



Statens vegvesen

Tunnelduk. Erfaringer fra norske tunneler 1994 - 2004

RAPPORT

Teknologiavdelingen

Nr: 2412





Statens vegvesen

Vegdirektoratet
Teknologiavdelingen

Postadr.: Postboks 8142 Dep
0033 Oslo
Telefon: 22 07 35 00

www.vegvesen.no

TEKNOLOGI-RAPPORT nr. 2412

Tittel

**Tunnelduk.
Erfaringer fra norske tunneler 1994 - 2004**

Utarbeidet av

Mona Lindstrøm

Dato:

2005-11-01

Saksbehandler

Mona Lindstrøm

Prosjektnr:

601354

Kontrollert av

Harald Buvik

Antall sider og vedlegg:

17 / 0

Sammendrag

Tunnelduk T100 var godkjent for bruk som vann-/frostsikringskledning i norske lavtrafikk-tunneler i perioden 1994 til 2004. Løsningen er en lett konstruksjon, bestående av en tynn, pvc-belagt polyesterrev som festes til rørbuer i profil. Kledningen endetettes for å oppnå isolasjonseffekt.

Løsningen er den eneste i sitt slag i norske tunneler pr. nå. I sammenheng med prosessen for godkjenning av en ny, modifisert utgave av tunnelduken ble det foretatt en gjennomgang av erfaringene. Rapporten gir resultater fra befaringer foretatt i 2005 i to av tunnelene der tunnelduk har stått lengst og med store lekkasjemengder, Bjørøytunnelen og Storvikskartunnelen. I tillegg oppsummeres noen resultater fra et forsøksfelt i Holmestrandtunnelen, resultater fra frostmålinger i tunneler og opplysninger fra Regionene i Statens vegvesen. Resultatene så langt viser at tunnelduken har klart seg godt. Hvelvet gir en lys overflate i tunnelen og det er lett å holde rent. Hvelvet er svært utsatt for skader men er også enkelt å reparere.

Summary

The WG tunnel sealing system (T100) was installed as water and frost protection in Norwegian low traffic tunnels between 1994 and 2004. The system consists of a thin PVC-coated polyester fabric, suspended in steel pipe arches which are secured with rock bolts. The lining is installed in more than 30 tunnels with low traffic volume (up to AADT 1000) and relatively low amounts of frost. In the process of evaluating a new and modified version of the tunnel sealing system, the Public Roads Administration have inspected the lining in some of these tunnels.

Emneord:

Tunnel, vann-/frostsikring

Innhold

1	Innledning	3
2	Bakgrunn og beskrivelse	3
	2.1 Tunnelduk T100	3
	2.2 Tunnelduk i norske tunneler	4
	2.3 Ny tunnelduk (556)	4
3	Befaringer	5
	3.1 Holmestrandtunnelen	5
	3.2 Bjorøytunnelen	8
	3.3 Storvikskartunnelen	10
4	Erfaringer fra andre tunneler	12
5	Oppsummering	14
	Referanser	17

1 Innledning

Tunnelduk med typebetegnelse WG T100 fra W. Giertsen AS, nå Giertsen Tunnel AS er montert som vannsikring i helhvelv i en rekke norske lavtrafikk tunneler i perioden ca. 1993 til 2004. På grunn av nye og strengere krav til brannbestandighet og røykutvikling innført av Vegdirektoratet i 2004, er T100 ikke lenger godkjent som enkeltstående hvelv. Giertsen Tunnel har utviklet en ny, modifisert tunnelduk (WG Tunnelduk 556) som fikk en godkjennelse for lavtrafikk tunneler i 2005.

Løsningen er den eneste i sitt slag i norske tunneler pr. nå (2005). I forbindelse med prosessen for typegodkjenning av ny tunnelduk ble det foretatt en gjennomgang av erfaringene. Denne rapporten gir resultatene fra befaringer foretatt i 2005 i to av tunnelene der tunnelduk har stått lengst og med store lekkasjemengder, Bjorøytunnelen og Storvikskartunnelen. I tillegg oppsummeres noen resultater fra et forsøksfelt i Holmestrandtunnelen, resultater fra frostmålinger i tunneler og opplysninger fra Regionene i Statens vegvesen.

2 Bakgrunn og beskrivelse

2.1 Tunnelduk T100

Tunnelduken er en PVC-belagt polyesterrev med tykkelse ca. 0,6 mm. Polyesterarmeringen er tettvevd, som gir ekstra rivestyrke og strekkstyrke i forhold til øvrige armerte membraner. Tunnelduken sveises sammen i fabrikk til store flak, som igjen sveises sammen i tunnelen (3 i profilet) med varmluft.

Tunnelduken monteres i stålrørbuer i profil. Rørbuer monteres enkeltvis med avstand 1,5 m, boltet til berget. Tunnelduken klemmes mellom det bakre røret og doble rør på trafikksiden og strammes opp. Boltegjennomføringer (6 i profilet) vannsikres med doble pakninger.



Figur 1 Hvelv av tunnelduk i Storvikskartunnelen, Nordland

Det forutsettes en lukket, vanntett konstruksjon med endetetting mot berg for å oppnå isolasjonseffekt. Bevegelser i konstruksjonen på grunn av trykk-/sug-krefter fra trafikken skal føre til at eventuelle isdannelser bak hvelvet ikke vil bygges opp. Tunnelduken monteres med inspeksjonsluker som lukkes med glidelås og med borrelås som ekstra støvsikring. Tunnelduken gir en lys kledning som er enkel å montere, også i nisjer o.l., den er lett å vaske og kan repareres enkelt.

2.2 Tunnelduk i norske tunneler

Norske tunneler bygges i all hovedsak som drenerte løsninger ved at vann i tunnelen ledes til grøft ved hjelp av en tunnelkledning. Avhengig av den lokale frostmengde blir kledningene frostisolert. Kravene er gitt i håndbok 021 «Vegtunneler» og håndbok 163 «Vann- og frostsikring i tunneler» [1, 2].

Det norske vegnettet inneholder mange hundre tunneler med lave trafikkmengder ($\text{ÅDT} < 5\,000$). Kravene til installasjoner i disse tunnelene er til dels lavere enn for tunneler med høyere trafikkvolum, blant annet er det ikke krav om betongvegger. I løpet av de siste ca. 25 årene har derfor ulike typer av lette konstruksjoner (plast, stål, aluminium) blitt utprøvd og benyttet for vannavskjerming i lavtrafikk tunnelene.

I perioden 1993 til 2004 ble over 30 norske vegtunneler vannsikret med tunnelduk T100, av disse er fem undersjøiske. Til sammen utgjør dette ca. $410\,000\text{ m}^2$ helhvelv, se tabell sist i rapporten. T100 var typegodkjent av Vegdirektoratet fra 1994 for tunneler med $\text{ÅDT} < 1000$, og fra 1997 også for frostmengder F_{10} opp til $20\,000\text{ h}^\circ\text{C}$ og/eller $F_{10T} < 10\,000\text{ h}^\circ\text{C}$.

I Holmestrandtunnelen, Vestfold, ble det i 1995 i regi av Vegdirektoratet montert et forsøksfelt for akselerert utprøving av tunnelduken under høyere trafikkbelastning. Forsøksfeltet er på 16 m lengde (ca. 290 m^2). Tunnelen hadde en ÅDT på 12- 13 000 fram til høsten 2001 da ny E18 åpnet og trafikken i Holmestrandtunnelen ble kraftig redusert. Befaringer av forsøksfeltet ble foretatt i 1997 og 1998 [3, 4] og i 2002.

Tunnelduk ble montert i Byreberg tunnelen i Lom, Oppland i 1998 for å avhjelpe problemer med vann og is. Frostmengden i dette området er F_{10} $39\,000\text{ h}^\circ\text{C}$, betydelig høyere enn det som var forutsatt for bruksområdet.

2.3 Ny tunnelduk (556)

WG Tunnelduk 556 er en modifisert utgave av T100. Tunnelduken har en noe annen sammensetning, den er litt lettere (600 g/m^2) men har beholdt de samme mekaniske egenskaper som strekkstyrke og rivestyrke. Opphengssystemet er det samme som for T100. Ut fra testing utført ved Sintef Brannlaboratoriet består tunnelduk 556 de nye krav til røykproduksjon og flammespredning ved brann som ble satt av Vegdirektoratet fra 2004/05.

WG Tunnelduk 556 ble typegodkjent av Vegdirektoratet i 2005 for bruk i tunneler med $\text{ÅDT} < 2\,500$ og frostmengde $F_{10T} < 3\,000\text{ h}^\circ\text{C}$. Det forutsettes en endetettet konstruksjon, og løsningen skal kombineres med en nedre føringskant av betong med høyde ca. 1 m over kjørebanelen.

Den nye løsningen blir ikke omtalt videre i denne rapporten.

3 Befaringer

Befaringer av tre tunneler ble utført med sikte på å vurdere langtidsegenskapene til tunnelduken.

- Holmestrandtunnelen: forsøksfelt for akselerert utprøving ved høy trafikkmengde 1995-2002
- Bjorøytunnelen: undersjøisk tunnel, tunnelduk montert 1995, stor lekkasjemengde
- Storvikskartunnelen: tunnelduk montert 1994, stor lekkasjemengde.

3.1 Holmestrandtunnelen

Et forsøksfelt på 16 m lengde ble montert i 1995 for akselerert utprøving av tunnelduken. I februar 2002, etter at trafikken i tunnelen var kraftig redusert, ble det foretatt en inspeksjon av tunnelduken som da hadde vært utsatt for en ÅDT på 12- 13 000 over en periode på ca. 7 år. Forsøksfeltet ble inspisert i 1997 og mer grundig i 1998 [3, 4].

Ved alle inspeksjonene ble bolter og rørbuer løsnet for å kunne registrere eventuelle slitasjeskader på tunnelduken rundt festesystemet (figur 2). Tunnelduken var godt oppstrammet, og det ble ikke observert tegn på slitasje bak rørbuene eller skader på stålkonstruksjonen.

Funn ved befaringen i 2002:

- Små svarte flekker på tunnelduken. Disse besto tilsynelatende av ansamlinger av støv/skitt, som lett kunne skrapes vekk. I taket var tunnelduken merket av permanente små flekker/kratere (figur 3), og et prøvestykke med disse flekkene ble analysert ved Teknologisk institutt (se nedenfor).
- Smale, vertikale striper i tunnelduken med tegn på slitasje, dels helt inn til armeringen (figur 4). Disse ble tolket som brettekanter fra pakking og transport, og der slitasjen viser seg over tid. Eventuelt kan duken ha blitt oppskrapet i forbindelse med monteringen. Det er usikkert hvordan denne typen slitasje langs stripene vil utvikles videre, reparasjoner/utskifting bør finne sted før det oppstår hull eller revner.
- Sprekk i pakning rundt bolt, og med lekkasje i boltegjennomføringen. Dette skyldes sannsynligvis for hard tiltrekking av mutter under monteringen.

Laboratorieanalyser (2002):

- Flekkene som ble analysert ved TI viste seg å være små kaviteter, men ikke hull igjennom tunnelduken. Flekkene hadde konsentrasjoner av spesielt S og Ca, disse kan påvirke PVC ved høyere temperaturer men det er usikkert hvordan tunnelduken her blir påvirket. Små, brente flekker som ble observert kan skyldes bruk av vinkelsliper ved montering.
- Analyse av selve tunnelduken (utført av Protan) viste at myknertapet over 7 år var relativt lite. Rivestyrken var redusert med 16 %, men verdiene var fremdeles innenfor kravene til ny duk.
- Tilstandsrapport av rørene (utført av Ørsta Stål) viste en viss reduksjon i tykkelsen på belegg. Ut fra dette ble det antatt at sinkbelegget, hvis utsatt for det samme miljøet i tunnelen, vil tæres bort i løpet av 20-30 år.



Figur 2 Holmestrandtunnelen. Rørbue er løsnet for å sjekke tilstanden til tunnelduken bak rørene. Merk den relativt mørke fargen til uvasket tunnelduk.

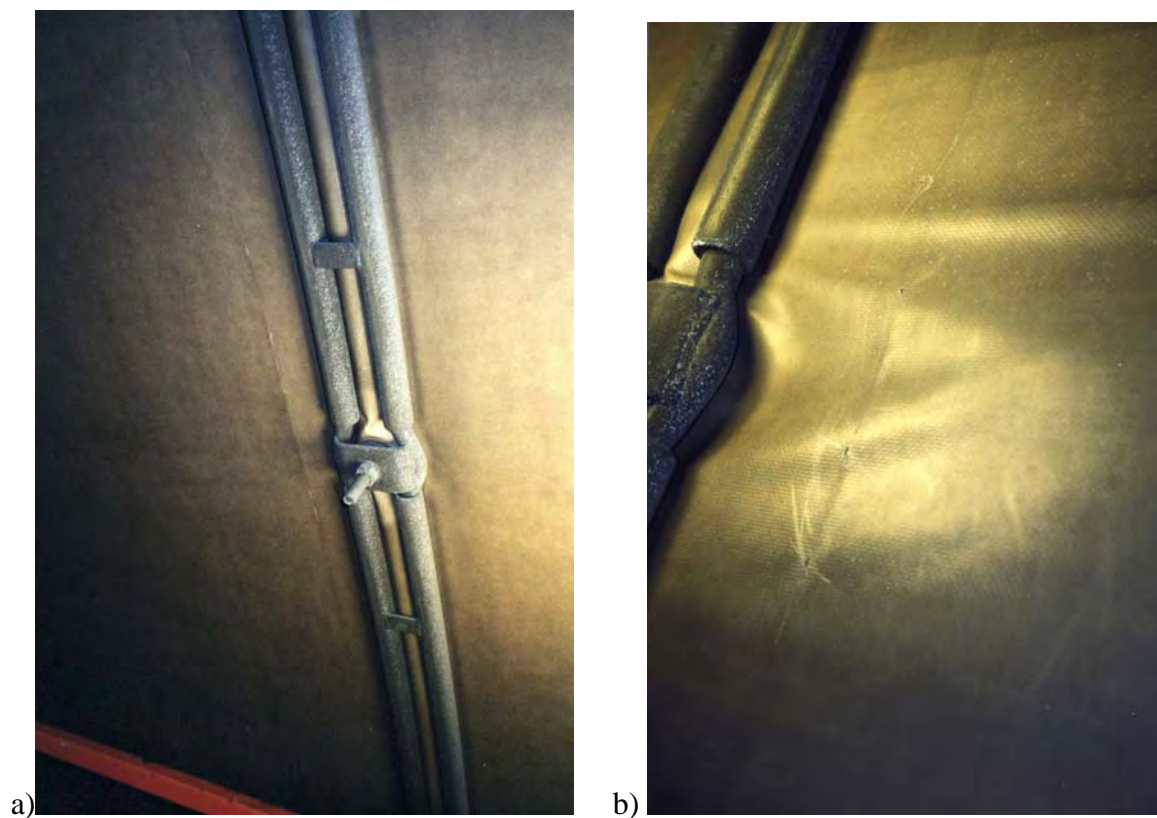


a)



b)

Figur 3 Holmestrandtunnelen. Flekker / prikker i tunnelduken i taket (a), nærbilde i (b). Flekkene viste seg ved analyse å være kaviteter med ansamling av forurensning, men ikke hull igjennom materialet. (De hvite stripene skyldes at trafikkstøv er pusset vekk).



Figur 4 Holmestrandtunnelen. Slitasjstriper i tunnelduken. *a)* Vertikal stripe like til venstre for rørbuen. *b)* Vertikal slitasjestripe, stedvis med hull inn til armeringen (De hvite strekene skyldes at trafikkstøv er pusset vekk).

3.2 Bjorøytunnelen

Hordaland, fv 242 sør for Bergen. 2 km lang undersjøisk tunnel, åpnet i 1996. Tunnelduk ble montert gjennom nesten hele lengden av tunnelen i 1995/96. Det er stedvis stor innlekkasje av sjøvann og et meget korrosivt miljø i tunnelen. Bjorøytunnelen er den undersjøiske tunnelen der tunnelduk har stått lengst.

Befaring i tunnelen ble foretatt i januar 2005. Ingen spesielle langtidsskader eller slitasje på hvelvet ble registrert. Antydning til rust på noen få bolter.

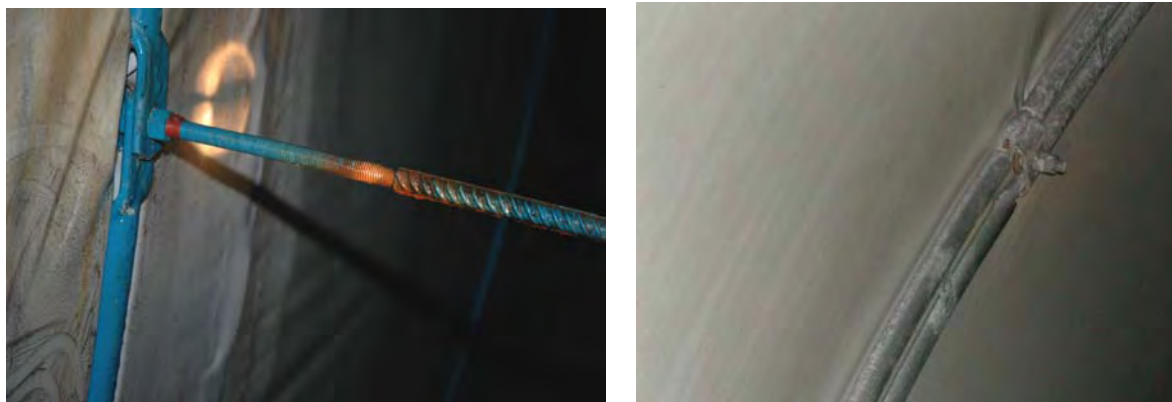
Funn ved befaringen:

- Noen få av boltene viser antydninger til rust. Antydning til korrosjon i enkelte boltegjennomføringer (figur 5).
- Horisontale bretter/bulker i hvelvet på hver side ca. ”kl. 11 og 13”, over lengre strekninger (se eksempel i figur 12), samt bulker og sig i tunnelduken rundt enkelte bolter (figur 6). For øvrig var tunnelduken fint oppspent. Det er usikkert om disse ujevnhetene skyldes monteringen og/eller er en følge av trafikkpåvirkningen.
- Markert felt med konsentrasjon av trafikkstøv (skittkant) nederst på veggen, opp til ca. 1,2 m over vegbanen (figur 7).
- Små flekker/prikker av konsentrert trafikkstøv, dette lot seg lett skrape av og ingen tegn til skader eller tæring kunne observeres på tunnelduken.
- Lapping av tunnelduken med flere små lapper (10 - 30 cm), muligens utført i monteringsfasen (figur 8).
- Vått belegg av forurensning / organisk materiale på bergsiden av tunnelduken (figur 9). Dette lot seg lett tørke vekk, og det var ikke antydninger til at tunnelduken var påvirket.

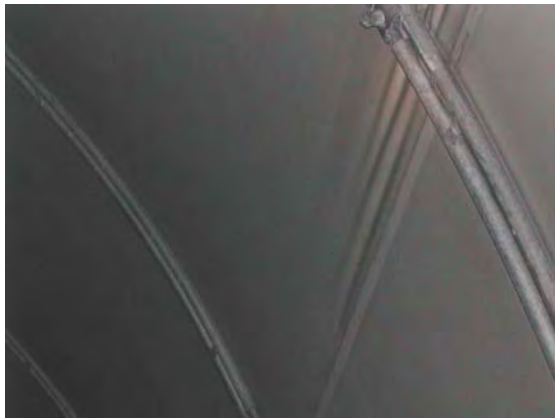
Øvrige resultater

Analyse av bolter og rør fra ståldelen av hvelvet i Bjorøytunnelen ble utført i 2001. Hensikten var å vurdere pulverbelegg og sinkbelegg. Resultatet viste at lakkerte rør har full tykkelse intakt på sinkbelegget under lakken. Korrosjon vil først inntreffe når lakkbelegget er fjernet.

En befaring av blant annet hvelvet i Bjorøytunnelen ble foretatt i 1997 [5], ingen spesielle skader ble rapportert.



Figur 5 Bjorøytunnelen. a) Bergsiden av hvelvet, rustflekk på bolteforankring. b) Trafikksiden, rust på pakning i en boltegjennomføring.



a)

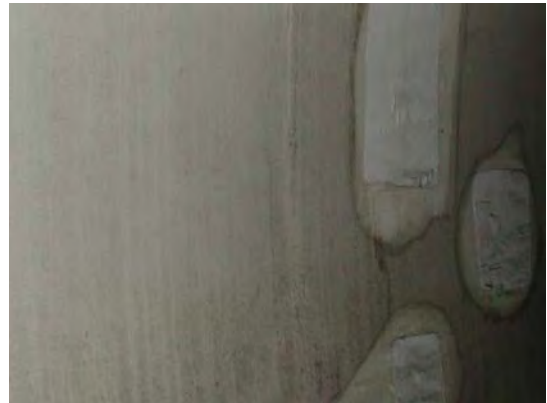


b)

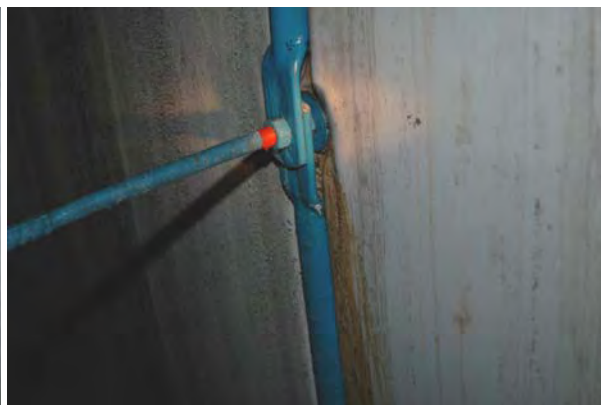
Figur 6 Bjorøytunnelen. På trafikksiden av hvelvet. Eksempler på bukling i tunnelduken, i langsgående felt (a) eller rundt boltegjennomføring (b).



Figur 7 Bjorøytunnelen. Markert kant av konsentrert trafikkstøv nederst på veggen. Merk de to inspeksjonslukene i hvelvet, L-formet og lukket med glidelås.



Figur 8 Bjorøytunnelen.
Eksempel på lapping av tunnelduken



Figur 9 Bjorøytunnelen. Bergsiden av hvelvet. Vått belegg av organisk materiale dekker overflaten av tunnelduken, og er dels oppkonsentrert rundt boltegjennomføring (bilde til høyre).

3.3 Storvikskartunnelen

Nordland, rv 17 i Gildeskål kommune, ca. 3,1 km lang og med stor bergoverdekning. Tunnelduk ble montert i store deler av tunnelen i 1994. Storvikskartunnelen er en av de tunnelene der tunnelduken har stått lengst, og det er stedvis store lekkasjemengder her.

Befaring i tunnelen ble foretatt i januar 2005. Ingen spesielle langtidsskader eller slitasje på hvelvet ble registrert. Antydning til rust på noen få bolter.

Funn ved befaringen:

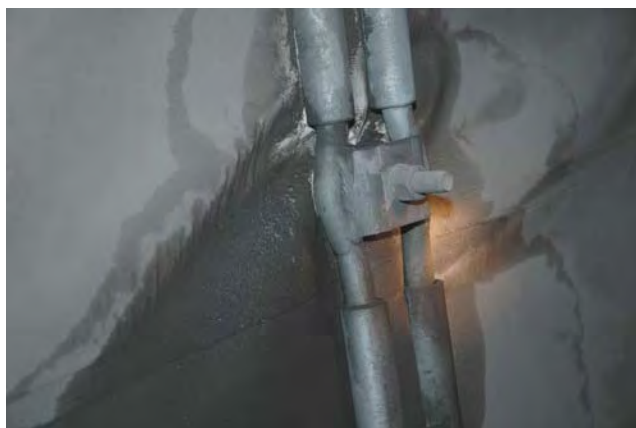
Flere observasjoner av samme type som i Bjørøytunnelen.

- Lekkasje i enkelte boltegjennomføringer (figur 11).
- Karakteristiske bretter/bulker horisontalt i hvelvet ble observert også her (figur 12).
- Markert skittkant nederst på veggen, opp til ca. 1,2 m over vegbanen (figur 13 a).
- Små flekker/prikker av konsentrert trafikkstøv på overflaten (figur 13 b).
- Noen få antydninger til rust på bolter.
- Det var stedvis vanskelig å få åpnet inspeksjonslukene på grunn av støv-/skittansamlinger i glidelåsen.
- Lapping av tunnelduken med flere små lapper, muligens utført i monteringsfasen.
- Eksempler på skader i tunnelduken:
 - Nedfall av stein i taket er fanget opp og har ført til at tunnelduken buler (figur 14).
 - Større rift i tunnelduken i vegbanenivå, sannsynligvis påkjørselskade (figur 15).

Figur 10 Storvikskartunnelen.
Bergsiden av hvelvet.



Figur 11 Storvikskartunnelen.
Lekkasje i bolt.





Figur 12 Storvikskartunnelen. Eksempel på horisontale sammenhengende bulker i hvelvet. Det kan være fare for at bulkene er utsatte slitasjepunkter eller punkter for oppsamling av forurensning. Samme type bulker ble observert også i Bjørøytunnelen.



a)

b)

Figur 13 Storvikskartunnelen. Trafikkstøv på overflaten. a) Markert skittkant nederst på veggen. b) Flekker/prikker av støv og skitt på tunnelduken kan skimtes på bildet.



Figur 14 Storvikskartunnelen. Nedfall av stein i taket har nesten perforert tunnelduken. Merk også langsgående bukling i hvelvet.



Figur 15 Storvikskartunnelen. Revne i tunnelduken fra påkjørsel.

4 Erfaringer fra andre tunneler

Generelt gis positive tilbakemeldinger om tunnelduken fra driftsansvarlige i Regionene, med fremheving av den lyse fargen og at hvelvet er enkelt å rengjøre.

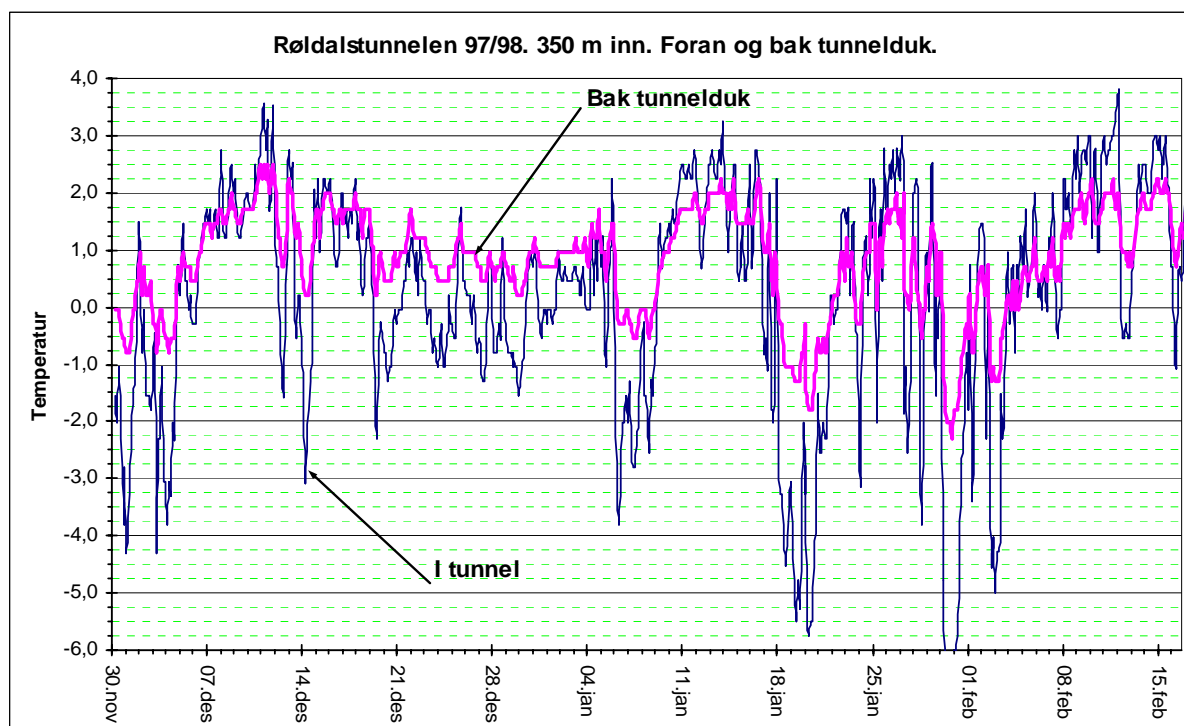
De fleste opplysninger om skader e.l. innhentet fra tunnelene der tunnelduk er montert gjelder rifter og skader som følge av påkjørsler, både i vegbanenivå og ved at store kjøretøy tar borti i vederlag. Spesielt gjelder dette tunneler med smalt profil. Det rapporteres også at skadene som regel er begrenset sammenlignet med stive hvelv, og at skader repareres relativt enkelt. I tillegg er det enkelte rapporteringer om skader som følge av hærverk i tunneler der gående/syklende ferdes.

I Haukelitunnelen var det i 2002 omfattende reparasjoner av tunnelduken. På grunn av det smale profilet og lav høyde i tunnelen var tunnelduken påført en rekke småskader fra kjøretøy. Dette førte igjen til vann- og isproblemer i tunnelen (figur 16).



Figur 16 Haukelitunnelen i 2002. Eksempler på riftskader fra kjøretøy som gir isdannelse i tunnelen.

Frostmålinger er utført i regi av Vegdirektoratet i en rekke tunneler over flere år, blant annet i noen av tunnelene der tunnelduk er montert. Dette gjelder Nesbø-, Røldal-, Austmannali-, Haukeli- og Byreberg tunnelene (se tabell side 16) [6, 7, 8, 9, 10, 11]. Målingene viser forskjellen i frostmengde utenfor og inni tunnelene, og frostmengde foran og bak tunnelduken (figur 17). Dataene viser generelt en godt definert frostreduksjon innover i tunnelene, som vil avhenge av tunneltype og trafikkmengde [10]. Resultatene fra målingene bak tunnelduken viser at denne har en frostdempende effekt. Generelt vises en reduksjon i absolutt frostmengde mellom ca. 1 000 og 5 000 timegrader ($h^{\circ}C$), avhengig av frostmengden utenfor tunnelen og avstand fra portal. I følge disse målingene er temperatur bak tunnelduken ikke lavere enn $-2,8^{\circ}C$ selv ved lange kuldeperioder, og sjelden lavere enn $-1^{\circ}C$.



Figur 17 Eksempel på resultat av temperaturmålinger. Sammenstilling av målinger bak tunnelduk og i trafikkrommet i Røldalstunnelen fra november 1997 til februar 1998 [10].

I Byrebergstunnelen mellom Lom og Vågå ble tunnelduk montert i 1998. Frostmengden i området er svært høy; F_{10} 39 000 h°C (F_{10} er definert som den frostmengde som statistisk sett overskrides én gang i en 10-årsperiode). Frostmålinger ble utført i tunnelen før montering av tunnelduk [7, 8, 9, 10], generelt viser disse målingene at frostbelastningen nær midten av tunnelen er halvparten av frostmengde utenfor tunnelen. Måling bak tunnelduken ble foretatt i 1998/99 som var en relativt mild vinter. Frostbelastningen bak tunnelduken var på 2 400 h°C som representerer en frostdemping på 58 % i forhold til i trafikkrommet [11]. Frostdempingen i forhold til utetemperaturen var også betydelig (82 %) i dette tilfellet. Det er ikke rapportert om problemer som følge av frost på strekningen som er sikret med tunnelduk.

Nesbøtunnelen i Aurlandsdalen ligger også i et område med høy frostmengde utenfor tunnelen (opp til F_{10} 35 000 h°C). Imidlertid er frostinntrengningsprofilen i denne tunnelen atypisk og ikke representativt ved vurdering av isolasjonsevne under høye frostmengder. På grunn av tunnelens stigning vil frostinntrengning i øvre del av tunnelen motvirke den naturlige pipeeffekten slik at frostbelastningen i tunnelen er mye lavere enn forventet.

I den undersjøiske Frøyatunnelen ble tunnelduk montert i 2000. En inspeksjon foretatt i år viste ingen tegn til korrosjon eller andre skader. I Nappstraumentunnelen ble tunnelduk montert i hele tunnelens lengde, ca. 1 800 m. I denne tunnelen og i Fannefjordtunnelen har tunnelduk stått i relativt kort tid (fra ca. 2002) og det er ikke foretatt evalueringer her.

5 Oppsummering

Generelt

Befaringene i tunnelene der tunnelduk T100 har stått i ca. 10 år med de trafikk- og frostmengder den var godkjent for og i tillegg med store lekkasjemengder, viser ingen skader eller tegn på slitasje som kan tyde på at kvaliteten er forringet. Resultater fra forsøksfeltet i Holmestrandtunnelen med akselerert utprøving av tunnelduken med høyere trafikkmengder viser at hvelvet har tålt trafikkbelastningen meget godt.

Sammenlignet med andre lette konstruksjonstyper som ble utprøvd, hovedsaklig på 1990-tallet, har tunnelduk-hvelvet klart seg svært bra og over de fleste forventningene. For andre lette konstruksjonstyper montert i denne perioden viste skader seg etter relativt kort tid, for eksempel korrosjon eller dårlige løsninger for opphengssystemer og mange av disse er allerede utskiftet og dels ute av markedet.

Resultater og anbefalinger

Tunnelduk-hvelvet er en lett konstruksjon som er svært utsatt for skader. Det kreves derfor stor forsiktighet i både produksjons-/transportfasen og monteringsfasen, med nøye kontroll og kvalitetssikring. En funksjonskontrakt bør inneholde krav til jevnlig kontroll og umiddelbar reparasjon av alle typer skader som påføres, fra trafikk, islast eller nedfall av stein. Dette for å minske faren for nedfall i trafikkrommet, og for å sikre at den isolerende effekten beholdes.

Montering

Utførelsen ved montering av hvelvet er av avgjørende betydning for langtidsegenskapene, med hensyn til endetting, vannsikring av boltegjennomføringer og for å unngå ujevnheter. Befaringene viste flere tilfeller der tunnelduken var bulket rundt bolter eller langs horisontale linjer i taket. Ujevnhetene har i utgangspunktet ikke med kvaliteten av materialet å gjøre. Problemet er at slike bulker kan skape slitasjepunkter, og kan føre til en oppkonsentrasjon av forurensning som tærer på materialet, både trafikkstøv og alger og bakterier på bergsiden av hvelvet. Ved befaringene ble det ikke foretatt noen systematisk undersøkelse av slike punkter, og eventuell kvalitetsreduksjon over lengre tid er ikke kjent.

Erfaringer så langt viser at hvelvet tåler det sterkt korrosive miljøet i undersjøiske tunneler. Det er avgjørende at tunnelduk-materialet er motstandsdyktig og at bolter og røroppheng har nødvendig sikring mot korrosjon.

Andre forhold er felt i tunnelduken som er lappet med små og store lapper, dels konsentrert til mindre områder, observert i både Bjørøy- og Stovvikskartunnelene. Dette er sannsynligvis utført i monteringsfasen. En større utbedring av slike felt med småskader bør være å foretrekke. Oppmerksomhet bør også rettes mot behandling under pakking/transport, dette kan være skyld i slitasjestriper som ble observert i Holmestrandtunnelen.

Rengjøring

Befaringene ble utført på vinterstid når støvmengden er størst, og tunnelduken i alle tunnelene er skjoldet av støv og skitt. Dette er et vanlig problem i norske tunneler spesielt i vinterhalvåret, og kan eventuelt forbedres ved mer hyppig vask av hvelvet. En karakteristisk markert kant med konsentrert trafikkstøv nederst på veggen opptrer i alle tunnelene. I tillegg kan tallrike små, svarte flekker/prikker ses. Problemet for tunnelduken med støv- og skittansamlinger kan være at konsentrasjonen av forurensning tærer på materialet slik at

levetiden forkortes. Erfaringer viser at høytrykkspyling med kaldt vann på roterende hjul gir dårlig effekt med hensyn til å rengjøre tunnelduken. De beste resultatene ved vasking fås ved bruk av vaskemidler og mekanisk kosting/børsting av overflaten.

Inspeksjonslukene, L-formet og lukket med glidelås er meget praktiske. Imidlertid var det problemer med å få åpnet flere av lukene på grunn av støvansamlinger. En løsning på dette problemet bør vurderes.

Frost

Tunnelduken har liten varmeisolering i seg selv, men endetetting av hvelvet gir en 'termos-effekt' som hindrer luftgjennomstrømning og reduserer frostmengden. Frostmålinger som er utført gjennom flere vintre dokumenterer god isolasjonsevne for tunnelduken. Skadene på hvelvet i Haukelitunnelen illustrerer hvordan rifter i tunnelduken kan forårsake vann- og isproblemer i trafikkrommet.

Bruk av uisolerte konstruksjoner i frostutsatte områder øker imidlertid risikoen for at frost trenger dypere inn i berget bak hvelvet, med frostsprengning som resultat. Uisolerte løsninger bør vurderes brukt kun i tunneler der det er dokumentert at sprengning og sikring er utført på en slik måte at faren for frostsprengning er redusert. I tillegg vil det være en fordel at rennende vann i tunnelen (eksempelvis $> 0,75$ l/min.) tas ned med frostsikker punktsikring før hvelvet monteres.

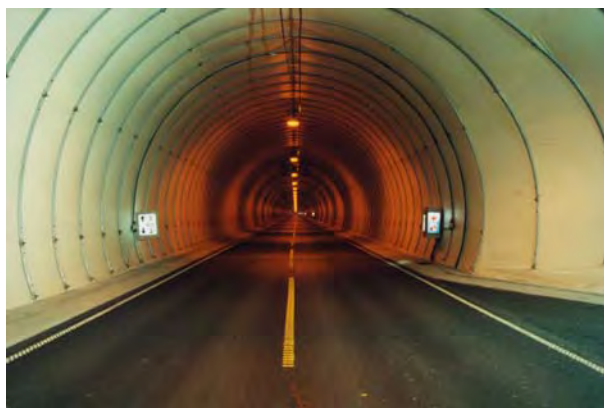
Påførte skader

Tunnelduken kan ta en viss islast, eventuelt nedfall av stein. Fordelen er at mindre mengder nedfall gir buler i hvelvet som fører til at skadene raskt kan oppdages og utbedres.

Erfaringene viser at både tunnelduken og rørbuene er enkle å reparere ved påkjørselskader. Stålbuen står enkeltvis uten kontakt med hverandre, og skader begrenses derfor til påkjørselspunktet. Det blir derfor få omfattende skader sammenlignet med stive, sammenhengende hvelv.

Ved å montere en føringskant av betong som forutsatt for den nye, modifiserte utgaven av hvelvet, vil mange av småskadene ved påkjørsler kunne unngås. Betongkanten vil beskytte kledningen både i vegbanenivå og ved at større kjøretøy ledes unna vederlagene. En føringskant av betong er også fordelaktig med tanke på renholdet og langtidsegenskapene til tunnelduken, siden dette området samler mest trafikkstøv.

Jerseykant som i dag er montert i innkjøringssonene i flere av tunnelene beskytter kledningen mot skader som kan påføres av brøytebiler.



Figur 18 Frøyatunnelen (Foto: Giertsen Tunnel)

Tabell 1 Oversikt over tunneler i Norge der T100 helhvelv er montert
(oversikten er ikke fullstendig)

Fylke	Tunnel	Veg	År (mont.)	m ² helhvelv	kommentarer
Hordaland	Jona	Rv 550	1999	609	
	Bjørøy	Fv 242	1995/96	26218	Undersjøisk
	Langhelle	E 16	2004	960	Prototype fram til 2004
	Røldal	Rv 11	1994	281	
	Austmannali	Rv 11	1996	1546	
	Haukeli	E 134	1999	683	
	Nattland		2002/03	4160	
	Sædalen		2005	4200	
Sogn & F	Nesbø	Rv 50	1993	3000	Prototype av T100
Møre & R	Alnes	Fv 127	1997	498	
	Stordal	Rv 650	1998	13384	
	Ljønbibba	Rv 60	1998/00	4607	
	Hamregjøøl	Rv 60	2000/01	7611	
	Voldshammer	Rv 652	1998	2915	
	Rotsethorn	Rv 651	1998/99	16557	
	Rotsethorn 2	Rv 651	2004	11624	
	Øksendal	Rv 62	2000	19284	+ forsøksfelt tunnelduk m/ sprøytebetong
	Fannefjord	Rv 64	2000/02	22983	Undersjøisk
	Gyl	Rv 70	2001	13023	
	Hjellnes		2001	8924	
	Oppskred	Rv 63	2001	3653	
	Sandodd		2001	3110	
	Linge / Overå	Rv 650	2001/02	2787	
	Dyrkorn	Rv 650	2003	4519	
Vike	Fv 192	2004/05	13543		
Trøndelag	Frøya	Rv 714	1999/00	96000	Undersjøisk, T100 i hele tunnelen
Nordland	Rishatten	Fv 143	1993	1327	
	Kjøpsvik	Rv 827	1992/93	5007	
	Storvikskar	Rv 17	1994/95	27742	
	Utakleiv	Fv 826	1998	3894	
	Nappstraumen	E 10	2002	26898	Undersjøisk, T100 i hele tunnelen
	Ramsvik	E 10	2000	4288	
	Seljeli	E 10	2000	10064	
Finnmark	Skarvberg	E 69	2002	3333	
	Hammerfest		2003	40000	Privat undersjøisk tunnel (Statoil)
V-Agder	Åtland	E 39			Prototype av T100
Oppland	Byreberg	Rv 15	1998	805	Høy frostmengde
Vestfold	Holmestrand	Rv 313	1995	290	Forsøksfelt 1995-2001

Referanser

- [1] Statens vegvesen: *Vegtunneler*. Håndbok 021. Vegdirektoratet, Oslo, 2002.
- [2] Statens vegvesen: *Vann- og frostsikring i tunneler*. Håndbok 163. Vegdirektoratet, Oslo, 1995 (2005).
- [3] Iversen, E.: *Holmestrandtunnelen, tunnelkledninger. Befaring av forsøksfelter 1/4 1997*. Intern rapport nr. 1956. Veglaboratoriet 1997.
- [4] Lindstrøm, M.: *Tunnelduk i Holmestrandtunnelen. Befaring av forsøksfelt 24/11 1998*. Intern rapport nr. 2065. Vegteknisk avdeling 1998.
- [5] Iversen, E.: *Oppfølging av markeringsduk, vann- og frostsikring i Hordaland. Befaringsrapport 13/2 1997*. Intern rapport nr. 1947. Veglaboratoriet 1997.
- [6] Pedersen, K.B.: *Måling av frostmengder i 8 tunneler vinteren 1993/94. Datarapport med kommentarer*. Intern rapport nr. 1699. Veglaboratoriet 1994.
- [7] Iversen, E.: *Frostmålinger i 12 utvalgte tunneler vinteren 95/96*. Intern rapport nr. 1915. Veglaboratoriet 1996.
- [8] Iversen, E.: *Frostinntrengning i tunneler*. Intern rapport nr. 1946. Veglaboratoriet 1997.
- [9] Iversen, E.: *Frostmålinger i 15 tunneler vinteren 96/97*. Intern rapport nr. 1998. Veglaboratoriet 1997.
- [10] Iversen, E.: *Frostmåling i 15 tunneler vinteren 97/98*. Intern rapport nr. 2175. Vegteknisk avdeling 2000.
- [11] Iversen, E.: *Temperaturmåling i Byrebergtunnelen vinteren 98/99*. Intern rapport nr. 2211. Vegteknisk avdeling 2001.



Statens vegvesen

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Postboks 8142 Dep
N - 0033 Oslo

Tlf. (47) 22 07 35 00
E-post: publvd@vegvesen.no

ISSN 1504-5005