



Statens vegvesen

Etatsprogrammet Moderne vegtunneler

Strategi for bygging av nye vegtunneler
Grunnlagsdokument

Statens vegvesens rapporter

Nr. 130



Vegdirektoratet
Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen
Tunnel og betong
Juni 2012

Tittel

Etatsprogrammet Moderne vegtunneler

Undertittel

Strategi for bygging av nye vegtunneler
Grunnlagsdokument

Forfatter

Norconsult AS

Avdeling

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen

Seksjon

Tunnel og betong

Prosjektnummer

602182

Rapportnummer

Nr. 130

Prosjektleder

Harald Buvik

Godkjent av**Emneord**

Etatsprogram, Moderne vegtunneler, tunnel, strategi, bygging

Sammendrag

Hovedmålsetningene i etatsprogrammet Moderne vegtunneler har vært:

- Legge fram forslag til en helhetlig tunnelstrategi som omfatter planlegging, bygging og drift og vedlikehold.
- Sikre at levetiden til nye tunnelkonstruksjoner er i samsvar med den foreslåtte strategien
- Sikre tunneldokumentasjon istandardiserte systemer
- Optimalisere tunnelplanlegging
- Brannsikre vann- og frostsikringsløsninger
- Sikre og videreutvikle en samlet tunnelkompetanse i egen etat og i samarbeid med bransjen

Title

Major Research and Development Project:
Modern Road Tunnels

Subtitle

Construction Strategy for new Road Tunnels
Basic Document

Author**Department**

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen

Section

Tunnel og betong

Project number

602182

Report number

No. 130

Project manager

Harald Buvik

Approved by**Key words**

Major R&D projects, Modern Road Tunnels, Tunnel, Strategy, Construction

Summary

- To provide the Norwegian Public Roads Administration with a clear policy on tunnel planning, construction and maintenance
- To ensure that the life cycle of tunnels and their equipment is in accordance with the adopted strategy
- To organize the documentation of technical solutions in our tunnels into a standard system
- To optimize tunnel design
- To further develop fireproof solutions for water and frost protection
- To clarify and continue the NPRA's tunnel expertise and contribute to increasing cooperation within the industry.

Sammendrag

Statens vegvesen ønsker å utarbeide en strategi for nye vegtunneler der økt levetid, økt teknisk standard og økt trafiksikkerhet for nye vegtunneler er viktige elementer. Norconsult AS har bidratt i dette strategiarbeidet med foreliggende rapport.

Følgende strategiske grep er foreslått og omtalt i rapporten:

- Norske vegtunneler skal i fremtiden dimensjoneres for 100 års levetid når det gjelder selve tunnel- / bergsikringskonstruksjonen.
- Tunnelene skal ikke være utvidet for inspeksjonsmulighet mellom berget og vann- og frostsikringen.
- Middels/høy- og høytrafikkerte tunneler skal støpes ut i hele tunnelens lengde for minimalt vedlikeholdsbehov og høy grad av oppetid.
- Bruk av større tunneltverrsnitt i noen tunnelklasser for økt trafiksikkerhet og enhetlig tunnelprofil.

Tiltak for å sikre 100 års levetid for lav- og middeltrafikkerte tunneler er økt bruk av forinjeksjon, nøyaktig og forsiktig kontursprengning samt kvalitetsmessig god utførelse av stabilitetssikringen. For middels/høy- og høytrafikkerte tunneler er tiltaket å utføre en gjennomgående betongutstøping. En innenforliggende membran på en avrettet sprøytebetongoverflate sørger for vanntettingen.

Tetting ved forinjisering er nødvendig for at arbeidsbetingelsene i tunnelene skal være gode ved utførelsen av stabilitetssikringen. Ingen eller få vannlekkasjer er dessuten avgjørende for miljøet i tunnelene og dermed levetiden. Nøyaktig boring og forsiktig kontursprengning skal bidra til at berget ikke skades mer enn nødvendig og minske sikringsomfanget. En nøyaktig kontur bidrar dessuten til å minske kostnadene ved betongutstøpingen.

Siden bergsikringen er dimensjonert for 100 års teknisk levetid, vil det ikke være behov for å benytte personell til å inspisere bergsikringen bak vann- og frostsikringshvelvet. Hvelvet kan derfor plasseres tettere inn mot berget slik at utsprengt volum spares.

Det foreslås også at det ikke benyttes brennbare materialer i vann- og frostsikringskonstruksjoner.

Konsekvensen av de foreslåtte tiltakene er økt tidsforbruk og økte investeringskostnader. Tids- og kostnadsøkningen er anslått til ca. 10-25 % avhengig av tunnelklasse, geologiske forhold, mv.

Kostnader til drift, vedlikehold og rehabilitering blir vesentlig redusert, spesielt der tunnelene støpes ut. Økt oppetid for tunnelene i levetiden vil bli et resultat av de foreslåtte tiltakene.

FORORD

Statens vegvesen ønsker, i forbindelse med forskningsprosjektet *Moderne vegtunneler*, å utarbeide forslag til strategier for nye vegtunneler. Prosjektet er igangsatt på bakgrunn av de siste års tunnelhendelser og de føringer som ble lagt blant annet i bransjerapporten *Tunnelsikkerhet* (juni 2007) og *Agendarapporten* (okt. 2007).

Strategiarbeidet i forskningsprosjektet er lagt til delprosjekt 0 - Strategi for vegtunneler. Hensikten med dette delprosjektet er å utvikle helhetlige strategier som skal sikre høy kvalitet, sikkerhet og forutsigbarhet i forbindelse med planlegging, bygging, drift og vedlikehold av nye vegtunneler. Delprosjektet skal administrere, samordne og koordinere arbeidet i forskningsprosjektet.

En av hovedidéene bak forskningsprosjektet er å kunne bygge nye tunneler slik at de har lengre levetid og bedre teknisk standard enn dagens vegtunneler. Dessuten skal de ulike tunnelementene harmoniseres for å optimalisere utbyggingen samtidig som tunnelene skal kreve mindre drift og vedlikehold. Det er et ønske / forutsetning i denne forbindelse at de kostnadmessige og tidsmessige konsekvensene for moderne vegtunneler er innenfor rammer som samfunnet finner formålstjenelig.

Målet med arbeidet (og rapporten) er således å beskrive realistiske måter å bygge nye tunneler og dokumentere løsningene. Norconsult AS har bidratt i dette strategiarbeidet med foreliggende rapport. Rapporten er utarbeidet med oppdragsleder Jens-Petter Henriksen som ansvarlig. Under arbeidets gang har det vært tett dialog med oppdragsgivers representanter Harald Buvik, Ole Christian Torpp, mfl.

INNHALDSFORTEGNELSE

1	KORT BESKRIVELSE AV DAGENS SITUASJON	4
1.1	Generelt	4
1.2	Oppdatert regelverk de siste årene	4
1.3	Inspeksjon bak vann- og frostsikringshvelv	5
1.4	Sammenligning med europeisk tunnelbygging	5
2	STRATEGIER FOR NYE VEGTUNNELER	7
2.1	Hovedstrategier	7
2.2	Tiltak for måloppnåelse	7
2.3	Tiltak for lavtrafikkerte tunneler	8
2.4	Tiltak for middelstrafikkerte tunneler	9
2.5	Tiltak for middels/høytrafikkerte tunneler	10
2.6	Tiltak for høytrafikkerte tunneler	12
2.7	Tiltak for undersjøiske tunneler	12
2.8	Alternative tunnelverrsnitt	12
3	ENDRINGER VED BYGGING AV NYE VEGTUNNELER	13
3.1	Planleggig, prosjektering og oppfølging	13
3.2	Forinjeksjon	13
3.3	Kontursprengning	14
3.4	Stabilitetssikring	14
3.4.1	<i>Utførelsen av stabilitetssikringen</i>	14
3.4.2	<i>Bolter</i>	15
3.4.3	<i>Sprøytebetong</i>	16
3.4.4	<i>Sprøytebetongbuer/gitterbuer</i>	16
3.5	Full utstøping med membran	16
3.6	Samlet vurdering	17
4	KONSEKVENSER FOR BYGGING	18
4.1	Generelt	18
4.2	Konsekvenser for økonomi og fremdrift	18
4.2.1	<i>Lavtrafikkerte tunneler</i>	18
4.2.2	<i>Middelstrafikkerte tunneler</i>	19
4.2.3	<i>Middels/høy- og høytrafikkerte tunneler</i>	21
4.2.4	<i>Undersjøiske tunneler</i>	21
4.3	Konsekvenser for drift og vedlikehold	22
4.4	Konsekvenser for sikkerhet	23
4.5	Konklusjon/anbefaling	23
5	REFERANSER	24

1 KORT BESKRIVELSE AV DAGENS SITUASJON

1.1 Generelt

De aller fleste norske vegtunneler er bygget fra 1960 og fremover. I denne perioden har det vært en enorm utvikling knyttet både til prosjektering og bygging av tunneler, og dagens tunneler representerer hele denne utviklingen. Det er dessuten stor variasjon i geologi, tunneltype, trafikkmengde, osv. Vedlikeholdet av tunnelene, eller mangel på vedlikehold, spiller også inn. Noen lavtrafikkerte tunneler er dessuten bygget med bevisst lav kvalitet for at man i det hele tatt har kunnet forsvare prosjektet kostnadmessig. Resultatet er uansett at dagens tunneler har stor variasjon med tanke på standard og kvalitet.

I lange perioder har norske vegtunneler blitt prosjektert og bygget med minimumsløsninger, jfr. bl.a. begrepet "low-cost-tunneling". I dette ligger bl.a. at det har vært begrenset fokus på levetidskostnader, mens det har vært desto større oppmerksomhet rundt det å begrense byggekostnadene. "Low-cost-tunneling" har lenge hatt god klang i det norske tunnelmiljøet.

Idéene bak "low-cost-tunneling" har nok også smittet over på omfanget av oppfølgingen i byggeperioden. En konsekvens av dette er bl.a. at mye av byggeprosessen har blitt overlatt til entreprenørene. Det har muliggjort at entreprenøren har kunnet ha stor fokus på inndrift/fremdrift/produksjon og i mindre grad på kvalitet. Eksempelvis har lange tunnelsalver kombinert med liten fokus på kontursprengning medført unødig oppsprekking av gjenstående berg. Høy fremdrift har dessuten kunnet gå på bekostning av utførelsesmetodene og kvaliteten av bergsikringen.

Mange av vann- og frostsikringskonstruksjonene har vært prosjektert og bygget med utilstrekkelig kvalitet og har vist seg å ha vesentlig kortere levetid enn ønskelig.

De aller fleste norske tunneler er imidlertid utført ved godt håndverk, både mht. planlegging, bygging, drift og vedlikehold.

1.2 Oppdatert regelverk de siste årene

Statens vegvesen har, bl.a. etter raset i Hanekleivtunnelen, oppdatert regelverket rundt planlegging og gjennomføring av vegtunnelprosjekter. Det er i de siste årene kommet ut rundskriv, rapporter og håndbøker som gradvis har resultert i økte krav til kvalitet med tilhørende forventet økning av levetiden for nye tunneler, jfr. bl.a. NA rundskriv 2007/3 [1] og teknologirapport nr. 2538 [2]. Ytterligere krav og forbedrete løsninger er beskrevet i Håndbok 021 [3].

Disse endringer innebærer en skjerping og standardisering av nivået for permanent sikring i forhold til tidligere praksis. Av viktige endringer som er omtalt i disse dokumentene, og som således gradvis er implementert i dagens norske tunnelpraksis nevnes:

- Økt fokus på forundersøkelser, kartgrunnlag, systematikk gjennom planfaser, mer seismikk, bergmasseklassifisering og borehullsparemetertolkning (BPT/MWD).
- Prosjektering og kontroll iht NS 3480 Geoteknisk prosjektering (NS-EN1997 fra 2010) [4] skal være gjeldende også for tunneler.
- Økt oppfølging gjennom kartlegging, registrering, dokumentasjon og presentasjon av bergforholdene. Byggherrens halvtime er implementert i beskrivelser og Novapoint Tunnel - geologi og bergsikring er delvis tatt i bruk.

- Fastsettelse av sikringsklasser (I-V) som er knyttet til bergmasseklasser (A-G) har gitt økt mengde og produktkvalitet på bergsikringen. Eksempelvis er det krav om minimum 80 mm sprøytbetongtykkelse. Videre er det beskrivelse for riktig utforming av forbolter, radielle bolter og armerte sprøytebetongbuer, beskrivelse av betongutstøping ved svelleleiresoner og partier med kritisk overdekning (<3m over 10 m).
- Inspeksjonsmulighet bak vann- og frostsikringshvelv.

1.3 Inspeksjon bak vann- og frostsikringshvelv

Det har tidligere ikke vært krav om eller vært lagt til rette for inspeksjoner av berget bak vann- og frostsikringskonstruksjoner. Unntaket er de siste 10-15 årene hvor det i flere tunneler er montert inspeksjonsluker for tilkomst til rommet bak V/F-hvelvet. Det er først i de aller seneste årene, spesielt etter raset i Hanekleivtunnelen, at det har blitt krav om inspeksjoner bak hvelv og at det etter dette er utført omfattende og mer systematisk inspeksjon for å kartlegge tilstanden til bergsikringen i de norske vegtunnelene.

I forbindelse med disse inspeksjonene har det i flere tunneler vist seg vanskelig å komme til for å inspisere. Det har også vist seg at de geologiske forholdene og utført bergsikring er vanskelig å dokumentere i noen tunneler.

De nyeste tunnelene er imidlertid bedre enn de eldste tunnelene mht. inspeksjonsmulighet (krav til inspeksjonsluker og økt plass til inspeksjon) og foreliggende dokumentasjon. Der en har kommet til for inspeksjon, har inspeksjonene vist at tilstanden til bergsikringskonstruksjonen er varierende.

Inspeksjon med personell bak heldekkende vann- og frosthvelv er utfordrende hva gjelder helse, miljø og sikkerhet. Det er et sentralt spørsmål om en skal fortsette med å legge til rette for slik inspeksjon i fremtiden siden andre metoder finnes og/eller kan utvikles.

1.4 Sammenligning med europeisk tunnelbygging

Norsk tunnelpraksis har i løpet av de siste 10-årene vært gjennom flere utviklingstrinn når det gjelder metoder, maskiner og utstyr. Fellesnevneren for denne utviklingen er økt mekanisering og økt drivehastighet. Entreprenørenes effektivisering og mekanisering har medført at entreprenøren i dag styrer mye av det som skjer i tunnelen før gjennomslag. Unntaket er der det utføres systematisk forinjeksjon hvor byggherren bestemmer metode, materialer og omfang.

I Norge er berggrunnen stort sett av en slik kvalitet at berget kan benyttes som hovedkonstruksjonsmateriale. Norsk tunnelpraksis innebærer en arbeids- og risikofordeling mellom entreprenøren og byggherren som tilsier at byggherren tar hovedansvaret for de geologiske forholdene.

Norsk tunnelpraksis kjennetegnes også ved at sikringsmetode og sikringsomfang bestemmes fortløpende under bygging og tilpasses de stedlige forholdene. Praksisen med at entreprenøren avgjør omfang av arbeidssikring og byggherren permanent sikring er godt innarbeidet. I de siste årene har utviklingen vært slik at det meste av den permanente sikringen har blitt utført på eller like bak stoff i nær tilknytning til arbeidssikringen.

Norsk tunnelpraksis skiller seg fra andre lands tunnelmetoder (spesielt sammenlignet med land på kontinentet) ved at de permanente sikringsmetoder og det permanente sikringsomfanget i hovedsak bestemmes av de som til daglig følger opp tunneldrivingen på stoff; tunnelbas og kontrollingeniør.

Felles for mange tunneler i Europa er at grunnforholdene ofte er dårligere enn i Norge og at det er nødvendig med solide bergsikringskonstruksjoner for å oppta kreftene fra overliggende berg/løsmasser.

Sikringsmidlene består typisk av bolter, sprøytebetong, stålbuer, armeringsnett, uarmerte- og armerte utstøpinger. Typisk er det at boltene ikke regnes som del av den permanente sikringen. Typisk er det også at tunnelene er fullt utstøpte i endelig situasjon.

Boltene er som regel midlertidige, men boltene bidrar til å stabilisere grunnen i perioden før den permanente betongutstøpingen utføres. Sprøytebetong er hovedsikringsmetoden i kombinasjon med stålbuer, armeringsnett og full utstøping. I tillegg benyttes det som regel alltid en membran for å hindre vannlekkasje inn i trafikkrommet. Membranen holdes på plass av betongutstøpingen, noe som gir en innvendig tunneloverflate av konstruksjonsbetong. Løsningen er bestandig, har forutsigbare statiske forhold og levetiden kan lettere dokumenteres.

Sammenlignet med europeisk tunnelbygging, er det også andre forhold som vi kan lære av. Dette gjelder særlig den grundighet som preger prosjektering, bygging, oppfølging og dokumentasjon. Typisk for europeisk tunnelbygging er bl.a. at sikringsmetoder og sikringsomfang i stor detalj bestemmes på forhånd hos rådgivende ingeniør og baserer seg på utførte grunnundersøkelser. Under bygging kontrolleres det med målinger i tunnelen.

For de mest høytrafikkerte tunnelene i bystrøk i Norge er det nærliggende at disse utføres med en kvalitet i tråd med tilsvarende tunneler på kontinentet fordi kravet til oppetid er / bør være tilsvarende.

Et viktig forhold, som muligens kan forklare mange forskjeller mellom norsk og europeisk tunnelbygging, er de økonomiske forutsetningene som legges til grunn ved beslutning og bygging av vegprosjekter. Mange land i Europa har regler for avskrivning og krav til rentabilitet som er forskjellig fra tilsvarende regler og krav i Norge. For de fleste land i Europa er en avskrivning på 40-60 år vanlig. I Norge er denne i dag på 25 år. Tilsvarende er kravene til rentabiliteten mindre enn i Norge. Dette medfører at det i Europa i dag er økonomisk riktig å velge løsninger som har høyere kvalitet og som er mer varige.

2 STRATEGIER FOR NYE VEGTUNNELER

2.1 Hovedstrategier

På bakgrunn av de uheldige hendelser som har vært i noen tunneler for en del år siden, har det vært påkrevet å skjerpe de tekniske krav ved tunnelbyggingen slik det har vært gjort i de siste årene, jfr. nye krav i referansene [1] til [3]. Ved dette løftes kvaliteten på bergsikringskonstruksjonene med tilhørende økning i teknisk levetid.

Som et forsøk på å billedliggjøre denne skjerpingen av de tekniske krav, kan en se for seg at den tekniske levetiden for bergsikringskonstruksjonen i tunnelene dermed økes fra gårsdagens 30-50 år(?) til dagens 50-80 år(?). Dette utgjør således en klar forbedring.

Sett i lys av hva som kreves i land vi naturlig kan sammenligne oss med, samt vårt samfunns krav om at viktige samferdselsårer til enhver tid skal være åpen for trafikk, er det ønskelig med en ytterligere økt teknisk levetid for nye tunneler. Det er også et ønske om å forbedre sikkerheten og redusere behovet for drift/vedlikehold/inspeksjon. De definerte strategiene ved bygging av nye vegtunneler i Norge bør være:

- Norske vegtunneler skal i fremtiden dimensjoneres for 100 års levetid når det gjelder selve tunnel- / bergsikringskonstruksjonen.
- Tunnelene skal ikke være utvidet for inspeksjonsmulighet mellom berget og vann- og frostsikringen.
- Middels/høy- og høytrafikkerte tunneler skal støpes ut i hele tunnelens lengde for minimalt vedlikeholdsbehov og høy grad av oppetid.
- Bruk av større tunneltverrsnitt i noen tunnelklasser for økt trafiksikkerhet og enhetlig tunnelprofil.

Den bærende konstruksjonen i tunnelen, dvs. berget inkludert bergsikringen, skal i nye vegtunneler ha minst 100 års teknisk levetid for å unngå omfattende rehabiliteringer på et for tidlig stadium, siden dette er uheldig for både trafikkavviklingen og samfunnskostnadene.

2.2 Tiltak for måloppnåelse

Norsk tunnelpraksis har medført rimelige tunneler og høy inndrift, dog noen ganger på bekostning av kvaliteten. Hovedprinsippene i dagens norske tunnelpraksis er likevel aktuell også i fremtiden, men tunnelpraksisen må utvikles i en slik retning at det legges mer vekt på kvalitet og mindre vekt på inndrift/kvantitet i produksjonsfasen. En må altså være villig til å investere mer i byggefasen og akseptere en noe lengre byggetid. Følgende tiltak bør implementeres ved bygging av nye vegtunneler:

- Bruk av forinjeksjon for å tette tunnelene godt slik at det skapes bedre arbeidsmiljø og arbeidsforhold i tunnelene, samt et bedre fysisk miljø for sikringsmidler og installasjoner.
- Sprengning tunnelene på en slik måte at konturen blir jevn og med minst mulig skade på gjenstående berg ved nøyaktig boring og bruk av bedre tilpasset kontursprengning.
- Benytte mer bestandige sikringsmidler, inklusive bruk av full utstøping for middels/høy- og høytrafikkerte tunneler.
- Minske tidspresset for entreprenøren i forbindelse med tunnelbyggingen og fremheve/belønne kvalitet.
- Økt bemanning i anleggsperioden for oppfølging, kontroll og dokumentasjon.

Når det gjelder forinjisering, er dette spesielt viktig for lav- og middeltrafikkerte tunneler som ikke skal ha gjennomgående utstøping.

I forhold til det siste punktet ovenfor, har det vist seg at kvalifisert geologisk bemanning er en knapphetsressurs. Dersom ikke tilstrekkelig kompetanse lar seg fremskaffe anses det ikke forsvarlig/riktig å bygge den aktuelle tunnel.

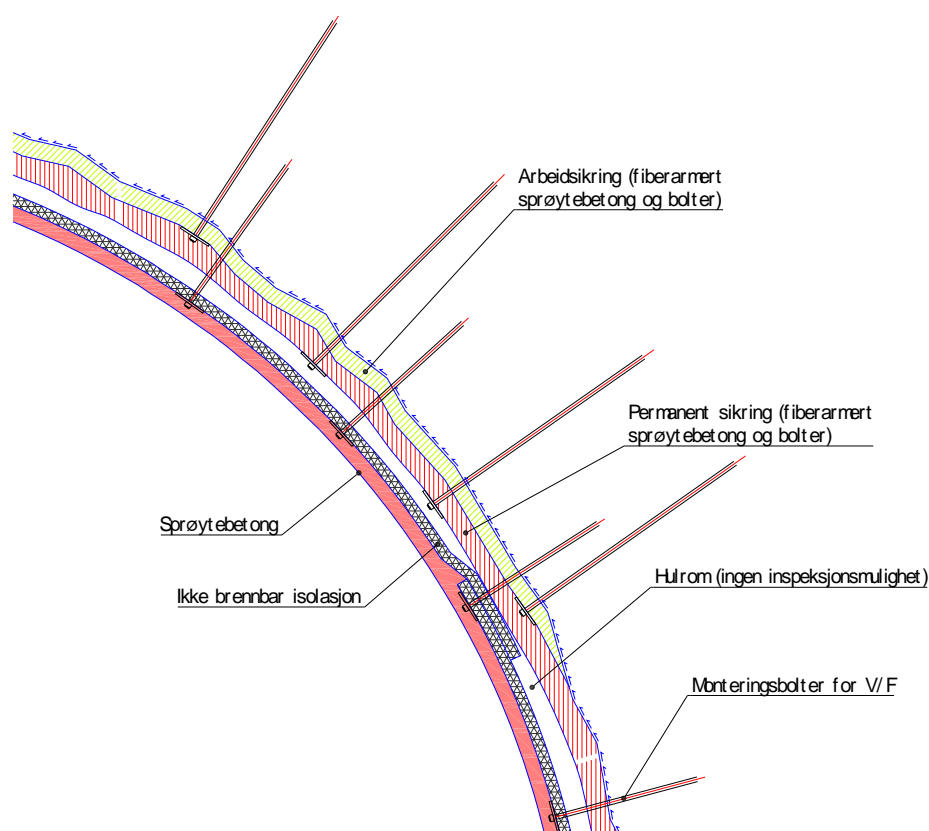
2.3 Tiltak for lavtrafikkerte tunneler

For lavtrafikkerte tunneler (ÅDT 0-2000) (NB! merk at alle ÅDT-inndelingene er angitt av oppdragsgiver) legges det til grunn tunneler med tverrsnitt T9,5. Eventuelt skal det kunne benyttes tverrsnitt T5,5 for ÅDT 0-300.

100 års levetid oppnås ved bruk av tradisjonelle bergsikringskonstruksjoner. Nødvendige tiltak for å oppnå dette er som nevnt forinjeksjon, nøyaktig og forsiktig kontursprengning samt bruk av tilstrekkelige sikringsmidler med høy kvalitet.

Forinjeksjon tilsvarende en tetting ned mot en samlet gjennomsnittlig lekkasje på 10-20 l/min. pr 100 m tunnel anses nødvendig for å kunne klare kravet om 100 års levetid for bergsikringskonstruksjonen. Likeledes er det nødvendig å få til et godt samvirke mellom bolter og sprøytebetong. Dette oppnås best ved at permanente bolter blir montert og gyst etter at sprøytebetongen er utført.

Figur 1 viser en løsning for nye lavtrafikkerte vegtunneler med bruk av sprøytebetongsikret hvelv. Figuren viser også at det er minimalt med hulrom bak hvelvet.



Figur 1: Aktuelt konsept for stabilitetssikring og V/F-løsning i lavtrafikkerte tunneler.

Lavtrafikkerte tunneler skal ha vann- og frostsikringsløsninger som har minst 50 års levetid og som er utført med ikke brennbare materialer. Per i dag er det ikke utviklet noe slikt alternativ. Vurdering av ulike kledninger pågår i eget delprosjekt.

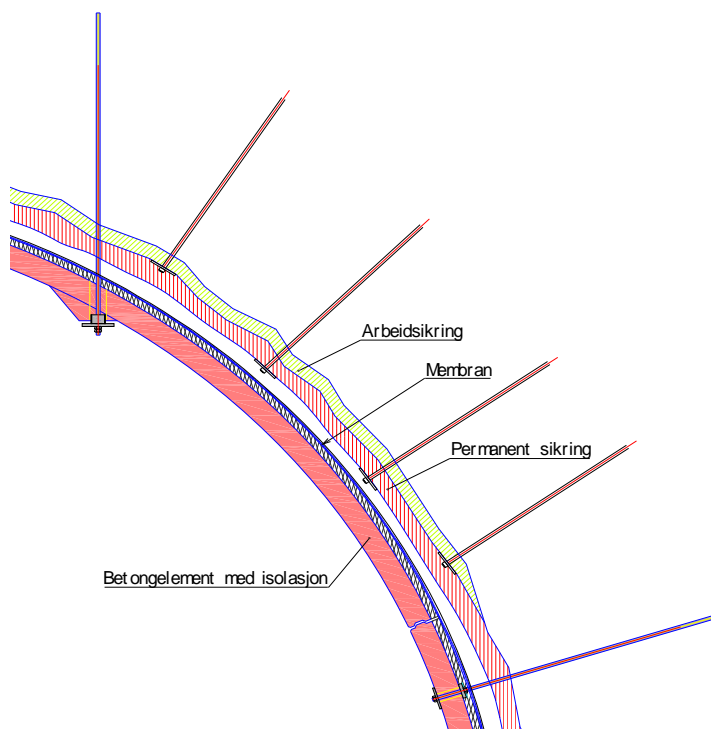
Ettersom bergsikringen er dimensjonert for 100 års levetid, vil det ikke være behov for å benytte personell til å inspisere bergsikringen bak V/F-hvelvet. V/F-hvelvet kan derfor plasseres tettere inn mot berget og en sparer utsprengt volum. Siden V/F-hvelvet antagelig vil måtte skiftes ut eller fornyes etter ca. 50 år, vil det da være mulighet for inspeksjon og eventuelt vedlikehold av bergsikringskonstruksjonene etter denne perioden i de tunnelene dette gjelder.

2.4 Tiltak for middelstrafikkerte tunneler

For middelstrafikkerte tunneler (ÅDT 2000-8000) legges det til grunn tunneler med tverrsnitt T10,5. Dette er for øvrig det tverrsnittet som gjelder i dag i klasse C.

100 års levetid skal oppnås ved bruk av tradisjonelle bergsikringskonstruksjoner. Nødvendige tiltak for å oppnå 100 års levetid ved bruk av tradisjonelle bergsikringskonstruksjoner er tilsvarende som nevnt for lavtrafikkerte tunneler, med hovedfokus på økt injeksjon, forsiktig og nøyaktig kontursprengning og kvalitet ved utførelsen av bergsikringen.

Tunnelene skal ha vann- og frostsikringsløsninger som har minst 50 års levetid og som er utført med ikke brennbare materialer. Figur 2 viser en løsning for vegtunneler med bruk av hvelv av betongelementer og der disse er isolert med ikke brennbare materialer, type foamglass eller lignende.



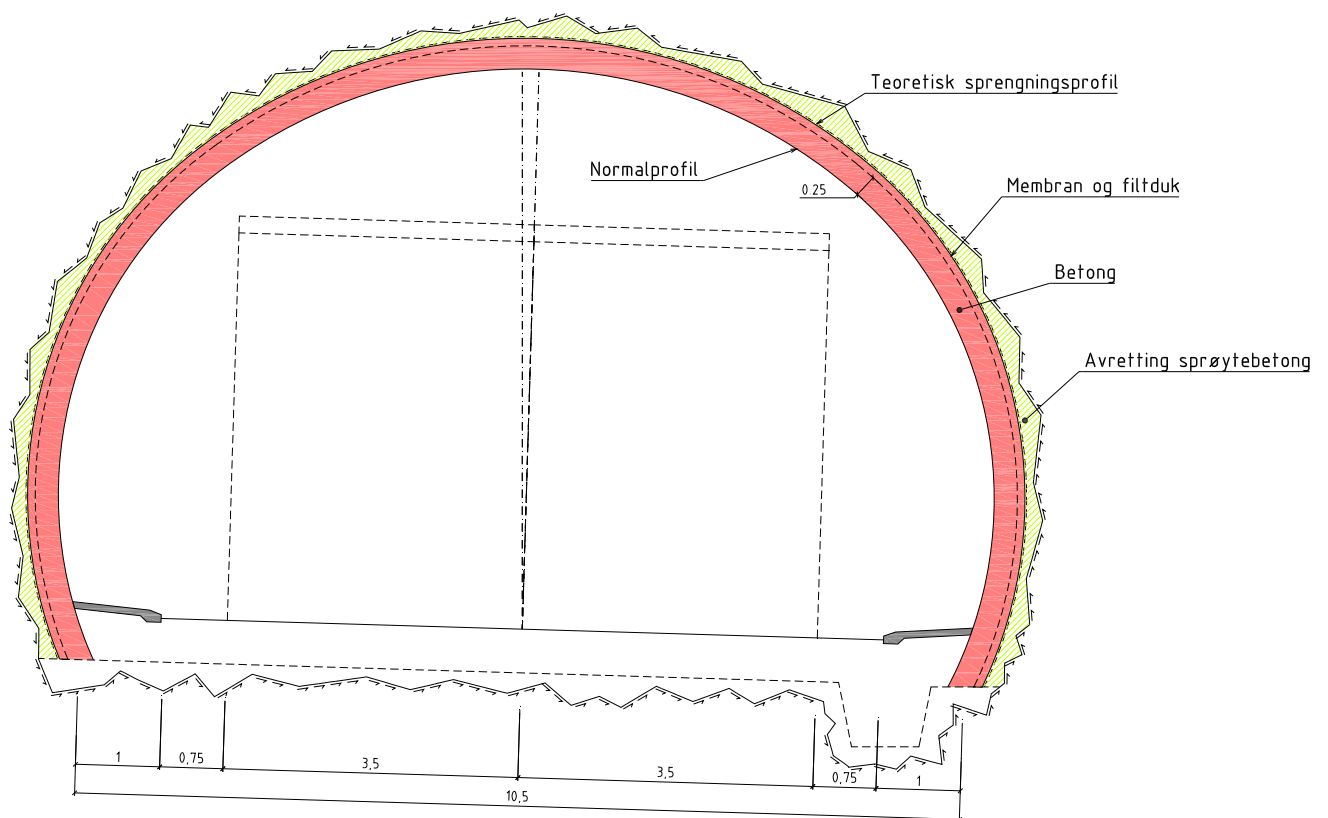
Figur 2: Aktuellet konsept for stabilitetssikring og V/F-løsning i middelstrafikkerte tunneler.

Som et alternativ, er det også vurdert utstøpingsløsning for middelstrafikkerte tunneler, jfr. kap. 4. Det viser seg at gjennomgående utstøping er kostnadmessig gunstig i forhold til V/F-hvelv, forutsatt at gjennomgående utstøping blir en standard metode også i Norge.

2.5 Tiltak for middels/høytrafikkerte tunneler

For middels-/høytrafikkerte tunneler (ÅDT 8000-15000) legges det til grunn tunneler med tverrsnitt T10,5. Tunnelvertsnittet er foreslått økt fra dagens T9,5 til et T10,5 profil som gir økt bredde på skulderen i toløpstunneler eller plass til midtdeler i ettløpstunneler. Ettløpstunneler over en viss lengde, er av sikkerhetshensyn foreslått å ha et parallelt nødløp (T5,5).

Økt tunnelvertsnitt gir økt sikkerhet og bedre siktforhold. I tillegg vil en oppnå økt fleksibilitet ved å kunne variere linjeføringen mellom tunnel og kjørebane i toløpstunnelene. Tunnelvertsnittet er vist i figur 3. Ved mer bruk av dette tverrsnittet vil en få et enhetlig profil for mange tunnelklasser.

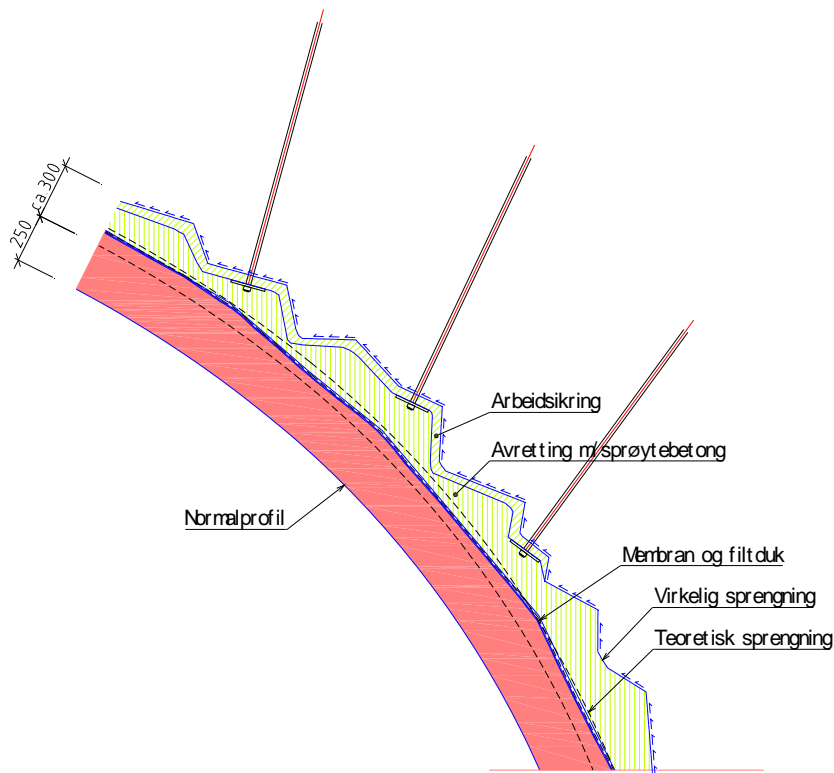


Figur 3: Aktuelt tverrsnitt for middels-/høytrafikkerte tunneler.

For middels-/høytrafikkerte tunneler skal 100 års levetid oppnås ved at tunnelene støpes ut samt at det benyttes en tettende membran. Det er ved denne løsningen ikke aktuelt med inspeksjon bak vann- og frostsikringen.

Der det ikke er krav til tetting av berget pga ytre miljø, kan en i prinsippet utelate forinjeksjon i disse tunnelene. Bakgrunnen er at betongutstøpingen alene har kapasitet til å utgjøre den permanente sikringen og at vannet er avskjermet mot trafikrommet med en membran. Forinjeksjon tilsvarende en tetting ned mot en samlet gjennomsnittlig lekkasje på ca. 20 l/min. pr 100 m tunnel anses likevel nødvendig/hensiktsmessig for å kunne utføre stabilitetssikringen med nødvendig kvalitet.

Flere ulike konsepter for gjennomgående betongutstøping er vurdert. Den mest aktuelle løsningen er vist i figur 4 nedenfor.



Figur 4: Aktuelt konsept for gjennomgående betongutstøping i middels-/høytrafikkerte og høytrafikkerte tunneler.

Den viste løsningen er en uarmert betongstøp mot trafikkrommet med minimum 25 cm tykkelse. For å få plass til utstøping, membran og sprøytebetongsikring må teoretisk sprengningsprofil ligge ca. 35 cm utenfor nettoprofilet. Løsningen medfører at det etter bergsikringen utføres en avretting av tunnelkonturen med sprøytebetong uten fiber. Hensikten med avrettingen er å danne en god og jevn overflate for montering av den tettende membranen over en filtduk eller lignende. Utenpå membranen utføres så den uarmerte betongstøpen. Betongstøpens funksjon er både å holde membranen på plass samtidig som den også utgjør en vesentlig del av den permanente sikringen. Betongen er tilsatt PP-fiber for økt brannbestandighet.

Figur 4 viser et typisk snitt på det trangeste i en sprengt tunnel. I dette snittet vil utstøpingen sannsynligvis bli ca. 30-40 cm. I tillegg er det ca. 10-20 cm avrettingsbetong. Samlet betongmengde ut over bergsikringen blir således ca. 40-60 cm. For et snitt der tunnelen er på det bredeste (i sprengningshakkene) vil mengden av avrettingsbetong være større, samtidig som også utstøpingen vil være mektigere; antatt ca. 40-50 cm. Avrettingsbetongen vil typisk her være 20-30 cm tykk og samlet tykkelse sprøytebetong og konstruksjonsbetong vil være 60-80 cm ut over bergsikringen.

Kostnadmessig og fremdriftsmessig er det gunstig å utføre en uarmert støp. Løsningen er rimelig, rask å utføre og har en lavere risiko for at membranen utsettes for skader ved installasjon sammenlignet med en armert løsning.

I konseptet med gjennomgående utstøping med membran er det lagt til grunn at det ikke er behov for frostisolasjon. En forutsetning for å lykkes mot eventuell frostsprengning er å sikre en fullgod utstøping i hengen. Videre må det tilrettelegges for løsninger for montasje av teknisk utstyr som eliminerer risikoen for å punktere membranen.

Løsningen med betongutstøping og membran benyttes i dag i vegtunneler i mange land i Europa og erfaringene er gode.

2.6 Tiltak for høytrafikkerte tunneler

For høytrafikkerte tunneler ($\text{ÅDT} > 15000$) skal det legges til grunn to tunneler med tverrsnitt T10,5. For svært høy trafikk ($\text{ÅDT} > 40000$), skal det vurderes 3 felt og tunneltverrsnitt T13.

Høytrafikkerte tunneler er som regel en del av viktige samferdselsåreer i byer og tettbebygde strøk og er følgelig sårbare for eventuelle langvarige stengninger pga. vedlikehold eller rehabiliteringer. Slike tunneler skal i fremtiden ha tekniske løsninger for vann- og frostsikringen som er integrert i bergsikringskonstruksjonene. I praksis betyr dette gjennomgående betongutstøping med membran eller tilsvarende varige løsninger som beskrevet i ovenstående kapittel. Den mest aktuelle utstøplingsløsningen er også her som vist i figur 4.

De høytrafikkerte tunnelene ligger for øvrig ofte i tettbebygde strøk der det av hensyn til omgivelsene ofte er krav om omfattende forinjeksjon i tunnelene.

2.7 Tiltak for undersjøiske tunneler

Miljøet i undersjøiske tunneler er meget aggressivt siden lekkasjevannet er saltvann. Disse tunnelene må derfor bygges med spesielt god kvalitet for å kunne ha en teknisk levetid på 100 år. For å kunne oppnå en teknisk levetid på 100 år i et slikt aggressivt miljø vil det være spesielt viktig å få kontroll med vannet samt benytte materialer med lang levetid.

Det må derfor tilstrebes sterkt reduserte vannlekkasjer bl.a. for at sikringsmidlene kan utføres med nødvendig kvalitet. En systematisk injeksjon, med mål om å komme ned mot en samlet gjennomsnittlig lekkasje på ca. 5 l/min. pr 100 m tunnel for å unngå sildrende vann, er nødvendig i tunneler som ikke skal støpes ut. Lav innlekkasje bidrar dessuten til lavere drifts- og pumpekostnader og mindre belastning på drens-systemet i tunnelen.

På grunn av det aggressive miljøet vil det videre være behov for å øke kvaliteten på installasjonene i tunnelen, eksempelvis at det på enkelte strekninger bør benyttes syrefaste festebolter, etc.

For middeltrafikkerte undersjøiske tunneler, bør det vurderes å benytte gjennomgående utstøping med membran for den delen av tunnelen som er eksponert for sjøvann. Det viser seg at utstøping kan være tids- og kostnadmessig gunstig i forhold til alternativet med omfattende injeksjon og bruk av V/F-hvelv, spesielt med tanke på at levetiden for utstøping med membran er vesentlig lengre.

2.8 Alternative tunneltverrsnitt

Det er i arbeidet med nye tunneler også vurdert alternative utforminger av tunneltverrsnittene. Ett av alternativene var å vurdere om et T10,5 profil kunne ha gjennomgående nødfelt som erstatning for dagens beskrevne havarinisjer. Ett av tverrsnittsalternativene i denne sammenheng hadde rette vegger der også fortauene var utnyttet til areal for kjørebane/nødfelt. Alternativet ble imidlertid vurdert som for trangt med hensyn til plass til skilt og siktkrav. Dersom en skal ha tilstrekkelig plass til et gjennomgående nødfelt i stedet for havarinisjer, er det antagelig behov for et T12-tverrsnitt. Det ble konkludert med at tverrsnittet ble uforholdsmessig kostbart i forhold til den positive effekten av å sløyfe havarinisjene.

Et interessant alternativ er hvorvidt det foreslåtte T10,5-tverrsnittet for enveistrafikk kan utføres uten behov for havarinisjer. Ved et eventuelt havari vil da gjeldende kjørefelt stenges umiddelbart via ITV-overvåkingen. En slik løsning benyttes normalt i Sveits.

3 ENDRINGER VED BYGGING AV NYE VEGTUNNELER

3.1 Planleggig, prosjektering og oppfølging

Viktig for å oppnå 100 års levetid er å utføre nødvendige grunnundersøkelser slik at en har riktig prosjekteringsforutsetninger. Undersøkelser og vurdering av grunnvannet og bergartene for fastsettelse av krav til tetting samt omfang av stabilitetssikring er avgjørende. Likeledes bør det utføres flere undersøkelser i forbindelse med tunneldrivingen.

For å sikre kvalitet og oppnå økt levetid på nye vegtunneler, er det påkrevet å utvikle noen av utførelsesmetodene i norsk tunnelpraksis videre. Her kan eksempelvis en utvidet bruk av ekvivalenttidsregnskap være aktuelt. Generelt bør anbuds-/kontraktsdokumentene gjennomgås grundig slik at disse blir balanserte risikomessig og hvor det innføres riktige insitamentordninger som fremmer god kvalitet. Det er viktig at en får kommunisert budskapet om at byggherre er villig til betale for den økte kvaliteten en oppnår, samtidig som entreprenøren skal ha ansvar for den risikoen han selv kan påvirke.

Byggherrens medvirkning og kompetente oppfølging under bygging er avgjørende for å oppnå ønsket resultat. Likeledes er det viktig at entreprenøren har personell med høy kompetanse på områder som er viktig for kvaliteten på det ferdige produktet. Ytterligere er det viktig at rådgiveren følger prosjektet gjennom flere av prosjektets faser for å sikre kontinuitet, kvalitet og for å erverve erfaringer.

3.2 Forinjeksjon

Tilstedeværelse av vann er den faktoren som har størst påvirkning på levetiden for sikringsmidler, konstruksjoner og installasjoner i tunnelen. Vannkvaliteten, dvs. pH samt innholdet av ulike stoffer i vannet, vil også avgjøre hvordan påvirkningen på de ulike elementene i tunnelen blir. Lite lekkasjevann har positiv effekt på tunnelmiljøet generelt sett ved at alt teknisk utstyr varer lengre i en tørrere tunnel. Forinjeksjon er også gunstig fordi dette normalt øker kvaliteten på bergmassene, jfr. Miljø- og samfunnstjenelige tunneler - intern rapport nr. 2323 fra 2002 [5].

Tetting ved bruk av systematisk forinjeksjon er således et viktig og nødvendig virkemiddel for å kunne oppnå 100-års levetid for nye vegtunneler og dette foreslås som et tiltak i de aller fleste tunneler. Behovet for og omfanget av injeksjon er imidlertid vanskelig å vurdere eksakt. Omfanget av forinjeksjonen vil bl.a. variere avhengig av hvordan vannet opptre i berget. Der forholdene tillater det, kan det for noen tunneler være aktuelt kun å utføre sonderboring og behovsprøvd forinjeksjon. Bortledning av vann kan også være et tiltak der det eventuelt er svært få vannlekkasjer. Hovedpoenget er å ha kontroll med vannlekkasjene.

Det foreslås at det for nye vegtunneler med lav og middels trafikk utføres forinjeksjon som minst tilfredsstillende et tetthetskrav på 10 l/min pr. 100 m tunnel, siden dette normalt er grensen mellom drypplekkasjer og sildrende vann. For middels/høy- og høytrafikkerte tunneler er behovet mindre (20 l/min pr. 100 m tunnel) siden disse skal ha gjennomgående utstøping med membran. For de undersjøiske tunnelene vil det være behov for strengere krav til tetthet (ca. 5 l/min) siden vannet er aggressivt. Tettingen vil her ha dobbel effekt; både i form av et bedre miljø i tunnelen, men også som bidrag til å redusere utgiftene til utpumping av lekkasjevannet.

Systematisk forinjeksjon er godt innarbeidet i norsk tunnelpraksis og arbeidet utføres i dag effektivt og som oftest med oppnådd resultat som planlagt. Dette gir et godt grunnlag for å vurdere den ekstra tid og kostnad som økt injeksjonsomfang vil medføre i nye tunneler.

Dagens "state of the art" innen berginjeksjon mht. injeksjonsprosedyrer, utstyr, materialer, oppgjørsform etc. gir også et godt grunnlag for å lykkes, jfr. bl.a. ny revisjon av NFF's håndbok for berginjeksjon [6].

3.3 Kontursprengning

Dagens tunnelsprengning beskrives som oftest med få prosesser og utførelsen knyttet til sprengningsprosessen er i stor grad overlatt til entreprenøren uten kontroll fra byggherren mht. kontursprengningen. Dagens sprengningspraksis tilsier at det normalt sprenges med betydelig overbelastning på endelig kontur, spesielt i overgangen mellom salvene.

Forsiktig kontursprengning med nøyaktig boring etter gode og tilpassede boreplaner samt riktig sprengstoffbruk mot og nær konturen, er imidlertid viktig for kvaliteten av gjenstående berg og dermed sikringsomfanget. Der det skal utføres betongutstøping med membran, er det spesielt viktig at det utføres nøyaktig boring og forsiktig sprengning i konturen.

Tiltakene for nye veggutunneler vil derfor være å utføre tunnelsprengningen slik at berget ikke svekkes mer enn nødvendig, ved å:

- Utarbeide en bedre teknisk beskrivelse for kontursprengningen og utføre all tunnelsprengning med tilpasset kontursprengning.
- Stille strengere krav til nøyaktig boring samt strengere krav til jevn kontur.
- Stille strenge krav om tilpasset ladning og eventuell bruk av patronert sprengstoff i konturen.
- Vurdere å redusere den normale salvelengden fra dagens ca. 5 m.

Kontursprengningen må i nye tunneler tilpasses bergforholdene langs tunnelen og ikke nødvendigvis være lik gjennom hele tunnelen. For å kunne beskrive sprengningsforholdene godt, er det nødvendig med mer omfattende og spesifikke undersøkelser av berggrunnen i prosjekteringsfasen. Som hovedregel skal grøften tas sammen med salvesprengningen for ikke å ødelegge injeksjonsskjerm og kontur. Det bør også vurderes incentivordninger knyttet til kontursprengningen.

Økte krav til kontursprengning krever større bevissthet og opplæring rundt temaet. Et eget delprosjekt i forskningsprosjektet er knyttet til forbedringer når det gjelder kontursprengning. Foreløpige beskrivelser fra noen utførte forsøk med forsiktig kontursprengning, viser lovende resultater.

3.4 Stabilitetssikring

3.4.1 Utførelsen av stabilitetssikringen

For å kunne oppnå 100-års levetid på bergsikringskonstruksjonen, i lav- og middeltrafikkerte tunneler, må det gjennomføres noen endringer i forhold til dagens norske tunnelpraksis. Én vesentlig endring er som allerede nevnt; økt bruk av forinjeksjon. Et annet forhold som også er nevnt, er økt kvalitet på kontursprengningen. Det er også behov for å utføre stabilitetssikringen med god/optimal kvalitet. Ytterligere er det viktig at bolter og sprøytebetong samvirker.

Arbeidssikringen bestemmes som før etter hver salve av entreprenøren og kvaliteten på arbeidssikringen skal være så god som mulig. Før arbeidssikringen utføres, er det en forutsetning at berget kartlegges meget godt og at dette dokumenteres ved hjelp av bilder, skisser, mv. Etablert praksis med "byggherrens halvtime" er et positivt tiltak og bør etterleves og utvikles videre. Forslag til permanent sikring beskrives samtidig med kartleggingen på stuff mens man har best oversikt.

Et konsept som er vurdert ifbm. strategiarbeidet, er å utføre den permanente bergsikringen etter gjennomslag i tunnelen på dagtid og kveldstid.

Konseptet vil kunne ha følgende fordeler:

- Byggherren får bedre tid til å vurdere sikringsomfanget og dimensjonere sikringen. Det er også bedre tid til å ta prøver, foreta heftmålinger, etc. Byggherren kan også i større grad benytte mer erfarent og kvalifisert personell ved bestemmelse av permanent sikring.
- Sprøytebetong kan utføres under mer kontrollerte forhold, noe som sikrer bedre herdebetingelser og ingen fare for at rystelser påvirker sprøytebetongen og bolter negativt.
- Byggherren vil få bedre kontroll av utførelsen av permanent sikring og kan sikre samvirke mellom bolter og sprøytebetong.

Konseptet kan også ha noen ulemper dersom enkelte forhold ikke blir tilstrekkelig ivaretatt:

- Det kan oppstå diskusjon om nivået på arbeidssikringen ettersom byggherren vil ønske å ha lite sikring i veggene for bedre mulighet til å se mer av berget i bak stuff situasjonen.
- Dyktige fagarbeidere fra stufflagene er demobilisert før permanent sikring utføres.

Konseptet krever en endring/justering av dagens tunnelpraksis dersom dette skal implementeres.

3.4.2 Bolter

Som permanent sikring i vegtunneler benyttes i dag både endeforankrede bolter og fullt innstøpte bolter. Det som i første rekke påvirker bolters bestandighet er lav pH, tilgang på oksygen og tilgang på vann. Dette bekreftes bl.a. i en svensk undersøkelse (rapport fra SveBeFo) [7]. En konklusjon i rapporten er også at risikoen for korrosjon av boltestål minimeres om forinjeksjon utføres slik at borehullene er tørre ved monteringen av bolter. Tetting av tunnelen anses derfor for å være det viktigste bidraget, utenom innstøpingen, for å sikre maksimal levetid.

Et system med fullt innstøpte bergbolter er i seg selv et kjemisk robust system. Det er det alkaliske miljøet med høy pH-verdi som gir systemet de fordelaktige egenskapene. Forutsetningen er at boltene er fullstendig innstøpt samt at man ved monteringen anvender en gysemasse med lavt vann/sementtall.

For best mulig sikring mot korrosjon av bolter, må det i fremtiden kun være tillatt med fullt innstøpte bolter og at boltene settes i tørre boltehull. Unntaket er ved høy bergspenning hvor en må benytte endeforankrede bolter. Boltene i forbindelse med den permanente sikringen utføres dessuten med dobbel korrosjonsbeskyttelse.

Basert på den svenske undersøkelsen [7] ser det ut som om en levetid på 100 år og langt over dette kan sannsynliggjøres med tiltakene nevnt over. 100 års levetid for bolter har dessuten i mange år vært akseptert som en standard i flere land og benyttet i mange store prosjekter i utlandet, basert på filosofien om minimalisering av faktorer som innvirker negativt på korrosjonsprosessen. Ved normale forhold bør man også i Norge kunne implementere tilsvarende filosofi.

I spesielle tilfeller, med meget aggressivt grunnvann, må bolters levetid vurderes spesielt, i alle fall inntil det er foretatt flere tester eller det er innhentet erfaringer fra anlegg med tilsvarende forhold.

Det er igangsatt et eget delprosjekt som skal teste og underbygge levetid for de ulike botetyper i representative norske tunneler.

3.4.3 Sprøytebetong

I de fleste tilfeller vil sprøytebetong og betong ha svært lang levetid. Lekkasje vil imidlertid generelt redusere levetiden og da særlig i undersjøiske tunneler og i forbindelse med svovelholdige bergarter som alunskifer. Sprøytebetongens ru overflate medfører økt fuktopptak og samler opp støv og salter fra trafikk og lekkasjer.

I ferskvannsmiljø uten aggressive salter med en økt sprøytebetongtykkelse, minimum ca 8 – 10 cm og en betongkvalitet i henhold til regelverket, antas egenskapene til dagens sprøytebetong å være tilstrekkelige for en levetid på 100 år. Innenfor begrepet 100 års levetid må det kunne tillates svikt i et visst omfang som lokal nedbrytning/nedfall som krever utbedring. Forbedrede rutiner i forbindelse med utførelsen og etterbehandlingen ansees å kunne forbedre holdbarheten betydelig.

Når det gjelder undersjøiske tunneler og tunneler i aggressive bergarter foreligger det dokumentasjon på alvorlig, lokal, men ikke generell nedbrytning. Erfaringene pr. i dag tyder ikke på at sprøytebetong under aggressive forhold med lekkasjevann som sjøvann eller tilsvarende, har tilstrekkelig bestandighet for 100 år. Under ”tørre” forhold uten rennende vann er det mulig at sprøytebetong kan oppnå en levetid på 100 år.

Sammensetningen av betong kan forbedres for å øke sprøytebetongs bestandighet under aggressive forhold. Ved bruk av pozzolane tilsetningsmaterialer, tilsetningsstoffer og selektiv bruk av fiber, kan viktige betongparametere forbedres og gi økt motstand mot opprissing.

Forbedrede utførelsesrutiner og vanning (er egentlig et krav pr. i dag) under herdingen for å redusere opprissing må innskjerpes for å oppfylle kravet til økt levetid. Tilstrekkelige herdetiltak, som ikke er gjennomført pr. i dag, er antagelig en forutsetning for å oppnå lang levetid.

For å redusere fuktopptaket i betong og lette renholdet av sprøytebetonghvelv, vil påsprøyting av en egnet mørtel som et ytre sjikt være egnet. Påsprøyting av en høyverdig polymermodifisert sprøytemørtel for å skape en glattere og vannavvisende yttersjikt vil medføre et lettere renhold og øke bestandigheten. Slike mørtler kan også bidra til en forbedret vanntetthet.

3.4.4 Sprøytebetongbuer/gitterbuer

Sprøytebetongbuer og gitterbuer er etter hvert blitt velkjente og mye benyttet konstruksjonselementer i norske tunneler. Utførelse, virkemåte og dimensjonering av sprøytebetongbuer er grundig og godt beskrevet i [2] i kapittel 6-8.

Slik betongbuene utføres i dag, vil de kunne inngå i konstruksjoner med levetid opp mot 100 år, forutsatt at betongkvalitet, armeringskvalitet og boltekkvalitet gjøres i henhold til de anbefalinger som omtales i rapporten eller som videreutvikles som et resultat av disse.

Metoden er aktuell i de dårligste bergmasseklassene og skal benyttes både i lavtrafikkerte, middeltrafikkerte og høytrafikkerte tunneler. I høytrafikkerte tunneler vil det likevel i tillegg bli utført gjennomgående full utstøping for å ivareta vannsikringen.

3.5 Full utstøping med membran

Full utstøping (gjennomgående betongutstøping i heng og vegger) med membran gir 100 års levetid og mer dersom norsk standards krav til prosjektering og utførelse med 100 års levetid legges til grunn i pålitelighetsklasse 3. Vi har i våre vurderinger lagt til grunn NS 3490; 1999 definisjon av brukstid. Den minste dimensjonerende brukstid skal være 100 år som gjelder for monumentale bygningskonstruksjoner, buer og andre anleggskonstruksjoner, jfr. Tabell 2.

Den mest aktuelle løsningen er å utføre utstøpingen som en uarmert uisolert betongkonstruksjon (tilsatt PP-fiber) med membran og filtduk eller lignende som vist i figur 4. Denne løsningen vil i samvirke med øvrig bergsikring kunne redusere omfanget av øvrige sikringsmidler og også erstatte tradisjonelle vann- og frostsikringsløsninger. Løsningen vil ha en vesentlig økt sikkerhet for brann ift dagens V/F-løsninger. Konseptet gir en robust bergsikringskonstruksjon med sannsynlig levetid på mer enn 100 år, og begrenset behov for drift og vedlikehold i levetiden. Det anbefales utført en ekstra impregnering/coating i vaskesonen de nederste ca 1,2 m. Konstruksjonen utføres etter gjennomslag i tunnelen.

Med tanke på denne løsningens evne til å takle vann- og frostproblematikken, er dette ikke opplevd som noe problem verken i Norge eller i utlandet. Årsaken er trolig at frostfronten raskt går forbi den tynne vannførende spalten bak membranen og fortsetter innover i berget. Vannet som eventuelt fryser i spalten har begrenset mulighet til å belaste utstøpingen. Det er viktig å påpeke at en må oppnå god kontaktstøp mot berget, spesielt i hengen. Løsninger for dette er godt utviklet og utprøvd i utlandet.

En slik løsning med membran benyttes for de fleste nye tunneler i Sveits, uavhengig av trafikkgrunnlag og frostmengder. Dimensjonerende levetid er mer enn 100 år.

3.6 Samlet vurdering

Hver for seg vil de viktigste sikringsmidlene; bolter, sprøytebetong, sprøytebetongbuer/gitterbuer og betongutstøpinger kunne utformes med 100 års teknisk levetid gitt at de utføres med tilstrekkelig kvalitet. Flere faktorer må imidlertid tilfredsstilles for å kunne konkludere med at det er mulig å utforme en bergsikring som holder i 100 år uten inspeksjon og uten nevneverdig vedlikehold. Dette vil være:

- At berget tettes slik at det er kontroll med vannet.
- At kartlegging og tolking av geologi / langtidsstabilitet under driving er riktig.
- At riktig omfang og metoder for stabilitets sikringen velges.
- At samvirket mellom riktig valgte sikringsmidler utføres riktig.
- At sikringen er riktig dimensjonert og utføres i samsvar med beskrivelsen.

Det vurderes i denne sammenhengen at sikringsmengdene som angitt i Håndbok 021, er tilstrekkelig forutsatt at det er kontroll med vannet i berget.

4 KONSEKVENSER FOR BYGGING

4.1 Generelt

Forslagene til endringer ved bygging av nye vegtunneler som beskrevet i rapporten, vil ha konsekvenser. For lav- og middeltrafikkerte tunneler vil en måtte bruke mer tid på injeksjon enn tilfellet er i dag. For middels/høy- og høytrafikkerte tunneler som skal støpes ut, må entreprenørmarkedet i Norge skaffe seg utstyr og lære seg metoder for effektiv utførelse av dette.

Tunnelbyggingen vil måtte styres og følges opp av byggherren i ennå større grad enn tidligere. Det er således viktig at det i fremtiden sørges for at det er tilstrekkelig bemanning ved norske tunnelanlegg.

For at ønsket kvalitet og levetid skal kunne oppnås, må det også settes realistiske og oppnåelige tidsfrister i kontraktene. En måte å regulere dette på er å bygge opp og følge et komplett ekvivalenttidsregnskap med sannsynlige mengder og realistiske kapasiteter for alle vesentlige arbeidsoperasjoner i tunnelen.

Konsekvensen av de foreslåtte tiltakene er uansett økt tidsforbruk og økte investeringskostnader ved byggingen, mens kostnader til drift og vedlikehold samt rehabilitering vil bli redusert.

Å endre dagens tunnelpraksis er dessuten en prosess som ikke kan skje over natten. En prøveordning for utvalgte tunnelprosjekter kan være en tilnærming for å høste erfaring før full omlegging til nye konsepter.

4.2 Konsekvenser for økonomi og fremdrift

Som basis for vurderingene i rapporten gjelder dagens håndbøker, rundskriv, mv. for bygging av vegtunneler. Spesielt nevnes den oppdatering som har skjedd for Håndbok 021 i mars 2010.

Å øke omfanget av tetteltakene, øke kvaliteten på sprengningen, øke kvalitet/kontroll av sikringsmidlene, øke brannbestandigheten, øke omfang på utstøping mv. medfører økt byggetid og byggekostnad. Dette gjelder generelt for samtlige typer tunneler.

Det er nedenfor utført beregninger for å kvantifisere tids- og kostnadsøkningen ved å implementere de endringene som er beskrevet i rapporten. Det er benyttet normaliserte gjennomsnittlige løpemeterkostnader i 2010-kroner. Det presiseres at kostnadene vil kunne variere mye, eksempelvis kan nødvendig tetthet oppnås nesten helt uten injeksjon dersom forholdene er gunstige. Som et uttrykk for nødvendig økt kontroll og oppfølging for å oppnå den ønskede kvalitetshevingen er det for dagens tunneler benyttet 20 % påslag for rigg og drift, mens dette er økt til 25 % for nye vegtunneler

4.2.1 Lavtrafikkerte tunneler

Det er gjort kostnadsberegninger for en ”standard” lavtrafikkert tunnel etter dagens krav i tunnelklasse A (ÅDT 0-300). Tilsvarende er det gjort beregninger av en tunnel basert på ny løsning, jfr. tabell 1.

Tabell 1: Kostnader pr m tunnel for lavtrafikkerte tunneler (eksempelvis T5,5 i tunnelklasse A).

Beskrivelse	Kostnader dagens tunneler	Kostnader nye tunneler	Merknader
Rigg- og drift	8.700	9.200	Økt kontroll og oppfølging
Injeksjon	0	4.000	Injeksjon tilsvarende ca 20 l/min/100 m
Sprengning/utlasting	13.300	13.300	Redusert profil men bedre konturkvalitet
Stabilitetssikring	7.500	7.500	Økt kvalitet
V/F-sikring	17.000	17.000	Brannsikker V/F-løsning
VA/vei etc	4.000	4.000	
Elektroinstallasjoner	4.000	4.000	
Sum (kr/m tunnel)	54.500	59.000	8 % økning

For lavtrafikkerte tunneler, med ÅDT 0-2000, bygges disse med tunnelprofil T 9,5. Det vil kunne vurderes fravik med tverrsnitt T5,5 ved ÅDT: 0-300. For ny tunnelklasse for lav trafikk er det gjort følgende kostnadsvurderinger i tabell 2 (økning i tunnelprofil er vist separat):

Tabell 2: Kostnader pr m tunnel for lavtrafikkerte tunneler (eksempelvis T8,5 økt til T9,5, ÅDT 0-2000).

Beskrivelse	Kostnader dagens tunneler	Kostnader nytt profil T9,5	Kostnader nye tunneler	Merknader
Rigg- og drift	14.200	14.900	21.600	Økt kontroll og oppfølging
Injeksjon	0	0	8.000	Injeksjon tilsvarende ca 20 l/min/100 m
Sprengning/utlasting	20.600	22.600	22.900	Økt tverrsnitt, redusert profil men bedre konturkvalitet
Stabilitetssikring	11.200	11.500	11.500	Økt kvalitet
V/F-sikring	20.000	20.500	24.100	Brannsikkert V/F-hvelv
VA/vei etc	7.200	8.000	8.000	Økt veibredde
Elektroinstallasjoner	12.000	12.000	12.000	
Sum (kr/m tunnel)	85.200	89.500	108.100	27 % totaløkning, 5% økning pga profil

For hovedandelen av lavtrafikkerte tunneler antas investeringskostnadene å øke med ca 27 % som det fremgår av tabellen. For lavtrafikkerte tunneler antas byggetiden å øke med ca 20 %, avhengig av de geologiske forholdene.

4.2.2 Middeltrafikkerte tunneler

Forslag til ny tunnelklasse for middeltrafikkerte tunneler (med ÅDT 2000-8000), bygges med tverrsnitt T10,5 med toveistrafikk og med 1 m midtfelt slik det er beskrevet for tunnelklasse C og D i dagens Håndbok 021. For å kunne oppnå 100 års levetid for denne tunnelklassen er det vurdert to hovedalternativer, det ene er å benytte økt injeksjon (tabell 3), det andre hovedalternativet er å erstatte dagens V/F-løsning med membran og utstøping (tabell 4). Det er gjort kostnadsberegninger

for en "standard" middeltrafikkert tunnel etter dagens krav og sammenstilt med beregninger av en tunnel basert på ny løsning for disse to hovedalternativer:

Tabell 3: Kostnader pr m tunnel for middeltrafikkerte tunneler (eksempelvis T10,5 i tunnelklasse C), hovedalternativ økt injeksjon.

Beskrivelse	Kostnader dagens tunneler	Kostnader nye tunneler	Merknader
Rigg- og drift	17.900	26.000	Økt kontroll og oppfølging
Injeksjon	3.000	13.000	Injeksjon tilsvarende ca 10 l/min/100 m
Sprengning/utlasting	24.300	24.700	Redusert profil men bedre konturkvalitet
Stabilitetssikring	12.100	12.100	Økt kvalitet
V/F-sikring	26.500	30.700	Betongelementer/brannsikker isolasjon
VA/vei etc	8.500	8.500	
Elektroinstallasjoner	15.000	15.000	
Sum (kr/m tunnel)	107.300	130.000	21 % økning

Tabell 4: Kostnader pr m tunnel for middeltrafikkerte tunneler (eksempelvis T10,5 i tunnelklasse C), hovedalternativ membran og utstøping.

Beskrivelse	Kostnader dagens tunneler	Kostnader nye tunneler	Merknader
Rigg- og drift	17.900	26.000	Økt kontroll og oppfølging
Injeksjon	3.000	8.000	Injeksjon tilsvarende ca 20 l/min/100 m
Sprengning/utlasting	24.300	24.700	Redusert profil men bedre konturkvalitet
Stabilitetssikring	12.100	8.100	Økt kvalitet, redusert litt pga støp
V/F-sikring	26.500	37.300	V/F erstattet med utstøping med membran
VA/vei etc	8.500	8.500	
Elektroinstallasjoner	15.000	15.000	
Sum (kr/m tunnel)	107.300	127.600	19 % økning

For middeltrafikkerte tunneler antas investeringskostnadene å øke med ca 20 %, avhengig av hvilken tunnelklasse det gjelder samt andre forhold. Størst økning vil det bli for tunneler som i dag er lite aktuelt å forinjisere. For middeltrafikkerte tunneler antas byggetiden å øke med ca 24 % ved alternativet med økt injeksjon og ca 12 % ved alternativet med membran/utstøping.

Det er for utstøpingsalternativet inkludert 4 m³ sprøytebetong til avretting og 2 m³ konstruksjonsbetong utover teoretiske 6 m³ pr meter tunnel. Det er vurdert at effekten av denne betongbuen/konstruksjonen har en positiv effekt for sikringsbehovet som er redusert med 2 stk bolt og 1 m³ sprøytebetong pr meter. Dersom en ikke hensyntar denne reduksjonen på kr. 4.000,- pr meter vil kostnadsøkningen for dette alternativet være 23 %.

4.2.3 Middels/høy- og høytrafikkerte tunneler

Det er gjort kostnadsberegninger for en "standard" høytrafikkert tunnel etter dagens krav der det ofte er noe behov for injeksjon av hensyn til det ytre miljø. Tilsvarende er det gjort beregninger for en ny tunnel med en uarmert utstøpingsløsning i henhold til figur 4. Kostnadene er vist i tabell 5. Det er for ny tunnelklasse for middels/høy trafikk (ÅDT 8000-15000) og høytrafikk (ÅDT 15000-40000) lagt til grunn et tverrsnitt T10,5. Økningen i tunnelprofilen er vist separat. For middels/høy trafikk (med ÅDT 8000-15000) vil det også åpnes for et alternativ med kun ett løp (T10,5 m/midtfelt) og eget rømningsløp med tverrsnitt T5,5 (vurdert kostnad: kr. 27.000,- pr m).

Tabell 5: Kostnader pr m tunnel for middels/høy- og høytrafikkerte tunneler (eksempelvis T9,5 i tunnelklasse E økt til T10,5 ved ÅDT 8000-15000/15000-40000).

Beskrivelse	Kostnader dagens tunneler	Kostnader nytt profil T10,5	Kostnader nye tunneler	Merknader
Rigg- og drift	19.300	20.200	27.100	Økt kontroll og oppfølging
Injeksjon	8.000	8.000	8.000	Injeksjon tilsvarende ca. 20 l/min/100 m
Sprengning/utlasting	22.600	24.300	24.800	Økt til T10,5-profil, bedre konturkvalitet
Stabilitetssikring	12.300	13.500	9.500	Redusert litt grunnet utstøping, økt grunnet profil
V/F-sikring	25.800	26.500	37.300	V/F erstattet med utstøping med membran
VA/vei etc	8.000	8.600	8.600	Økt vegbredde
Elektroinstallasjoner	20.000	20.000	20.000	
Sum (kr/m tunnel)	116.000	121.100	135.400	17 % totaløkning, 4 % økning pga profil

Det foreligger ingen erfaring, liten kapasitet, lite trent mannskap og lite tilpasset utstyr i Norge i dag for en slik utstøping i større omfang. Dersom denne metoden blir standard, vil det sannsynlig utvikles kapasitet, etc. som kan utføre dette på en effektiv og kostnadsoptimal måte. I våre beregninger har vi forutsatt at det i Norge vil være tilstrekkelig utstyr, mannskap, etc. til å utføre gjennomgående utstøping på en effektiv måte innen få år. Det er i kostnadskalkylen innhentet erfaringer og innspill fra flere hold, også fra land hvor slik utstøping er vanlig i stor skala. Ut fra dette antas investeringskostnadene for middels/høy- og høytrafikkerte tunneler å øke med ca 17 %. Dersom en ser bort fra reduksjonen i sikringen, som omtalt under middelstrafikkerte tunneler, vil kostnadsøkningen bli 20 %. For middels/høy- og høytrafikkerte tunneler antas byggetiden kun å øke med ca. 11 % siden tiden for montering av V/F-hvelv utgår.

4.2.4 Undersjøiske tunneler

I dagens konsept for bygging av undersjøiske tunneler inngår det forinjeksjon dersom det påtreffes vann. En kartlegging av dagens innlekkasjer i undersjøiske tunneler underbygger et gjennomsnitt på ca. 10 l/min/100m. Med en målsetting om 100 års levetid, er det påkrevet å komme ytterligere ned i lekkasjemengde; antatt ned mot 5 l/min pr 100 m tunnel.

Det er gjort kostnadsberegninger for en "standard" undersjøisk tunnel etter dagens krav. Tilsvarende er det gjort beregninger av en tunnel basert på ny løsning ved to ulike hovedalternativer, jfr. tabell 6 med økt injeksjon og tabell 7 med gjennomgående utstøping.

Tabell 6: Kostnader pr m tunnel for undersjøiske tunneler (eksempelvis T10,5 i tunnelklasse C), hovedalternativ økt injeksjon.

Beskrivelse	Kostnader dagens tunneler	Kostnader nye tunneler	Merknader
Rigg- og drift	21.200	29.400	Økt kontroll og oppfølging
Injeksjon	13.000	20.000	Injeksjon tilsvarende ca 5 l/min/100 m
Sprengning/utlasting	27.500	27.900	Redusert profil men bedre konturkvalitet
Stabilitetssikring	15.800	15.800	Økt kvalitet
V/F-sikring	23.100	27.300	Brannsikkert V/F-hvelv
VA/vei etc	11.400	11.400	
Elektroinstallasjoner	15.000	15.000	
Sum (kr/m tunnel)	127.000	146.800	16 % økning

Tabell 7: Kostnader pr m tunnel for undersjøiske tunneler (eksempelvis T10,5 i tunnelklasse C), hovedalternativ membran og utstøping.

Beskrivelse	Kostnader dagens tunneler	Kostnader nye tunneler	Merknader
Rigg- og drift	21.200	29.200	Økt kontroll og oppfølging
Injeksjon	13.000	13.000	Injeksjon tilsvarende ca 10 l/min/100 m
Sprengning/utlasting	27.500	27.900	Redusert profil men bedre konturkvalitet
Stabilitetssikring	15.800	11.800	Økt kvalitet, redusert litt pga støp
V/F-sikring	23.100	37.300	V/F erstattet med utstøping med membran
VA/vei etc	11.400	11.400	
Elektroinstallasjoner	15.000	15.000	
Sum (kr/m tunnel)	127.000	145.600	15 % økning

Det fremgår av beregningen over at investeringskostnaden øker med ca 15 % ved å øke levetiden til minst 100 år. Dersom en ser bort fra reduksjonen i sikring, som omtalt under middelstrafikkerte tunneler, vil kostnadsøkningen bli 18 %. For undersjøiske tunneler er økt byggetid vurdert å være ca 11 % ved alternativet med økt injeksjon og ca 5 % ved alternativet med membran og utstøping.

4.3 Konsekvenser for drift og vedlikehold

Målet med 100 års levetid eller mer for stabilitetssikringen, er at en skal være trygg på at tunnelen som byggverk skal kunne stå uten ettersyn og vedlikehold i lang tid etter at tunnelene er tatt i bruk. For lav- og middelstrafikkerte tunneler vil 100 års teknisk levetid medføre en tilnærmet vedlikeholdsfri tunnel vedrørende bergsikringskonstruksjonen, men ikke for V/F-hvelvet.

Det antas at det vil være et behov for å undersøke kvaliteten av bergsikringen etter en del 10-år. Dette kan utføres i forbindelse med nedtaking og utskifting av V/F-hvelvet når dette har nådd sin tekniske levetid, antatt etter ca. 50 år. En har da en mulighet både til en grundig inspeksjon samt å utføre tilleggssikring.

For middels/høy- og høytrafikkerte tunneler og eventuelt en andel av middelstrafikkerte tunneler vil en gjennomgående betongutstøping føre til en tilnærmet vedlikeholdsfri tunnel for bergsikringskonstruksjonen samt V/F-løsningen. Når en velger utstøping i disse tunnelene vil man unngå utskiftingen av V/F-hvelvet etter 50 år, og dette vil være den løsningen som reduserer kostnader til fremtidig drift og vedlikehold aller mest.

Konsekvensen av å bygge tunneler med minst 100 års levetid er at kostnadene til drift og vedlikehold blir mindre. Hvor økonomisk gunstig dette er for samfunnet, er avhengig av hvilke økonomiske forutsetninger som legges til grunn og hvilke andre forhold som tas med i vurderingene. Konsekvensene for samfunnet dersom en tunnel må stenges helt over lengre tid ifbm. rehabilitering, bør eksempelvis også tas i betraktning.

Vedrørende de økonomiske forutsetningene er det avgjørende hvilken avskrivningstid og realrente som benyttes. Eksempelvis vil en lav avskrivningstid og en høy realrente tilsi at det ikke er økonomisk lønnsomt å bygge varige løsninger slik det er i dag.

4.4 Konsekvenser for sikkerhet

Økning av tunnelverrsnittet fra T9,5 til T10,5 med økt bredde på skulder i toløpstunneler og plass til midtdeler i ettløpstunneler, vil generelt ha en positiv sikkerhetseffekt. For toløpstunnelene blir sikten bedre samt at tilgjengelighet/plass for bl.a. utrykningskjøretøyer eller bil med havari utenom havarinisjene blir større. For ettløpstunnelene vil midtdeler føre til klart færre ulykker ved at møteulykkene tilnærmet blir eliminert.

Bruk av brannsikker isolasjon bak V/F-hvelv vil gi en klar økning av sikkerheten ved brann i tunnel. Det forutsettes her at det kommer nye materialer på markedet som sikrer dette.

Økt bruk av utstøping vil generelt øke sikkerheten/robustheten på tunnelkonstruksjonen gjennom levetiden. Bruk av utstøping med PP-fiber vil nærmest eliminere skader på tunnelkonstruksjonen ved brann og således gi et bidrag til økt sikkerhet.

Økt berginjeksjon og generelt økt kvalitet på bergsikringen vil bidra positivt til sikkerheten og arbeidsmiljøet i tunnelen i byggeperioden. I byggeperioden vil det også være mindre tidspress ved at byggetiden skal reguleres slik at det alltid skal være mulig å utføre arbeidet sikkert og med god kvalitet. Her vil balanserte ansvars-, kontrakts- og avregningsmodeller hvor prinsippet om at entreprenøren får betalt for det han gjør/leverer, også bidra positivt.

Det må også fremheves at det ikke lenger skal være inspeksjon bak vann- og frostsikringshvelvene. Dette eliminerer en sikkerhetsrisiko for ingeniørgeologer og andre som i dag utfører inspeksjoner bak V/F-hvelvet.

4.5 Konklusjon/anbefaling

Det ligger usikkerhet i de vurderte konsekvenser både når det gjelder tids- og kostnadskonsekvens av de foreslåtte tiltak for å oppnå økt kvalitet og levetid for nye vegtunneler. Selv med en viss usikkerhet og en spredning i beregningene, synes tids- og kostnadsøkningen å være såpass begrenset at det må være riktig å gjennomføre strategien for bygging av nye vegtunneler. Det anbefales å starte med noen utvalgte prosjekter.

5 REFERANSER

- [1] NA rundskriv 2007/3.
- [2] Teknologirapport nr. 2538, Arbeider foran stoff og stabilitetssikring i vegtunneler, 2009.
- [3] Håndbok 021 Vegtunneler, mars 2010.
- [4] NS 3480 Geoteknisk prosjektering (NS-EN1997), 2010.
- [5] Miljø- og samfunnstjenelige tunneler, intern rapport nr. 2323, 2002.
- [6] NFF's håndbok for berginjeksjon, 2010.
- [7] SveBeFo Rapport 58, Cementingjutna bultars beständighet Durability of cement grouted rock bolts, Lagerblad Björn – CBI, Sandberg Bertil – KI, Windelhed Kjell – Sycon, 2002.
- [8] Vedleggsdokument til hovedrapporten, dokumentnr. 0002, 28. juni 2010



Statens vegvesen

Statens vegvesen
Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Postboks 8142 Dep
0033 OSLO
Tlf: (+47 915) 02030
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162