



Statens vegvesen

Etatsprogrammet Moderne vegtunneler 2008 - 2011

Hovedrapport

Statens vegvesens rapporter

Nr. 127



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

Tittel

Etatsprogrammet Moderne vegtunneler
2008 - 2012

Undertittel

Hovedrapport

Forfatter

Avdeling

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen

Seksjon

Tunnel og betong

Prosjektnummer

602182

Rapportnummer

Nr. 127

Prosjektleder

Harald Buvik

Godkjent av

Emneord

Etatsprogram, Moderne vegtunneler, tunnel, strategi, planlegging, bygging, drift og vedlikehold, rehabilitering.

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 i standardiserte systemer
- Optimalisere tunnelplanlegging
- Brannsikre vann- og frostsikringsløsninger
- Sikre og videreutvikle en samlet tunnelkompetanse i egen etat og i samarbeid med bransjen

Antall sider

Dato Juni 2012

Title

Major Research and Development Project:
Modern Road Tunnels 2008 - 2011

Subtitle

Main Report

Author

Department

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen

Section

Tunnel og betong

Project number

602182

Report number

No. 127

Project manager

Harald Buvik

Approved by

Key words

Major R&D projects, Modern Road Tunnels, Tunnel, Strategy, Planning, Construction, Operation and maintenance, Upgrading.

Summary

The main objectives of the Moderne Road Tunnels project have been:

- 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.

Pages

Date June 2012

Forord

I etatsledermøte (ELM) i august 2008 ble det bestemt at det skal utarbeides en helhetlig strategi for vegtunneler. Utformingen av strategien skal gjøres i etatsprogrammet ”Moderne vegtunneler” i perioden 2008 – 2011 og fremlegges for ELM for godkjenning. Følgende er del av grunnlaget for igangsetting av etatsprogrammet Moderne vegtunneler:

”De 30 siste åra har det vært en omfattende utvikling på tunnelsida. Erfaringer vi har gjort oss viser at vi nå trenger en diskusjon om hvordan vi skal planlegge, bygge, vedlikeholde og oppgradere tunneler, og ikke minst: Vi må ha en strategi for når vi skal bygge tunnel og når vi skal satse på andre løsninger. Dette er et arbeid vi i Statens vegvesen også trenger innspill fra bransjen på”

Forslag til strategi for bygging av bergtunneler (del 1) ble lagt fram for Etatsledermøtet (ELM) 23. juni 2011 hvor forslaget fikk tilslutning. Forslag til strategi for øvrige områder av tunnelvirksomheten (del 2) som omhandler planprosessen, drift og vedlikehold, sikkerhet og rehabilitering-/oppgradering av vegtunneler, ble oversendt Veg- og transportavdelingen 11. november 2011. Strategiforslagene skal der bearbeides før de samlet skal sendes på høring både internt og eksternt før de legges fram for ELM for endelig avgjørelse.

Denne hovedrapporten gjengir etatsprogrammets samlede forslag til ny strategi for vegtunneler. I tillegg oppsummeres resultater fra de delprosjektene som etatsprogrammet har bestått av. Komplette dokumentasjon av resultater fra delprosjektene kan finnes i delprosjektens rapporter og notater.

Oslo, 1. juni 2012

Harald Buvik
Prosjektleder for etatsprogrammet Moderne vegtunneler

Innhold

FORORD.....	1
ETATSPROGRAMMET MODERNE VEGTUNNELER	5
A Strategi for vegtunneler	7
MODERNE VEGTUNNELER - TUNNELSTRATEGI.....	9
STRATEGI FOR PLANPROSESSEN	10
STRATEGI FOR BYGGING AV BERGTUNNELER	11
STRATEGI FOR GEOMETRISK UTFORMING	11
STRATEGI FOR DRIFT OG VEDLIKEHOLD	12
STRATEGI FOR SIKKERHET	14
STRATEGI FOR REHABILITERING OG OPPGRADERING	15
BAKGRUNN FOR FORSLAGENE TIL STRATEGIER.....	16
PLANLEGGING AV VEGTUNNELER	16
BYGGING AV BERGTUNNELER	17
GEOMETRISK UTFORMING	19
DRIFT OG VEDLIKEHOLD AV VEGTUNNELER.....	22
SIKKERHET I VEGTUNNELER	23
REHABILITERING OG OPPGRADERING AV VEGTUNNELER	26
KONSEKVENSER OG KOSTNADER MED NY STRATEGI.....	28
IMPLEMENTERING AV NY STRATEGI	30
B Resultater fra delprosjekter	31
TUNNELDOKUMENTASJON.....	33
OVERORDNET PROGRAM FOR FORVALTNING, DRIFT OG VEDLIKEHOLD AV TUNNELER.....	33
DOKUMENTASJON AV GEOLOGI OG BERGSIKRING	35
PLANLEGGING AV VEGTUNNELER	37
TUNNELSTUDIET	38
BYGGING AV VEGTUNNELER.....	40
TUNNELUTFORMING - KONTURKVALITET	43
TUNNELUTFORMING - TUNNELKLEDNING.....	45
BRANNTTEST OG DOKUMENTASJON	47
TUNGE KJØRETØY – KJØRETØYTEKNISKE FORHOLD	49
ADFERD I VEGTUNNELER.....	52

RISIKOANALYSEMODELL	56
LANGE OG DYPE VEGTUNNELER	59
DRIFT OG VEDLIKEHOLD AV VEGTUNNELER	62
REHABILITERING OG OPPGRADERING AV VEGTUNNELER	66
MILJØ	69
ENERGIØKONOMISERING.....	69
TUNNELER OG LOKAL LUFTKVALITET.....	70
VANNFORURENSNING FRA TUNNELVASK.....	72
C Referanser	73
D Vedlegg	77
VEDLEGG 1 PROSJEKTORGANISERING – PROSJEKTDELTAGERE	79
PROSJEKTORGANISERING.....	79
DELPROSJEKTER	79
ARBEIDSGRUPPER	83
ENGASJERTE KONSULENTER	84
VEDLEGG 2 PROSJEKTRAPPORTER OG -NOTATER	87

Etatsprogrammet Moderne vegtunneler

Målet for forsknings- og utviklingsprogrammet Moderne vegtunneler har vært å utvikle en helhetlig strategi for vegtunneler.

De siste 30 årene har det vært en omfattende utvikling i Norges tunnelvirksomhet. Mange rammebetingelser har endret seg. FoU-programmet Moderne vegtunneler har søkt svar på hvordan vi skal planlegge, bygge, vedlikeholde, rehabilitere og oppgradere vegtunneler, samt når man skal velge vegtunnel fremfor andre løsninger.

FoU-programmet ble startet etter flere hendelser i både europeiske og norske tunneler gjennom de siste tiårene, samt føringene som gitt på grunnlag av bransjerapporten Tunnelsikkerhet [1] og Agendarapporten [2] om Statens vegvesens systemer for rapportering og formidling av styringsinformasjon.

I perioden 2008 – 2011 har programmet omfattet arbeid med å utvikle en helhetlig strategi for vegtunneler i etaten. Denne strategien skulle blant annet omfatte:

- Planlegging (bl.a. hvorfor bygge tunnel, alternativ, tekniske/økonomiske avgrensninger, konsekvenser, sikkerhet, økonomi, miljø, trafikantopplevelser, ensartet praksis)
- Bygging (profilutforming, utførelse, stabilitetssikring, kledninger, materialutvikling, teknisk utstyr)
- Drift og vedlikehold (bestillerkompetanse, elektro, erfaringsoverføring, teknisk utstyr)
- Forvaltning (organisering og forvaltningssystem)
- Tilgjengelighet og sikkerhet (tilstrekkelig standard og sikkerhet, funksjonalitet, oppetid, dokumentasjon, brannsikring)
- Levetid (dokumentasjon av levetidskostnader, dimensjonerende levetid, oppgradering)
- Økonomi og konsekvenser
- Tverrfaglig kompetanse, ledelse og styring
- Normaler og retningslinjer (håndbøker, standardisering og harmonisering)

Arbeidet i programmet ble organisert i følgende 9 delprosjekter:

Delprosjekt 0	Strategi for vegtunneler
Delprosjekt 1	Tunnel som planelement i vegsystem og lokalsamfunn
Delprosjekt 2	Tunnelskole
Delprosjekt 3	Tilstrekkelig standard og sikkerhet i vegtunneler
Delprosjekt 4	Tunnelkledninger
Delprosjekt 5	Brannsikkerhet og materialkrav
Delprosjekt 6	Tunneldokumentasjon
Delprosjekt 7	Tunnelutforming
Delprosjekt 8	Drift og vedlikehold – rehabilitering og oppgradering

Nærmere beskrivelse av programmets delprosjekter og deltagerne i arbeidsgruppene finnes i Vedlegg 1. Oversikt over utgitte prosjektrapporter og prosjektnotater finnes i vedlegg 2.

A Strategi for vegtunneler

Moderne vegtunneler - tunnelstrategi

Etatsprogrammet Moderne vegtunneler har lagt fram forslag til strategi for vegtunneler. En overordnet målsetning med strategiarbeidet har vært at de samlede strategiforslagene som legges fram, må sees i sammenheng ut fra krav om:

- lang levetid
- høy sikkerhet for trafikanter
- riktig kvalitet
- sikkerhet, helse og arbeidsmiljø (SHA)
- høy oppetid
- reduserte drifts- og vedlikeholdskostnader
- anleggskostnader for fremtidige tunnelkonstruksjoner som gir optimale levetidskostnader

Forslag til strategi for bygging av bergtunneler (del 1) ble lagt fram for Etatsledermøtet (ELM) 23. juni 2011 hvor forslaget fikk tilslutning. Forslag til strategi for øvrige områder av tunnelvirksomheten (del 2) som omhandler planprosessen, drift og vedlikehold, sikkerhet og rehabilitering/oppgradering av vegtunneler, ble oversendt Veg- og transportavdelingen 11. november 2011. Strategiforslagene skal der bearbeides før de samlet skal sendes på høring både internt og eksternt før de legges fram for ELM for endelig avgjørelse.

Etatsprogrammets konkrete forslag til tunnelstrategi gjengis i dette kapitlet. Hovedbegrunnelsene for forslagene gjengis etter oppstillingen av de konkrete strategiene. Ytterligere dokumentasjon av grunnlaget for strategiforslagene finnes i referansene [3a, 3b].

Strategi for planprosessen

Generelt

Statens vegvesen skal innføre rutiner og fullmakter som sikrer en restriktiv og ensartet praksis når det gjelder bruk av tunnel som løsningsalternativ i konseptvalgutredninger, kommune(del)planer og reguleringsplaner. Rutinene og fullmaktene skal være forankret i regionledelsen og Vegdirektoratet. Det skal spesielt gjennomføres innstramminger i regelverket for å unngå bratte og lange tunneler, for å sikre enhetlig vurdering i Statens vegvesen av tunnel som løsning, for å sikre at fravikssøknader fremmes så tidlig som mulig i kommune(del)plan og reguleringsplanprosessen og for å sikre ferdig fraviksbehandling før planvedtak.

Alternative løsninger til tunnel skal normalt utredes (veg i dagen, bru, fergesamband). Dersom tunnel er eneste aktuelle løsning, skal dette begrunnes særskilt.

Konsekvensene av tunnello løsninger skal alltid være grundig dokumentert, slik at levetids-kostnader og konsekvenser for framkommelighet (også ved stengt tunnel), sikkerhet og miljø kommer tydelig fram. Det skal dokumenteres at bygge-, drifts- og vedlikeholdskompetanse har deltatt aktivt i planprosjekter for vegtunneler.

Statens vegvesen skal være tilbakeholden med å utrede løsninger som krever fravik fra vegnormalenes tekniske anvisninger for tunneler. Dette gjelder særlig forhold med betydning for sikkerheten.

I byområdene skal Statens vegvesens planressurser i hovedsak brukes til strategiske avklaringer for arealbruken og transportsystemet med oppfølgende detaljplaner. Med dagens bypolitikk betyr dette i praksis at planressursene i hovedsak må brukes til å tilrettelegge for kollektivtrafikk, gange og sykling.

Statens vegvesen skal være proaktive i media for å framstå som en tydelig fagetat om begrensningene og mulighetene/fordelene og ulempene ved tunnel som løsning.

I Statens vegvesen sitt kvalitetssystem skal et eget utkvitteringssystem sikre og dokumentere at det blir gjennomført nødvendige alternativs- og konsekvensvurderinger for konseptvalgutredning, kommune(del)plan og reguleringsplan, at nødvendige fagmiljøer har vært involvert og at de tekniske anvisningene i vegnormalene blir fulgt.

Ved bruk av vegtunnel skal det finnes tilfredsstillende løsning med hensyn på sikkerhet og framkommelighet for alle trafikanter inkludert syklende og gående.

Lik tilgjengelighet for alle trafikanter skal tilstrebes for evakueringsveger og installasjoner innrettet for bruk av trafikanter.

Strategi for bygging av bergtunneler

Bergkonstruksjonen og bergsikringen skal dimensjoneres for 100 års levetid. Frittstående vann- og frostsikringskledning skal dimensjoneres for levetid på 50 år.

Den norske byggemetoden med å bruke berget som byggemateriale skal videreføres i nytt tunnelkonsept. Bergsikringsstrategien basert på bergmasseklassifisering skal videreføres

Det nye tunnelkonseptet er basert på kontaktstøpt betong med membran og drenering i kombinasjon med berg og bergsikring. Tunneler med ÅDT_{20} over 4 000 skal utformes gjennomgående med "Helstøpt tunnelhvelv".

For tunneler med ÅDT_{20} under 4 000 kan frittstående vann- og frostsikringskledninger benyttes. Ved behov for inspeksjon av bergsikringen skal dette gjøres uten å ha personer bak tunnelhvelvet. Det skal i så fall utføres ved bruk av tekniske eller optiske metoder eller visuelt fra trafikkrommet.

Tunneler med ÅDT_{20} under 4 000 kan alternativt etter behov utformes med øvrige typegodkjente vann- og frostsikringsløsninger.

Undersjøiske tunneler utformes som oversjøiske hva gjelder berg og bergsikring samt kledning.

Konseptet med "Helstøpt tunnelhvelv" skal testes ut i full skala og i en hel tunnels lengde. Forberedelser til slik gjennomføring gjøres gjennom utredning av valgt aktuell tunnel på reguleringsplanstadiet.

Strategi for geometrisk utforming

Tunnelprofil T10,5 skal brukes for alle vegtunneler (også to-løps tunneler) med ÅDT større enn 1 500 for å gi plass til forsterket midtoppmerking.

Dagens krav til fri høyde 4,50 m skal videreføres.

Strategi for drift og vedlikehold

Generelt

Tunnelstrategien skal gi vedlikeholdsfunksjonen en premissgivende rolle og gjennom det bidra til å oppnå de langsiktige mål for tunnelstandardens utvikling samt sørge for enhetlig tenking og bevisstgjøring av hvilken funksjon vedlikeholdet skal ha.

Drifts- og vedlikeholdsorganisasjonen skal være en aktiv premissgiver i planleggingen av nye tunnelprosjekter. Dette skal reguleres i Kvalitetssystemet.

Informasjons- og erfaringsoverføring mellom aktivitetene planlegging, bygging, drift/vedlikehold og rehabilitering/oppgradering skal sikres gjennom aktiv bruk av Forvaltning, Drift og Vedlikehold (FDV)-planlegging.

Kontraktsystemet skal sikre nødvendig informasjon om levetid, kostnader, ulike tiltak, tiltaksfrekvenser og effekt av tiltak som grunnlag for å kunne optimalisere tunnelvirksomheten.

Drift og vedlikehold av vegtunneler skal systematiseres og optimaliseres gjennom bruk av:

- Risiko- og sårbarhetsanalyser (ROS) for å identifisere fare for uønskede hendelser samt svakheter som reduserer eller begrenser objekter eller systemers evne til å motstå en uønsket hendelse
- RAMS-metodikk (Pålitelighet, Tilgjengelighet, Vedlikeholdsvennlighet og Sikkerhet) for å identifisere kritiske feil med hensyn til systemsikkerhet
- Analyse av levetidskostnad (LCC) for å fastlegge operative opplegg for drift og vedlikehold som sikrer optimal utførelse med hensyn til tiltak, tiltakets omfang og frekvenser
- Systematiske opplegg for tilstandsregistrering

Oppetid for vegtunneler skal innføres som kvalitetsparameter med tilhørende mål og rutiner for oppfølging for vegtunneler.

Målrettet tverrfaglig kompetanseheving, der drift og vedlikehold er premissgiver, skal videreutvikles, blant annet gjennom Tunnelskolen.

Utslipp av vaskevann fra vegtunnel skal renses i renseanlegg dersom forurensningsnivået for utslippet av vaskevann sammenholdt med vurdering av resipientens sårbarhet overfor forurensninger, tilsier det.

Luftforurensningsnivået i og fra vegtunneler skal primært reduseres ved:

- Utvidet vask og feiing av tunnelene.
- Bruk av luftetårn ved utslipp der forurensningsnivået ved tunnelportalene overskrider krav gitt i administrativ norm.
- Bruk av renseanlegg (partikkel- og/eller gassrenseanlegg).
For slike anlegg skal nytteeffekten stå i rimelig forhold til total investering og driftskostnader. Nyten og utskillingsgraden skal være spesifisert og dokumentert. Det skal etableres standarder for etterprøving og dokumentasjon av utskillingsgraden for aktuelle filtre, både for laboratorieprøving og etterprøving i felt.

Standardisert utstyr og systemer skal

- sikre effektiv og kostnadsoptimal drift og vedlikehold
- sikre kontinuerlig tilfredsstillende styring og overvåking i driftsfasen
- ivareta alle sikkerhetsmessige rutiner knyttet til trafikkstyring og/eller redning og evakuering når en

*driftssituasjon endrer status fra normal til unormal
Systemene skal ha åpent og felles grensesnitt mot overordnet system.*

På andre områder med betydning for tunnelvirksomheten skal eksisterende strategi videreføres og vektlegges i henhold til de gjeldende overordnede føringer for etaten (ITS, energiøkonomisering, HMS, o.a)

Strategi for sikkerhet

Generelt

Risiko- og sårbarhetsanalyser (ROS) skal brukes for å identifisere fare for uønskede hendelser samt svakheter som reduserer eller begrenser objekter eller systemers evne til å motstå en uønsket hendelse.

Risikoanalyser skal generelt brukes som grunnlag for fravikssøknader og når tunnel-sikkerhetsforskriften og Håndbok 021 krever det.

Trafikantsikkerhet

Vegtunneler skal bygges med profil T10,5 med 1,0 meter forsterket midtoppmerking der ÅDT_{20} er større enn 1500 kjøretøyer.

Vegtunneler skal bygges med stigning/fall på maksimalt 5 %.

I vegtunneler med lavbrekk og stigning/fall større enn 3 % bør dette visualiseres for trafikantene.

I to-løps vegtunneler og alle undersjøiske vegtunneler bør det legges til rette for å kunne gi informasjon til trafikantene slik at vegtrafikksentralene kan rettlede trafikanter i evakuerings-situasjoner.

Tunnelportaler og området inn mot tunnelportaler skal utformes etter rekkverknormalens prinsipper. Disse prinsippene skal gjelde gjennom hele tunnelens lengde.

Trafikantene skal sikres mest mulig ensartede og riktige lysforhold innenfor og utenfor tunnelmunningen gjennom virkemidler som solavskjerming, belysning, o.a..

Trafikantadferd i vegtunnel skal ivaretas generelt gjennom kjøreopplæringen og spesielt gjennom informasjonskampanjer.

Brannsikkerhet

Brannsikring av konstruksjonen i vegtunneler skal i hovedsak ivaretas ved hjelp av passive brannbeskyttelsessystem.

Ved hendelser som krever evakuering, skal trafikanter kunne evakuere gjennom selvberging til sikkert område i eller utenfor vegtunnelen.

Nødutganger og nødstasjoner i alle vegtunneler skal ha grønn lys- og fargeutforming som klart tilkjenne gir funksjonen.

Statens vegvesen skal videreføre bruken av etatens forskningstunnel for fullskalatesting av konstruksjoner og utstyr samt som opplæringsarena for Statens vegvesen og brann- og redningspersonell.

Strategi for rehabilitering og oppgradering

Generelt: Samla plan for rehabilitering og oppgradering av vegtunneler

For å fremme enhetlig standard på eksisterende vegtunneler skal det iverksettes en samla plan for rehabilitering og oppgradering av vegtunneler. Som en del av arbeidet med planen skal det også etableres et felles forum som skal drøfte relevante problemstillinger og utarbeide forslag til felles grunnlag for beslutninger vedrørende rehabilitering og oppgradering av vegtunneler i tillegg til drift/vedlikehold i samband med dette.

Følgende forutsetninger og grunnlag skal benyttes for planlegging og gjennomføring av rehabilitering og oppgradering av vegtunneler:

- *Prosjektbestilling med godkjent omfang og innhold skal utarbeides i henhold til Statens vegvesens Kvalitetssystem. Ved eventuelle endringer i prosjektbestilling skal prosjektbestillingen revideres i samråd med prosjekteier.*
- *Dersom prosjektoverslaget for ett-løps tunneler overstiger 60 % av nybyggingskostnad skal alternativ med bygging av nytt tunnellop utredes.*
- *For strekninger med flere tunneler hvor det ikke finnes gode omkjøringsmuligheter for hver enkelt tunnel, skal rehabilitering og oppgradering av alle tunnelene på strekningen vurderes gjennomført samtidig eller i styrt rekkefølge for å sikre standardlikhet for strekningen og for å redusere samfunnsmessige kostnader.*
- *Alternative finansieringsformer for rehabilitering og oppgradering av vegtunneler skal kunne vurderes.*

Bakgrunn for forslagene til strategier

Planlegging av vegtunneler

I Norge er det gjennom mange år bygget tunneler for å forsere fjell og for å sikre vegene mot naturkreftene (ras, uvær). Dette er gode prosjekter som det er aktuelt å fortsette med. Fra 80-åra og framover har det kommet til andre typer tunneler: fjordkryssinger, miljøtunneler i by, tunneler i landlige strøk for å spare ulike miljøkvaliteter og tunneler for å frigjøre arealer til annen bruk.

Å bygge tunneler i det omfanget som i dag er ønsket, innebærer etter Statens vegvesens vurdering å innføre stadig flere krevende konstruksjoner i det norske vegnettet. Den store tunnelkatastrofen blir framskyndet. Store statlige midler bindes opp på kort og lang sikt. Dette er de fleste enige om. Men det er problematisk å koble det prinsipielle til enkeltprosjektene. “Alt det der er greit, men vi vil ha tunnel akkurat her hos oss”. Planprosessene preges av omfattende lokale krav, herunder krav om tunneler, som er problematiske med hensyn til sikkerhet, framkommelighet og kostnader.

I dagens situasjon er det naturlig å reise spørsmål ved beslutningssystemet. Det bør gjennomføres et faglig utviklingsarbeid der det diskuteres hvordan samfunnets interesser kan ivaretas bedre ved planlegging av visse typer prosjekter. At dette er politisk vanskelig bør ikke hindre at vi tar det opp.

Endringer av plansystemet vil kanskje tvinge seg fram uansett. Men slike kursendringer vil ta tid. Inntil videre bør Statens vegvesen være tydelig som fagetat, og bruke de verktøyene som finnes for å gjennomføre en restriktiv tunnelpraksis. Ut over at en rekke forhold bør vurderes i planfasen, bør Statens vegvesen bruke vegnormalene og tunnelsikkerhetsforskriften mer aktivt. Det er etablert gode systemer for fravik fra vegnormalene og for sikkerhetsgodkjenning av tunneler. Disse systemene kan brukes til å bygge opp en tjenlig tunnelpraksis i planfasen.

Vegnormalene har hatt fornuftige tunnelanvisninger i mange år. Men det brukes mye planressurser på å planlegge prosjekter som er utenfor vegnormalenes rammer. Planleggerne presses av lokale ønsker, og det kan også være reelle meningsforskjeller mellom Vegdirektoratet og regionene og internt i regionene. Like viktig som vegnormalene, er hvordan de praktiseres, og hvordan Vegdirektoratet forholder seg til søknader om fravik. Derfor kan det være en tjenlig metode å utvikle praksis gjennom eksempler.

Det bør foretas en gjennomgang av normalene med sikte på klarere formuleringer, og Statens vegvesen bør videreføre en streng praksis der fravik som hovedregel ikke blir gitt.

Tre sentrale utfordringer:

1. Det er mange ønsker om tunneler i områder med spredt bebyggelse eller i naturområder, der tunnel ses på som et tiltak for å ta vare på ulike miljøkvaliteter, eventuelt for å frigjøre arealer til annen bruk. Her bør etatens hovedstrategi være veg i dagen med landskapstiltak, støytiltak og tverrbruere. Slike tiltak vil vanligvis gi en god løsning for miljøet og for bruken av området. Det er rett og slett slik at noen ulemper må påregnes. Statens vegvesen må ha en konsekvent holdning til riktig kvalitet på riksveger uavhengig av finansieringsordning. En restriktiv holdning til tunneler vil medføre en del konfliktsaker, der plan- og bygningslovens

mekanismer trer inn. Statens vegvesen bør sette av mer ressurser i disse sakene i en overgangsperiode til det er etablert en fornuftig praksis. Den samme problemstillingen er gjeldende for valg mellom ferje, bro og tunnel.

2. I byene kan tunnel virke riktig der og da. Men vegkapasiteten økes og vi graver oss stadig dypere ned i et bilbasert samfunn. I byene bør de beste planressursene og de fleste investeringsmidlene kanaliseres til andre løsninger enn flere vegger.
3. En del bytunneler er ikke påkrevd ut fra kapasitet, men drives fram av ønsker om byutvikling eller ønsker om økt omsetning og høyere eiendomspriser. Det blir etter hvert en vurdering om Statens vegvesen skal bruke store summer for å oppnå slike gevinster.

Tunneler fører ofte til at syklistene og gående mister et tilbud. Sykkel- og gangtrafikk i tunnel er et spørsmål som det bør jobbes videre med. Hittil har førstevalget vært å få til en løsning for syklistene og fotgjengerne "rundt" på gamlevegen. I arbeidet framover bør det legges vekt på å finne løsninger i avveier mellom kostnader og sikkerhet og framkommelighet for alle trafikantgrupper. Tunneler reiser også spørsmål knyttet til universell utforming, særlig ved rømming. Systemet i dag er basert på selvbergning.

Bygging av bergtunneler

Tunnelkonstruksjoner er særlige kostbare konstruksjoner både å bygge, drifte- og vedlikeholde. Frem til nå har vi ikke hatt krav til dimensjonerende levetid for disse konstruksjonene. Det norske byggekonseptet for tunnelbygging har vært basert på å bruke berget som byggemateriale. Dette har vi hatt god erfaring med og denne strategien med å utnytte berget som byggemateriale skal videreføres.

Vi har imidlertid en erkjennelse av at vi har hatt store rehabiliterings- og oppgraderingskostnader for tunnelkonstruksjoner de senere årene. En gjennomgang av slike prosjekter som er utførte de siste ti årene viser en samlet kostnad på ca. 2,5 mrd.kr. og dette gjelder bare enkeltprosjekter over 10 mill.kr. Den samme gjennomgangen viser at gjennomsnittlig tid fra åpningsår til start rehabilitering og oppgradering var 22 år for oversjøiske og 15 år for undersjøiske. Mye av kostnadene er knyttet til vann- og frostsikringskledninger hvor bestandighet og materialkvaliteter er sentrale stikkord for årsakene til den lave levetiden.

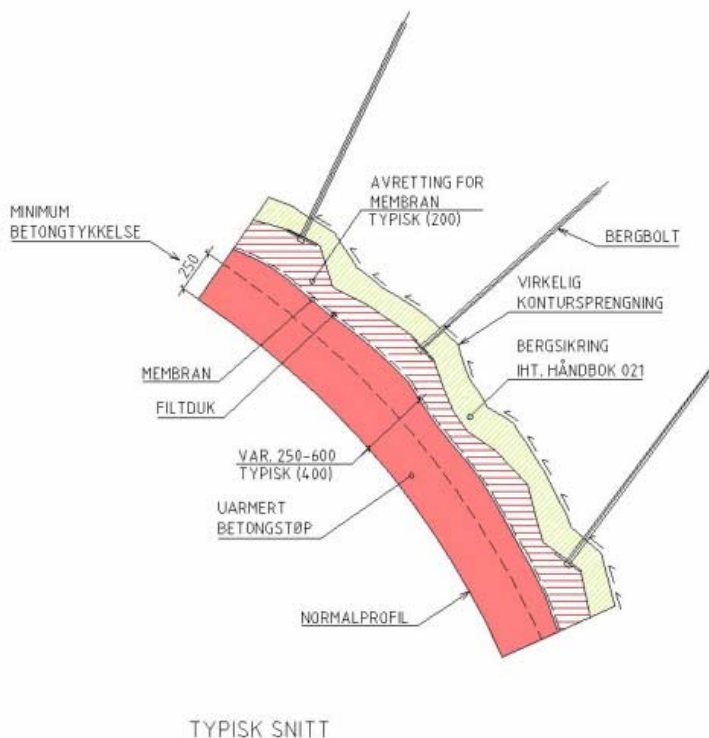
Frittstående vann- og frostsikringskledninger har langt på veg vært et "smertens barn" helt tilbake til 1970 tallet hvor PE-skummet ble introdusert. Dette hadde brannsikringsmessige store ulemper som man etter hvert har klart å mestre. Ulike typer metallhvelv har vært prøvd og med stort sett dårlige resultater. Prefabrikerte betonghvelv i de høyest trafikkerte tunnelene har vært benyttet de siste 25 år og har i den tiden vist seg å stå brukbart. Hele denne perioden har imidlertid vært preget av vedlikeholdsmessige og/eller rehabiliteringsmessige utfordringer knyttet til levetiden til frittstående vann- og frostsikringskonstruksjoner. Årsakene til dette finnes nok både i selve materialvalgene som er gjort og i selve konstruksjonsformen som har vært lik hele tiden. En gjennomgående erfaring er også at det har vært plassmangel for ny kledning ved utskifting av gammel.

Vi foreslår at dimensjonerende levetid på 100 år for tunnelkonstruksjonen (berget og bergsikringen), jfr. NS-EN 1990 Eurocode: "Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner". Ved å dimensjonere for så lang levetid sier vi også noe om et eieransvar, og et mål om å unngå omfattende, ikke-planlagte rehabiliteringsarbeider. Vi har som nevnt ovenfor eksempler i dag på at

slike arbeider har vært nødvendige før det har gått 10 år. Vi har også eksempler på tunneler som har stått i mange år, så rehabiliteringsbildet er ikke entydig. Med en helhetlig strategi for tunnelbygging trekker vi imidlertid en klar sammenheng mellom kvalitet ved utførelse av tunnelbygging og levetid.

Dagens byggemetode med frittstående vann- og frostsikringskonstruksjoner forutsetter manuelle inspeksjoner av bergsikringen i det åpne rommet mellom kledning og berg. Denne konstruksjonsløsningen er årsaken til at man sitter igjen med usikkerheten om at noe kan bli oversett under kartleggingen i drivefasen. Dette kommer man, ifølge våre geologer, ikke utenom. Geologene er ikke bekymret for det man oppdager under kartleggingen, men for det man ikke klarer å oppdage. Det åpne rommet bak hvelvet må også da utformes slik at den nødvendige inspeksjonen kan utføres (i motsetning til i dag) på en faglig forsvarlig måte gjennomgående i hele tunnelens lengde. En slik utforming vil medføre en kostnadsøkning på ca. kr. 4 000 pr meter.

I strategiarbeidet med fremtidig tunnelutforming har vi hatt en overordnet ambisjon om å kunne bruke ett gjennomgående konsept i de aller fleste klasser. Dette både ut i fra en standardiseringstanke og ren sikkerhetstenking. Moderne vegtunneler har som ett av utgangspunktene for morgendagens tunneler et forbedret sikkerhet, helse og arbeidsmiljø (SHA). Det innebærer at vi ønsker løsninger som innebærer at behovet for manuelle berginspeksjoner ikke lenger er til stede og at vi får ”hel ved” fra bergsikringen og til trafikkrommet.



”Helstøpt tunnelhvelv” er vårt forslag til konsept for fremtidige langtidsbestandige tunnelkonstruksjoner, kfr. skisse. Konseptet forutsetter at tunnelene sprenges på en slik måte at konturen blir jevn og med minst mulig skade på gjenstående berg. Dette oppnås med krav til mer nøyaktig boring og bruk av bedre tilpasset kontursprengning. ”Helstøpt tunnelhvelv” benytter velkjente og gjennomprøvde materialer og fagmiljøene er entydig i at konseptet tilfredsstiller kravet til 100 års levetid, ivaretar krav til langtidsstabilitet og har høy grad av vanntetthet. Det forutsettes god forankring i sålen. Det benyttes heller ikke materialer som medfører at ferdig tunnelkonstruksjon blir brennbar.

”Helstøpt tunnelhvelv” innebærer en økning i byggekostnadene på 15 – 30 %. Økningen fordeler seg på prosessene:

- rigg og drift
- sprenging/utlasting
- stabilitetssikring

- vann- og frostsikring

Prinsipielt mener vi at det er riktig å velge ”Helstøpt tunnelhvelv” for alle nye tunneler. Ut i fra kostnadshensyn og behov for en gradvis erfaringsoppbygging har vi likevel valgt å redusere kravene noe. Nyttekostanalyse for ”Helstøpt tunnelhvelv” med 100 års levetid og med følgende gitte forutsetninger for ÅDT (hhv. 6000, 10000, 20000 og 75000), tunnellengde (1000 m), rehabiliteringsfrekvenser og omkjøringslengder (kort 4 km og lang 25 km) sammenlignet med tradisjonelt byggekonsept viser lønnsomhet fra ÅDT 10 000 (middelverdi for gruppen 8 000 – 12 000) og med økende omkjøringslengder. Ikke-prissatte konsekvenser som arbeidsmiljø, transportkonsekvenser for lokalt næringsliv mm er ikke medtatt i denne analysen.

Vi foreslår imidlertid at alle nye vegtunneler med trafikk over 4 000 i ÅDT₂₀ skal utformes som ”Helstøpt tunnelhvelv”. Relatert til eksisterende tunneler på riks- og fylkesvegnettet ville dette omfattet om lag 20 % av alle tunnelene med lengde over 500 m. Hensynet til forbedret sikkerhet, helse og arbeidsmiljø (SHA) ved å unngå inspeksjoner bak frittstående hvelv, forbedret sikkerhet ved påkjørsel av tunnelveggen, størst mulig grad av standardisert løsning og ved å unngå tidlige rehabiliteringskostnader er våre argumenter for å foreslå at helstøpt tunnelhvelv bygges i tunneler ned til ÅDT 4 000. Denne ÅDT-grensen blir dermed også øvre grense for bruk av frittstående vann- og frostsikringskledning.

Geometrisk utforming

Forslagene som er knyttet til geometrisk utforming inngår også som en naturlig del av den helhetlige tunnelstrategien som er utviklet i Moderne vegtunneler og med en sterk faglig integritet som styrende forutsetning. Forslagene er å betrakte som en del av det samlede vegnormalarbeidet som foregår i etaten, og foreslås dermed definert som innspill til dette arbeidet.

Krav til fri høyde

De helhetlige strategiforslagene som vi foreslår, omfatter også konsekvenser knyttet til ”høyde og bredde” problematikk i nye tunneler. Dette er uavhengig av byggekonsept, men konsekvensen av disse valgene får betydning for framkommelighet og sikkerhet.

I dag angir vegnormalen at ny vegtunneler skal bygges med en fri høyde på 4,50 m og at tunneler som rehabiliteres gis en høyde på 4,20 m. Det pågår for tiden en diskusjon om framtidig maksimal kjøretøyhøyde. Inntil resultatet av denne diskusjonen er avklart, vil vi ikke foreslag til eventuelle nye tunnelhøyder. Samferdselsdepartementet har besluttet ikke å innføre så lav høydebegrensning som 420 cm for kjøretøy¹, men bedt Vegdirektoratet vurdere om det er grunnlag for en høydebegrensning i størrelsesorden 430-450 cm.

Høydebegrensninger for kjøretøy vil i sin tur kunne få konsekvenser for krav til fri høyde i vegtunneler. For alle skapbiler vil det sannsynligvis være uproblematisk å forholde seg til fri høyde i tunneler på 4,20 m. For åpne storbiler og for spesialtransporter kan fri tunnelhøyde på 4,20 være mer problematisk. Differansen utgjør en høydeforskjell på 0,30 meter som kan utnyttes for spesialtransporter. Sammenhengende transportstrekninger med lik høydebegrensning for både gamle og nye tunneler kan også være et vesentlig moment i et framkommelighetsperspektiv for spesialtransporter. Alternativet med et redusert profil på 4,20 m har en kostnadsreducerende

¹ Vedrørende høydebegrensning på kjøretøy

Brev fra Samferdselsdepartementet til Vegdirektoratet, 21.10.2011, ref 09/3450-ESR

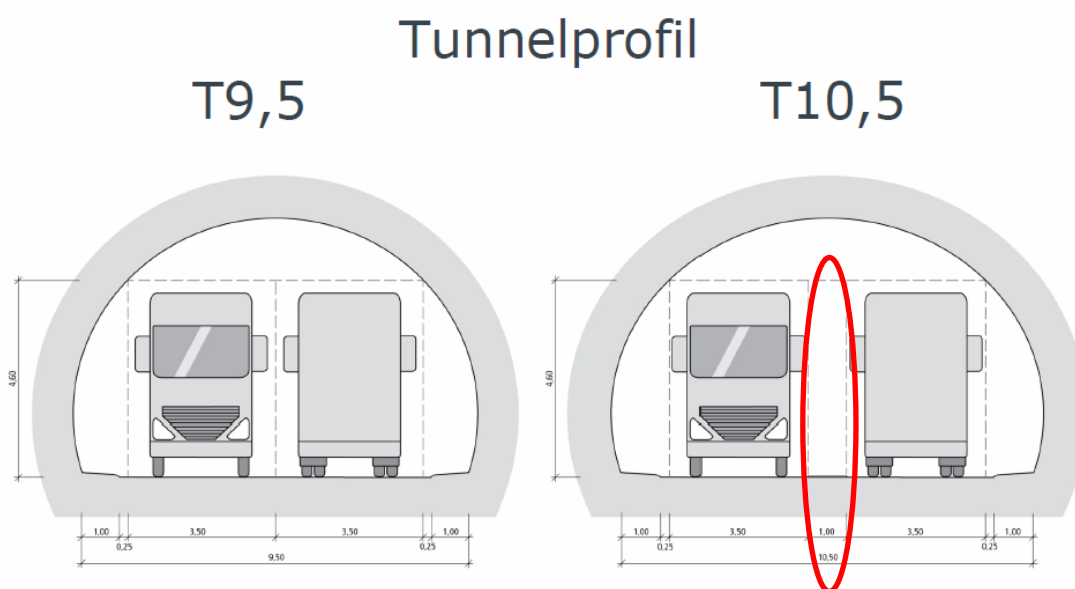
konsekvens mot fortsatt dagens profil på 4,50 m som da tilgodeser muligheter for høyere spesialtransporter. Rent byggeteknisk vil lavere høyde innebære et noe flatere tunneltak som igjen skal ha nødvendig utvidelser for plass til vifter.

Krav til tunnelprofil

Vi foreslår at tunnelprofil T10,5 skal benyttes i alle tunneler med ÅDT > 1 500. Sammenlignet med dagens standard innebærer dette forslaget en økning av dagens profil fra T9,5 til T10,5 i ÅDT klasse 1 500 – 4 000. Kostnadene ved utvidelse av tunneler fra T9,5 til T10,5 er beregnet til ca. kr 5.000,- pr. meter. Vi mener at dette er en lav kostnad sammenlignet med nytten som oppnås.

Vi har to hovedbegrunnelser for forslaget om bruk av T10,5:

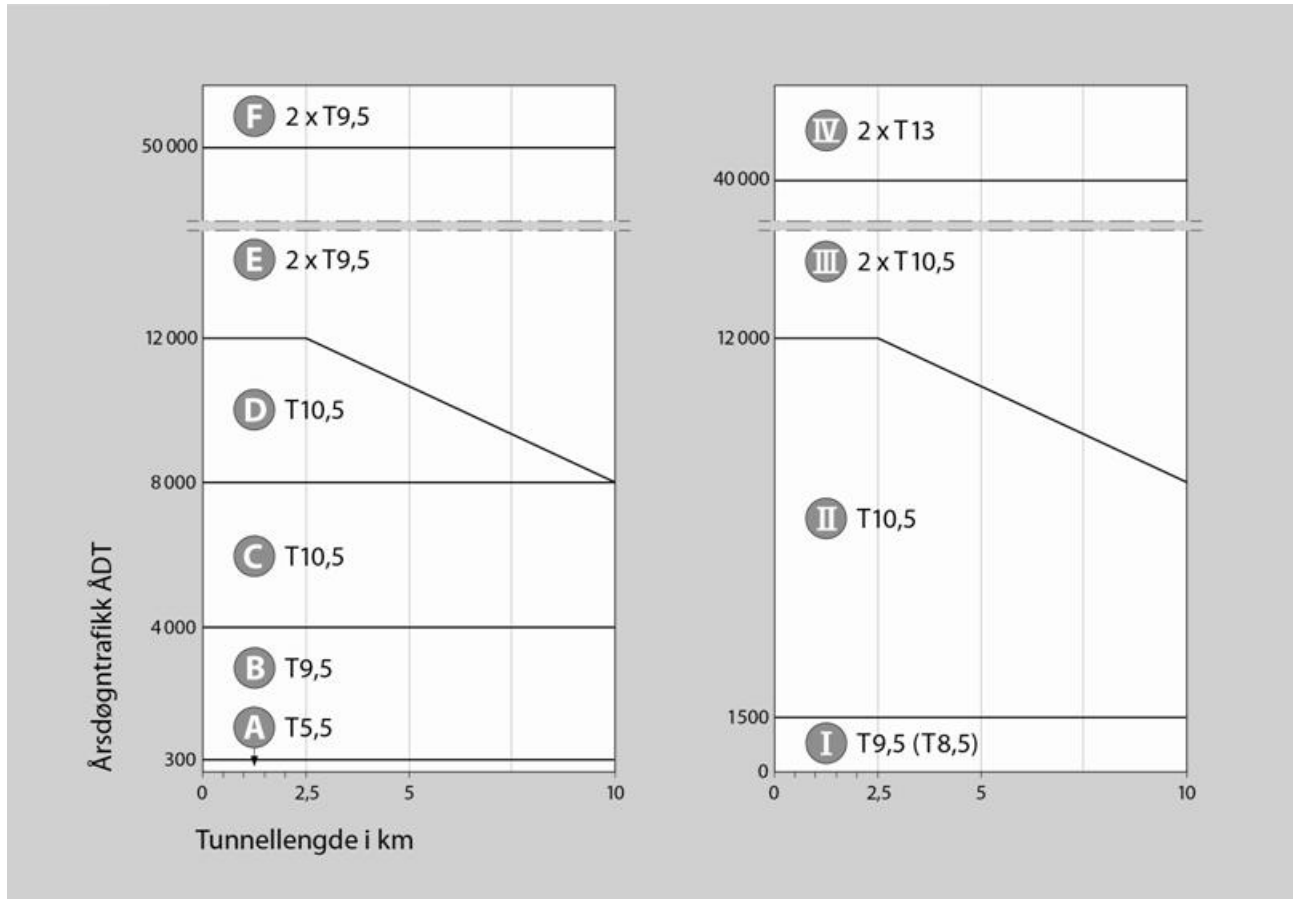
1. En trafikksikkerhetsmessig gevinst ved at dette profilet åpner for forsterket midtoppmerking på 1,0 meter med reflekser. Et slikt tiltak har vist effekt mht å motvirke møteulykker i tunneler med ÅDT over 4 000. Vi mener at slike tiltak også vil ha effekt i tunneler med ÅDT under 4 000. Generelt oppnår man en reduksjon i antall trafikkulykker på 10 til 40 % prosent ved å anlegge forsterket midtoppmerking på veger. Når ÅDT er mellom 1 500 og 4 000 anslår vi at reduksjonen er mellom 10 og 20 %. Ved trafikkmengde over 4 000 anslår vi at reduksjonen i antall ulykker vil ligge over 20 %. Generelt har utrykningsetatene problemer når store kjøretøyer får stopp i tunneler. En utvidelse av tunneler til T10,5 vil redusere disse problemene. Ved å benytte T10,5 vil siktforholdene bli bedre i tunneler noe som også bedrer forholdene for utrykningsetatene ved hendelser i tunneler. Videre vil det være et framtidsrettet trafikksikkerhetstiltak i et langsiktig perspektiv. Det er svært lite realistisk å foreta profilendringer senere enten som konsekvens av trafikkvekst eller på grunn av økte sikkerhetskrav i allerede bygde tunneler.



2. Standardiserte tunnelprofiler gir ensartede og sikkerhetsmessige forutsigbare tunneler for trafikantene.

Nye tunnelklasser

Eksisterende tunnelklasser A-F foreslås endret til 4 tunnelklasser som vist på figuren nedenfor.



Forslaget til nye tunnelklasser inneholder følgende hovedendringer:

- Tunnelprofil T10,5 nyttes i hele ÅDT-intervallet fra 1 500 til 40 000 (2xT10,5 nyttes ved ÅDT over 12 000, med reduksjon i ÅDT-grense ved økende tunnellengde)
- For ÅDT under 1 500 nyttes tunnelprofil T9,5 (eller T8,5 dersom sikkerheten er ivaretatt)
- For ÅDT over 40 000 nyttes tunnelprofil 2xT13

Utforming av tunnelvegg

Veggelementer knytte til vann- og frostsikring skal utformes slik at de tilfredsstillt kravene til vegrekkverk. Dette vil være et tiltak for å redusere antall ulykker samt bidra til redusert alvorlighetsgrad for ulykkene. Utformingen av veggelementene må vies spesiell oppmerksomhet i portalområdet og det må sikres riktig kobling til rekkverksløsningen på utsiden av tunnelen. Standardisert utforming av veggelementer og rekkverksløsninger knyttet til portalområdet vil sikre ensartede løsninger og riktig sikkerhetsnivå.

Drift og vedlikehold av vegtunneler

Vi har i mange år hatt erfaring for at drift og vedlikeholds-kompetansen ikke har blitt utnyttet godt nok i nye prosjektgjennomføringer. Årsakene kan være mange og komplekse, men en forutsetning for at en slik kompetanse blir utnyttet, er at drift og vedlikehold selv har et ansvar for å delta og forstå betydningen av å inngå som en del av plankompetansen for nye prosjekter. Erfarings-overføring er styrt kompetanseoverføring mellom alle fasene i levetiden for en tunnel. For å kunne overføre kompetanse må også nødvendige erfaringer være tilgjengelige og systematiserte og vi foreslår aktiv bruk av FDV-planlegging for å oppnå dette.

Vi erfarer i dag at vi mangler konsistente data om kostnader for drift og vedlikehold. For å kunne ha muligheten til å styre tunnelvirksomheten i ønsket retning foreslår vi derfor at entreprisekontraktene utformes slik at ønskede data kan fremskaffes.

Vegtunneler representerer et meget komplekst system med mange objekter med intern avhengighet og med flere sett av konsekvenser for kapitalforvaltning, sikkerhet og trafikkavvikling.

Fastlegging av et optimalt drifts- og vedlikeholdsopplegg krever en grundig og systematisk tilnærming. Drift og vedlikehold må derfor gjennomføres etter et fastlagt opplegg med hensyn til preventive og korrektive tiltak for hvert objekt, anlegg eller system basert på vurdering av hva som er samfunnsøkonomisk og bedriftsøkonomisk optimalt.

Vi foreslår at et slikt systematisk opplegg for drift og vedlikehold skal ta utgangspunkt i en risiko- og sårbarhetsanalyse (ROS) for vegtunneler og detaljeres videre ved hjelp av RAMS metodikk. For å sikre bedriftsøkonomisk optimalitet foreslår vi aktiv bruk av LCC-analyser.

Kvaliteten på trafikkavviklingen i vegtunnelen bør følges opp gjennom registrering av oppetid for vegtunnelen med tilhørende årsaker til stengning. Oppetid og årsaker til stenging bør rapporteres årlig, og vi foreslår at oppetid benyttes for analyse av hendelser og driftsopplegg som grunnlag for forbedringsarbeid.

Tunnelprofil T10,5 for $\text{ÅDT} > 1\,500$ anses fordelaktig fra drifts- og vedlikeholdssiden fordi det gir mulighet for bedre trafikkavvikling under utførelse av drifts- og vedlikeholdsarbeider gjennom tovegsregulering av trafikk i ett løp (ved to-løps tunneler) samt større mulighet for gjennomføring av sideorientert arbeid med trafikk i en retning i tunnellopet, jfr forslag i byggestrategien og sikkerhetsstrategien.

Sikkerhet i vegtunneler

Med henvisning også til byggestrategien og ut i fra trafikksikkerhetsmessige gevinster foreslår vi at tunnelprofil T10,5 med 1,0 meter forsterket midtoppmerking brukes for alle tunneler med ÅDT > 1500. Kostnadene ved utvidelse av tunneler fra T9,5 til T10,5 er beregnet til ca. kr 5.000,- pr. meter. Vi mener at dette er en lav kostnad sammenlignet med nytten som oppnås.

I arbeidet med strategi for framtidig tunnelutforming har vi hatt som ambisjon at standardiserte profiler og utforminger skal gi effektivisert tunnelbygging og økt sikkerhet.

Det viktigste tiltaket for å oppnå forbedret trafikksikkerhet i tunnelene vil være økt bruk av tunnelprofil T10,5 med 1,0 meter forsterket midtoppmerking. Tiltaket vil redusere antall møteulykker. Generelt oppnår man en reduksjon i antall trafikkulykker på 10 til 40 % prosent ved å anlegge forsterket midtoppmerking på veger. Når ÅDT er mellom 1 500 og 4 000 anslår vi at reduksjonen er mellom 10 og 20 %. Ved trafikkmengde over 4 000 anslår vi at reduksjonen i antall ulykker vil ligge over 20 %. Generelt har utrykningsetatene problemer når store kjøretøyer får stopp i tunneler. En utvidelse av tunneler til T10,5 vil redusere disse problemene. Ved å benytte T10,5 vil siktforholdene bli bedre i tunneler noe som også bedrer forholdene for utrykningsetatene ved hendelser i tunneler.

Tunneloversikten viser at 70 % av riksvegtunnelene i dag har trafikkmengde over 1 500 og 46 % over 4 000. For fylkesvegtunneler er 27 % over 1 500 og 12 % over 4 000.

Trafikksikkerhetsnivået i norske tunneler avviker fra nivået på "veg i dagen". Ulykkesfrekvensen i tunneler er vesentlig lavere, men alvorlighetsgraden er noe høyere enn for "veg i dagen". Dette har sammenheng med at møte- og utforkjøringsulykkene er noe overrepresentert i tunneler. Det største trafikksikkerhetsproblemet er i innkjøringssonene. Ulykkesfrekvensen i tunnelenes midtparti er ca en tredel av situasjonen for veg i dagen.

De fleste vegtunneler har verken kryssende trafikk, syklende eller gående som en del av trafikkbildet og klimaet er stabilt og forutsigbart. Dette, sammen med forsterket midtoppmerking og andre trafikksikkerhetsmessige tiltak, vil derfor lede til en strategi med svært få drepte og hardt skadde.

Med fremtidig levetid for tunneler på 100 år og med fremtidens krav til trafikksikkerhet er det av stor betydning at tunnelutformingen utføres på en sikkerhetsmessig god og framtidsrettet måte. Det er all grunn til å anta at ulykkesfrekvensen for "veg i dagen" kontinuerlig blir redusert i årene framover som en konsekvens av det omfattende trafikksikkerhetsarbeidet som gjøres. Å gjøre tilsvarende kontinuerlig forbedringsarbeid i tunnelene framover vil av helt naturlige årsaker være mer problematisk. Dette må gjøres i byggefasen som en del av et framtidsrettet konstruksjonsvalg dersom man ønsker en strategi med svært få drepte og hardt skadde i tunnelene og som holder følge med forventet redusert ulykkesfrekvens for "veg i dagen". Å foreta tunge utvidelser og sikrings tiltak om 20, 40 eller 60 år for å tilfredsstille de til enhver tid gjeldende krav til trafikksikkerhet vil være uforholdsmessig kostbart sammenlignet med å foreta full utbygging med en gang. På den måten vil også sikkerhetsgevinsten høstes fra tunnelens åpningstidspunkt.

En sammenstilling av vegbredde i dagen og bredde på kjørekassen i tilstøtende tunnel på samme vegstrekning viser at for ÅDT 1 500 – 4 000 samsvarer i stor grad tunnelprofil T10,5 med vegbredden på veg i dagen, se oversikt over vegbredder nedenfor. For veger med ÅDT større enn 4 000 øker bredden på veg i dagen ut over tunnelprofil T10,5. Et hovedargument for forslaget om T10,5 er standardisering av tunnelprofil samt ivaretagelse av lik kjørebredde innenfor og utenfor tunnelene på samme vegstrekning.

Vegbredde i og utenfor tunnel

Stamveger

ÅDT	0 – 1500	1500 – 4000	4000 – 8000	8000 – 12 000	12 000 – 20 000	
Dim. fart km/t	80 km/t	80	80	90 ¹⁾	80	
Vegbredde i m	8,5 (S2)	8,5 (S2)	10,0 (S4)	12,5 (S5)	19,0 ²⁾ (S7)	Veg i dagen E1: H6 017
Vegbredde i m (tunnelprofil)	7,0 (T9,5) ⁴⁾	8,0 (T10,5) ³⁾	8,0 (T10,5) ³⁾	8,0 (T10,5) ³⁾	16,0 (2xT10,5) ³⁾	Tunnel E1: H6 021

Andre hovedveger

ÅDT	0 – 1500	1500 – 4000	4000 – 8000	8000 – 12 000	12 000 – 20 000	
Dim. fart km/t	80 km/t	80	80	90 ¹⁾	80	
Vegbredde i m	6,5 (H1)	7,5 (H2)	10,0 (S4)	12,5 (S5)	19,0 ²⁾ (S7)	Veg i dagen E1: H6 017
Vegbredde i m (tunnelprofil)	7,0 (T9,5) ⁴⁾	8,0 (T10,5) ³⁾	8,0 (T10,5) ³⁾	8,0 (T10,5) ³⁾	16,0 (2xT10,5) ³⁾	Tunnel E1: H6 021

1) 80 km/t er ikke dimensjonerende fart for denne vegklassen

2) To løp

3) T10,5 har vegbredde $2 \times 3,5 + 1,0 = 8,0$ m. Oppmerking 0,5 m ($2 \times 0,25$) ligger utenfor kjørekassen og er ikke tatt med.

4) T9,5 har vegbredde $2 \times 3,5 = 7,0$ m. Oppmerking 0,5 m ($2 \times 0,25$) ligger utenfor kjørekassen og er ikke tatt med.

Vi har utredet flere sider ved utviklingen av ekstremt lange og dype vegtunneler. Det finnes i dag ikke godt begrunnede grenser for hvor lange og dype vegtunneler kan være. Byggeteknisk og kostnadmessig gis det ikke noen objektive grenser. Grunnundersøkelser på store dyp er praktisk gjennomførbart (ref. gruvedrift). Ventilasjon anses heller ikke som noe teknisk og dimensjoneringsmessig problem.

Tungbil-problematikken er et område som krever mer oppmerksomhet, spesielt knyttet til varmgang i bremses og stor hastighetsøkning ved kjøring nedover samt kraftig økning av eksosutslipp ved kjøring oppover kombinert med mulig varmgang i motor. I tillegg er det stilt spørsmål om luftkvaliteten i lange tunneler kan bli for dårlig i forhold til de krav en moderne dieselmotor stiller. Vurderingene knyttet til tunge kjøretøy i tunneler utgjør dermed på den ene siden et sikkerhetsmessig aspekt og må på den andre siden inngå som en planforutsetning basert på nye krav som det ikke er tatt hensyn til fullt ut til nå.

Opprettholdelse av kraftlikevekten mellom bil (< 3500 kg) og henger har en øvre grense på 5 % fall (påløpsbremsesprinsippet). Biler med campingvogn er i realiteten en ekstra utfordring.

Et 50 t vogntog som kjører i 6 % fall vil, når hastigheten er 80 km/t ved tunnelportalen, ha 114 km/t etter 1000 m.

På tunge kjøretøy går bremsene på hengeren automatisk på ved kjøring i nedoverbakke. I lange utforbakker kan bremsesystemene gå varme og brann kan oppstå. Tunge kjøretøy i Norge har en øvre lastekapasitet på 50 tonn totalvekt. Dette til tross for at bilene er dimensjonert i henhold til europeisk regelverk som tillater totalt 40 tonn totalvekt. Dette er i seg selv en utfordring ved lange og bratte utforkjøring.

Et 20 t vogntog som kjører i 50 km/t i 6 % stigning, slipper ut mellom 140 – 420 % mer avgasser enn tilsvarende for et vogntog på flat veg.

Basert på disse forholdene foreslår vi at tunneler bygges med maks 5 % stigning. Dette er i tråd med EU sitt tunneldirektiv som Norge har fått fravik fra til å bygge med 7 % stigning. Begrunnelsen for fraviket var hensynet til bygging av undersjøiske tunneler. Vi er usikre på i hvor stor grad man den gang tok hensyn til utfordringene som tunge kjøretøy har i slike tunneler.

Vi har mange tilbakemeldinger som er klare på at trafikantene har vanskeligheter med å forholde seg til stigning og fall. Dette kan avhjelpest gjennom visualisering. Videre foreslår vi at nødutganger/tverrslag over til annet tunneløp og nødstasjoner i alle tunneler skal ha grønn lys- og fargeutforming som klart tilkjennegir funksjonen. I alle undersjøiske tunneler foreslår vi også at det skal legges til rette for kommunikasjon hvor Vegtrafikksentralen kan rettlede trafikanter ved evakuering. Bruk av høytalerutstyr kan her være et aktuelt alternativ.

Vi viderefører prinsippet om selvberging ved evakuering i tunnel. Dette vil være forskjellig for tunneler med to løp og tunneler med ett løp. Dimensjonerende forflytningshastighet ved evakuering (til fots) vil ofte være lavere enn hastigheten på røykspredningen. Dermed kan katastrofepotensialet i vegtunneler med ett løp være større enn i lengre tunneler med to løp og mange tydelig merkede nødutganger over til naboløpet. Det er imidlertid viktig å påpeke at trafikantene sannsynligvis må hjelpes ut av det løpet de har evakuert til.

Gjennom systematisk bruk av forebyggende sikkerhetstiltak basert på risikoanalyser, kan man legge basis for et vel definert sikkerhetsnivå. På den måten vil også risikoen reduseres for at en uønsket hendelse skal inntreffe. I tillegg må det etableres et gjennomtenkt rednings- og skadebegrensende system for å begrense omfanget av en eventuell uønsket hendelse.

I samarbeid med sveitsiske vegmyndigheter er det utarbeidet et nytt kvantitativt risikoanalyseverktøy basert på såkalte Bayesiske nettverk. Modellen beregner risiko for trafikkulykker og skadde og drepte, samt brannfrekvenser i tunneler basert på en lang rekke geometriske- og trafikale størrelser som beskriver tunnelen. Prinsippet ved beregningsmetoden går ut på å dele tunnelen-/tunnelsystemet inn i homogene delparseller og foreta separate beregninger for hver del og deretter addere resultatet til å gjelde hele tunnelen.

Norge er i en særstilling når det gjelder lange og dype tunneler, og vi må selv foreta tilstrekkelig forskning både på tunnel- og kjøretøyområdet for å kunne forsvare en videre utvikling av lange og dype tunneler.

Statens vegvesen har i dag Runehamar test tunnel som brukes til fullskala branntesting av kledninger og utstyr. Den egner seg også utmerket til opplæringsaktiviteter både internt og for eksterne brannvesen. Vi foreslår derfor at dette anlegget videreføres som etatens fullskala forskningstunnel og arena for opplæring.

Rehabilitering og oppgradering av vegtunneler

Rehabilitering og oppgradering av vegtunneler er utfordrende både i forhold til hvilket omfang det skal ha og i hvilken rekkefølge slike tiltak skal ha. Mange hensyn spiller inn i vurderingene og man vil hele tiden måtte vurdere omfanget av “vanlig” vedlikehold på konstruksjon og utstyr i det nærmeste tidsrommet inntil rehabilitering/oppgradering skjer. Dette vil det ikke være enkle svar på og både stedlige forhold, sikkerhetsmessig og teknisk tilstand vil være faktorer som påvirker valgene. Vi ser de strategiske fordelene med å sette i gang arbeidet med å få opp en samla plan for rehabilitering/oppgradering av tunneler hvor disse tiltakene blir sett i en større regional/nasjonal sammenheng.

Rehabilitering av vegtunneler får normalt stort omfang dels fordi det er nødvendig eller praktisk å skifte ut hele systemer/anlegg samtidig i stedet for enkeltobjekter til forskjellig tid og dels fordi rehabilitering av enkelte objekter krever at andre objekter demonteres full-stendig. Rehabilitering gjennomføres når normal levetid for objekter/anlegg/system er gått ut eller når tilstanden på objekter har forfalt mye på grunn av større belastning enn antatt eller forsømt vedlikehold. Oppgradering av vegtunneler utføres fordi regelverk og krav er endret og det er nødvendig å installere nye objekter eller bytte ut eksisterende objekter for å tilfredsstille de nye kravene.

Alle slike prosjekter skal være forankret i en prosjektbestilling med godkjent omfang og innhold. Alle endringer i bestillingen skal underlegges fraviktsbehandling.

Et sentralt spørsmål ved rehabilitering og oppgradering er spørsmålet om rehabiliteringsnivå. Skal det gjennomføres full rehabilitering inkludert oppgradering til gjeldende krav, inkludert oppgradering i henhold til utvalgte gjeldende krav eller uten oppgradering? Eller skal det endog bare gjennomføres delvis rehabilitering?

Kostnadene for rehabilitering og oppgradering av en vegtunnel kan bli betydelige, også sammenlignet med nybygging av tunnel. Alternativet med bygging av nytt løp må derfor alltid vurderes når overslaget er større enn 60 % av kostnaden med nytt tunnellop, og særlig hvis ikke rehabiliteringen/oppgraderingen kan tilfredsstille sentrale krav til framkommelighet og sikkerhet. Bygging av nytt løp kan innebære en klar fordel for trafikkavviklingen under gjennomføringen av arbeidet og sikrer en mer framtidsrettet løsning som da vil være i tråd med gjeldende krav og ikke et kompromiss i forhold til disse kravene.

Nytten av rehabilitering og oppgradering av en enkelt tunnel på en strekning med flere tunneler eller på et sammenkoblet vegnett med flere tunneler kan være liten dersom det ikke gjøres tiltak på flere tunneler samtidig. Samlet rehabilitering og oppgradering av tunneler på en strekning eller i et nettverk bør derfor prioriteres når man først starter på rehabiliteringen av disse tunnelene, slik at nytten for trafikantene kan tas ut så raskt som mulig. Dette innebærer ikke at strekninger med flere vegtunneler alltid skal prioriteres framfor strekninger med en enkelt tunnel, men at arbeidet bør omfatte alle tunnelene på strekningen når man først prioriterer den aktuelle strekningen. Nyttekostnadsanalyser og alternativsvurderinger bør benyttes ved utredning av slike problemstillinger.

Det er i avsnittene over redegjort for problemstillingene man står overfor når vegtunneler skal rehabiliteres og/eller oppgraderes. Det er en stor utfordring å finne optimale rehabiliterings- og oppgraderingsnivåene når koblingene mellom beslutninger både for enkelttunneler og mellom

tunneler på samme rute eller i samme vegnettverk er mange og komplekse, samtidig som midlene er begrensede. Rehabilitering og oppgradering er i tillegg et langsiktig arbeid som nødvendigvis må gå over mange år. Dermed oppstår det problemstillinger om hvordan vegtunnelene bør driftes og vedlikeholdes i perioden fram mot rehabilitering og oppgradering.

Disse problemstillingene kan med fordel behandles i et felles forum for hele landet for å sikre en ensartet og samordnet utvikling samt likeartede løsninger på hele vegnettet. En mulig måte å skape dette forumet på er å arbeide med en samla plan for rehabilitering/oppgradering av vegtunneler inkludert alle tilhørende problemstillinger knyttet til prioriteringer, drift og vedlikehold, hensyn til trafikantene og omgivelsene, mm (ref. arbeidet med ras- og skred-sikring på vegnettet).

Konsekvenser og kostnader med ny strategi

For den eksisterende tunnelmassen innebærer den nye tunnelstrategien økt innsats på drift og vedlikehold samt rehabilitering og oppgradering av vegtunneler. Dette innebærer behov for økte rammer til tunneler, men dette er i første rekke en følge av hvordan vi har bygd og vedlikeholdt tunneler tidligere, med et stort forfall som resultat. Ny tunnelstrategi gir anvisning på hvordan man på beste måte, inkludert mest økonomiske måte, skal komme ut av denne situasjonen og etablere en forbedret praksis for framtidig virksomhet på tunnelområdet.

Planlegging av nye vegtunneler representerer en relativt beskjeden del av ressursinnsatsen knyttet til vegtunneler. De forslagene som ny tunnelstrategi innebærer av økt innsats på plansiden vil derfor ikke få vesentlig betydning for kostnadsbildet totalt, men vil kreve ressurser for gjennomføring i Statens vegvesen. Et nytt opplegg for planlegging av vegtunneler kan imidlertid medføre riktigere bruk av tunnel som element og dermed bidra til bedre totaløkonomi for vegnettet.

Konsekvenser av ny strategi for bygging av vegtunneler er følgende:

- Ikke behov for inspeksjon bak hvelv
- Økte krav til konturkvalitet og forsiktig sprengning, tilhørende redusert sikringsbehov
- Økt tidsforbruk ved driving og økte investeringskostnader, om lag 15-30 %. Akkumulerte totale vegholderkostnader viser gevinst for helstøpt hvelv ved ÅDT 8000 og høyere og liten forskjell ved lavere ÅDT
- Omkjøringskostnader reduseres pga reduserte frekvens og redusert tid for gjennomføring av rehabilitering
- Materialbruk innebærer at ferdig konstruksjon ikke blir brennbar

For drift og vedlikehold av vegtunnelene oppnår man følgende ved implementering av ny tunnelstrategi:

- Økt opptid for tunnelene: Effektiv drift/vedlikehold, mindre svikt i konstruksjoner og tekniske systemer
- Større kontroll med framtidige kostnader for drift og vedlikehold

Kostnadmessig vil konsekvensene av strategiforslagene kunne utgjøre en økning av byggherre-ressursene. Dette er vanskelig å kvantifisere, men antas langt på veg å bli kompensert av et mer effektivt vedlikehold gjennom blant annet aktiv bruk av RAMS metodikk ved plan-leggingen.

Videre vil et T10,5 profil med mulighet for regulert toveistrafikk i samme løpet, som i byggefasen utgjør en økning på kr. 5000.- pr meter, medføre besparelser i form av reduserte omkjøringskostnader. Kostnadsøkningen med større profil må sees i et 100-års perspektiv, jfr. byggestrategien.

På området tunnelsikkerhet vil den nye tunnelstrategien ha følgende konsekvenser:

- Økt sikkerhetsnivå med bedre styring av sikkerheten til besluttet nivå
- Generelt økt trafikksikkerhet og brannsikkerhet

Kostnadmessig vil konsekvensene av strategiforslagene medføre en kostnadsøkning på ca. kr. 5000.-/m med profiløkning til T10,5, jfr. også ovenfor. Det er et vesentlig poeng i vår tenking at de konstruksjonsendringene som er gjort i byggestrategien (og som har fått tilslutning i ELM i 2011) skal sees i et 100-års perspektiv. I og med at 1,0 m forsterket midtoppmerking i tunneler har effekt i dag for ÅDT > 4000 så betyr det også at det samme tiltaket i hvert fall vil få denne effekten i tunneler som i dag har mindre trafikk men som da kan ta imot større trafikkmengder uten at det vil være behov for profiløkning. Kort og godt ved å bygge for framtida. Fremtidig profiløkninger vet vi vil være kostnadskrevende og i praksis lite gjennomførbart i de fleste tilfeller.

Vårt forslag om at tunneler skal bygges med maks 5 % stigning vil medføre at undersjøiske tunnelene vil bli lenger enn om man kunne bygge med større stigning. 100 m høydeforskjell vil gi tunnellengde på 1400 meter ved 7 % stigning og 2000 m ved 5 %. Her vil oppnådd større sikkerhet måtte veies opp mot lengere tunnel og større kostnad.

For rehabilitering og oppgradering av vegtunnelene oppnår man følgende ved implementering av ny tunnelstrategi:

- Samla plan for rehabilitering og oppgradering både regionsvis og på landsbasis
- Større krav til vurdering av strekningsvis oppgradering
- Krav om vurdering av nytt løp ved gitte kriterier
- Generelt økt trafikksikkerhet og brannikkerhet

Kostnadmessig vil konsekvensene av strategiforslagene gi utslag i de tilfeller hvor alternativet med bygging av nytt tunnellop slår inn. Denne merkostnaden må også sees i et levetidsperspektiv og med den sikkerhets- og drift og vedlikeholdsmessige fordelene det vil være med muligheter for to løp. Strekningsvis oppgradering vil ikke nødvendigvis gi større kostnader, men påvirke tidslinjen for når kostnadene kommer.

Implementering av ny strategi

Hovedtrekkene i arbeidet med implementering av ny tunnelstrategi vil være som vist nedenfor.

- 1 Fullskalaforsøk med helstøpt tunnelhvelv gjennomføres for å bygge opp kompetanse og erfaring på metoder og materialer. Flere alternative løsninger bør utredes og eventuelt prøves.
Fullskalaforsøket legges til en vegtunnel (>2000 m) og gjennomføres så snart som mulig.
Fullskalaforsøket inkluderer faglig utviklingsarbeid på flere områder og baseres på norsk og internasjonalt samarbeid, inkludert entreprenører.
- 2 Vedtatt tunnelstrategi konkretiseres og bestemmelser/beskrivelser tilrettelegges for implementering i vegnormaler, retningslinjer, Statens vegvesens kvalitetssystem, mm.
Hovedelementene i strategien tilrettelegges for følgende håndbøker:
 - Håndbok 021 (og 017, 018): Utforming, utstyr, materialer, o.l.
 - Håndbok 163: Vann- og frostsikring i tunneler
 - Håndbok 151: Planprosess (KVU/KS1, kommunedelplan og reguleringsplan), prosjektbestillinger, gjennomføring av prosjekter
 - Håndbok 066: Kontrahering, konkurransegrunnlag
 - Håndbok 111: kravspesifikasjoner for drift og vedlikehold (og rehabilitering)

I denne sammenhengen gjennomføres det en samling og tilrettelegging av alle styrende dokumenter for vegtunneler for økt tilgjengelighet.
- 3 Opplæring rettet mot Statens vegvesen, entreprenører og rådgivere:
 - Tunnelskolen videreføres og videreutvikles
 - Behov og områder for utvikling av fagspesifikke kurs, inkludert samarbeid med aktuelle kursarrangører
- 4 Samarbeid med bransjen, dvs entreprenør-, rådgiver- og leverandørorganisasjoner samt enkeltaktører gjennom
 - Policygruppe
 - Bransjefora og nettverk
 - Fullskalaforsøket (pkt. 1 over)

Framdriften i implementeringen vil være styrt av beslutningsprosessen for hovedstrategien samt for nødvendige underliggende delbeslutninger. Innarbeiding av elementer fra ny tunnelstrategi i styrende dokumenter kan starte umiddelbart etter at beslutning om ny tunnelstrategi er fattet. Dette vil være en kontinuerlig pågående prosess hvor framdriften delvis vil være avhengig av de ordinære rutine for revisjon av de enkelte dokumentene.

B Resultater fra delprosjekter

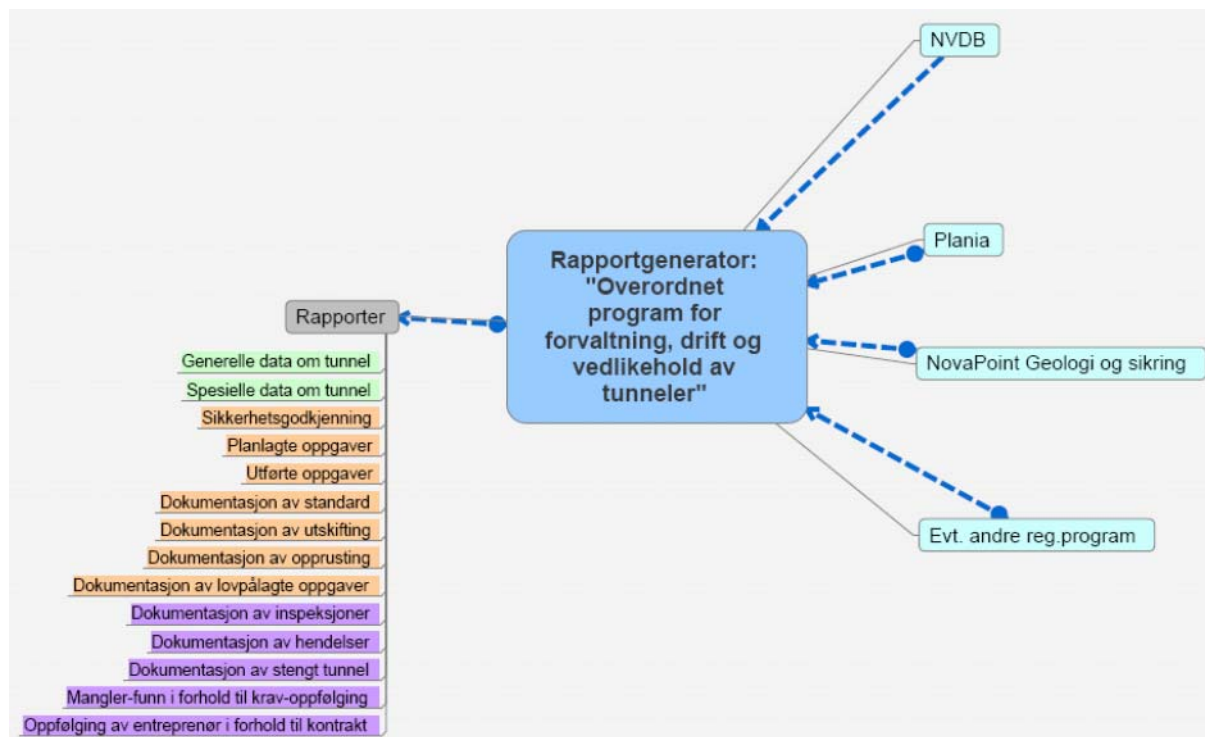
Tunneldokumentasjon

Overordnet program for forvaltning, drift og vedlikehold av tunneler

Referanser Tunnelsikkerhet
 Rapport utarbeidet av bransjesammensatt arbeidsgruppe bestående av RIF, MEF, EBA og Statens vegvesen, 11. juni 2017

Samferdselsdepartementet
 Statens vegvesens systemer for rapportering og formidling av styringsinformasjon
 AGENDA Utredning & Utvikling AS, 15. oktober 2007

Etaten har i dag “Forvaltnings-, drift og vedlikeholdssystemet” Plania for tunnel. Systemet ivaretar deler av alle de behov som naturlig hører inn under et komplett FDV-system. Det er ulike behov for ulike forvaltningsnivåer og nødvendige data og informasjon skal enkelt kunne hentes ut med lavest mulig brukerterskel. Med denne bakgrunn har Moderne vegtunneler gjennomgått dagens Plania sett i sammenheng med de oppgraderinger som er i gang og gjort nødvendige øvrige kravspesifikasjoner som må oppfylles for et overordnet tunnelforvaltningssystem.



Plania

I “Forvaltnings-, drift og vedlikeholdssystemet” Plania styres alle oppgaver i tunnelen når det gjelder forvaltning, drift og vedlikehold. Programmet ble utviklet og tatt i bruk ca 1990. Vi har i dag en avtale om bruk med firmaet som har utviklet programmet. Plania har i dag en Web-løsning som plattform.

Det er gjort et omfattende arbeid for å samkjøre NVDB (Nasjonal vegdatabank) og Plania. Det vil si at faktadata om tunnelene vil ligge begge steder.

NovaPoint geologi og sikring

Moderne vegtunneler har i samarbeid med ViaNova utviklet en standardisert, enkel og funksjonell metodikk for registrering, presentasjon og lagring av geologi- og sikringsdata i tunneler. Denne modulen er en del av NovaPoint tunnel systemet.

Data produsert fra borerigg vil lagres i en database på en slik måte at det er mulig å bruke dem også ved senere drift- og vedlikeholdsoppgaver.

Overordnet program – rapportgenerator

Prinsippene for et overordnet program for forvaltning, drift og vedlikehold av tunneler er at det er etablert en rapportgenerator som utnytter/henter fagdata fra allerede eksisterende programmer og databaser. Rapportene vil utformes og gjøres tilgjengelig på en enkel måte fra NVDB, Plania eller via Vegveven. Rapporter over faktadata fra tunnelene (antall, utstyr og installasjoner) skal kunne tas ut både i NVDB og i Plania. Det vil også bli kartvisning.

Programmet bidrar til at en får god styring og oppfølging av entreprenørene gjennom de kontrakter som brukes.

Dokumentasjon av geologi og bergsikring

Referanser	Tunnelsikkerhet Rapport utarbeidet av bransjesammensatt arbeidsgruppe bestående av RIF, MEF, EBA og Statens vegvesen 11. juni 2017
	Novapoint Tunnel: Geologi og bergsikring Brukerveiledning, Vegdirektoratet 2011
	Inspeksjon av stabilitetssikring av berg i vegg-tunneler Høringsutgave 2012

Statens vegvesen forvalter mer enn 1000 tunneler og bygger 20-30 tunneler årlig. Vi har programmene Novapoint til planlegging og som bygget dokumentasjon, og Plania som forvaltning, drift og vedlikeholdsprogram (FDV). De to programmene gir mulighet til en samlet oversikt over geologi, bergsikring og tilstand. Det er viktig at det linkes dokumenter med geologisk informasjon og geologiske inspeksjonsrapporter i Plania. Plania har utviklet et web-grensesnitt slik at en enkelt får oversikt over tunnelene i Norge og tilhørende data om den enkelte tunnel.

Novapoint tunnelmodulen er blitt videreutviklet til å inneholde en Geologi- og bergsikrings-funksjonalitet. Dette arbeidet er utført i samarbeid med ViaNova som er eier av Novapoint-programmet. Arbeidet har vært delt i to faser. Fase I ble slutført 2009 og har vært i bruk på våre byggeprosjekter siden da. Fase I gir en mulighet til å registrere geologi og sikring under tunnelbygging og lagre dette i en database. Filene lagres som xml-filer. Det er også tilrettelagt for enkel og revolusjonerende tegningsproduksjon av geologiske registreringer, utført bergsikring, og vann og frostsikring langs utbrettet tunnelgeometri. Det har vært fokus på et enkelt brukergrensesnitt. Fase II har vært en videreutvikling av fase I med blant annet håndtering av fotograferte tunnelflater, boreparameterinterpretasjon MWD (Measurement While Drilling) og presentasjon av disse sammen med geologi og sikringskartleggingen. Det er også utviklet en mulighet for lagring av filer som f.eks. foto av stoff.

Fase II er en ny revolusjonerende utvikling av et allerede vellykket program. Nyheter:

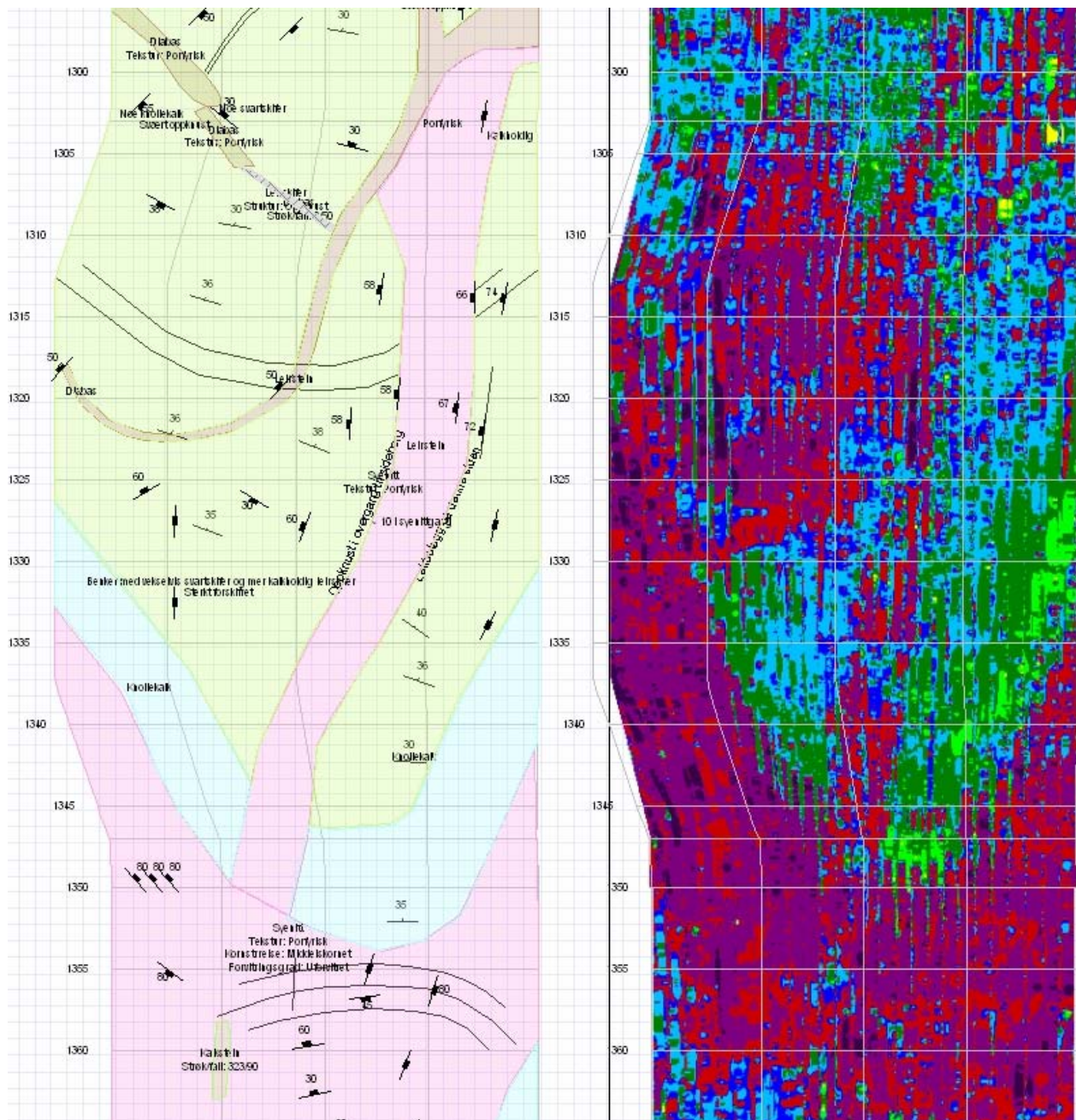
- Bedret funksjonalitet og mulighet for lagring av filer, skannede skisser av kartleggings-skjemaer.
- Import av og lagring av fotograferte tunneloverflater og MWD data.
- Innlegging av vann og frostsikring
- Forbedret loggbok
- Behandling og presentasjon av fotograferte tunneloverflater og presentasjon av MWD data i tegningsgeneratoren for produksjon av A3 tegninger sammen med geologi og sikring
- Laserskanning av tunneler
- Brukes til å dokumentere overmasse/knøler i byggeprosessen
- Rehabilitering av tunneler/strossebehov

Det er blitt utviklet en helt ny måte med funksjonalitet for behandling av data fra laserskanning av tunneler. Skanningen kan gjøres under byggingen av tunnelene eller ved laserskanning av

rehabiliteringsprosjekter. Det er blitt laget rapporter med en tunnelprofilrapport og en utbrett av tunneler i A3 med angivelse av over- og undermasse og antall kubikkmeter berg. Det rapporteres også i regneark med angivelse av profilnummer og antall kubikkmeter som må strosses og plassering. Dette vil danne et godt grunnlag som dokumentasjon av utvidelse ved utsetting av rehabiliteringskontrakter.

Fase II av programmet er under testing. En håper å få rullet ut programmet til brukerne før sommeren 2012.

Illustrasjonen nedenfor viser registrert kartlagt geologi til venstre og MWD-tolking av bergartens hardhet til høyre (laget av Are Høien).



Planlegging av vegtunneler

Statens vegvesen skal innføre rutiner og fullmakter som sikrer en restriktiv og ensartet praksis når det gjelder bruk av tunnel som løsningsalternativ i konseptvalgutredninger, kommune(del)planer og reguleringsplaner. Rutinene og fullmaktene skal være forankret i regionledelsen og Vegdirektoratet. Det skal spesielt gjennomføres innstramminger i regelverket for å unngå bratte og lange tunneler, for å sikre enhetlig vurdering i Statens vegvesen av tunnel som løsning, for å sikre at fravikssøknader fremmes så tidlig som mulig i kommune(del)plan og reguleringsplanprosessen og for å sikre ferdig fraviksbehandling før planvedtak.

Alternative løsninger til tunnel skal normalt utredes (veg i dagen, bru, fergesamband). Dersom tunnel er eneste aktuelle løsning, skal dette begrunnes særskilt.

Konsekvensene av tunnelloesninger skal alltid være grundig dokumentert, slik at levetids-kostnader og konsekvenser for fremkommelighet (også ved stengt tunnel), sikkerhet og miljø kommer tydelig fram. Det skal dokumenteres at bygge-, drifts- og vedlikeholds kompetanse har deltatt aktivt i planprosjekter for vegtunneler.

Statens vegvesen skal være tilbakeholden med å utrede løsninger som krever fravik fra vegnormalenes tekniske anvisninger for tunneler. Dette gjelder særlig forhold med betydning for sikkerheten.

I byområdene skal Statens vegvesens planressurser i hovedsak brukes til strategiske avklaringer for arealbruken og transportsystemet med oppfølgende detaljplaner. Med dagens bypolitikk betyr dette i praksis at planressursene i hovedsak må brukes til å tilrettelegge for kollektivtrafikk, gange og sykling.

Statens vegvesen skal være proaktive i media for å framstå som en tydelig fagetat om begrensningene og mulighetene/fordelene og ulempene ved tunnel som løsning.

I Statens vegvesen sitt kvalitetssystem skal et eget utkvitteringssystem sikre og dokumentere at det blir gjennomført nødvendige alternativs- og konsekvensvurderinger for konseptvalgutredning, kommune(del)plan og reguleringsplan, at nødvendige fagmiljøer har vært involvert og at de tekniske anvisningene i vegnormalene blir fulgt.

Ved bruk av vegtunnel skal det finnes tilfredsstillende løsning med hensyn på sikkerhet og framkommelighet for alle trafikantergrupper inkludert syklende og gående.

Lik tilgjengelighet for alle trafikanter skal tilstrebes for evakueringsveger og installasjoner innrettet for bruk av trafikanter.

Tunnelstudiet

Referanser	Tunnelsikkerhet Rapport utarbeidet av bransjesammensatt arbeidsgruppe bestående av RIF, MEF, EBA og Statens vegvesen, 11. juni 2007
	Samferdselsdepartementet Statens vegvesens systemer for rapportering og formidling av styringsinformasjon AGENDA Utredning & Utvikling AS, 15. oktober 2007
	Tunnelskolen Sluttrapport for gjennomføring av pilot 2008-2009, kull 1 og 2 Statens vegvesen, Vegdirektoratet, april 2010

Tunnelstudiet, opprinnelig betegnet Tunnelskolen, ble startet opp med bakgrunn i hendelsen i Hanekleivtunnelen i 2006 samt andre uheldige hendelser i vegtunneler som ras og brann. Implementering av EU-krav i Tunnelsikkerhetsforskriften med tilhørende sikkerhetsforvaltning og sikkerhetsgodkjenning av vegtunneler ga også behov for økt kompetanse og mer tverrfaglig kompetanse. Sterkere fokus på drift og vedlikehold samt behovene for rehabilitering og oppgradering som vurderingene av forfall og etterslep ga kunnskap om, ga også klare føringer for bedring av kompetansen innen tunnelområdet.

Tunnelstudiet ble etablert på grunnlag av vedtak i Etatsledermøtet i juni 2008. Første kull ble gjennomført i 2008-2009 og andre kull i 2009. Evaluering av gjennomføringen av de to første kullene ble Tunnelstudiet besluttet videreført som et fast årlig kurs i Etatsledermøtet i januar 2010.



Deltakerne var fra starten rekruttert fra Statens vegvesen, regionene og Vegdirektoratet, og ble valgt ut med en fordeling mellom drift, bygging og planlegging som hovedarbeidsområder. Likeså ble studentene valgt ut med en forskjellighet i faglig bakgrunn: elektro, geologi, bygg og anlegg, planlegging. Totalt deltok 30 studenter i kull 1.

Vinteren 2009 ble det innledet samarbeid med Jernbaneverket. Dette resulterte i et godt samarbeid knyttet til utarbeidelse av programmet for Tunnelstudiets kull 2. I alt omfattet kullet 28 deltagere, 25 fra Statens vegvesen og 3 fra Jernbaneverket.

Etter gjennomføring av kull 2 ble Tunnelstudiet tatt ut av prosjektet «Moderne vegtunneler» og videreført som ordinær linjeoppgave i Statens vegvesen, i regi av HR-avdelingen og Teknologi-avdelingen. Fra kull 3 ble Tunnelstudiet åpnet for deltagerne fra hele veg- og tunnelsektoren, dvs også fra rådgiver- og entreprenørbransjen.

Tunnelstudiet gjennomføres med 4 – 5 samlinger. Foreleserne på Tunnelstudiet er hentet fra Statens vegvesen Jernbaneverket, konsulentfirma, entreprenører, brannvesen, NTNU, OPS-selskap og andre. Undervisning gjennom forelesning suppleres med befaringer og gruppeoppgaver, inkludert

arbeid med oppgaver hjemme mellom samlingene. NTNU er også involvert i Tunnelstudiet som nå er et studiepoenggivende Høyskolestudium EVU (etter- og videreutdanning).

Bygging av vegtunneler

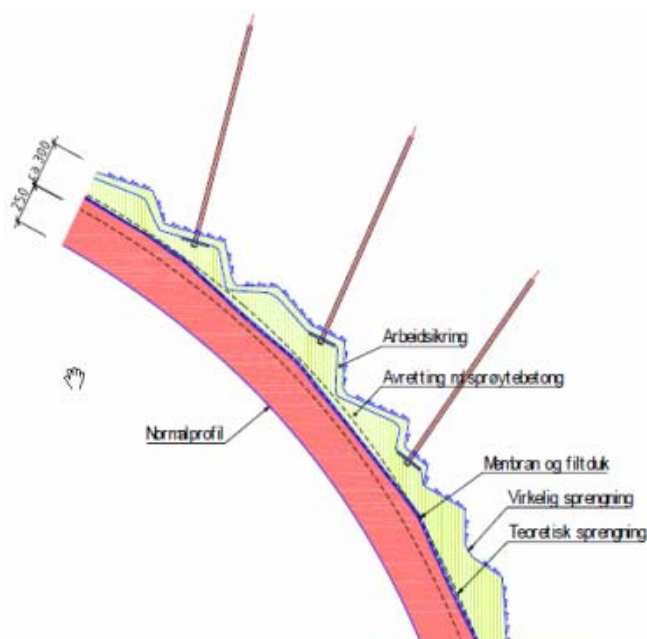
Referanser	Moderne vegtunneler Strategi for bygging av nye vegtunneler Norconsult, 2010-06-28
	Moderne vegtunneler Analyse av konsekvenser av alternative byggestrategier ViaNova Plan og Trafikk AS, 2011-06-14

En strategi for nye vegtunneler der økt levetid, økt teknisk standard og økt trafiksikkerhet er viktige elementer krever tekniske utredninger knyttet til metode for bygging av nye vegtunneler samt bedriftsøkonomiske og samfunnsøkonomiske analyser av konsekvensene av nye byggestrategier.

Det er gjennomført tekniske vurderinger og foreslått følgende strategiske grep:

- Norske vegtunneler skal i fremtiden dimensjoneres for 100 års levetid når det gjelder tunnel- og 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 tunnelverrsnitt 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 ved bygging og økte investeringskostnader. Tids- og kostnadsøkningen er anslått til ca. 15-30 % 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. Disse forholdene er utredet spesielt i en analyse av konsekvenser av de to alternative byggekonseptene for tunnel, tradisjonell utførelse iht håndbok 021 Vegtunneler og utførelse med helstøpt tunnelhvelv.

Analysene er utført for følgende situasjoner:

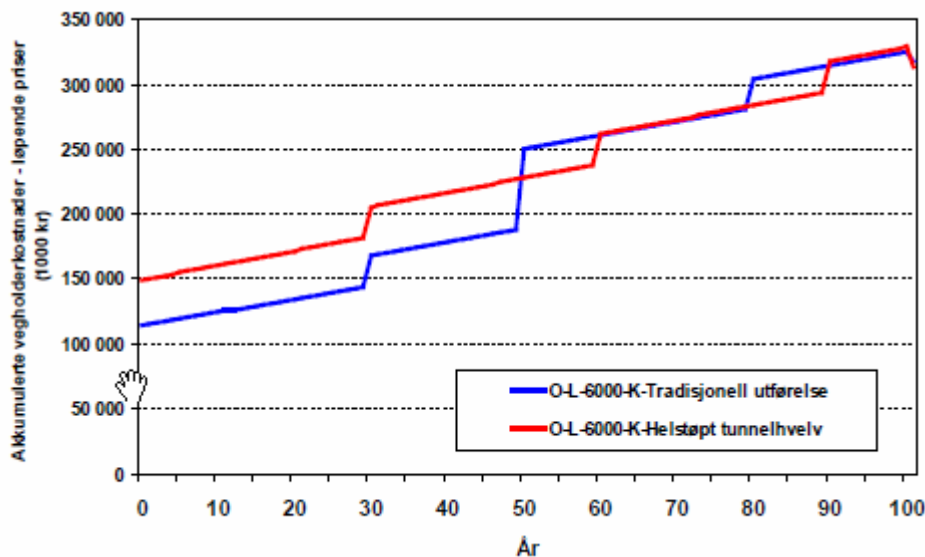
ÅDT 6 000	T10,5	(ett tunnellop)
ÅDT 10 000	T10,5	(ett tunnellop)
ÅDT 20 000	2xT10,5	(2 tunnellop)
ÅDT 75 000	2xT13	(2 tunnellop)

Følgende kostnader inngår i nyttekostnadsanalysen (pris-satte konsekvenser):

- Byggekostnader
- Drifts- og vedlikeholdskostnader (omregnet til årlig kostnad)
- Rehabiliteringskostnader, tekniske installasjoner
- Rehabiliteringskostnader, konstruksjon (stabilitets-, vann- og frostsikring)
- Trafikantkostnader for omkjøring ved stengt tunnel (drift/vedlikehold/rehabilitering)

Trafikantkostnadene er beregnet ved hjelp av EFFEKT og omfatter kostnadselementene tidskostnader, kjøretøykostnader, ulykkeskostnader, klimagassutslipp (inkl. regional luftforurensning), inntekt fra drivstoffavgift og skattekostnader.

Studium av de to byggekonseptene 1) *Tradisjonell utførelse av vegtunneler* og 2) *Helstøpt tunnelhvelv* har vist at byggekostnadene er høyest for alternativ 2, kostnader for drift og vedlikehold er omtrent like for de to alternativene mens kostnadene for rehabilitering av tunnelene er klart lavest for alternativ 2, som vist nedenfor for en oversjøisk tunnel med ÅDT 6 000.



Nyttekostnadsanalysen viser at byggekonseptet helstøpt tunnelhvelv er samfunnsøkonomisk lønnsomt på linje med eller bedre enn lønnsomheten for tradisjonell utførelse av vegtunneler ved ÅDT 6000/10000 dersom omkjøringskostnadene er vesentlige. Ved høyere ÅDT øker lønnsomheten for byggekonseptet helstøpt tunnelhvelv ift tradisjonell utførelse av vegtunneler med økende ÅDT.

Videre viser analysen at byggekonseptet helstøpt tunnelhvelv innebærer mindre stengetid for tunnelen i forbindelse med rehabilitering. Dette medfører økt lønnsomhet ift tradisjonell utførelse av vegtunneler i situasjoner hvor stengning av tunnelen medfører store konsekvenser for trafikantene eller omgivelsene.

Tunnelutforming - konturkvalitet

Referanser Kontursprengningsforsøk med ulike bore/ladeplaner i Rv.70 Eikremtunnelen på StorKrifast
VD rapport Nr. 13
Vegdirektoratet, desember 2011

Dersom kvaliteten på kontursprengningen i tunnel forbedres, det vil si å oppnå en jevn, god kontur med minst mulig skade på gjenstående berg og lite overmasser, vil dette gi en rekke fordeler med hensyn til økonomi og levetid. Hvordan tunnelen drives ut (dvs. sprenges) er avgjørende for oppnådd kontur. Drivingen kan gjøres skånsomt med vekt på jevne, uskadete vegger eller mindre forsiktig med lite fokus på konturkvalitet. For å vinne erfaring med kontursprengning er det gjennomført praktisk uttesting ved prosjekter med konvensjonell drift med boremønster, tennerbruk, sprengstoff og andre forhold.

En god kontur kjennetegnes av:

- Jevnest mulig tunnelprofil etter sprengning, dvs. parallelle og synlige borpiper, minst mulig utfall av berg og ingen gjenstående knøler.
- Oppnådd tunnelprofil skal ligge nærmest mulig prosjektert kontur, med tilstrekkelig plass til nødvendig sikring. Minst mulig overmasser/overberg.
- Ikke bare jevnhet innen hver salve, men også mellom salvene, dvs. helst minimale og avrundete hakk i salveskjøtene.
- Minst mulig sprekkedannelser i gjenstående berg etter sprengning (lite sprengningsindusert oppsprekking).

Hovedprinsippet for hvordan dette oppnås kan oppsummeres slik:

- En gjennomtenkt bor-, lade- og tennplan tilpasset både geologi og geometri
- Nøyaktig boring med svake og jevnt fordelte ladninger og samtidig/nøyaktig tenning i og nær konturen

Det er gjort forsøk med ulike bor- og ladeplaner under byggingen av Rv.70 Eikremstunnelen i Møre og Romsdal. Det er brukt SEE-emulsjon (slurry), gule 22 mm rør og orange 17 mm rør i konturen med hullavstand/forsetning fra 0,7 m/0,9 m til 0,5 m/0,5 m.

Forsøkene viste at selv med dagens kraftige maskiner (høy borsynk, relativt grove, lange hull) gir nøyaktig boring, tilstrekkelig med hull og redusert lading/forsetning en bedre kontur og mindre overmasser. Dette vil føre til mindre rensk, kortere lasting og mindre sikring.

Slurry har fordeler som rask og effektiv lading av alle hull, lite avgasser, men er ikke et ideelt kontursprengstoff. Det blir ofte ladet for hardt, både i bunn og langs strengen ellers. Rørladninger gir bedre kontur og mindre belastning på gjenstående berg, men er tidkrevende og kostbart. Feil på laderiggen førte imidlertid til at slurryen ikke ble prøvd ut ordentlig i disse forsøkene, men sprengstoffmengden vil i praksis ligge over gule rør.

Rørladningene resulterte derimot mindre rensk (pigging, spett) og enklere sprøyting av en slettere kontur. Dette vil gi mindre betong og bolting. Et relativt lite antall forsøkssalver gir ikke stort grunnlag for konklusjoner, selv om tendensen er der.



Produsenter/leverandører oppfordres til å levere et bedre kontursprengstoff for tunnel, rask å lade og med den ønskede effekt. Det syntes ikke å være noen forskjell i mengde overmasser på slurry kontra rør, men er også boringen avgjørende. Ved siden av redusert lading/forsetning er nøyaktig boring meget viktig og boringen bør kunne gjøres bedre innenfor de gitte rammene på prosjektet (krav til inndrift, raske/kraftige bormaskiner).

Unøyaktig boring og stor stikning kompensert ved hard lading med slurry slår verst ut på alle felter (overforbruk av sprengstoff, mye masser, lang rensk, mye sikring). Et steg på veien mot fullgod kontur er bedre og mer detaljert beskrivelse av hvordan kontursprengningen skal utføres. Alternativet er å betale entreprenøren for oppnådd resultat uten å stille krav til metode, enten ved å måle sluttproduktet (grad av jevnhet, mengde overmasser), eller gjennom bonusordninger knyttet til utstøping; gi entreprenøren innsparingen på konstruksjonsbetongen.

Tunnelutforming - tunnelkledning

Etatsprogrammet Moderne vegtunneler har vært konsentrert om utarbeidelse av en helhetlig tunnelstrategi, som ivaretar krav som gjelder levetid, sikkerhet, kvalitet og kostnader. Arbeidet knyttet til tunnelkledning bygger på og viderefører arbeidet med evaluering og utvikling av brannbestandige vann- og frostsikringsløsninger for tunneler.

Et par av utfordringene som gjelder dagens løsninger med frittstående vann- og frostsikringskonstruksjoner kan nevnes spesielt:

- 100 % fuktighet bak hvelv. Fuktigheten sammen med vannkjemi og bakterievekst tærer på materialer, både til montering av hvelv og bergsikringsmidler.
- Det er krav om rutinemessig inspeksjon av bergsikringen bak frittstående hvelv. En bedre tilrettelegging av dette arbeidet innebærer bygging av større tunnelprofil gjennom hele tunnelens lengde og/eller installasjon av utstyr som muliggjør teknisk inspeksjon.

En av hovedmålsettingene i arbeidet med tunnelstrategi var, på bakgrunn av sikkerhet, helse og arbeidsmiljø, at tunnelkonstruksjoner utformes slik at det ikke skal være behov for inspeksjon bak hvelv i nye tunneler.

Den omfattende utbyggingen av tunneler på lavtrafikkerte veger har ført til en utvikling av ulike typer rimelige løsninger for vann- og frostsikring. I tunnelstrategi-arbeidet er det foretatt undersøkelser av rehabiliterings- og oppgraderingskostnader for tunneler. Undersøkelsene viser at kostnadene for en stor del er knyttet til tunnelkledninger, spesielt har lette konstruksjoner relativt kort levetid.

Moderne vegtunneler har i utarbeidelsen av tunnelstrategien kommet fram til en helhetlig løsning for vann- og frostsikring: helstøpt tunnelhvelv. Løsningen ivaretar krav til tunnelkledninger og er aktuell for alle tunnelklasser. Løsningen er uten brannfarlig isolasjon og fjerner en utfordring med hensyn til HMS ved arbeid (inspeksjon) i fremtidige vegtunneler. Konseptet forutsetter både en jevn kontur og bergsikring i henhold til dagens krav. Vann- og frostsikringen er bygd opp av sprøytebetong til avjevning, fiberduk og membran, og støpt, uarmert betong mot tunnelrommet.

I følge tunnelstrategien kan frittstående hvelv være aktuelle for lavtrafikk-tunneler, hvelvene dimensjoneres for en levetid på 50 år. Dette medfører en nøye gjennomgang av aktuelle løsninger med hensyn til langtidsbestandighet. Løsninger og materialer må være tilpasset miljøet i tunneler, og de spesielle lastene hvelvet utsettes for. Ett fellestrekk ved alternative løsninger er en forutsetning om jevn kontur for sprøyting eller montering. Forslag om udrenerte løsninger krever spesielle vurderinger. Alle vann- og frostsikringsløsninger i vegtunneler til nå er basert på drenering av vann til grøft. Dette er også et krav i dagens håndbøker. Det er igangsatt et arbeid med vurdering av ulike typer sprøytbare membraner i udrenerte løsninger.

Krav og retningslinjer for tunnelkledninger er gitt i håndbok 021 Vegtunneler og håndbok 163 Vann- og frostsikring i tunneler. En viktig del av arbeidet med tunnelkledninger, og spesielt konseptet helstøpt tunnelhvelv, er gjennomgang av dagens krav. I prosjektet er det blant annet

foretatt tester av ulike typer membranmaterialer med tanke på en presisering av krav som skal ivareta kvaliteten på materialene som brukes både bak frittstående hvelv og i helstøpt tunnelhvelv.

Videreføring av arbeidet innbefatter fullskala montering av helstøpt tunnelhvelv i vegtunnel, inkludert sprengning av jevn kontur. Det er foreløpig lite erfaring med membranisolert støp i norske vegtunneler, men det er en kjent metode i Norge og andre land gjennom mange år. Løsningen er solid, men avhenger også av kvalitet i alle ledd og for alle typer materialer. Bruk av konseptet helstøpt tunnelhvelv medfører at norske tunneler blir mer ensartede, og får en mer forutsigbar situasjon med hensyn til utførelse, materialer og bestandighet.

Branntest og dokumentasjon

Referanser	Dokumentasjon av PP-fiber til bruk i brannsikring av betong - Produksjon av testelementer for brannprøving Statens vegvesen rapport nr. 83
	Dokumentasjon av PP-fiber til bruk i brannsikring av betong - Brannprøving etter HC-kurven av betong med PP-fiber. Statens vegvesen rapport 84
	Dokumentasjon av PP-fiber til bruk i brann-sikring av betong - Testprosedyre og krav til dokumentasjon Statens vegvesen rapport nr. 85
	Fullskala branntest av sprøytebetong med PP-fiber brukt som brannsikring av PE-skum – 100MW brann i Runehamar Test Tunnel Statens vegvesen rapport nr. 116

Betong er generelt ansett å ha gode egenskaper med hensyn til brannmotstand. Det er et ikke-brennbart materiale og har god isoleringsevne (temperaturtrekt). Med disse egenskapene kan materialet betong virke som en passiv brannbeskyttelse av brennbart materiale dersom tykkelsen bevarer under brannen.

Høye temperaturer og rask oppvarming kan føre til eksplosiv avskalling i betongen. Der betong er brukt som brannbeskyttelse av brennbar isolasjon vil eksplosiv avskalling kunne føre til eksponering av denne. For massive betongkonstruksjoner vil eksplosiv avskalling redusere bæreevnen ved at tverrsnittet blir mindre og i tillegg vil armeringen miste sin styrke ved eksponering for høye temperaturer, som igjen gir redusert bæreevne.

Det har siden 1980-tallet vært kjent at fine polypropylenfiber (PP-fiber) i betongen kan bedre dens egenskaper mht. eksplosiv avskalling ved brannpåkjenning, og PP-fiber har blitt brukt i betong til brannsikring i norske veggutunneler siden 2004. Alle konstruksjonsdeler av betong skal være tilsatt PP-fiber der avskalling ved brann må unngås.

Den typen PP-fiber som Statens vegvesen per dags dato spesifiserer er underlagt et verdenspatent. Det er flere leverandører av dette produktet, men kun én produsent av én type fiber. Vi vet at denne typen fiber gir betong god beskyttelse mot avskalling, men det er ulike teorier om den kompliserte mekanismen som ligger bak. Uten en grundig forståelse er det umulig å forutse om alternativ mikro PP-fiber har tilsvarende virkning, før det sammensatte materialet er brannprøvd. Det er utført forsøk med alternativ fiber med lovende resultater og dette er noe etatsprosjektet Moderne veggutunneler ville følge opp. Ved å åpne opp for bruk av alternativ fiber vil vi fjerne den monopolsituasjonen som finnes i dag, og samtidig bedre konkurransesituasjonen i markedet.

Et omfattende prøvingsopplegg med brannprøving av betong er blitt utført ved SINTEF NBL i Trondheim i løpet 2010 og 2011. Dette er gjort for å utarbeide en testmetode vi kan være trygge på for å dokumentere den branntekniske virkningen av alternativ PP-fiber i betong. Det er brannprøvet konstruksjonsbetong og sprøytebetong med ulike typer PP-fiber, ulike geometrier og spenningsforhold.

Branntestene viser at utformingen av testelementene og evt. oppspenning påvirker resultatet. Videre er det klart at de utprøvde alternative PP-fibrene har tilsvarende egenskaper når det gjelder beskyttelse mot avskalling som dagens spesifiserte PP-fiber. Det er derfor grunnlag for å åpne opp for bruk av alternativ PP-fiber for brannsikring av betong. I den sammenheng er det utformet en rapport (Statens vegvesen rapport nr. 85) som beskriver hvilken dokumentasjon Statens vegvesen vil kreve før bruk. Ulike PP-fibres innvirkning på betongs vannbehov, luftinnhold og støpelighet er ikke undersøkt, og det presiseres at betongprodusenter og leverandører må gjennomføre prøveblandinger for å klarlegge innvirkningen av alternativ PP-fiber på betongs ferske egenskaper.

Gjennomføringen av en fullskala branntest i Runehamar Test Tunnel viste meget klart at dagens løsning med 8cm nettarmert sprøytebetong med PP-fiber som brannbeskyttelse av brennbar isolasjon i tunneler, er meget robust. Brannen var 100MW stor og varte i nesten to timer. Feltet som ble testet i 2011, ble testet i 2006 i en tilsvarende stor brann. Det er ikke utført noen form for reparasjon eller utbedring etter brannen i 2006, og viser således at konstruksjonen er i stand til å tåle en gjentatt stor brann uten nedfall eller kollaps.

Tunge kjøretøy – kjøretøytekniske forhold

Referanser Kjøretøytekniske utfordringer i tunneler
Henning Fransplass, Oslo, 25. november 2011

Kjøretøytekniske utfordringer i tunneler
Henning Fransplass (overheadserie)

Kjøretøyenes tekniske forutsetninger er et område som krever mer oppmerksomhet, spesielt knyttet til varmgang i bremses ved kjøring i fall nedover og økte avgass utslipp ved kjøring i stigning oppover kombinert med mulig overoppheting av motor. Det er viktig at luft i lange tunneler har tilstrekkelig kvalitet slik at motorene til kjøretøyene fungerer tilnærmet optimalt.

Vurderingene vedrørende kjøretøy som kjøres i tunneler som har stor stigning/fall og som er lastet til tillatt totalvekt utgjør derfor på den ene siden en sikkerhetsutfordring og må på den andre siden inngå som en planforutsetning basert på kjøretøytekniske forutsetninger som det ikke har vært så fremtredende i de foretatte risikovurderingene for disse tunneltypene.

I vedlegg 1 punkt 2.2.2 til forskrift om minimum sikkerhetskrav til visse vegtunneler er det om tunnelgeometri beskrevet at “ mer enn 5 % stigning i lengderetningen skal ikke være tillatt i nye tunneler, med mindre ingen annen løsning er geografisk mulig”, og “I tunneler med stigning på mer enn 3 % skal det treffes ekstra og/eller forsterkede tiltak for å forbedre sikkerheten på grunnlag av en risikoanalyse.”

For at kjøretøy skal kunne tas i bruk på eller utenfor offentlig veg, må kjøretøyet tilfredsstillende en mengde tekniske krav, deriblant omfattende krav til kjøretøyets bremseanlegg og oppførsel i lange utforbakker. Det er kommisjonsdirektiv 98/12/EF som regulerer disse kravene. De tekniske kravene til kjøretøyene er tilnærmet like i hele Europa, og kravene må tas med i vurderingen om hvilke stigning/fall den offentlige vegen kan ha for at kjøretøy og infrastruktur skal kunne brukes på en trafiksikker og miljøvennlig måte.

Tilhenger med tillatt totalvekt mellom 750 kg og 3500 kg

I kommisjonsdirektiv 98/12/EF er det blant annet beskrevet at alle tilhengere med en tillatt totalvekt mellom 750 kg og 3500 kg skal være utstyrt med et driftsbremseanlegg som enten er gjennomgående, halvt gjennomgående eller av påløpstypen. Påløpsbremseanlegg er den dominerende driftsbremsen som benyttes på omtrent alle campingvogner og tilhengerer i den nevnte vektclassen. Det er i direktivet gitt konkret krav til når påløpsbremseanlegget skal begynne å virke(reaksjonsterskel).

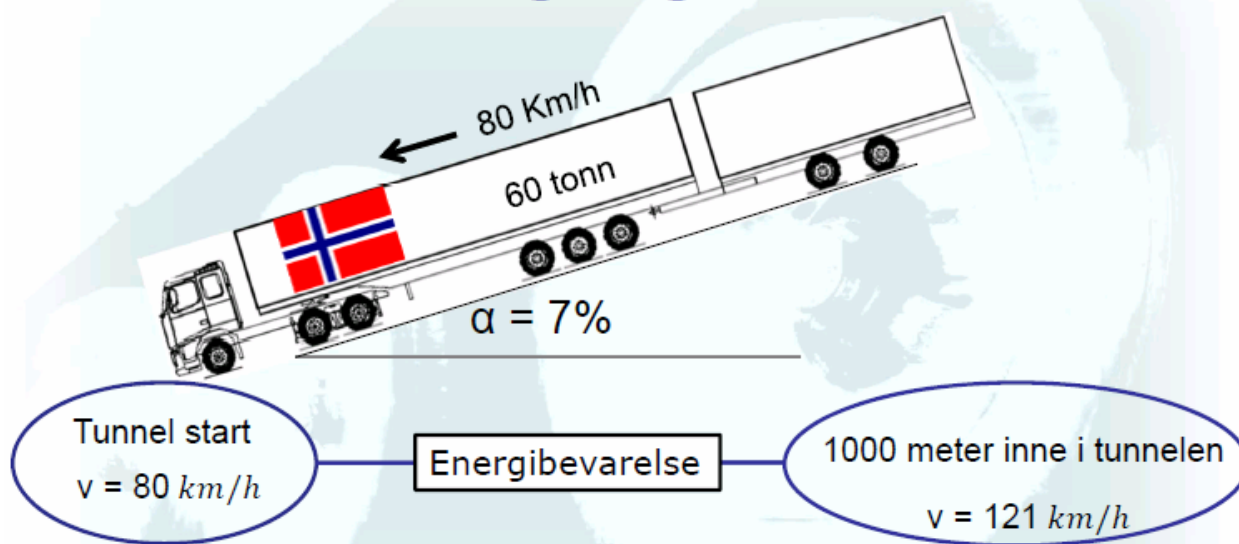
Forenklete beregninger viser at driftsbremsene vil begynne å bremse tilhengeren når bilen og tilhengeren kjører nedover et fall som er mellom 3 og 5 %. Det forutsettes da at tilhengeren er lastet til tillatt totalvekt og at påløpsbremseanlegget fungerer i henhold til nevnte direktiv. Føreren av bilen kan ikke forhindre at driftsbremsen på tilhengeren begynner å bremse når fallet blir større enn 5 %.

Lastebiler som er godkjent for å trekke tilhengere

I kommisjonsdirektiv 98/12/EF er også gitt krav til prøving av kjøretøyets oppførsel i lange utforbakker. Kjøretøy med last skal prøves på en slik måte at energitilførselen svarer til den registrert i samme tidsrom for et kjøretøy med last som med en midlere hastighet på 30 km/h kjører nedover et fall på 7 % over en strekning på 6 km. Under prøvingen skal drifts-, nød- og parkeringsbremseanlegget ikke benyttes. Giret som er valgt, skal være slik at motorens turtall ikke overstiger den høyeste verdi fastsatt av produsenten. En integrert mellomakselbremse kan benyttes, forutsatt at den er hensiktsmessig justert på en slik måte at driftsbremseanlegget ikke påvirkes. (Hvis lastebilens største masse overstiger 26.000 kg, skal prøvingsmassen begrenses til 26.000 kg.)

Forenklete beregninger viser at vogntog lastet til maksimal tillatt totalvekt 44.000 kg (i henhold til direktiv 96/53/EF senest endret ved direktiv 2002/7/EF), og har en hastighet på 80 km/h i et fall på 5 %. Vogntoget vil da klare å holde en tilnærmet konstant hastighet per kjørte 1000 meter, avvik i hastigheten er i underkant av 3 %. Dette oppnås kun med å benytte giret, motorbremse og eventuelt mellomakselbremse. Dersom tilsvarende vogntog benyttes i samme hastighet, men er nå lastet til maksimal tillatt totalvekt i henhold til nasjonale totalvekter, dvs. 50.000 kg og kjører nedover et fall på 7 %. I dette tilfellet vil hastigheten øke med ca. 40 % per kjørte 1000 meter.

Modulvogntog i 7% fall



For å ivareta en konstant hastighet nedover dette fallet på 7 %, må et bremsearbeid utføres for å kunne holde konstant hastighet. Bremsearbeidet kan utføres ved hjelp av tilgjengelig mellomakselbremse, eller driftsbremse. Det er ikke i dag krav om at kjøretøyene skal ha mellomakselbremse, men de fleste norske lastebilene har dette montert som tilleggsutstyr. Statens vegvesen har siden 2005 utført tilstandsundersøkelser på tunge kjøretøy. Disse undersøkelsene kartlegger blant annet tilstanden på bremsene. Resultatene fra 2009 viser at hele 22 % av de utenlandske registrerte tunge kjøretøyene og 15 % av de norskregistrerte tunge kjøretøyene har feil på bremsene. Feil på bremsene vil ha innvirkning på eventuell varmgang ved at andre aksler må gjøre et større bremsearbeid for å oppnå samme retardasjon når driftsbremsen benyttes.

Økt drivstofforbruk og utslipp for tunge kjøretøy

Vogntog lastet til tillatt totalvekt i stigning oppover krever både riktig kvalitet og rikelig mengde med luften for å få tilstrekkelig effekt og kjøling. Stort effektutakt av lastebilens motor vil medføre

store krav til bilens kjøleanlegg og eksosanleggets effekt for å rense avgassene. Dette på grunn av at kjøretøyene vil ha forholdsvis liten fart oppover stigningen, og derav liten luftstrøm rundt motoren og eksosanlegg for kjøling. Drivstoff forbruket vil også øke betydelig, og i undersøkelsen "Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems" (ARTEMIS) er det gjennomført tester som viser at dersom et tungt kjøretøy på kun 20.000 kg kjører oppover en stigning på 6 % (50 km/h), vil forbruket øke med ca. 420-445 % i forhold til kjøring på horisontal veg (80 km/h). Avgassene NO_x, Pm og HC vil øke med ca 140 – 340 %, altså en betydelig økning, men ikke riktig like mye som drivstofforbruket i %. Vi mener at disse opplysningene må være viktige parameterer som inngår i vurderingene av "steady state" situasjonen til ventilasjonsanlegget i tunnelene.

Anbefaling

Basert på disse kjøretøytekniske vurderingene foreslår vi at tunneler bygges med maks 5 % stigning/fall. Dette er også i samsvar med rådsdirektiv 2004/54/EF som omhandler minimum sikkerhetskrav til tunneler på det transeuropeiske vegnettet (tunneldirektiv).

Videre anbefales det å vurdere innføring av brukskrav om tilleggsbrems (retarder) samt overvåke kjøretøyenes bremses med varmekamera før kjøretøyene kjører inn i tunnelen. Det vil også være nyttig for førerne av kjøretøyene få en visualisering av hvor mye fall det er i tunnelen.

Adferd i vegtunneler

Referanser Adferd i vegtunneler under normale forhold og i kritiske situasjoner
En litteraturstudie
Arbeidsdokument av 9. august 2011 (revidert 05.09.2011)
Tor-Olav Nævestad og Sunniva Meyer
Transportøkonomisk institutt

Vegtunneler er vanligvis minst like sikre som eller sikrere enn tilsvarende vegstrekninger i friluft uten vegkryss, avkjørsler, gang- og sykkeltrafikk. Vegtunneler fortjener likevel spesiell oppmerksomhet fra et trafiksikkerhetsperspektiv, både fordi de har særegne sikkerhetsutfordringer under normale forhold og ikke minst fordi de byr på spesielle utfordringer ved kritiske situasjoner.



Vegtunneler byr på særegne sikkerhetsutfordringene under normale forhold, som kan relateres til følgende fire omstendigheter:

1. relativt høy ulykkesrisiko i inngangssoner
2. manglende referanserammer
3. frykt og ubehag
4. monotoni

Når det gjelder den første utfordringen, viser norske data at ulykkesfrekvensen i inngangssonen i norske vegtunneler er fire ganger så høy som ulykkesfrekvensen i midtsonen og at dette antakelig kan relateres til forhold som design på vegtunnelers inngangsparti, lysforhold og markeringer. Føreforholdene ved vegtunnelers inngangssone er dessuten utfordrende på den måten at temperaturforskjeller mellom miljøet utenfor og miljøet inne i tunnelen kan forårsake overraskende føreforhold.

Det andre forholdet, manglende referanserammer, representerer et viktig skille mellom det å kjøre i vegtunnel og på veg i friluft. Når vi kjører på vanlig veg omgis vi av landskap eller bebyggelse. Siden vi bare ser fjell eller betong i tunnel, får vi færre referanser. Dette påvirker vår hastighetsopplevelse og gjør oss dårligere til å vurdere hastighet og ikke minst til å vurdere avstander mellom kjøretøy og hvor langt man har kjørt i tunnelen. Med manglende referanser senkes vårt oppmerksomhetsnivå og vi reagerer saktere. Manglende referanserammer gjør det dessuten vanskeligere å bedømme stigning og fall. Dette kan ha uheldige konsekvenser for trafiksikkerheten.

Det tredje forholdet er frykt og ubehag i vegtunneler. Få har fobier for vegtunneler, men en betydelig andel av den norske befolkningen oppgir at de opplever et visst ubehag knyttet til det å kjøre i vegtunneler. Blant de scenarioene nordmenn særlig frykter i vegtunneler er 1. brann og røyk, 2. å bli innestengt, 3. dårlige lysforhold, 4. kolliderende med møtende trafikk, 4. at tunnelkonstruksjonene skal bryte sammen. Det ser ut til at vegtunnelers lengde og dybde har noe å si for menneskers opplevelse av frykt og ubehag på den måten at frykten eller ubehaget blir verre jo lengre tunnelen er.

Det siste forholdet er monotoni. Vegtunneler mangler referanserammer og har gjerne en ensformig infrastruktur sammenlignet med veger i friluft. Dette kan gi førere som kjører i vegtunneler en opplevelse av monotoni og kjedsomhet. Det kan tenkes at trafikanters opplevelse av monotoni i vegtunneler kan ha konsekvenser for trafikksikkerheten på den måten at sekundære distraksjoner tar fokus bort fra trafikken eller at førerne blir trøtte og/eller ukonsentrerte.

De spesielle utfordringene ved kritiske situasjoner som vegtunneler byr på er knyttet til tre forhold:

1. stans i trafikken
2. brann
3. evakuering

Slike kritiske situasjoner oppstår gjerne ved ulykker i vegtunneler. Erfaringer fra de tre vegtunnelbrannene i Mellom-Europa rundt årtusenskiftet viser at det er svært viktig at involverte trafikanter tidlig forstår alvoret i situasjoner som krever evakuering. Det er derfor viktig med informasjon tidlig ved stans i trafikken i vegtunneler.

Det er forsket noe på trafikanters atferd i alvorlige situasjoner i vegtunneler, men lite på hva de gjør ved mindre alvorlige hendelser i vegtunneler, slik som stans i trafikken. Hvor lenge sitter for eksempel førerne i bilene sine før de går ut av bilene, og låser de og tar med seg nøklene når de går?

På tross av at litt mer enn hver tredje nordmann frykter brann og røykutvikling i vegtunneler, har de for dårlig kunnskap om hva de skal gjøre hvis de blir utsatt for slike situasjoner. Den begrensede forskningen som finnes kan tyde på at trafikanter generelt har for dårlig kunnskap om hvordan de skal oppføre seg i kritiske situasjoner i vegtunneler. Videre indikerer fransk forskning at en stor andel ville kjøre videre for å se om det virkelig var brann i en vegtunnel dersom de ble varslet om det, og at man heller ville evakuere gjennom tunnelers innløp og utløp enn gjennom nødutganger.

I Norge og i andre land legges selvbergingsprinsippet til grunn for evakueringsplanleggingen. Eksperimentstudier av evakuering viser at trafikanter gjerne kan bruke altfor lang tid på å reagere ved kritiske hendelser. I en nederlandsk studie evakuerte forsøkspersonene spontant i kun ett av ni forsøk. En svensk studie viste derimot umiddelbar og rask evakuering, men forsøkspersonene i denne studien hadde en viss samferdselstilknytning og var antakelig ikke representative for trafikanter flest. Forsøk med evakuering i vegtunneler viser at trafikanter har en tendens til å holde seg til bilene sine, at sosial påvirkning er avgjørende for hvorvidt det skjer en evakuering og valg av nødutgang, at trafikanters stressnivå påvirker graden av informasjon de registrerer, at nærhet til farekilden eller at man ser og opplever alvoret er avgjørende for hvor raskt det evakueres, og endelig at tydelig informasjon, enten den kommer som skilt eller signaler eller som instruksjoner fra eventuelle ledere eller tunneloperatører, er avgjørende for rask og effektiv evakuering. Det at trafikanter kan ha problemer med å vurdere hvor langt de har kjørt i tunneler og dermed under vurderer avstander til utgangene, kan også by på problemer ved vegtunnelevakuering i tillegg til at mange funksjonshemmede har lavere forflytningshastighet enn dimensjonerende ganghastighet. Dette gjelder antakelig også eldre trafikanter, som vi får flere av på vegene i årene framover. Gitt at omtrent halvparten av den norske befolkningen ikke vet hvordan de skal forholde seg for eksempel i tilfelle tunnelbrann, kan det generelt se ut til at norske trafikanter kan ha god nytte av opplæring og/eller informasjonstiltak som forklarer hvordan de skal oppføre seg i kritiske situasjoner i vegtunneler.

Avslutningsvis er det diskutert det hvilke lengde- og dybdebegrensende faktorer som indirekte og direkte behandles i forskningslitteraturen knyttet til vegtunneler. Det finnes per i dag ikke sterkt begrunnede grenser for lengde og dybde eller eksplisitte kriterier for slike grenser. Spørsmålet om hvor lange og dype vegtunneler kan være er først og fremst et spørsmål om hvilke hensyn som må tas til brukerne. Det foreligger ikke mye forskning på emnet, men vi forsøker likevel å kaste lys over problematikken ved å trekke implikasjoner av forskningen som er diskutert i det foregående, og ved å trekke inn nye momenter.

I diskusjonen omkring lengde- og dybdebegrensende faktorer knyttet til vegtunnelbrukerne deler vi kriteriene for hvor lange og dype vegtunneler kan være inn i tre kategorier. Den første er primært etisk og demokratisk, knyttet til hvor lenge man skal utsette en gitt andel av befolkningen for en viss mengde ubehag og frykt, og hvor mye frykt og ubehag det er etisk forsvarlig å utsette den andelen av befolkningen som opplever det ubehagelig å ferdes i tunneler for. Den andre er primært knyttet til trafikksikkerhet og handler blant annet om hvorvidt lange tunneler gir økt monotoni, lavere oppmerksomhet og økt ulykkesrisiko og om disse mekanismene på noen måte kan reduseres. I tillegg diskuteres dybdebegrensninger basert på stigningsgrad og fartsforskjeller mellom lette og tunge kjøretøy. Den tredje er primært knyttet til katastrofepotensialet i vegtunneler og handler om evakueringsmulighetene i lange vegtunneler.

Vi konkluderer med at vi trenger mer forskning på følgende spørsmål relatert til de to første kategoriene av lengde- og dybdebegrensende faktorer:

- Hvorvidt og i hvilken grad øker frykt og ubehag med vegtunnelers lengde og dybde?
- Hvor lange eller dype skal vegtunneler være for at den andelen av befolkningen som føler ubehag i dem velger dem bort?
- Øker frykt/ubehag ved vegtunnelers lengde, avtar ubehaget over tid i lange tunneler, eller holdes det konstant?
- Finnes det tiltak som kan redusere frykt og ubehag? (Over så vi at det kan være vanskelig å nå vegtunnelbrukere gjennom informasjonstiltak. Det indikerer at det er vanskelig å bruke informasjon for å redusere frykt/ubehag.)
- Er det slik at trafikantene som heller velger en omveg enn å kjøre gjennom vegtunneler, velger bort alle vegtunneler uansett lengde eller dybde, eller velger denne andelen trafikanter bare bort vegtunneler av en viss lengde og dybde?
- Hvordan øker risikoen for sovning med vegtunnelers lengde, og hvilke tiltak kan iverksettes for å redusere risikoen for sovning?
- Hvor lang må en tunnel være før monotonien blir trafikkfarlig fordi man senker oppmerksomhetsnivået?

Når det gjelder hvordan evakueringstid virker lengde og dybdebegrensende foreslår vi at evakueringssituasjonen i tilfelle brann kan være langt mer kritisk i vegtunneler med ett løp enn i de lange vegtunnelene med to løp. I vegtunnelene med to løp kan man ved brann evakuere til det tilgrensede tunnelløpet via nødutganger og slippe unna røyken. Det kreves to løp når vegtunnelen er lenger enn 10 km og ÅDT >12000. Det betyr at tunneler med ett løp kan være opp til 10 km lange. Gitt at dimensjonerende forflytningshastighet ofte kan være saktere enn røykspredningen, bør vi kanskje stille spørsmålet om katastrofepotensialet kan være større i lange vegtunneler under 10 km med ett løp og tovegs trafikk enn i lengre vegtunneler med to løp, envegs trafikk og mange tydelig

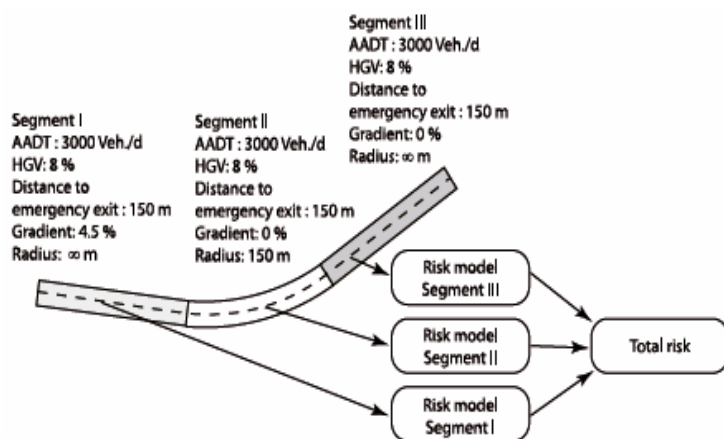
merkede nødutganger. I vegtunneler med to løp og mange tydelig merkede nødutganger vil de involverte ha betraktelig bedre muligheter for å unnsnippe varme- og røykutvikling og overleve. Når de involverte slipper unna røyken kan spørsmålet om hvordan evakueringstid virker lengde- og dybdebegrensende i større grad bli et spørsmål om hvor langt man skal kreve at de involverte skal evakuere seg selv til fots ved nødssituasjoner. Å sette maksimal evakueringstid er i den sammenheng først og fremst et etisk spørsmål.

Risikoanalysemodell

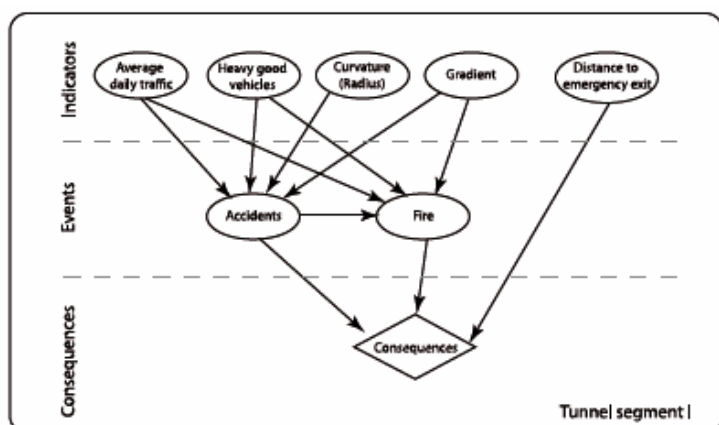
Referanser Development of a best practice methodology for risk assessment in road tunnels
 Matthias Schubert, Niels Peter Høj, Jochen Köhler, Michael H. Faber
 Matrisk GmbH and HOJ Consulting GmbH
 Schweizerische Eidgenossenschaft
 Statens vegvesen
 November 2011

På oppdrag fra vegmyndighetene i Sveits (ASTRA) og Norge (NPRA) har Universitetet i Zürich (Matrisk) og konsulentfirmaet Hoj utarbeidet en modell for beregning av risiko i vegtunneler. Modellen som har fått navnet TRANSIT, beregner risiko for trafikkulykker og brannhendelser.

For trafikkulykker foreligger en komplett modell tilhørende grunnlagsdata slik at det er mulig å beregne ulykkesfrekvenser med tilhørende skadeomfang og konsekvenser. For brannhendelser er det utviklet en konsekvensmodell som tilsvarende skal beregne brannfrekvenser og konsekvenser. For denne modellen foregår det nå innsamling av grunnlagsdata vedrørende branntilfeller i norske vegtunneler slik at modellen kan ferdigstilles som et operativt verktøy.



Modellen er bygget opp som en generisk modell. Det vil si at den er generell og kan tilpasses enhver tunnel eller system av tunneler. Enkelt sagt deles tunnelene opp i enhetlige seksjoner (samme stigning, samme kurveradius, feltkonstellasjon osv) hvoretter sammenhengen med ulykkes- og brannrisiko etableres. Datamaterialet til å etablere disse modellene er ulykker, skader og branner som har oppstått i norske tunneler fra 2001-2006.



Metodisk er tilnærmingen gjort med såkalte bayesiske sannsynlighetsnettverk. Dette sikrer stor fleksibilitet med tanke på kalibrering av modellen for bruk i andre land. Første fase av arbeidet er nå avsluttet og modellen ligger klar til bruk for Statens vegvesen.

Trafikksikkerhetsdelen (ulykker og skadeomfang) er å betrakte som foreløpig avsluttet, mens brannfrekvensdelen fremdeles trenger et bedre datamateriale. Denne datainnsamlingen avsluttes tidlig i 2012. Deretter vil det være naturlig å ta modellen i bruk i Norge. Den nye modellen skal utgjøre et supplement /erstatning av dagens beregningsmodell (TUSI).

Andre skandinaviske land vil sannsynligvis også kalibrere og benytte modellen i nær framtid. Interessen har særlig vært stor i Sverige og Finland og på Island. Dette vil være av stor betydning både for å sikre framtidig oppdatering, videreutvikling og ajourhold av modellen og for at denne type risikoanalyser gjøres mest mulig enhetlig i de nordiske landene.

Lange og dype vegtunneler

Referanser Moderne vegtunneler: Tunnelstrategi
Grensesprengende vegtunneler – går det en grense?
Når er langt langt nok og dypt dypt nok?
Harald Buvik, Vegdirektoratet, 2012-01-11

Moderne vegtunneler: Tunnelstrategi
Sikkerhet i vegtunneler
Harald Buvik, Vegdirektoratet, 2012-01-09

I Norge bygges og planlegges det flere tunneler enn mange andre land i verden, og mange av våre tunneler er også lengre enn i de fleste andre land. Dette betyr at vi strekker våre kunnskaper og erfaringer utover det en ville kunne kalle god faglig praksis. Det som i Norge for noen år siden var sett på som dristig, kanskje umulig, er i dag under planlegging og bygging. Stadig ser vi i Vegdirektoratet at vi blir involvert i prosjekter hvor vi må basere våre vurderinger på godt faglig skjønn. Vi skyver med andre ord grensene foran oss.

I håndbok 021 Vegtunneler er det i tabellen for sikkerhetsutstyr/utforming satt en grense for tunnellengde på 10 km. Der det planlegges tunneler som er lengre, skal det foretas spesielle vurderinger. Denne grensen er litt tilfeldig valgt i og med at det ikke kan dokumenteres at den representerer en faregrense eller teknisk grense. Basis i 90-årene var at vi vel mente at tunneler ikke burde være lengre enn dette. Siden har det blitt åpnet to tunneler som er lengre og hvorav en er vesentlig lengre enn 10 km. Meningen med denne grensen var i sin tid at alle slike tunnelprosjekter skulle vurderes spesielt, men vi har ikke lagt opp til hva en slik vurdering skal inneholde eller hvordan den skal gjøres.

I den samme håndboka er det inntatt at prinsippet for evakuering baserer seg på selvberging, det vil si at trafikantene skal ta seg ut enten til fots eller ved hjelp av eget kjøretøy.

I de siste årene har vi også sett at kravene til tunnelenes sikkerhet har blitt skjerpet, både i Europa og her i Norge. I EU har man innført et eget sikkerhetsdirektiv for vegtunneler på TERN-vegnettet som også er implementert i Norge gjennom en egen forskrift til vegloven. Denne gir klare føringer/krav til stigning, utforming og utstyr, men sier lite og ingenting om lengde og dybde.

Konsekvensene av å strekke grensene for tunnellengde og –dybde er derfor gjennomgått ut fra eksisterende kunnskap og erfaring for en rekke tema for å kunne samle beslutningsgrunnlag for slike problemstillinger. Følgende tema er behandlet:

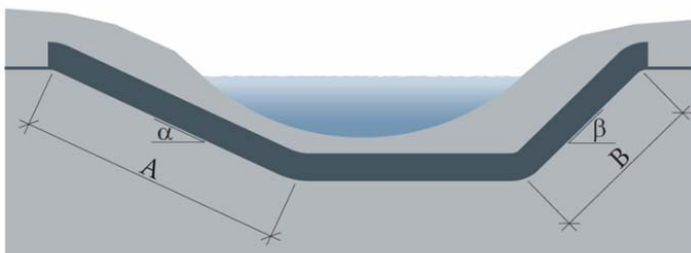
Stigningsgrad i tunneler:	Ny kunnskap om tunge kjøretøy gir grunnlag for å vurdere maksimum fall/stigning på nytt.
Drift og vedlikehold	Ingen tekniske begrensninger, men omfang og kostnad øker med lengde og dybde.

Ventilasjon - brannventilasjon	Mulig grense for når langsventilasjon alene gir for stor usikkerhet knyttet til sikker brannventilasjon og evakuering.
Trafikksikkerhet vs stigning/fall	Behov for å dokumentere hvilken kombinasjon av stigning/fall, kjørelengde med aktuell stigning/fall, tyngde på kjøretøy og bremsesystem som gir trafikksikkerhetsmessige forsvarlige løsninger mht brannhendelser, hastighetsforskjell mellom lette og tunge kjøretøy, mm.
Følt og reell risiko ved kjøring i lange og bratte tunneler	Fire lengde- og dybdebegrensende faktorer kan ha betydning: <ol style="list-style-type: none">1. frykt og ubehag2. monotoni, senket oppmerksomhet og ulykkesrisiko3. stigning/fall som skaper fartsforskjeller mellom lette og tunge kjøretøy4. evakueringstid ved selvberging
Brannsikkerhet	Utfordringene ved både selvberging og aktiv redning øker med lengde og dybde.
Tunge kjøretøy	Stor stigning/fall med store kjørelengder øker risiko for brann ved varmgang i bremsesystem, gir hastighetsforskjell mellom lette og tunge kjøretøy samt øker drivstofforbruk og forurensende utslipp.
Byggeteknikk	Utfordringer knyttet til vannlekkasjer og teknikk for å stoppe innlekkasje, dette er løsbart men kostnadskrevenne.
Grunnundersøkelser	Grunnundersøkelser på store dyp kan gjennomføres, men det er behov for videreutvikling av metodene for å sikre godt grunnlag for prosjektering.
Ett tunnellop – to tunnellop	Lengde- og dybdebegrensninger er mest aktuelt for ettløps tunneler med toveis trafikk på grunn av reduserte evakueringsmuligheter i forhold til toløps tunneler.

Konklusjonen blir at hvor lang eller hvor dyp en tunnel kan være må bli styrt av den sikkerhetsmessige utfordringen for trafikantene. Kjøring med tunge kjøretøy og evakuering ved en hendelse er eksempel på slike utfordringer. En skadesituasjon som krever redningsinnsats blir mer utfordrende jo mer man strekker grensene for lengde og ikke minst dybde.

For å sikre at de samlede påkjenninger ved kjøring i undersjøiske vegtunneler ligger innenfor et akseptabelt sikkerhetsnivå ved åpen ferdsel må grensene for følgende forhold vurderes:

- graden av fall og stigning
- kjørelengden med et slikt fall og med en slik stigning



Det er behov for å dokumentere hvilke kombinasjoner av stigningsgrad/fall og kjørelengde som gir sikkerhetsmessig forsvarlige løsninger.

EU-direktivet for tunnelsikkerhet (2004)

tilsier at tunneler kan bygges med inntil 5 % stigning/fall. Direktivet angir ingen lengdebegrensning for stigning/fall. Norge har fått innvilget fravik fra dette kravet med referanse til bygging av undersjøiske tunneler i vår spesielle topografi. Det innebærer at vi kan bygge undersjøiske tunneler med inntil 7 % stigning/fall og i spesielle tilfeller med stigning/fall helt opp til 10 %. Forutsetningen for fraviket er at risikoanalyser angir avbøtende tiltak for å ivareta tilstrekkelig sikkerhet. De utfordringene som tunge kjøretøy har ved kjøring i tunneler med stigning/fall over 5 % var ikke med i vurderingene da søknad om fravik fra EU-bestemmelsene (5 %) ble gjort.

Vi har i dag erfaringer som tilsier at det er knyttet kjøretøytekniske utfordringer til kjøring med tunge kjøretøy i sterk stigning/fall. På den annen side er det også en kjennsgjerning at kvaliteten på kjøretøyene er en viktig faktor som har stor betydning for denne problemstillingen. Og, ikke minst, kunnskapen til sjåførene som kjører de tunge kjøretøyene er kanskje den aller viktigste faktoren. Disse faktorene kan vi imidlertid ikke rå over og de vil være tilstede uansett hvilke betingelser de blir stilt overfor.

Vi kan imidlertid gjøre noe med de geometriske betingelsene for veger og tunneler som stilles til disposisjon for transporten og da må vi bygge konstruksjoner som kan ta imot kjøretøyparken og med den standarden som kjøretøyene har.

Denne problemstillingen må derfor utredes videre for å avklare hvilke kjørelengder som egentlig er akseptable for i første rekke stigning/fall på 5 % og i en totalsammenheng også med andre fall- og stigningsforhold.

Det er ikke kun kombinasjonen av fall/stigning og kjørelengde som er avgjørende for disse vurderingene. Samlet risikovurdering må vurderes ut fra samvirket mellom flere forhold hvor de viktigste er total tunnellengde, tunnelverrsnitt, trafikkmengde inkludert andel tunge kjøretøy og kjøretøyenes totalvekt. Og til slutt må det hele sees i sammenheng med redning og evakueringsmuligheter for trafikantene når hendelser oppstår.

Hvilke kombinasjoner av stigning/ fall og kjørelengder som kan aksepteres har vi således begrenset kunnskaper om. Erfaring har vist at kombinasjonen som er anvendt i Oslofjordtunnelen, ikke er akseptabel. Vår vurdering er at ved stigning/fall på 7 % kan være akseptabelt med kjørelengde på inntil 1,5 km.

Hva gjelder stigning/fall på tre prosent eller lavere har Tunnelsikkerhetsforskriftene ikke restriksjoner. Mellom tre og fem prosent skal det i følge forskriftene foretas risiko og sårbarhetsanalyse.

Anbefaling

Inntil det foreligger tilstrekkelig dokumentasjon på effektene av disse forholdene fraråder vi at det bygges tunneler med stigning og fall på over 5 prosent med tilhørende kjørelengde over 5 kilometer. Med et slikt krav er vi på linje med EU-direktivets krav hva gjelder stigning/fall men med en begrensning i tilhørende kjørelengde.

Drift og vedlikehold av vegtunneler

Referanser	Moderne vegtunneler Drift og vedlikehold av vegtunneler Hovedkostnader ViaNova Plan og Trafikk AS, 2011-12-02
	Moderne vegtunneler Vegtunnelers oppetid ViaNova Plan og Trafikk AS, 2011-12-02
	Moderne vegtunneler ITS for vegtunneler ViaNova Plan og Trafikk AS, 2011-12-09

Det mangler i dag konsistente data om kostnader for drift og vedlikehold. Vegtunneler representerer et meget komplekst system med mange objekter med intern avhengighet og med flere sett av konsekvenser for kapitalforvaltning, sikkerhet og trafikkavvikling. Fastlegging av et optimalt drifts- og vedlikeholdsopplegg krever derfor en grundig og systematisk tilnærming. Drift og vedlikehold må gjennomføres etter et fastlagt opplegg med hensyn til preventive og korrektive tiltak for hvert objekt, anlegg eller system basert på vurdering av hva som er samfunnsøkonomisk og bedriftsøkonomisk optimalt.

For å skaffe grunnlag for forbedring av drift og vedlikehold av vegtunneler er det gjennomført en utredning for å skaffe fra erfaringsdata for hovedkostnadene knyttet til drift og vedlikehold av vegtunneler. Kostnader er vurdert både for eksisterende tunneler og for framtidige tunneler med helstøpt tunnelhvelv. Parallelt med dette er forhold knyttet til tunnelens oppetid, eller alternativt stenging av tunneler for trafikk, utredet med hensyn til årsaker og omfang.

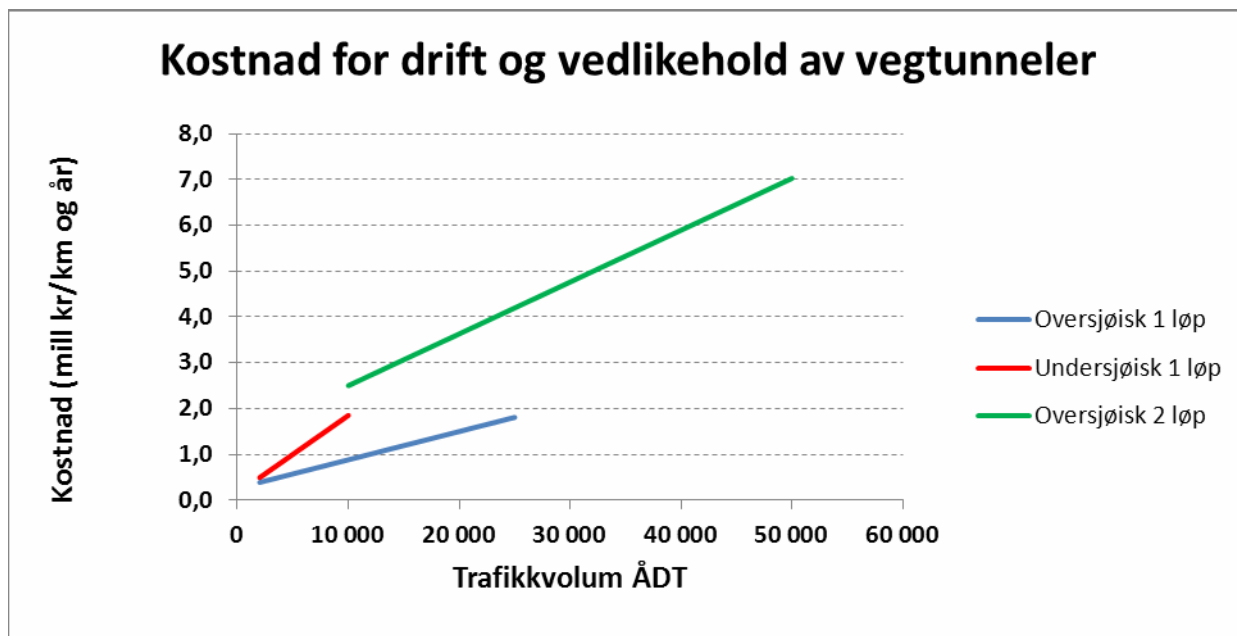
Kostnadene knyttet til drift og vedlikehold av vegtunneler representerer viktige indikatorer for drifts- og vedlikeholdsvirksomheten. Kostnadstall for drift og vedlikehold gir indikasjoner om hvilke områder som har størst ressursbehov og som derfor bør prioriteres når det gjelder styringsinnsats og metodeutvikling. Kostnadstall utgjør videre viktige måleparametre for virksomheten, både for å registrere utvikling og måle effekten av tiltak. Kostnadstall for drift og vedlikehold kan også fortelle noe om tilstanden for tunnelene gjennom sammenligning med historiske data eller normtall dersom slike finnes.

Kostnader for drift og vedlikehold samt rehabilitering av eksisterende tunneler kan anslås til følgende størrelser, beregnet for en situasjon hvor drift og vedlikehold hele tiden gjennomføres slik standarden krever:

Vegtype	Totale kostnader (mill kr/år)		Kostnad pr løpskilometer (1000 kr/km-år)	
	Drift/vedlikehold	Rehabilitering	Drift/vedlikehold	Rehabilitering
Riksveger	445	595	720	960
Fylkesveger	170	190	370	425

Situasjonen i dag preges imidlertid av at det foreligger et behov for rehabilitering og oppgradering av riksvegtunnelene på om lag 20 mrd kroner. Dette medfører større behov for drift og vedlikehold enn normaltallene over angir.

Kostnader for drift og vedlikehold øker med økende ÅDT, slik figuren nedenfor viser for normaltallene for drift og vedlikehold.



For å kunne ha muligheten til å styre tunnelvirksomheten i ønsket retning foreslår vi derfor at entrepris kontraktene utformes slik at ønskede data kan fremskaffes. I tillegg vil kostnadene øke med økende tunnellengde. U-formet lengdeprofil vil også bidra til økte kostnader knyttet til ventilasjon og pumper.

De største kostnadene innen drift og vedlikehold er knyttet til følgende objekter og aktiviteter:

- Tunnelkonstruksjon (for eksisterende tunneler, blir tilnærmet 0 for helstøpt tunnelhvelv)
- Elektrisk strøm
- Vegdekke
- Sikkerhetsutrustning
- Renhold
- Belysning inkludert kabelbru
- Strømforsyningsanlegg/fellesanlegg
- Ventilasjon

Objekter som luftrenseanlegg, system for hendelsesdetektering og kuldeporter kan gi svært store drifts- og vedlikeholdskostnader. Slike objekter er imidlertid bare installert i et fåtall tunneler ut fra spesielle behov.

Utviklingen av et systematisk opplegg for drift og vedlikehold må ta utgangspunkt i en risiko- og sårbarhetsanalyse (ROS) for vegtunneler generelt supplert med en tilsvarende analyse for den enkelte vegtunnel. Opplegget for drift og vedlikehold skal detaljeres videre ved hjelp av en RAMS-

metodikk² (Pålitelighet, Tilgjengelighet, Vedlikeholdsvennlighet og Sikkerhet). I første omgang skal RAMS-metodikken anvendes for å identifisere kritiske feil med hensyn til systemsikkerhet og dermed legge grunnlag for prinsipielle valg av hovedinnretning for vedlikeholdet, f. eks. valg mellom preventivt og korrektivt vedlikehold. ROS- og RAMS-analyser skal suppleres med LCC-analyser³ for de enkelte objekter og systemer for å fastlegge et endelig operativt opplegg for drift og vedlikehold som sikrer optimal utførelse med hensyn til tiltak, tiltakets omfang og frekvenser.

Opplegget for drift og vedlikehold skal også inkludere metoder og rutiner for tilstandsregistrering. For konstruktive og bærende elementer bør dette opplegget baseres på prinsippene i NS 3424⁴ og samordnes med tilsvarende opplegg på brusiden (BRUTUS)⁵. For andre objekter, teknisk utstyr mm, videreføres bruken av PLANIA for registrering, analyse og rapportering av tilstand.

Drift- og vedlikeholdsoppgavene bør kontraheres og styres med et sett av kontraktstyper og med en inndeling i fagområder som i tillegg til å gi effektiv drift og vedlikehold av vegtunnelene, også sikrer riktig og nødvendig informasjonsgrunnlag om tilstand, tiltak, mengder, frekvenser og kostnader for bruk i videre planlegging av drift og vedlikehold samt erfaringsoverføring til rehabilitering, oppgradering og nybygging.

Opplegg for driftsovervåking bør fastlegges for den enkelte vegtunnel, sett i sammenheng med eventuelle vegtunneler på samme rute eller i et sammenkoblet nettverk. Nivå og metode for driftsovervåking (overføring av informasjon til byggherrevakt, overvåking på VTS (Vegtrafikk-sentral) eller overvåking på egen driftssentral) skal primært fastlegges ved planlegging av vegtunnelen eller av rehabiliterings- og oppgraderingsarbeider, men behovet kan også oppstå i ordinær driftsfase for tunnelen(e).

Effektiv drift og vedlikehold kan også fremmes gjennom standardisering av tunnelkonstruksjon og tunnelobjekter. Driften av vegtunneler bør videre sikres med beredskapsopplegg for utvalgt reservemateriell for objekter som er avgjørende for at tunnelen kan holdes åpen og sikker, som strømforsyning, ventilasjon og pumper (virksomhetskritisk materiell).

Informasjonsoverføring fra bygging, rehabilitering og oppgradering til drifts- og vedlikeholdsfasen og erfaringsoverføring fra drifts- og vedlikeholdsfasen tilbake til planlegging, prosjektering, bygging, rehabilitering og oppgradering må, for å oppnå de ønskede effektene, sikres gjennom formaliserte arbeidsprosesser som FDV-planlegging, drifts- og vedlikeholdsrevisjon, kostnadsberegning av drift og vedlikehold samt utarbeidelse av som-bygget-dokumentasjon samt FDV-dokumentasjon.

Styrende dokumenter for tunnelvirksomheten består i dag av en lang rekke dokumenter av ulike typer og med svært ulik tilgjengelighet. Det bør gjøres et arbeid for å samle, kategorisere, sammenstille og gjøre tilgjengelig disse dokumentene. På litt lengre sikt bør det arbeides for å redusere antallet styrende dokumenter og lette tilgangen på dem gjennom å slå sammen enkelte dokumenter og etablere enklere dokumentstruktur.

² RAMS = Reliability, Availability, Maintainability and Safety, se f. eks. NEK EN 50126-1:1999.

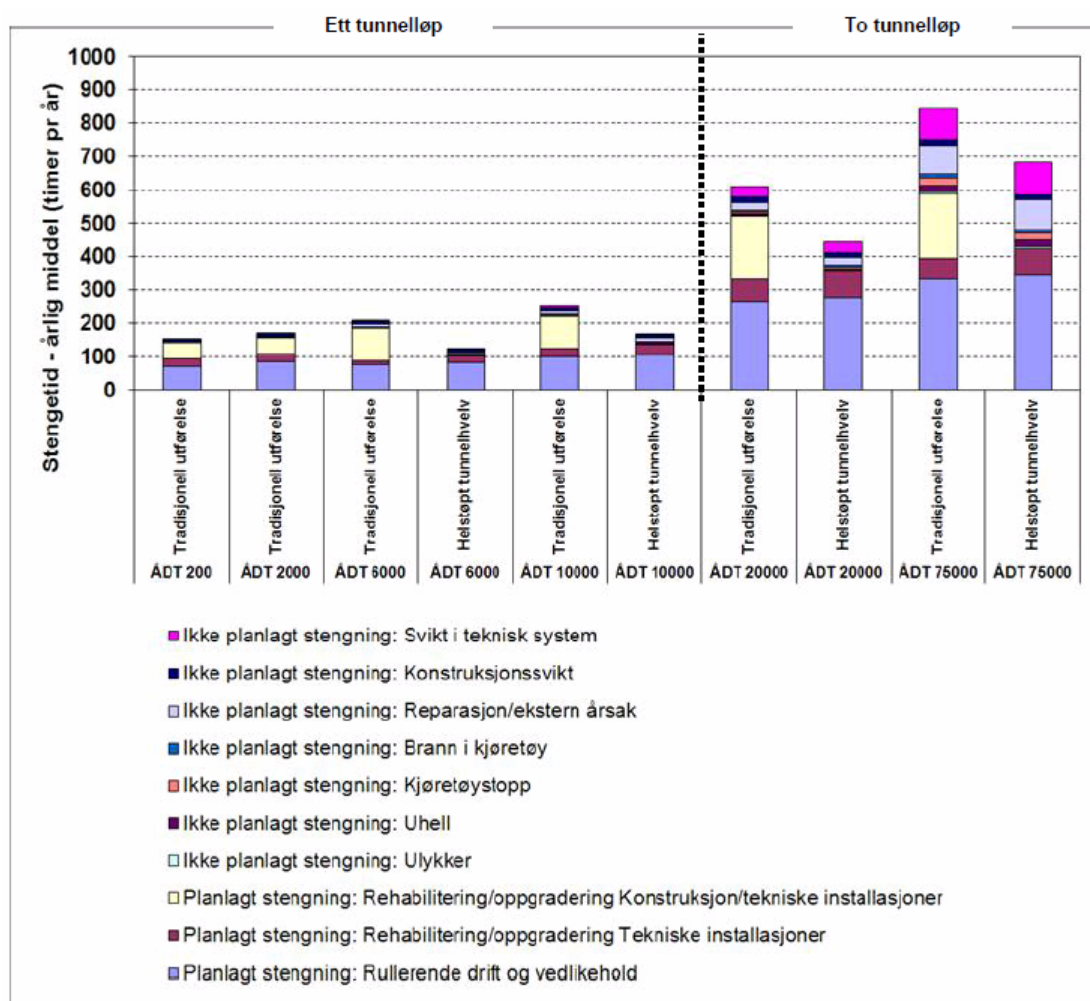
³ LCC = Life Cycle Costing, en økonomisk metode som sammenstiller investeringskostnad med framtidige kostnader til forvaltning, drift, vedlikehold og utvikling (FDVU).

⁴ NS 3424 (1995) Tilstandsanalyse for byggverk (under revisjon i 2011).

⁵ Brutus er Statens vegvesens informasjons- og planleggingsverktøy for forvaltning, drift og vedlikehold av bruer og andre byggverk i vegnettet.

Trafikkavvikling

Drift og vedlikehold samt rehabiliterings- og oppgraderingsarbeider i vegtunneler utgjør hovedårsaken til forstyrelsene av trafikkavviklingen i tunnelens levetid sett samlet. Effektene av trafikale hendelser er i sum mye mindre, selv om de ofte opptrer på tidspunkter hvor situasjonens effekt isolert sett blir stor. Effektiv organisering og samordning av drifts- og vedlikeholdstiltak er derfor viktig for å redusere effekten på trafikkavviklingen. Det foreslås å etablere “oppetid” for tunnelen som en mål- og kvalitetsparameter. Oppetid defineres som den tiden tunnelen er åpen for trafikk og vil normalt bli registrert gjennom den inverse parameteren “stengetid”, dvs den tiden tunnelen er stengt for trafikk. Oppetid bør beregnes pr år og kan angis som %-andel av året hvor tunnelen er åpen for trafikk.



Det er utviklet en metodikk for beskrivelse og beregning av oppetid basert på en kategorisering av hendelser i planlagte og ikke planlagte hendelser. Metodikken kan nyttes både for analyse basert på generell hendelsesstatistikk og for registrering av reell oppetid for konkret vegtunnel.

Kvaliteten på trafikkavviklingen i vegtunnelen bør følges opp gjennom registrering av oppetid for vegtunnelen med tilhørende årsaker til stengning. Oppetid og årsaker til stengning bør rapporteres årlig, og benyttes for analyse av hendelser og driftsopplegg som grunnlag for forbedringsarbeid.

Rehabilitering og oppgradering av vegtunneler

Referanser	Moderne vegtunneler Notat om rehabiliterings- og oppgraderingskostnader for tunneler Ole Christian Torpp, 18. mars 2011
	Rehabilitering av vegtunneler Ole Christian Torpp, 28.2.2011

Rehabilitering defineres som tiltak for å tilbakeføre system til tilstand eller funksjonalitet i henhold til opprinnelig bygget standard. Oppgradering defineres som tiltak for å bringe system til tilstand eller funksjonalitet i henhold til gjeldende standard eller annen besluttet standard.

Rehabilitering av vegtunneler får normalt stort omfang dels fordi det er nødvendig eller praktisk å skifte ut hele systemer/anlegg samtidig i stedet for enkeltobjekter til forskjellig tid og dels fordi rehabilitering av enkelte objekter krever at andre objekter demonteres fullstendig. Rehabilitering gjennomføres når normal levetid for objekter/anlegg/system er gått ut eller når tilstanden på objekter har forfalt mye på grunn av større belastning enn antatt eller forsømt vedlikehold. Oppgradering av vegtunneler utføres fordi regelverk og krav er endret og det er nødvendig å installere nye objekter eller bytte ut eksisterende objekter for å tilfredsstille de nye kravene.



Tilstanden for vegtunnelene på riksveger og fylkesveger er registrert og behovene for framtidig drift, vedlikehold, rehabilitering og oppgradering er estimert i forbindelse med forarbeidene for Nasjonal transportplan (NTP) for perioden 2014-2023. Utredningen viser et betydelig behov for rehabilitering og oppgradering av de norske vegtunnelene. Behovene for rehabiliterings- og oppgraderingstiltak med tilhørende kostnader som er anslått i NTP-arbeidet, bekreftes av en studie som omfatter rehabilitering og oppgradering av 24 vegtunneler (oversjøiske og undersjøiske) i perioden 2002 – 2010. Studien omfatter 14 oversjøiske og 10 undersjøiske tunneler. Gjennomsnittsalder for undersjøiske tunneler ved rehabilitering/oppgradering var 15 år, mens tilsvarende for de oversjøiske var 22 år. Gjennomsnittskostnad pr tunnel er omtrent lik for undersjøiske og oversjøiske tunneler, om lag 100 millioner kroner.

Rehabilitering og oppgradering foretas som regel samlet med flere formålet om forbedring:

- Framkommelighet - tunnelprofil (tverrsnitt, høyder) og tunnelens oppetid
- Trafikksikkerhet - økning eller redusering av tunnelens tverrsnitt, tekniske installasjoner
- Konstruksjonssikkerhet – bergsikring, konstruksjoner, tekniske installasjoner
- Brannsikkerhet – aktiv og passiv brannbeskyttelse
- Driftssikkerhet – tekniske installasjoner
- Miljø – energiforbruk, luft- og vannforurensning (inkl. tunnelvask), oppetid (omgivelser)
- Drift og vedlikehold – kostnader, oppetid

Status på vegnettet viser et stort behov for rehabilitering og oppgradering av vegtunneler, pga forsømt vedlikehold og utgått levetid for objekter samt endrede krav (tunnelsikkerhetsforskrift, elektroforskrifter, brannforskrifter, vegnormal 021, mm). Dette behovet vil vokse betydelig de nærmeste årene dersom man ikke sørger for å få drift og vedlikehold av vegtunneler inn i et nytt spor, bygger mer varige vegtunneler og sørger for omfattende rehabilitering og oppgradering av eksisterende vegtunneler til et nivå i henhold dagens krav samt ny byggestrategi.

Et sentralt spørsmål ved rehabilitering og oppgradering er spørsmålet om til hvilket nivå tunnelen skal rehabiliteres og oppgraderes. Skal det gjennomføres full rehabilitering inkludert oppgradering til gjeldende krav, inkludert oppgradering i henhold til utvalgte gjeldende krav eller uten oppgradering? Eller skal det endog bare gjennomføres delvis rehabilitering?

Delvis rehabilitering bør bare velges der hvor tunnelen innen overskuelig framtid skal erstattes av ny veglenke med eller uten tunnel eller i påvente av en større og mer komplett rehabilitering og oppgradering. For øvrig bør man, i tråd med ny byggestrategi som hovedregel innrette rehabilitering og oppgradering slik at dagens krav tilfredsstilles. Det bør legges opp til fraviktsbehandling dersom dette hovedkravet ikke skal tilfredsstilles, med formelle rutiner for utredninger og planprosess. Mens forbedringer av veg i dagen til en viss grad kan foregå kontinuerlig, i alle fall med relativt korte tidsintervall for ulike objekter, vil det i praksis for tunneler gå 20 – 50 år mellom hver gang det gis mulighet for vesentlige oppgraderinger på tunge objekter. Dette tilsier at rehabiliterings- og oppgraderingsprosjekter bør bygge inn noe handlingsrom for framtidig innskjerping av krav. Perioden med rehabiliterings- og oppgraderingsarbeid innebærer en betydelig ulempe for trafikantene og omgivelsene på grunn av stengt tunnel. Ulempene kan i visse tilfeller på et nivå som er kritisk for virksomheter i området. Dette tilsier også at rehabilitering og oppgradering må skje på en måte som minimaliserer disse ulempene i framtida.

Kostnadene for rehabilitering og oppgradering av en vegtunnel kan bli betydelige, også sammenlignet med nybygging av tunnel. Alternativet med bygging av nytt løp må derfor vurderes i slike tilfeller, særlig hvis ikke rehabiliteringen/oppgraderingen kan tilfredsstille sentrale krav til framkommelighet og sikkerhet. Bygging av nytt løp innebærer en betydelig fordel for trafikk-avviklingen under gjennomføringen av arbeidet og sikrer en mer framtidsrettet løsning som da vil være i tråd med gjeldende krav og ikke et kompromiss i forhold til disse kravene. Grense for iverksetting av utredning av alternativ med nytt løp foreslås satt til 60 % av nybyggingskostnad. Denne grensen settes så lavt fordi det gjelder vurderinger av løsninger som skal fungere i et meget langt tidsperspektiv men også fordi erfaringene viser at kostnadsanslag for rehabilitering og oppgradering svært ofte underestimeres.

Nytten av rehabilitering og oppgradering av en enkelt tunnel på en strekning med flere tunneler eller på et sammenkoblet vegnett med flere tunneler kan være liten dersom det ikke gjøres tiltak på flere tunneler samtidig eller innen rimelig tid. Samlet rehabilitering og oppgradering av tunneler på en strekning eller i et nettverk bør derfor prioriteres når man først starter på rehabiliteringen av disse tunnelene, slik at nytten for trafikantene kan tas ut så raskt som mulig. Dette innebærer ikke at strekninger med flere vegtunneler alltid skal prioriteres framfor strekninger med en enkelt tunnel, men at arbeidet bør omfatte alle tunnelene på strekningen når man først prioriterer den aktuelle strekningen. Nyttekostnadsanalyser og alternativsvurderinger bør benyttes ved utredning av slike problemstillinger.

Byggeprosjekter for vegtunneler finansieres i dag både fra ordinære statsbudsjettmidler og bompengemidler. Rehabiliterings- og oppgraderingsprosjekter for vegtunneler bør på samme måte kunne finansieres både fra ordinære investeringsbudsjetter og bompenger.

Identifisering, planlegging og gjennomføring av rehabiliterings- og oppgraderingsprosjekter krever en god samordning mellom planmiljø, driftsmiljø og byggemiljø med et tidsperspektiv på ti-år. Organisering av virksomheten har derfor betydning for hvordan man makter denne oppgaven. Riktig bruk av de eksisterende planprosessene i henhold til Statens vegvesens kvalitetssystem bør imidlertid kunne sikre ivaretagelse av dette, men det er i tillegg viktig at arbeidet foregår på en måte som sikrer bevaring av informasjon om arbeidet slik at man på sikt kan ta fram konsistente grunnlagsdata for arbeid med vegtunneler i alle faser.

Samla plan for rehabilitering og oppgradering av vegtunneler

Det er i avsnittene over redegjort for problemstillingene man står overfor når vegtunneler skal rehabiliteres og/eller oppgraderes. Det er en stor utfordring å finne de optimale rehabiliterings- og oppgraderingsnivåene når koblingene mellom beslutninger både for enkelttunneler og mellom tunneler på samme rute eller i samme vegnettverk er mange og komplekse, samtidig som midlene er begrensede. Rehabilitering og oppgradering er i tillegg et langsiktig arbeid som nødvendigvis må gå over mange år. Dermed oppstår det problemstillinger om hvordan vegtunnelene bør driftes og vedlikeholdes i perioden fram mot rehabilitering og oppgradering.

Planer for rehabilitering og oppgradering, og eventuelt nybygging, vil ha betydning for drifts- og vedlikeholdsstrategi for den enkelte vegtunnel. Drift og vedlikehold bør normalt legges opp ulikt avhengig av om vegtunnelen skal erstattes eller kombineres med en ny tunnel, om tunnelen skal rehabiliteres/oppgraderes innen rimelig tid eller om det ikke skal foretas rehabilitering eller oppgradering. Drifts- og vedlikeholdsinnsetningen bør tilpasses disse ulike forutsetningene, men på en slik måte at sikkerhetskrav og visse andre krav alltid er oppfylt, mens enkelte andre krav i en kortere periode kan fravikes.

Disse problemstillingene kan med fordel behandles i et felles forum for hele landet for å sikre en ensartet og samordnet utvikling samt likeartede løsninger på hele vegnettet. En mulig måte å skape dette forumet på er å arbeide med en samla plan for rehabilitering/oppgradering av vegtunneler inkludert alle tilhørende problemstillinger knyttet til prioriteringer, drift og vedlikehold, hensyn til trafikantene og omgivelsene, mm (ref. arbeidet med ras- og skredsikring på vegnettet).

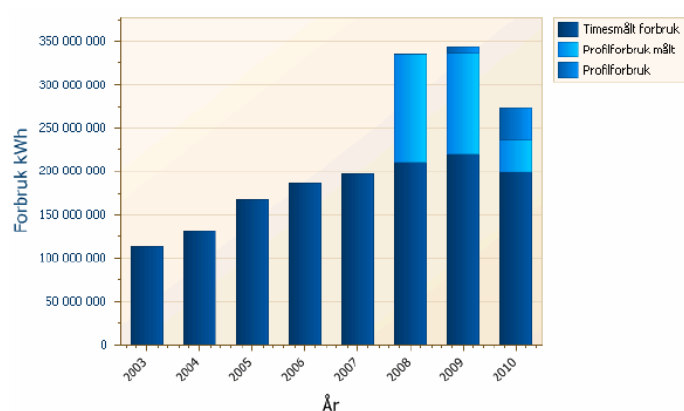
Arbeidet kan danne grunnlag for utvikling av tunnelnormaler og tunnelretningslinjer, NTP-planlegging og budsjettarbeid og bidra med innspill og forslag til politisk nivå.

Miljø

Energiøkonomisering

Referanser Moderne vegtunneler
ENØK Strategi
Norconsult, 24.06.2011

Det er foretatt en gjennomgang av energibruk i norske vegtunneler basert på statistikk fra eksisterende tunneler.



Energibruken i vegtunneler er i hovedsak knyttet til belysning, ventilasjon (lange tunneler) og pumping (uformede tunneler, undersjøiske tunneler). Strømkostnader utgjør på landsbasis 100 millioner kroner pr år for riksvegtunnelene. Dette tilsvarer om lag 25 % av de samlede drifts- og vedlikeholdskostnadene for vegtunnelene. Tilsvarende tall for fylkesvegtunneler er 60 millioner kroner pr år og 35 %. Belysning karakteriseres ved høy brukstid, ventilasjon

ved høy installert effekt/kapasitet men kort brukstid og pumping ved høy effekt og svært varierende brukstid avhengig av lokale lekkasjeforhold.

Behovet for tilført energi til belysning avhenger av de lystekniske egenskapene for vegdekke og vegger samt driftstiltak som renhold og kalking/maling. Dynamiske styresystemer som regulerer belysningen etter behovet vil redusere energiforbruket. Det anbefales at utviklingen LED-teknologi for tunnelbelysning følges opp, men det synes ikke å være grunn til å forsere utviklingen spesielt fra norsk side. For vifter og pumper er dimensjoneringskriteriene avgjørende for energiforbruket, men også her er det potensiale for mer energieffektiv daglig drift, spesielt gjennom styresystemer som sikrer behovsstyrt drift eller tidsstyrt drift i perioder med ellers lav belastning og redusert effektkostnad.

Innkjøpsrutiner for utstyr og elektrisk kraft er også viktige for energivennlige og effektive tunneler. Bedre og mer detaljert oppfølging av installasjoner ved å overvåke energibruken vil likeledes kunne effektivisere og optimalisere driften og minske de årlige kostnadene.

Automasjonsgraden for tekniske systemer øker stadig og den teknologiske utviklingen går stadig raskere. Dette innebærer en utfordring for ønsket om standardiserte løsninger for vegtunneler. Nyttien av standardiserte løsninger må hele tiden avveies mot nytten av å ta i bruk nye løsninger basert på ny teknologi. Videre stiller dette et krav om styrking og ajourføring av kompetansen i Statens vegvesen og hos rådgivende ingeniører og entreprenører.

Tunneler og lokal luftkvalitet

Referanser Moderne vegtunneler
Tunneler og lokal luftkvalitet
Vurdering av ventilasjonssystemer og rensemetoder
Norconsult, 2011-10-27

Innspill til strategi for luftkvalitet i og ved tunneler
Ellen Foslie, Vegdirektoratet, okt. 2011

Partikkelrensing i vegtunneler Betenkning
Tom Myran
NTNU, 21.12.2004

Kildene til luftforurensing i vegtunneler er slitasjestøv fra vegdekke og kjøretøykomponenter samt utslipp av avgasser fra kjøretøy. Dette innebærer både mineralsk og organisk forurensing i tunnelene. Luftforurensingen kan gi effekter på siktforholdene i tunnelen og medfører partikkelbelastning på trafikantene og driftspersonell. Ventilasjonsanlegget i tunnelen medfører i neste omgang utslipp av forurenset luft til tunnelens omgivelser og det ytre miljøet.



Det grunnleggende prinsippet for ventilering av vegtunneler i Norge er langsventilasjon. Avsnittsventilering er drøftet for lange og dype tunneler, men med de tunnellengdene som bygges i Norge i dag, vil langsventilering ligge fast som hovedprinsipp.

Renseanlegg er montert i noen vegtunneler i Norge, dels for å begrense utslippene til ytre miljø og dels for å bedre siktforhold og redusere partikkelbelastningen for trafikanter og driftspersonell. Renseanleggene må håndtere svært store luftvolum og dette medfører at løsningene blir kompliserte og kostnadene store både på investerings- og driftssiden. Drift og vedlikehold av anleggene er også meget komplisert og erfaringene tyder på at det ikke er enkelt å få dem til å fungere etter hensikten. I tillegg er det i praksis bare en andel av den totale luftmengden som renses. Alle disse forholdene medfører at den praktisk erfarte virkningsgraden for renseanleggene har vært mye lavere enn den teoretiske. Praktisk renseseffekt er funnet å ligge i området 10 – 20 %, dermed må virkningsgraden av anleggene anses å være av marginal karakter. I denne sammenhengen er det viktig å være klar på at det ikke er store miljøgevinster å hente, og at man skal vokte seg for å hevde at selv en liten grad av rensing er positivt. Uansett må de økonomiske aspektene (kapital og drift) trekkes inn i vurderingen av slike anlegg.

Disse erfaringene og registreringene er knyttet til første generasjon renseanlegg, men det er lite som tyder på at situasjonen er vesentlig endret, både nasjonalt og internasjonalt.

Deler av forurensningen i tunnelen kan begrenses gjennom å begrense trafikken i tunnelen med tilfartskontroll. Forurensningen vil da skje på utsiden av tunnelen, konsentrert ved innkjøringen til tunnelen, og ikke inne i tunnelen. Dette reduserer ikke det samlede forurensingsutslippet. Men

tilfartskontroll er også et argument for bedret brannsikkerhet i tunnelen og som et rent trafikk-sikkerhetstiltak. Men et tilfartskontrollsystem krever at omgivelsene utenfor tunnelen er utformet slik at trafikken kan ledes andre veger.

Utvidet vask og feiing av tunnelen framstår dermed som et relativt kostnadseffektivt tiltak for å begrense luftforurensningen i tunnelen sammenlignet med installasjon av kostbare renseanlegg. Selv om utvidet vask og feiing skal være hovedtiltaket for å opprettholde et akseptabelt tunnelmiljø, gjenstår fremdeles problemet knyttet til utslipp ved tunnelportalene fordi feiing og vask ikke løser hele luftforurensningsproblemet. Dette er en konsekvens av langsventileringsprinsippet som flytter forurensningsmengden ut av tunnelene. Tunnelens bidrag til det samlede forurensningsnivået for omgivelsene kan medføre krav om f. eks. luftetårn.

Vannforurensning fra tunnelvask

Referanser Forurenset vaskevann – karakterisering og planlegging av tiltak
Innspill til etatsprogrammet Moderne vegtunneler
Sondre Meland, Vegdirektoratet

En hovedkilde til vannforurensning fra vegtunneler er avrenningen av vaskevannet fra tunnelvasking. Ved rengjøring av vegtunneler vil forurensningene i hovedsak fordele seg på skittent vaskevann samt avsetning i sandfang og i masser som tas opp av suge/feiebler.

På grunn av høye konsentrasjoner av forureningskomponenter i massene fra sandfang og suge/feiebil må disse massene normalt deponeres ved godkjent mottak. Med unntak av innholdet av såpestoffer er det kjemiske innholdet i vaskevannet svært likt hva som finnes i normal vegavrenning, men konsentrasjonene er som regel betydelig høyere. Dette skyldes at forurensningene i tunnelen bygges opp over tid mellom hver vask, mens annen vegavrenning påvirkes av regnvær. Tunnelvaskevann medfører derfor økt risiko for skadelig effekter på vannlevende organismer.

Vaskevann fra tunnel skal derfor som hovedregel renses på stedet før utslipp til resipient. Ut fra forurensningene i vaskevannet er aktuelle renseløsninger i hovedsak basert på sedimentering i sandfang og i rensedbassenger, eventuelt inkludering av et filterbasert rensetrinn. Sedimenteringen bør gå over så lang tid at såpekompontentene brytes ned. Blanding av tunnelvaskevann og vanlig vegavrenning bør ikke skje fordi det gir mindre kontroll på rensesprosessene. Likeledes skal ikke rent dreisvann ledes gjennom renseløsningene fordi det vil forstyrre rensesprosessene. Renset vaskevann kan imidlertid slippes til rensedbasseng for vanlig vegavrenning der det er hensiktsmessig. Og rent dreisvann kan slippes ut sammen med rensed tunnelvaskevann, dvs samløp etter rensetrinn, for å bidra til uttynning av forureningskomponentene og redusere risiko for akutte effekter på miljøet.

Ved planlegging av vegtunneler skal det gjennomføres en vurdering hvorvidt vaskevannet skal renses før påslipp til resipient eller kommunalt rensenanlegg. For å vurdere behovet for og planlegge renseløsninger må det gjennomføres en estimering av forureningsproduksjonen, beregning av utslippskonsentrasjoner og mengder av de vanligste forureningsstoffene. Tilsvarende må gjøres for situasjonen etter rensetrinn der renseløsninger blir funnet nødvendig. Et slikt forureningsbudsjett må sammenholdes med en vurdering av resipientens sårbarhet i forhold til forurensning. Planleggingen av renseløsninger må inkludere sikring av gode løsninger for drift og vedlikehold av rensenanlegget.

C Referanser

- 1 Tunnelsikkerhet
Rapport
Utarbeidet av bransjesammensatt arbeidsgruppe
bestående av RIF, MEF, EBA og Statens vegvesen
11. juni 2007

- 2 Samferdselsdepartementet
Statens vegvesens systemer for rapportering og formidling av styringsinformasjon
AGENDA Utredning & Utvikling AS
15. oktober 2007

- 3a Moderne vegtunneler – Tunnelstrategi
Notat til ELM
Harald Buvik
10. juni 2011

Vedlegg:
Moderne vegtunneler
Tunnelstrategi
Del 1: Bygging av bergtunneler

- 3b Moderne vegtunneler – Tunnelstrategi (del 2)
Notat oversendt Veg- og transportavdelingen
Harald Buvik
2011-11-11

Vedlegg:
Moderne vegtunneler
Strategi for vegtunneler
Riksveger
2011-11-11

D Vedlegg

Vedlegg 1 Prosjektorganisering – prosjektdeltagere

Prosjektorganisering

FoU-programmet Moderne vegtunneler er gjennomført av Trafikksikkerhet-, Miljø- og Teknologiavdelingen i Vegdirektoratet ved Tunnel- og betongseksjonen.

Prosjekteier har vært vegdirektør Terje Moe Gustavsen.

Prosjektleder har vært Harald Buvik, Trafikksikkerhets-, miljø- og teknologiavdelingen, Vegdirektoratet.

Styringsgruppen for prosjektet har bestått av:

Lars Aksnes, Styringsstaben, Vegdirektoratet (leder til 2011-08-01)

Lars Erik Hauer, Veg- og transportavdelingen, Vegdirektoratet (leder fra 2011-08-01)

Marit Brandsegg, Trafikksikkerhets-, miljø- og teknologiavdelingen, Vegdirektoratet

Per Morten Lund, Strategi, veg og transportavdelingen, Region øst

Nils Magne Slinde, Vegavdeling Sogn og Fjordane, Region vest

Kjersti K. Dunham, Trafikksikkerhets-, miljø- og teknologiavdelingen, Vegdirektoratet

Mona Lindstrøm, Trafikksikkerhets-, miljø- og teknologiavdelingen, Vegdirektoratet

Ole Christian Torpp, Trafikksikkerhets-, miljø- og teknologiavdelingen, Vegdirektoratet

Delprosjekter

Delprosjekt 0 **Strategi for vegtunneler**

Hensikt: Utvikle strategi som skal sikre høy kvalitet, sikkerhet og forutsigbarhet i planlegging, bygging og drift/vedlikehold av vegtunneler.

Delprosjektet administrerer, samordner og koordinerer arbeidet med en helhetlig strategi for vegtunneler. Grunnlagsarbeidet blir utført sammen med de øvrige delprosjektgruppene. Strategien går ut på å se helheten i planlegging, bygging og vedlikehold av vegtunneler. Målsettingen er å oppnå størst mulig grad av forutsigbarhet, både når det gjelder kvalitet og forvaltning av vegtunnelene.

Delprosjektleder: Ole Christian Torpp

Delprosjekt 1 **Tunnel som planelement i vegsystem og lokalsamfunn**

Hensikt: Konsekvenser av tunnelbygging med hensyn til kostnader og sikkerhet.

En generell trend i samfunnet er ønske om stadig mer tunnelbygging. Det gjelder både for å "løse" trafikkproblemer i byer og som vegutløsning. Delprosjektet arbeider med å synliggjøre konsekvensene av tunnelbygging når det gjelder kostnader og sikkerhet. Statens vegvesen som fagorgan har dette ansvaret. Konsekvensene må kommuniseres klart og tydelig for beslutningstakere. Kostnader, miljø- og klimaregnskap må være mest mulig forutsigbare. Det er nødvendig med en mer ensartet og restriktiv praktisering av regelverket.

Den viktigste usikkerheten ligger i møtet mellom Statens vegvesens faglige vurderinger

og lokale tunnelønsker. Ofte blir hensyn til kostnader, uønskede hendelser og energibruk til dels lite vektlagt i lokale planprosesser. Lokalt legges det ofte mest vekt på gjennomføringstempo, framkommelighet, inngrep, nærføring og arealbruk.

Tunnelprosjekter må vurderes om de er i tråd med moderne prinsipper for vegnettsutvikling, trafiksikkerhet, miljøhensyn, kostnadsvurdering og nyttevurdering

Det må videre utarbeides føringer for vurdering av tunnelalternativer i konseptfasen og planfasen.

Delprosjektleder: Sigrid Furuholt Ingebrigtsen

Delprosjekt 2

Tunnelskole

Hensikt: Heve den tverrfaglige tunnelkompetansen i bransjens fagmiljøer.

Tunnelskolen skal bidra til å øke samhandlingen mellom ulike tunnelmiljøer i bransjen for å styrke kvaliteten i alle faser av et tunnelprosjekt. Det legges spesielt vekt på å øke kompetansen for drift og vedlikehold i de miljøene som jobber med planlegging og bygging av tunneler.

Skolen arrangeres for ca. 30 deltakere som til daglig jobber med planlegging, bygging, drift og vedlikehold av tunneler. Semesteret omfatter fem kurssamlinger. I tillegg kommer arbeid med ulike oppgaver og temaer mellom samlingene.

Første kull startet i november 2008. Det gjennomføres skole for 2 kull pr. år.

Skolen drives fra 2012 som et samarbeid mellom Statens vegvesen og Jernbaneverket.

Delprosjektleder: Ruth Gunlaug Haug

Delprosjekt 3

Tilstrekkelig standard og sikkerhet i vegtunneler

Hensikt: Gjennomgang av metoder og løsninger som sikrer tilstrekkelig standard og sikkerhet i vegtunneler.

Fokus på sikkerhet i vegtunneler har økt de seneste årene blant annet med bakgrunn i "Forskrift om sikkerhet i vegtunneler" (tidligere EU direktiv). Vi foretar nå store investeringer for å oppgradere tunnelene sikkerhetsmessig. I denne forbindelse er det behov for å kunne dokumentere nytten av det som gjøres og å kunne utvikle nye og bedre sikkerhetstiltak.

Gjennom etatsprosjektet tas det opp en del problemstillinger av stor betydning for sikkerheten og det arbeidet som gjøres for å sikre tunnelene ytterligere. I utgangspunktet er risikonivået i de fleste av våre vegtunneler lavere enn på et tilsvarende vegnett. Dette stiller særlige krav til dokumentasjon og gjennomføring av tiltak.

Statens vegvesen har utarbeidet en dokumentasjon av sikkerheten i vegtunnelene som et datagrunnlag for å arbeide videre med følgende problemstillinger:

- Sammenheng mellom teknisk standard og trafikkulykker
- Utvikling av begreper som aksept og toleranse for risiko
- Evakuering ved stenging av tunnel
- Et verktøy for risikoanalyse er utarbeidet i samarbeid med sveitsiske myndigheter (ASTRA)

Delprosjektleder: Finn H. Amundsen

Delprosjekt 4 Tunnelkledninger

Hensikt: Videreføre arbeidet i prosjektet Tunnelutvikling (2005 - 2007) med å utvikle brannbestandige materialer til vann- og frostsikringsløsninger.

Med bakgrunn i de resultatene som er oppnådd i FoU-prosjektet "Tunnelutvikling" Fase 1 vil arbeidet med å videreutvikle brannsikre vann- og frostsikringsløsninger fortsette. Mye er oppnådd, nye løsninger er kommet til og brannsikkerheten til eksisterende løsninger er dokumentert. Men vi benytter fortsatt brennbare materialer som må brannsikres etter at de er installert i tunnelene. Målsettingen om framtidige ubrennbare materialer står derfor fast. Det holdes fokus på utvikling av nye vann- og frostsikringskledninger.

Prosjektet "Moderne vegtunneler" vil intensivere dialogen med tunnelbransjen og leverandører for utvikling av nye materialtyper.

Det er brukt ressurser til utvikling av testekriterier for membraner.

Delprosjektleder: Mona Lindstrøm

Delprosjekt 5 Brannsikkerhet og materialkrav

Hensikt: Brannsikkerhet i tunneler, med blant annet harmonisering og standardisering av brannprøving og internasjonalt samarbeid.

Det er internasjonalt stort fokus på brannsikkerhet i tunneler. I Norge er dette knyttet primært opp mot brannsikring av store kritiske betongtunneler og brannsikring av brennbare materialer, men også i økende grad mot evakuering og slukkesystemer. Prøving av brannsikkerhet, både i liten skala i laboratoriet og for komplette system i fullskala testanlegg, har vist seg vanskelig grunnet mangel på internasjonale standarder og retningslinjer for slik testing.

Aktiviteter innen delprosjektet fokuserer på harmonisering og standardisering av brannprøving, forståelse av virkemåten til viktige brannsikringsløsninger og kompetanseheving innen brann og tunneler. Arbeidet gjøres gjennom deltagelse i store internasjonale prosjekter, men også gjennom interne prosjekter og samarbeid med universiteter og høyskoler. Tolkning av resultater fra ulike tester, som til slutt vil danne grunnlag for regelendringer, vil vektlegges.

Runehamar testtunnel inngår som en viktig fullskala testarena i dette delprosjektet. Tunnelen er den eneste i sitt slag i Europa hvor man kan gjennomføre store fullskala brannforsøk. Både eksterne aktører og Statens vegvesen har de senere årene gjennomført svært vellykkede fullskala brannforsøk i størrelser opp til 300 MW.

Resultatene fra disse forsøkene har hatt stor betydning for kunnskapen om brann i tunnel og danner basis for det videre forskningsarbeidet fremover. Det er meget stor interesse for brannsikkerhet internasjonalt, og forskningsarbeidet prioriteres for å oppnå størst mulig grad av sikkerhet for tunneltrafikanterne.

Delprosjektleder: Claus K. Larsen

Delprosjekt 6 Tunneldokumentasjon

Hensikt: Videreutvikling av eksisterende forvaltnings- og rapporteringssystem for

tunneler. Utvikling av standardisert system for lagring av registrert geologi, utført sikring og data fra borerigg under bygging av tunneler.

Forvaltningssystem

Siste års tunnelhendelser har avdekket et mangelfullt forvaltningssystem for tunneler. Etaten har et slikt system (Plania) i dag som er benyttet i noe ulikt omfang. Erfaringene pr i dag tilsier at dette systemet ikke fullt ut tilfredsstillende de krav som ledelsen stiller til et velfungerende forvaltnings- og rapporteringssystem. Med denne bakgrunn har prosjektet gjennomgått dagens Plania sett i sammenheng med andre tilsvarende forvaltningssystemer i og utenfor Statens vegvesen.

Det foreligger forslag om et forbedret forvaltnings- og rapporteringssystem for tunneler. Forslaget ferdigstilles i løpet av 2011.

Geologisk dokumentasjon og utvikling av "Novapoint Tunnel, Geologi og sikring"

Det er utviklet en standardisert, enkel og funksjonell metodikk for registrering, presentasjon og lagring av geologi og sikring i tunneler.

Data produsert fra borerigg lagres nå i en database på en slik måte at det er mulig å bruke dem også ved senere drift- og vedlikeholdsoppgaver.

Delprosjektleder: Alf Kveen

Delprosjekt 7

Tunnelutforming

Hensikt: Utforming av tunneler sett i sammenheng med sikkerhet, levetid og oppetid i ulike tunnelklasser.

Blir våre tunneler bygd slik at de tilfredsstillende de krav som samfunnet i dag setter til en viktig del av vår infrastruktur? Spørsmålet gjelder både for framkommelighet i form av høyde, bredde og geometri og for teknisk utrustning i tunnelene. Rapportene etter hendelsene blant annet i Oslofjord- og Hanekleivtunnelen gir flere føringer for satsingsområder.

Delprosjektet vurderer om det bør være en klarere differensiering mellom lavtrafikk-tunneler og høytrafikk-tunneler både i form av utforming og innredning.

Arbeidet vil blant annet gjøres gjennom bruk av data fra, og deltagelse i internasjonale prosjekter, men også gjennom interne prosjekter og samarbeid med universiteter og høyskoler.

Det er behov for å utarbeide teoretiske planer og metoder for hvordan vi kan forbedre konturen i våre tunneler. Det vil bli praktisk uttesting ved prosjekter med konvensjonell drift med boremønster, tennerbruk, sprengstoff samt litt vedrørende fullprofil og andre metoder. Tilgang til igangværende tunnelprosjekter og avtaler med entreprenører er en del av prosjektet.

Arbeidet med vurdering av tunnelutformingen blir sett i sammenheng med sikkerhet, levetid og oppetid i ulike tunnelklasser.

Etaten står foran omfattende oppgraderingsoppgaver av tunneler som innebærer både geometriske og tekniske utfordringer. Hvordan slike oppgaver blir gjennomført på en måte som sikrer en helhetlig og lik standard som tilfredsstillende kravene til moderne vegtunneler er en utfordring.

Delprosjektleder: Terje Kirkeby

Delprosjekt 8 Drift og vedlikehold – rehabilitering og oppgradering

Hensikt: Ivareta en langsiktig tunnelstandard gjennom tverrfaglig kompetansebygging og –utvikling. Dette gjelder både for tilgjengelighet, framkommelighet, sikkerhet og oppetid.

Delprosjektet fokuserer i stor grad på både enhetlig tenking og bevisstgjøring av hvilken funksjon vedlikeholdet skal ha i fremtiden. Dette stiller krav til tverrfaglig kompetansebygging og systemer som sikrer at kompetansen tas vare på og videreutvikles. Kompetansebehovet innenfor drift og vedlikehold følger også direkte av den rollen Statens vegvesen har som byggherre og forvalter av tunneler. Rollene som byggherre og forvalter krever både kompetanse og ressurser og det må synliggjøres for omgivelsene at dette er verdier som Statens vegvesen prioriterer.

Det er av strategisk betydning i et langsiktig kostnadsperspektiv å avklare omfanget av drift og vedlikehold allerede i planprosessen. Dette innebærer blant annet at nye tunneler også skal planlegges ut fra hensynet til fremtidig vedlikehold, levetidskostnader og sikkerhet.

Statens vegvesen står foran omfattende oppgraderingsoppgaver av tunneler som innebærer både geometriske og tekniske utfordringer. Hvordan slike oppgaver kan bli gjennomført på en måte som sikrer en helhetlig og lik standard som tilfredsstillende kravene til moderne vegtunneler er en utfordring. Implementering av tekniske nyvinninger, kunnskap om nye metoder og materialer blir ofte møtt med en kritisk økonomisk vurdering. Byggekostnader blir sjelden målt opp mot levetidskostnader. Slike vurderinger kan være riktige, men da må de være knyttet opp mot en akseptert strategi som gir nødvendig forutsigbarhet for kostnader.

Delprosjektleder: Ole Christian Torpp

Arbeidsgrupper

Medlemmene av delprosjektene arbeidsgrupper er vist nedenfor.

Delprosjekt 0 Strategi for vegtunneler

Ole Chr. Torpp, Vegdirektoratet
Harald Buvik, Vegdirektoratet
Mona Lindstrøm, Vegdirektoratet
Alf T. Kveen, Vegdirektoratet

Delprosjekt 1 Tunnel som planelement i vegsystem og lokalsamfunn

Sigrid Furuholt Ingebrigtsen, Seksjon for planlegging og grunnverv, leder
Sinikka Løvbrøtte, Region øst
Svein Justdal, Norconsult

- Delprosjekt 2 Tunnel-skole**
Ruth G. Haug, Vegdirektoratet
Karsten Epland, Region vest
Jan Eirik Henning, Vegdirektoratet
Erik Norstrøm, Vegdirektoratet
Asbjørn Martinussen, Region nord
Ole Fromreide, Region øst
Tore Braaten, Region sør
Tore Solberg, Vegdirektoratet
Thorbjørn Chr Risan, Vegdirektoratet
Anders Noddeland, region sør
Dag Ødegård, Region sør
Roar Midtbø Jensen, Vegdirektoratet
Harald Buvik, Vegdirektoratet
Reidun Svendsen, Vegdirektoratet
- Delprosjekt 3 Tilstrekkelig standard og sikkerhet i vegtunneler**
Finn Harald Amundsen, Vegdirektoratet
Arild Ragnøy, Vegdirektoratet
Ann Karin Midtgård, Region sør
- Delprosjekt 4 Tunnelkledninger**
Mona Lindstrøm, Vegdirektoratet
- Delprosjekt 5 Brannikkerhet og materialkrav**
Claus K. Larsen, Vegdirektoratet
Karen Klementsruud, Vegdirektoratet
- Delprosjekt 6 Tunneldokumentasjon**
Alf T. Kveen, Vegdirektoratet
Are Håvard Høien, Vegdirektoratet
Tore Humstad, Vegdirektoratet
Erik Norstrøm, Vegdirektoratet
Gunnar Gjæringen, Vegdirektoratet / Region vest
Thor Sigurd Thorsen, Vegdirektoratet
- Delprosjekt 7 Tunnelutforming**
Terje Kirkeby, Vegdirektoratet
Gunnar Gjæringen, Region vest / Region vest
- Delprosjekt 8 Drift og vedlikehold – oppgradering**
Ole Chr. Torpp, Vegdirektoratet
Kjell Inge Davik, Vegdirektoratet
Harald Buvik, Vegdirektoratet
Gunnar Gjæringen, Vegdirektoratet / Region vest

Engasjerte konsulenter

Hovedkonsulent for FoU-programmet har vært Norconsult AS:

Jens Petter Henriksen, oppdragsleder, tunnelinstallasjoner og kledninger
Erik Frogner, strategi og anleggsgjennomføring
Ludwig Wiese, kvalitets- og HMS-koordinator

Endre Hallan, ansv. samlerapporter
Anders Kr. Vik, geologi
Arild Palmstrøm, geologi
Ingvar Tyssekvam, geologi
Svein Sørheim, anleggsgjennomføring og helhetstenking
Morten Knutsmoen, anleggsgjennomføring og helhetstenking
Bent A. Børresen, brann- og tunnelsikkerhet
Gro Aa. Dahle, brann- og tunnelsikkerhet
Jørn Harald Andersen, risiko, årbarhet og beredskap
Bård Venås, CFD-beregninger
Daniella Bosniak, betongkonstruksjoner, analyser for brann
Bjørn Aasen, stålkonstruksjoner
Øystein Trulsen, elektro
Finn Mellum, plan og samferdsel
Ivar Skyberg, plan og samferdsel
Thora Heieraas, plan og samferdsel
Freddy Klaudiussen, 3D-visualisering
Janicke Garmann, miljø
Jan Viggo Holm, tunneldokumentasjon og betongteknologi
Tor Mjøs, elektro
Pål Johannes Larsen, elektro

I tillegg har følgende konsulenter vært engasjert i arbeidet med FoU-programmet:

Transportøkonomisk institutt Tor Olav Nævestad
Sunniva Meyer

Matrisk, GmbH Michael H. Faber
Matthias Schubert

Høj Consulting Niels Peter Høj

Proactima Eirik Abrahamsen
Willy Røed
Karianne Eidesen

Basler & Hofman AG Armin Feurer
Michael Ruf

ViaNova Plan og Trafikk AS Johnny M Johansen
Åsmund Holen

NTNU Amund Bruland

Vedlegg 2 Prosjektrapporter og -notater

Moderne vegtunneler Tunnelstrategi (del 1) – Bygging

Moderne vegtunneler Tunnelstrategi (del 1) Vedlegg

Moderne vegtunneler Tunnelstrategi (del 2) – Planprosess, drift og vedlikehold, sikkerhet og rehabilitering/oppgradering

Moderne vegtunneler Tunnelstrategi (del 2) Vedlegg

Moderne vegtunneler Road Tunnel Strategy Study, Basler & Hofman

Moderne vegtunneler Risikoanalysemodell, Matrisk & Hoj Consulting

Moderne vegtunneler Road Tunnel Strategy Study - auxiliary report, Basler & Hofman

Moderne vegtunneler Enøk strategi

Moderne vegtunneler Bestandighet sprøytebetong Freifjord

Moderne vegtunneler ITS i dag og inn i fremtiden

Moderne vegtunneler Grensesprengende vegtunneler

Moderne vegtunneler Rapport Drift/Vedlikehold Hovedkostnader

Moderne vegtunneler Rapport ITS

Moderne vegtunneler Rapport Oppetid

Moderne vegtunneler Rapport Sikkerhet

Moderne vegtunneler Bestandighet sprøytebetong Oslofjord

Moderne vegtunneler Bestandighet sprøytebetong Ringnes

Moderne vegtunneler Tunnelskolen

Moderne vegtunneler Konturkvalitet forsøk Storkrifast

Moderne vegtunneler Notat om levetid for bergkonstruksjon og bergsikring

Moderne vegtunneler Notat om rehabiliterings- og oppgraderingskostnader

Moderne vegtunneler Notat kostnader rehabilitering / oppgradering

Moderne vegtunneler Nyttekostnadsanalyse Helstøpt tunnelhvelv

Moderne vegtunneler Forslag til risikoakseptkriterier for vegtunneler i Norge

Moderne vegtunneler – tunnel som planelement

Moderne vegtunneler – brannsikkerhet og materialtesting

Moderne vegtunneler – tunnelkledninger og membraner

Moderne vegtunneler – tunneldokumentasjon

Moderne vegtunneler (hovedrapport)



Statens vegvesen

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

ISSN: 1893-1162