© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare

VANN- OG FROSTSIKRING AV VEGTUNNELER

Water and frost protection of road tunnels

A. Grønhaug
Statens Vegvesen, Veglaboratoriet

SAMMENDRAG

Vannlekkasjer og frost i vegtunneler står frem som et av de viktigste problemene for sikkerhet og vedlikehold i vegtunneler. Den eneste aksepterte vannsikringsmetode internasjonalt har vært dobbel betongutstøpning med mellomliggende fuktsperre (membran). Vanligvis krever ikke bergsikringen av vegtunneler utstøping, og dette blir derfor en unødig kostbar metode.

For å finne frem til rimeligere vannsikringsmetoder er en rekke løsninger utviklet, testet og utført siden 1960-tallet. Særlig i de siste årene har det vært en rask utvikling av nye metoder på grunn av standard-hevning og fordobling av tunnelbyggingen fra 25 km/år til bortimot 50.

Den nye Håndbok 163 er utarbeidet for kvalitetssikring av de mange nye metoder som nå tilbys. Den er et supplement til Vegnormal 021 Vegtunneler, og behandler spesielt nye funksjonskrav og dimensjoneringsregler. Et intensivt arbeid vil kreves for å etablere et erfaringsgrunnlag, og for tilpasning i virksomheten. Det er videre utgitt en beskrivelse av løsninger som vil bli vedlagt anbudsdokumenter for innhenting av priser.

Av metodene med langtidserfaring tilbyr platehvelv i aluminium tilfredsstillende vannsikring i flere kvaliteter, tak, hvelv og frostisolert. Utforinger av opphengte PE-skum matter har vært i bruk i 10 år, i de siste år med begrensninger på grunn av brannfaren, eller med sprøytebetong som brannisolering.

En interessant utvikling er at elementer i betong og lettbetong er kommet i utførelser som er konkuranse-dyktige i pris. Ferdig- elementer leveres nå i både frostisolert, delvis frostisolert og ikke frostisolerte kvaliteter.

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare

En annen interessant utvikling er hvelv av høykvalitets PVC- belagt polyesterduk, uten eller med frost-isolering, henholdsvis kalt tunnelduk og tunnelmatte. Dette er løsninger som sannsynligvis snart vil finne sin plass i sikringsarbeidet.

SUMMARY

Water leaks, in particular combined with frost action, present one of the most important problems for security and maintenance in road tunnels. As waterproof concrete lining has been considered too expensive, a number of designs for water and frost protection only, have been tested and adopted during 25 years of development. These designs imply rock bolting as main measure for rock support.

Due to the escalating rate of road tunnel construction in recent years, culminating i 1991 with a total of 47 km excavated, an increasing number of designs have been presented. Consequently, The Public Roads Administration (PRA) has initiated a programme to establish new specifications. A cooperation with contractors, supported by The Royal Norwegian Council for Scientific and Industrial Research (NTNF), has been organized to assist the programme.

The designs originally adopted include traditional aluminium shieldings like crown shieldings, single shieldings, and frost insulated shieldings.

Installations made of 45 mm thick PE-foam matresses, introduced 10 years ago, implied very flexible and inexpensive shieldings. Requirements for fire protection have established strict limitations to its use. Fire protection by means of shotcrete now adopted demand a higher price.

Recent developments include concrete elements that are competitive in price with the lightweight installations. The concrete elements are available both as frost insulated, partly frost insulated and non frost insulated designs.

Other interesting recent developments are shieldings made by high quality PVC coated polyester fabric. The shieldings are installed by means of a steel pipe framework suspended in rock bolts, and are made i two qualities; with or without mineral wool insulation. These are designs that may be adopted for low traffic tunnels.

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare

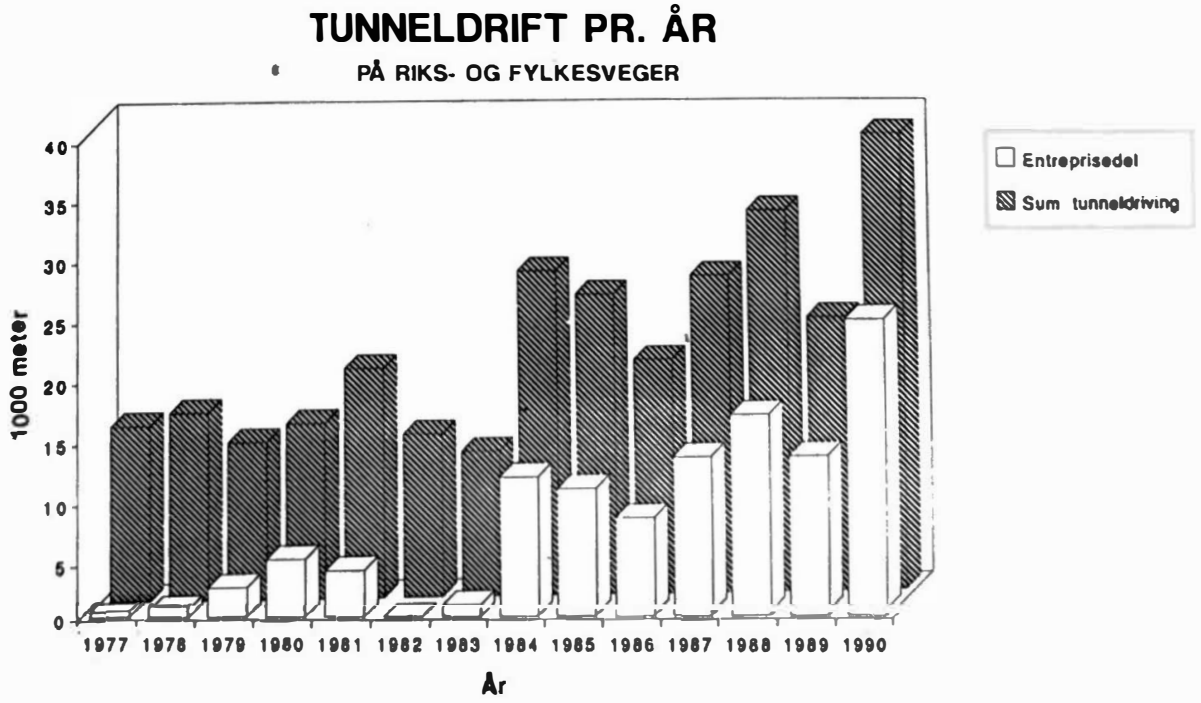
BAKGRUNN

Vann- og isproblemene viste seg utover i 1960-årene å bli et av de viktigste problemene for sikkerhet og vedlikehold i vegtunneler. Den eneste gjennomprøvde metode for full vannsikring på den tiden var membran-isolert utstøpning.

Dette er en meget kostbar metode for vannsikring, spesielt fordi betongutstøpning vanligvis ikke er nødvendig for bergsikring i vanlige norske lavtrafikk-tunneler. Membranisolert utstøpning er imidlertid fremdeles den eneste metode som har potensiale til tilfredsstillende vannsikring der full utstøpning er nødvendig.

For å finne frem til rimeligere og teknisk tilfreds-stillende metoder for vannsikring, tilpasset vanlige norske vegtunneler, startet Veglaboratoriet i slutten av 1960-årene et utviklingsarbeide som har pågått kontinuerlig i 25 år.

En rekke løsninger for sikring av vegtunneler mot vann og frost er testet og utført. Særlig har det vært rask utvikling av nye metoder i de siste år. Dette har sin bakgrunn i den dramatiske økning i bygging av veg-tunneler som har funnet sted, se figur 1. For 1991 var produksjonen oppe i 47 km vegtunnel. Det følgende gir en oversikt over utprøvde metoder og metoder under utvikling.



Figur 1. Bygging av vegtunneler 1977-1990

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare

VIDERE ARBEID

I dagens situasjon er en rekke metoder i bruk, under vurdering og utvikling. Nye retningslinjer er utarbeidet for funksjonskrav og dimensjonering, og det blir et intenst arbeid for å få en realistisk tilpasning i markedet. Statens Vegvesen satser nå stort for å raskt å bringe frem løsninger som vil gjøre evaluering og anbudsarbeid enklere.

Denne utviklingen har også vakt stor oppmerksomhet utenfor Statens Vegvesen. Således har ledende entreprenører og Norges Teknisk- Naturvitenskapelig Forskningsråd (NTNF) tatt kontakt med Veglaboratoriet for å etablere et samarbeide om et utviklingsarbeid på fagfeltet. Dette skal ta sikte på utarbeidelse av en oversikt over metoder samt evaluering og klassifikasjon av dem. Resultatet vil bestå i presentasjoner med med tanke på internt bruk i Statens Vegvesen og markedsføring. I dette samarbeidet deltar A/S Veidekke, Selmer A/S og Eeg-Henriksen A/S med støtte av Statens Vegvesen og NTNF.

INJEKSJON FOR VANNSIKRING

Injeksjonsteknikk var den første metode som ble utprøvd. Metoden ble vurdert som interessant fordi en eventuell vellykket tetting kunne foretas på frostsikker dybde i berget. Utprøvingen foregikk ved testing av injeksjonsmidler på laboratoriet og omfattende forsøk i felt i løpet av en periode på ca 10 år.

Resultatet av dette arbeidet viste at det var mulig å redusere vanninnstrømningen til tunnelen betydelig, og også redusere utstrekningen av lekkasjestrekningene noe.

Det viste seg imidlertid vanskelig, i alle fall partivis, å fjerne små drypp som forårsaker iskjøving og dannelse av istapper på en tilfredsstillende måte. Dessuten er varigheten av tetningen omdiskutert. Etter noen års prøving ble metoden derfor oppgitt.

Derimot er forinjeksjon meget aktuell for å redusere lekkasjene ved drift av undersjøiske vegtunneller. Injeksjon er også en uunnværlig driftssikringsmetode for å kontrollere vanninnbrudd i slike tunneller, og det eksisterer betydelig erfaring og kompetanse på dette området. Til tross for dette, ansees ikke denne form for vannsikring av en kvalitet som kreves for permanent vannsikring, og kan derfor ikke inkluderes i prosjektet.

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare

LETTE KONSTRUKSJONER

ENKELT PLATEHVELV

Et konsept som går ut på å avskjerme vannlekkasjene helt til grøft var tidlig vurdert og bearbeidet. Problemet var å finne materialer og utførelser med stabilitet, styrke og holdbarhet som gav muligheter for en rasjonell montering til en akseptabel pris.

Beskrivelse

Fra begynnelsen av er det valgt en hvelvutforming av korrugerte aluminiumsplater med en tykkelse på bare 0.71 mm. Platene er festet til berget ved hjelp av 7 bæreskinner montert i tunnelens lengderetning. Feste til bæreskinnene og til tilgrensende plater foregår ved hjelp av forseglete popnagler. Platene monteres etter taktekkingsprinsippet med korrugeringen langs tunnel-tverrsnittet. De legges med en overlapp på 20 cm i lengderetningen og to bølgelengder i tverretningen og platene føres ned under vegbanen for frostisolering til grøft.

Begrensninger og ulemper

Montering av platehvelvet er tidkrevende, og krever full beskyttelse mot islast. Det kan derfor bare anvendes i vegtunneler som er utsatt for små frostmengder, dvs F_{10} < 3000 hoC. Hvelvet krever også bergforsterkning som hindrer nedfall av stein. Platehvelvet har vært utsatt for skader ved påkjørsler, og en fysisk beskyttelse må forutsettes som endel av løsningen.

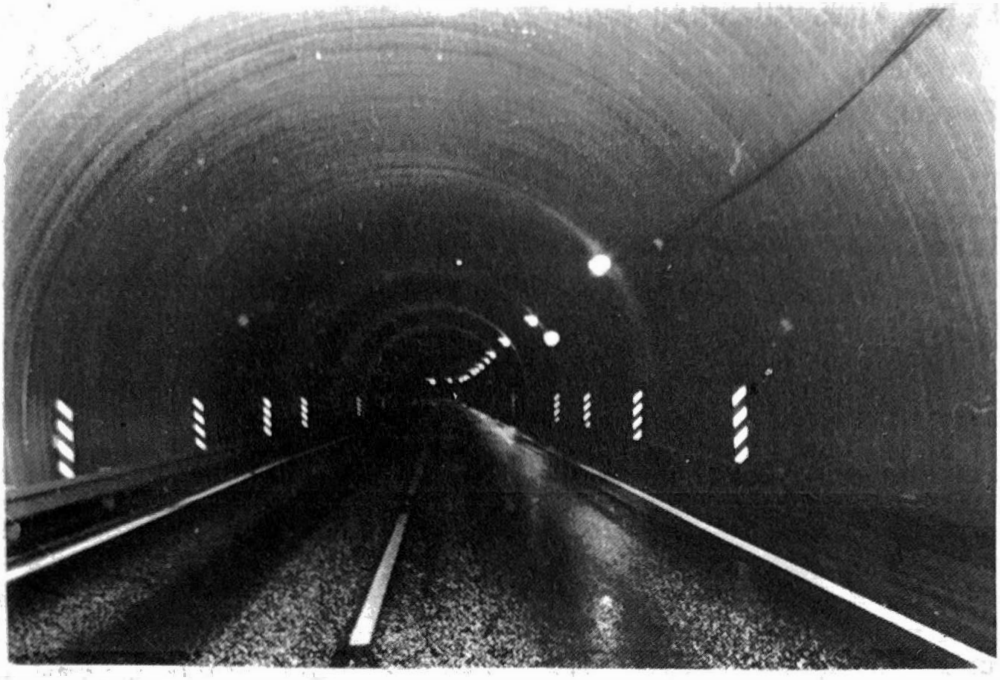
Fordeler

Platehvelvet har dokumentert full vannsikring i en levetid på over 10 år, uten korrosjonsskader av betydning. Felles for platehvelvene er at de er klassifisert som brannsikre.

PLATETAK

Platetak er platehvelv som bare monteres over vegbanen, og utstyres med takrenner og nedløpsrør i veggene. Det kan anvendes på steder med meget lav frostmengde eller der frostinntrengningen kan kontrolleres ved automatiske porter eller bremses med ventilasjons-vifter. Fordelen er en holdbar konstruksjon til lav pris.

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 2. Korrugert platehvelv

FROSTISOLERT PLATEHVELV

Beskrivelse

Enkle platehvelv tåler ikke nedfall av stein, påkjørsler eller islast. Løsningen forutsetter derfor full beskyttelse mot nedfall og påkjørsler, og der det forekommer skadelige frostmengder, full frostisolasjon.

Løsningen for frostisolert platehvelv er to aluminiumshvelv med mellomliggende lag av mineralullmatter. Hvelvet på oversiden er festet i berget ved hjelp av 4 bæreskinner i tunnelens lengderetning. Forøvrig er monteringen som ved enkelt hvelv.

Hvelvet på vegsiden er selvbærende og presset ut mot isolasjon og takhvelv ved hjelp av oppstrammete rørbuer montert med avstand på 3 m. Maksimal stabilitet krever sirkulært tverrsnitt.

Mineralullmattene kan leveres i ulike tykkelser, og 10 cm dekker isolasjon for frostmengder opptil 40 000 h°C. Mineralullen må være tørr for å beholde sin isolasjonsevne, derfor er mattene emballert i helsveiset PE-folie for fuktbeskyttelse. Det må monteres tetting mellom hvelv og bergoverflate ved enden av hver hvelvseksjon for å hindre frysing pga inntrengning av kaldluft på oversiden av hvelvet.

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Begrensninger og ulemper

Montering av det isolerte platehvelvet er også tidkrevende, og krever mange komponenter. Det er forholdsvis kostbart, dog bør like kvaliteter av vannsikring sammenlignes når pris vurderes.

Forøvrig har det de samme ulemper og begrensninger som det enkle.

Fordeler

Forsøkshvelv montert i 1971 i tunnel på E18 med middels trafikk har gitt full vannsikring i 20 år, et annet i høytrafikk tunnel E18 står like godt etter 10 år. Lang tid i tjeneste dokumenterer at også det isolerte platehvelvet tilbyr full vannsikring.

Hvelvet har en mykere konstruksjon enn det uisolerte, slik at påkjenningene fra trafikken dempes bedre og har vist seg å motstå belastningen godt. Forøvrig fordeler som for det enkle platehvelvet.

FORENKLET FROSTISOLERT PLATEHVELV

Leverandører tilbyr nå et lavere priset frostisolert hvelv som består av enkelt aluminium platehvelv frostsikret med overlegg av mineralullmatter emballert i en høy kvalitets folie, betydelig sterkere enn den som benyttes for det doble hvelvet. Disse hvelvtypene har hatt varierende kvalitet, og for en av typene sin del har det foregått et kontinuerlig og kostbart utviklingsarbeid under byggeprosessen.

SANDWICH-HVELV

Løsninger

Denne type hvelv ble utviklet for å oppnå mere rasjonell produksjon, samt forenklet og raskere montering i forhold til det isolerte aluminiumshvelvet. I løpet av 15 år har det vært arbeidet med sandwichløsninger bestående av plastskum innkapslet i stål, aluminium eller glassfiberarmert polyester. Da det viste seg vanskelig å få god heft mellom skum og aluminium eller stål, ble den videre utvikling basert på glassfiberarmert polyester.

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Beskrivelse

Mest brukt er et hvelv utformet som halvbuer og produsert i former ved liming eller ved vakuumstøpning. Det består av 50 mm polyurethan-skum innkapslet i slitesterk og diffusjonstett glassfiber- armert polyester med en tykkelse på ca 1 mm. Isolasjonen kan varieres, men dette er tilstrekkelig ved frostmengder opp mot 20 000 h°C.

Halvbuene festes til en låseskinne midt i hvelvet og fundamenteres på en stålskinne festet til betongklosser støpt på berggrunn eller komprimert telefri masse.

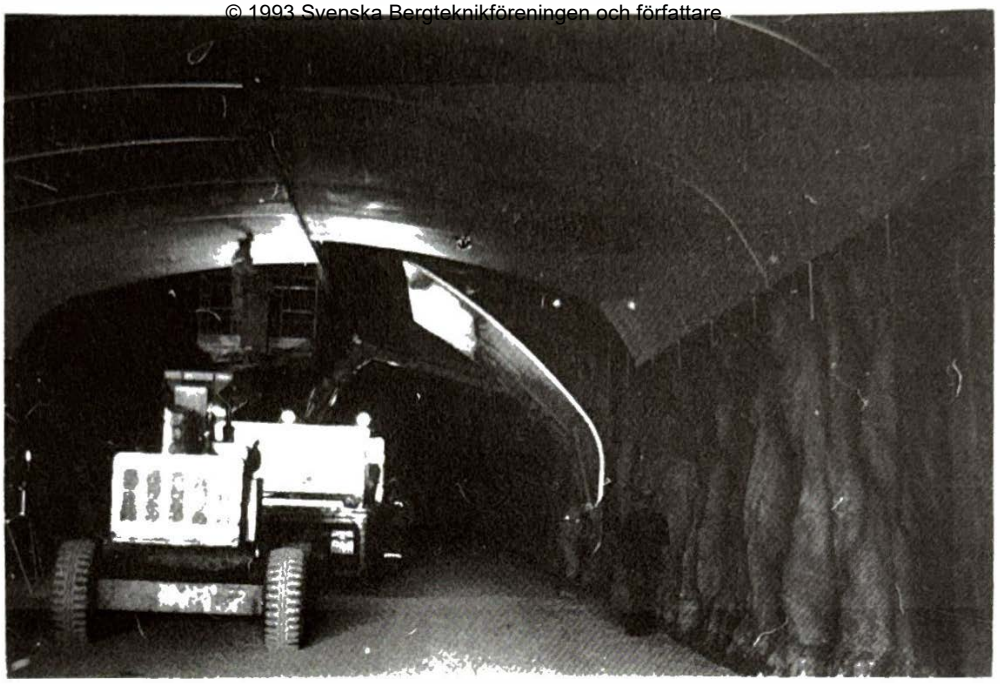
Buer og opphengssystem er utformet med vannavisende profiler som gir en vanntett utførelse. Skjøtingen av buene i lengderetningen er utformet slik at hvelvet klarer kurver med radius ned til 300 m.

Brannegenskaper

Fullskala brannforsøk på hvelv av ulike typer av PE-skum og et sandwich-hvelv ble i 1987 utført i en nedlagt vegtunnel. Resultatene viste at sandwichhvelvet ble antent etter 4 minutter etter overtenning av primærbrannen. Ved en vanlig personbilbrann tar det ifølge testen ca 7 minutter før overtenning, slik at det er 11 minutter til disposisjon for rømning dersom det ikke lykkes å slukke primærbrannen.

Dengang regnet en med at det snart ville komme ikke brennbare alternativer av sandwichhvelv, men dette har vist seg vanskeligere enn antatt. Denne usikkerheten har forsinket videre utvikling.

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 3. Montering av sandwichhvelv

Begrensninger og ulemper

Sandwichhvelvene er forholdsvis kostbare, dog bør like kvaliteter sammenlignes når pris vurderes. Prisen øker mere enn aluminiumshvelv ved økende isolasjonstykkelse. Dersom hvelvet skades ved påkjørsler må minst en halv-bue skiftes ut. Dette krever spesialutstyr.

Hvelvet består av brennbare, men forholdsvis tungt antennelige materialer.

Fordeler

Forutsatt riktig montert blir sandwichhvelvet vann-tett. Det er stabilt og solid, og tåler noe nedfall av stein. Hvelvet har en glatt, og lett vaskbar overflate som kan gis farger etter valg. Med rasjonelt utstyr går monteringen raskt. Erfaringene fra 10 års tjeneste i høy-trafikk tunnel på E18 er gode.

VANN- OG FROSTSIKRING MED PE-SKUM

Bakgrunn

Forsøk med frostisolering av vegtunneler med matter av PE-skum ble introdusert i vegtunneler omkring 1980, og har på grunn av enkel montering og lav pris hatt en sterkt økende utbredelse. Den startet med isolasjon av punktlekkasjer og vanngardiner, men ble snart brukt til full innkledning av hele tunnelprofilet.

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Beskrivelse

PE-skumutforingen består av matter av ekstrudert polyetylenskum limt sammen i baner med hensiktsmessig størrelse. Banene henges opp i gjennomgående bolter og bueformete stigebånd montert langs tunneltversnittet. Banene monteres etter taktekkingsprinsippet og bolte-gjennomføringene tettes ved pakning på frem- og bak-skive.

Frostisolasjon

Handelsproduktene med den mest egnete tykkelse er 45 mm, tilstrekkelig for isolasjon ved frostmengder opptil 15 000 hoC. Ved høyere frostmengder er det funnet mest hensiktsmessig å legge to lag matter.

Brennbarhet

Vanlig PE-skum er lett brennbart, og det har derfor vært forutsatt at brannhemmete kvaliteter skulle benyttes. Fullskala brannforsøk med ulike fabrikater skum utført i en nedlagt vegtunnel i 1987 viste at en fullt utviklet bilbrann ville antenne isolasjonen etter få sekunder, og brenne ut innen to minutter. Det er derfor satt begrensninger for bruk av PE-skum.

Erfaringer med flere bilbranner under vanlig trafikk har vist at forløpet har vært langt mindre dramatisk enn ved forsøksbetingelsene. Enten har bilbrannen blitt slukket før antennelse av PE-skummet, eller så har brannen utviklet seg så langsomt at PE-skummet har smeltet ned før antennelse.

Begrensninger og ulemper

Det har vist seg vanskelig å oppnå full vannsikring av boltehull og skjøter. Skummet er mekanisk svakt, og kan utsettes for hærverk og tyveri. Overflaten følger en noe utjevnet bergkontur og utseende blir deretter.

Glipper mellom overlappene gir anledning til pumping av kaldluft, med fare for isdannelse på oversiden av hvelvet, som tåler lite islast. Materialet er vanskelig å holde rent og brennbarheten setter grenser for anvendelsen.

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Fordeler

Mattene er elastiske, lett bøyelige og forener lav vekt og lav varmeledningsevne med med høy diffusjons-motstand. PE-skumutforing er enkel å montere og lett å tilpasse ulike bergkonturer og overganger mellom ulike tunneltverrsnitt. Reparasjon foretas også enkelt og billig. Den er spesielt egnet til sikring av eldre og trange tunneler med liten trafikk. Videre har den sin fordel for avskjerming av punktlekkasjer eller vann-gardiner i frostsonen.

BRANNBESKYTTETE PE-SKUM MATTER

Der PE-skum ønskes benyttet utover de begrensninger som er fastlagt i vegnormalene, kreves det brann-beskyttelse. Denne kan utføres ved påsprøyting av betong eller andre brannbeskyttende materialer. Dette krever at vanlig sprøytebetong må legges på i minst 60 mm tykkelse.

Mere varmeisolerende typer lettbetong som utføres ved tilsetning av perlitt, lecakuler, polystyrenkuler etc, kan redusere nødvendig tykkelse til 30 mm. For å øke heft og styrke tilsettes første lag sprøytebetong stålfiber.

Det er stilt spørsmål om hvor lenge sprøytebetongen vil hefte til PE-skummet. Før lengre tids erfaringsgrunnlag foreligger bør ikke stålfiberarmert sprøytebetong erstatte armeringsnett.

PE-skum/sprøytebetong-hvelvet har den fordelen at det er tettere enn bare PE-skum for pumping av kaldluft på oversiden av hvelvet, samtidig som det er sikret mot brann, tyveri og hærverk. Forøvrig har den de samme ulemper som PE-skum; utseendet og vanntettingen.

TUNNELDUK

Bakgrunn

Telt og haller av duk har fått en stadig økende anvendelse, og er etterhvert også tatt i bruk for vannskjerming av lagre i bergrom.

Vannskjermingen, markedsført under betegnelsen tunnel-duk, er utført så luft- og vanntett at strenge krav til luftfuktighet tilfredsstilles. Et underjordisk kaffelager i Bergen er siden 1982 holdt nedfuktet ved hjelp av et lite avfuktningsanlegg. Det er til nå montert over 300 000 m² tunnelduk med over 60 000 vann-tette boltegjennomføringer.

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Beskrivelse

PE-skumutforingen består av matter av ekstrudert polyetylenskum limt sammen i baner med hensiktsmessig størrelse. Banene henges opp i gjennomgående bolter og bueformete stigebånd montert langs tunneltversnittet. Banene monteres etter taktekkingsprinsippet og bolte-gjennomføringene tettes ved pakning på frem- og bak-skive.

Frostisolasjon

Handelsproduktene med den mest egnete tykkelse er 45 mm, tilstrekkelig for isolasjon ved frostmengder opptil 15 000 hoC. Ved høyere frostmengder er det funnet mest hensiktsmessig å legge to lag matter.

Brennbarhet

Vanlig PE-skum er lett brennbart, og det har derfor vært forutsatt at brannhemmete kvaliteter skulle benyttes. Fullskala brannforsøk med ulike fabrikater skum utført i en nedlagt vegtunnel i 1987 viste at en fullt utviklet bilbrann ville antenne isolasjonen etter få sekunder, og brenne ut innen to minutter. Det er derfor satt begrensninger for bruk av PE-skum.

Erfaringer med flere bilbranner under vanlig trafikk har vist at forløpet har vært langt mindre dramatisk enn ved forsøksbetingelsene. Enten har bilbrannen blitt slukket før antennelse av PE-skummet, eller så har brannen utviklet seg så langsomt at PE-skummet har smeltet ned før antennelse.

Begrensninger og ulemper

Det har vist seg vanskelig å oppnå full vannsikring av boltehull og skjøter. Skummet er mekanisk svakt, og kan utsettes for hærverk og tyveri. Overflaten følger en noe utjevnet bergkontur og utseende blir deretter.

Glipper mellom overlappene gir anledning til pumping av kaldluft, med fare for isdannelse på oversiden av hvelvet, som tåler lite islast. Materialet er vanskelig å holde rent og brennbarheten setter grenser for anvendelsen.

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Fordeler

Mattene er elastiske, lett bøyelige og forener lav vekt og lav varmeledningsevne med med høy diffusjons-motstand. PE-skumutforing er enkel å montere og lett å tilpasse ulike bergkonturer og overganger mellom ulike tunneltverrsnitt. Reparasjon foretas også enkelt og billig. Den er spesielt egnet til sikring av eldre og trange tunneler med liten trafikk. Videre har den sin fordel for avskjerming av punktlekkasjer eller vann-gardiner i frostsonen.

BRANNBESKYTTETE PE-SKUM MATTER

Der PE-skum ønskes benyttet utover de begrensninger som er fastlagt i vegnormalene, kreves det brann-beskyttelse. Denne kan utføres ved påsprøyting av betong eller andre brannbeskyttende materialer. Dette krever at vanlig sprøytebetong må legges på i minst 60 mm tykkelse.

Mere varmeisolerende typer lettbetong som utføres ved tilsetning av perlitt, lecakuler, polystyrenkuler etc, kan redusere nødvendig tykkelse til 30 mm. For å øke heft og styrke tilsettes første lag sprøytebetong stålfiber.

Det er stilt spørsmål om hvor lenge sprøytebetongen vil hefte til PE-skummet. Før lengre tids erfaringsgrunnlag foreligger bør ikke stålfiberarmert sprøytebetong erstatte armeringsnett.

PE-skum/sprøytebetong-hvelvet har den fordelen at det er tettere enn bare PE-skum for pumping av kaldluft på oversiden av hvelvet, samtidig som det er sikret mot brann, tyveri og hærverk. Forøvrig har den de samme ulemper som PE-skum; utseendet og vanntettingen.

TUNNELDUK

Bakgrunn

Telt og haller av duk har fått en stadig økende anvendelse, og er etterhvert også tatt i bruk for vannskjerming av lagre i bergrom.

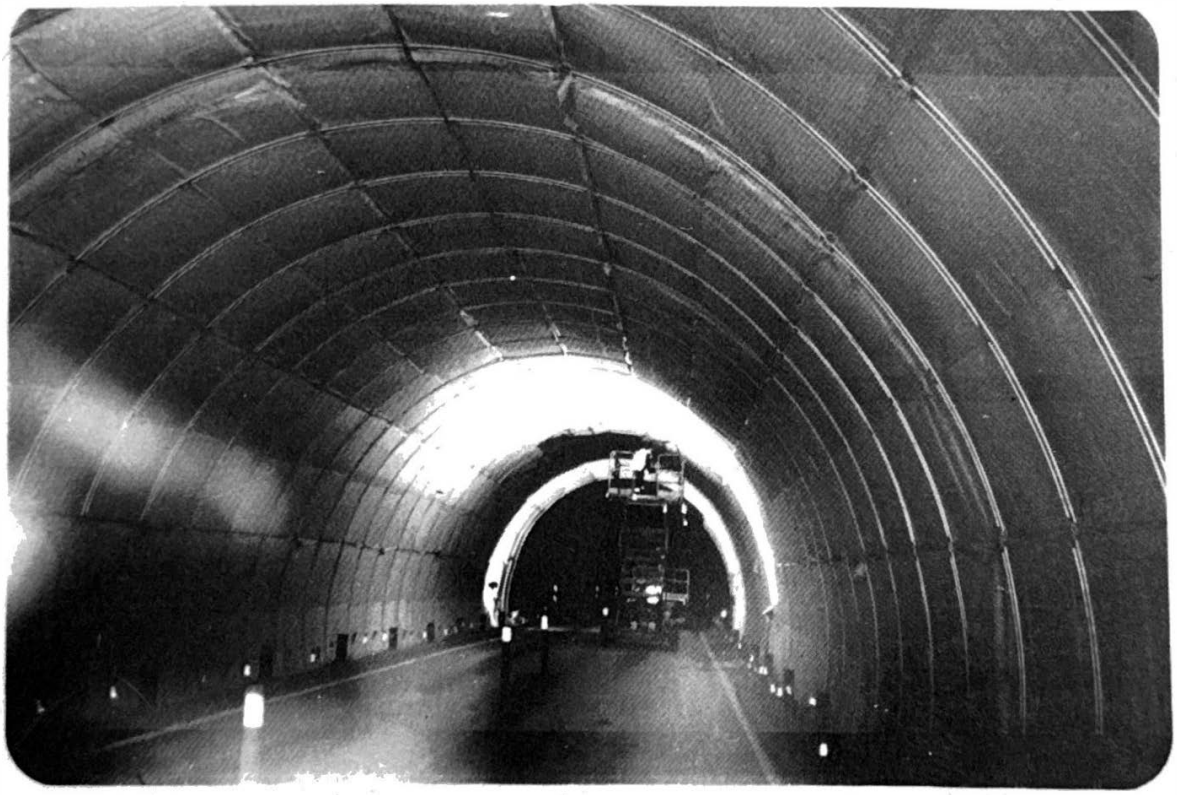
Vannskjermingen, markedsført under betegnelsen tunnel-duk, er utført så luft- og vanntett at strenge krav til luftfuktighet tilfredsstilles. Et underjordisk kaffelager i Bergen er siden 1982 holdt nedfuktet ved hjelp av et lite avfuktningsanlegg. Det er til nå montert over 300 000 m² tunnelduk med over 60 000 vann-tette boltegjennomføringer.

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Beskrivelse

Tunnelduken består av PVC-belagt 9x9 polyesterduk med vekt på 700 g/m² med betegnelse Protan kvalitet 55401. En forsøksstrekning utført høsten 1989 i Bjørnebakktunnelen, Sunnfjord, ble montert etter samme metode som for lagerhaller i bergrom. Dette viste seg å være for svakt, på grunn av lufttrykksvariasjonene fra trafikken. Ny monteringsmetode, med stålrørsbuer istedenfor wireoppheng ble utviklet. Den blir nå montert på samme måte som WG tunnelmatte.

Kledningen blir varmluftsveiset, og denne utførelsen oppgis å bli like tett som duken forøvrig. Til bolte-gjennomføringer benyttes det doble gummipakninger, skiver og muttere.



Figur 4. Hvelv av tunnelduk (uisolert)

Holdbarhet mot frost.

Observasjoner av prøvemontasjer viser at is som gradvis dannes i form av tynne flak på duken, løsner på grunn av rystelsene fra trafikken, og faller ned til grøft etterhvert som den dannes. Dette blir videre undersøkt ved prøvemontasjer i tunneller med større frostmengder.

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare

På grunn av milde vintre, til og med på forsøksstrekning på Aurlandsfjellet, har hvelvet ikke blitt utsatt for de ønskete frostmengder. En dimensjonering for islast vil imidlertid sannsynligvis ikke by på problemer for konstruksjonen.

Fordeler

Montert tunnelduk har en lav pris, kan leveres i mange kvaliteter med hensyn til vev og tykkelser, og den er sterk, med høy rivestyrke.

Den har god motstandsdyktighet mot dråpeslitasje, kjemikalier og olje ved vanlig bruk, men gis en tilsetning for å hindre soppangrep.

Montasjetiden er kort og tunnelduken er billig og enkel å reparere og holde ren. Den er lite plasskrevende, og riktig oppstrammet gir den en fin linjeføring.

Den er klassifisert som brannsikker. Leverandøren tilbyr 5 års garanti for vanntettheten.

Begrensninger og ulemper

Ulempen ved fuktisolering med tunnelduk i vegtunneler ligger hovedsakelig i konstruksjonens mangel på stivhet. Den kan utsettes for hærverk, ødelegges lett ved brann, og slitasje mot bergvegg på grunn av trafikkinduserte rystelser kan forårsake hulldannelse. Forsøkshvelv i Festningskaien vegtunnel i Bergen vil gi nærmere opplysninger om trafikkslitasjen.

FROSTISOLERT TUNNELDUK

Bakgrunn

Selv om moderat frysing bak forsøkshvelvet i Bjørnebakk-tunnelen viste at det var muligheter for at løsningen ikke ble utsatt for islast, ble det besluttet å utvikle og prøve et felt med frostisolert hvelv. Dette ble montert i 1990 i Stanghelle-tunnelen i Hordaland.

Beskrivelse

WG tunnelmatte består av mineralullmatter diffusjonstett innsveiset i tunnelduk. Mattene lages i størrelse 2400 mm X 6000 mm, og mineralulltykkelse 50 mm, men kan spesifiseres etter behov.

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Tunnelmatten monteres ved hjelp av U-profil, bakrør og rørbånd. Matten klemmes mot bakrør ved hjelp av stående rørbånd. Alle festebolter føres gjennom ved matteskjøt. Gjennomføringene vannsikres ved doble gummipakninger.

Fordeler

Matten er mere tung og dempende på bevegelser forårsaket av trafikken. Den er også betydelig mere motstandsdyktig mot påkjørsler og nedfall, ellers som for tunnelduken.

Ulemper

Som for tunnelduken.

HVELV AV BETONGELEMENTER

FRITTBÆRENDE BETONGHVELV

Norges Statsbaner innførte tidlig ferdigelementer i betong til utforing av tunneler som alternativ til full utstøping eller murverk.

Som regel ble det imidlertid utført kontaktstøp i veggene som takelementene ble fundamentert på. Denne løsningen er meget utsatt for lekkasjer, i skjøter og spesielt ved buefundamentet.

Løsningen er også benyttet av Statens Vegvesen, bl.a i tunnel E18 Fosskollen, Lier. Her ble det montert et frittbærende hvelv av ferdigelementer støpt utenfor tunnelen. For å sikre plass for montering og eventuell reparasjon av membranen, ble tunneltverrsnittet utvidet med 1.5 m. Membranen besto av glassfiberarmerte asfalt-matter påsveiset fra grøft til grøft. til tross for en del nedfall av stein og sprøytebetong er det bare registrert hull i membranen et par steder.

Fordelen med denne metoden er høy kvalitet, som har resultert i at det ikke har vært nødvendig med vedlike-hold for vann og frost.

Ulempene var elementenes høye vekt, og at membran-løsningen krevet så stor plass. Dette medførte høye anleggskostnader, men dersom vedlikehold over tid tas med, blir totalkostnadene rimelige.

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare

HVELV AV LETTBETONG

For å møte kravene om frostisolering, lettere håndtering og transport ble elementer av lettbetong tilbudt anlegg i 1988-89. Hvelv av denne typen ble først montert i Bånnåsen tunnel i Porsgrunn. Til nå er det montert ca 6 km med lettbetonghvelv i vegtunneler.

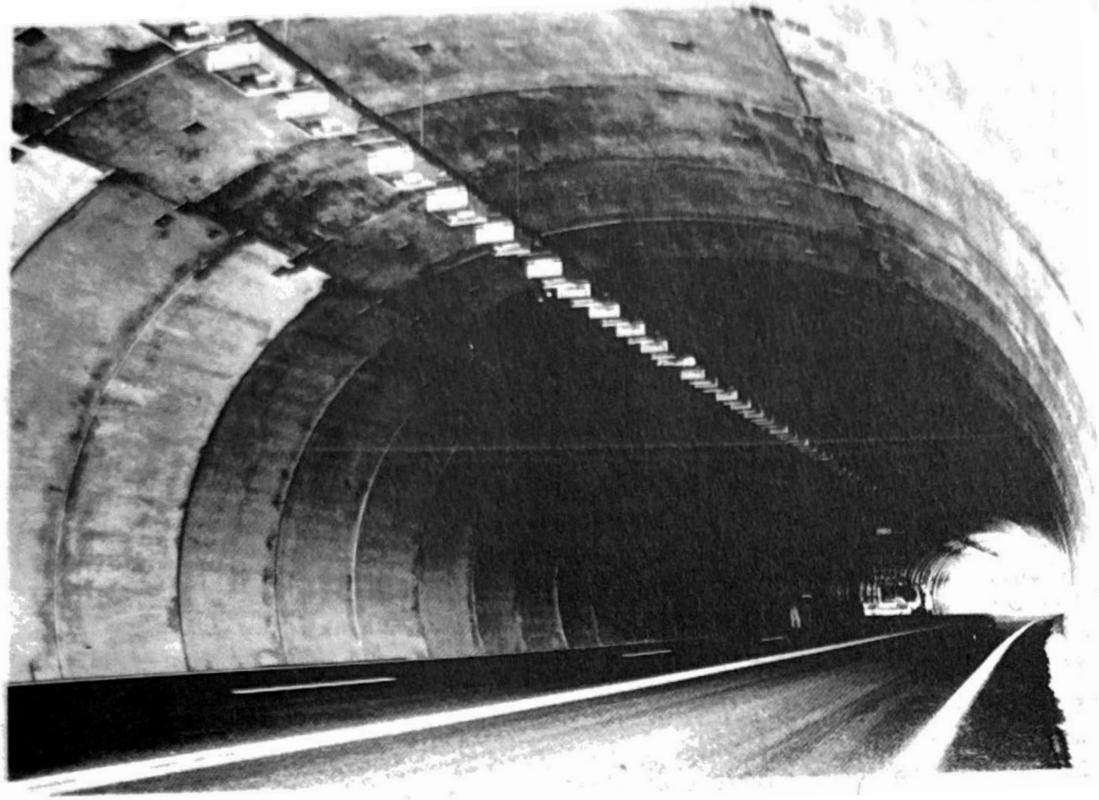
Beskrivelse

Løsninger introdusert i 1989, har vært under kontinuerlig utvikling ettersom erfaring er vunnet. Det er spesielt fuktsikringen som har budt på problemer, både i elementskjøter og fordi elementene er stabilisert mot påkjørselskrefter ved gjennomgående bolter. Hvelvene har bestått av 4-leddsbuer, 3-ledds buer samt 2-ledds buer med plasstøpte veggelementer. Støpingen av elementene foregår i fabrikk, utbygd for høy produksjon og streng kvalitetssikring.

Monteringen av elementene utføres raskt og enkelt med spesialutstyr, og foregår ved at veggelementene monteres og forankres i bergveggen med bergbolter. Dernest reises takelementene på veggelementene og forankres ved at et bergbor føres gjennom et hull i elementet, og bores til spesifisert dybde. Dernest føres bolten inn og forankres med polyester.

Fuktsikring ble først utført med ulike fugemasser, men nå kreves heldekkende membran. Membranbanene legges på hvelvet, skjøtes og trekkes frem etterhvert som elementene monteres. Før boltehullet bores, brennes det hull for boret i membranen. Fuktsikringen av bolte-hullene utføres ved å utstyre bergbolten med dryppbrem, samt injisere hurtigskum omkring bolten mot hullet i membranen.

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 5. Hvelv av lettbetong

Ulemper

Fuktsikringen har ikke uventet budt på problemer, idet løsningene ikke har vært tilstrekkelig bearbeidet for dette, slik som løsningen i Fosskollen var. En fuktsperre ved elementskjøter, slik som for sandwichhvelvene, lar seg vanskelig utføre i betong. Dernest er betong i seg selv ikke et fuktsikringsmateriale

Skjøtingen av elementene er vanskelig, og metoden krever en gjennomtenkt og fagmessig utført fuktisolasjon. Det arbeides med løsninger for dette.

Betongelementmetoden er ikke så fleksibel at det blir rasjonelt å utføre endringer i tunneltverrsnittet.

Fordeler

Betonghvelvet er meget motstandsdyktig mot de fleste laster som kan påføres. Således tåler det nedfall av 1 tonns steinblokker fra en høyde av 1 m, noe som gjør det mulig å redusere på bergsikringen. Lettbetongen kan skrus og spikres i som i tre.

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Elementene er lett utskiftbare, og har god brann-motstand. Montering av lengre, rette strekninger med samme tverrsnitt muliggjør konkuransedyktige anleggs-kostnader. Dersom utførelsen blir vanntett, vil også vedlikeholdskostnadene bli lave.

CON-FORM TUNNELELEMENTER

Bakgrunn

Con-form tunnelelementer er utviklet ut fra betong forskalings- elementer, som har vært på markedet i ca 15 år. Ferdige veggelementer består av en sandwich av PUR-isolasjon, skummet mellom to betongplater.

Det første montering foregår for tiden på veganlegget Vinterbru- Vassum syd for Oslo, der det ialt skal monteres i 7.5 km's lengde. På dette anlegget benyttes en løsning der elementene forankres med gjennomgående bolter. Ved en løsning uten bolter er mønefugen utført slik at det oppnås en statisk hvelvvirkning fra fundament til fundament.

Beskrivelse

Hvelvet er treleddet, takelementer på 2.5 m og veggelementer på 5 m bredde. I elementene benyttes det armeringsnett på hver side, med 4 cm overdekning til ytterflater, og 1 cm til isolasjonsskum. Det brukes betong C45, men et v/c-forhold på 0.4.

PUR-skummet ble ikke anbefalt av Veglaboratoriet, og bedriften satte igang et utviklingsarbeid for å benytte det anbefalte XPS- skum isteden. Dette lyktes innen tidsfristen, og produksjonen går meget bra.

Montering

Produksjonsprosessen er lagt opp slik at elementene transporteres direkte fra produksjonen til montering i tunnelen. Derved unngås mellomlagring og unødig håntering, og faren for brekkasje reduseres.

For å oppnå best mulig stabilitet, spesielt under montering, er takelementene forskjøvet 1.25 m i forhold til hverandre.

For å redusere brekkasje, øke nøyaktigheten og produksjonen er det utviklet rasjonelle montasje-maskiner med hydraulisk styrte vakuumplater.

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Fuktisolering

Løsningen forutsetter heldekkende membran, noe som er vanskelig å få til ved den bolte-stabiliserte løsningen. Det brennes hull for boltene i membranen, og boltehullene tettes ved skumming etter montering av bolt med dryppbrem. Membranen monteres parallelt med vegg- og takelementmontasjen.

I tillegg tettes fugene fra veisiden for å motstå miljøbelastninger og belastning fra vedlikehold (vask etc). Fugingen foretas med bunnlist og silikon. Materialet gir en elastisk fuge som er lett å reparere.

Ulemper

Fuktsikringen er foreløpig et problem ved den bolte-stabiliserte løsning og metoden krever en gjennom-arbeidet og fagmessig utførelse. Et viktig forhold som har betydning, er at det ikke er avsatt spesiell plass for membranmontasjen. Det arbeides med løsninger for forbedret teknikk. Betongelementmetoden er ennå ikke så fleksibel at den tilbyr rasjonell utførelse i prosjekter som har hyppige endringer i tunneltverr-snittet.

Fordeler

Betonghvelvet er meget motstandsdyktig mot de fleste laster som kan påføres. Styrke mot fallaster gjør det mulig å redusere på den permanente bergsikringen. Dersom utførelsen blir vanntett, vil også vedlikeholds-kostnadene bli lave.

Kvaliteten på elementene og monteringsarbeidet gjør det mulig å redusere brekkasjeandelen til under 1 o/oo av totalvolum. Montasjehastigheten øker proporsjonalt med nøyaktigheten. En har oppnådd en betydelig produksjon ved prosjektet.

KOMBINASJONSLØSNINGER

En rekke anlegg blir pr idag utført med vann og frost-sikring som er kombinasjon av to løsninger. Den nye Granfoss-linjen i Oslo er utført med lette stålhvelv (type Miljøhvelv) i taket og betong i veggene. Andre løsninger har kombinasjonen PE-skum/sprøytebetong i taket og betongelementer i veggene.

Konkuransen i markedet endrer seg fra et anlegg til det neste, og det er vanskelig å si hvilke løsninger som vil stabilisere seg. Kravene til kvalitet er økende, og det mellom kvalitetsmessig likeverdige produkter kampen vil stå.

© 1993 Svenska Bergteknikföreningen och författare

REFERENSER

Grønhaug, A. 1992 Vann- og frostsikring av vegtunneler. Fjellsprengningskonferansen, NFF, 1992

Grønhaug, A. 1992 Vann- og frostsikring av veg-tunneler. Sk- kurs Stavanger 1992. Int. rap. nr 1566

Grønhaug, A. 1991. Vann- og frostsikring i vegtunneler. FoU- programmet Tunneler og undergrunnsanlegg 1989-1991. NTNF/NGI/SINTEF/VEGLABORATORIET

Grønhaug, A. et al. 1990. Full-scale firetesting of linings in road tunnels. Second Symposium on Strait Crossings, Trondheim, Norway 10-13 June 1990. NRRL Int. rep. no 1450

Grønhaug, A. 1990. Designs for water and frost prevention in road tunnels. Int. Conf. Tunnels and Water, Madrid June 1988. NRRL Int. rep. no. 1454.

Pedersen, K.B. 1991 Aktuelle vann- og frostsikrings-metoder i vegtunneler. NRRL Int rap. nr 1496.

Pedersen, K.B. 1992 Måling av trykk- og sugekrefter fra tunge kjøretøyer i Holmestrandtunnelen. NRRL Int. rap. nr 1546

Pedersen, K.B. 1989. Frost insulation in Norwegian road tunnels - New solutions. Int. Symp. Proc. Progress and Innovation in Tunnelling. Toronto, Canada 9-14 September 1989.

Pedersen, K.B. et al 1987. Vann- og frostsikring av vegtunneler. NRRL Int. rap. nr 1314.

Pedersen, K.B. 1980. Frostinntrengning i vegtunneler. NRRL Int. rap. nr 948.

Statens Vegvesen 1992. Normaler 021 Vegtunneler. Vegdirektoratet.

Statens Vegvesen 1992. Håndbok 163. Funksjonskrav og dimensjoneringsregler. Vegdirektoratet.

Øvstedal, Ø 1992. Vann- og frostsikring av vegtunneler. Utforming av anbud, standardisering. NRRL Int. rap. nr 1566