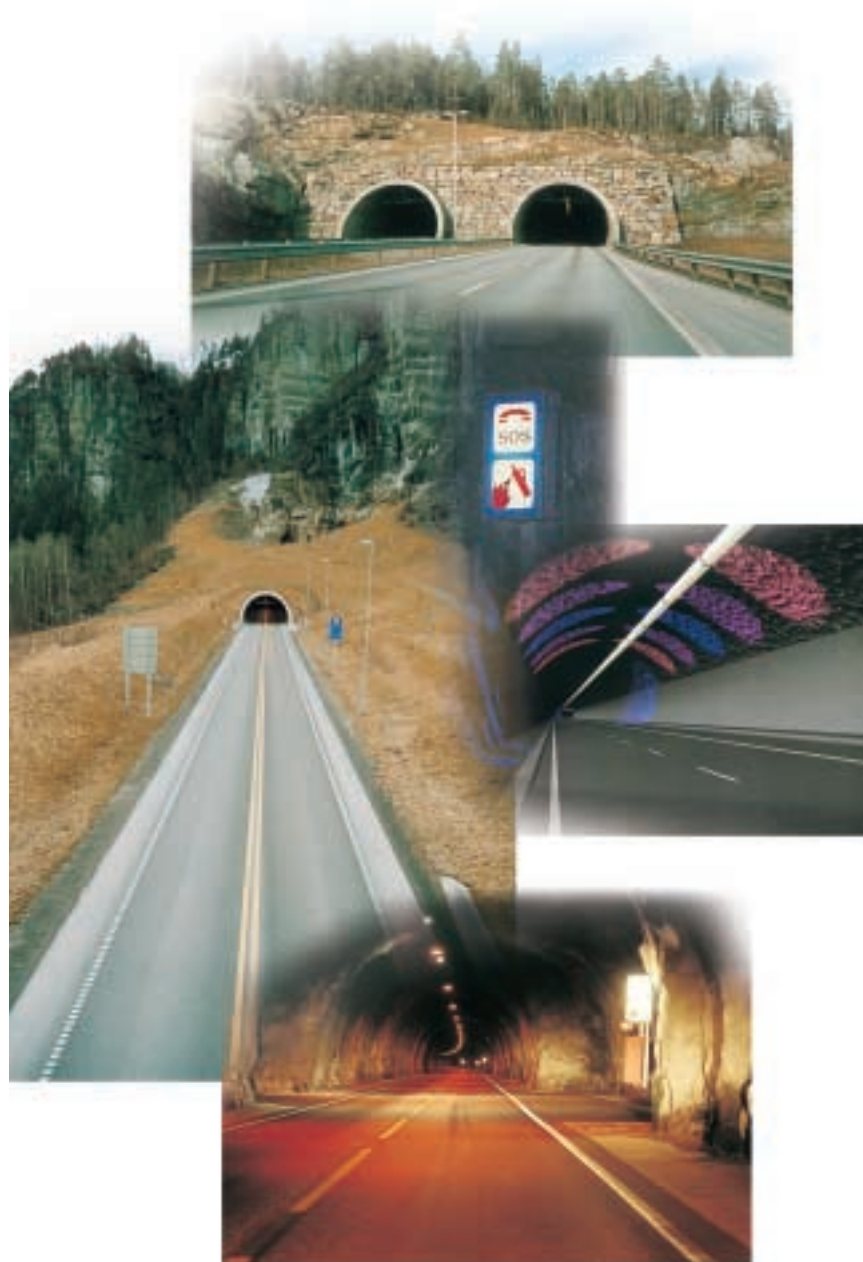


nr. 97
Publikasjon

Samfunnstjenlige vegtunneler 1998-2001

SLUTTRAPPORT



Statens vegvesen
Vegdirektoratet

Vegteknisk avdeling

Publikasjon nr. 97

**Samfunnstjenlige
vegtunneler
1998-2001**

SLUTTRAPPORT

Vegdirektoratet
Vegteknisk avdeling
Oslo, oktober 2001

Omslagsdesign: Lobo Media AS og Svein Aarset, Oslo
Forsidebilder: Statens Vegvesen
Redaksjon: Kjell Inge Davik og Harald Buvik
Redaksjon/
produksjonskoordinator: Helge Holte
Trykk: Lobo Media AS
Opplag: 1000

Forord

Tunneler løser i stadig større grad samfunnets krav til sikkerhet, miljø og framkommelighet. Tunnelelementet stiller store krav til byggherren og vegforvalteren. Statens vegvesen bygger årlig mellom 20 og 30 km ny tunnel. I tillegg forvalter vi nærmere 700 km. I en rekke av våre tunneler har vi for høye drift og vedlikeholdskostnader, ja i noen tilfeller har det vært nødvendig å reinvestere i nye konstruksjonsdeler og nytt utstyr lenge før forventet levetid var ute. Er våre prioriteringer i stor grad konsentrert om selve byggetiden og kan vi si at vi ivaretar vårt langsiktig eieransvar på en best mulig måte?

Slike spørsmål har medvirket til at Statens vegvesen i 1998 initierte etatsprosjektet "Samfunnstjenlige vegtunneler". Det har også vært en viktig ambisjon å koble vår egen kompetanse til andre nasjonale og internasjonale miljøer på en måte som har gitt oss god samhandling og et bedre utbytte.

Prosjektet har lagt stor vekt på å benytte og videreutvikle Statens vegvesen egen kompetanse gjennom faglig utvikling og nettverksbygging. Dette har gitt hele prosjektorganisasjonen en trygg og god arbeidsplattform og en sikkerhet for at vi arbeider i nær tilknytning til de reelle utfordringer ute.

Prosjektrådet vil rette en stor takk til alle bidragsyttere ved vegkontorene som har sikret at prosjektet har kunnet gjennomføres på en kvalitetsmessig og god måte.

Oktober 2001

Andreas Setsaa
formann i prosjektrådet

Kjell Inge Davik
Prosjektleder



Innhold

1	Sammendrag	7
2	Bakgrunn for prosjektet	9
3	Prosjektorganisasjon og arbeidsform	12
4	Resultater	14
4.1	NFR-prosjektet "Miljø og samfunnstjenlige tunneler"	14
	Delprosjekt A. Forundersøkelser	15
	Delprosjekt B. Samspill med omgivelsene	17
	Delprosjekt C. Tetteteknikk	19
4.2	Vann- og frostsikring i tunneler, hva er nytt	23
4.3	Krav til bergbolter må opprettholdes	24
4.4	Sprøytebetong er i utvikling og kravene må følge med	24
4.5	Levetidskostnader må styre valg av løsning	26
	4.5.1 Lønnsomhet for drift av tunneler	26
4.6	Tekniske installasjoner - den store utfordringen	31
	4.6.1 Erfaringer må samles!	32
	4.6.2 Forslag til funksjonskrav for tekniske installasjoner	35
	4.6.3 Vi trenger mer elektrokompetanse i Statens vegvesen!	37
	4.6.4 Erfaringsoverføring - selvsagt, men hvordan få det til i praksis	39
	4.6.5 Hvilken effekt har renseanleggene	39
	4.6.6 Mye å hente på pumpeanlegg i undersjøiske tunneler	42
4.7	Drift og vedlikehold – nøkkelen til et langt liv	45
	4.7.1 Krav til åpen tunnel – tilgjengelighet	46
	4.7.2 Erfaringsoverføring	54
	4.7.3 Forhold som påvirker drift og vedlikeholdskostnader	55
	4.7.4 Drift og vedlikeholds påvirkning i de ulike planfaser	58

4.8	Sikkerhet og kjørekomfort - med fokus på trafikanten	48
4.8.1	Ulykker og branner - kunnskap om hendelser i vegtunneler	61
4.8.2	Statens vegvesens strategier for sikkerhet i vegtunneler	67
4.8.3	Sikkerhetskonsept 2000 - en NVF rapport	68
4.8.4	Risikoanalyse av brann i vegtunneler - veiledning til NS 3420	69
4.8.5	Nye branntekniske dokumentasjonsmetoder for vann- og frostsikringskonstruksjoner	69
4.8.6	Nye alternativer til bruk av PE-skum	71
4.8.7	Deteksjonssystemer - en mulig sikkerhetsforbedring	72
4.8.8	Slokkesystemer	73
4.8.9	Beredskapsplanen må være aktiv!	74
4.8.10	Kunnskap om sikkerhetsutstyr i vegtunneler	78
4.8.11	Estetisk utforming av vegtunneler	78
5	Informasjon	81
6	Oppsummering	82
7	Videre arbeid	86
8	Avslutning	88
9	Prosjektrapporter og referanser	89

1 Sammendrag

Statens vegvesen initierte i 1998 etatsprosjektet "Samfunnstjenlige vegtunneler". Prosjektet har i hele perioden fokusert på å bygge relasjoner og nettverk og det har vært en bevisst strategi å bruke egne ressurser i utstrakt grad. Dette mener vi har fungert godt og forhåpentligvis bygget et nettverk som også kan brukes i ettertid.

Prosjektet har i perioden 1998 - 2001 oppnådd en rekke resultater:

- Bransjeprosjektet "Miljø- og samfunnstjenlige tunneler" har blitt etablert i prosjektperioden og erfaringene med overføring av kunnskap fra "sektor til sektor" er udelt positive
- Nye forundersøkelsesmetoder gir mer pålitelig geologisk informasjon
- Ved tetting med injeksjon er injeksjonstrykk en viktig forutsetning. Det må brukes et så høyt trykk som forholdene tillater det. Normalt innebærer dette et avslutningstrykk på 50 bar eller mer. Også oppbøringsgrad er viktig for å oppnå tetthet og man må ha mange nok injeksjonshull i skjermen. Lave v/c tall er viktig for å oppnå god avbindingen av sementen (ned mot 0,5). Man må imidlertid se disse parametrene i sammenheng
- Det må være samsvar mellom mellom injeksjonsskjermens utstrekning og den boltelengden bergforholdene tilsier.
- Ved parallelle tunneler er det gunstig med litt avstand mellom stuffene
- Prosjektene må ha i en rett kompetanse på et tidlig stadium for å kunne forutse og tilrettelegge for de vesentligste og mest kompliserte utfordringene
- Dagens krav til bergbolter bør opprettholdes
- Prosjektets anbefaler at kravene i Norsk Betongforenings Publikasjon nr. 7 "Sprøytebetong til fjellsikring", innarbeides for bruk i norske vegtunneler
- Levetidskostnader må styre valg av løsning
- Det er utviklet en enkel modell for beregning av levetidskostnader og lønnsomhet for drift av tunneler
- Det er laget forslag til funksjonskrav innenfor en del viktige tunnelelementer
- Prosjektet har arbeidet med forbedring/utvikling ved valg av pumpeløsninger i undersjøiske tunneler, som har et betydelig potensiale for optimalisering
- Fagområdet elektro har blitt meget sentralt i forhold til å ivareta nedlagt kapital innenfor tekniske installasjoner. Prosjektet har rettet fokus på hvorledes denne kompetansen kan struktureres og organiseres slik at hensynet til det langsiktige eierskapet best kan ivaretas

- Prosjektet foreslår at det blir laget retningslinjer for "Forvaltning drift og vedlikehold av tunneler".
- Prosjektet har også konkret sett på krav til tilgjengelighet i tunnelene. Disse kravene er satt ut i fra hensyn til planlagte stenginger som følge av behov for vedlikehold, og ikke planlagte stenginger som følge av teknisk svikt i installasjoner. Forslagene er klassifisert i samsvar med tunnelklasseinndelingen
- Statens vegvesens sikkerhetsstrategi er samlet i en rapport, der elementene i strategien beskrives
- Forslag til nye branntekniske krav for testmetoder for vann- og frostsikringskonstruksjoner er utarbeidet
- Nye ubrennbare konstruksjoner er bortimot ferdig utviklet
- Prosjektet har evaluert mulighetene for bruk av deteksjonskabler i tunnel.
- Kunnskapen om sikkerhetsutstyret i norske vegtunneler er mangelfull hos den vanlige trafikant. Prosjektet har fokusert på dette behovet og laget et rammeverk for det videre arbeidet med en informasjonskampanje
- En sentral del av sikkerhetsarbeidet er knyttet til utarbeidelse av beredskapsplaner. Prosjektet har forsøkt å lage beskrivelsen og oppbyggingen av beredskapsplanen på en slik måte at man øker bevisstheten om behovet for aktivt bruk slike planer
- Prosjektet har bidratt til utarbeidelsen av en publikasjon om estetisk utforming av vegtunneler
- Prosjektet har etablert en internettside for fagområdet tunnel
- Det har spesielt i den siste delen av prosjektperioden blitt lagt stor vekt på revisjonen av håndbok 021 "Vegtunneler". Denne er nå ferdig til trykking og skal gjelde fra 1. januar 2002. Det har også vært arbeidet aktivt med håndbok 163 "Vann- og frostsikring av vegtunneler - funksjonskrav og dimensjoneringsregler" og denne ventes ferdig i februar/mars 2002.

Vi håper og tror at resultatene i prosjektet virkelig bidrar til at vi får mer samfunnstjenlige tunneler og at Statens vegvesens kompetanse har blitt styrket, kanskje spesielt på de områdene vi i 1998 mente at vi burde heve den.

2 Bakgrunn for prosjektet

– hva var målet og hvordan ville vi oppnå det?

Statens vegvesen bygger årlig mellom 20 og 30 kilometer med nye tunneler og forvalter nærmere 700 km. Er våre prioriteringer i stor grad konsentrert om selve byggetiden og kan vi si at vi ivaretar vårt langsiktige eieransvar på en best mulig måte ?

Det var et definert behov for å vurdere om de teknisk valgte løsninger er riktige, og det var et klart behov for å definere funksjonskrav og funksjonssikkerhet for ulike elementer innen tunnelbygging og drift.

De miljømessige aspekter ved bygging av tunneler trenger også en omfattende revisjon og en økt bevissthet på dette området vil kunne føre til en større bevissthet for å bygge tunneler i samspill med omgivelsene.

På bakgrunn av disse definerte behovene ble det i 1997 initiert et etatssatsingsprosjekt på tunneler som skulle gjennomføres over 4 år (1998 - 2001). For å si det enkelt var overordnet målsetning å øke kompetanse på disse definerte områdene.

Prosjektet "Samfunnstjenlige vegtunneler" hadde i hovedsak tre "knagger":

- trafiksikkerhet
- samspill med omgivelsene
- levetidskostnader, langsiktig eieransvar.

"Landet er bundet sammen på en miljøvennlig, trygg og effektiv måte."

VISJON ÅR 2010

Prosjektets definerte hovedmål var forankret i Statens vegvesens visjon 2010 og formulert som:

"Videreutvikle og forbedre dagens teknologi og gi rom for nytenkning ved å utvikle mer kostnadseffektiv, bedre, sikrere og mer miljøvennlige tunneler. I dette ligger en belbets-tenkning der Statens vegvesens langsiktige eieransvar ligger som plattform for bedret kvalitet og totaløkonomi, og samspiller med økt effektivisering av tunnelbygging."

Deler av prosjektet er tatt ut som et nasjonalt bransjeprosjekt og gjennomføres i samarbeid med andre etater, institutter og entreprenører. Denne delen av prosjektet støttes av Norges forskningsråd (se kapittel 4.1).

Resultatene i prosjektet danner grunnlag for revisjon av normaler og retningslinjer.

Prosjektet hadde tidlig en tese om klare suksesskriterier for måloppnåelse. Dette var blant annet å :

- benytte kompetansen i hele etaten
- benytte seg av samarbeid fra sektor til sektor (Jernbaneverket etc.)
- unngå prosjektbyråkrati
- garantere tilstrekkelig ressurser
- ha vilje til nytenkning og forandring
- informere jevnlig om status og resultater
- benytte seg av internasjonal kompetanse gjennom PIARC, ITA, NVF etc.
- fremme kreativitet og innsatsvilje i arbeidsgruppene ved å tilby faglige utfordringer og trivelig arbeidsmiljø
- få alle parter til å føle eieransvar for prosjektet.

Den viktigste elementet ved det å inneha høy kompetanse på et område er ikke alltid å inneha kunnskapen selv, med å erkjenne at andre har den og vite hvor den finnes!

Som Vegdirektør Olav Søfteland sier i Vegten og vi nr. 3-2000:

"Norsk tunnelkompetanse er etterspurd". Det har også vært vårt mål at denne etterspørselen blant annet gjennom dette prosjektet ytterligere styrkes. Dette gjelder selvsagt i forhold til det internasjonale miljø og andre norske bygherrer, men det viktigste er allikevel i forhold til intern nettverksbygging og kunnskap om hvem som KAN innen Statens vegvesen.

Figur 1
Hall i Lærdals-
tunnelen.



Hvordan kan vi si at vi har nådd målet?

Halvveis prosjektet tok vi en "ny solhøyde" for å sjekke kursen i forhold til vårt opprinnelige mål. Alle rapporter og nyhetsbrev kan bestilles fra Vegteknisk avdeling.

Resultatene av prosjektet må føre til forbedringer, både for trafikanten og samfunnet.

For trafikanten bl.a. ved:

- Bedre informasjon om sikkerhetsutstyr i tunneler
- Bedret sikkerhet
- Bedre linjeføring, estetikk og kjørekomfort
- Bedre og riktigere belysning
- Renere luft og bedre sikt.

Tunnelen er, og føles, trygg og trivelig.

For samfunnet bl.a. ved:

- Større sikkerhet mot miljøskader
- Bedret grunnlag for prognostisering av tunnelprosjekter
- Større teknisk og økonomisk sikkerhet ved gjennomføring av tunnelprosjekter
- Optimal organisering i alle prosjektets faser
- Styrket tillit i samfunnet
- Forbedrede dokumentasjonsmetoder for konstruksjonsmetoder vedrørende brann
- Energiøkonomisering
- Bedret kunnskap om bestandighet
- Levetidskostnader som grunnlag for framtidige valg.

Vi anså vel at det å oppnå alle disse delmålene nok ville være vanskelig, men det var vårt mål at de skal bli belyst og at forslag til løsning for mange skulle skisseres i sluttrapportene. Videre må forslag til løsning innarbeides i styringsdokumenter og derved implementeres ved bygging.

3 Prosjektorganisasjon og arbeidsform

Prosjektet har som det framgår av figur 1 vært bygget opp av ca. 10 delprosjekter. De 4 første delprosjektene ble i tidlig fase tatt ut som et bransjeprosjekt med delfinansiering fra Norges forskningsråd (se kapittel 4.1).

Prosjektet har vært forankret i linjen på Vegteknisk avdeling. For å bistå prosjektledelsen med å holde prosjektets framdrift og mål, ble det satt ned et prosjektråd. Rådet var også med på å anbefale satsingsområder og behovet for endringer i prosjektperioden.

Prosjektrådet har bestått av:

Andreas Setsaa, Vest-Agder (formann)
Øivind Søvik, Hordaland
Tore Hoven, Sør-Trøndelag
Audun Aaland, Tunnelproduksjon
Jan Eirik Henning, Vegdirektoratet
Eirik Øvstedal, Vegdirektoratet
Kjell Inge Davik (prosjektleder).

I fire års perioden gjennomførte prosjektrådet mellom 2 og 3 møter årlig.

For å kunne gjennomføre å koordinere et prosjekt med en slik bredde, har det vært avgjørende å få inn dyktige folk i prosjektorganisasjonen. Det fikk man gjennom Harald Buvik som har at ansvaret for delprosjektene G til J, Mona Lindstrøm som assisterende prosjektleder og Bjørn Helge Kluver som fagperson på NFR-prosjektet (delprosjektene A-D).

Delprosjektene A-D er beskrevet i kapittel 4.1. Delprosjektene E, Brann og F, Berg, vann- og frostsikring ble gjennomført uten arbeidsgruppe men ved å arbeide med enkeltaktiviteter.

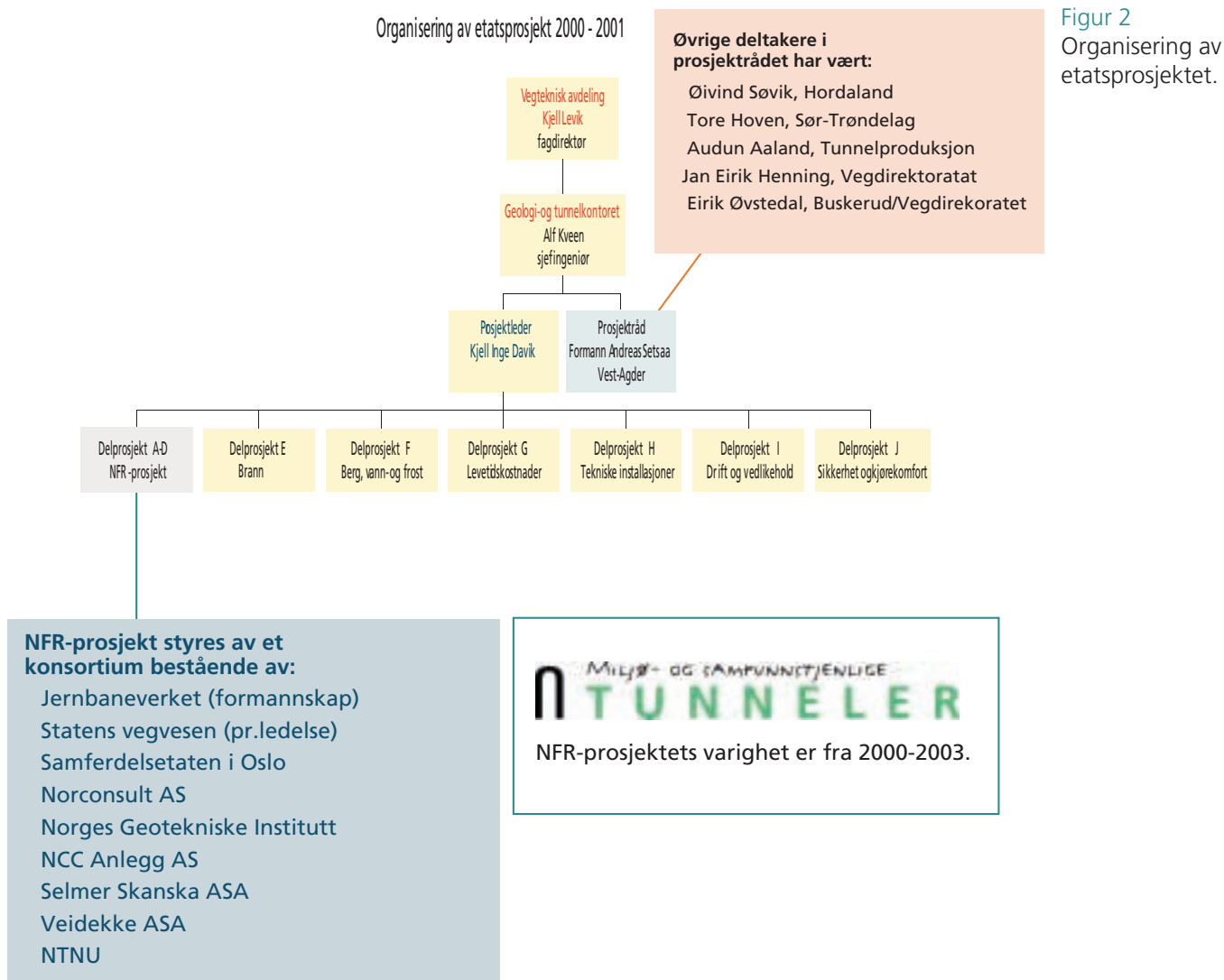
Delprosjektene G-J har vært ledet av Harald Buvik og gjennomført med 4 arbeidsgrupper bestående av eksperter fra vegkontorene. Disse gruppene har gjennomført opptil 7 arbeidsmøter årlig. De ressurspersoner som har arbeidet i prosjektet er i stor grad engasjerte personer som allerede har en betydelig arbeidsmengde. Derfor er det ennå mer imponerende å se hvilke resultater og utredninger gruppene i felleskap har kommet fram til.

Informasjon av resultater i denne typen prosjekter er ofte en real utfordring. For å få råd og vink i denne prosessen ble Inge Fossellie, Vest-Agder og Arne Bjøru i Vegdirektoratet benyttet. Dette gav prosjektet mange gode råd, men prosjektet erkjenner at disse ikke er benyttet i stor nok grad. Mange av rådene i denne prosessen blir nå imidlertid benyttet i NFR-prosjektet.

I perioder har noe av prosjektets ressurser vært benyttet til å revidere tunnelnormalen, håndbok 021. Dette har også vært et nyttig arbeid som har gitt oss større mulighet til å se

sammenhengen mellom utviklingsarbeidet og de kravene som fremsettes i styringsdokumentene.

Prosjektet har i perioden 1998-2001 hatt et totalbudsjett på 8,5 millioner kroner. En del av disse midlene har gått inn som en egenandel i NFR-prosjektet (se kapittel 4.1).



Figur 2
Organisering av etatsprosjektet.

4 Resultater

I dette kapitlet presenteres prosjektets resultater. Det er forskjellige nivåer på disse resultatene som ferdige prosjekter, organisatoriske anbefalinger og delresultater i prosjekter som ennå ikke er ferdig.

I hvert kapittel presenteres sammendrag av resultatene og i de fleste tilfeller er det henvist til detaljrapporter.

4.1 "Miljø- og samfunnstjenlige tunneler" – et bransjeprojekt støttet av Norges forskningsråd



Som nevnt tidligere ble delprosjektene A til D i 1999 tatt som et bransjeprojekt med støtte fra Norges forskningsråd og i samarbeid med andre involverte i tunnelbransjen i Norge. Det ble igangsatt et forprosjekt i 1999 for å avdekke satsingsområder for hovedprosjektet som vil gå fra 2000 - 2003.

Forprosjektet er rapportert i 5 rapporter, fire som omhandler delprosjektene og én som omhandler hele prosjektet. Denne siste dannet grunnlag for søknad til Norges forskningsråd om et hovedprosjekt i 1999.

Prosjektet ble akseptert av Norges forskningsråd i mai 2000, om enn med en noe redusert finansiering. Høsten 2000 ble arbeidet startet i de 3 delprosjektene: Forundersøkelser, Samspill med omgivelsene og Tetteteknikk. Prosjektets fokus er nå i stor grad rettet mot praktisk utprøving og oppfølging ved konkrete anlegg. Prosjektet er detaljert beskrevet i internrapport 2201.

Tunnelbransjen vil gjennom dette prosjektet oppnå:

- Større sikkerhet mot miljøskader spesielt relatert til grunnvann
- Bedret grunnlag for prognostisering av tunnelprosjekter
- Større teknisk og økonomisk sikkerhet ved gjennomføring av tunnelprosjekter
- Styrket tillit i samfunnet
- Øke kunnskap og kompetanse.

A. Forundersøkelser <ul style="list-style-type: none">• evaluering av borhull• omfang• regionalgeologi• undersøkelsesmetoder mm. KNYTTET TIL prosjekter	B. Samspill med omgivelsene <ul style="list-style-type: none">• vegetasjoners sårbarhet• vannkilders sårbarhet• lekkasje vs. endringer i grunnvannstand• poretrykksendringer urbanområder• Akseptgrenser for lekkasjer	C. Tetteteknikk <ul style="list-style-type: none">• injeksjonssementer• injeksjonsstrategi• naturlige tettemetoder• vanninfiltrasjon
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Figur 3
Innhold i NFR-
prosjektet.

Koordinering av prosjektaktiviteter mot konkrete anlegg



MÅL

Delprosjekt A. Forundersøkelser

Innledningsvis i delprosjektet ble målene og konsekvensene av måloppnåelse skissert som følger:

- Dokumenterte retningslinjer for valg av omfang, metoder og verktøy til bruk ved forundersøkelser basert på anerkjente normer og standarder også anvendbare i det internasjonale marked
- Reduserte kostnader ved tunneldrift ved at man er forberedt på foreskrevne problemer og kan sette inn tiltak og anvende riktige metoder og utstyr som er priset i anbudet, og i beste fall unngår problemområder
- Større sikkerhet ved gjennomføringen av tunnelprosjekter ved at man kvalitativt utfører bedre kartlegging av problemområder og entydig kan foreskrive fenomen som kan medføre skade på personer, utstyr eller konstruksjoner
- Større sikkerhet mot miljøskader og negative samfunnsmessige konsekvenser ved at man på forhånd identifiserer problemområder der slike skader kan oppstå, og planlegger/utfører tiltak for å unngå skadene, enten på forhånd eller underveis
- Mer pålitelig geologisk informasjon gir sikrere tids- og kostnadsoverslag og bedre grunnlag for å fatte riktige beslutninger og kunne gjøre dette på et tidligere stadium i et prosjekt.

Jernbaneverket, NGU, NGI og Statens vegvesen arbeider i delprosjektet, som er delt opp i 7 aktiviteter.

A1 Grualia

Aktiviteten omfatter undersøkelser i tilknytning til planlagt tunnel på en ny vegstrekning (Rv 35) fra Grua til Gardermoen. En tunnel på ca 3,8 km går fra området ved Grua i østlig retning under Langvannet og videre inn under naturvernområdet Rinilhaugen. Det er viktig å unngå uakseptable vannlekkasjer ved Langvann. Prosjektet har etablert et godt samarbeid med Grutuliaprosjektet og avholder de fleste prosjektmøter her.

Hovedmålet er å gjennomføre forundersøkelser med metoder som hittil er lite benyttet og evaluere nytten av disse metodene ved fremtidige prosjekter.

NGU har ansvaret for arbeidet som går i henhold til planen. Det er etablert et godt samarbeid med anlegget.

En rapport som evaluerer bruk av helikoptermålinger i forbindelse med forundersøkelsene er ferdig. Neste rapport kommer i februar 2002.

A2 Riktig omfang av forundersøkelser

Mot slutten (i 2003) av prosjektet skal retningslinjer for det omfanget forundersøkelser bør ha i de ulike nivåer av planleggingen, revideres.

A3 T-Baneringen

Hovedmålet er å bruke data fra tunnelkartleggingen til å karakterisere bergmassen med hensyn til permeabilitet og bergmassekvalitet og vurdere dette opp mot regional-/strukturgeologi og utførte undersøkelser.

NGI har ansvaret for arbeidet som går i henhold til planen.

Prosjektet skal avsluttes våren 2002.

A4 Frøyatunnelen

Det skal i dette delprosjektet gjennomføres analyser innenfor følgende områder:

- Vannlekkasjer og injeksjon sett i forhold til ingeniørgeologiske forhold, nærmere bestemt bergarter, Q-verdier, bruddsoner og sprekkesystemer
- Ingeniørgeologiske (inklusive Q-verdier og utført stabilitetssikring) og hydrogeologiske forhold erfart under tunneldrivingen sett i relasjon til regionalgeologiske forhold
- Regionalgeologi og ingeniørgeologi sett i forhold til resultater fra forundersøkelser
- Evaluere hvilke av utførte forundersøkelser som ga mest verdifull informasjon sett i forhold erfaringene under driving.

NGI har ansvaret for arbeidet som går i henhold til planen. Prosjektet skal avsluttes i desember 2001.

A5. Romeriksporten

Aktivitetens hovedmål er å foreta en vurdering av tilgjengelige og nye data for å vurdere om problemene under drivingen av Romeriksporten kunne vært avdekket på forhånd.

NGU har ansvaret for arbeidet som går i henhold til planen. Prosjektet skal avsluttes i 2003.

Delprosjekt B. Samspill med omgivelsene

Innledningsvis i delprosjektet ble målene og konsekvensene av måloppnåelse skissert som følger:

- Sammen med at grunnlaget for bedømming av berørte områders sårbarhet i en tidlig planleggingsfase bedres, vil dette gi større treffsikkerhet ved beregning av kostnadene ved framtidige tunnelprosjekt.

NGI, Norconsult, Jordforsk og NINA (Stiftelsen for naturforskning og kulturminneforskning) arbeider i delprosjektet, som er delt opp i 5 aktiviteter.

B1 Vegetasjoners sårbarhet

Vegetasjonens sårbarhet bør si noe om sannsynligheten og omfanget av skadeeffekter som kan oppstå på kort og lang sikt i ulike vegetasjonstyper som følge av tunneldrenering og nye grunnvannsforhold.

Klassifiseringen kan baseres på flere kriterier både med hensyn på sårbarhet og naturverdi.

Vi vil med utgangspunkt i eksisterende kunnskap og normalt eksisterende datagrunnlag (f.eks. terrengdata, dmk og vegetasjonskart) se i hvilken grad forhold knyttet til sårbarhet og naturverdi kan registreres innen realistiske rammer. Dessuten vil vi med utgangspunkt i eksisterende litteratur vurdere kunnskapsstatus om i hvilken grad ulike vegetasjon virkelig er avhengig av grunnvann, både høy grunnvannstand og regelmessig grunnvannssig (kilder). Deretter vil man kunne beskrive metoder for å kartlegge og undersøke mulige sårbare vegetasjonstyper på utvalgte lokaliteter (stedsspesifikke undersøkelser).

NINA har ansvaret for arbeidet.

B2 Vannkilders sårbarhet

Vannkilders sårbarhet sier noe om endringer i vannmengde og vannkvalitet på kort og lang sikt som følge av tunneldrenering og nye grunnvannsforhold.

Sårbarhet kan klassifiseres ut fra mulig påvirkning på:

- Regional vannforsyning fra åpen drikkevannskilde
- Regional vannforsyning fra grunnvannsreservoar eller brønner
- Grunnvannets kjemi
- Lokale brønner (åpne eller dype borede brønner)
- Vannstand og/eller vannstandsvariasjoner i tjern eller vann (primært estetisk spørsmål, som man bør kunne se i sammenheng med de mange regulerte vann man ellers har)
- Rennende vann (bekker mm.)
- Påvirkning på fisk og andre organismer i vannet.

Metoder for å kartlegge og undersøke sårbarheten for og konsekvensene av skader (endringer) for grunnvann- og overflatevann skal beskrives.

Jordforsk har ansvaret for arbeidet.

B3 Lekkasjeer – endring i grunnvannstand

En del relativt enkle beregninger kan gjøres for å illustrere sammenheng mellom innlekkasje til et tunnelanlegg og mulig påvirkning på grunnvannstanden for ulike grunnforhold, topografi, nedbørsforhold/avrenning og tunnelens dybde. Det bør også kunne utarbeides sammenheng mellom ulike hydrogeologiske hovedparametre omkring bestemmelse av lekkasjerate inn i tunnelen.

I denne sammenheng bør man også søke å få frem påvirkning på lokalt "hengende" grunnvann, og om eller i hvilken grad mindre bekker kan påvirkes.

Metoder for å kartlegge de viktigste geologiske og hydrogeologiske parametre skal beskrives. Fokus skal for hvert enkelt anleggene være de parametre som har største betydning for drenering og omfanget av skadeeffekter på naturen.

Norconsult AS har ansvaret for arbeidet.

B4 Poretrykksendringer og skader i urbanområde

Formålet med denne aktiviteten er å etablere rasjonelle metoder for å kartlegge potensialet for setninger og skader som følge av innlekkasje av grunnvann til tunnelanlegg i urbane områder. Dette er et aspekt som vil være helt avgjørende for hvilke lekkasjekrav som må stilles til et tunnelanlegg.

Arbeidet inneholder følgende tre hovedaktiviteter:

- Bestemme endring av poretrykk/grunnvannstand i løsmassene rundt et tunnelanlegg i relasjon til innlekkasje
- Bestemmelse av setningspotensialet i løsmasser for en gitt endring av poretrykk/grunnvannstand
- Bestemmelse av skadepotensialet på bygninger og andre anlegg, og tilhørende skadekostnader, i relasjon til størrelsen på setninger (total- og differensialsetninger).

NGI har ansvaret for arbeidet.

B5 Grovklassifisering av akseptgrenser for tunnellekkasjer

Basert på ovenstående klassifisering bør man kunne lage en grov inndeling av sammenhengen mellom naturgrunnlaget og skadepotensialet ved ulik innlekkasje under ulike forhold. En mulig løsning er en form for matrise med sentrale faktorer der en for hvert tunnelanlegg vekter de ulike faktorer ut fra mulig konsekvens (skadeomfang) og sannsynligheten for at den skal inntreffe ved forskjellige lekkasjer. En vurdering av faglig/politisk akseptabelt skadepotensial vil deretter resultere i lokale lekkasjekrav. Kravene vil videre være bestemmende for hvilke tekniske løsninger som kreves for å tette

tunnelanlegget, hvilket igjen har avgjørende betydning for kostnader. Det kan eksempelvis nevnes at i forhold til en tunnel der det ikke utføres nevneverdig injeksjon, vil et krav til systematisk forinjeksjon langs hele tunnelanlegget typisk innebære en fordobling av tunnelkostnaden, og etablering av en vanntett utstøpning en tredobling av kostnadene.

Det må selvfølgelig bli en del synsing i dette, men det bør være et godt utgangspunkt for drøfting og diskusjon med miljøvernmyndigheter og NVE. Dette også sett i sammenheng med ny vannressurslov.

Formålet må være å komme i en dialog for å få mer generell forståelse for hele problemstillingen, og få frem rimelige og fornuftige krav i fremtiden.

NGI har ansvaret for arbeidet.

Delprosjekt C Tetteteknikk

Innledningsvis i delprosjektet ble målene og konsekvensene av måloppnåelse skissert som følger:

- Dagens nivå for usikkerhet knyttet til både oppnåelig tetthet, tidsbehov og kostnader vil reduseres. I tillegg til de teknisk/økonomiske konsekvenser dette har vil også tunnelbransjens omdømme i samfunnet bedres.
- Vil bidra til å sikre gjennomførbarheten mht. konsekvenser av grunnvannssenkning for tunnelprosjekter i både tettbebygde strøk og spesielt sårbare naturområder
- Geometrisk utforming av tunneltraseene vil kunne bli mer uavhengig av grunnforholdene
- Redusert risiko i tunnelprosjekter for uønskede konsekvenser mht. ytre og indre miljø
- Vil fremskaffe oppdatert kunnskap og materiale som bør anvendes i utdanningssammenheng ved f.eks. NTNU
- Ny oppdatert NFF håndbok i berginjeksjon gir bransjen kjøreregler som har absorbert de nyeste erfaringer.

NVK (Norsk Vandbyggningskontor), NOTEBY, Aquateam, Geovita, Jernbaneverket, SINTEF Bergteknikk, Norconsult og Statens vegvesen deltar i prosjektet, som er delt opp i 5-6 aktiviteter.

C1 Injeksjonssementer

Innledningsvis i delprosjektet ble målene og konsekvensene av måloppnåelse skissert som følger:

- Dokumentere hvordan sementtyper, kornfordeling, forbehandling, tilsetningsstoffer, blandemetode, temperatur og trykk faktisk påvirker inntrengning og fasthetsutvikling (størkning og herding)
- I samarbeid med leverandørindustrien: Forbedre mikrosegmenttyper og arbeidsprosedyrer slik at godt tetteresultat kan oppnås i finest mulige sprekker.
- Forbedre beskrivelse, kvalitetsstyring og kontroll av injeksjon i praksis
- Utnytte resultatene i sammenheng med delprosjekt C2.

Arbeidet ligger noe etter plan på grunn av problemer med å få etablert testtrigg.

SINTEF Bergteknikk har ansvaret for arbeidet.

C2 Injeksjonsstrategi

På tross av mange sprikende momenter og betraktninger når det gjelder berginjeksjon, finnes det noen grunnforutsetninger som alltid vil være gjeldende uansett type prosjekt. Et injeksjonsmiddel som pumpes inn i berg vil følge vanlige hydrauliske lover og gå minste motstands vei. Et borhull med blanding av fine og grove kanaler/sprekker vil bare delvis bli utnyttet hvis injeksjon foretas med for lav trykk- og pumpekapasitet. De fine kanalene vil bli blokkert på et tidligere stadium og forhindre videre inntrenging når injeksjonstrykket til slutt bygger seg opp. Tilsvarende effekt forsterkes når flere hull injiseres samtidig over en felles manifold. Disse betraktninger sammen med andre praktiske erfaringer fører til følgende hovedretningslinje for det videre arbeid:

Injeksjon i berg skal utføres på en slik måte at optimalt injeksjonstrykk oppnås allerede fra første pumpeslag.

Med optimalt injeksjonstrykk menes det høyeste tillatte trykk som på forhånd er bestemt ut fra de stedlige forhold.

Figur 4
Injeksjon i
Storhaug-
tunnelen.



I prosjektet må følgende utredes:

- Vurdering av begrepet optimalt trykk sett i relasjon til tetthetskrav, omgivelsene og øvrige variable
- Injeksjonsutstyr etter ovennevnte modell
- Fremskaffelse av injeksjonsmateriale og styringsmetodikk som tilfredstiller ovennevnte krav
- Prosedyrer for injeksjon på stuff mht. boring/injeksjon etter ovennevnte krav
- Teste dette ut på aktuelt prosjekt.

En stor del av forventede fremtidige tunnelprosjekter innen samferdselssektoren i Norge vil være knyttet til tettbygde strøk. Slike tunneler vil ofte være gruntliggende og pålagt meget strenge tetthetskrav. Denne kombinasjonen innebærer også i mange tilfeller at det forekommer dårlige bergforhold i tilknytning til disse kritiske områder.

Erfaringer fra utførte prosjekter må undersøkes og dokumenteres ytterligere. Utprøving og dokumentasjon på nye prosjekter er imidlertid vesentlig, både mht. materialer, utstyr, metode, borhullgeometri, tid og ikke minst resultater. Utfordringene i prosjektet ligger i å undersøke injeksjonstekniske metoder og resultater for prosjekter med

- Liten overdekning
- Dårlig bergkvalitet
- Strengt tetthetskrav
- Ugunstig tunnelgeometri (to løp, kryss i plan/to plan etc.).

Det har vært stor aktivitet i prosjektet, spesielt rettet mot utprøving på T-Baneringen. I tillegg har det blitt laget et omfattende erfaringsrapport (Internrapport 2233) og en rapport fra injeksjonarbeidene i en vanskelig sone (Internrapport 2234).

En del foreløpige tendenser ser en allerede på nåværende tidspunkt:

- Kan se ut som mikrosementer og industrisementer gir like gode resultater, i alle fall under forhold som på T-baneringen
- Høyt injeksjonstrykk en viktig forutsetning (sluttrykk over 50 bar)
- Oppboringsgrad er viktig for å oppnå tetthet - må ha mange nok injeksjonshull i skjermen
- Lave v/c-tall er viktig for å oppnå god avbinding av sementen. På T-baneringen har man begynt på et v/c-tall mellom 1,3-1,0 og deretter trappet helt ned til 0,5
- Sikringsbolter kan ofte punktere skjermen
- Ved parallelle tunneler er det gunstig med litt avstand mellom stuffene.

Arbeidet med denne aktiviteten fortsetter ut prosjektperioden på T-Baneringen. Delprosjekt C har hatt alle sine møter på T-Baneringen og denne nærheten har vært veldig viktig. Det er opprettet et svært godt samarbeid mellom prosjekteier Samferdselsetaten i Oslo og byggeledelsen som i dette tilfellet er Statens vegvesen Oslo.

Prosjektet vil når T-Baneringen er ferdig drevet fortsette arbeidet mot et annet tunnelprosjekt, jernbanetunnelen mellom Jong og Asker.

NVK og Norconsult har ansvaret for arbeidet.

C3 Naturlige tetteprosesser

I tunneler er det naturlig å tenke seg at berggrunn og vannkvalitetsforhold (porøsitet, pore størrelse, type bergart, organisk stoffinnhold, næringssalter; nitrogen, sulfat, fosfor, red/oks forhold, vanntrykk, temperatur, partikkelstørrelse-fordeling) i stor grad vil bestemme vannlekkasjerate og hvorledes de vil avta over tid. Ved å benytte eksisterende kunnskap fra miljøteknologi (offshore og forurenset grunn) og tilpasse kunnskapen til behov og stedsspesifikke forhold, vil det være mulig å kunne utvikle modeller som forklarer hva som vil skje under ulike forhold. Ved å samle inn eksisterende informasjon og sammenligne den med forventede resultater basert på teoretiske modeller, vil man kunne utvikle empiriske gode modeller som kan verifiseres og tilpasses de praktiske observasjoner. Innsamling av materialet fra eksisterende anlegg vil måtte omfatte en hel serie parametre.

Denne aktiviteten vil først utarbeide en hypotese for hva man forventer kan hende. Derneft gjennomføres en systematisk innsamling av data fra ulike prosjekter der man har

opplevd dette. Resultater sjekkes mot hypotesen og justeres i forhold til praktiske observasjoner.

Aktivitetens hovedmål er å øke kunnskapen om naturlige tetteprosesser i fjelltunneler/bergrom og dernest utnytte denne kunnskapen i tetteprosessen.

Det skal lages et statusrapport 1 .kvartal 2002.

Aquateam har ansvaret for arbeidet.

C4 Vanninfiltrasjon

Formålet med dette delprosjektet er å etablere et rasjonelt grunnlag for prosjektering av vanninfiltrasjonsanlegg for å motvirke uønskede konsekvenser av innlekkasje av grunnvann til tunnelanlegg. Slike konsekvenser kan være i form av redusert poretrykk i nærliggende leirfylte dyprenner og medfølgende setninger og skader på byggverk, eller endring av grunnvannstand som kan påvirke natur/miljø.

Prosjektforlaget inneholder følgende aktiviteter som beskrevet i det etterfølgende:

- Sammenstilling av praktiske erfaringer fra tidligere anlegg
- Praktisk utforming, drift og vedlikehold av infiltrasjonsbrønner
- Sammenstilling av resultater i form av en veiledning.

Det skal lages en statusrapport i 1. kvartal 2002.

NGI har ansvaret for arbeidet.

Annet innen NFR-prosjektet

Prosjektet arbeider også med å oppdatere NFF's håndbok "Fjellinjeksjon". Dette arbeidet skal være ferdig 1. kvartal 2002.

Videre er det prosjektets klare intensjon at det parallelt blir sett på de organisatoriske og kontraktsmessige forhold som i enkelte tilfeller kan virke som barrierer for en riktig bruk av tekniske hjelpemidler og metoder. Dette vil medføre at kontrakter og anbudsgrunnlag blir riktig utformet for en profesjonell og fagmessig gjennomføring av arbeidene til beste for miljø og omgivelser.

NFR-prosjektet skal avsluttes i 2003.

Se for øvrig:

Internrapport 2124 "*Prosjektskisse 2000-2002*"

Internrapport 2128 "*Delprosjekt A: Forundersøkelser – Forprosjekt 1999*"

Internrapport 2129 "*Delprosjekt B: Samspill med omgivelsene – Forprosjekt 1999*"

Internrapport 2130 "*Delprosjekt C: Tetteteknikk – Forprosjekt 1999*"

Internrapport 2131 "*Delprosjekt D: Organisering – Forprosjekt 1999*"

Internrapport 2151 "*Berginjeksjon*"

Internrapport 2201 "*Prosjektbeskrivelse for hovedprosjekt 2000-2003 – Rapport nr. 1*"

Internrapport 2233 "*Berginjeksjon – erfaringer fra gjennomførte prosjekter – Rapport nr. 2*"

Internrapport 2234 "*Injeksjon av vanskelig sone i T-Baneringen – Rapport nr. 3*"

Internrapport 2235 "*Laboratorietesting av mikrosemeter – Rapport nr. 4*".

4.2 Vann- og frostsikring av vegtunneler, hva er nytt?

Arbeidet med vann- og frostsikring av vegtunneler har lenge hatt fokus i Statens vegvesen. Denne utviklingen er utfyllende skissert i Publikasjon nr. 91 fra 1998. Innen etatsprosjektet ble det tidlig besluttet å fokusere på noen få arbeidsområder. Dette var spesielt utvikling av nye ubrennbare konstruksjoner som erstatning for PE-skum. Resultatene av dette arbeidet finnes under kapittel 4.8.6.



Figur 5
Montering Con
Form-elementer i
Bekkestua-
tunnelen.

Det ble også gjennomført en del frostmålinger for å verifisere forskjellene av disse nye kledningene og f.eks PE-skum eller isolerte stålkassetthvelv. Målingene ble gjennomført vinteren 1999/2000 i Innfjordtunnelen i Møre og Romsdal og er rapportert i Internrapport 2172. På grunn av de høye temperaturene denne vinteren var det vanskelig å se store forskjeller annet enn at den testede løsningen hadde noe dårligere isolasjonsevne enn den eksisterende hvelvet.

Prosjektet har også brukt en del ressurser på revisjon av håndbok 163 "Vann- og frostsikring av vegtunneler". Ny utgave av denne håndboken vil være klar i mars 2002.

Se for øvrig:, Publikasjon nr. 91 "*Tunnelkledninger*"

Internrapport 2172 "*Temperaturmåling i Innfjordtunnelen – Testing av TT2000*".

4.3 Krav til bergbolter må opprettholdes

Prosjektet har ikke arbeidet mye med dette emnet. Det har tidligere vært utført et omfattende arbeid på dette området, noe som blant annet har resultert i håndbok 215 "Fjellbolting".

Prosjektet ville imidlertid gå litt i problematikkene vedrørende bestandighet av bergbolter. I 1980 ble det utført et forsøksarbeid i Vardøtunnelen der man monterte bolter med ulik korrosjonsbeskyttelse (se Internrapport 1608). Formålet med dette forsøket var om mulig å få en bedre oversikt over hvilken beskyttelse som egnet seg best i undersjøiske tunneler. Det ble satt inn bolter av rustfrie kvaliteter, samt 3 bolter av vanlig boltestål. Den ene hadde ingen korrosjonsbeskyttelse, den andre var varmforsinket og den tredje varmforsinket og pulverlakkert. Det ble i 1989 og 1992 foretatt korrosjonsmålinger på boltene. Disse ga følgende resultater:

- Rustfrie bolter må ha et Cr-, Mo- og Ni-innhold på henholdsvis: min. 18 %, > 2,5 % og 12 %.
- Bolt kun belagt med varmforsinkning har en korrosjonshastighet på 4-5 µm pr. år.
- Bolt belagt med varmforsinkning og pulverlakkering hadde ingen korrosjonskader.

Vårt mål var å utføre en enkel undersøkelse for å se om de tendensene som den gang ble dokumentert, fortsatt stemmer. Det ble tatt kontakt med Ørsta Stål AS for en gjennomgang av Valderøytunnelen. På bakgrunn av en befaring ble det tatt ut bolteprøver for analyse. Ørsta Stål as var behjelpelig med prøvetaking og analyse av boltene.

Resultatene som ble dokumentert i Valderøytunnelen viser de samme tendenser som fra Vardø. Akselererte forsøk i salttåkekammer (ca. 9000 timer) har også vist at bergbolter med varmforsinkning og pulverlakkering har klart påkjennningene uten korrosjonsskader.

Konklusjonen blir utfra dette at dagens krav bør opprettholdes og at bergbolter i "oversjøiske" tunneler der man ikke har spesielt korrosivt miljø (som f.eks. alunskifer, andre kisorike bergarter, surt lekkasjevann etc.) kan korrosjonssikres med varmforsinkning. I undersjøiske tunneler bør bergbolter være korrosjonssikret med varmforsinkning og pulverlakkering. Vurderingene er utført av Knut Borge Pedersen.

4.4 Sprøytebetong er i utvikling og kravene må følge med

Innen fagområdet sprøytebetong ble det i 1997 avsluttet et omfattende prosjekt med fokus på bestandighet.

Etatsprosjektet har derfor kun konsentrert seg om et par emne, nemlig oppdatering av retningslinjer og bestandighet av sprøytebetong med ved bruk av nye alkalifrie akseleratorer.

Prosjektet har bidratt aktivt i prosessen med revisjon av Norsk Betongforenings publikasjon nr. 7 "Sprøytebetong til fjellsikring". Revisjonen var spesielt relatert til utviklingen innen

nye alkalifrie akselerator og internasjonale testmetoder. Denne ble laget i norsk og engelsk utgave.

Det er prosjektets anbefaling at kravene i denne innarbeides for bruk i norske vegtunneler. Man vil da blant annet komme vekk fra diskusjonen om mengde, lengde og kvalitet på fiber.



Figur 6
Betongsprøyting.

Arbeidet med bestandighet av sprøytebetong med ved bruk av nye alkalifrie akseleratorer ble gjennomført innen et samarbeidsprosjekt med Produksjon. Fokuset her var å se om de nye akseleratorene har noe betydning for langtidsstabilitene. Bestandighetstestene, som er utført av Norges Byggforskning, inngikk i prosjektet «HMS-sprøytebetong» som ble avsluttet høsten 1999. En nærmere vurdering og presentasjon av resultatene er gitt i Publikasjon nr. 94 «Prosjektet HMS - sprøytebetong». Prosjektet ønsket å dokumentere eventuelle forskjeller/likheter i egenskapene til alkalifri og tradisjonell vannglass akselerator med vekt på tidligfasthet, bestandighet og arbeidsmiljø.

- Resultatene viser at sprøytebetong med alkaliefrie akseleratorer ikke gir noen dårligere bestandighet enn med tradisjonell vannglass akselerator. Dette til tross for at en oppnår en adskillig høyere tidligfasthet under ellers like forhold
- Videre synes det som at prøvene med høyest slutfasthet også innebærer et høyere antall riss, og at prøvene med lavest slutfasthet har færrest riss. For vannglass ser en den samme tendensen, nemlig lavere slutfasthet og få riss. Slutfasthet bør derfor uavhengig av akselerator ikke være for høy
- Alkalifrie akseleratorer viser seg å ha adskillig lavere vanninntrengning enn vannglass
- Vannglass akselerator viser i undersøkelsen seg å være bedre mht kapillær absorpsjon
- Totalporøsiteten ved bruk av alle akseleratorene ligger på et akseptabelt normalt nivå
- Generelt synes det som om bruk av alkalifrie akseleratorer medfører et mer homogent materiale enn ved bruk av vannglass.

Hovedmålet med bestandighetsundersøkelsene har vært å undersøke om bruken av nye alkalifrie akseleratorer vil medføre dårligere bestandighet. Alle prøvene viser at bruk av disse nye akseleratorene vil gi minst like god bestandighet som bruk av vannglass akselerator.

Se for øvrig:

Internrapport 2107 "Bruk av alkalifri akselerator – resultater fra bestandighetsundersøkelser"
Norsk Betongforenings Publikasjon nr. 7 "Sprøytebetong til fjellsikring"
Publikasjon nr. 94 "Prosjektet HMS – sprøytebetong".

4.5 Levetidskostnader må styre valg av løsning

Sammendrag

Det er betydelig kapital som allerede er nedlagt og som i framtiden vil bli nedlagt i norske vegtunneler. Dersom forvaltningen av denne kapitalen skal skje ut i fra hensynet til det langsiktige eierskapet, er det vanskelig å se hvorledes det kan ivaretas uten å legge langt sterkere vekt på levetidskostnader som forutsetning for valg av metoder og løsninger både ved investeringer og drift.

Prosjektet har utviklet en modell for beregning av levetidskostnader og lønnsomhet for drift av tunneler. Denne modellen bidrar til å oppfylle etatsprosjektets målsetning om å medvirke til optimalisering av levetidskostnadene gjennom rett valg av utstyr og løsninger, både gjennom investering og drift/vedlikehold.

Prosjektet har også utviklet en generell modell beregnet for tekniske komponenter og en LCC (Life Cycle Cost) - LCP (Life Cycle Profit)-modell for investering og driftsoptimalisering.

Denne prosjektgruppen har bestått av:
Harald Buvik, Vegdirektoratet
Jørund Lien, Svv Telemark/LCP-Consult
Bjørn Flatekval, Svv Buskerud.

4.5.1 Lønnsomhet for drift av vegtunneler

I en tid hvor det er grunn til å tro at tilgangen til midler til bl.a. drift og vedlikehold ikke blir lettere og hvor kravet til optimalisering av de allerede tilgjengelige midlene blir sterkere, bør det rettes fokus på levetidskostnader som forutsetning for valg av metoder og løsninger.

Vi vet at kostnadene til drift og vedlikehold i stor grad blir fastsatt gjennom de valg som blir tatt allerede i planfasen. Dette medfører at behovet for å få fram et verktøy hvor man kan fokusere på en samlet driftsoptimalisering blir mer og mer aktuelt.

Gjennom hele levetiden til et tunnelprosjekt gjøres det fornyinger og oppgraderinger av teknisk utstyr, pga. slitasje og/eller teknisk utvikling. Hele tiden står man overfor alternative valg av løsninger og metoder. Det er da viktig at man klarer å synliggjøre konsekvensene av de valg man gjør ut fra et langsiktig eieransvar.

Hovedmålsettingen for en hver anskaffelse er optimale levetider med lavest mulig kostnad.

En stor del av den eksisterende tunnelmassen har behov for oppgradering. Dette kan for eksempel være på grunn av at det mangler sikkerhetsutstyr som det er kommet krav om i ettertid.

Levetidskostnader har tradisjonelt blitt omtalt og demonstrert i samband med teoretiske

regneeksempler. Dette gjelder generelt og er ikke spesielt knyttet til drift og vedlikehold av tunneler. Det har imidlertid etter hvert utviklet seg en stadig voksende erkjennelse om manglende forutsigbarhet omkring framtidige drifts- og vedlikeholdskostnader for tunneler.

Systematisk bruk av levetidskostnadsberegninger har frem til nå vært lite benyttet i vegvesenet. Ferdige modeller for slike beregninger av LCC for tunneler har heller ikke vært tilgjengelige.

I dag er det vanlig at det fokuseres i stor grad på anskaffelsesprisen ved investering av utstyr. Konsekvensen av dette er at man kan få produkter som i sum medfører levetidskostnader som er betydelig høyere enn om det hadde blitt valgt løsninger med høyere anskaffelsespris.

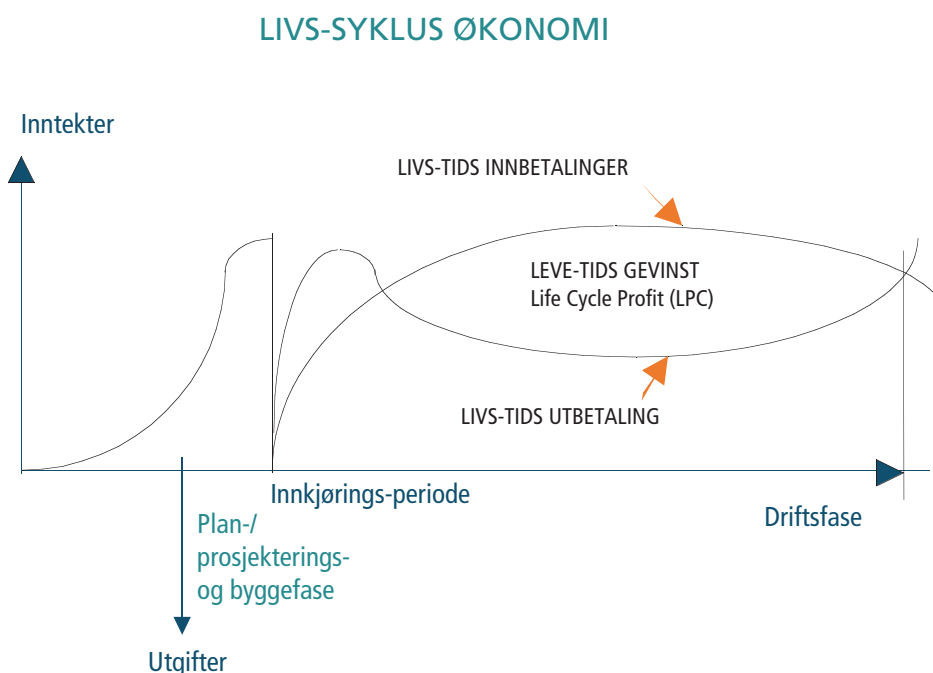
Det er i etatsprosjektet utviklet en hovedmodell for beregning av levetidskostnader og lønnsomhet for drift av tunneler. En variant av denne modellen beregner også verdiskapningen LCP under gitte forutsetninger.

Dette bør være første trinnet i en utvikling hvor også beregning av optimale utskiftingstider og optimale økonomiske levetider for teknisk utstyr blir systematisert. En slik utvikling vil også kreve større grad av tilstandsstyrt vedlikehold.

Det antas at det generelt vil bli satt krav til økt bruk av levetidskostnader når "Nye retningslinjer for offentlige anskaffelser" blir gjort gjeldende.

Generell beskrivelse av LCC (Life Cycle Cost) – LCP (Life Cycle Profit)

Levetidskostnader LCC for en tunnel er i sin enkleste form en summarisk oversikt over alle kostnadene for en tunnels totale levetid. Med total levetid menes både plan-, prosjekterings- og byggefasen samt hele driftsfasen.



Figur 7
Livssyklus
økonomi.

For både planlegging og anskaffelser av teknisk utstyr er det viktig å fokusere på de totale kostnadene for hele livslengden. Det er disse kostnadene som er grunnlaget for den senere utvikling av totaløkonomisk tunneldrift.

Under driftsfasen vil erfaringene vise at en god styring av levetidskostnadene og dermed vedlikeholdskostnadene, i stor grad vil påvirke tunnelens totale driftssikkerhet og driftstilgjengelighet.

Analysemodeller for levetidsgevinsten LCP er en videreutvikling av levetidskostnadsanalyser LCC. Ved en LCP-analyse tas det hensyn til de årlige samfunnsinntektene og -utgiftene under hele levetidssyklusen, som vist i figur 7. Dessuten legges det vekt på driftstilgjengeligheten. Det vil si at LCP-analysen er en mer utvidet variant av levetidskostnadsanalysen LCC.

Ved bygging av tunneler snakkes det mye om byggekostnader, om sikkerhet, enda mer om leveringsdatoer og kanskje mest om innkjøpsprisen for tekniske installasjoner. I noen tilfelle diskuteres vedlikeholdskostnadene, men sjelden eller aldri noe om de totale levetidskostnadene. Det reageres først når man blir konfrontert med både vedlikeholdskostnadene og de totale årskostnadene, som senere blir til levetidskostnader LCC.

Men her er det viktig å være klar over at både vedlikeholds- og de totale levetidskostnader er ikke noe som bare hender, de er både bestilt og betalt for.

Valg av systemløsning, komponenter og materialer i relasjon til de belastninger tunneler utsettes for under drift definerer langt på veg vedlikeholdsbehovet og levetidskostnadene LCC.

Deler av industrien har på dette området kommet et godt stykke lenger enn mange andre. Spesielt har det utviklet seg en forståelse for sammenhengen mellom påliteligheten til utstyret og nivået på vedlikeholdet og dessuten sikkerheten til personalet og driftsøkonomien til maskinutstyret. Disse faktorer har en nøye sammenheng med omfanget og ikke minst kvaliteten til vedlikeholdet.

Det har medført at det de siste 30 årene har utviklet seg bedre rutiner for periodisk vedlikehold av produksjonsutstyr, periodisk inspeksjon og utskiftning av komponenter basert på skjønn eller enkle statistiske modeller. Men det har også vist seg at denne form for forebyggende vedlikehold i mange tilfelle kan være en ineffektiv og kostbar metode. Basert på de erfaringer som kom fram innen de forskjellige industrier, ble det etter hvert klart at skulle en forbedre og optimalisere vedlikeholdsproblematikken for produksjonsutstyr, måtte en gå grundigere til verks.

I de senere år har det vært fokusert på å se kostnader ved en investering eller et kjøp over prosjektets eller produktets totale levetid. Det er en sammenheng mellom de forskjellige levetidsfaser som det må tas hensyn til.

Levetidskostnadene er brukerens totale kostnader forbundet med kjøp/bygging, drift og vedlikehold av et anlegg, eller f.eks. en tunnel. En LCC-analyse er et verktøy for å komme frem til de laveste levetidskostnadene med riktig kvalitet.

I tillegg til å være et beslutningsverktøy for å velge mellom ulike investerings- alternativer, gir LCC/LCP-analyser verdifulle opplysninger om et prosjekts økonomiske levedyktighet. Det er også aktuelt å benytte LCC-analyser i arbeidet med å identifisere kostnadselementer med særlig betydning for de totale kostnadene.

Erfaringsmessig har det vist seg at vurderinger og beslutninger som tas tidlig i plan- og prosjekteringsfasen er mer avgjørende for LCC enn de beslutninger som tas senere i levetiden. Dette kommer som en følge av at riktige løsninger i denne fasen har stor innvirkning på drift- og vedlikeholdskostnadene og i mange tilfeller vil disse kostnadene kunne overstige innkjøpskostnaden.

Modell for beregning av levetidskostnader og lønnsomhet for drift av tunneler

Modellen er forholdsvis stor og omfattende, men det er lagt stor vekt på at den skal være lett å bruke. Selve tenkingen og forutsetningen for utnyttelsen av en slik modell bygger på krav om konsistente erfaringstall for drift av tunneler. Dersom det finnes erfaringstall, så skal disse brukes.

Dersom erfaringstall ikke finnes, kan det brukes en forhåndsdefinert prosentfordeling av drifts- og vedlikeholdskostnadene. Denne fordelingen bør også bygge på erfaring. Modellen regner ut levetidskostnadene både for hele tunnelen og for tekniske installasjoner. Samtidig kan en også regne ut lønnsomheten for tunnelen som helhet. Med lønnsomhet menes her at en kan simulere fram lønnsomhet i prosent i forhold til lønnsomhetskravet for offentlige investeringer.

LCC ved driftsoptimalisering

Denne delen av modellen gir muligheter for driftsoptimalisering der hvor det blir foretatt beregninger av drift- og vedlikeholdskostnader eller beregninger av framtidige prognoser av disse.

LCC ved anskaffelser

Modellen har også den fordelen at den er meget godt anvendbar ved innkjøp av nye tekniske installasjoner. Når tilbud er innhentet på nye tekniske installasjoner eller ved oppgradering av eldre, kan modellen brukes som hjelpeverktøy til å finne det mest økonomiske tilbudet sett over den tekniske installasjonens levetid.

Øvrige modeller

I løpet av prosjektperioden er det utviklet ytterligere to modeller som kan benyttes for levetidsberegninger:

- 1) LCC-LCP-modell for investering og driftsoptimalisering. Denne modellen er utviklet i første versjon og tar hensyn til verdiskapingen som en tunnel gir. Parameter for slik beregning er innspar reisetid. Arbeidet med LCP-beregninger i denne modellen er gjort utelukkende i samsvar med gjeldende prinsipper for konsekvensutredning.

LCC-LCP modellen har vært testet i Akershus, Rogaland, Hordaland, Sogn og Fjordane og Møre og Romsdal. Testingen har vist at behovet for en slik modell absolutt har vært tilstede. Modellen har fått positiv mottakelse og spesielt simuleringsmulighetene har vært nyttige.

- 2) Det er også utviklet en enkel LCC modell beregnet for tekniske komponenter. Modellen brukes til å beregne levetidskostnadene i sin enkleste form og er i sine prinsipper generell.

Erfaringsdata

Kvaliteten på de verdier som legges inn i modellen er avgjørende for kvaliteten på de resultatene modellen beregner. Tilgangen til relevante erfaringsdata er derfor av største viktighet.

Når det gjelder tilgang på historiske data fra drift og vedlikehold i tunneler, er dagens situasjon at slike data enten er vanskelig tilgjengelige eller ikke er konsistente. Den tekniske utviklingen av utstyr og løsninger gjør at det ikke alltid er relevant å sammenligne gamle erfaringer med nye alternativer som vi ikke vet hvordan vil fungere. Likevel vil det være ønskelig å følge opp de valg som tidligere er gjort for å kunne tilbakeføre noe kunnskaper til nye prosjekter. Vi snakker her om fakta/statistiske data om elementenes driftssikkerhet, levetid, tilgjengelighet i forhold til trafikkavvikling og kostnader fra investering til drift og vedlikehold. Graden av systematikk når det gjelder innsamling av slike data har til nå ikke vært god nok.

Filosofien som ligger bak bruken av slike modeller for driftsoptimalisering er at en fortrinnsvis har tilgang til erfaringsdata. Det er disse som kan fortelle noe om den historiske kostnadsutviklingen innenfor vedlikeholdet, både for enkeltelementer og samlet. Når denne utviklingen holdes opp i mot valgt standard kan den samtidig si noe om forutsetninger for kostnadseffektivisering.

Erfaringsdata er således det parameter som er helt avgjørende for å kunne måle en historisk utvikling opp i mot framtidige krav og samtidig fortelle noe om potensial for optimalisering. Det betinger imidlertid at det gjøres nødvendige valg for hvilke nivåer som skal danne basis for ulike erfaringsdata. I modellen er det gjort et slikt valg hvor en del typiske og ikke minst kostnadskrevende tunnelement er utvalgt.

Videre arbeid

LCC ved differensierte levetider

Det er vanlig at det oppgis forskjellige tekniske levetider når det blir innhentet tilbud fra leverandører for levering av tekniske installasjoner til f.eks. tunneler. Når en da skal velge mellom tilbudene, er det vanskelig å velge det tilbud som er mest lønnsomt på sikt.

I hovedmodellen er det laget et program som beregner hvilke tilbud som er gunstigst å velge. Denne beregning har imidlertid en svakhet ved at formelverket ikke skiller mellom forskjellige levetider når en til slutt skal beregne den beste nåverdien. I det siste har det blitt utviklet et nytt formelverk som til en viss grad retter på dette. En del utviklingsarbeid er nødvendig for å oppnå et så nøyaktig LCC-resultat som mulig for å kunne forsvare bruken av LCC-analyser i valget mellom flere tilbud fra leverandørene.

Når det gjelder optimalisering av levetider for tekniske installasjoner for å kunne beregne

optimale utskiftningstider, så er dette et meget viktig felt som på sikt kan redusere kostnadene betydelig for tunneldriften. Dette kan også komme til stor nytte på andre områder i vegvesenet. Derfor kan det være nyttig å sette i gang et utviklingsarbeid også på dette området.

En fordel ville også være å innføre en større grad av tilstandstyrt vedlikehold på tunneler med mye kostbart utstyr. Dette kan redusere vedlikeholdet betraktelig på sikt. Dette fordi en får mer nøyaktige slitasje- og vibrasjonsmålinger på spesielt utsatte steder, som igjen bidrar til å optimalisere utskiftningene og redusere vedlikeholdskostnadene.

Forhold til andre systemer i etaten

LCC-modellen er utviklet med tanke på å sette fokus på driftsfasen for en tunnel. Den fungerer som en «selvstendig» beregningsmodell og setter fokus på de totale levetidskostnadene for en tunnel samtidig som den er et nyttig hjelpemiddel med hensyn til innkjøp av tekniske komponenter. Den er derfor et framtidverktøy og et godt tillegg til nåværende verktøy i Statens vegvesen.

Grunnlagsdata som skal legges inn i modellen, kan hentes fra Vegdatabanken, Prodsys eller Spektrum. Hovedkilden for data vil i framtiden være Vegdatabanken. Overføring av data fra disse systemene og/eller mellom systemene til LCC-modellen må foreløpig gjøres manuelt.

Innsalg – bruk av modellene

Prosjektet vil sterkt anbefale at vegvesenet bevisst går inn for en satsing i bruk av LCC-LCP i årene framover. Dette er noe som er like aktuelt for all næringsvirksomhet, offentlig så vel som privat. Et bevisst forhold til LCC-LCP vil i det lange løp være med på å redusere de totale levetidskostnadene for et prosjekt, en løsning eller element sett over dets levetid.

Se for øvrig:

Intern-rapport nr. 2158 "*Utvikling av levetidskostnadsmodell for tunnel LCC-LCP*"

Intern-rapport nr. 2178 "*Modell for levetidskostnader for tekniske komponenter*".

4.6 Tekniske installasjoner- den store utfordringen?

Prosjektet har hatt som målsetting å samle erfaringer omkring tekniske installasjoner i tunneler. Valg av løsninger og materialer påvirker i stor grad vedlikeholdstilgjengeligheten og dermed også vedlikeholdskostnadene. Dette perspektivet har dannet basis for arbeidet.

Det har hittil vært lite fokusert på bruken av funksjonskrav som grunnlag for både nyanskaffelser og ved reinvestering/vedlikehold av tunnel. De aller fleste krav har så langt vært basert på detaljerte tekniske krav både på utforming og virkemåte. Prosjektet har laget forslag til funksjonskrav innenfor en del viktige tunnelelementer. Sammen med levetidsvurderinger ser vi bruken av funksjonskrav som en stadig viktigere premissgiver for optimale løsninger.

Vi har i dag 22 undersjøiske tunneler i drift i Norge. Kompetansen vi har knyttet til planlegging, bygging og drift av slike tunneler er unik i verdensammenheng, ettersom vi er det landet som har klart flest slike anlegg og lengst erfaring. Prosjektet har spesielt sett på forbedring/utvikling ved valg av pumpe-løsninger, som et betydelig potensial for optimalisering.

Fagområdet elektro har blitt meget sentralt i forhold til å ivareta nedlagt kapital innenfor tekniske installasjoner. Det er også et område som er omfattet av en rivende teknologisk utvikling hvor krav til kompetanse vil være avgjørende for å kunne optimalisere levetid og kostnader. Skal det nytte å investere i teknisk utstyr som et kostnadseffektiviserende tiltak, må det også investeres i menneskelig kompetanse som både skal forstå og beherske teknologien. Prosjektet har rettet fokus på hvorledes denne kompetansen kan struktureres og organiseres slik at hensynet til det langsiktige eierskapet best kan ivaretas.

Prosjektgruppen har bestått av:

Harald Buvik, Vegdirektoratet

Tor Frøland, Rogaland

Petter Bergersen, Oslo

Mona Løvås, Tunnelproduksjon

Oddmund Lefdal, Sogn og Fjordane

Jan Hennestad, Vegdirektoratet

Kjell Moen, Troms

Bjarne Lysberg, Hordaland

Ole Gripstad, Akershus (siste del av prosjektet)

Arve Jonassen, Oslo (første del av prosjektet)

Jan Øyvind Pedersen, Vest-Agder (første del av prosjektet).

4.6.1 Erfaringer må samles!

Som et ledd i arbeidet med gjennomgangen av å definere kostnadseffektive tiltak, har prosjektet gått gjennom de erfaringene som i dag finnes på bakgrunn av ulike løsningsvalg for utstyr og materialer tilhørende tekniske installasjoner. Slike kunnskaper er nødvendige for å kunne evaluere hva man har og ikke minst for å kunne bruke videre for å optimalisere nye løsninger med et riktigere og billigere vedlikehold som målsetting.

Figur 8
Nødstyreskap.



Erfaringsoverføring vil også framover være et meget sentralt tema fordi:

- Uten den nødvendige kunnskap om gårsdagens løsninger kan man heller ikke stille de riktige kravene til framtidige løsninger. Samtidig må man sikre at denne kunnskapen blir tilgjengelig på en strukturert og systematisk måte rundt omkring i etaten for både beslutningstakere og driftspersonell
- Erfaringene er vurdert ut i fra hensynet til og konsekvensen av vedlikeholdsvennlige valg og løsninger. Vurderingene er også forankret i det overordnede mål om å ivareta det langsiktige eierskapet.

Denne erfaringsregistreringen har dannet grunnlag og forutsetninger for de forslag til tiltak som er foreslått for å bidra til et mer optimalt vedlikehold, både teknisk og økonomisk.



Figur 9
Ferdig tunnel.

Erfaringsregistreringen har omfattet følgende elementer:

- renseanlegg
- ventilasjonsanlegg
- lysanlegg
- pumpeanlegg
- styrings- og overvåkingsanlegg
- samband / radio
- rømningsveger
- nødstrøm
- felleskrav til utstyr
- trafikktekniske installasjoner.

I tillegg er det forsøkt å se samlet på nødvendigheten av tekniske installasjoner og energiøkonomisering.

For å kunne lykkes med målsetningen om optimale levetider med lavest mulige kostnader vil man være helt avhengig av å utnytte den erfaringen som man har gjennom statistiske erfaringsdata både om tilgjengelighet og kostnader.

Oppfølgingen av økonomiske erfaringsdata for tunnelvedlikeholdet er i dag ikke god nok.

Det er ulikt omfang og kvalitet på de historiske data som forefinnes. Detaljeringsgrad på prosessnivå varierer sterkt i ulike fylker. Det finnes erfaringsdata for enkelttunneler og sammenslått for flere tunneler. Graden av systematikk varierer fra fylke til fylke.

En rendyrking av funksjonsavtaleformer kan vri fokus vekk fra enhetskostnader og erfaringskostnader. Eierskapsvurderinger både om oppnådde resultater og driftsoptimalisering kan synes problematiske å oppnå, på et slikt grunnlag. Derfor må slike krav spesifikt innarbeides i den type avtaleform.

Figur 10
Belysnings-
interiør
bergrom,
Lærdalstunnelen.



Tunnelvedlikeholdet inneholder en rekke tunge kostnadsbærende elementer og uten tilstrekkelige enhets- og erfaringskostnader, kan det på sikt være ensbetydende med at vesentlige virkemidler for å optimalisere vedlikeholdet blir fraværende. En slik utvikling kan svekke det langsiktige eierskapet.

På bakgrunn av dette er behovet for erfaringsdata på prosessnivå ufravikelig. Slike data kan være naturlig å knytte til:

- ventilasjon/reanseanlegg
- styre- og overvåkingsanlegg
- belysning
- pumpeanlegg
- kledninger
- renhold.

For å kunne drifte tekniske installasjoner slik at tunnelenes sikkerhetskrav blir ivaretatt, kreves det store energimengder. Her bør det ligge et forbedringspotensial. Et omfattende renhold er en forutsetning for å ivareta kravene til tilfredstillende miljø både for trafikanter, arbeidstakere og omgivelser.

For å kunne si noe om et forbedringspotensial og nivå for optimalisering, må man kjenne forutsetningene for det som skal forbedres. På et slikt grunnlag kan man også måle avvikene i forhold til de ulike tiltakene som kan være aktuelle å gjennomføre.

Se for øvrig:

Internrapport nr. 2227 "Erfaringer og erfaringsoverføring"

Internrapport nr. 2153 "Kvalitetsikring av erfaringsdata og driftsoptimalisering".

4.6.2 Forslag til funksjonskrav for tekniske installasjoner

På bakgrunn av en omfattende erfaringsregistrering er det utarbeidet forslag til funksjonskrav for en del viktige tekniske installasjoner. Kravene kan fremstå som rene funksjonskrav, en kombinasjon av funksjonskrav og tekniske krav, eller rene tekniske krav.

Rene funksjonskrav vil i hovedsak være knyttet til overordnet nivå.

Det er utarbeidet slike forslag for følgende tunnelement:

- renselanlegg
- ventilasjonsanlegg
- lysanlegg
- pumpeanlegg
- styre- og overvåkingsanlegg
- fiberoptiske installasjoner
- kabler.

Tunnelementenes funksjon

Det er tre sentrale begrep som benyttes når vi behandler temaet funksjon av et element eller et system.

Disse er:

- Funksjonskrav
 - normal drift
 - hendelser
- Funksjonssikkerhet
- Funksjonskontroll.

Funksjonskrav

Funksjonskrav er betegnelsen på de krav som settes til hvordan en komponent eller et system skal fungere og hvilken virkning systemet skal ha.

Funksjonskrav utarbeides spesielt for installasjoner og utstyr i tunneler, men også for noen av konstruksjonselementene.

Når det planlegges en tunnel med konstruksjonsdeler og utstyr, har hver enkelt del en spesiell hensikt, en funksjon det skal oppfylle. Denne kan være beskrevet i byggebeskrivelser eller i anbudsbeskrivelser, men siden kan den ofte miste fokus. Det er som oftest lite aktuelt å snakke om funksjonskrav til elementene eller systemene i tunnelen blant de som utfører vedlikeholdsoppgaver.

For å få frem forståelsen for funksjonen til de enkelte elementer i tunnelen, må funksjonskravet også synliggjøres for drifts- og vedlikeholdsorganisasjonen. Det kan f. eks. gjøres ved at kravet skrives ut som en del av arbeidsordren/sjekklisten for vedkommende element. Det har stor betydning for de som skal utføre drifts- og vedlikeholdsoppgaver at de ser hensikten med den oppgaven de skal utføre slik at de gjør sitt arbeid best mulig. Videre vil det være helt vesentlig at funksjonskravene er kjent når de enkelte element skal utskiftes/fornyes.

Funksjonssikkerhet

Funksjonssikkerhet er et mål på hvor stor sikkerhet som er innbygget for å holde funksjonen i gang. Sagt på en annen måte så kan det også være et mål på hvor mye som skal tåles før det slutter å fungere tilfredstillende ut ifra de fastlagte funksjonskrav.

For å ta vare på funksjonssikkerheten bygges det ofte inn seksjonering av strømtilførsel og/eller tilføring fra forskjellige steder. Det kan også bygges inn en viss overkapasitet for å ha nødvendig sikkerhet selv om enkelte komponenter skulle svikte. Et slikt eksempel er viftekapasitet som tillater at et antall vifter er ute av funksjon eller til overhaling.

Figur 11
Ventilasjons-
vifter.



Funksjonssikkerheten må bygges inn i anlegget fra starten av og det må tas hånd om i plan-designfasen der slike forhold blir bestemt. Det er viktig at en her får med alle forutsetningene. Det er også viktig at forutsetningene videreføres i byggefasen, og til slutt at en er klar over disse forutsetningene i driftsfasen.

Funksjonssikkerheten kan også prøves teoretisk ved å vurdere forhold etter modellen:

- Hva skjer ved brann eller annen hendelse?
- Eksempelvis hva skjer med lys og ventilasjon, styresystem, signalanlegg, pumpeanlegg og kommunikasjon dersom en kabel kuttes eller brenner av på et vilkårlig sted i tunnelen?
- Analysere dette på tegninger, ta konsekvensen av eventuelle uheldige svar
- Følg så opp ute i tunnelen for å se om tegningene er fulgt.

Funksjonskontroll

Det må utføres en omfattende funksjonskontroll når tunnelen skal overtas av driftsorganisasjonen. Funksjonskravene som er satt opp i designfasen skal prøves og dokumenteres.

Dette er kontroll som utføres for å se om utstyret har den ønskede funksjon. Funksjonen kontrolleres ved å prøve komponentene ute i tunnelen:

- Virker de?
- Styres de slik de skal?
- Når signalene fram?

Slike kontroller må også utføres systematisk i D&V-fasen etter oppsatte rutiner, og ofte basert på kontroll etter tidsintervall. Dette kan være kalendertid, eller etter registrert driftstid. Dette må bli et ledd i det forebyggende systematiske vedlikeholdet.

Se for øvrig Intern-rapport nr. 2228 "*Funksjonskrav for tekniske installasjoner*"

4.6.3 Vi trenger mer elektrokompetanse i Statens vegvesen!

Prosjektet har avdekket et klart og entydig behov hva gjelder kravet til og behovet for elektroteknisk kompetanse sentralt i etaten. I dag finnes det lite slik kompetanse og dette oppleves i det daglige arbeidet som et savn, spesielt i forhold til koordineringsoppgaver. Lover og forskrifter innenfor faget fordrer også en organisatorisk løsning som ivaretar slike betingelser.

Elektrofaget knyttet til bygging, drift og vedlikehold av vegtunneler er en forholdsvis ung profesjon. Behovet for slik kompetanse var heller ikke like påtrengende tidligere etter som tunnelbyggingen ofte foregikk i utkantstrøk hvor vegutløsning var et viktigere behov enn å løse trafikkproblemer. Tunnelene var dimensjonert for et relativt lite trafikkgrunnlag og de tekniske installasjonene dermed beskjedne.



Figur 12
Elektrotavle i
tunnel.

Etter hvert som tunnelbyggingen ble mer preget av å løse trafikkproblemer i byer og tettsteder ble kravet til utstyr i disse tunnelene tilsvarende større. Flere og flere undersjøiske tunneler og i den senere tid stadig lengre tunneler, har bare forsterket behovene for tekniske installasjoner og dermed kravene til elektroteknisk kompetanse på ulike nivåer i etaten.



Figur 13
a) Støvmåler
b) Vindmåler.

Dette er bakgrunnen for vurderingen av fagkompetansen og forslaget til organisering av denne. Innenfor elektrofaget går den teknologiske utviklingen meget fort. Det stilles derfor store krav til en profesjonell byggherre som innenfor dette faget skal ivareta det langsiktige eierskapet med optimale levetidskostnader.

Til dette trenges det tilstrekkelig fagkompetanse både hos byggherre og egen produksjon. Denne kompetansen må finnes både ute i fylkene/regionene og ikke minst sentralt i Vegdirektoratet. Koordineringsansvaret både innenfor erfaring og strategivalg må imidlertid finnes på ett sted.

Figur 14
Styring og
overvåking
også utenfor
tunnel.



Elektrofaget er både omfattende og regelstyrt. Regelstyringen kan i mange tilfeller gå på tvers av den ordinære linjestyringen i etaten. Slike konsekvenser kan ofte bli oppfattet som ren "overkjøring" uten at man kjenner den egentlige og reelle årsaken. Dette kan igjen føre til misnøye og konflikter. Det er derfor viktig både med en kunnskapshøyning av faget generelt og holdninger til eventuelle konsekvenser det fører med seg.

Fagområdet elektro er etter hvert blitt meget sentralt i forhold til å ivareta nedlagt kapital innenfor tekniske installasjoner.

Skal det nytte å investere i teknisk utstyr som et kostnadseffektiviserende tiltak, må det også investeres i menneskelig kompetanse som både skal forstå og beherske teknologien.

Og det rettes her fokus på hvorledes denne kompetansen kan struktureres og organiseres slik at hensynet til det langsiktige eierskapet best kan ivaretas.

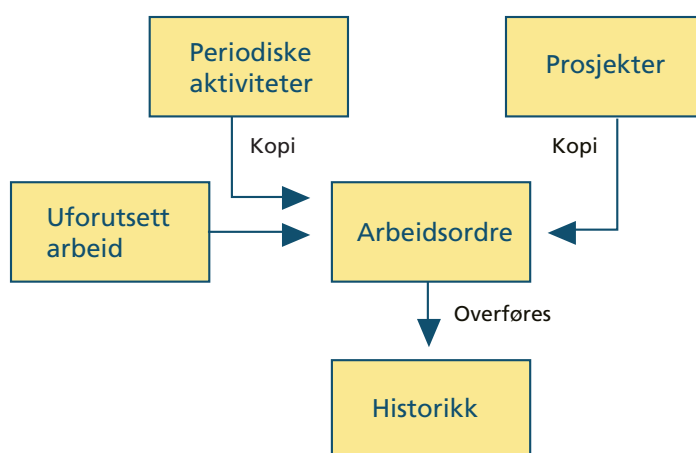
Vegdirektoratet ved Utbyggingsavdelingen og Vegteknisk avdeling har som et resultat av utredningen i prosjektet anbefalt at det ansettes en med elektrokompetanse på fagavdelingen.

Se for øvrig Internrapport nr. 2135 "Elektro – kompetanse og organisering".

4.6.4 Erfaringsoverføring – selvsagt, men hvordan få det til i praksis?

Både forbedringer og selve grunnlaget for å komme fram til forbedringene, dannes på bakgrunn av erfaringer om løsninger, utstyr og materialvalg. Beslutningstakere på ulike nivå i beslutningsprosessen må derfor ha tilgjengelighet til og kjennskap om slike erfaringer som forutsetning for å drive forbedringsprosessen videre.

For å kunne gjennomføre dette må en benytte seg av strukturerte metoder og IT-baserte løsninger.



Figur 15
Skjematisk
oppstilling av
systematisk
vedlikehold.

Slike løsninger er allerede vedtatt tatt i bruk. Systematisk tunnelvedlikehold ivaretar drift og vedlikehold, internkontroll og dokumentasjon og sikrer grunnlaget for overføringer av historiske erfaringsdata som igjen påvirker beslutningsprosessen i nye prosjekt og anskaffelser.

FDV-programmet "Spektrum", som er definert som etatsstandard, ivaretar dette på en ryddig måte. Det forutsetter imidlertid en "opprydding" i strukturen på nivå og omfang av erfaringsdata. Det kreves også lojalitet til de beslutningene som denne type erfaringsoverføring er basert på.

Det gjenstår en del oppgraderingsarbeider i programmet og en del IT-tekniske avklaringer før programmet kan utnyttes fullt ut.

4.6.5 Hvilken effekt har renseanleggene?

I de senere år har det blitt installert elektrostatiske renseanlegg i en del tunneler i Norge. Disse anleggene har delvis kommet som et resultat av politiske beslutninger om rensing av tunnelluften som et miljømessig tiltak for trafikantene og/eller omgivelsene utenfor tunnelen. Renseanleggene er meget kostbare i anskaffelse.

Ut i fra den erfaringen man har fra førstegenerasjonsanleggene, viser den at den praktiske renseeffekten for enkelte anlegg over tid har vært lavere enn forventet. Spesielt har dette vært relatert til Hell-tunnelen som er toveistrafikkert og med forholdsvis stor trafikk og til korte enveis trafikkerte tunneler med stor trafikk.

Denne reduserte effekten skyldes flere forhold, enten enkeltvis eller samlet:

- Teoretiske forutsetninger som ble lagt til grunn for planlegging av ventilasjonsberegninger som ikke samsvarer med de virkelige forhold
- Uklare/forskjellige målemetoder og teknikker knyttet til oppnåelse av garanterte spesifikasjoner
- Stempeeffekt og resirkulasjon av luft forårsaket av trafikken
- Forhold knyttet til geometrisk tunnelutforming.

Det er pr. i dag installert elektrostatiske renseanlegg i følgende norske vegtunneler:

Festningstunnelen	Oslo	1800 m	ÅDT 85000
Granfosstunnelen	Oslo	1180 m	ÅDT 25000
Ekebergstunnelen	Oslo	1580 m	ÅDT 75000
Helltunnelen	Værnes	3930 m	ÅDT 9800
Nygårdstunnelen	Bergen	860 m	ÅDT 25000
Lærdalstunnelen (kombinert partikkel-/gassrenseanlegg)	Sogn	24509 m	ÅDT 1000

Vurdering av metoder for utfelling av partikulære forurensinger i eller fra vegtunneler i Norge er basert på to prinsipielt ulike forhold:

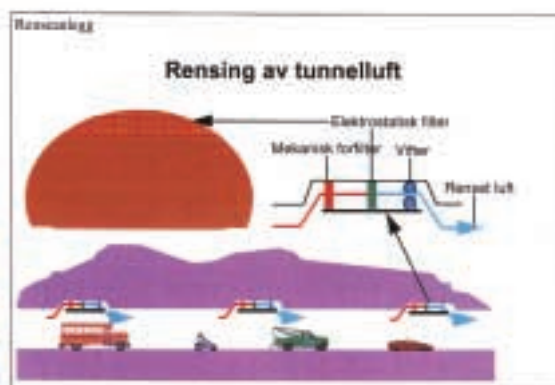
- 1) Sikkerhets-/miljømessige forhold knyttet til tunnelens trafikanter og deres oppfatning av redusert luftkvalitet. Dette kommer særlig til uttrykk om vinteren da piggdekkslitasje og mineralisk svevestøv kombinert med eksos/forbrenningspartikler kan gi nedsatt sikt.
- 2) Partikkelutslipp fra høytrafikkerte vegtunneler kan representere ubehag, irritasjon og over tid et potensielt helse- og miljøproblem for tredjeperson (og da spesielt sårbare grupper i samfunnet) og det ytre miljø.

Begge disse forhold må karakteriseres som partikkelforurensing, men med litt ulike innfallsvinkler.

Renseanlegget i Helltunnelen er etter det vi vet det første i verden av denne type plassert i en toveistrafikert tunnel.

Plassering av renseanlegg i tunneler er gjort etter to forskjellige prinsipp, som illustrert i figurene 16 og 17.

Figur 16
Montering i
tunneltaket.





Figur 17
Montert i
by-pass.

Når det gjelder bruken av slike høyeffektive renseanlegg (det være seg både partikkel- og/eller gassrenseanlegg for vegtunneler), er det en forutsetning at nytteeffekten må stå i rimelig forhold til den totale investering og driftskostnadene for anleggene. Bruken og utskillingsgraden for slike anlegg må også være vel spesifisert og dokumentert. Etablering av standarder for metoder og prosedyrer for etterprøving og dokumentasjon av rensegraden for aktuelle filtre, både for laboratorieprøving og etterprøving i felten er utarbeidet av Sintef Energiforskning, som ledd i arbeidet med dokumentasjon av effekt av renseanlegg.

Under etterprøvingen av flere av renseanleggene erfarte man forhold som ikke var godt nok ivare tatt i prosjektfasen og ved bestilling av renseanlegg. Dette gjelder spesielt beskrivelse av rensekrav, vurdering av tekniske detaljer vedrørende rensegrader i innkomne anbud, angivelse av målemetoder for å etterprøve garantispesifikasjoner etc.

Undersøkelser som er gjort på de installerte anleggene varierer meget i utførelse og omfang, noe som gjør disse vanskelig sammenlignbare.

På tross av dette finnes det noen klare fellestrekk som representerer erfaringer og konklusjoner:

- Den praktiske renseeffekten for de enkelte anlegg over tid har vært lavere enn forventet og lavere enn det leverandørens spesifikasjoner oppgir. Dette kan skyldes feil grunnlag for dimensjonerende forutsetninger, uklare måleprosedyrer, etc. Isolert sett viser renseanleggene god renseeffekt under optimale forhold
- Problemer med utfall av power-packs i driftssituasjoner som følge av spenningsfall som ikke skyldes selve renseanlegget
- Vaske- og rengjøringsprosedyrene for anleggene har vært kompliserte og tidkrevende
- Strømningstekniske forhold knyttet til renseanlegget isolert eller tunnelen generelt (lekkasjer, resirkulasjon, stempeleffekt fra trafikk og/eller ventilasjonstart, lokalisering av vifter, utforming av by-pass eller nisjer, varierende areal for luftgjennomstrømning) som ikke har vært optimale
- Praktiske, miljømessige og økonomiske erfaringer så langt indikerer at bruk av renseanlegg i toveis trafikkerte tunneler med stor trafikk (jfr. Hell) og korte enveis trafikkerte tunneler (jfr. Nygård) ikke bør anbefales.

Se for øvrig:

Internrapport nr. 2217 "Particle Cleaning in Norwegian Road Tunnels"

Internrapport nr. 2231 "Partikkelrensing i vegtunneler – erfaringer"

Internrapport nr. 2232 "Renseanlegg i vegtunneler – krav til metoder og prosedyrer for dokumentasjon av renseseffekt".

4.6.6 Mye å hente på pumpeanlegg i undersjøiske tunneler

Den første undersjøiske vegtunnelen her i landet (Vardøtunnelen) ble åpnet for trafikk i 1982. Verdens lengste undersjøiske vegtunnel (Bømlafjordtunnelen) er 7,9 km lang og ble åpnet i 2000. Den dypeste vegtunnel som hittil er bygget er Hitratunnelen som er 264 m under havoverflaten .

Frem til i dag er i alt 22 undersjøiske tunneler åpnet for trafikk.

Figur 18
Undersjøiske
tunneler.



Tunnelenes lengde og dybde er svært varierende, men de har flere felles trekk:

- Innlekkasjevannet er avtagende, det vil si at sprekker tettes over tid på grunn av at salter og partikler m.m. bygger seg opp
- Miljøet er svært korrosivt på grunn av salter, avgassing m.m.
- Kvaliteten på pumpeanlegget/ledninger er av variabel kvalitet.

Det siste punktet kan ha flere årsaker. Det er ikke uvanlig å oppdage at de som har prosjektert anleggene (ofte konsulenter) langt på veg har kopiert tidligere pumpeanlegg.

Av den grunn har det også skjedd svært liten utvikling av teknisk løsning på pumpeanleggene og selve utformingen av pumpestasjonsområdet. Mangelfull byggherrekompetanse innenfor dette spesielle området har kanskje bidratt til at vi har fått denne utviklingen. At våre pumpeanlegg blir sett på som umoderne i offshoresammenheng kan illustrere denne situasjonen.

Prosjektet har derfor prøvd å gå inn i denne problemstillingen og sett på hele prosessen ved anskaffelse av pumpeanlegg i undersjøiske tunneler:

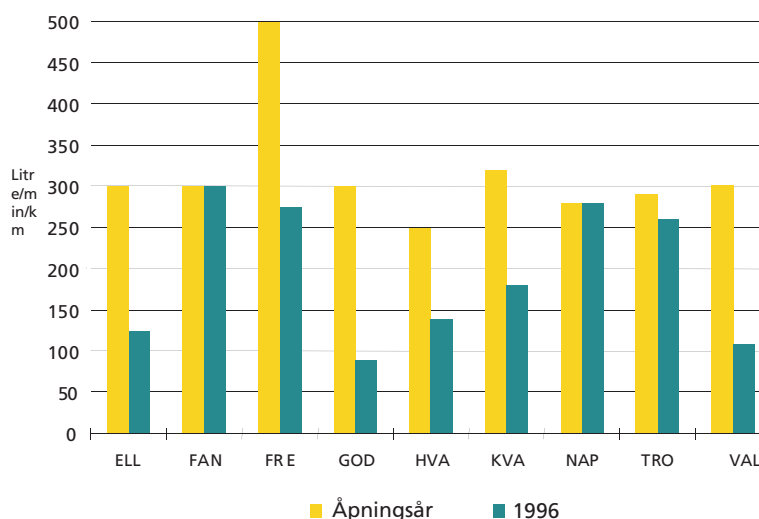
- Historikk
- Bygningsmessig - konstruksjon
- Innlekkasje - avløpsvann - korrosjon
- Funksjonskrav
- Pumper - pumpeledning og utstyr
- Varslings- og automatikkanlegg
- Drift og vedlikehold
- Dokumentasjon.

Erfaringene fra de anleggene som vi har er grunnlaget og basis for de løsningene som blir foreslått.

Vi vet at innlekkasjen har avtatt markert i samtlige tunneler med unntak av en. I løpet av en 10-års periode fra åpningsår er reduksjonen inntil 50% (se figur 19). Årsakene til denne reduksjonen kan være knyttet til f.eks.:

- partikkelvandring
- bergsvelling
- vannkvalitet
- endringer i vannkjemien
- spenningsomlagring rundt tunnelen
- årsvariasjoner.

De konkrete årsaksforholdene skal avdekkes gjennom NFR-prosjektet som nå pågår (se kapittel 4.1 - del C3).



Figur 19
Utviklingen av
lekkasje i
undersjøiske
tunneler.

Utforming av selve pumpeumpen med plassering av pumpene i forhold til inntaksstedet kan være avgjørende for pumpestasjonens funksjon og levetid på pumpene.

Tradisjonelt er alle våre undersjøiske tunneler utstyrt med dykkpumper. Dette er pumper som er spesialbestilt og det fører ofte til leveringsproblemer ved driftsvansker. Alle pumper er konstruert for kontinuerlig drift, også dykkpumper. I våre undersjøiske tunneler er samtlige dimensjonert med en forholdsvis stor pumpeump. Kombinert med avtagende innlekkasje fører det til at det kan gå lang tid mellom hver gang pumpene går. I noen tilfeller kan det være over to uker.

Figur 20
Oversikt over
pumpe-
arrangement.



Prosjektet har derfor fokusert på alternativ løsning med tørroppstilte pumper. Det innebærer mindre pumper som går kontinuerlig, det er standard hyllevarer som er lett å anskaffe, de er atskillig mer vedlikeholdsvennlig i og med at de står tørt og løsningen er energibesparende. Bygningmessig vil slike løsninger bli noe dyrere, men dersom det tilrettelegges for det i prosjekteringsfasen vil dette kunne optimaliseres. Totalt sett over tid vil en slik løsning klart være mest gunstig.

I Mastrafjordtunnelen i Rennfastsambandet kjøres det pilotforsøk med ombygging av en dykkpumpe til en tørroppstilt løsning. Prosjektet har bidratt i dette forsøket og vil følge erfaringene framover. Forslag til oppgradering/ombygging av slike anlegg er beskrevet.

Materialkvalitet i slike anlegg er svært avgjørende for levetid. Miljøet er aggressivt og det er gjennomgående store korrosjonsproblemer. Kunnskapen om dette miljøet og hvorledes det påvirker materialer må bevisstgjøres mer.

Figur 21
Konsekvensen
av dårlig
materialkvalitet.





Figur 22
Korrosjon på
pumperør og
flenser.

Se for øvrig Internrapport nr. 2229 "Pumpeanlegg i undersjøiske tunneler".

4.7 Drift og vedlikehold - nøkkelen til et langt liv

Valg av løsninger basert på optimal levetid for utstyr med lavest mulig total kostnader vil bli mer og mer viktig for drift og vedlikehold. Teoretiske modeller for levetidskostnader er utarbeidet som verktøy for å bidra til slik optimalisering (se kapittel 4.5). Slike modeller kan benyttes både i planleggingen av nye tunneler og ved opprustning av gamle. Gjennom systematisk bruk av modellen kan valg av alternative tekniske løsninger, utstyr og materialvalg vurderes og sammenlignes før beslutninger tas.

Prosjektet har gått gjennom tunnelens ulike elementer, vurdert erfaringer og foreslått konkrete endringer ut i fra hensyn til vedlikeholdsvennlige valg og løsninger.

Sammen med systematisk bruk av erfaringsdata gjennom forvaltning, drift og vedlikeholdsprogrammet "Spektrum" vil man totalt sett kunne ha forutsetning for å velge metoder og utstyr for å optimalisere tunnelens levetid til en lavest mulig kostnad.

Prosjektet har videre foreslått at det utarbeides retningslinjer for "Forvaltning, drift og vedlikehold av tunneler". Dette for å gi grunnlag for en aktiv byggherrestrategi for tunnelvedlikeholdet som også kan sikre forutsigbarheten for produksjonsoppgavene fremover.

Prosjektet har konkret sett på krav til tilgjengelighet i tunnelene ut i fra hensyn til planlagte stenginger som følge av behov for vedlikehold og til ikke planlagte stenginger som følge av teknisk svikt i installasjoner. Forslagene er klassifisert i samsvar med tunnelklasseinndelingen.

Prosjektgruppen har bestått av:

Harald Buvik, Vegdirektoratet
Gunnar Gjæringen, Hordaland
Viktor Eivik, Nordland
Harald Thorbergsen, Nordland
Sveinung Myklebust, Møre og Romsdal
Helge Hoven, Sør-Trøndelag
David Håndlykken, Sogn og Fjordane
Anders Mjell, Akershus.

4.7.1 Krav til åpen tunnel – tilgjengelighet

De sikkerhetsmessige forhold i en tunnel skal ligge på samme nivå som for tilstøtende vegstrekning. Regulariteten skal ved en normalsituasjon være 100% utenom de stengetider som følger av planlagt vedlikehold.

En av de viktigste faktorene som ivaretar sikkerheten og regulariteten er bruken av et strukturert og systematisk drifts- og vedlikeholdsopplegg. Dette skal dokumenteres.

Følgende krav skal gjelde:

- Trafikantens sikkerhet
- Egne arbeidstakeres sikkerhet
- Best mulig trafikkavvikling = størst mulig regularitet.

Kritiske forhold for å dekke disse krav vil være kraftforsyningen og kommunikasjonen både fra og til tunnelen, og internt i tunnelen.

For kraftleveransene må det være et absolutt krav at denne skal være 100 %. For å oppnå dette må det stilles definerte krav både til kraftleverandør og til netteier.

Kravet skal være 100 % regularitet for å kunne styre og overvåke de forskjellige elementer som har med tunnelens sikkerhetsutstyr å gjøre.

All service og planlagte drifts- og vedlikeholdstiltak skal være så hyppige og altomfattende at teknisk svikt ikke skal forekomme som en følge av mangelfullt vedlikehold.

Vedlikehold og driftsrutiner skal beskrive og ivareta sikkerheten slik at utstyr og systemer som er installert fungerer etter sin hensikt.

Ved ulykker og ikke planlagte hendelser må tunnelen kunne stenges raskt slik at redning og evakuering kan skje på en hurtig og forsvarlig måte. Den første redningsinnsatsen skal kunne gjøres av så vel trafikanter som av redningsmannskapene. Det er da viktig at krafttilførselen og kommunikasjonssystemene er intakte.

Målet må være at stengetiden reduseres og under alle omstendigheter ikke overstiger de kravene som settes.

Sikkerhet ved drift og vedlikehold

Tunneler er ofte utrustet med avansert og kostbart utstyr. For å utnytte utstyret og sikre funksjonssikkerhet og levetid kreves både høy kompetanse og tilstrekkelig ressursinnsats innen drift og vedlikehold. Dette er avgjørende for at både utstyret i seg selv og tilgjengeligheten til forskjellig utstyr skal fungere til en hver tid.

En målrettet planlegging og gjennomføring av drift og vedlikehold i tunneler er derfor viktig for å ivareta kravet til:

- trafikantenes sikkerhet
- god trafikkavvikling
- god driftsøkonomi.

Drift og vedlikehold skal sørge for at sikkerhetsnivået i tunnelen opprettholdes ved at forutsatte krav oppfylles. Dette innebærer at drift og vedlikehold skal tilrettelegges og gjennomføres slik at de forutsetninger som lå til grunn da tunnelen ble planlagt, videreføres også i driftsfasen.

Kunnskap om utstyret og dets virkemåte er en sentral del av dette.

Viktige elementer for å oppnå at sikkerhetsnivået opprettholdes er:

- valg av riktige konstruksjons- og utstyrløsninger i planfasen
- tilstrebe en ensartet standard for tunneler av samme type og trafikkmengde når tunnelene ligger på samme vegstrekning
- riktig kompetansenivå i de ulike ledd i organisasjonen.



Figur 23
Tunnel som gir
en trygg følelse.

Vedlikehold skal så langt det er mulig utføres systematisk. I tunnelvedlikeholdet inngår ofte kompliserte tekniske installasjoner hvor det stilles store krav til systematisk og forebyggende arbeid. Dette influerer også på sikkerheten i tunnelen som er avhengig av at vedlikeholdsprosedyrene blir fulgt.

Uhell og ulykker kan ha sitt utspring i defekt utstyr eller i utstyrfeil som skyldes mangelfullt eller feilaktig utført vedlikehold.

Driftstilgjengelighet

Tilgjengelig sikkerhet i trafikksystemet må minimum ha et slikt nivå at fastlagte sikkerhetsmål kan oppnås ved den aktuelle risikoeksponeringen. På den måten representerer lett trafikk, tung trafikk og trafikk med farlig gods ulike nivåer hva gjelder risikoeksponering. Den tilgjengelige sikkerheten kan dels utgjøre:

- de sikkerhetstekniske systemene
- økt beredskap i vegtrafikksentralen (VTS)
- økt beredskap for nødetatene i tilfelle helt eller delvis funksjonsbortfall i de sikkerhetstekniske systemene
- økt beredskap for driftspersonell.

Dette innebærer at dersom tilstrekkelig sikkerhet ikke kan opprettholdes må risikoeksponeringen reduseres. Det kan oppnås gjennom ulike former for trafikkbegrensing som f.eks. restriksjoner for farlig gods, restriksjoner med tung trafikk, helt eller delvis stenging etc.

Med bakgrunn i de fastlagte sikkerhetsmål skal tekniske systemer samt drift- og vedlikeholdsorganisasjonen dimensjoneres slik at driftstilgjengeligheten blir optimal.

Å ferdes trygt på vegnettet handler både om det psykologisk følte risikonivå og det reelt opplevde nivå og hva man i ulike situasjoner aksepterer av risiko. Sikkerhet er en prioritert samfunnsoppgave hvor et overordnet kriterium vil være fokus på trafikantenes trygghet.

Enkelthendelser internasjonalt har vist hvor alvorlige konsekvenser brann i en tunnel kan få. Brann i en tunnel kan også gi skader på selve tunnelen som medfører stengning. Dette vil føre til omdirigering av trafikk, som igjen kan føre til store og langvarige belastninger for omkringliggende miljø.

Aktiv bruk av risikoanalyse vil i framtiden bli vesentlig for å:

- vurdere sikkerheten i eksisterende tunneler
- bedre beslutningsgrunnlag for sikkerhetstiltak for nye tunneler.

Krav fra trafikant og bruker

Trafikanter vil i stor grad forlange og forvente at det totale vegnettet (inkludert tunnelene) skal være tilgjengelig og trygt nær sagt til en hver tid.

Samtidig er enkelte trafikantgrupper lite begeistret for å ferdes i tunneler. En del har

tunnelfobi, mens de øvrige i disse gruppene føler frykt og ubehag når de ferdes i tunneler. Dette henger i stor grad sammen med hvorledes tunnelene er utformet og utrustet på. Dårlig opplyste, våte vegger, våt vegbane, dårlig vegdekke, mangelfullt renhold etc. kan påvirke trafikantenes kjøreopplevelse i negativ retning. Samtlige trafikantundersøkelser som er gjort i tunneler har fått de samme tilbakemeldingene fra trafikantene med ønske om forbedret belysning. Mange av tunnelene våre har i dag såkalt minimumsbelysning. Dette oppfattes som utilstrekkelig.

Flere større ulykker i europeiske tunneler de senere årene har også satt fokus på sikkerhet i tunneler. Oppgradering av sikkerhetsutstyr og informasjon om dette til trafikantene vil kunne påvirke holdningene som trafikantene har til det å ferdes i tunnel.

Næringslivet stiller klare krav til tilgjengelighet på vegnettet som en viktig faktor både som grunnlag for etableringer og ikke minst utvikle og sikre allerede etablert virksomhet. En stor del av næringslivets "lagerbeholdning" befinner seg så å si daglig på veien. Stenginger blir i liten grad forstått.

Brukerne av tunnelvegnettet oppfattes derfor slik at de på den ene siden har krav om full tilgjengelighet til en hver tid, mens mindre grupper på den andre siden har en viss frykt og redsel for å ferdes i de samme tunnelene. Tunneler skal oppleves som sikre og trygge å ferdes i.

Mange tunneler har installert omfattende teknisk utstyr. Spesielt gjelder dette høytrafikk-tunneler og undersjøiske. Men den generelle tendensen er klar; omverdenen oppfatter en del tunneler som "farlige" og dermed stilles krav om at de skal sikres på best mulig måte. Det betyr veldig ofte krav om installering av mer teknisk utstyr.

Dette krever i sin tur et systematisk vedlikehold for å ivareta både funksjonssikkerhet og krav til levetidskostnader. Slikt arbeid kan bare i meget begrenset omfang skje samtidig mens det er trafikk i tunnelen. I følge gjeldende retningslinjer skal slikt arbeid i hovedsak utføres i stengt tunnel dersom det er omkjøringsmuligheter, se håndbok 213.

Dette fører naturlig nok til stenginger av en viss varighet på årsbasis, noe som står i kontrast til brukernes generelle krav/holdning til full åpenhet.

Konsekvenser ved stengt tunnel

Stengt tunnel betyr et sett ulike konsekvenser å forholde seg til, både for tunneleier, bruker og for omgivelsene/samfunnet. Konsekvensene kan være enkle og kortvarige eller kompliserte og langvarige. Transportlengden på omkjøringen, graden av sårbarhet for lokalsamfunnet som blir påført omkjøring, varighet på stengingen og "mottageligheten" på omkjøringsvegnettet er alle faktorer som må vurderes i en konsekvensutredning. Slike utredninger kan være en naturlig del av utarbeidelsen av beredskapsplan for tunneler og inngå i Risiko- og Sårbarhetsanalysene (ROS) i den enkelte kommune. Poenget må være at man har en viss forutsigbarhet i forhold til ulike konsekvenser av redusert tilgjengelighet i tunnelen.

Tunneler bygges for å bedre framkommeligheten på vegnettet og det er trafikantene, både privat og yrkesmessig, som blir de "skadelidende" ved stenginger, enten det er iverksatt omkjøringsalternativ eller ikke. Ut i fra det skulle det være konsekvensene for disse gruppene som ville være avgjørende for planlagte stenginger eller ikke. I et slikt bilde ville nyttetrafikken for næringslivet være klart den ledende og viktigste. Også ut i fra rene samfunnsmessige konsekvenser ville nok denne trafikken være den viktigste.

Omkjøring betyr i de aller fleste tilfeller redusert framkommelighet og lengre reisetid. Man er altså ikke avstengt for framkommeligheten, kun fått den redusert.

Figur 24
Konsekvenser
ved stengt
tunnel.



På den annen side vil omkjøring føre til at den trafikkmengden som normalt vil kjøre i tunnelen må ledes inn på andre veier og i andre omgivelser. Her kan konsekvensene være både store og ikke minst uoversiktlige. En slik omkjøring vil føre til konsekvenser for:

- Sikkerhet
- Miljø
- Trafikale ulemper.

Jo mer trafikkbelastet en tunnel er, jo større vil også de medfølgende konsekvensene ved en stenging med omkjøring være. Ikke planlagte hendelser vil man aldri fullt ut kunne gardere seg mot. Men hvilke konsekvenser en slik ikke planlagt hendelse kan få, vil det kunne være mulig å forutse noe om.

Planlagte stenginger er imidlertid forutsigbare både i forhold til tidspunkt for utførelse og hvilke ulike konsekvenser stengingene fører til.

Krav til den enkelte tunnel

Planlagte hendelser

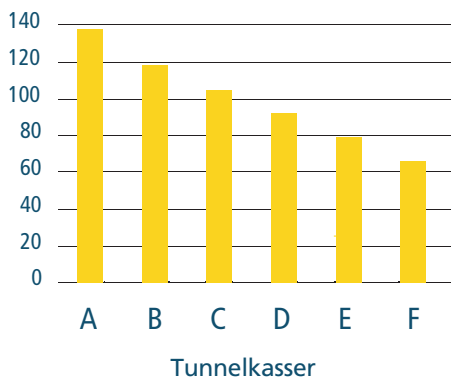
<i>Aksepterte stengningstider i den enkelte tunnelklasse</i>						
Tunnelklasse	A ÅDT 0 – 300	B ÅDT 300 – 5000	C ÅDT 5000 – 7500	D ÅDT 7500 - 10000	E ÅDT 10000 – 15000	F ÅDT > 15000
Tilgjengelighet	Aksepterer redusert tilgjengelighet hele døgnet	Aksepterer redusert tilgjengelighet hele døgnet	Aksepterer redusert tilgjengelighet på kveld/natt	Aksepterer redusert tilgjengelighet på natt	Aksepterer redusert tilgjengelighet på natt	Aksepterer redusert tilgjengelighet på natt
Stengning	Kan være helt eller delvis stengt inntil 5 timer hele døgnet	Kan være helt eller delvis stengt inntil 2 timer på dagtid. Kan i tillegg være helt eller delvis stengt mellom kl 2100 og 0600	Kan være helt eller delvis stengt mellom kl 2100 og 0600. Åpning hver hele time	Kan være helt eller delvis stengt mellom kl 2200 og 0500. Åpning hver hele time	Ved toløps tunnel stenges det ene løpet mellom kl 2200 og 0500. Krever kort omkjøring – eller bruk av parallelt kjørefelt i tunnelen eller i parallell tube	Ett løp stenges mellom kl 2200 og 0500. Krever kort omkjøring – eller bruk av parallelt kjørefelt i tunnelen eller i parallell tube
Redusert tilgjengelighet (100 % tilgjengelighet = 8760 timer pr. år)	Tilgjengeligheten kan være redusert inntil 1,5 % (138 t) pr. år pr. 3,0 km tunnallengde.	Tilgjengeligheten kan være redusert inntil 1,35 % (118 t) pr. år pr. 3,0 km tunnallengde.	Tilgjengeligheten kan være redusert inntil 1,20 % (105 timer) pr. år pr. 3,0 km tunnallengde.	Tilgjengeligheten kan være redusert inntil 1,05 % (92 timer) pr. år pr. 3,0 km tunnallengde.	Tilgjengeligheten kan være redusert inntil 0,90 % (79 timer) pr. år pr. 3,0 km tunnallengde.	Tilgjengeligheten kan være redusert inntil 0,75 % (66 timer) pr. løp pr. år pr. 3,0 km tunnallengde.
Merknader	I – II – III – IV – VI	I – II – III – IV – VI	I – II – III – IV – VI	I – II – III – IV – V – VI	II – III – IV – V – VI – VII	II – III – V – VI – VII

Forklaring til merkander

- | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>I Utrykningskjøretøy kan passere</p> <p>II Informasjon må gis i media, forran stengestedet og på stengestedet</p> <p>III Lokale hensyn må ivaretas</p> <p>IV Stengt kan bety:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stengt i hele perioden • Åpning hver hele time • Manuell dirigering • Omkjøring hvis mulig | <p>V Ved parallelt løp stenges det løpet hvor arbeid pågår – og parallell tunnel brukes til å lede trafikk i begge retninger</p> <p>VI Omkjøring skal varsles og etableres</p> <p>VII I tunneler med ensrettet trafikk kan ett av feltene stenges i tider på døgnet uten "rush-trafikk". Dette krever et vel etablert opplegg med fartsnedsettelse og tydelig skille av kjøreretninger. Arbeidet utføres på det tidspunkt av året som har lavest trafikk.</p> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

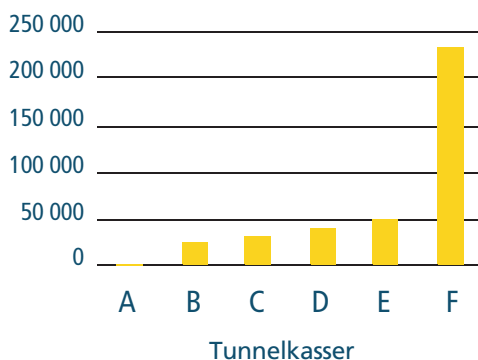
Figur 25
Stengetid
fordelt på
tunnelkasser.

Stengetid pr. tunnel/strekning pr. år
fordelt på tunnelklasser



Figur 26
Eksempel på
konsekvenser/
omfang av
definert
stengetid.

Antall kjøretøy som berøres ved stenging



Ikke planlagte hendelser - ULYKKER TUNNELKLASSE A – F (alle tunneler)

Hendelser	Årsak	Krav	Tiltak
<ul style="list-style-type: none"> • Kollisjoner • Påkjørsel • Brann • Eksplosjon • Utforkjøring • Arbeidsulykke • Terrorisme/hærverk 	<ul style="list-style-type: none"> • Dårlig sikt • Lysblending • Oljesøl • Glatt/fuktig kjørebane • Dyr i tunnelen • Løse gjenstander på vegbanen • Eksplosjon i farlig gods • Lynnedslag • Opphoping av kjørtøy 	<p>Installert nødutstyr skal være intakt, operativt og kunne betjenes i minimum 1. time etter hendelse eller iverksatt stengning</p>	<p>Følge de prosedyrer for tiltak og de beredskapsplaner som er laget for den enkelte tunnel</p>

Ikke planlagte hendelser - TEKNISK SVIKT

Punkt	Tunnelklasser	Krav i henhold til tunnelklasse	Tiltak i henhold til tunnelklasse
Krafttilførsel	A - B - C - D - E - F	Der det ligger til rette for det skal krafttilførselen sikres ved uavhengig forsyning fra begge tunnelmunninger som kobles sammen slik at det oppnås en ringmating	Ved brudd i krafttilførselen til tunneler uten ringmating, skal aggregat snarest skaffes
Avbruddsfri strøm-forsyning	A - B - C - D - E - F	Den avbruddsfrie strømforsyningen (batterier eller aggregat) skal gi minimum 1 times driftstid ved dimensjonerte belastning for installert sikkerhetsutrustning	Reparasjon/utskifting av batterier eller tilført ladestrøm må være utført innen 1 time
Belysning	A - B - C - D - E - F	Ved strømutfall skal prioritert belysning (hver fjerde eller femte armatur) lyse i ca. 1 time	Reparasjon bør være utført innen 1 time. Tar reparasjonen lengre tid, må det tilføres ladestrøm til prioritert belysning. Ved lengre tids bortfall av belysningen kan det for tunneler i klasse A vurderes pilotkjøring. For øvrige tunnelklasser skal omkjøring etableres
Ventilasjon	A - B - C - D - E - F	Anlegget skal ha så stor kapasitet og funksjon at det tillates svikt inntil 10 % uten at tunnelen må stenges og evakueres	Ved svikt inntil 10 % skal reparasjon skje snarest. Ved svikt over 10 % skal tunnelen stenges
Kommunikasjonslinjer til og fra tunnelen	(A) B - C - D - E - F	Linjene skal til enhver tid være intakte	Tunnelen stenges og reparasjon utføres umiddelbart
Sikkerhetsutrustning	B - C - D - E - F	Anleggene skal kobles opp mot avbruddsfri strømforsyning som skal gi min. 1 times driftstid	Reparasjon skal utføres umiddelbart. Samtidig skal det vurderes om skaden/feilen er av et slikt omfang at tunnelen må stenges
Brannsløkker	(A) B - C - D - E - F	Apparatene skal til enhver tid være kontrollert og operativ	Apparat skiftes
Va-anlegg	A - B - C - D - E - F	Anleggene skal til enhver tid tilfredstille gjeldende krav	Reparasjon etter standardkrav i håndbøkene 021 og 111
Konstruksjoner	A - B - C - D - E - F	Anleggene skal til enhver tid tilfredstille gjeldende krav	Reparasjoner etter standard krav i håndbøkene 021 og 111

Figur 27
Krav til drift og
vedlikehold ved
åpen tunnel.



Figur 28
Åpen tunnel på
Rennfast-
forbindelsen.



Gjennom planlagte driftsavbrudd skal vedlikeholdsnivået være så høyt at det ikke medfører ytterligere redusert tilgjengelighet.

Se for øvrig Internrapport nr. 2222: "Krav til åpen tunnel – tilgjengelighet".

4.7.2 Erfaringsoverføring

Med all den kunnskapen som finnes om både løsninger, utstyr og materialer vil det være en uopnåelig oppgave og ivareta denne erfaringsoverføringen uten å benytte seg av strukturerte metoder og IT-baserte løsninger.

Slike metoder og løsninger er allerede kjent og etatsstandard er valgt. Systematisk tunnelvedlikehold ivaretar drift og vedlikehold, intern-kontroll og dokumentasjon. Systematisk tunnelvedlikehold sikrer også grunnlaget for overføringer av historiske erfaringsdata som igjen påvirker beslutningsprosessen i nye prosjekt og anskaffelser.

FDV-programmet "Spektrum" ivaretar dette på en ryddig måte. Det forutsetter imidlertid en "opprydding" i strukturen på nivå og omfang av erfaringsdata og ikke minst, det kreves lojalitet til de beslutningene som denne type erfaringsoverføring er basert på. (Se forøvrig kapittel 4.6.4).

Erfaringsdata samles i erfaringsbank og knyttes til tunnelens:

- plan- og prosjekteringsfase
- byggefase
- overtakelsesfase
- drifts- og vedlikeholdsfasen.

Det foreslås å knytte funksjonskrav og påfølgende krav til oppfølging, til følgende objekter av tekniske installasjoner:

- ventilasjon
- belysning
- renseanlegg
- pumpeanlegg
- styre og overvåkingsanlegg
- kabler
- renhold (frekvens avhengig av ÅDT)
- stabilitetssikring
- vann- og frostsikring.

Hva er nyttig/viktig å vite i forhold til erfaring:

- levetid (installasjonstid)
- enhetskostnader pr. definert nivå
- driftstid
- evt. "nedetid" m/årsak
- vedlikeholdsomfang (tid)
- renholdsomfang (tid)
- teknologisk utskifting/fornyning/oppgradering (tid/frekvens).

Nevnte objekter må prosesstilknyttes på en slik måte at de kan "spores" fra overlevering og i driftsfasen. Erfaring knyttes til prosessen.

Strukturert erfaringsrapport skal gjennomgås etter tre års driftstid og definert detaljeringsgrad skal være i samsvar med detaljeringsgraden ved overlevering, evt. avtalt definert avvik.

Slike erfaringsrapporter skal danne grunnlaget for å kunne vurdere:

- sårbarheten i installasjonene/elementene/tunnelen
- driftstilgjengeligheten
- funksjonskravene.

Se for øvrig Internrapport nr. 2221: "*Erfaringer og erfaringsoverføring*".

4.7.3 Forhold som påvirker drift og vedlikeholdskostnader

Etatsprosjektet har rettet fokus på de forhold som etter prosjektgruppens vurderinger har størst innflytelse på de framtidige kostnadene for drift og vedlikehold av tunnel.

En omfattende erfaringsregistrering tilknyttet tunnelens ulike elementer er gjennomført. Disse erfaringene er basert på hensynet til og konsekvensen av vedlikeholdsvennlige løsninger. Vurderingene er også forankret i det overordnede mål om å ivareta det langsiktige eierskapet. I det perspektivet er det vanskelig å se hvorledes det kan ivaretas uten å legge langt større vekt på levetidsbetraktninger og levetidskostnader både ved investering og drift og vedlikehold.

Figur 29
Materialer og
utforming
påvirker
vedlikeholdet.



Nytten av levetidskostnadsmodeller som beslutningsverktøy avhenger selvsagt av kvaliteten på de inngangsdata som benyttes. Videre forutsetter et godt resultat at de data som benyttes er konsistente. Der eksakt informasjon mangler, er alternativet å benytte estimater basert på antagelser og forutsetninger med bakgrunn i historikk, egne og andres erfaring og for øvrig bruk av faglig skjønn. Verdien av modellberegningens sluttresultat må ses i lys av grunnlagsdataenes kvalitet og nytteverdien av beregningen vurderes opp mot dette.

For å kunne realisere optimalisering av drift og vedlikehold i en tunnel er det viktig at både tilgjengelighet og vedlikeholdsvennlige løsninger blir tilstrekkelig vektlagt helt fra planleggingen starter.

Valg og beslutninger som tas i planfasen har avgjørende innflytelse på kostnadene i drifts- og vedlikeholdsfasen. Slike valg må tas på bakgrunn av erfaring!

For å kunne redusere kostnadene med drift og vedlikehold er det en del grunnleggende forhold som må vektlegges:

- Utforming må være slik at det er tatt hensyn til behovene som kjøretøyene har. F.eks minimum 3,5 m kjørebane og 1,0 m skulder/sideareal
- I høytrafikkerte tunneler mener vi at bør brukes betongelement som tunnelvegg
- I lavtrafikkerte tunneler mener vi at det bør brukes langsgående New Jersey betongkant
- Løsningsvalg må baseres på at det skal utføres drift og vedlikehold i tunnelen. Dette tilsier at arbeid som skal utføres må kunne gjøres i størst mulig grad maskinelt. Disse valgene må gjøres i planfasen basert på erfaring fra driftsfasen
- Levetidskostnader må vektlegges i atskillig større grad enn det som blir gjort ved nybygging og reinvesteringer i dag
- Erfaringsoverføring må skje automatisk ved nybygging. All nybygging må basere seg på

erfaring fra driftsfasen. Disse erfaringene skal være dimensjonerende for valg i planfasen og ved fornying av standarder, håndbøker etc.

- Utstyr og installasjoners sårbarhet og sviktintensitet må vurderes og følges opp.

Skal drifts- og vedlikeholdsoppgavene kunne løses på en mest mulig kostnadseffektiv måte må ressursutnyttelsen være optimal. Dette krever en viss grad av forutsigbarhet, noe som i dag ikke oppleves tilfredsstillende. Denne forutsigbarheten kan gjøres bedre gjennom å utarbeide retningslinjer for "Forvaltning, drift og vedlikehold av tunneler". Slike retningslinjer vil gi nødvendig grunnlag for byggherrestrategi som igjen sikrer forutsigbarheten for produksjonsoppgavene fremover. Dette vil også gjøre strategivalgene for produksjon betydeligere enklere.

Enhetlige retningslinjer for "Forvaltning drift og vedlikehold av tunneler" finnes ikke i dag.



Figur 30
Valg av løsninger
må være
vedlikeholds-
vennlige.

Noe finnes i håndbøkene 021, 213 og 111 med tilhørende temahefte, mens andre deler kan finnes i ulike rapporter inklusive NVF-rapporter og rundskriv. På en del områder mangler slike retningslinjer. Det er derfor stort behov for å samle og gjøre det enhetlig.

Det foreslås følgende målsetning for slike retningslinjer:

- Forvaltning, drift og vedlikehold (FDV) skal sikre at fremkommeligheten i tunnelen skal være minst like god som på vegnettet for øvrig
- FDV skal sikre at:
 - sikkerhetsnivået i tunnelenes innkjøringssoner (dvs. 100 m før og de første 100 m inne i tunnelen) skal være på samme nivå som tilstøtende vegnett
 - sikkerhetsnivået inne i tunnelen skal ligge på samme nivå som på en tilstøtende veg uten vegkryss og gang-/sykkeltrafikk
 - tilsvarende skal gjelde ulykkesalvorlighetsgrad
- FDV skal sikre hensiktsmessig beredskap for uforutsette hendelser i tunnelen
- FDV skal sikre at gjeldende miljøkrav blir ivaretatt
- FDV skal sikre at oppgavene blir utført på en for samfunnet økonomisk måte (LCC).

Se for øvrig:

Internrapport nr. 2221 "Erfaringer og erfaringsoverføring"

Internrapport nr. 2223 "Forhold som påvirker drift- og vedlikeholdskostnader"

Internrapport nr. 2153 "Kvalitetssikring av erfaringsdata for levetidskostnader og driftsoptimalisering".

4.7.4 Drift og vedlikehold i tunnelens ulike faser

Forhold som påvirker tunnelvedlikeholdet fastlegges alt fra tidspunktet planleggingen av tunnelen tar til. Allerede når en i planfasen begynner å beskrive utforming av tunnelen må en ha kunnskap om hvilke forhold som kan påvirke drift og vedlikehold.

De standarder og løsninger som velges, vil alltid påvirke fremtidige driftsrutiner og vedlikeholdsbehov. En tunnel går, på samme måte som en hvilken som helst annen del av vegen, gjennom flere faser. Til sammen utgjør dette tunnelens totale livsløp.

I en del tilfeller starter drift og vedlikehold før tunnelen er helt ferdig. Dette skjer når byggetiden strekker seg over flere år. Installert utstyr og komponenter må ha et vedlikehold helt fra montasjen selv om de ikke er i drift.

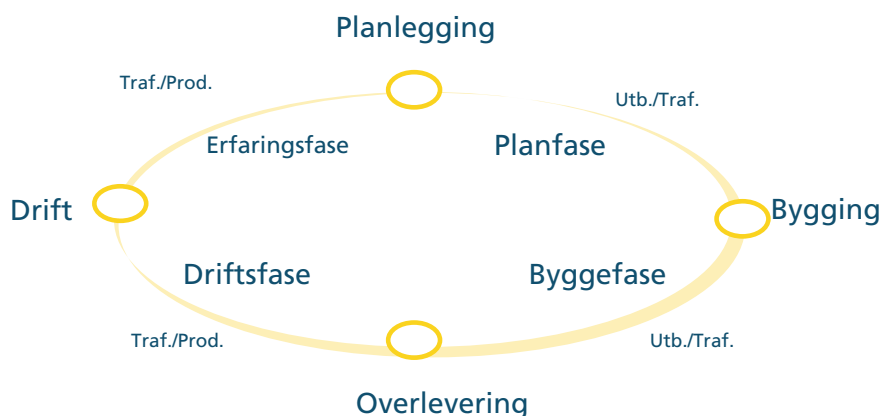
Det er i løpet av tunnelens levetid normalt at utstyr må installeres eller skiftes ut som følge av slitasje eller nye krav. Dette gjøres for å forlenge den totale levetiden, og/eller øke sikkerheten. I tillegg er totaløkonomien et viktig element ved vurdering om utstyr skal utskiftes og/eller reinvesteres.

I prosessindustrien, ble det for noen år siden påstått at 80% av vedlikeholdskostnadene ble fastlagt av mennesker som ikke hadde kunnskap om, og heller ikke var interessert i drift og vedlikehold.

Det er derfor av stor viktighet at erfaringer fra de som har ansvaret for drift og vedlikehold av tunnelen bringes tilbake til de som planlegger og bygger. Bare på denne måten kommer erfaringene direkte til nytte neste gang det skal bygges en ny, eller en utføres oppgradering av en tunnel.

En slik syklus vil også være grunnlaget for felles utnyttelse av all den kompetansen som finnes rundt omkring og som skal komme hele etaten til gode.

Figur 31
Erfaringsyklus.



Internrapport nr. 2144 "Drift og vedlikehold sin innflytelse og påvirkning på tunnelens ulike faser".

4.8 Sikkerhet og kjørekomfort - med fokus på trafikantene

Sikkerhet har vært et av de mest sentrale emnene i etatsprosjektet og her har det blitt arbeidet på mange fronter:

- i Nordisk vegteknisk forening
- i utredningen av nye EU-prosjekter
- i PIARC-arbeidet
- innen revisjonsarbeidet med håndbok 021 vegtunneler
- i prosjektet.

Prosjektet har brukt betydelige ressurser i arbeidet med utarbeidelsen av en NVF-rapport om sikkerhet i vegtunneler. Dette handler i stor grad om risiko for at hendelser inntreffer og eventuelt omfang av slike hendelser. Rapporten beskriver en rekke tiltak som virker forebyggende på at en uønsket hendelse skal kunne inntreffe. Dersom en hendelse likevel inntreffer, beskrives en rekke tiltak som skal kunne begrense omfanget.

Som et resultat av de store brannulykkene på kontinentet har EU-systemet satt brann-sikkerhet i tunneler høyt oppe på dagsordenen. Statens vegvesen har igjennom dette prosjektet bidratt. Vårt fokus og ansvar innen prosjektet UPTUN "Cost-Effective, Sustainable and Innovative Upgrading Methods for Fire Safety in Existing Tunnels", ligger på erfaringer fra oppgraderingsarbeid i eksisterende tunneler (se for øvrig kapittel 7).

Prosjektet har også bidratt innen PIARC-arbeidet. Statens vegvesen er godt representert i tunnelgruppa og dette arbeidet i kombinasjon med arbeidet på det nordiske plan gir en god plattform for erfaringsutveksling også i utviklingsammenheng.

Det har spesielt i den siste delen av prosjektperioden blitt lagt stor vekt på revisjonen av håndbok 021 "Vegtunneler". Denne er nå ferdig til trykking og skal gjelde fra 1. januar 2002.

Innen prosjektet har det vært fokusert på en rekke emner som vi mener er viktige deler av Statens vegvesens sikkerhetsstrategi. Mange av elementene i dette finnes i forskjellige håndbøker og standarder. Prosjektet har samlet dette i en rapport, der elementene i strategien beskrives.

Videre har det vært viktig å få oppdatert hendelsesstatistikken i vegtunneler. Transport- og trafikksikkerhetsavdelingen har gjennomført dette.

Prosjektet har også bidratt til NBRs utgivelse av "Risikoanalyse ved brann i vegtunneler", som er en veiledning til NS 3901.

Brannteknisk dokumentasjon av vann- og frostsikringskonstruksjoner brukt i tunneler har til nå ikke vært standardisert. Prosjektet har i samarbeid med Norges Branntekniske laboratorium utarbeidet forslag til nye krav til testmetoder. Parallelt med dette har det pågått et utviklingsarbeid for å komme fram til nye og ubrennbare konstruksjon. Dette var et av våre hovedmål i innledningsfasen og denne typen hvelv er allerede prøvemontert.

Framover må det være et mål å ytterligere begrense og kanskje avskaffe brennbare materialer i tunneler (se kapittel 4.8.6.).

Internasjonalt arbeides det mye med deteksjonsystemer og slukkesystemer. Prosjektet har bidratt til utprøving av begge deler og har klare anbefalinger i forhold til framtidig bruk.

Kunnskapen om sikkerhetsutstyret i norske vegtunneler er mangelfull hos den vanlige trafikant. Det er derfor et klart ønske om å fokusere på mer kunnskap om dette utstyret, hvorledes det virker og hvorledes trafikantene skal forholde seg til dette utstyret ved ulike hendelser. Prosjektet har fokusert på dette behovet og laget et rammeverk for det videre arbeidet med en informasjonskampanje.

En sentral del av sikkerhetsarbeidet er knyttet til utarbeidelse av beredskapsplaner. Beredskapsplanen er en avtale mellom Statens vegvesen og nødetatene og skal bidra til å redusere skadeomfanget ved eventuelle hendelser gjennom tiltak og evakuering. Det kreves gjennomarbeidede prosedyrer, klare og ansvarsbeskrevne tiltak og trening av personell som skal gjennomføre dem for å oppnå full effekt av beredskapsplanene. Det er særdeles viktig å sikre at beredskapsplanen ikke blir en passiv hylleplan, men at den hele tiden er aktiv og brukes bevisst. Ajourhold av planen etter øvelser, utskifting av utstyr eller administrative endringer krever en bevisst holdning til hvorfor slike planer blir utarbeidet og hva som er hensikten. Beskrivelsen og oppbyggingen av beredskapsplaner er forsøkt gjort på en slik måte at man øker bevisstheten om behovet for aktivt bruk slike planer.

Kjørekomfort er viktig for at trafikantene skal føle seg trygge i tunnelen og oppleve det som en positiv opplevelse. Prosjektet har bidratt til å utarbeide en publikasjon om estetisk utforming av vegtunneler. Hensikten med publikasjonen har vært å lage eksempler og beskrivelser som omfatter innkjøringsstrekningen foran tunnelen, portalen, det indre tunnelrom samt det tekniske utstyret som er plassert på disse strekningene. Publikasjonen er tenkt som et bidrag i arbeidet med å høyne den estetiske standarden på tunneler, som er viktige deler av våre vegnett, og som et ledd i bevisstgjøringen rundt utformingen av våre omgivelser.

Prosjektgruppen har bestått av:

Harald Buvik, Vegdirektoratet

Finn Harald Amundsen, Vegdirektoratet

Corinne Chiodini, Akershus

Gunnar J. Lotsberg, Sogn og Fjordane.

Noe av arbeidet referert i dette kapittelet har blitt gjennomført i delprosjekt E ved Kjell Inge Davik, Vegdirektoratet.

4.8.1 Ulykker og branner – kunnskap om hendelser i vegtunneler

Innen prosjektet har man også sett et behov for å oppdatere ulykkesstatistikken vedrørende bilbranner og andre hendelser i tunneler. Dette har blitt utført av Transport- og trafikk-sikkerhetsavdelingen TTS ved Finn Harald Amundsen og er gjengitt i rapport TTS-07-2001. Et sammendrag er gjengitt idet etterfølgende.

Datagrunnlag for tunneler, havarier, ulykker, branner

Norge har vært et foregangsland når det gjelder utbygging av vegtunneler. I Europa er det kun Italia som i dag har flere tunneler enn Norge. Ser vi på lange tunneler, dvs tunneler lengre enn 1 km, er det like mange slike tunneler i Norge som i resten av Europa. Tabellen nedenfor viser tunneler i Norge fordelt på antall og lengde.

Tunnellengde	Antall	Lengde meter
Under 100 m	127	7 580
100-499 m	320	79 420
500-999 m	148	103 035
1000-3000 m	145	251 029
Over 3000 m	50	267 400
Totalt	790	708 464

Det som er spesielt for Norge er ikke bare det store antall lange tunneler, men også at trafikken er relativt lav. Gjennomsnittstunnelen i Norge har en ÅDT (ÅrsDøgnTrafikk) på ca. 3000, mens gjennomsnittstunnelen i Europa ellers har en trafikk som normalt vil ligge ca. 10 ganger så høyt. Det at trafikken er så vidt lav og at vi har så god fjellkvalitet er nok det viktigste årsakene til at vi har blitt et "tunnelland".

Med så mange tunneler er det viktig å ha kunnskap om hvordan trafikkavviklingen fungerer i slike tunneler. For å få slike kunnskaper er det viktig å registrere hva som skjer og analysere resultatene slik at vi hele tiden kan forbedre vårt kunnskapsgrunnlag. I registreringsarbeidet bruker vi ulike datakilder. Det er kun når det gjelder personskadeulykker at vi kan bruke den offentlige statistikk som utgis fra Statistisk sentralbyrå (SSB).

Havarier oppstår når kjøretøy får motorstopp, går opp for drivstopp eller når de får en ufrivillig stopp i tunnelen. Kunnskap om havarier er av interesse dels for å redusere slike hendelser, dels for å redusere sannsynligheten for mer alvorlige følgehendelser og dels for å gi bistand til trafikanter som har måttet stoppe. Kun for enkelte storbyttunneler med ITV overvåking har vi gode data for denne typen hendelser. For andre tunnels vedkommende er vi avhengige av at trafikanter melder inn til en Vegtrafikksentral eller annen bemannet vaktentral ved bruk av nødtelefoner i tunnelene eller ringer inn på mobiltelefon. Når vi vet at færre enn 40 % faktisk bruker nødtelefoner vet vi at slik statistikk blir unøyaktig.

Personskadeulykker rapporteres til politiet og Statens vegvesen får melding om disse. Ulykkene blir så stedfestet og vi kan finne igjen de ulykkene som har skjedd i vegtunnelene.

Når det gjelder kjøretøybranner registreres disse i utgangspunktet ikke. Som for havarier har vi imidlertid godt grunnlag fra høytrafikk-tunneler med ITV. Når det gjelder andre tunneler er branner så spesielle hendelser at vi vil få høre om langt de fleste, i alle fall alle som har hatt særlig konsekvens.

Havarier i vegtunneler

Basert på tidligere undersøkelser av vegtunneler i utlandet som har ITV overvåking vet vi at det skjer i gjennomsnitt 10-12 kjøretøyhavarier per 1 mill kjtkm. Med havarier menes da alle typer hendelser der kjøretøy stopper ufrivillig i tunnelene. Mengdemessig utgjør disse hendelsene et meget stort driftsproblem. Problemet er at de skaper køer, som igjen også kan gi grunn for følgehendelser som ulykker, branner etc.

Vegtrafikksentralen i Oslo lagrer opplysninger om denne typene hendelser. Årlig rapporteres det ca. 450 i Festningstunnelen, 60 hvert år i Granfosstunnelen (uten ITV), 75 hvert år i Vålerengtunnelen og Nordbytunnelen. Tilsvarende registreringer utføres ved de andre vegtrafikksentralene.

Dersom vi ser på trafikkmengder og tunnallengder, har Festningstunnelen en havari-frekvens på 12, som tilsvare frekvensen i utlandet. De øvrige tunnelene har frekvenser som ligger mellom 4 og 5 havarier per kjøretøykm. Havarifrekvensen er således nesten tre ganger så høy i Festningstunnelen som i de øvrige tunnelene. Dette har sannsynligvis sammenheng med at overvåkingen er spesielt god i denne tunnelen. Det er liten grunn til å tro at trafikken i tunnelen er spesiell sammenlignet med de øvrige tunnelene eller at utformingen er særlig spesiell sammenlignet med Granfosstunnelen. Det vi mister må derfor sannsynligvis være kjøretøyer som klarer seg selv. I korte tunneler med lav trafikk vil det sjelden være montert nødtelefoner. Trafikantene kan derfor kun få rapportert om hendelsen med mobiltelefon når de kommer ut av tunnelen. I tunneler med nødtelefon kan disse brukes til rapporteringen. Vi vet imidlertid av kun ca. 40 % av trafikantene vil bruke nødtelefonene. Dette sies å ha sammenheng med at mange er bekymret over hvor meldingen går til og om det eventuelt vil koste penger å ringe. Kun i et lite antall tunneler er det montert ITV.

Tabellen nedenfor viser årsakene til at kjøretøy stanser i tunnelene i Oslo-området.

Havaritype	Andel i %
Mangler drivstoff	27,5
Motorproblemer	46,4
Punktering	3,8
Gjenstander i kjørebanen	1,8
Annet	15,9
Ulykker/uhell	4,6
Sum	100 (3380)

Noe overraskende er det at nesten 75 % av havariene skyldes manglende drivstoff eller motorproblemer. Siden disse opplysningene stort sett dekker tunneler med ITV anlegg vil vi anta at tabellen dekker hva som faktisk skjer i tunnelene. I tunneler uten ITV vil det være de mest alvorlige hendelsene som blir overrepresentert, I korte tunneler må vi regne med at trafikantene på en eller annen måte får kjøretøyet ut av tunnelen.

På grunn av sitt antall er havariene et stort problem for driften av vegtunnelene. Antall havarier kan reduseres ved å bevisstgjøre trafikantene om at de ikke skal kjøre inn i tunnelene uten å forsikre seg om at de har tilstrekkelig drivstoff og ikke har motorproblemer. Informasjon er et aktuelt tiltak.

I beredskapsplanleggingene bør det diskuteres hvordan en skal forholde seg til havariene. Hvor skal nødtelefonene termineres og hvordan skal trafikantene hjelpes/bistås.

Personskadeulykker

Norge har i lengre tid vært et land som bygger mange vegtunneler. Siden tunnelene er spesielle anlegg for trafikantene og fordi vi har vært et foregangsland når det gjelder

utforming og utstyr har det i lang tid vært interessant å følge opp trafikksikkerhets-situasjonene i vegtunnelene våre. Den første kjente undersøkelsen er gjennomført som en hovedoppgave ved NTNU i 1979/80. Datamaterialet ble i 1981 gjennomgått og bearbeidet av SINTEF i Trondheim. Undersøkelsen dekket 361 vegtunneler i 16 fylker. Tunnelene i undersøkelse var korte (72 % kortere enn 500 m), smale (35 % smalere enn 6 m) ubelyste (80 % uten veglys) og de hadde lav trafikk (85 % lavere ÅDT enn 1500). Ulykker i tunnelene og 100 m utenfor tunnelene ble brukt i analysen. Av ulykkene var 52 % singelulykker, 20 % møteulykker og 13 % påkjøringbakfra- eller feltskifteulykker. De beregnede personskadeulykkesfrekvenser var:

I overgangssonene 50 m før og 50 m inne i tunnelene	0,86
I midtsonene	0,17

Det viser at ulykkesfrekvensen (dvs personskadeulykker per år per 1 mill kjøretøykm) er omkrin 5 ganger så høy i overgangssonene som i resten av tunnelene.



Figur 32
Hansjordet i
Tromsø.

I 1996 besluttet Transport og trafikksikkerhetsavdelingen i Vegdirektoratet å gjøre en tilsvarende undersøkelse. Basis er tunneler åpnet før 1992 slik at en minimum fikk fire års ulykkesdata. I alt dekket undersøkelsen 588 vegtunneler hvor det var registrert 499 personskadeulykker i perioden. Disse ulykkene hadde skjedd i 1/3 av vegtunnelene. Ulykkene ble sortert etter hvor de hadde skjedd. Av ulykkene var 26 % skjedd 50 m utenfor tunnelene (ulykkesfrekvens 0,3), 19 % de første 50 m inne i tunnelene (ulykkesfrekvens 0,23), 19 % de neste 100 m (ulykkesfrekvens 0,16) og 36 % i resten av tunnelen (ulykkesfrekvens 0,1). Ser vi bare på tunnelene, har 25 % skjedd de første 50 m, 26 % de neste 100 m og 49 % i resten av tunnelene.

Det betyr at vegtunnelene har en lav ulykkesfrekvens i forhold til vegnettet for øvrig. Ulykkesfrekvensen er på samme nivå som for tofeltsveger av høy utformingsstandard. Ser vi på ulykkesenes alvorlighetsgrad er ulykkene i vegtunnelene høyere enn ellers. Mens andelen drepte i tunnelulykkene er 3,6 % er den 2,8 % ellers på vegnettet.

Dersom vi ser på ulykkestypene var 30 % av typen singelulykker, 43 % av typen påkjøring bakfra/feltskyte, og 17 % møteulykker.

Sammenligner vi resultatene fra disse to undersøkelsene viser det seg at ulykkesfrekvensen er vesentlig redusert. En tilsvarende stor reduksjon har også skjedd på vegnettet for øvrig. Den største forskjellen gjelder inngangs- og overgangssonene. Årsaken til den store

reduksjonen her er nok dels at utformingen har blitt bedre og at belysningen har blitt bedret.

Stort sett må det sies at ulykkesfrekvensen i seg selv ikke skiller tunnelene fra vegnettet i negativ retning. At alvorlighetsgraden er så vidt høy er imidlertid en utfordring.

Et forhold ved tunnelene er at det skjer relativt få materielle skader. I vegtrafikken ellers regner vi med at det skjer ca. 20 materielle skader for hver personskadeulykke. I tunneler er imidlertid forholdstallet nærmere 5. Dette skyldes dels at nesten 50 % av de materielle skader på vegnettet har sammenheng med parkering og at også en vesentlig del av de øvrige skadene skjer i uhell som sjeldent forekommer i vegtunneler. En stor overvekt av ulykkene i vegtunneler er av typene som ofte gir alvorlige personskader.

Branner

Branner i vegtunneler er omfattet av stor interesse i media. Dette har dels sammenheng med at det fokuseres sterkt på storulykker hvor mange mennesker dør i en og samme ulykke og at det å bli drept i en brann i en tunnel hvor mulighetene for å komme raskt ut kan føles å være begrensede. Våre kunnskaper om branner i vegtunneler er basert på erfaringsinnsamling som er gjort i utlandet og på opplysninger fra vegvesenet og brannvesenet i Norge.

Når det gjelder kjøretøybranner generelt vet vi at det til forsikringselskapene i Norge rapporteres inn ca. 3500 brannskader på kjøretøy. Totalt utgjør brannskadene ca. 0,5 % av totalt anmeldte trafikkskader. Av disse brannene skjer ca. 60 % mens kjøretøyene er i bruk. Fra utlandet har vi erfaringsgrunnlag som viser at i underkant av 5 % av kjøretøybrannene startes etter en kollisjon eller en ulykke. De fleste brannene oppstår pga. motorproblemer, drivstofflekkasjer etc.

Vi har også opplysninger om antall personer som er drept eller skadd i personskadeulykker hvor det har oppstått brann i ulykken. Årlig har det vært registrert ca. 6 slike ulykker på hele vegnettet. For å få en oversikt over antall branner og konsekvensene av slike branner har vi gjennomført flere registreringer. Samlet er det registrert branner og branntilløp over en 10 års periode. Så langt kjenner vi til 67 slike branntilløp eller fra 5 til 12 hvert år. Av disse var 20 % utløst i/etter en ulykke.

I 29 av disse brannene er det oppgitt hvordan de er slokkes. Brannvesenet har slokkes 18 og brannslukkere i tunnelene er brukt i 11 tilfeller. Dette er imidlertid ingen god statistikk. Fra utskrifter fra vaktjournaler ser vi at brannslukkere er brukt i mange tilfeller. Som tidligere nevnt starter de fleste brannene ved problemer i motorrommet. Dette betyr at det vil ta en viss tid før kjøretøyet blir overtent. I dette tidsrommet har trafikantene mulighet for å slokke branntilløpet ved bruk av brannslukkere i tunnelene. Rapportene viser at langt de fleste branntilløpene slokkes på denne måten.

PE skummet som beskytter mot frost og vanninntrenging i tunnelene er sterkt brennbare. I 6 tilfeller er slike plater antent. I to tilfeller er 300 m² og 200 m² brent opp. I ingen tilfeller er alt oppbrent eller smeltet.

Personskadene i kjøretøybranner i vegtunneler er størst i branner som har oppstått etter en ulykke/kollisjon. I Rosethorntunnelen i Møre og Romsdal i 2000 døde således to personer etter at bilen kjørte inn i fjellveggen og senere kom i brann. Ulykken har sammenheng med høy kjørefart og promille. En av de største og mest alvorlige tunnelbrannene skjedde samme året i Seljestadtunnelen i Hordaland. Brannen oppstod i forbindelse med en kjedekollisjon forårsaket av at to tunge kjøretøy skulle passere hverandre inne i tunnelen. Fire personer ble lett skadd i selve ulykken og fire ble sterkt røykskadet. Også i flere andre branner er det registrert at personer har blitt røykskadet. Det er imidlertid ikke registrert at personer har blitt brannskadet i slike ulykker.



Figur 33
Tunnelbrann
Seljestad.
Foto:
Haugesund Avis.

Det er gjennom de siste fire årene brukt 160 mill. kr til å oppgradere brannsikkerheten i vegtunnelene. I NTP er det forutsatt bevilget 650 mill. kr til en videreføring av dette arbeidet. Det er viktig å merke seg at de tiltakene som herved etableres først og fremst vil redusere konsekvensene av eventuelle branner og ikke sannsynligheten for at branner oppstår. Av konsekvensreducerende tiltak en ikke har sentrale planer for er hvordan en skal tildekke de resterende ca. 900 000 m³ PE skum plater i tunnelene. Totalkostnaden her vil ventelig nærme seg 4 milliarder kr. Tiltaket vil imidlertid ha meget lav netto nytte kostnadsbrøk.

Storulykker

I forbindelse med et større prosjekt i regi av OECD ble det gjennomført en studie av tidligere store tunnelbranner. Undersøkelsen omfatter Europa, Japan, USA og Sør Afrika. Den første storbrannen skjedde i USA i 1943 og den sist rapporterte i 1999. Undersøkelsen omfattet 33 store branner som involverte lastebiler/busser eller flere personbiler. Brannene er delt i fire grupper:

- A Branner som involverer farlig gods 4 (bensin 2, gass og karbonbisulfat)
- B Branner som involverer oljeprodukter 7
- C Øvrige branner som har medført personskade 11
- D Andre branner i tunge kjøretøy, busser eller flere biler 11.

Branner i gruppene A til og med C er vist i tabellen nedenfor.

Opplysninger om store branner i vegtunneler

Type	Tunnel- navn	Land	Tunnel lengde i m	Dato	Årsak	Brannens varighet	Materiale som brant	Personer drept	Personer skadet
A	Holland	USA	2 567	13.05.1949	Gods	4 timer	Carbon bisulfat	0	0
A	Chesa- peake Bay	USA		03.04.1974	Bildekk	4 timer	Bensin	0	1
A	Caldecott	USA	1 083	07.04.1982	Kollisjon	3 timer	33 000l bensin	7	2
A	Isola delle Femmine	Italia	148	1993	Kollisjon		Gas	5	20
B	Tauern	Østerrike	6 400	29.05.1999	Kollisjon	15 timer	Maling	12	0
B	Frejus	Frankrike	12 870	05.05.1993	Motor	2 timer	Plast	0	0
B	Porte D'Italie	Frankrike	425	11.08.1976	Motor	45 min	Polyester	0	0
B	Moorfleet	Tyskland	243	31.08.1969	Bildekk	2 timer	Polyethylene	0	0
B	Hovden	Norge	1 283	13.06.1993	Kollisjon	2 timer	Polyethylene	0	5
B	Guadar- rama	Spania	2 870	14.08.1975	Gir	3 timer	Furu oljen	0	0
B	Blue Mountain	USA	1 302	1965	Motor		Fiske olje	0	0
C	Pfänder	Østerrike	6 719	10.09.1995	Kollisjon	1 time	Brød	3	0
C	Mt Blanc	Frankrike	11 600	24.03.1999	Motor	53 timer	Margarin, Mel	39	0
C	L'Arme	Frankrike	1 100	09.09.1986	Kollisjon			3	5
C	Peccorila Galleria	Italia	662	1983	Kollisjon		Fisk	9	20
C	Serra Ripoli	Italia	442	1993	Kollisjon	3 timer	Papir	4	4
C	Kajiwara	Japan	740	17.04.1980	Gir	2 timer	Maling	1	0
C	Nihonzaka	Japan	2 045	11.07.1979	Kollisjon	4 dager		7	3
C	Sakai	Japan	459	15.07.1980	Kollisjon	3 timer		5	5
C	Velser	Nederland	768	11.08.1978	Kollisjon	2 timer	Blomster, brus	5	5
C	Huguenot	Sør-Afrika	4 000	27.02.1994	Gir	1 time		1	28
C	Gumefens	Sveits	343	1987	Kollisjon	2 timer		2	3

Prosjektrådet var sommeren 2000 på befaring til Tauerntunnelen i Østerrike. Dette ga interessant informasjon om rehabiliteringsarbeidet etter brannen, og de konsekvenser dette har fått for sikkerhetsnivå for nye østerrikske tunneler.

Det er høy trafikkmengde i tunnelen. I forhold til norske retningslinjer ville tunnelen bli bygget med 2 løp. Dette er også besluttet i Tauern, men kan ligge en del år fram som et resultat av en omfattende konsekvensutredning.

Risikoanalyser og beslutningskriterier

For alle tunneler lengre enn 500m skal det utarbeides beredskapsplaner i samarbeid med utrykningsetatene. I en slik beredskapsplan skal det være en risikoanalyse. En risikoanalyse forutsetter at det gjøres en beregning av hvor ofte ulike typer hendelser kan forventes å oppstå og en beregning/vurdering av konsekvensene av slike hendelser. Risikoanalyser kan være kvantitative (dvs. beregningsmessige) eller kvalitative (vurderingsbasert). For å foreta beregninger av hvor ofte ulike hendelser (havarier, personskadeulykker og branner) vil kunne oppstå er det utviklet en enkel regnemodell (TUSI 2.1). Modellen er excelbasert og kan fritt anvendes av Statens vegvesen. Vegdirektoratet kan utføre slike beregninger for vegkontorene.

For å kunne bruke en kvantitativ risikoanalysemodell trengs også et beslutningsverktøy eller akseptkriterier. Beslutningsverktøyet sier hvor høy risiko samfunnet kan akseptere og når ulike typer tiltak må settes inn. Et slikt beslutningsverktøy er under utvikling i Vegdirektoratet.

Det vil i denne sammenheng også bli utarbeidet et vedlegg til håndbok 021 som behandler bruk og gjennomføring av risikoanalyser (se også kapittel 4.8.4).

4.8.2 Statens vegvesens strategi for sikkerhet i vegtunneler

Statens vegvesens strategi for sikkerhet i vegtunneler skal oppfylle den generelle målsettingen at sikkerhetsnivået i tunnelens inngangssone (dvs. 100 m før og 100 m inne i tunnelen) skal være på samme nivå som tilstøtende vegnett. De finnes beregningsmodeller som beregner risikoen i disse sonene. Sikkerhetsnivået inne i tunnelen skal ligge på samme nivå som tilstøtende veg uten vegkryss og gang-/sykkeltrafikk. Tilsvarende skal gjelde ulykkenes alvorlighetsgrad (skadegrad). Dette skal danne grunnlag for plan- og prosjekteringsfasen. Når det gjelder alvorlighetsgraden vil denne normalt være høyere i vegtunneler på grunn av en overrepresentasjon av møteulykker og på grunn av begrensninger i form av kledning/fjellvegg.



Figur 34
Lyseffekter i
Oslofjord-
tunnelen.

Sikkerheten mot personskader skal ikke være dårligere regnet pr. km veg i en tunnel enn på vegen utenfor. Sikkerheten mot materielle skader skal velges slik at de totale, samfunnsmessige kostnadene for anlegg, drift og opprettholdelse av sikkerheten blir lavest mulig. Hensynet til mulige miljøkonsekvenser av skader på tunnelen, kan medføre at sikkerheten

mot materielle skader blir bedre enn det som følger av kostnadsberegninger. Kontroll av at sikkerhetsmålene er nådd, gjøres ved risikoanalyse. Jf. veiledning til NS 3901, «Risikoanalyse av brann i vegtunneler», se kapittel 4.8.4.

Nivået skal videreføres inn i driftsfasen ved hjelp av ulike tiltak som enten har som hovedoppgave å forebygge at en hendelse i det hele tatt inntreffer eller å begrense omfanget dersom hendelsen inntreffer. En av de viktigste faktorene som påvirker ivaretagelsen av sikkerhetsnivået er et strukturert og systematisk drifts- og vedlikeholdsarbeid. Kunnskapen om drift og vedlikehold og behovet for vedlikeholdsvennlige løsninger også for sikkerhetsutstyr, må derfor inn i en meget tidlig fase av planleggingen av nye tunneler.

Sikkerhet i vegtunneler vil i stor grad handle om risiko for at hendelser inntreffer og eventuelt omfang av slike hendelser. Statistisk sett er vegtunneler den sikreste delen av vegnettet. Erfaringsmessig er det svært få alvorlige hendelser som har inntruffet. På tross av dette er det selvsagt viktig å gjøre optimale konstruksjonsmessige og organisasjonsmessige tiltak som nettopp ivaretar denne sikkerheten. Det er viktig å ha klart for seg at risikoen aldri kan være null!

Prosjektet har laget en rapport som skisserer sikkerhetstenkningen ved planlegging av tunneler og det vises til henviste håndbøker for detaljer og konkrete dimensjoneringsregler.

Se for øvrig:

Internrapport nr. 2238 "*Statens vegvesens strategi for sikkerhet i vegtunneler*".

4.8.3 Sikkerhetskonsept 2000 – en NVF rapport

Prosjektet har igjennom et arbeid innen Nordisk Vegteknisk Forening produsert et sikkerhetskonsept for tunneler.

Sikkerhet i vegtunneler vil i stor grad handle om risiko for at hendelser inntreffer og eventuelt omfang av slike hendelser. Statistisk sett er vegtunneler den sikreste delen av vegnettet. Erfaringsmessig er det svært få alvorlige hendelser som har inntruffet. På tross av dette er det selvsagt viktig å gjøre optimale tekniske og organisasjonsmessige tiltak som nettopp ivaretar denne sikkerheten. Det er viktig å ha klart for seg at risikoen aldri kan være null!

Figur 35
Elementer i et
sikkerhets-
konsept.



Denne rapporten beskriver en rekke tiltak som virker forebyggende på at en uønsket hendelse skal kunne inntreffe. Dersom en hendelse likevel inntreffer, beskrives en rekke tiltak som skal kunne begrense omfanget.

De forskjellige tiltakene er kun beskrevet og gruppen har ikke hatt anledning til å gå i dybden i effekten av det enkelte tiltak og kombinasjoner av disse. Det primære sikkerhetsarbeidet må likevel være det forebyggende arbeidet, dvs. å hindre at hendelsen inntreffer. Målet for dette arbeidet må være at redningssystem og skadebegrensende tiltak så langt som mulig ikke skal behøve å komme til anvendelse."

Se for øvrig:

NVF-rapport nr. 11-2000 "*Sikkerhetskonsept 2000*".

4.8.4 Risikoanalyse av brann i vegtunneler – veiledning til NS 3901

Prosjektet så det som hensiktsmessig å bidra i Norges Byggstandardiseringsråds arbeid med en veileder til NS 3901. Veiledningen "Risikoanalyse av brann i vegtunneler" beskriver forutsetninger og elementer i en slik analyse og sentrale punkter er:

- sikkerhetsmål
- prosjektering
- sikkerhetstiltak
- beskrivelse av behov for og krav til analysen
- beskrivelsen av gjennomføringen
- presentasjon av resultater.

Se for øvrig:

NBR-veiledning til NS 3901 "*Risikoanalyse av brann i vegtunneler*".

4.8.5 Nye branntekniske dokumentasjonsmetoder for vann- og frostsikringskonstruksjoner i tunneler

I forbindelse med arbeidet med ny håndbok 163 "Vann- og frostsikring i vegtunneler-funksjonskrav og dimensjoneringsregler" har det vært et klart behov for å komme fram til nye og omforente dokumentasjonsmetoder i forhold til brann. Norges branntekniske laboratorium gjennomførte en utredning som skal danne grunnlag for revisjonen av håndbok 163.

Forslag til ny testmetode innebærer følgende prosedyre (også skissert i figur 36):

- 1) Dersom det er usikkert om materialet er brennbart eller ikke testes brennbarhet iht. ISO 1182 "Ubrennbarhetsprøving for å skille brennbare produkter fra ubrennbare".

Hvis produktet her blir klassifisert som ubrennbart er det ikke behov for ytterligere brannteknisk dokumentasjon for antenlighet, varme- og røykutvikling.

Dersom produktet er kjent brennbart eller ikke passerer testen, kan produktet testes iht. punkt 2.

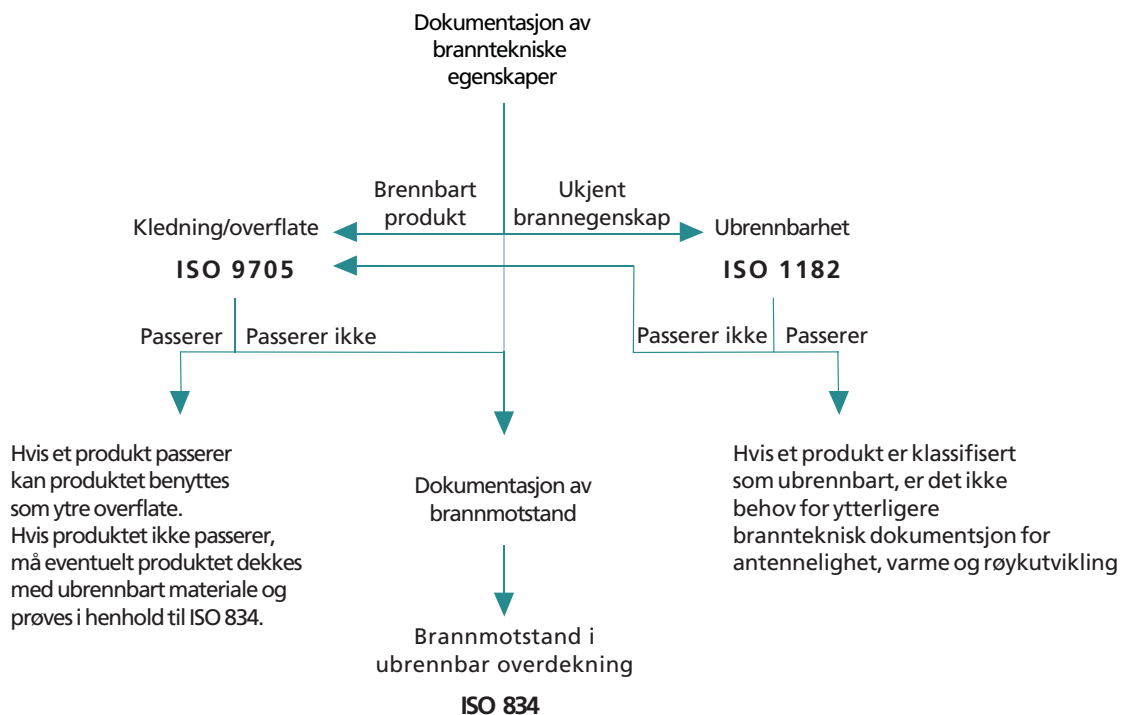
- 2) For brennbare produkter skal testing og dokumentasjon gjennomføre iht. ISO 9705 "Brannromsprøvnng for brennbare overflater".

For lavtrafikkerte tunneler utstyrt med røykventilasjon kan det tillates et bidrag fra brennbare overflater tilsvarende bidraget fra en personbil. Dette kan oppnås ved å sette spesielle krav for røykproduksjonsrate.

Dersom produkt ikke klarer akseptkriterier for ISO 9705, må materiale brannbeskyttes og testes iht. punkt 3.

- 3) Brannbeskyttelse av brennbare produkter skal testes iht. ISO 834 "Brannmotstandsprøving for å evaluere evnen til å motstå branneksponeing".

Figur 36
Diagram for dokumentasjon av branntekniske egenskaper for konstruksjoner benyttet i tunneler.



I sammenheng med denne utredning ble parallelt gjennomført en simulering i forhold til de metoder som i dag er akseptert, PE-skum og 60 mm sprøytebetong. Den simuleringen er gjennomført under en del gitte forutsetninger og med dette som utgangspunkt vil dagens løsning også tåle den definerte branneksponeing i ISO 834.

Se for øvrig:

Internrapport nr. 2239 "Dokumentasjon av branntekniske egenskaper for vann- og frostsikringskonstruksjoner – forslag til prosedyrer"

Internrapport nr. 2240 "Brannrespons for kombinasjonen sprøytebetong og polyetylenskum i vegtunneler".



Figur 37
Testing iht.
ISO 9705.

4.8.6 Nye alternativer til bruk av PE-skum

Et av hovedmålene i prosjektet var å komme fram til nye og ikke-brennbare alternativer til PE-skum. Prosjektet har her arbeidet i mot to prosjektgrupper, TT2000 og K3, begge med løsninger basert på fenol. Dette er velkjente plastmaterialer i forhold til båtindustrien. Disse har meget gode branntekniske egenskaper og utfordringene har vært å sikre like gode egenskaper i forhold til øvrige krav i håndbok 163 som:

- levetid
- trykk/sug laster
- miljølaste
- vedlikeholdsvennlighet
- estetikk mv.

Begge utviklere er kommet relativt langt og et av konseptene er prøvemontert i Valderøytunnelen og Innfjordtunnelen.

Begge konseptene vil søke typegodkjenning så snart de nye kravene i håndbok 163 er klare, dvs. februar 2002.



Figur 37
Prøvefelt i
Valderøytunnelen.

Disse konstruksjonene åpner også for nye muligheter med kombinasjon med vegg-elementer. Dersom alt går iht. typegodkjenningsprosessen vil en kunne en anta en prøvemontering i løpet 2002.

4.8.7 Deteksjonssystemer - en mulig sikkerhetsforbedring

På bakgrunn av de nevnte ulykker på kontinentet og brannen i Seljestadtunnelen ble arbeidet brannsikkerhet ytterligere fokusert. Ved alle branner er det viktig på et så tidlig som mulig stadié å kunne oppdage brannen og starte slokkearbeidene. Hvordan kan en best oppdage og detektere en brann i tunneler? En av løsningene kan være deteksjon ved hjelp av kabler. I prosjektperioden har flere kabeltyper blitt testet, både på initiativ fra prosjektet og fra vegkontorene.

En type kabel er konstruert slik at den ved en kritisk temperatur alarmere ved at platen rundt smelter. Dette kan være ved 68 eller 57 grader avhengig av type. Denne typen ble testet i Hordaland i desember 1999 i en nedlagt vegtunnel ved Fjæra, Åkrafjorden. Denne tunnelen har et relativt lite tverrsnitt (6 m bred og 4-5 m høy). Deteksjonskabelen som ble testet i dette forsøket fungerte bra. Den gav alarm etter 1 min og 44 sekunder etter antennelse. Avstanden ble registrert med 1-2 meters nøyaktighet.

Kabelen ble også montert i Hanekleivtunnelen på nye E18 i Vestfold. Her ble det testet i forbindelse med en beredskapsøvelse den 4. oktober 2001. Resultatene fra denne testen viser samme tendens. Deteksjon skjedde her etter 3 1/2 minutt. Lufthastigheten var litt over 2 m/s. Dette viser at denne type kabel er svært avhengig av tverrsnitt og lufthastighet.

18. desember 2000 ble en annen kombinasjonskabel testet i Bømlafjordtunnelen. Kabelen er varmedetekterende (FTLD) og fungerer som en "lang" temperaturmåler. Kabelen er en tynn ledning som legges der en ønsker å detektere varmgang, eks. i et tunneltak. Kabelen melder kontinuerlig tilbake til kontrollmodulen den høyeste omgivelsestemperaturen som er langs kabelens lengde, og det i en forståelig måleenhet °C. Temperaturområde er fra -40 °C til +177 °C og alarmgrensene kan settes valgfritt i hele måleområdet.

Dette er altså en kabel som er en temperaturmåler som er mye brukt til brannvarsling og deteksjon av varmgang. Alarmgrensene stilles inn på kontrollmodulen, og det er flere muligheter for alarmsetting. En kabel kan være maks. 450 m lang, men ved å bruke flere kabler etter hverandre kan en overvåke lange tunneler. Hver kabellengde blir da å anse som en temperatur/brann sone.

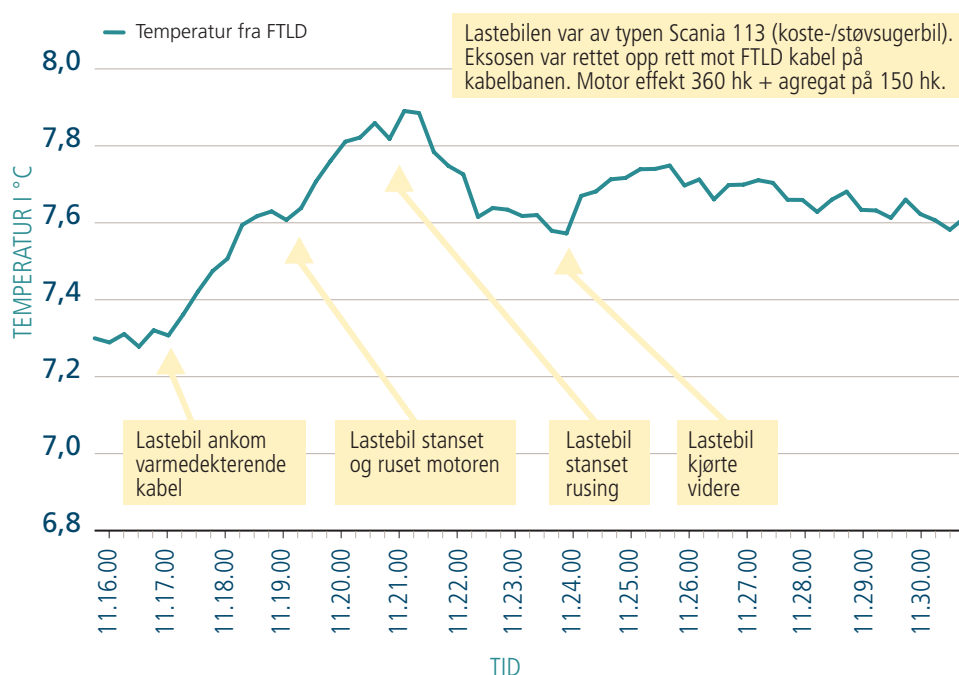
I forkant av testen ble det montert opp en FTLD-kabel på 150 m oppe i taket på den eksisterende kabelbanen, like over der bilene skulle antennes.

Resultatet fra denne testen viste også gode resultater.

Det har vært en del diskusjon og usikkerhet i forhold til om slike kabler på kabelbru vil alarmere f.eks ved gjennomkjøring av tunge kjøretøyer med eksosrøret opp mot kabelen. Dette ble også prøvet i Bømlafjordtunnelen. Resultatene er vist i figur 39.

Eksostest FTLD, Bømlafjordtunnellen 20.12.2000

Figur 39
Eksostest av
kabel.



Avslutningsvis må de sies at all bruk av deteksjonskabler bør basere på en nytte-kostnadsanalyse sammenlignet med andre aktuelle sikkerhetstiltak.

Skal en så langt evaluere erfaringene med denne type kabler er det et punkt som av prosjektet anses som det viktigste: *Brannen må detekteres så snart som mulig.* Ved høye lufthastigheter og store tverrsnitt kan det være dette problem for kabler med temperaturterskel. Her vil kabler med måling av temperaturvariasjoner gi større nytte da disse kan programmeres på en temperatur/tids økning. Dette vil gi muligheter for å detektere brannen på et tidlig tidspunkt.

4.8.8 Slokkesystemer - fortsatt mange usikkerheter

Prosjekt har også vurdert flere typer slokkesystemer. I hovedsak har vi konsentrert oss om løsninger basert på vanntåke. Her finnes det et mangfold av løsninger.

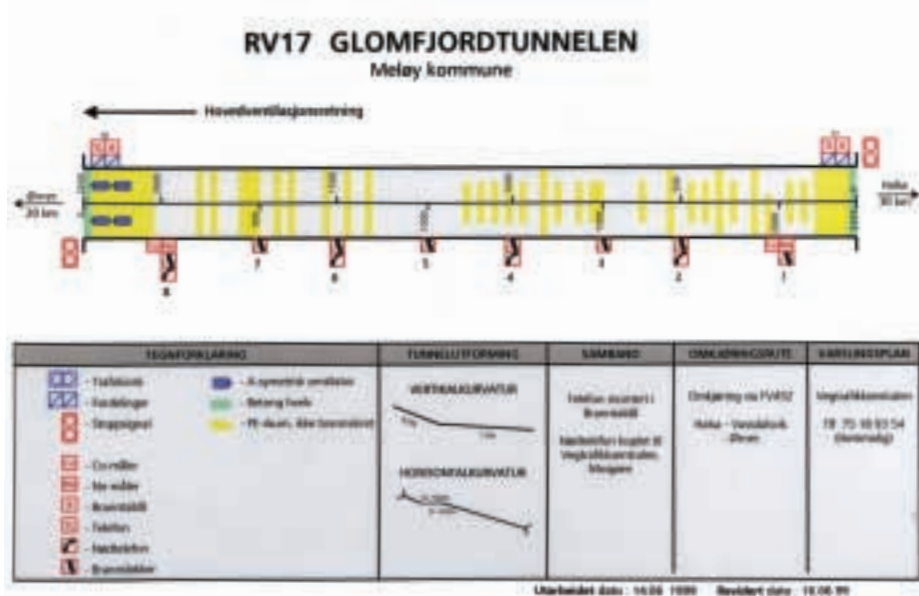
Prosjektet støttet i desember 1999 et forsøk i Hordaland for å demonstrere vanntåke til slokking av tunneler. Her ble både muligheter med stasjonære og mobile systemer demonstrert. To personbiler ble påtatt og forsøkt slokkes med vanntåkekanoner og håndholdt utstyr. Vanntåkesystemet klarte etter en tid å slokke brannen, og det som faktisk var mest imponerende og effektivt var håndholdte vanntåkepistoler. I Japan er brannvesenet i byområdene utstyrt med vannkanoner og motorsykler, og kommer seg dermed fort inn til brannstedet uten fare for å havne i trafikkork. Kanskje en god løsning også for brannvesenet i byområder i Norge?

Når det gjelder permanente vanntåke systemer så er prosjektet skeptisk. Det er fortsatt en reell usikkerhet i forhold til driftssikkerhet av slike systemer. I tillegg er man helt avhengig av en nøyaktig deteksjon for å kunne sette i gang systemet. Videre er det ikke dokumentert hvorledes slike systemer opererer under de høye lufthastighetene en kan ha spesielt i tunneler med enveistraffik.

4.8.9 Beredskapsplanen må være aktiv!

I henhold til håndbok 021 "Vegtunneler" kapittel 607, skal beredskapsplanen utarbeides under planlegging av tunnelen og den skal revideres etter behov. Beredskapsplaner er dokumentasjon av et system. Det er en vesentlig forutsetning at beredskapsplanen gjenspeiler virkeligheten og brukes aktivt. Som en ren forsikring for "å ha ryggen fri i tilfelle noe skjer" (hulleplan) har den ingen verdi. At en beredskapsplan skal fungere etter sin hensikt, forutsetter at både ledelsen og de ansatte kjenner til og aksepterer de prioriteringer som ligger til grunn for planene. Prosjektet har arbeidet med å konkretisere viktige elementer i en beredskapsplan.

Figur 40
Enkel plan som
viser tunnelutstyr
(lavtrafikk tunnel).



Innsats på skadestedet

Nødetatene opplever det ikke alltid som naturlig å arbeide i tunneler.

- De må få en forståelig og kortfattet oversikt over deres muligheter til å yte innsats i tunnelen.
- De må ha kunnskap om den ekstra risikoen for redningsmannskapene i tilfelle det oppstår brann eller utslipp av giftige væsker eller gasser.
- De må ha kunnskap om nødvendigheten av riktig styring av ventilasjonsanlegget og den farlige situasjonen som oppstår i tilfelle ventilasjonsanlegget svikter eller kjøres galt.
- De må ha kjennskap til hvilken bistand de kan få fra tunneleieren. Dette gjelder spesielt for vaktcentralen ved innsats: Ventilasjon, innsnakk, omkjøringsruter, nødstyreskap etc.

Gjentagende øvelser vil avhjelpe dette. Det er dessuten viktig at politi/nødetatene har forståelse for at tunnelen bør åpnes så tidlig som mulig. I tillegg til tapte samfunnskostnader

fører tunnelstenging til en farligere trafikk-situasjon på omkjøringsvegene.

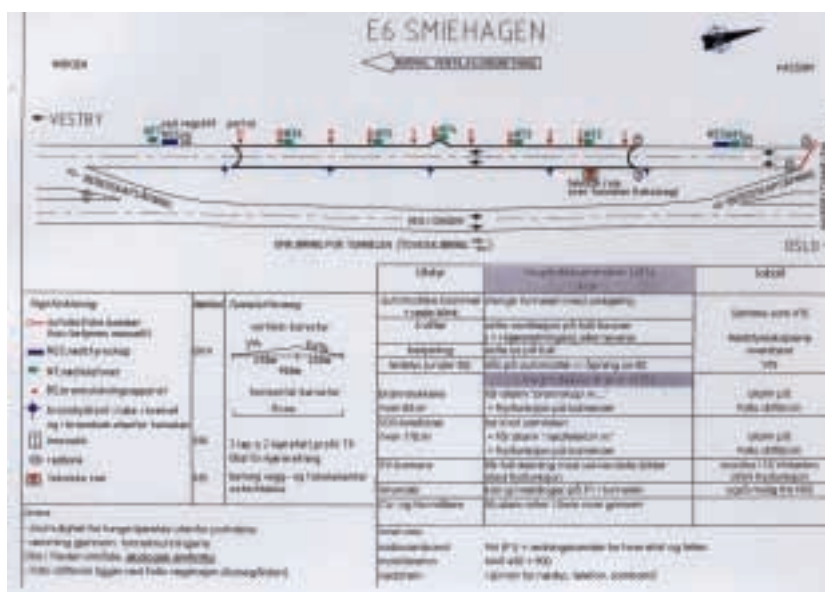
Prioritering av innsatsen :

- 1) Redde liv
- 2) Beskytte andre (inkl. redningsmannskapene)
- 3) Begrense skade på miljø og materielle verdier
- 4) Ta kontroll over hendelsen, fjerne farer
- 5) Identifisere tilskadekomne og assistere pårørende (politiets ansvar).

Redningsinnsatsen skal utføres på en måte som ikke utsetter mannskapene for unødvendig fare. Tunnelen må være bekreftet stengt for trafikk før redningsmannskapene rykker inn. Ved trafikkulykker, brann eller alvorlige lekkasjer må skadestedet være sikret av brannvesenet før andre etater slipper inn i tunnelen.

Skadestedsledelse og kommunikasjon

Kommunikasjon og samarbeid gir ofte problemer når det er mange deltakere. Nødetatene må samarbeide og utnytte ressursene effektivt. Dette krever at kommunikasjonen fungerer på tvers av etatsgrensene. Skadestedslederen må bruke den felles redningskanalen for utveksling av informasjon mellom etatene. Streng radiodisiplin er nødvendig for å unngå kaos på nettet.



Figur 41
Enkel plan som
viser tunnelutstyr
(høytrafikk-
tunnel).

Utarbeidelse av beredskapsplaner

Beredskapsplaner må utarbeides og utvikles i prosjekteringsfasen.

- I begynnelsen av prosjekteringsfasen, skal det utarbeides en kort versjon av den endelige planen, som vil være et grunnlag for samarbeid og dialog med nødetatene
- Før den første øvelsen bør planen ha fått sin endelige form (kfr. malen)
- Planen settes i system og sendes ut ved overlevering av tunnelen til Trafikk.

Utarbeidelse av beredskapsplaner i prosjekteringsfasen bør lede til en refleksjon rundt tunnelen som "sluttprodukt". Malen bør brukes som en sjekkliste for tunnelfunksjoner.

- Det er viktig at planen *gjenspeiler virkeligheten* i lokale forhold:
 - bruk av innsnakk bør ikke prioriteres i en kort tunnel
 - varslingsrutiner må ta i betraktning sentralenes åpningstider
 - innsatsrutiner må ta i betraktning kjøreavstander osv.
- Det er viktig å gjøre det enkelt, for å unngå fare for gjentakelser
- Den administrative delen samler mest prinsipper og informasjon. Alle data som vil trenge *oppdatering* (telefonnumre osv.) skal være samlet i den operative delen.

Mediaberedskap

Trafikkulykker og andre alvorlige hendelser i tunneler er godt stoff for media som normalt blir varslet direkte av andre trafikanter på stedet. I en tidlig fase sitter media ofte med mer detaljkunnskap enn politi og vegvesen. Media benytter seg ofte av dette forspranget når det forsøkes innhentet kommentarer fra nøkkelpersoner som ikke er oppdatert om situasjonen. Medias oppmerksomhet står ikke alltid i forhold til hendelsen, og en oversiktlig situasjon kan komme ut av kontroll på grunn av dette.

Figur 42
Oversiktskart
som viser
geografisk
plassering av
tunnelen.



Når alvorlige hendelser inntreffer, er det meget viktig at den som er tillagt ansvaret i vegkontorets plan for informasjonsberedskap, straks blir varslet og holdt løpende oppdatert om situasjonen. Ingen andre ansatte i Statens vegvesen skal uttale seg til media før situasjonen er avklart. Dette krever streng disiplin og klare varslingsrutiner.

Informasjon om konsekvenser for trafikantene som ventetid og eventuelle omkjøringsmuligheter må prioriteres. I tillegg kan det gies faktaopplysninger om f.eks. tunnellengde, sikkerhetsutstyr og trafikk-mengder, men Statens vegvesen skal *ikke* uttale seg om mulige ulykkesårsaker, antall skadde etc. Dette er politiets oppgave, og det skal *alltid* henvises til skadestedsleder.

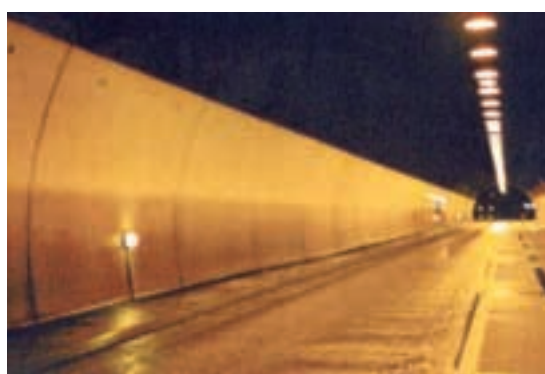
Så snart situasjonen er avklart må Statens vegvesen være forberedt på å svare på spørsmål

om eventuelle feil og mangler på teknisk utstyr, svikt i egne rutiner etc. og hvilke tiltak som vil bli iverksatt for å rette på dette.

Se for øvrig håndbøkene 189: *Trafikkberedskap* og 220: *Håndbok i informasjon*.

Driftssikkerhet i forhold til beredskap

At anleggene fungerer som de skal er en viktig forutsetning for at beredskapen fungerer. Det er en stor utfordring å holde ømfintlig elektroteknisk utstyr i kontinuerlig drift i et meget aggressivt miljø. Selv om vedlikeholdsrutinene fungerer, oppstår det uforutsette tekniske feil. Det er dermed viktig å bestemme "hvor grensen går", dvs når tunnelene må stenges for trafikk, se Internrapport nr. 2222 "Krav til åpen tunnel – tilgjengelighet".



Figur 43
Rømningslys for å lede trafikanter mot utgang ved røykfyllt tunnelrom.

Forbedringspotensial - Lære av øvelser

Hvorfor øve?

Hendelser er generelt preget av to store utfordringer :

- Informasjon er begrenset og ofte unøyaktig
- Tiden for bestemmelser er knapp.

Den første øvelsen må holdes i god tid før trafikkåpning. Hovedmålet er både å teste tunnelens funksjoner og få redningsmannskapet til å bli bedre kjent med tunnel og beredskaps-rutiner. I driftsfasen skal det holdes regelmessige øvelser (se "malen") for å friske opp rutinene og avdekke eventuelle feil og mangler.

For detaljert beskrivelse vedrørende

- planlegging av øvelsen
- media og øvelse
- trafikantens rolle og informasjon etc.

Se internrapport 2225.

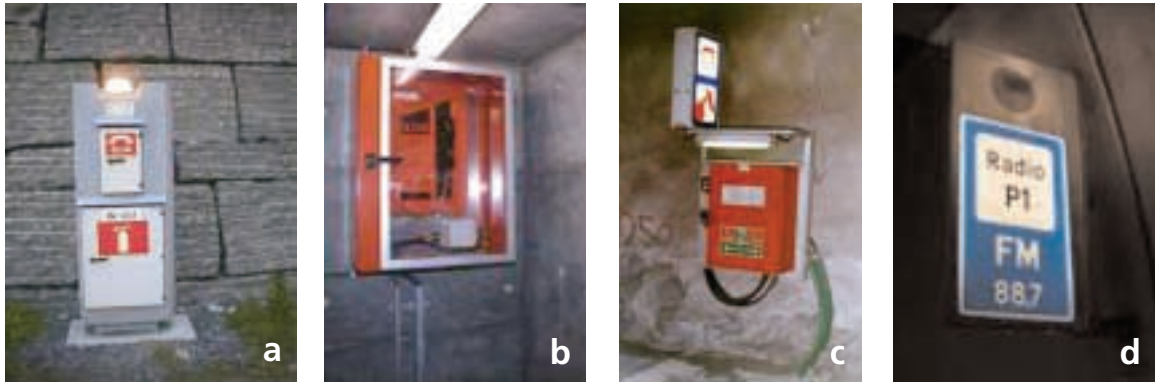
Se for øvrig Internrapport nr. 2225 "*Beskrivelse av beredskapsplaner*".

4.8.10 Kunnskap om sikkerhetsutstyr i vegtunneler

Norske vegtunneler er omfattende utstyrt med sikkerhetsutstyr som er klassifisert etter ulike tunnelklasse. Det innebærer at tunneler i samme tunnelklasse i utgangspunktet også skal ha samme utstyret. Det er imidlertid gitt åpning for noe lokal tilpasning. Fastsettelse av utstyr i den enkelte klasse er gitt i håndbok 021 og er gjort i samråd med DBE.

Figur 44

- a) Brannslukningsapparat og nødtelefon plassert utenfor tunnel.
- b) Utstyr plasseres i skap i nisje.
- c) Utstyr og skilt plassert rett på tunnelvegg.
- d) Opplysning om radiofrekvens for info.



Et viktig prinsipp i den totale sikkerhetstenkingen for norske vegtunneler er basert på selvberging. Antallet tunneler og geografisk plassering i forhold til redningsetater tilsier dette. For at et slikt prinsipp skal kunne fungere best mulig er man avhengig av at det sikkerhetsutstyret som til en hver tid er installert fungerer etter sin hensikt og at de som skal bruke det har kunnskap om utstyret, vet hvorledes det virker og hvordan de som brukere skal forholde seg til utstyret ved ulike hendelser.

Det er ikke noe som tilsier at trafikanter skal oppføre seg rasjonelt ved en hendelse. Mange eksempler fra ulike hendelser bekrefter dette. Med økt kunnskap om installert sikkerhetsutstyr og hvorledes det virker vil man også øke kunne bevisstheten om hvorledes den enkelte trafikant skal forholde seg ved en hendelse. På den måten vil man kunne forebygge omfanget av en hendelse.

Dette er spørsmål som alle tunnelland nå er svært opptatt av og har høyt oppe på dagsorden. Det er informasjon og kunnskap som er stikkordet og målgruppene er kjøreskoler, yrkessjåfører og vanlige billister. Prosjektet har laget et rammeverk for det videre arbeidet og det er et meget stort behov for et aktivt informasjonsarbeid.

Se for øvrig:

Internrapport nr. 2136 "Informasjon om sikkerhetsutstyr i norske vegtunneler".

4.8.11 Estetisk utforming av vegtunneler

Hensikten med prosjektet har vært å lage et informasjonshefte som omfatter innkjøringsstrekningen foran tunnelen, portalen, det indre tunnelrom samt det tekniske utstyret som er plassert på disse strekningene.



Figur 45
Tunnel, miljø og
bil i skjønn
forening.

Publikasjonen er tenkt som et bidrag i arbeidet med å høyne den estetiske standarden på tunneler, som er viktige deler av våre veganlegg, og som et ledd i bevisstgjøringen rundt utformingen av våre omgivelser. Prosjektet er således å betrakte som en oppfølging av anmodningene i Stortingsmelding nr. 61 (1991-92): *Kultur i tiden*, og dens oppfølger: *Estetikk i statlige bygg og anlegg, veileder* (Administrasjonsdepartementet m.fl., 1996)

Alle nye vegtunneler bygges etter vegnormaler, og de blir sikkerhetsmessig utstyrt i henhold til dagens retningslinjer. De trafikkmessige erfaringene med våre tunneler er stort sett gode. Vi er kjent med at det er et sikkerhetsproblem i innkjøringssonene og vi vet at et lite antall tunneler har problemer med personskadeulykker. Vi vet også at kjørefarten i flere av vegtunnelene er til dels meget høy. Normalt vil mer enn 50 % av trafikantene kjøre fortere enn tillatt. Det kan også være et problem at enkelte trafikanter kjører saktere enn normalt i vegtunnelene. Dette fører til store fartsforskjeller som igjen fører til økt sannsynlighet for alvorlige trafikkulykker. Selv om antallet trafikkulykker erfaringsmessig er lavt, vil det være et stort potensial for alvorlige ulykker, noe som må tas på alvor.



Figur 46 og 47
Portalutforming.

Vi vet også at det skjer bilbranner i vegtunneler. Frem til i dag har det praktisk talt ikke vært personskader ved slike ulykker i Norge. Selv om vegtunnelene synes å fungere godt i dag, er det behov for å rette fokus på en del forhold knyttet til trafiksikkerhet og miljø. Tunneler er lukkede byggverk uten utsikt til omgivelsene. Det er derfor en viktig oppgave å utforme tunnelrommet slik at trafikantene kan ferdes der uten følelse av ubehag.

Denne rapporten tar for seg visuelle prinsipper for den estetiske utformingen av tunneler og portaldesign. Prinsippene skal være så generelle at de gir rom for og dekker ulike typer tunneler, samtidig som føringene ivaretar kravene til trafiksikkerhet og estetikk, herunder trygghet og opplevelse.

Figur 48
Portalområde.



Den tar for seg prinsipper for utforming ut i fra krav til og påvirkning på kjøreopplevelser og informasjon innenfor gjeldende krav til geometriske og tekniske standarder.

.Figur 49
Lyssetting i
Oslofjord-
tunnelen



Rapporten gir videre en oversikt over typiske trekk knyttet til lavtrafikkerte tunneler, høytrafikkerte tunneler og bytunneler og til undersjøiske tunneler

Den estetiske utformingen av vegtunneler blir også sett ut i fra prinsipper for miljømessige, tekniske og opplevelsesmessige funksjonskrav.

Det er viktig å få fram at den estetiske utformingen av vegtunneler får løsninger som er vedlikeholdsvennlige både i form og materialvalg. Det bør derfor legges opp til tett samarbeid mellom planleggere og driftspersonell tidlig i prosessen slik at god motivasjon og egnede rutiner kan etableres for de løsninger som blir valgt.

Se for øvrig Publikasjon nr. 96: "*Estetisk utforming av vegtunneler*".

5 Informasjon

Prosjektet har i hele perioden lagt vekt på å informere resultater utad. Det ble tidlig etablert et nyhetsbrev. Dette ble gitt ut i 6 omganger med siste informasjon om status i prosjektet. Innledningsvis erfarte vi at distribusjon av denne type nyhetsbrev kan være vanskelig. Vi gjorde noen grep, bl.a. å distribuere mer direkte mot nøkkelpersoner enn ved de vanlig generelle kanaler. Dette fungerte bedre.

I prosjektperioden har prosjektet og resultater også blitt presentert igjennom fagpressen; Veggen og vi, Våre veger og Byggeindustrien. Det har også blitt holdt en rekke foredrag om prosjektet og dets resultater.

Innledningvis i prosjektet ble det også diskutert hvordan vi kan bli bedre til å informere eksternt om våre prosjekter og generelle tunnelkunnskap og tunnelinformasjon. Svaret var at det måtte utvikles en internettside. Dette arbeidet fullførte prosjektet våren 2001 og etablerte en internettside for fagområdet tunnel. Det har vært en del diskusjon i ettertid vedrørende struktur på siden og det er enighet om at det må arbeides videre med struktur for denne. Siden ligger for tiden på www.vegvesen.no/tunnel.

Prosjektet er også i slutfasen med å utarbeide en engelsk brosjyre som presenterer norske vegtunneler.



Figur 50
Bambletunnelen.

Se for øvrig: Internett siden: www.vegvesen.no/tunnel

6 Oppsummering

Etatsprosjektet "Samfunnstjenlige vegtunneler" ble initiert i 1998 og har i løpet av prosjektperioden på 4 år hatt en betydelig aktivitet. Det har vært arbeidet på flere nivåer og med forskjellige typer arbeidsoppgaver. Dette har gjort at prosjektet har blitt bredt og kanskje for bredt. Det har vært en vilje i delprosjektene til å komme fram til forslag til løsning, enten utfordringene har vært av teknisk eller organisatorisk art.

Prosjektet har i hele perioden fokusert på å bygge relasjoner og nettverk og det har vært en bevisst strategi å bruke egne ressurser i utstrakt grad. Dette mener vi har fungert godt og forhåpentligvis bygget et nettverk som også kan brukes i ettertid.

Figur 51
Utforming av
tunnelportal.



Bransjeprojektet "Miljø- og samfunnstjenlige tunneler" har blitt etablert i prosjektperioden og erfaringene med overføring av kunnskap fra "sektor til sektor" er udelt positive. Dette prosjektet går fram til 2003, men har allerede begynt å bære frukter.

Vi ser at nye forundersøkelsesmetoder kan gi mer pålitelig geologisk informasjon som igjen kan gi sikrere tids- og kostnadsoverslag og bedre grunnlag for å fatte riktige beslutninger til rett tid i planprosessen.

Det økende fokus på omgivelsene ved bygging av underjordsanlegg fører til et behov for kunnskap for å kunne bedømme berørte områders sårbarhet i en tidlig planleggingsfase. Prosjektet er allerede i ferd med å utarbeide en statusrapport på dette området.

De senere år har Statens vegvesen opparbeidet seg en betydelig kompetanse vedrørende injeksjon, både på byggherresiden og innen tunnelproduksjon. Dette har vært en god plattform for arbeidet i NFR-prosjektet. En del foreløpige tendenser ser vi allerede nå:

- Kan se ut som mikrosementer og industrisementer gir like gode resultater, iallefall under de geologiske forhold som finnes i T-Baneringen
- Høyt injeksjonstrykk en viktig forutsetning. Det må brukes et så høyt trykk som forholdene tillater det. Normalt innebærer dette et avslutningstrykk på 50 bar eller mer

- Oppboringsgrad er viktig for å oppnå tetthet og man må ha mange nok injeksjonshull i skjermen
- Lave v/c tall er viktig for å oppnå god avbindingen av sementen. På T-baneringen har man begynt på et v/c-tall mellom 1,3-1,0 og deretter trappet helt ned til 0,5
- Sikringsbolter kan ofte punktere skjermen, man må derfor velge bolter som holder seg innenfor skjermviften. Eller sagt på en annen måte, man må ha samsvar mellom skjermens utstrekning og den boltelengden bergforholdene tilsier
- Ved parallelle tunneler er det gunstig med litt avstand mellom stuffene.

Injeksjon er et håndverk og alle parametrene må sees i sammenheng.

Organisering av prosjekter er ofte nøkkelen til suksess. Man må ha i en rett kompetanse på et tidlig stadium for å kunne forutse og tilrettelegge for de vesentligste og mest kompliserte utfordringene.

Dagens krav til bergbolter bør opprettholdes og bergbolter i "oversjøiske" tunneler der man ikke spesielt korrosivt miljø (som f.eks. alunskifer, andre kisrike bergarter, surt lekkasjevann etc.) kan korrosjonssikres med varmforsinkning. I undersjøiske tunneler bør bergbolter være korrosjonssikret med varmforsinkning og pulverlakkering.

Bestandighetsundersøkelser av sprøytebetong med nye alkalifrie akseleratorer viser at bruk av disse vil gi minst like god bestandighet som bruk av vannglass akselerator. Det er prosjektets anbefaling at kravene i Norsk Betongforenings Publikasjon nr. 7, innarbeides for bruk i norske vegtunneler. Man vil da blant annet komme vekk fra diskusjonen om mengde, lengde og kvalitet på fiber og tilrettelegge for testmetoder som sikrer et kvalitetsprodukt på vegg.

Prosjektet anbefaler at levetidskostnader styrer valg av løsning. Prosjektgruppen har utviklet en enkel modell for beregning av levetidskostnader og lønnsomhet for drift av tunneler. Denne modellen bidrar til å oppfylle etatsprosjektets målsetning om å medvirke til optimalisering av levetidskostnadene gjennom rett valg av utstyr og løsninger, både gjennom investering og drift/vedlikehold.

Prosjektet har laget forslag til funksjonskrav innenfor en del viktige tunnelelementer. Sammen med levetidsvurderinger ser vi bruken av funksjonskrav som en stadig viktigere premissgiver for optimale løsninger.

Vi har i dag 22 undersjøiske tunneler i drift i Norge. Kompetansen vi har knyttet til planlegging, bygging og drift av slike tunneler er unik i verdenssammenheng, ettersom vi er det landet som har klart flest slike anlegg og lengst erfaring. Prosjektet har spesielt sett på forbedring/utvikling ved valg av pumpe-løsninger, som et betydelig potensial for optimalisering.

Fagområdet elektro har blitt meget sentralt i forhold til å ivareta nedlagt kapital innenfor tekniske installasjoner. Det er også et område som er omfattet av en rivende teknologisk utvikling hvor krav til kompetanse vil være avgjørende for å kunne optimalisere levetid og kostnader. Skal det nytte å investere i teknisk utstyr som et kostnadseffektiviserende tiltak, må det også investeres i menneskelig kompetanse som både skal forstå og beherske teknologien. Prosjektet har rettet fokus på hvorledes denne kompetansen kan struktureres

og organiseres slik at hensynet til det langsiktige eierskapet best kan ivaretas.

Prosjektet har gått gjennom tunnelens ulike elementer, vurdert erfaringer og foreslått konkrete endringer ut i fra hensyn til vedlikeholdsvennlige valg og løsninger.

Sammen med systematisk bruk av erfaringsdata gjennom Forvaltning, drift og vedlikeholdsprogrammet "Spektrum" vil man totalt sett kunne ha forutsetninger for å velge metoder og utstyr for å optimalisere tunnelens levetid til en lavest mulig kostnad.

Prosjektet foreslår videre at det blir laget retningslinjer for "Forvaltning, drift og vedlikehold av tunneler". Dette for å gi grunnlag for en aktiv byggherrestrategi som kan sikre forutsigbarheten for produksjonsoppgavene fremover.

Prosjektgruppen har også konkret sett på krav til tilgjengelighet i tunnelene ut i fra hensyn til planlagte stenginger som følge av behov for vedlikehold og ikke planlagte stenginger som følge av teknisk svikt i installasjoner. Forslagene er klassifisert i samsvar med tunnelklasseinndelingen.

Prosjektet har brukt betydelige ressurser i arbeidet med utarbeidelsen av NVF-rapport om sikkerhet i vegtunneler. Dette handler i stor grad om risiko for at hendelser inntreffer og eventuelt omfang av slike hendelser. Rapporten beskriver en rekke tiltak som virker forebyggende på at en uønsket hendelse skal kunne inntreffe. Dersom en hendelse likevel inntreffer, beskrives en rekke tiltak som skal kunne begrense omfanget.

Innen prosjektet har det vært fokusert på en rekke emner som vi mener er viktige deler av Statens vegvesens sikkerhetsstrategi. Ja, men hva er Statens vegvesens sikkerhetsstrategi? Mange av elementene i dette finnes i forskjellige håndbøker og standarder. Prosjektet har samlet dette i en rapport, der elementene i strategien beskrives.

Brannteknisk dokumentasjon av vann- og frostsikringskonstruksjoner brukt i tunneler har til nå ikke vært standardisert. Prosjektet har i samarbeid med Norges Branntekniske laboratorium utarbeidet forslag til nye krav til testmetoder.

Parallelt med dette har det pågått et utviklingsarbeid for å komme fram til nye og ubrennbare konstruksjon. Dette var et av våre hovedmål i innledningsfasen og denne typen hvelv er allerede prøvemontert. Det antas at de første ubrennbare konstruksjoner kan være typegodkjent i løpet av 2002.

Bruk av deteksjonskabler bør basere på en nytte-kostnads-analyse sammenlignet med andre aktuelle sikkerhetstiltak. Erfaringene så langt evaluere erfaringene med denne type kabler er det et punkt som av prosjektet anses som det viktigste: Brannen må detekteres så snart som mulig og på riktig sted. Ved høye lufthastigheter og store tverrsnitt kan det være dette problem for kabler med temperaturterskel. Her vil kabler med måling av temperatur-variasjoner gi større nytte da disse kan programmeres på en temperatur/tids-økning. Dette vil gi muligheter for å detektere brannen på et tidlig tidspunkt.

Når det gjelder permanente vanntåke systemer, så er prosjektet skeptisk. Det er fortsatt en reell usikkerhet i forhold til driftssikkerhet av slike systemer. I tillegg er man helt avhengig av en nøyaktig deteksjon for å kunne sette i gang systemet. Videre er det ikke dokumentert

hvorledes slike systemer opererer under de høye lufthastighetene en kan ha spesielt i ett løps tunneler.



Figur 52
Arbeid i tunnel.

Kunnskapen om sikkerhetsutstyret i norske vegtunneler er mangelfull hos den vanlige trafikant. Det er derfor et klart ønske om å fokusere på mer kunnskap om dette utstyret, hvorledes det virker og hvorledes trafikantene skal forholde seg til dette utstyret ved ulike hendelser. Prosjektet har fokusert på dette behovet og laget et rammeverk for det videre arbeidet med en informasjonskampanje.

En sentral del av sikkerhetsarbeidet er knyttet til utarbeidelse av beredskapsplaner. Det er særdeles viktig å sikre at beredskapsplanen ikke blir en passiv hylleplan, men at den hele tiden er aktiv og brukes bevisst. Prosjektet har forsøkt å lage beskrivelsen og oppbyggingen av beredskapsplanen på en slik måte at man øker bevisstheten om behovet for aktivt bruk slike planer.

Kjørekomfort er viktig for at trafikantene skal føle seg trygge i tunnelen og oppleve det som en positiv opplevelse. Prosjektet har utarbeidet en publikasjon om estetisk utforming av vegtunneler. Publikasjonen er tenkt som et bidrag i arbeidet med å høyne den estetiske standarden på tunneler, som er viktige deler av våre veganlegg, og som et ledd i bevisstgjøringen rundt utformingen av våre omgivelser.

Vi hadde et mål om at vi større grad kunne spre tunnelfaglig informasjon via internett. Prosjektet har fått etablert en internettside, og vi vil i tiden framover arbeide videre med denne for å få denne enda mer temarelatert.

Det har spesielt i den siste delen av prosjektperioden blitt lagt stor vekt på revisjonen av håndbok 021 "Vegtunneler". Denne er nå ferdig til trykking og skal gjelde fra 1. januar 2002. Det har også vært arbeidet aktivt med håndbok 163 "Vann- og frostsikring av vegtunneler - funksjonskrav og dimensjoneringsregler" og denne ventes ferdig i mars 2002.

7 Videre arbeid

Innen de fleste av de områdene prosjektet har arbeidet finnes det en mulighet til forbedring og oppdatering. I forhold til en videreføring av viktige deler av vårt arbeid, er prosjektet av den klare oppfatning at arbeidet med sikkerhet i tunneler vil få et økende fokus framover. Det kan være i forhold til standard og tekniske løsninger, men kanskje spesielt i forhold til våre store andel av eldre tunneler. Behovet for oppgradering vil medføre en ny og annerledes tankegang en det vi forbinder med bygging av nye tunneler. Man vil kanskje i større grad få behov for en kompakt tenkning rundt en oppgraderingsjobb. Det kan være hvordan man planlegger og prioriterer tiltak, hvordan man praktisk gjennomfører den, hvilke valg av løsning man gjør og hvordan man i oppgraderingsperioden avvikler trafikken.

Et slikt prosjekt har allerede blitt foreslått med følgende foreløpig innhold:

- glatte, hvite vegger med sprøytebetong
 - metoder, materialer, utstyr
 - utprøving og utvikling
- belysning
 - medlys i innkjøringssoner
 - videre evaluering av andre lyskilder
 - utprøving og utvikling
 - oppsummering av erfaringer
- lyseffekter i lange tunneler
 - gobo'er
 - videreutvikling, variasjoner
 - kravspesifikasjon
 - utprøving
 - lyssetting
 - opplyste områder
 - temabelysning
 - utredning, utprøving
- brannsikre vann- og frostsikringsløsninger
 - ubrennbare løsninger
 - dokumentasjon av nye metoder
 - utprøving
- deteksjonssystemer
 - oversikt
 - erfaringer
 - kravspesifikasjoner

- Informasjonskampanje for bruk av sikkerhetsutstyr i tunneler
 - Videreføring av allerede påbegynt arbeid (Traf)
- sikkerhetsmessig utstyr
 - alternativ sikkerhetsutstyr
 - effektsammenhenger
- høydekrav 4,0 m – 4,60 m
 - Vurderinger
- Metoder for tverrsnittsutvidelse
 - Strossing
 - Kutting av bolter
 - Fjerning av sprøytebetong
- Oppgradering av tunneler
 - Krav - prioritering
 - Metoder for tverrsnittsutvidelse (strossing, kapping av bolter, nedtaking av sikringsmidler)
 - Bruk av effekter (se momenter over).



Figur 52
Innkjøringsparti.

Mange tunneler trenger vedlikehold ved utskifting av utstyr etter endt levetid.

Vi har i dag kommet frem til gode metoder for brannsikring av ubeskyttet PE-skum. Det er allikevel viktig å arbeide for alternative fullgode løsninger med ikke brennbare løsninger til vann- og frostsikringskonstruksjoner.

Det vil også være viktig å fortsette det internasjonale engasjementet bl.a. gjennom PIARC, NVF og EU-prosjektene (UPTUN etc.).

8 Avslutning

Vi anså tidlig at prosjektet hadde mange ambisiøse målsetninger, og det å oppnå alle disse delmålene nok ville være vanskelig. Vi mener imidlertid, men det er vårt mål at mange emner har blitt belyst og at forslag til løsning for mange er skissert i sluttrapportene. Videre må forslag til løsning innarbeides i styringsdokumenter og derved implementeres ved bygging. Først da kan vi si at vi har lykket!

At man parallelt med å drive utviklingsarbeid har jobbet med håndbøkene 021 og 163 anser prosjektet som en fordel. Om ikke vi har klart det 100 %, så har prosjektet hatt en god sjanse til å komme i direkte inngrep med styringsdokumentene og de formuleringer som utformes der, og derved bidra med siste kunnskap. Det gjør at vi kan realisere tanken om at FoU-arbeid innen Statens vegvesen skal føre til bedre veger.

Vi håper og tror at resultatene i prosjektet virkelig bidrar til at vi får mer samfunnstjenlige tunneler og at Statens vegvesens kompetanse har blitt styrket, kanskje spesielt på de områdene vi i 1998 mente at vi burde heve den.

9 Prosjektrapporter - referanser

- Amundsen, F H. et al. *"Bilbranner, alvorlige trafikkulykker og andre hendelser i norske vegtunneler - Delprosjekt J"*.
TTS- 07-2001, Transport- og trafikksikkerhetsavdelingen, mai 2001.
- Buvik, H. et al. *"Forhold som påvirker drift- og vedlikeholdskostnader - Delprosjekt I. Drift og vedlikehold"*.
Internrapport nr. 2223. Vegteknisk avdeling, oktober 2001.
- Buvik, H. et al. *"Krav til åpen tunnel - Delprosjekt I. Drift og vedlikehold"*.
Internrapport nr. 2222. Vegteknisk avdeling, oktober 2001.
- Buvik, H. et al. *"Erfaringer og erfaringsoverføring - Delprosjekt I. Drift og vedlikehold"*.
Internrapport nr. 2221. Vegteknisk avdeling, oktober 2001.
- Buvik, H. , Skistad, H. *"Renseanlegg i vegtunneler - krav til metoder og prosedyrer for dokumentasjon av renseseffekt - Delprosjekt H. Teknisk installasjoner"*.
Internrapport nr. 2232. Vegteknisk avdeling, oktober 2001.
- Buvik, H. , Myran, T. *"Partikkelrensing i vegtunneler- erfaringer - Delprosjekt H. Teknisk installasjoner"*.
Internrapport nr. 2231. Vegteknisk avdeling, oktober 2001.
- Buvik, H. et al. *"Funksjonskrav for tekniske installasjoner - Delprosjekt H. Teknisk installasjoner"*.
Internrapport nr. 2228. Vegteknisk avdeling, oktober 2001.
- Buvik, H. et al. *"Erfaringer og erfaringsoverføring - Delprosjekt H. Teknisk installasjoner"*.
Internrapport nr. 2227. Vegteknisk avdeling, oktober 2001.
- Buvik, H. , Myran, T. *"Particle cleaning in Norwegian Road Tunnels - Delprosjekt H. Teknisk installasjoner"*.
Internrapport nr. 2217. Vegteknisk avdeling, juli 2001.
- Buvik, H. Lien, J. & Flatekval, B. *"Modell for levetidskostnader for tekniske komponenter - Delprosjekt G. Levetidskostnader"*.
Internrapport nr. 2178. Vegteknisk avdeling, oktober 2000.
- Buvik, H. et al. *"Sikkerhetskonsept 2000"*.
NVF-rapport 11-2000. Utvalg 32: Broer og tunneler.
Juni 2000.

- Buvik, H.
Lien, J. &
Flatekval, B. *"Levetidskostnader og lønnsomhet for drift av tunneler
- Delprosjekt G. Levetidskostnader".*
Internrapport nr. 2224. Vegteknisk avdeling, juni 2001.
- Buvik, H. *"Utvikling av levetidskostnadsmodell for tunnel
- Delprosjekt G. Levetidskostnader".*
Internrapport nr. 2158. Vegteknisk avdeling, mai 2000.
- Buvik, H.
et al. *"Kvalitetssikring av erfaringsdata for levetidskostnader og
driftoptimalisering - Delprosjekt G, H og I".*
Internrapport nr. 2153. Vegteknisk avdeling, april 2000.
- Buvik, H.
et al. *"Drift og vedlikehold sin innflytelse og påvirkning på tunnelens
ulike faser - Delprosjekt I. Drift og vedlikehold".*
Internrapport nr. 2144. Vegteknisk avdeling, mars 2000.
- Buvik, H.
et al. *"Informasjon om sikkerhetsutstyr i norske vegtunneler",
- omfang og virkemåte - Delprosjekt J.*
Internrapport nr. 2136. Vegteknisk avdeling, februar 2000.
- Chiodini, C.,
Lotsberg, G.
et al. *"Beskrivelse av beredskapsplaner".*
Internrapport 2225, Vegteknisk avdeling, oktober 2001.
- Davik, K.I.,
Opstad, K. *"Brannrespons for kombinasjonen sprøytebetong og
polyetylenskum i vegtunneler".*
Internrapport 2240. Vegteknisk avdeling, oktober 2001.
- Davik, K.I.,
Opstad, K. *"Dokumentasjon av branntekniske egenskaper for vann- og
frostsikringskonstruksjoner - forslag til prosedyrer".*
Internrapport 2239. Vegteknisk avdeling, oktober 2001.
- Davik, K.I. *"Statens vegvesens strategi for sikkerhet i vegtunneler".*
Internrapport 2238, Vegteknisk avdeling, oktober 2001.
- Davik, K.I. *"Prosjektbeskrivelse 2000 - 2003 for NFR-prosjekt Miljø- og
samfunnstjenlige tunneler - rapport nr. 1".*
Internrapport 2201, Vegteknisk avdeling, april 2001.
- Davik, K.I. *"Bruk av alkalifri akselerator i sprøytebetong - Delprosjekt F".*
Internrapport 2107, Vegteknisk avdeling, juli 2000.
- Davik, K.I. *"Prosjektskisse 2000 - 2002 for NFR-prosjekt Miljø- og
samfunnstjenlige tunneler".*
Internrapport 2124, Vegteknisk avdeling, januar 2000.
- Frøland, T.,
Buvik, H. *"Pumpeanlegg i undersjøiske tunneler
- Delprosjekt H. Teknisk installasjoner".*
Internrapport nr. 2229. Vegteknisk avdeling, oktober 2001.

- Grønhaug, A. *"Tunnelkledninger"*.
Publikasjon nr. 91, Vegteknisk avdeling, august 1998.
- Grøv, E.,
Neeb, P.R
et al. *"Delprosjekt A - Forundersøkelser, rapport fra forprosjekt"*.
Internrapport 2128, Vegteknisk avdeling, januar 2000.
- Heimli, P. *"Laboratorietesting av mikrosegmenter - rapport nr. 4"*.
Internrapport nr. 2235. Vegteknisk avdeling, november 2001.
- Internettside www.vegvesen.no/tunnel
- Iversen, E. *"Temperaturmålinger i Innfjordtunnelen. Testing av TT-2000 - Delprosjekt F"*.
Internrapport nr. 2172. Vegteknisk avdeling, august 2000.
- Jonassen, A.,
Buvik, H. *"Elektro - kompetanse og organisering - Delprosjekt H. Teknisk installasjoner"*.
Internrapport nr. 2135. Vegteknisk avdeling, februar 2000.
- Klüver, B.H.,
Lindstrøm, M. *"Delprosjekt D - Organisering, rapport fra forprosjekt"*.
Internrapport 2131, Vegteknisk avdeling, januar 2000.
- Klüver, B.H. *"Berginjeksjon"*.
Internrapport 2131, Vegteknisk avdeling, april 2000.
- Lindstrøm, M. Nyhetsbrev 1 til 6.
- Norges Bygg-
standardiserings-
råd *"Risikoanalyse av brann i vegtunneler - veiledning til NS 3901"*.
- Norsk Betong-
forening *"Sprøytebetong til fjellsikring"*.
Norsk Betongforenings Publikasjon nr. 7, september 1999.
- Pedersen, T.S.
et al. *"Delprosjekt B- Samspill med omgivelsene, rapport fra forprosjekt"*.
Internrapport 2129, Vegteknisk avdeling, januar 2000.
- Solli, A.F.,
Amundsen, F.H.
et al. *"Estetisk utforming av vegtunneler"*.
Publikasjon nr. 96, Vegteknisk avdeling, november 2000.
- Storås, I.
et al. *"Prosjektet HMS - Sprøytebetong"*.
Publikasjon nr. 94, Vegteknisk avdeling, oktober 1999.
- Åndal, T.,
Andersson, H. *"Erfaringer fra utvalgte tunnelprosjekter - Delprosjekt C, Tetteteknikk-rapport nr. 2"*.
Internrapport nr. 2233. Vegteknisk avdeling, november 2001.

- Åndal, T. *"Injeksjon av vanskelig sone i T-Baneringen - rapport nr. 3".*
Internrapport nr. 2234, Vegteknisk avdeling, november 2001.
- Aasen, O.
et al. *"Delprosjekt C - Tetteteknikk, rapport fra forprosjekt".*
Internrapport 2130, Vegteknisk avdeling, januar 2000.

Publikasjoner fra Vegteknisk avdeling

40. R. S. NORDAL. Vormsund Forsøksveg. Del 2: Instrumentering (Vormsund Test Road. Part 2: Instrumentation). 38 p. 1972.
41. K. FLAATE and R. B. PECK. Braced Cuts in Sand and Clay. 29 p. 1972.
42. T. THURMANN-MOE, S. DØRUM. Komprimering av asfaltdekker (Compaction of Asphalt Pavements). Hurtige metoder for komprimeringskontroll av asfaltdekker (Rapid Methods for Compaction Control of Asphalt Pavements). 39 p. 1972.
43. Å. KNUTSON. Dimensjonering av veger med frostakkumulierende underlag (Design of Roads with a Frost accumulating Bark Layer).
K. SOLBRAA. Barkens bestandighet i vegfundamenter (The Durability of Bark in Road Constructions).
G. S. KLEM. Bark i Norge (Bark in Norway). 32 p. 1972.
44. J. HODE KEYSER, T. THURMANN-MOE. Slitesterke bituminøse vegdekker (Characteristics of wear resistant bituminous pavement surfaces).
T. THURMANN-MOE, O. E. RUUD. Rustdannelse på biler (Vehicle corrosion due to the use of chemicals in winter maintenance and the effect of corrosion inhibitors).
T. THURMANN-MOE, O. E. RUUD. Kjemikalier i vintervedlikeholdet (Norwegian saltpeter and urea as alternative chemicals for winter maintenance).
O. E. RUUD, B-E. SÆTHER, F. ANGERMO. Understellsbehandling av biler (Undersealing of vehicles with various sealants). 38 p. 1973.
45. Proceedings of the International Research Symposium on Pavement Wear, Oslo 6th-9th June 1972. 227 p. 1973.
46. Frost i veg 1972. Nordisk Vegteknisk Forbunds konferanse i Oslo 18-19 sept. 1972 (Frost Action on Roads 1972. NVF Conference in Oslo 1972). 136 p. 1973.
47. Å. KNUTSON. Praktisk bruk av bark i vegbygging (Specifications for Use of Bark in Highway Engineering).
E. GJESSING, S. HAUGEN. Barkavfall – vannforurensning (Bark Deposits – Water Pollution). 23 p. 1973.
48. Sikring av vegtunneler (Security Measures for Road Tunnels). 124 p. 1975.
49. H. NOREM. Registrering og bruk av klimadata ved planlegging av høgfjellsveger (Collection and Use of Weather Data in Mountain Road Planning).
H. NOREM. Lokalisering og utforming av veger i drivsnøområder (Location and Design of Roads in Snow-drift Areas).
H. NOREM, J. G. ANDERSEN. Utforming og plassering av snøskjermer (Design and Location of Snow Fences).
K. G. FIXDAL. Snøskredoverbygg (Snowsheds).
H. SOLBERG. Snørydding og snøryddingsutstyr i Troms (Winter Maintenance and Snow Clearing Equipment in Troms County). 59 p. 1975.
50. J. P. G. LOCH. Frost heave mechanism and the role of the thermal regime in heave experiments on Norwegian silty soils.
K. FLAATE, P. SELNES. Side friction of piles in clay.
K. FLAATE, T. PREBER. Stability of road embankments in soft clay.
A. SØRLIE. The effect of fabrics on pavement strength – Plate bearing tests in the laboratory.
S. L. ALFHEIM, A. SØRLIE. Testing and classification of fabrics for application in road constructions. 48 p. 1977.
51. E. HANSEN. Armering av asfaltdekker (Reinforced bituminous pavements).
T. THURMANN-MOE, R. WOLD. Halvsåling av asfaltdekker (Resurfacing of bituminous pavements).
A. GRØNHAUG. Fremtidsperspektiver på fullprofilboring av vegtunneler (Full face boring of road tunnels in crystalline rocks).
E. REINSLETT. Vegers bæreevne vurdert ut fra maksimal nedbøyning og krumming (Allowable axle load (technically) as determined by maximum deflection and curvature). 52 p. 1978.
52. T. THURMANN-MOE, S. DØRUM. Lyse vegdekker (High luminance road surfaces).
A. ARNEVIK, K. LEVIK. Erfaringer med bruk av overflatebehandlinger i Norge (Experiences with surface dressings in Norway).
J. M. JOHANSEN. Vegdekkers jevnhet (Road roughness).
G. REFSDAL. Vegers bæreevne bestemt ved oppgraving (indeksmetoden) og nedbøyningsmåling. Er metodene gode nok? (Road bearing capacity as decided by deflection measurements and the index method). 44 p. 1980.
53. E. HANSEN, G. REFSDAL, T. THURMANN-MOE. Surfacing for low volume roads in semi arid areas.
H. MTANGO. Dry compaction of lateritic gravel.
T. THURMANN-MOE. The Otta-surfacing method. Performance and economy.
G. REFSDAL. Thermal design of frost proof pavements.
R. G. DAHLBERG, G. REFSDAL. Polystyrene foam for lightweight road embankments.
A. SØRLIE. Fabrics in Norwegian road building.
O. E. RUUD. Hot applied thermoplastic road marking materials.
R. SÆTERS DAL, G. REFSDAL. Frost protection in building construction. 58 p. 1981.
54. H. ØSTLID. High clay road embankments.
A. GRØNHAUG. Requirements of geological studies for undersea tunnels.
K. FLAATE, N. JANBU. Soil exploration in a 500 m deep fjord, Western Norway. 52 p. 1981.
55. K. FLAATE. Cold regions engineering in Norway.
H. NOREM. Avalanche hazard, evaluation accuracy and use.
H. NOREM. Increasing traffic safety and regularity in snowstorm periods.
G. REFSDAL. Bearing capacity survey on the Norwegian road network method and results.
S. DØRUM, J. M. JOHANSEN. Assessment of asphalt pavement condition for resurfacing decisions.
T. THURMANN-MOE. The Otta-surfacing method for improved gravel road maintenance.
R. SÆTERS DAL. Prediction of frost heave of roads.
A. GRØNHAUG. Low cost road tunnel developments in Norway. 40 p. 1983.
56. R. S. NORDAL. The bearing capacity, a chronic problem in pavement engineering?
E. REINSLETT. Bearing capacity as a function of pavement deflection and curvature.
C. ØVERBY. A comparison between Benkelman beam, DCP and Clegg-hammer measurements for pavement strength evaluation.
R. S. NORDAL. Detection and prediction of seasonal changes of the bearing capacity at the Vormsund test road.
P. KONOW HANSEN. Norwegian practice with the operation of Dynaflect.
G. REFSDAL, C-R WARNINGHOFF. Statistical considerations concerning the spacing between measuring points for bearing capacity measurements.
G. REFSDAL, T. S. THOMASSEN. The use of a data bank for axle load policy planning and strengthening purpose.
T. S. THOMASSEN, R. EIRUM. Norwegian practices for axle load restrictions in spring thaw. 80 p. 1983.
57. R. S. NORDAL, E. HANSEN (red.). Vormsund forsøksveg. Del 3: Observasjoner og resultater (Vormsund Test Road, Part 3: Observations and Results). 168 p. 1984.
58. R. S. NORDAL, E. HANSEN (red.). The Vormsund Test Road. Part 4: Summary Report. 82 p. 1987.
59. E. LYGREN, T. JØRGENSEN, J. M. JOHANSEN. Vannforurensning fra veier. I. Sammendragsrapport. II. Veiledning for å håndtere de problemer som kan oppstå når en veg kommer i nærheten av drikkevannforekomst (Highway pollution). 48 p. 1985.

60. NRRL, ASPHALT SECTION. Surfacing for low volume roads.
T. E. FRYDENLUND. Superlight fill materials.
K. B. PEDERSEN, J. KROKEBORG. Frost insulation in rock tunnels.
H. ØSTLID. Flexible culverts in snow avalanche protection for roads.
K. FLAATE. Norwegian fjord crossings why and how.
H. S. DEIZ. Investigations for subsea tunnels a case history.
H. BEITNES, O. T. BLINDHEIM. Subsea rock tunnels. Preinvestigation and tunnelling processes. 36 p. 1986.
61. Plastic Foam in Road Embankments:
T. E. FRYDENLUND. Soft ground problems.
Ø. MYHRE. EPS – material specifications.
G. REFSDAL. EPS – design considerations.
R. AABØE. 13 years of experience with EPS as a lightweight fill material in road embankments.
G. REFSDAL. Future trends for EPS use. Appendix: Case histories 1-12. 60 p. 1987.
62. J. M. JOHANSEN, P. K. SENSTAD. Effects of tire pressures on flexible pavement structures – a literature survey. 148 p. 1992.
63. J. A. JUNCA UBIERNA. The amazing Norwegian subsea road tunnels. 24 p. 1992.
64. A. GRØNHAUG. Miljøtiltak ved vegbygging i bratt terreng (Environmental measures for road construction in mountain slopes).
Ø. MYHRE. Skumplast uten skadelige gasser (The phase out of hard CFCs in plastic foam).
T. JØRGENSEN. Vurdering av helsefare ved asfaltstøv (Evaluation of health risks of dust from asphalt wear).
N. RYGG. Miljømessig vegtilpassing (Environmental road adjustment). 52 p. 1992.
65. C. HAUCK. The effect of fines on the stability of base gravel.
A. A. ANDRESEN, N. RYGG. Rotary-pressure sounding 20 years of experience. 24 p. 1992.
66. R. EVENSEN, P. SENSTAD. Distress and damage factors for flexible pavements. 100 p. 1992.
67. STEINMATERIALKOMITEEN. Steinmaterialer (Aggregates). 20 p. 1993.
68. Å. KNUTSON. Frost action in soils. 40 p. 1993.
69. J. VASLESTAD. Stål- og betongelementer i løsmasse-tunneler (Corrugated steel culvert and precast elements used for cut and cover tunnels).
J. VASLESTAD. Støttekonstruksjoner i armert jord (Reinforced soil walls). 56 p. 1993.
70. SINTEF SAMFERDSELSTEKNIKK. Vegbrukers reduserte transportkostnader ved opphevelse av telerestriksjoner (Reduced transportation costs for road user when lifting axle load restrictions during spring thaw period). 144 p. 1993.
71. R. Evensen, E. Wulvik. Beregning av forsterkningsbehov basert på tilstandsvurderinger – analyse av riks- og fylkesvegnettet i Akershus (Estimating the need of strengthening from road performance data). 112 p. 1994.
72. Fjellbolting (Rockbolting). 124 p. 1994.
73. T. BÆKKEN, T. JØRGENSEN. Vannforurensning fra veg – langtidseffekter (Highway pollution – long term effect on water quality). 64 p. 1994.
74. J. VASLESTAD. Load reduction on buried rigid pipes.
J. VASLESTAD, T. H. JOHANSEN, W. HOLM. Load reduction on rigid culverts beneath high fills, long-term behaviour.
J. VASLESTAD. Long-term behaviour of flexible large-span culverts. 68 p. 1994.
75. P. SENSTAD. Sluttrapport for etatsatsingsområdet «Bedre utnyttelse av vegens bæreevne» («Better utilization of the bearing capacity of roads, final report»). 48 p. 1994.
76. F. FREDRIKSEN, G. HASLE, R. AABØE. Miljøtunnel i Borre kommune (Environmental tunnel in Borre Municipality).
F. FREDRIKSEN, F. OSET. GEOPLOT – dak-basert presentasjon av grunnundersøkelser (GEOPLOT – CAD-based presentation of geotechnical data). 48 p. 1994.
77. R. KOMPEN. Bruk av glideforskaling til brusøyler og -tårn (Use of slipform for bridge columns and towers). 16 p. 1995.
78. R. KOMPEN. Nye regler for sikring av overdekning (New practice for ensuring cover).
R. KOMPEN, G. LIESTØL. Spesifikasjoner for sikring av armeringens overdekning (Specifications for ensuring cover for reinforcement). 40 p. 1995.
79. The 4th international conference on the «Bearing capacity of roads and airfields» – papers from the Norwegian Road Research Laboratory. 96 p. 1995.
80. W. ELKEY, E. J. SELLEVOLD. Electrical resistivity of concrete. 36 p. 1995.
81. Å. KNUTSON. Stability analysis for road construction. 48 p. 1995.
82. A. ARNEVIK, E. WULVIK. Erfaringer med SPS-kontrakter for asfaltering i Akershus (Experiences with wear-guaranteed asphalt contracts on high volume roads in Akershus county). 28 p. 1996.
83. Sluttrapport for etatsatsingsområdet «Teknisk utvikling innen bru- og tunnelbygging» («Technical development – bridge and tunnel construction, final report»). 20 p. 1996.
84. OFU Gimsøystraumen bru. Sluttrapport «Prøvere-parasjon og produktutvikling» («Trail repairs and product development, final report»). 156 p. 1997.
85. OFU Gimsøystramen bru. Sluttrapport «Klimapåkjening og tilstandsvurdering» («Climatic loads and condition assessment, final report»). 248 p. 1998.
86. OFU Gimsøystraumen bru. Sluttrapport «Instrumentering, dokumentasjon og verifikasjon» («Instrumentation, documentation and verification, final report») 100 p. 1998.
87. OFU Gimsøystraumen bru. Anbefalinger for inspeksjon, reparasjon og overflatebehandling av kystbruer i betong (Recommendations for inspection, repair and surface treatment of coastal concrete bridges). 112 p. 1998.
88. OFU Gimsøystraumen bru. Anbefalinger for instrumentert korrosjonsovervåkning av kystbruer i betong. (Recommendations for instrumental corrosion monitoring of coastal concrete bridges). 60 p. 1998
89. OFU Gimsøystraumen bru. Hovedresultater og oversikt over sluttokumentasjon (Main result and overview of project reports). 24 p. 1998.
90. J. KROKEBORG. Sluttrapport for Veg-grepsprosjektet «Veggrep på vinterveg» («Studded tyres and public health, final report»). 52 p. 1998.
91. A. GRØNHAUG. Tunnelkledinger (Linings for water and frost protection of road tunnels). 68 p. 1998.
92. J. K. LOFTHAUG, J. MYRE, F. H. SKAARDAL, R. TELLE. Asfaltutviklingsprosjektet i Telemark (Cold mix project in Telemark). 68 p. 1998.
93. C. ØVERBY. A guide to the use of Otta Seals. 52 p. 1999.
94. I. STORÅS et al.: Prosjektet HMS – sprøytebetong (Full-scale testing of alkali-free accelerators). 64 p. 1999.
95. E. WULVIK, O. SIMONSEN, J. M. JOHANSEN, R. EVENSEN, B. GREGER. Funksjonskontrakt for lavtrafikkveg: Rv 169, Stensrud-Midtskog, Akershus, 1994-1999 (Performance-contract for the low traffic road Rv 169). 40 p. 2000.
96. Estetisk utforming av vegtunneler (Aesthetic design of road tunnels). 64 p. 2000.
97. K.I. DAVIK, H. BUVIK. Samfunnstjenlige vegtunneler 1998-2001 (Tunnels for the citizen, final report). Sluttrapport. 94 p. 2001.



Vegteknisk avdeling

Organisasjon

Statens veglaboratorium ble opprettet i 1938 Etter sammenslåing med Driftsteknisk avdeling 1. mars 1998 ble Vegteknisk avdeling etablert. Avdelingen er organisert i seks fagkontorer:

- **Betongkontoret**
- **Geologi- og tunnelkontoret**
- **Geoteknisk kontor**
- **Internasjonalt kontor**
- **Overbygningskontoret**
- **Produksjonsteknisk kontor.**

Oppgaver

Hovedoppgavene er å drive forsknings- og utviklingsarbeid og være rådgiver innenfor avdelingens fagområder. I arbeidet inngår kurs- og opplæringsvirksomhet.

Postadresse: Vegdirektoratet, Vegteknisk avdeling
Postboks 8142 Dep
0033 OSLO

Besøksadresse: Gaustadalleen 25, Oslo

Telefon: 22 07 39 00
Telefax: 22 07 34 44
E-post: Firmapost@vegvesen.no



Statens vegvesen
Vegdirektoratet

Returadresse:
Vegteknisk avdeling
Postboks 8142 Dep
0033 Oslo