen er lagt inn som mal i Teknisk regelverk for tunneler med dobbeltspor. Arbeidet med denne rapporten har tatt utgangspunkt i dette notatet og Norconsult har sjekket ut at det relevante jernbanetekniske utstyret har plass innenfor frittromsprofilet. Bredden på tunnelen (13,1 m) er i praksis for smal til å unngå nisjer i tunneler, med mindre man innfører spesielle løsninger.

Norconsult har på bakgrunn av erfaringer fra nyere jernbaneanlegg foreslått flere nye løsninger som gjør at tunneltverrsnittene for hastigheter inntil 250 km/t som bygges i dag, i hovedsak kan benyttes uten bruk av nisjer.

4.2. Erfaringer med plassering av jernbaneteknisk utstyr i tunneler

Utfordringene for tunneltverrsnittene brukt på nyere anlegg er bl.a. at det er smalt og for dårlig plass til jernbaneteknisk utstyr samt andre tekniske installasjoner i området ved gangbanen. Dette skyldes at arealet ved gangbanen er begrenset og at det jernbanetekniske utstyret må konkurrere om plassen med dreneringskummer og annet. Plasskonflikten tvinger fram spesialløsninger eller bruk av nisjer.

Det som erfaringsmessig tvinger fram bruk av nisjer i jernbanetunnelene er drenskummer som kommer i konflikt med kabelkanaler, trekkekummer som kommer i konflikt med andre føringsveier for kabler, plassering av elektrotekniske skap eller andre tekniske installasjoner. Likeledes er det vanlig å etablere nisjer for elektrotekniske skap slik at skapene blir bedre beskyttet, bl.a. mot trykk- og suglaster. Ytterligere er det vanlig å etablere utvidelser for elektroinstallasjoner slik at disse ikke stikker ut i gangbanen.

For å unngå nisjer /utvidelser i tunneltverrsnittet for teknisk utstyr, er det utviklet og foreslått nye løsninger for dreneringssystemet samt nye løsninger for føringsveier. Diverse nye løsninger /optimaliseringer i underbygningen er også foreslått.

En viktig erfaring fra nyere jernbanetunneler er også å unngå at sprengningen for drensgrøfter / drenskummer ødelegger for god fundamentering av vann og frostsikringen. Erfaringer fra bl.a. Ulvintunnelen viser at dette kan gi tidkrevende utstøpning under fundamentnivå og unødvendige kostnader.

4.3. Forslag til nye løsninger for VA og drenering

Drenering dobbeltspor
I samråd med BN er det utført vurdering av tre alternativer for drenering av tunnel:

- Sandfang og inspeksjonskummer under spor med sideforskjøvet grøft
- Sandfang og inspeksjonskummer mellom spor, midtstilt grøft
- Sandfang og inspeksjonskummer under gangbane med sideforskjøvet grøft

Løsningene ble presentert og gjennomgått med hensyn til drift og vedlikehold i en kvalitativ RAM-analyse i forbindelse med IC Drammen – Kobbervikdalen 31.10.2016. Resultatene fra analysemøtet er presentert i rapport ICP-32-Q-26111 (Vedleggsrapport 5).

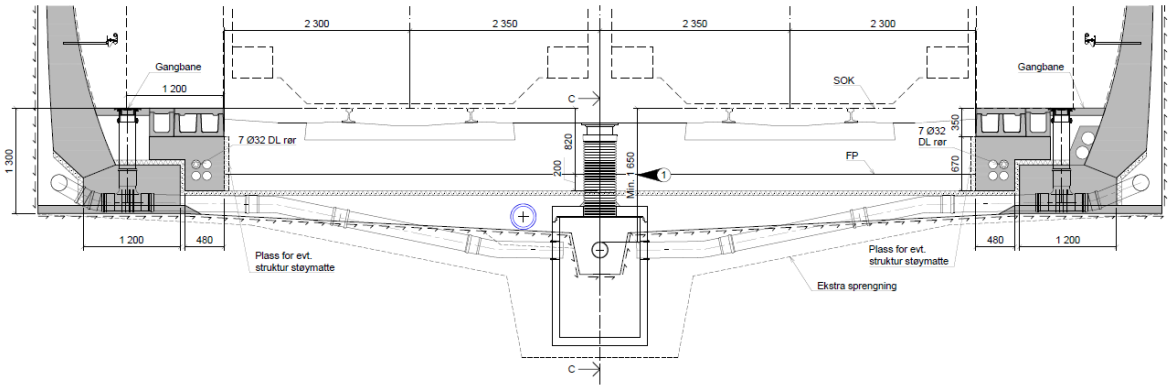
Det fremgår av RAM-rapporten at alle de tre alternativene synes å være tilfredsstillende med tanke på å nå oppetidsmålet. Det vil si at det er mulig å utføre vedlikehold i togfrie tider. Alternativ med drensledning under gangbanen, anses å være best sett fra et RAM-perspektiv. Løsningen medfører imidlertid noe høyere anleggskostnader ved at den har det største inngrepet i vegger og fundamentstøp for kontaktstøpen. Siden det i forutsetningene for å utvikle standard tunneltverrsnitt ligger et krav om at det ikke skal være behov for nisjer i tverrsnittene anser vi derfor at løsningen med midtstilt drensanlegg for å være mest hensiktsmessig.

BN har uavhengig av rapportering etter RAM-analysemøtet utgitt en revidert utgave av Teknisk designbasis for IC, datert 14.11.2016. Det angis her to alternativer for drenssystem:

- Løsning A: Ingen sandfang, kun en drensledning i senterlinje tunnel som back-up for dreneringskapasiteten. Det angis at BN vil vurdere og saksbehandle denne løsningen videre.
- Løsning B: Sandfangskummer mellom spor c/c 160 m og mellomliggende inspeksjonskummer, tilsvarende alternativ 2 om presentert i dette notatet og som ble vurdert i RAM-analysemøtet 31.10.2016.

Vi finner derfor ingen grunn til å anbefale andre løsninger enn den som er angitt som «Løsning B» i teknisk designbasis.

Løsningen er vist på snitt i figur 3.



Figur 3: Prinsipp for VA i tunnel med dobbeltspor og VF-sikring med kontaktstøp (fra tegning F-073).

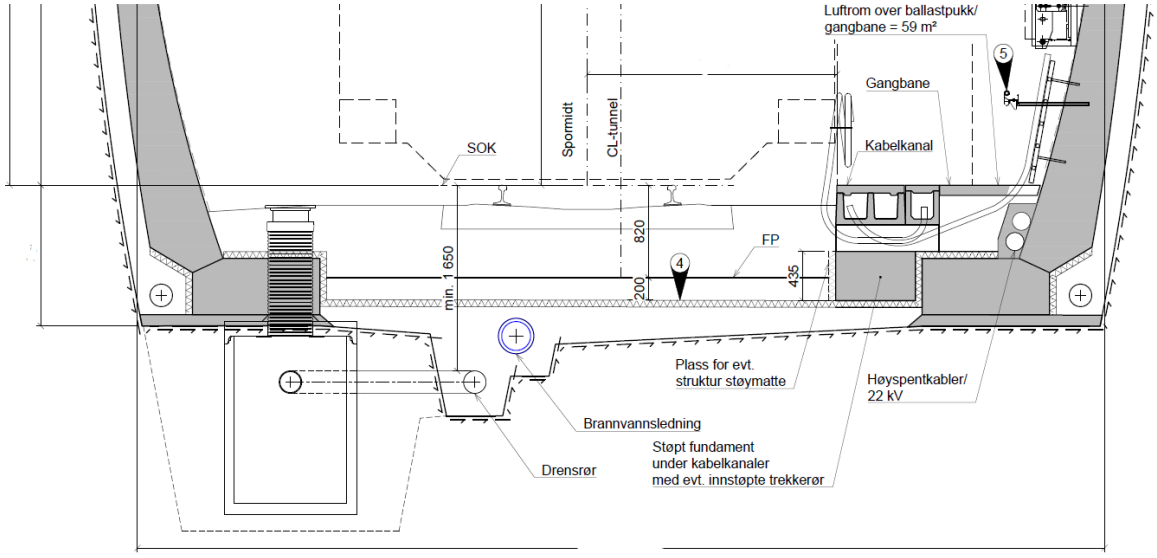
Det vises til vedlagte tegninger F-010 og F-073 / F-074).

Det er utført vurdering av den effekten kummens plassering kan ha på skinnegangen og lasteffekten på kummen fra sidetrykk grunnet lastspredning fra spor, jfr. vedleggsrapport 7, Kum i ballastpukk.

For å sikre tilstrekkelig plass for ballastrensing inklusiv toleranser for utstyr foreslås det å øke avstand fra senterlinje spor til kabelkanal til 2,3 m. I tillegg bør kabelkanalen understøpes slik at denne ikke vil bli undergravet og dermed kunne bevege seg ned og inn mot sporet ved kjøring av renseverk. En eventuell understøp kan kombineres med innstøping av trekkerør som vist på figuren. Løsningen vil redusere antall arbeidsoperasjoner med utlegging av pukk og trekkerør. Man unngår også at oppfylling av pukk som fundament for kabelkanal går inn i ballastprofilet.

I den vedlagte plantegningen F-074 er det angitt at det bør vurderes om drensledningen bak hvelv skal føres gjennomgående over en lenger strekning før den føres inn på et sandfang. Hensikten med drenering bak hvelvstøpen er å unngå trykkoppbygging mot hvelvet. Drensvannet herfra vil i liten grad inneholde sand/silt og annet finstoff, men i hovedsak inneholde oppløste mineraler og/eller biologisk materiale. Kalk (kalsiumkarbonat) som skriver seg fra sementinnholdet i sprøytebetong og injeksjonsmasse, samt kalkrik berggrunn er det mest vanlige innholdet av oppløst materiale i drensvannet. I retningslinjer fra sveitsiske jernbaner (SBB) om tunneldrenering (ref. 13) er det angitt krav til avstander og utførelse av inspeksjons- og spylekummer på drensledningen bak hvelvet. Ved mindre fare for kalkavsetninger angis det at avstanden mellom hver gang drensledningen føres til et sandfang kan være inntil 1 kilometer.

Drenering enkeltspor (sprengning)
For enkeltsportunneler utført ved sprengning forutsettes sandfang og inspeksjonskummer plassert til side for sporet, mens drensledningen trekkes så lang inn mot tunnelmidt som mulig, jfr. figur 4. For innføring av drensledning bak hvelvstøpen kan tilsvarende løsninger som for dobbeltsportunnel legges til grunn.

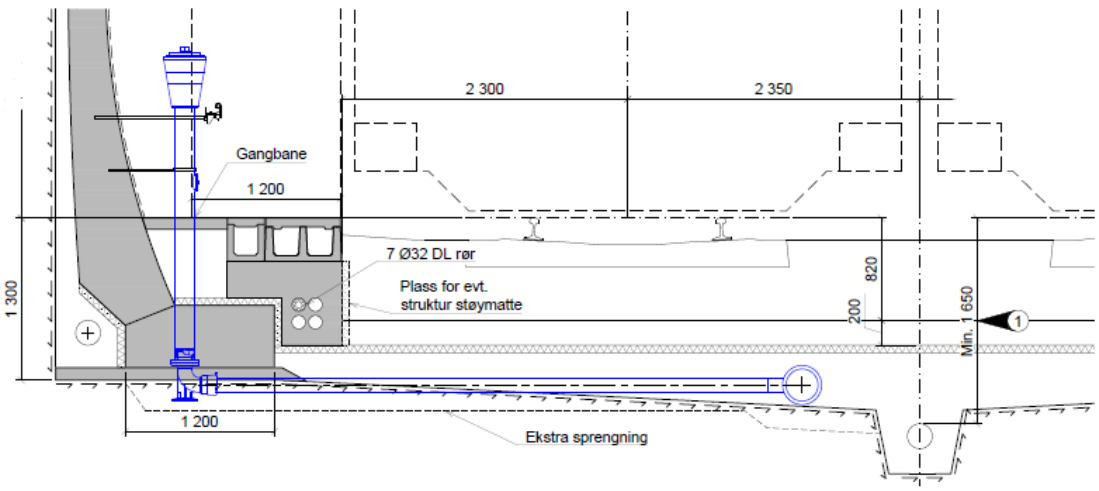


Figur 4: Prinsipp for VA i enkeltsportunnel og VF-sikring med kontaktstøp. I tverrsnittet er det vist sandfangskum.

Brannvann

I tunneltverrsnittene vises forslag til løsning for en eventuell gjennomgående brannvannledning. Brannvann kan legges parallelt med hoved-dren, alternativt under kabelkanal/gangbane. Noen av prinsippene for foreslått løsning er:

- Stengemuligheter for hovedstammen legges til kryssområder ved tverrslagene hvor det er ekstra plass til kummer og stengeventiler.
- Brannvannuttak utføres ved brukes selvdrenerende, knekkbare brannhydranter (for å hindre vannlekkasjer som videre kan føre til uønskede situasjoner). Disse må drenere til frostfritt dyp og pukk i grøft. I kommuner hvor brannvesen har tilgang på vannkanon er det også ønskelig å benytte brannhydrant med ekstra 4" uttak på stigerøret utover de ordinære 2 ½" NOR-koblingene i hydrant-toppen.
- Alternativt kan ventil-uttak legges i plasstøpt liten kum med spesiallokk mellom kabelkanaler og tunnelvegg
- Brannvannuttakene plasseres i utgangspunktet med 100-200 meters mellomrom med mindre annet avtales med brannvesenet i hver enkelt kommune.



Figur 5. Forslag til plassering av brannvannsledning med hydrant i dobbeltsportunnel (fra tegning F-073).

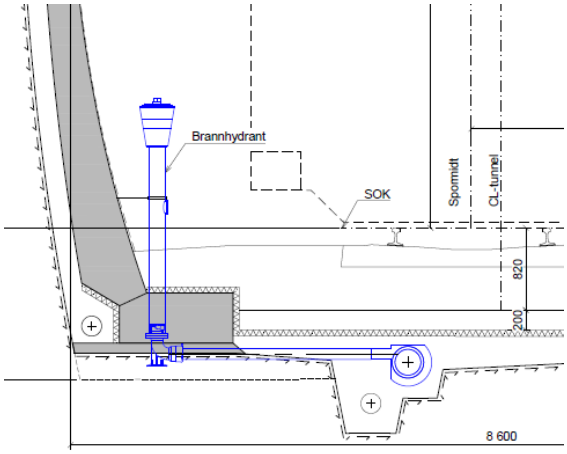


Fig 6. Forslag til plassering av brannvannsledning med hydrant i enkeltsportunnel (sprengning).

Dimensjoner, behov for isolasjon, om ledningen er vannfylt og trykksatt eller om ledningen er tørr er med på å bestemme posisjon og utforming av brannvannsledningen.

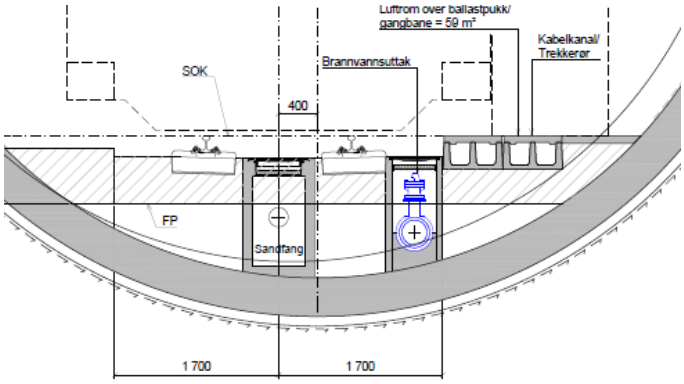


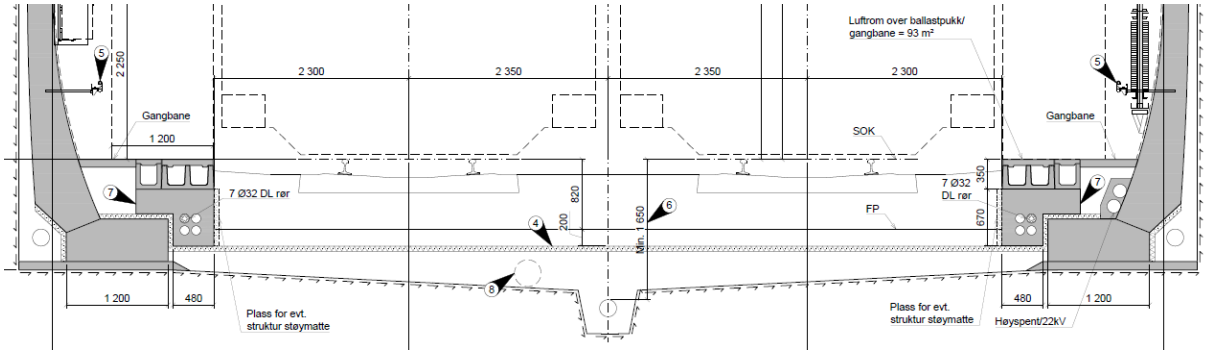
Fig 7. Mulig plassering av brannvannsledning med hydrant i enkeltsportunnel TBM

4.4. Forslag til løsninger for jernbaneelektro

Kabelføring
I vedleggsrapport 6, Trekkerør vs. kabelkanaler er det utført en egen vurdering av alternative kabelføringskonsepter. I sammenligningen mellom tradisjonelle kabelkanaler og trekkerør (OPI-kanal eller kombinasjon trekkerør og kanal) er det konkludert med at løsningen med kabelkanaler legges til grunn for anbefaling av tunneltverrsnitt for IC.

I forslag til løsning vil kabelkanalene utgjøre hoveddelen av gangbanen langs sporene, se figur 8.

Ved understøp av kabelkanaler som omtalt i foregående kapittel om VA og drenering er det mulighet for å legge inn DL-rør (sub-rør) og reserve trekkkerør i understøpen, jfr. også foregående kapittel 4.3. Understøpen gir bedre plass til midlertidig vegbane i anleggsperioden, da man unngår å legge ut en pute av pukk.



Figur 8. Kabelkanaler i dobbdeltsportverrsnitt

AT-, jord- og strålekabel forutsettes plassert i tunneltaket, slik det fremgår av tegning F-010.

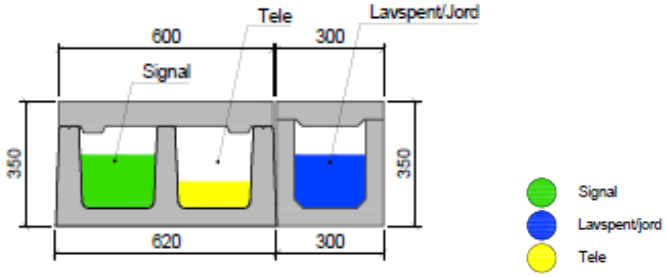
Det er ved dimensjonering av føringsveien på hver side av tunnelen lagt inn følgende behov (inklusiv reserve) ved dimensjonering av kapasitet dersom kabelkanaler skulle erstattes av trekkerør:

- 5 stk 110 mm trekkerør for signal
- 2 stk 110 mm trekkerør for tele + 2 reserve
- 5 stk 110 mm trekkerør for lavspent og jord + 5 reserve
- 4 stk 32 mm DL-rør for tele (kan reduseres til 3 stk på en side av 2-dobbeltspor)
- 3 stk 32 mm DL rør for signal
- 2 stk 160 mm rør for 22kV kabel på en side av tunnelen, alternativt en ett-løps kabelkanal.

Antall trekkerør angitt ovenfor er lagt til grunn for rørkryss i tunnel ved teknisk bygg og ved telenisjer.

Mengden trekkerør er redusert med 6 stk til 13 stk 110 mm rør i løsning med kabelkanal, dette gir ytterligere reservekapasitet da kanalen gir plass til mere kabler enn det er i 6 rør.

sporside



Figur 9: Forslag til føringsveier med angivelse av fordeling mellom fag og reserve.

Tekniske skap
For å unngå nisjer og utsparinger i VF-sikringen må jernbanetekniske skap monteres på vegg i jernbanetunnelen. Dette gir en enklere og billigere utførelse, med mindre risiko for feil i utførelse. Løsningen fjerner risiko for vannpåkjenning av skap og frostinntrenging i gjennomføringene da hele løsningen nå blir liggende innenfor en standardisert VF-sikringsløsning. Løsningen gir imidlertid nye og strengere dimensjoneringskrav for trykk- og suglaster fordi skap kan bli påkjent i forhold til tetthet (IP-grad) og styrke.

I Teknisk regelverk er det krav til at det skal etableres nisjer for teleanlegg (signal/radio) med avstand 500 m (Underbygning/prosjektering og bygging/Profiler og minste tverrsnitt, kapittel 4.3 Nisjer for teleanlegg) . Det vil si en nisje mellom hvert teknisk rom dersom disse plasseres i tverrslag/rømningstunneler med avstand 1000 m. En eventuell utførelse av telenisje med rørkryss under spor i dobbeltsportunnel er vist på tegning F-015.

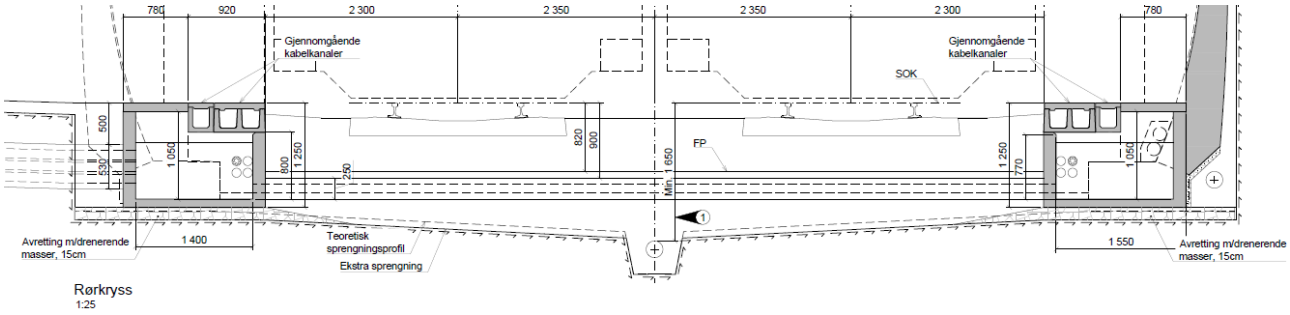
Det foreslås at dette kravet fravikes og at det i stedet stilles krav til skap som kan festes på tunnelvegg.

Skap for signalteknisk utstyr plassert i tunneler skal i henhold til Teknisk regelverk Signal/Prosjektering/Generelle krav, være dimensjoner for:

- Trykkvariasjoner på ΔP = ± 5 kPa forårsaket av passerende tog. Kravet til å tåle trykkendring er satt til ΔP/Δt = 1 kPa/s.
- Tetthet skal være IP 66D i henhold til EN 60529

Rørkryss under jernbanesporene

Det er planlagt rørkryss i tunnelen for hver 500 m, ved rømningstunneler med teknisk bygg og midt mellom disse i dobbeltsportunnel i forbindelse med teleutrustning. Disse er planlagt med rør i kun én høyde per kum for å slippe å sprenge dypere, unngå omfattende utstøping av avlastningsplater samt sørge for at grøften for brannvann og drenering ligger så grunt som mulig. Dette innebærer at det vil være behov for flere rør ved siden av hverandre for å dekke behovet. Dersom det monteres sporveksler/overkjøringssløyfer i tunnelene må det vurderes om det er behov for flere rørkryss i forbindelse med disse anleggene.



Figur 10: Ny løsning for rørkryss i snitt og plan.

Det vises til tegninger med plan, snitt og detaljer, F-014 og F-015.

Trekkekummer

Trekkekummer ved rørkryss utføres med redusert dybde slik at grøft og drensledning kan legges grunnest mulig. Kfr. Teknisk regelverk, Felles elektro/Prosjektering og bygging/Kabellegging og kabelkanaler:

2.5.6 Alternativ underhøyde i kabelkum og trekkekum

a) Begrenset plass: Der det er vanskelig å oppnå tilstrekkelig underhøyde (50 cm i kabelkum og 25 cm i trekkekum), kan denne reduseres til 5 cm når samtlige tiltak iverksettes:

1. *Utførelse: Kummen har drenering*
2. *Utførelse: Kummen har fast bunn*
3. *Utførelse: Det er tilstrekkelig tetting mellom bunn og vegg for å hindre inntrengning av finmasser og andre løsmasser.*

5. TVERRSNITT FOR DOBBELTSPORTUNNEL

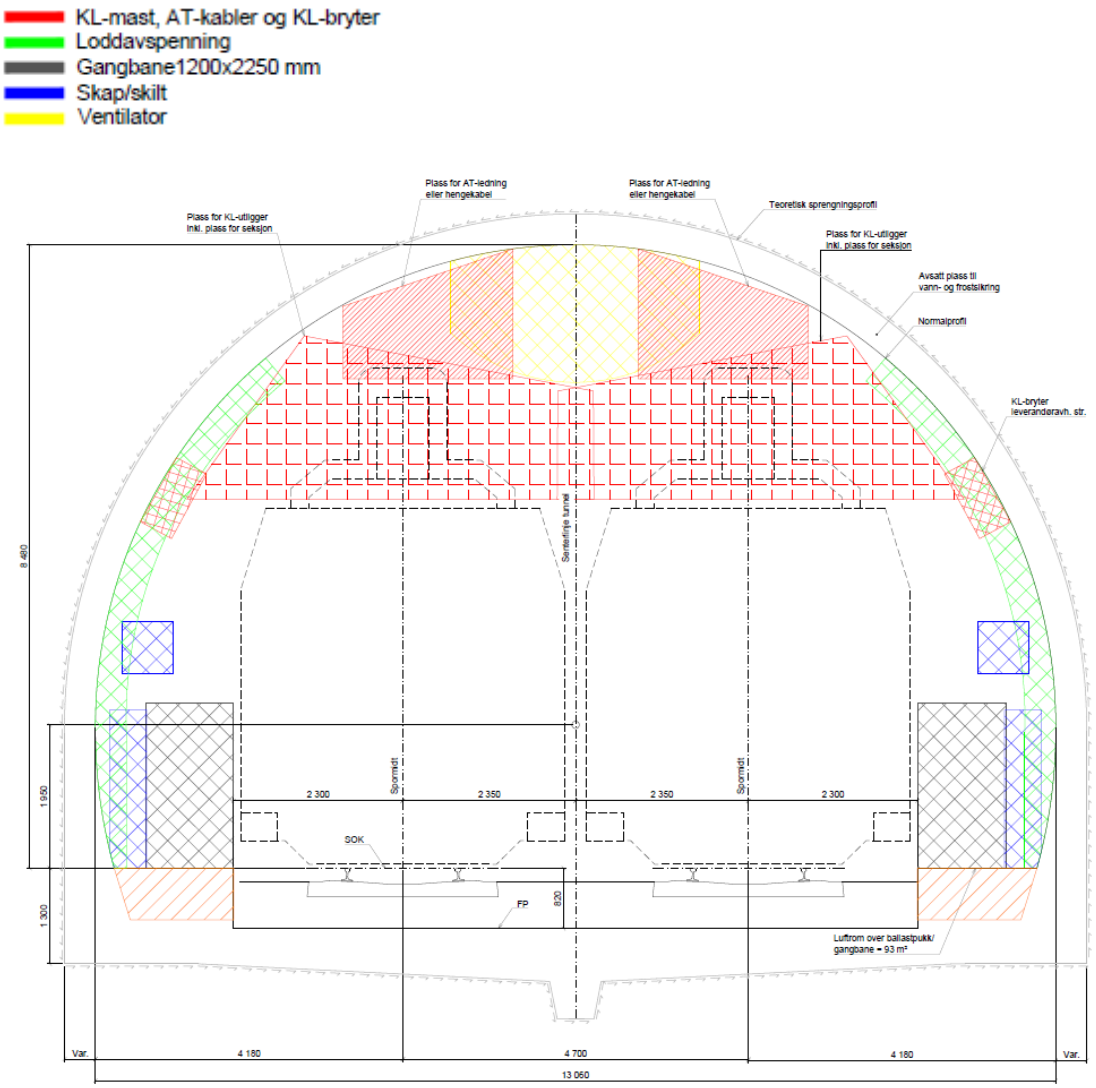
5.1. Generelt

Det foreslås å benytte tunnelbredde og -høyde tilsvarende Ulvintunnelen for nye dobbeltsportunneler for InterCity. Bredden er 200 mm mindre enn de nye tunnelene på Vestfoldbanen, men tverrsnitt blir uansett svært lik de tunnelene som nå er under bygging på Dovrebanen og Vestfoldbanen. For tunneltverrsnitt der tunnelene utføres med kontaktstøp eller betongelementer er det ansett hensiktsmessig å standardisere tverrsnittstørrelse og - form, bl.a. for mest mulig gjenbruk av støpeformer (jfr. Vegvesenets normalprofiler).

Det bemerkes imidlertid at det på grunn av ulike aerodynamiske forhold med hensyn til tunnellengde og toghastighet kan det bli behov for trykkutjevningstiltak, avhengig av lokale forhold for de enkelte tunnelene.

5.2. Tunneltverrsnitt

Forslag til tverrsnitt for dobbeltspor basert på kontaktstøp med buede vegger er vist nedenfor. Detaljerte tegninger ligger som vedlegg; tegning F-000, F-010 og F-011. Utsprengt areal er 123 m^2 mens frittromsprofilet er 93 m^2.



Figur 11: Dobbeltsporet tunnel , ref. tegning F-011

Vann- og frostsikring utført med uarmert kontaktstøp må ha et tilnærmet sirkulært hvelv for å unngå strekk- og skjærkrefter. Tilsvarende vil til en viss grad gjelde for hvelv med sprøytbar membran der det strukturelle hvelvet består av sprøytebetong. De nevnte tegninger for kontaktstøp kan derfor også gjelde for hvelv med sprøytbar membran. Sistnevnte løsning vil antagelig kunne utføres med noe reduksjon i samlet betongtykkels e da hvelvet uføres med fiberarmert sprøytebetong som en sandwich-konstruksjon. (Det gjøres oppmerksom på at Norconsult ikke har utført beregninger av denne løsningen).

Med grunnlag i Teknisk Designbasis for IC er det antatt at dobbeltsportverrsnitt drevet med TBM ikke er aktuelt på grunn av store dimensjoner i forhold til maskinenes yteevne og de harde bergarter som i stor grad må forventes for norske forhold. Tverrsnittet for dobbeltspor i ett løp er derved basert kun på konvensjonell sprengning.

Demping av strukturlyd
I tverrsnittene er det forutsatt at løsninger for demping av strukturlyd, i hovedsak plasseres der hvor XPS-lag er plassert. Det kan benyttes ballastmatter av steinull eller spesielle gummimatter. Ved bruk av isolerende type, f.eks. steinull, må dette godkjennes gjennom en dispensasjon. Det skal være tilstrekkelig plass i viste tverrsnitt for tiltak mot strukturlyd, der det måtte være behov for dette. Vedrørende dimensjoner/tykkelser vises det til eksempel i teknisk rapport fra NGI med vurdering av strukturstøy fra jernbanetunneler på Dovrebanen, Minnesund – Kleverud der det redegjøres for alternative løsninger med bruk av ballastmatter (ref. 11).

Røykventilasjon
De foreslåtte tverrsnittene er vist med parvise røykvifter med utvendig diameter inntil 1400 mm. Demontering for vedlikehold av viftene kan være problematisk da dette kan komme i konflikt med kontaktledning og AT-ledninger. Alternativt kan parvise vifter erstattes med én enkelt vifte plassert midt i tverrsnittet (mellom kontaktledningene). Som eventuelle ulemper med én vifte med utvendig diameter inntil 1800 mm kontra to mindre er det anført høy vekt og dimensjoner på kabel. For Ulvintunnelen ble det vurdert to vifter med motoreffekt på 32 kW pr. vifte mot 65 kW for én større vifte.

VA- og drenssystemer
Det er redegjort for forslag til løsning i kapittel 4.3 med midtstilt drensledning og kummer i dobbeltspor-tverrsnitt. Brannvannuttak forutsettes eventuelt utført med hydranter plassert mot vegg.

Føringsveier for jernbaneelektro
Det er redegjort for forslag til løsning i kapittel 4.4. Føringsveier for kabler er basert på tradisjonelle kabelkanaler med rørkryss for hver 500 m. Dersom det monteres sporveksler/overkjøringssløyfer i tunnelene må det vurderes om det er behov for flere rørkryss i forbindelse med disse anleggene.

Det er tilstrekkelig plass for plassering av skap med maksimal dybde på 500 mm på vegg i tverrsnittene. Skap kan plasseres på begge sider av tunnelen. AT-, jord- og strålekabler forutsettes opphengt i tunneltaket.

RAMS
Tunneltverrsnittene som er vist for dobbeltspor er i hovedsak basert på standardiserte løsninger. Det betyr at pålitelighet, tilgjengelighet og vedlikeholdbarhet i liten grad påvirkes i forhold til dagens situasjon. Generelt forventes de valgte tverrsnitt å være kostnadseffektive, det vil si at de ikke er større enn nødvendig. Dette betyr at det ikke blir mer plass enn før til å utføre vedlikehold og mulighetene for å utføre vedlikehold på spor samtidig med togtrafikk blir uforandret.

5.3. Fravik fra Teknisk regelverk for dobbeltsporet tverrsnitt

De viste løsninger for dobbeltsporet tunneltverrsnitt vil kreve følgende dispensasjoner fra regelverket (15.09.2016):

Krav	Regelverk	Kommentar / vurdering
Dreneringssystemet skal dimensjoneres slik at alt lekkasjevann i tunnelen føres frostsikkert ut av tunnelen. I frostsonen sikres dette ved isolert grøft på begge sider av tunnelen	JD520, kapittel 6 Banelegeme, avsnitt 3.3	Drensgrøft legges mellom sporene i frostsonen og videre gjennom tunnelen.
Kabelfritt profil omfatter kabler og alle former for kabelbeskyttelse og er fastsatt til 2,5 m ut til hver side for spormidt og ned til en dybde av 0,9 m under skinneoverkant (SOK),	JD510, kapittel 5 Kabellegging og kabelkanaler, avsnitt 2.1	Det er ikke samsvar mellom bestemmelser i JD510 og JD520, bredde på kabelfritt profil/avstand til fast konstruksjon (hhv 2,5 og 2,2 m). Midtstilte sandfangskummer vil begrense fritt profil til ca. 2,15 m
Radioutstyr (repeatere) for GSM-R og MIT skal plasseres for hver 500 meter i tverrslag eller i egne telenisjer	JD520, kapittel 5 Profiler og minste tverrsnitt, avsnitt 4.3 Nisjer for teleanlegg	Det vurderes om skap kan monteres på tunnelvegg.

6. TVERRSNITT FOR PARALLELLE ENKELTSPORTUNNELER

Generelt
Det foreligger ingen eksempler på tverrsnitt for enkeltsportunneler dimensjonert for 250 km/t i Norge. Fra utbygging av Follobanen, som dimensjoneres for 250 km/h, er det utarbeidet grunnlag for totalentreprisene der frittromsprofilet er ca. 57 m^2 for sprengt tunneltverrsnitt og ca. 55 m^2 for TBM-boret tverrsnitt (D= 8450 mm med 150 mm toleranse på innvendig radius, UFB-30-F-30373 og UFB-30-F-30312). Tilbudte TBM'er har oppgitt borediameter på 9,96 m. Tverrsnittet dimensjoneres som vanntett tunnel, det vil si at utforingen med betongsegmenter må være dimensjonert for fullt vanntrykk.

Nytt løp for Ulriken tunnel utføres også med TBM. Det er her tilbudt en borediameter på 9,33 m (teoretisk 9,3 m). Tunnelen skal være drenert med vann- og frostsikring basert på sprøytebetonghvelv (tegning UUT-00-F-12306). Innvendig diameter (normalprofil) er angitt til 8170 mm som gir et lufttversnitt på 51,5 m^2. Ved lett bergsikring vil arealet bli noe større. Dimensjonerende hastighet er 160 km/h.

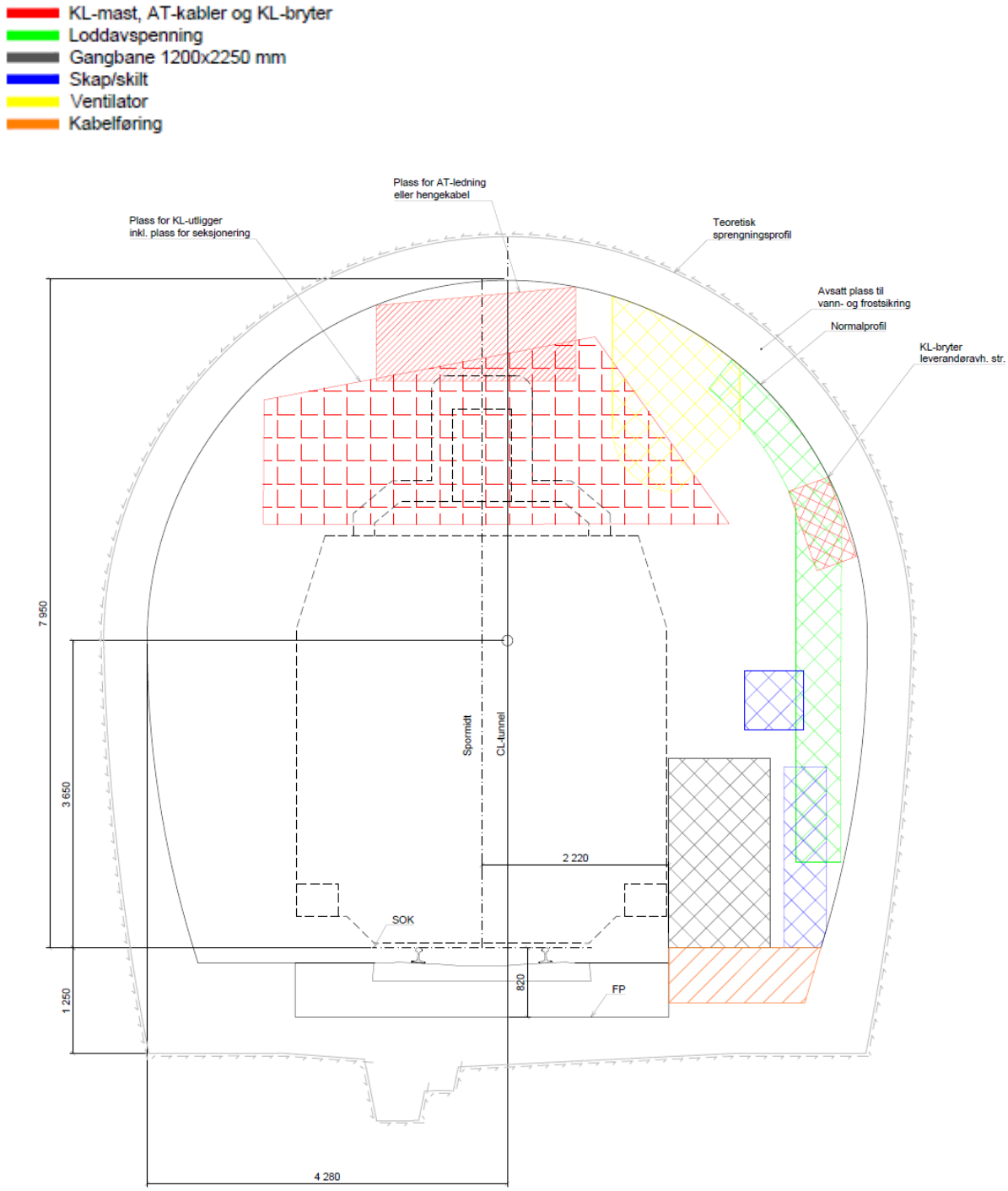
I forslag til generelt tunneltverrsnitt for IC er det valgt et frittromsprofil på 59 m^2 som til dels er styrt av plassbehov for KL-innfesting samt krav til plass for installasjoner ved gangbanen. Samme frittromsareal (59 m^2) er valgt for tverrsnitt utført ved sprengning så vel som ved TBM for at de forskjellige løsningene skal bli sammenlignbare i forhold til komfortkriterier for trykkendringer. I et reelt tilfelle vil valg av drivemetode kunne påvirke tverrsnittsarealet, for eksempel ved forholdsvis korte tunnellengder der TBM ikke vil være aktuelt teknisk og økonomisk.

For enkeltsportunneler forutsettes at spor plasseres eksentrisk i forhold til tunnelmidt. Dette gir bedre plass til gangbane og elektroteknisk utstyr. Gangbane og kabelføringer plasseres på den siden som vender mot det andre tunnelløpet av hensyn til rømningsveien mellom løpene og kabelføring til tekniske hus som forutsettes plassert i tilknytning til tverrforbindelsene. Tunneltverrsnittene for henholdsvis høyre og venstre spor vil dermed være speilvendte.

6.1. Tunneltverrsnitt for sprengning

Forslag til tverrsnitt for parallelle tunneler med enkeltspor basert på kontaktstøp og membran med buede vegger er vist nedenfor. Detaljerte tegninger ligger som vedlegg, jfr. tegning F-002, F-030 og F-031. Utsprengt areal er 83 m^2 mens frittromsprofilet er 59 m^2.

Tverrsnittet er basert på normalprofil fra konkurransegrunnlaget for Follobanen. Det gjøres oppmerksom på at Norconsult har ikke uført statiske beregninger av det angitte betonghvelvet.



Figur 12: Enkeltsporet tunnel basert på konvensjonell sprengning, ref. tegning F-031.

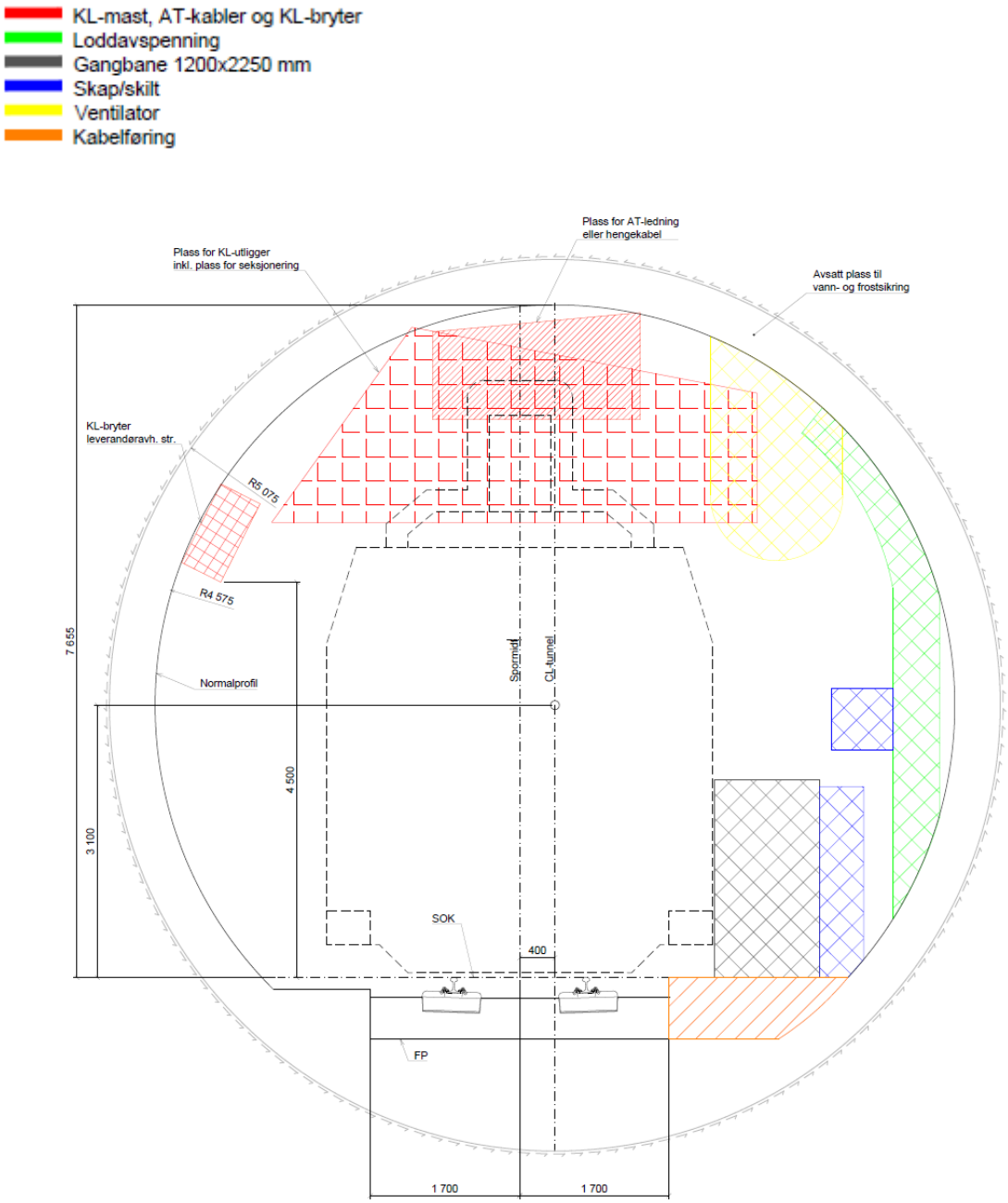
6.2. Tunneltverrsnitt for tunnel drevet med TBM

Tunneltverrsnittet for TBM-drevet tunnel må tilpasses metode for vannhåndtering, vanntett eller drenert løsning. Vi har i forslag til tunneltverrsnitt lagt de samme forutsetningene til grunn som frittromsprofilet for de sprengte tverrsnittene (59 m^2). Tverrsnittet gir tilstrekkelig plass til tradisjonelt KL-anlegg samt andre installasjoner. For TBM vil det være mest aktuelt at hele underbygningen er støpt ut og tilrettelagt for fastspor og at føringsveier eventuelt legges i trekkerør.

Det er for TBM-løsningen vist vanntett utforing med betongsegmenter, tilsvarende som planlagt på Follobanen. Drensløsning blir dermed enklere enn for en drenert tunnel. Dreneringen i vanntett

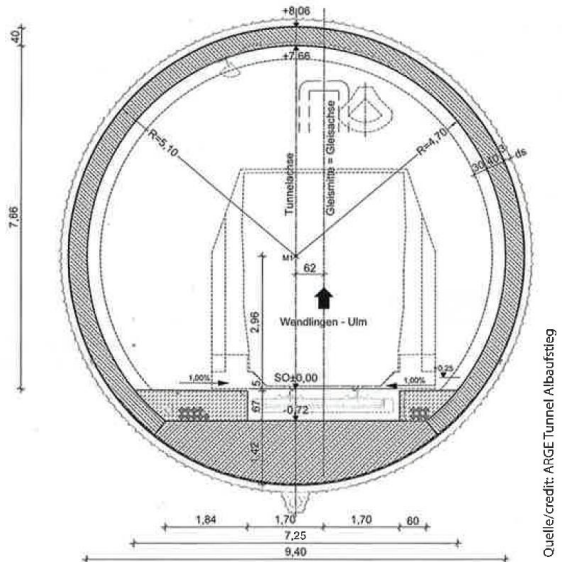
løsning skal kun dimensjoners for vann eller snø som trekkes inn i tunnelen med togene, eller som resultat av vasking av vegger og hvelv. Andre løsninger kan være aktuelle.

Forslag til tverrsnitt for parallelle tunneler med enkeltspor basert på TBM-drift er vist nedenfor. Detaljerte tegninger ligger som vedlegg, jfr. tegning F-004, F-050 og F-051. Utboret areal antas til ca. 81 m^2 mens frittromsprofilet er 59 m^2. Utboret tverrsnitt vil variere, avhengig av byggemetode. Utboret tverrsnitt i Ulriken er ca. 68 m^2 mens Follobanens utborede tverrsnitt blir ca. 78 m^2.



Figur 13: Enkeltsporet tunnel drevet med TBM, ref. tegning F-051.

Til sammenligning vises planlagt tverrsnitt for høyhastighetsbane i Tyskland på strekningen Stuttgart – Ulm på figur 14. Tunneltverrsnittet gjelder Steinbühl tunnel med lengde 4847 m. Profilet er dimensjonert for udrenert vanntrykk.



Figur 14. Tunneltverrsnitt Steinbühl tunnel.
Ref. Tunnel 2/2016. STUVA. Dimensioning Fire when Designing the Steinbühl tunnel

Ut fra tverrsnittet kan det utledes at utboret tverrsnitt er ca. 82 m^2 og lufttverrsnitt 61 m^2. På den 58 km lange strekningen mellom Wendlingen og Ulm skal det bygges i alt syv tunneler med samlet lengde på 27 km som toløps tunneler. Banen er planlagt med hastighet opptil 250 km/h (ref. Wikipedia).

Demping av strukturlyd
For demping av strukturlyd vises det til beskrivelse i kap. 5. For TBM må det benyttes andre løsninger designet for fastspor.

Røykventilasjon
Det forutsettes bruk av én vifte i tverrsnittet.

VA- og drenssystemer
For enkeltsportunneler er grøfta plassert sideforskjøvet i tverrsnittet for i størst mulig grad å unngå undersprengning av fundament for kontaktstøp i sprengte tunneler. Inspeksjons- og sandfangskummer plasseres på motsatt side av gangbanen for å skille EL-systemer og VA, jfr. foregående kapittel 4.3.

Brannvann foreslås lagt i begge tunnel-løp for å sikre brannvanntilførselen. Det er vurdert at det vil være lite å spare på å legge stikkledninger fra det ene tunneltverrsnittet til det andre for hvert brannuttak (hver 100 m). Dersom avstanden mellom hydrantene velges større enn 100 m bør dette vurderes på nytt.

TBM-tverrsnittet har mer begrenset plass til drenssystem og brannvann. Ved fastspor er det foreslått en løsning, som gir mulighet til å anlegge kummer i fastsporet. Drenssystem foreslås lagt sentrisk under spor, med annenhver plasstøpte sandfang- og inspeksjonskummer (550 mm innvendig diameter) for hver 96 meter (avhengig av støpeseksjonslengde eller lengde på prefab bunnsegment). Drenering fra betongdekket skjer via ristlokk.

Brannvann foreslås lagt mellom skinne og kabelkanal grunnet nødvendig høydebehov fra bunn tunnel til topp kumlokk. Plassbegrensninger krever en spesialløsning for lokk. Brannkummen monteres med isolert lokk (evt underlokk). Lokket bør utformes størst mulig med tanke på senere atkomst for vedlikehold/utskifting. Brannventil monteres så høyt som mulig i kum for lettere montering av brannstender og annen tilknytning i kum ved brann.

Brannkummer, sandfangkummer og inspeksjonskummer bør ha låsbare lokk for å forhindre at lokk dras med i suget fra et forbipasserende tog. Fordelen med nedsenket brannvannsystem er redusert risiko for tap av trykk ved en evt. avsporing. Det er ingen utsatte rørkomponenter i luftrommet i tverrsnittet.

Jernbaneelektro
For kontaktledningsanlegget forutsettes det her benyttet sidestilte hengemaster. Løsningen for føringsveier baserer seg på kabelkanaler, med rørkryss mellom tunnelløpene gjennom tverrpassasjene for hver 500 m som for dobbeltsporet tverrsnitt. Høyspentkablene kan legges i eget løp i kabelkanalen (som vist for TBM-tunnel) eller i trekkerør som vist på tegning F-030. Det bør imidlertid vurderes om man i enkeltsportverrsnitt med fastspor bør benytte innstøpte trekkerør i skulder. Kombinasjonen støpt skulder og kabelkanaler vil medføre utfordringer med hensyn til føring av trekkerør ut av kanalen til vegg eller til spor.

Det er tilstrekkelig plass for plassering av skap med maksimal dybde på 500 mm festet på vegg i dette tverrsnittet. Skap plasseres på den samme siden av tunnelen som føringsveiene og gangbanen. Teleskap vil sannsynligvis plasseres i tverrpassasjene mellom tunnelene for hver 500 m.

RAMS
Det vises til kapittel 5.4. Brannvannstilførsel gjennom begge tunnelløp bidrar til å sikre god tilførsel.

Generelt er det mange fordeler med fastspor.

6.3. Fravik fra Teknisk regelverk for enkeltsportverrsnitt

Det er ingen klare fravik fra regelverket i de skisserte profiler for enkeltspor. Følgende to forhold er uklare i forhold til regelverket:

- Det er uklart om bestemmelsen i JD520, kapittel 6 Banelegeme, avsnitt 3.3 om tosidig grøft i frostsonen gjelder enkeltsportunnel. Vi antar at denne kun gjelder i dobbeltsportunnel.
- Som for dobbeltspor er det ikke samsvar mellom bestemmelser i JD510 og JD520, bredde på kabelfritt profil/avstand til fast konstruksjon (hhv 2,5 og 2,2 m).

7. TVERRSNITT FOR HJELPETUNNELER

7.1. Generelt

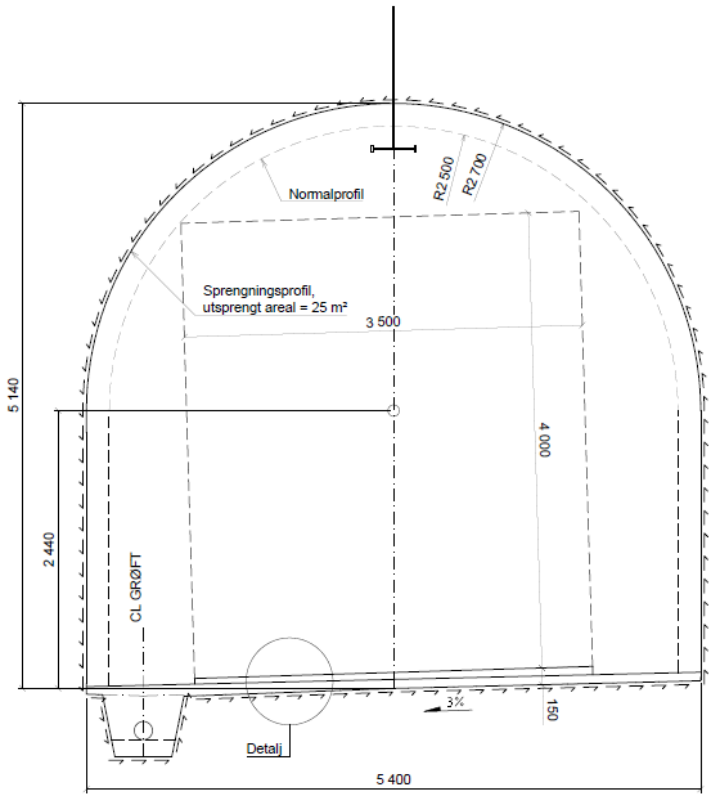
Med hjelpetunneler menes her tunneler i tilknytning til jernbanetunnelene som er nødvendig for å kunne bygge tunnelene, eller som har en funksjon i forbindelse med sikkerhetstiltak. Dette er:

- Rømningstunnel
- Parallell service- og rømningstunnel
- Tverrforbindelse mellom enkeltsportunneler
- Tverrslagstunnel
- Vertikal rømningssjakt

Hjelpetunneler forutsettes drevet med boring og sprengning fordi denne typen tunneler må være fleksible i forhold til stigning, lengde, kurvatur, etc.

7.2. Forslag til tverrsnitt for rømningstunnel

En rømningstunnel defineres her som en tunnel fra jernbanetunnelen som går direkte ut i dagen. Disse tunnelene inngår normalt ikke i anleggslogistikken til entreprenøren knyttet til driving av jernbanetunnelen, og kan derfor ha et såkalt minimumstverrsnitt. Dette er i praksis en tunnel på 25 m² som er stor nok til effektiv drift. Et tverrsnitt på 25 m² er således foreslått og vist nedenfor.



Figur 15: Rømningstunnel jfr. tegning F-062.

Anleggsteknikk/SHA
I tunneltverrsnittet bør det være plass for transport med semilastebil med tipp og boring med 2-boms standard tunnelrigg. I tillegg bør det være plass til en ventilasjonsduk i hengen. Dette krever et tunneltverrsnitt på 25 m² og det anbefales ikke å bygge tunnelen mindre fordi dette vil gjøre det problematisk og dyrere å drive denne typen tunnel med konvensjonelt utstyr. Med tverrsnitt som vist vil tunnelen også kunne bli brukt for transport av materialer og varer i byggeprosessen, noe som gir en mer effektiv anleggsgjennomføring og kortere byggetid. Tunnelen kan gjerne drives fra innsiden, slik at riggbehovet i dagen minimaliseres.

TSI-SRT og Teknisk regelverk stiller ikke krav til maks stigning i rømningstunneler. Anleggsteknisk vil det imidlertid være problematisk å drive tunnelene med større stigning enn 15 %, men en stigning på maksimalt 12 % bør tilstrebes. Dette er blant annet knyttet til SHA-forhold (glatt føre på vinter, transport av store maskiner med høyt tyngdepunkt etc.).

Tverrsnittet som velges for rømningstunneler må dimensjoneres slik at trygge maskinpasseringer og føringsveier er ivaretatt under arbeidene. Ved driving av tunneler med et tverrsnitt som ikke tillater passering av dumpere/lastebiler, som rømningstunneler, må planleggingen av maskintransporten også ivareta plass til føringsveiene i alle faser. Videre må også provisorisk lys og ventilasjon opprettholdes i alle faser hvor permanente tekniske installasjoner installeres. I tillegg må fremdriftsplanleggingen sikre at alle arbeidsoperasjoner knyttet til tekniske installasjoner i tunneltversnittet er koordinert slik at disse kan gjennomføres uten tilført risiko fra eller for andre arbeider.

Installasjoner i rømningstunneler

VA

Rømningstunnelen skal ha normalt dreneringssystem. Dette omfatter grøft med drensrør, sandfang og inspeksjonskummer. Det legges opp til ensidig grøft med drensledning. Det stilles normalt ikke krav til brannvann i disse tunnelene.

Vann- og frostsikring

Det stilles ikke like store krav til vann og frostsikring i rømningstunneler da det ikke er spor og jernbaneteknisk anlegg i tunnelen som kan ødelegges av vanninnlekkasje (korrosjon, utfelling av mineraler o.l). Da rømningstunnelene er lukkede systemer med vegger (med sluse) mot jernbanetunnel og åpning i dagen vil det på grunn av bergvarme (normalt ca. 5 grader) være en begrenset del av rømningstunnelene som er utsatt for frost, sannsynligvis kun de ytterste meterne mot åpningen.

Med relativt tette tunneler (det forutsettes at det er gjennomført berginjeksjon), vil det derved normalt ikke være behov for frostsikring av rømningstunneler. For å øke levetiden til det tekniske anlegget i disse tunnelene, samt veibanen, anbefales at det velges en enkel form for vannsikring i partier med jevnt drypp, typisk i form av en enkel dukløsning. Det er viktig at det stilles brannkrav til denne løsningen, dvs. minimum B-klassifiserte materialer. Duken bør monteres noen meter til hver side av vanndrypp, da vanninnlekkasjen typisk vil flytte seg med årene.

Jernbaneelektro

Det skal monteres kabelstiger i heng for fremføring av kabler til lys og eventuell ventilasjon i rømningstunnelen, samt til utstyr på beredskapsplass.

I forbindelse med rømningstunnelene skal det plasseres tekniske hus (HK) med rom for høyspent, lavspent, tele og signal. Det må være kjøreatkomst til disse byggene med mulighet for å frakte inn utstyr. Fra tekniske bygg og til jernbanetunnelen etableres det føringsvei i bakken frem til rørkrysset i jernbanetunnelen. I dette tverrsnittet må det sprenges dypere for å få plass til føringsveiene.

RAM

Det er ikke identifisert spesielle forhold knyttet til det foreslåtte tverrsnittet for rømningstunnelene som påvirker vedlikeholdbarheten eller jernbanens tilgjengelighet. Det er en del kjente farer og problemstillinger for slike tunneler, eksempelvis knyttet til trykk- og sugkrefter som kan gjøre at dører slår opp eller igjen når de benyttes av vedlikeholdspersonell, behov for frisk luft, vendehammer, mm.

7.3. Tverrsnitt for parallelle service- og rømningstunneler

Servicetunneler kan kombineres med parallelle rømningstunneler. Det stilles samme krav til parallell service- og rømningstunnel som til rømningstunnel. Anleggsteknisk vil det derved være behov for et tverrsnitt hvor standard utstyr for driving av jernbanetunneler benyttes. Det vil derved være behov for et tverrsnitt på minimum 25 m^2.

I Norge er det bygd slike tunneler i Storberget og Eidanger tunnel i prosjektet Farriseidet – Porsgrunn. Parallell rømningstunnel i Storberget tunnel har et tverrsnitt på 25 m^2. Dette er samme tverrsnitt som er beskrevet for rømningstunneler. Norconsult foreslår dette tverrsnittet også for parallell service- og rømningstunnel.

Tekniske detaljer og VF-sikringsløsninger gjennomføres som for rømningstunnel.

I forbindelse med service- og rømningstunnelene eller i tverrpassasjene skal det plasseres tekniske hus (HK) med rom for høyspent, lavspent, tele og signal for maksimalt hver 1000 m i tilknytning til atkomst fra jernbanetunnelen. Det kan være aktuelt med HK for høyspent og lavspent hver 500 m, og dette må vurderes ved detaljprosjektering. Det må være kjøreatkomst til disse byggene med mulighet for å frakte inn utstyr.

Det skal også monteres kabelstiger i heng for fremføring av kabler til lys og eventuell ventilasjon i servicetunnelen, samt til utstyr på beredskapsplass. Det må på de enkelte prosjektene gjøres en vurdering av hvilke kabler som eventuelt kan legges i service-tunnelen istedenfor i jernbanetunnelen, dette gjelder blant annet 22 kV kabel og andre kabler som ikke skal forsyne utstyr før neste tilkomst til jernbanetunnelen.

RAM-forhold vurderes å være som beskrevet for rømningstunneler.

7.4. Tverrsnitt for tverrforbindelser

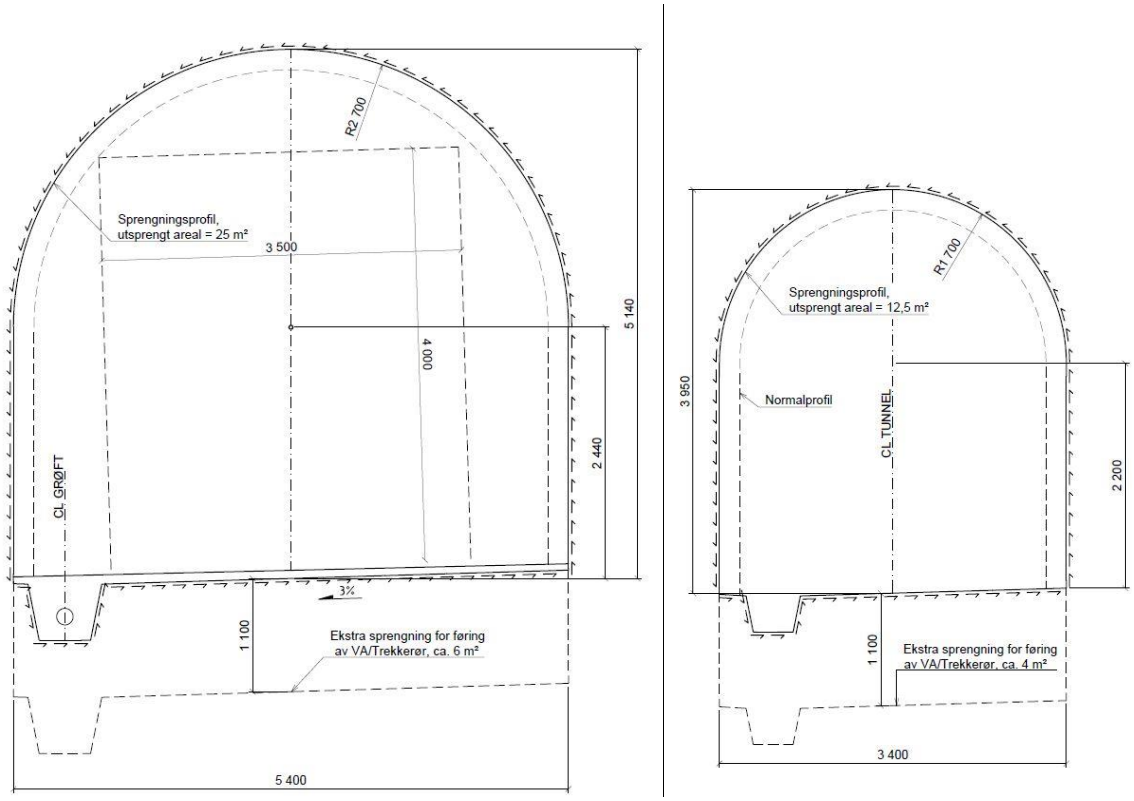
Generelt
Tverrforbindelser gjelder her for rømning mellom to enkeltsportunneler eller mellom dobbeltsporet tunnel og parallell service- og rømningstunnel (via sluse). Det stilles samme krav til tverrforbindelser som til en rømningstunnel og dette er beskrevet foran.

Anleggsteknikk/SHA
For optimal anleggsgjennomføring vil det ved driving med boring og sprengning normalt drives vekseldrift mellom de to parallelle tunnelstuffene. Anleggsteknisk vil det derved være behov for et tverrsnitt hvor standard utstyr for driving av jernbanetunneler benyttes. Det vil derved være behov for et tverrsnitt på 25 m^2. Dersom entreprenøren har behov for et større tverrsnitt enn 25 m^2, gjennomføres dette etter avtale med byggherren og for entreprenørens regning.

I nyere jernbaneprosjekter har det kun blitt drevet tverrforbindelser i Storberget tunnel. Tverrsnittet for disse tunnelene er prosjektert til å være 25 m^2. I norske vegtunneler brukes ofte et T4 tverrsnitt som tverrforbindelser. Et T4 tverrsnitt har et tverrsnitt på 22 m^2 og er kun 4 m bredt. Det er vurdert at en marginal økning i tverrsnitt til 25 m^2 og en tunnelbredde på 5 m gir en betydelig bedre anleggslogistikk og bedre SHA i anleggsfasen.

Anbefalt tverrsnitt
Med bakgrunn i vurderingene over synes det rimelig / hensiktsmessig å foreslå tverrforbindelser på 25 m^2 som standard løsning i konvensjonelt drevne tunneler. Det er derved foreslått samme tverrsnitt for rømningstunneler ut til dagen, parallell service- og rømningstunnel og tverrforbindelser. Det er kostnadsbesparende å standardisere disse tverrsnittene da dette gir en enklere prosjektering, mer forutsigbar anleggsgjennomføring og leverandørtilpasning av løsninger.

Forslag til tunneltverrsnitt for tverrforbindelser er vist nedenfor. Det er vist et 25 m^2 stort tunneltverrsnitt som tverrforbindelse mellom konvensjonelt drevne enkeltsportunneler, og et 12,5 m^2 stort tverrsnitt for TBM-situasjon. På tverrsnittene er det lagt inn eventuell ekstra sprengning under vegbanen for eventuelt kabelføringsanlegg.



Figur 16: Tverrforbindelse mellom konvensjonelt drevet jernbanetunneler og TBM

For tverrpassasjer mellom TBM-borede enkeltsportunneler må det vurderes å benytte andre drivemetoder og andre og gjerne mindre tunneltverrsnitt. Tverrsnittene må dimensjoneres ut fra hvilke installasjoner som er aktuelle. Et eksempel fra Weinbergtunnelen (Sveits) har raiseboret et tverrsnitt på 17 m^2 med diameter 4,75 m.

Installasjoner i tverrforbindelser
Tekniske detaljer og VF-sikringsløsninger gjennomføres som for rømningstunnel.

I forbindelse med tverrforbindelser skal det plasseres tekniske hus med rom for høyspent, lavspent for hver 2. tverrforbindelse (hver 1000 m). Byggene må plasseres slik at det er mulig å frakte inn utstyr. Det kan være aktuelt med HK for høyspent og lavspent i hver tverrpassasje, dette må vurderes ved detaljprosjektering.

Teleutstyr kan plasseres i hver tverrforbindelse for hver 500 m. Dette utstyret kan monteres i skap istedenfor i egne rom. Ved behov for signalrom etableres dette som en del av det tekniske huset.

Fra tekniske hus og skapanlegg i tverrforbindelsen og til jernbanetunnelene etableres det føringsveier i bakken frem til jernbanetunnelene, noe som gjerne vil kreve ekstra sprengning under kjørebanen. Det skal også monteres kabelstiger i heng for fremføring av kabler til lys og eventuell ventilasjon i tverrforbindelsen.

Tverrforbindelser skal ha normalt dreneringssystem. Dette omfatter grøft med drensrør og eventuelt kummer.

RAM
Det foreslåtte tverrsnittet for tverrforbindelsene er tilfredsstillende i forhold til å kunne utføre vedlikehold. Utover dette er det ikke funnet at tverrsnittet påvirker RAM-ytelsen til jernbanen.

Det må imidlertid nevnes at plassering av tekniske hus og andre installasjoner som krever vedlikehold i tverrforbindelser mellom to jernbanetunneler vil kreve sportilgang. Der det er mulig det bør tilstrebes å plassere slike hus og installasjoner på steder som er tilgjengelige med bil.

7.5. Tverrsnitt for tverrslagstunneler

Generelt
BN har i mange tilfeller beskrevet tunneltverrsnitt for tverrslagstunneler på ca. 50-55 m^2, og forutsatt i konkurransegrunnlaget at det er entreprenørens ansvar å utvide tverrsnittet basert på sin planlagte anleggsgjennomføring. Tverrslagene har derfor på flere anlegg blitt utvidet av entreprenøren for å optimalisere transportløsninger og ventilasjonsløsninger for tunneldrivingen. I nyere jernbaneprosjekter er det således drevet tverrslagstunneler med tverrsnitt fra ca. 50-70 m^2.

Anleggsteknikk/SHA/kontraktmessige forhold
Norconsult mener at tunneltverrsnittet for tverrslagstunneler bør prosjekteres med et mest mulig realistisk driftsopplegg, blant annet med utgangspunkt i SHA-forhold. Det bør sikres at 2 standard dumpere eller 2 stk semitrailere skal kunne møtes og at det er tilfredsstillende forhold på vinterføre. I tillegg skal det være plass til 2 eller 4 ventilasjonsduker i hengen. Standard duk-størrelse vil være ca. 2 m. For driving av parallelle enkeltsportunneler eller dobbeltsportunnel og parallell rømningstunnel, vil det være behov for 4 ventilasjonsduker, dvs. en vifte for hver stuff. Dette gir i praksis et 60 m^2 stort tunneltverrsnitt.

Alternativet er å beskrive et minimumstverrsnitt på 53 m^2, samt be entreprenør ta kostnaden for eventuell ønsket økning av tverrsnitt. I praksis vil imidlertid entreprenør da legge kostnaden for dette inn et annet sted, f. eks. i rigg og drift. I tillegg vil det lett bli uklarheter vedrørende oppgjør for forbruksmateriell som bolter, sprøytebetong, injeksjonsmasse etc. I konkurransegrunnlaget bør det derfor beskrives at det gjøres opp for et teoretisk sprengningsvolum opp til et tverrsnitt på 60 m^2. Hvis entreprenøren ønsker et større tverrsnitt, må byggherren forespørres (det må bl.a. hensyntas krav til overdekning) og at entreprenøren tar kostnaden for utvidelsen. Et eksempel på dette er Lannerheia tverrslag i Storberget tunnel. På grunn av lange transportveier ønsket entreprenøren å benytte tipptrucker for utkjøring av stein. Dette medførte driving av et tverrsnitt på nærmere 70 m^2. I prosjektet Farriseidet-Porsgrunn har det f.eks. vært betydelige diskusjoner med entreprenører knyttet til størrelse på tverrslagene som opprinnelig var prosjektert med 53 m^2. Samtlige entreprenører mente at dette ikke var tilstrekkelig stort for rasjonell anleggsaktivitet, nødvendig ventilasjonsbehov og SHA-forhold ved transport.

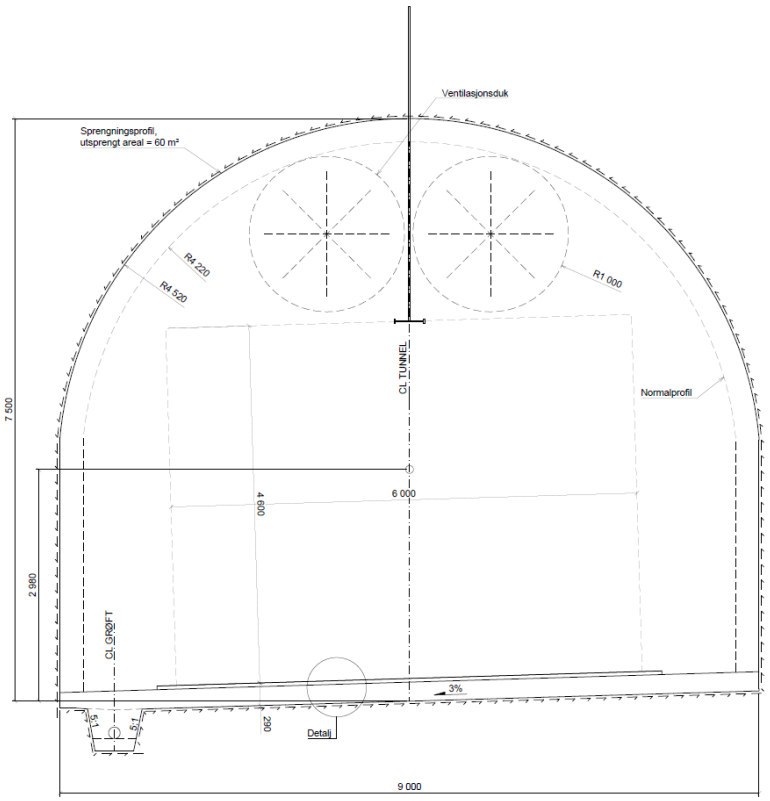
Foreslått tunneltverrsnitt
Med bakgrunn i vurderingene over synes det rimelig / hensiktsmessig å foreslå en tverrslagstunnel på 60 m^2 som standard løsning. Ventilasjonsduker og kjørekasser på standard dumpere er tegnet inn i tverrsnitt. For korte tverrslagstunneler (opptil 100 meter) er ikke behovet for møtende trafikk i tverrslagstunneler like stort. Det kan da være mulig å senke tverrsnittet ned mot 50 m^2. Foreslått tunneltverrsnitt er vist nedenfor. Detaljert tegning ligger som vedlegg, jfr. tegning F-061.

Installasjoner i tverrslagstunneler
Tverrslagstunnelen skal ha normalt dreneringssystem som omfatter grøft med drensrør, sandfang og inspeksjonskummer.

I forbindelse med tverrslagstunnelene skal det også plasseres tekniske hus (HK) med rom for høyspent, lavspent, tele og signal. Det må være kjøreatkomst til disse byggene med mulighet for å frakte inn utstyr.

Det skal også monteres kabelstiger i heng for fremføring av kabler til lys og eventuell ventilasjon i tverrslagstunnelen, samt til utstyr på beredskapsplass.

RAM
RAM-forholdene antas som i rømningstunneler.



Figur 17: Tverrslagstunnel.

7.6. Tverrsnitt for vertikale sjakter for rømning

Innledning

I norske jernbanetunneler er det drevet sjakt for rømning i Bærumstunnelen. I 2 lokaliteter er det drevet sjakt fra et sikkert rom og opp til dagen. Det ble valgt sjakt og ikke rømningstunnel til dagene da det var problematisk å komme opp med en rømningstunnel i et tettbygd område. Det sikre rommet er en fjellhall på 54 x 12 m (dimensjonert for 600 passasjerer på ett tog, med 1 m^2 for hver person). Fjellhallen er lagt enten parallelt med jernbanetunnelen eller vinkelrett på jernbanetunnelen, avhengig av hvor det var optimalt å komme ut med en rømningssjakt i dagen (se tegning under). På overflaten er det bygd et hus på 7,25 x 6,45m.

Sjaktene har en diameter på 3,1 m og boret med raisedrilling. I sjaktene er det montert en vindeltrapp i hele tverrsnittet. Sjaktene er sikret med sprøytebetong.

Ved en hendelse i Bærumstunnelen skal personer kunne rømme ut til det sikre rommet men må vente på rømning opp rømningssjakten til sjakten er åpnet fra redningspersonell i dagen. Det er viktig at det ikke er mulig for brannrøyk å komme inn i rommet, noe som krever tette vegger inn mot rommet og i enkelte tilfeller en form for overtrykksventilasjon. Videre må det være god belysning og gode sanitære forhold.

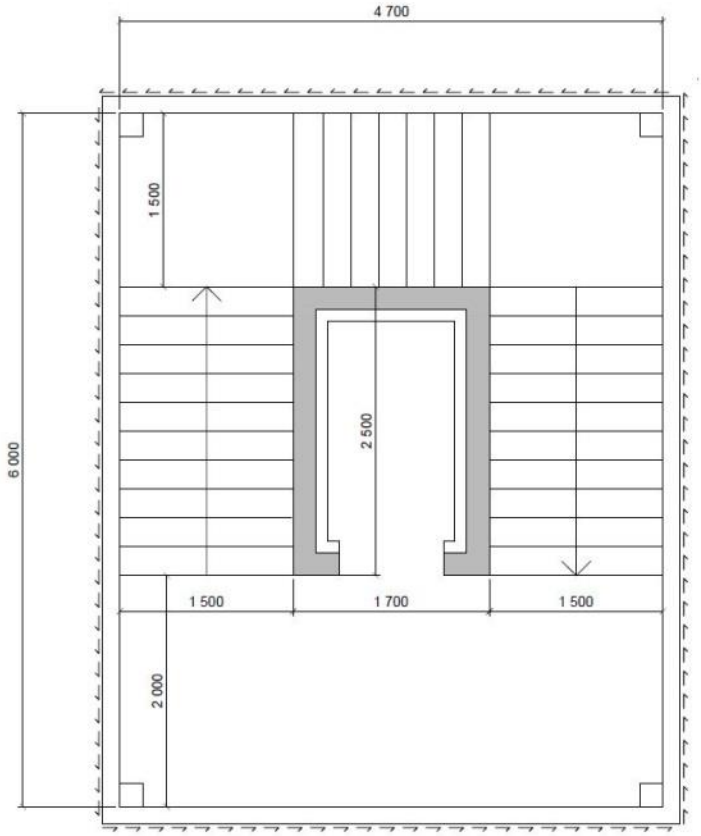
I Europa er rømning via sjakt en mye brukt løsning ved lange tunneler. Rømning til dagen foregår gjerne ved en kombinasjon av rømningstunnel til dagen, sjakt til dagen, eller til en parallell rømningstunnel (alternativt parallell jernbanetunnel), avhengig av hva som er optimal løsning i den enkelte lokalitet. Dette er f.eks gjennomført for Gotthard Base tunnel i Sveits, Brenner base tunnel i Østerrike og Silberberg tunnel i Tyskland.

Anbefalte tverrsnitt

Bruk av trapp som rømningsvei fra tunnel er noe som må vurderes nærmere i hvert enkelt tilfelle gjennom en risikoanalyse da høye trapperom gir utfordrende rømningsforhold kontra tverrslag og rømningstunneler.

Det er valgt å foreslå et annet rømningskonsept enn i Bærumstunnelen og har i vedlagt tegning vist en rektangulær sjakt som tilfredsstiller branntekniske krav til rømning. I sjakten monteres ståltrapper med repos for hver etasje. Togpassasjerer evakuerer opp disse trappene. Redningspersonell tar seg ned i tunnelen med heis og personer på båre, rullestolbrukere o.l. kan hentes opp via heisen.

Bredde på trapp og størrelse på heis og repos er minimumskrav i teknisk forskrift (TEK 10). En slik rømningssjakt vil ha stor kapasitet for å kunne ta unna en større menneskemengde på kort tid og man vil trolig kunne redusere størrelsen på sikkert rom i bunnen av sjakten, sammenlignet med løsningen i Bærumstunnelen. Dette må eventuelt vurderes spesielt. Detaljert tegning ligger som vedlegg, jfr. tegning F-063.

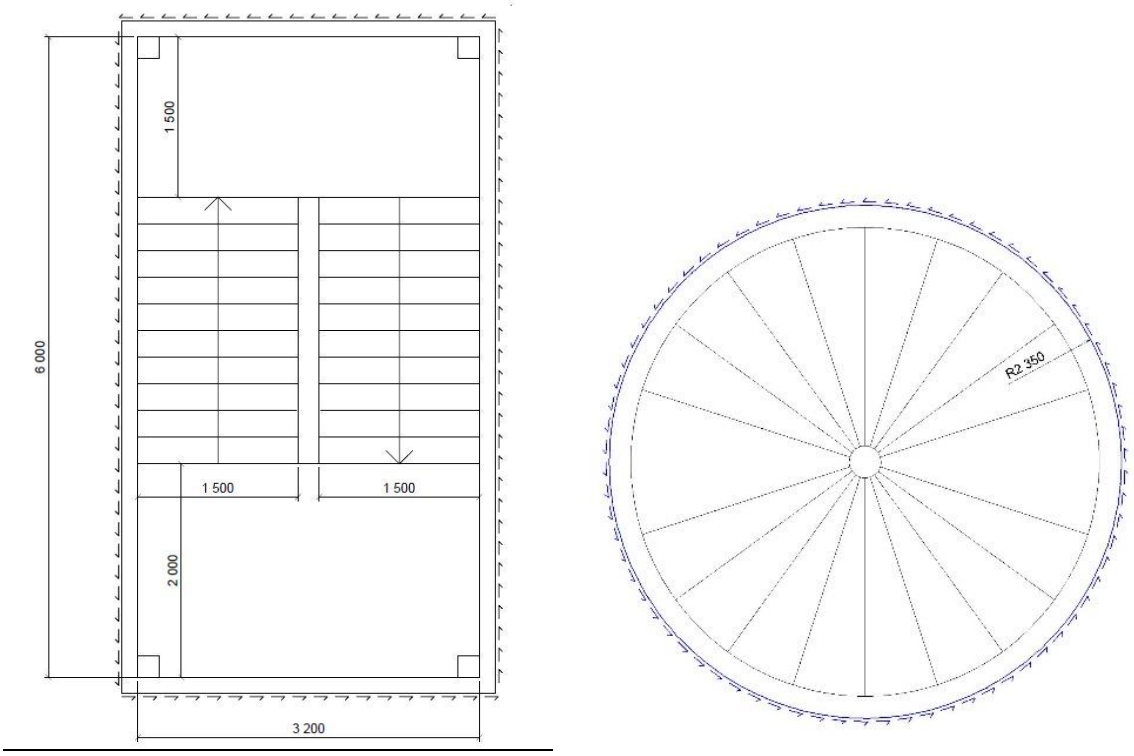


Figur 18: Trapp med heis i vertikal sjakt.

Sjakten sikres med sprøytebetong og bolter og vannsikres ved behov. Det anses ikke behov for VF-sikring da løsningen vil være lukket med dører i begge ender. Ved behov kan det injiseres i berget fra overflaten med vertikale lange hull. Dette ble gjennomført før utsprengning av sjakt for fjellheisen i Holmestrand.

Der hvor høyden på sjakten er lavere enn 20 m og det ikke stilles like store krav til parallell transport, transport av rullestolbrukere eller behov fra drift og vedlikeholdspersonell, er det vist et alternativ uten heissjakt.

I figuren nedenfor er det vist en vertikal sjakt på 4 x 6 m med kun trapper (med repos) for rømning. Til høyre i figuren er det vist en sirkelformet sjakt med diameter 4,2 m som bores med raisedrilling og vil derved være en mindre kostnadskrevende løsning enn løsningen til venstre. I denne løsningen kan det legges inn repos på gitt nivåer, dersom det er behov for dette.



Figur 19: Alternative sjaktløsninger. Trapperom uten heis eller trapperom i raise-boret sjakt.

Installasjoner i rømningssjakt
Det må etableres føringsveier for fremføring av kabler til lys og eventuell ventilasjon og heis. Det prosjekteres et drenssystem i bunnen av sjakten for å samle opp lekkasjevann fra berget.

I forbindelse med redningssjakter skal det normalt plasseres tekniske hus (HK) med rom for høyspent, lavspent, signal og tele. Byggene må plasseres slik at det er mulig å frakte inn utstyr. Dette kan være noe utfordrende ved tilgang gjennom sjakt og vil bidra til å favorisere en heisløsning i sjakten.

RAM
Dersom det etableres utstyr som trenger vedlikehold (eksempelvis tekniske hus) flere etasjer fra bakkeplan, bør heis vurderes av hensyn til vedlikeholdbarhet. Det kan bli tungt og tidkrevende å frakte utstyr opp og ned trappene, og større deler må kanskje tas med tog, noe som krever sportilgang. Fordelene med heis må veies opp mot det økte vedlikeholdet selve heisen krever.

Sikkerhetsvurdering brann/ulykke
Bruk av trapp som rømningsvei fra tunnel er noe som må vurderes nærmere i hvert enkelt tilfelle gjennom en risikoanalyse da høye trapperom gir utfordrende rømningsforhold kontra tverrslag og rømningstunneler.

8. DOKUMENT INFORMASJON

8.1. Endringslogg

Rev.	Endring
00A	Første utgave, høringsutkast til oppdragsgiver
01-1	Intern revisjon
01A	Oppdatert høringsutkast for oversendelse til oppdragsgiver (Bane NOR). Innført ny rapportmal. Drensgrøft er foreslått plassert mellom spor i dobbeltsporet tunnel. Kabelkanaler er foreslått understøttet av betong for bedre stabilitet. Tegningsnummer er endret og er lagt inn i tegningshefte med eget dokumentnummer. Vedleggene til rapporten har fått egne dokumentnummer.

8.2. Referanseliste

[1] Forskrift om gjennomføring av kommisjonsforordning (EU) nr. 1303/2014 av 18. november 2014 om den tekniske spesifikasjonen for samtrafikkevne som gjelder sikkerhet i jernbanetunneler i Den europeiske unions jernbanesystem (TSI-sikkerhet i jernbanetunneler). FOR-2015-06-16-685

[2] ICP-00-A-000030, Teknisk Designbasis for InterCity, rev. 03A, 14.11.2016

[3] Notater til BN Teknologi fra Norconsult: Tunneltverrsnitt (1), Vann- og frostsikringsløsninger (2), Tunnelkonsept (3) alle datert 10.03.2015.

[4] UIC Code 779-11 Determination of railway tunnel cross-sectional areas on the basis of aerodynamic considerations.

[5] Trafikverket, TDOK 2015:0167 - BVH 585.35 Aerodynamik i järnvägstunnlar.

[6] UVB-12-A-20403 Farriseide – Porsgrunn, Trykkforhold i jernbanetunneler, Norconsult, 16.07.2010

[7] UVB-53-A-10113 Holm- Nykirke – Holmestrand stasjon. Trykkstøt – sjakter – ventilasjon

[8] Statens vegvesen, Intern rapport nr. 2301 Frostmengde i vegtunneler, 22.10.2002,

[9] TA-1442 Støy i arealplanlegging – Retningslinjer for behandling av støy i arealplanlegging (26.01.2005). Miljøverndepartementet.

[10] NS8175 Lydforhold i bygninger. Lydklasser for ulike bygningstyper.

[11] Teknisk notat – Vurdering av strukturstøy fra jernbanetunneler på strekningen Minnesund – Kleverud. NGI, 2010.

[12] Forskrift om gjennomføring av kommisjonsforordning (EU) nr. 1299/2014 om de tekniske spesifikasjonene for samtrafikkevne for delsystemet infrastruktur i den europeiske unions jernbanesystem (TSI-infrastruktur), FOR-2015-10-05-1163.

[13] SBB (Sveitsiske jernbaner), Ausführungs- und Qualitätsvorschriften für die Tunnelentwässerung, 1.04.2010.

8.3. Vedlegg

Nr	Dokumentnr.	Tittel	Status ved utgivelse av Tunneltverrsnittsrapport rev 01A
1	ICP-00-A-00114	Forslag til tunneltverrsnitt – Vedlegg 1 Aerodynamiske forhold med tilleggsnotat	00A
2	ICP-00-F-00001	Forslag til tunneltverrsnitt – Vedlegg 2 Tegningshefte normalprofiler, snitt og detaljer	00A
3	ICP-00-A-00115	Forslag til tunneltverrsnitt – Vedlegg 3 Frostisolasjon i såle	00A
4	ICP-00-A-00116	Forslag til tunneltverrsnitt – Vedlegg 4 Frostinntrengning	00A
5	ICP-32-Q-26111	Forslag til tunneltverrsnitt – Vedlegg 5 Drensløsninger, RAM-rapport	00B
6	ICP-00-A-00117	Forslag til tunneltverrsnitt - Vedlegg 6 Trekkerør vs. Kabelkanal	00A
7	ICP-00-A-00118	Forslag til tunneltverrsnitt – Vedlegg 7 Belastninger på drenskummer/-sandfang (kum i ballastpukk)	00A

Tegningsheftet i vedlegg 2 inneholder følgende tegninger:

Tegningsnummer	**Tittel**
F-000	Dobbeltspor, normalprofil, snitt
F-002	Enkeltspor sprengning, normalprofil, snitt
F-004	Enkeltspor TBM, normalprofil, snitt
F-010	Dobbeltspor kontaktstøp, normalprofil med detaljer
F-011	Dobbeltspor, avsatt plass til installasjoner
F-013	Kabelkanaler, kummer og avgreninger
F-014	Kabelkanaler, rørkryss
F-015	Kabelkanaler, rørkryss ved telenisje
F-030	Enkeltspor sprengning, normalprofil med detaljer, snitt
F-031	Enkeltspor sprengning, avsatt plass til installasjoner
F-032	Enkeltspor sprengning, tverrforbindelse, snitt
F-050	Enkeltspor TBM, normalprofil med detaljer, snitt
F-051	Enkeltspor TBM, avsatt plass til installasjoner
F-052	Enkeltspor TBM, tverrforbindelse, plan og snitt
F-061	Tverrslag, normalprofil med detaljer
F-062	Rømningstunnel, normalprofil med detaljer
F-063	Sjakt, normalprofil med detaljer
F-073	Dobbeltspor VA, Sandfang og inspeksjonskum mellom spor, snitt
F-074	Dobbeltspor VA, Sandfang og inspeksjonskum mellom spor, plan