

Publikasjon nr. 91

Arne Grønhaug

Tunnelkledninger

Vann- og frostsikring i vegtunneler

Omslagsdesign: Svein Aarset, Oslo
Forsidebilde: Erik Endre, Vegdirektoratet
Redaksjon/
produksjonskoordinator: Helge Holte, Vegdirektoratet
Trykk: GCS as, Oslo
Opplag: 2000

Forord

Dette arbeidet presenterer resultatene fra prosjekt P523 «Tunnelkledninger», Delprosjekt E «Oversikt over kledninger». Rapporten er utarbeidet av Norsk Vandbyggningskontor A/S (NVK A/S) på oppdrag fra Vegteknisk avdeling.

Delprosjektets hovedmål har vært å utarbeide en enhetlig oversikt over de 18 mest interessante tunnelkledningene for vegtunneler. Utvalget er foretatt ut fra ønsket om å presentere løsninger som har gitt verdifulle erfaringer, løsninger som kan ha et utviklingspotensiale, samt de mest benyttede konstruksjonene pr. 1996. Metoder for vann- og frostsikring som ikke kan defineres som «tunnelkledninger» er ikke tatt med i presentasjonen. Dette gjelder metoder som injeksjon, bruk av frostporter og aktiv ventilering.

Kledningens viktigste oppgave er å fjerne vann og is fra tunnelrommet. Fuktsikring/tekking er derfor et fagområde som behandles i et eget delprosjekt. Det er imidlertid nødvendig å presisere at både materialvalg og utførelsesteknikk for de ulike deler av konstruksjonen griper så inn i hverandre at en totalløsning krever nøye avstemning. For eksempel går ikke alle membraner godt sammen med frostisolasjon med plastskum.

Rapporten er utformet som et hjelpemiddel ved grovsortering av aktuelle valg av løsning for de enkelte prosjekter når funksjonskrav er definert. Videre er hensikten at oversikten kan være et hjelpemiddel ved revisjon av Håndbok 163: «Vann- og frostsikring i tunneler» og 021 «Vegtunneler».

Prosjektet har bestått i innsamling, bearbeiding og sammenstilling av publiserte rapporter, artikler, tegninger, og anbud som gjelder beskrivelser og erfaringer for de mest aktuelle løsninger. Det er derfor ikke utført egne utredninger av arbeidsgruppen i dette prosjektet.

I vårt arbeide har vi fått innspill fra høringsrunde, konferansebidrag og ellers fra fylkenes vegkontorer, Vegdirektoratet og fra de fleste leverandører av tunnelkledninger. Vi retter en takk til samtlige for verdifull medvirkning.

Beskrivelse og presentasjon er utført av Vidar Gjelsvik fra NVK A/S. I tillegg har følgende personer fra NVK A/S deltatt: Bjørn Dahl, Oddbjørn Aasen og Jan Sverre Kinn, fra Vegteknisk avdeling; Edvard Iversen, Mona Lindstrøm og prosjektleder Arne Grønhaug.

Vegteknisk avdeling, august 1998

Innhold

1 Innledning	7
2 Materialkrav	8
2.1 Betong	8
2.2 Sprøytebetong	8
2.3 Isolasjonsmaterialer	9
2.3.1 Generelt	9
2.3.2 PE-skum	9
2.4 Membran	9
2.5 Bolter og festedetaljer	10
2.6 Renhold og vedlikehold	10
3 Betonghvelv	11
3.1 Innledning	11
3.2 Membranisolert utstøpning	12
3.3 Frittstående betonghvelv	16
3.4 Betongelementer	19
3.4.1 Generelt	19
3.4.2 Lettbetongelementer	22
3.4.3 Frostisolerte betongelementer	24
3.4.4 Uisolerte betongelementer	26
3.4.5 Sandwich betongelementer	27
3.5 PE-skum og armert sprøytebetong	30
3.6 Ekeberghvelvet	33
4 Lette konstruksjoner	35
4.1 Innledning	35
4.2 Platekledning	36
4.2.1 Generelt	36
4.2.2 Platetak med takrenne	38
4.2.3 Uisolert platehvelv	40
4.2.4 Frostisolert platehvelv	41
4.3 Tunnelduk	43
4.4 Miljøhvelvet	47
4.5 Sandwich plastelementer	51
5 Kombinerte hvelv	54
5.1 Innledning	54
5.2 Ekeberghvelv og betongelementer	55
5.3 Miljøhvelv og betongelementer	57
5.4 Platekledning og betongelementer	59
6 Litteratur	61

1 Innledning

Bergsikring er tradisjonelt blitt løst ved utstøpning av betonghvelv. Der det forekom vannlekkasjer, ble det utført dobbel utstøpning med mellomliggende fuktsperre (membran), en metode som er meget kostbar. Tidlig på 1960-tallet ble bolting innført for bergsikring i den overveiende del av vegtunnelene, og slik at selve bergoverflaten utgjorde vegger og tak. Der det forekom vannlekkasjer, medførte denne utførelsen problemer med vann og is.

Omfattende utbygging av vegtunneler, for en stor del på lavtrafikkerte strekninger, er bakgrunnen for utviklingen av nye metoder for vann- og frostsikring. Det viste seg rasjonelt å løse problemene med bergforsterkning og vannsikring adskilt. Dette har ført til løsninger som både er teknisk tilfredsstillende og vesentlig billigere enn membranisolert utstøpning. For å sikre tilfredsstillende levetid er det nå et generelt krav om 50 års levetid for alle installasjoner i vegtunneler.

De utviklede kledningene forutsetter at det er mulig å drenere grunnvannet ved tunnelbygging. Dersom det kreves tiltak mot senkning av grunn- og overflatevann, kreves det en udrenert kledning påført i hele tverrsnittet, det vil si en membranisolert utstøpning. Dessuten må det utføres forinjeksjon som vannsikring i omgivende berggrunn.

Flere av løsningene som er utviklet baseres på lette hvelvkonstruksjoner av blant annet tynne stål- eller aluminiumsplater. Disse konstruksjonene er mer sårbare for kjemisk og mekanisk påkjenning enn betonghvelv. Derfor kreves det nå at lette konstruksjoner skal typegodkjennes av Vegdirektoratet før de kan tas i bruk.

Økt hastighet, ÅDT og tung trafikk har ført til større påkjenninger på konstruksjonene for vann- og frostsikring. Dessuten har det i de siste årene vært oppført billigere løsninger med lavere kvalitet enn tidligere. Det har derfor vært nødvendig å gjennomføre undersøkelser av de aktuelle belastningene og stille krav til dimensjonering og ikke minst til brannsikkerhet.

Muligheter for nye materialer og utførelser for kledninger vurderes kontinuerlig både av Statens Vegvesen, leverandører og produsenter. Denne publikasjonen behandler løsninger pr. i dag, og vurderinger av nye konstruksjoner er ikke tatt med. For å sikre spesifisert levetid må nye konstruksjoner gjennom en omfattende dokumentasjons- og godkjenningsprosedyre.

I presentasjonen av de utvalgte tunnelkledninger er disse inndelt i 3 hovedgrupper:

- **Betonghvelv**, som består av isolerte eller uisolerte prefabrikerte betongelementer eller sprøytebetong belagt på hvelv av PE-skum.
- **Lette konstruksjoner**, som består av isolerte/uisolerte stål- eller aluminiumsplater. I tillegg er det beskrevet en kledning som består av polyesterplater og isolasjon i en sandwich-konstruksjon.
- **Kombinerte hvelv**, som består av betongelementer i veggene, og andre konstruksjoner i heng. Disse kan være enten uisolerte eller isolerte.

2 Materialkrav

Materialkravene for tunnelkledninger beskrives i Statens Vegvesens håndbøker og normaler, som revideres etter behov. For tiden gjelder bestemmelsene i Håndbok 163 «Vann og frostsikring i tunneler - Funksjonskrav og dimensjoneringsregler» (H163). Bare generelle krav skal gjengis her.

Generelt gjelder at alle materialer brukt i tunnelkledninger skal være bestandige mot miljøpåkjenninger fra vann, frost, vegsalt, avgasser, asfalt- og oljesøl i tunnelen innenfor en levetid av 50 år. Vann- og frostsikringskonstruksjoner skal være dimensjonerte for statiske og dynamiske lastvirkninger.

Lette konstruksjoner er et unntak fra dette. Krav til materialer brukt i lette konstruksjoner vil bli fastsatt i forbindelse med egen typegodkjenning.

2.1 Betong

Betonghvelv skal generelt dimensjoneres for islast og krav til frostisolasjon. Materialkrav for miljølaster vurderes for hvert enkelt prosjekt. Dette gjelder for eksempel krav til betongkvalitet, armeringsoverdekning, impregnering eller annen beskyttelse, samt vedlikehold. Armeringsstoler skal tilfredstille spesielle krav med hensyn til miljøklassifisering og utforming slik at de ikke skader tilliggende konstruksjoner verken mekanisk eller kjemisk.

Betong som vender mot vegsiden skal ha en glatt og lys, lett vaskbar overflate. Hvis membran skal ligge mot betongkonstruksjonen kreves en overflatejevnhet og/eller en beskyttelsesduk som sikrer at membranen ikke skades.

Forøvrig gjelder de generelle krav for betong som er gitt i Håndbok 025 «Prosesskode-1. Standard arbeidsbeskrivelse for vegarbeidsdriften».

2.2 Sprøytebetong

Ved dimensjonering av hvelvkonstruksjoner av sprøytebetong benyttes største tykkelse i egenlast, og minste tykkelse i materialstyrke.

De samme materialkrav mot miljølaster gjelder for sprøytebetong som for vanlig betong. Overflater av sprøytebetong skal i veggene jevnes ut ved glatting. I soner med høy miljøbelastning påføres en lys og varig beskyttende overflatebehandling som letter renholdet og fjerning av forurensingene. Krav til overdekning skal minst tilsvare miljøklasse MA (NS 3473).

Sprøytebetong kan benyttes med stålfiberarmering eller nettarmoring ifølge gjeldende forskrift. Unntak er sprøytebetong brukt som avrettingslag og underlag for membran. Denne utføres uten armering mot membranen.

Betongen skal ha en sammensetning som er gunstig med hensyn til svinn og innstøping av eventuelt armering og festedetaljer. Dessuten skal den sikres gode herdebetingelser.

2.3 Isolasjonsmaterialer

2.3.1 Generelt

Som isolasjonsmateriale benyttes plastskum av polyetylen, benevnt PE, ekstrudert polystyren, benevnt XPS, eller mineralull etter krav gitt i gjeldende forskrift. Andre isolasjonsmaterialer krever spesiell godkjenning. Plastskum kan reagere med en del andre materialtyper, og derfor må bruk av materialer som skal ligge i kontakt vurderes spesielt.

2.3.2 PE-skum

PE-skum leveres i kompakte eller laminerte matter produsert ved ekstrudering. De finnes vanligst i tykkelse 45 mm som benyttes for frostmengde $F_{10} \leq 8000 \text{ h}^\circ\text{C}$. For øvrig beregnes isolasjonstykkelsen ut fra krav til U-verdi.

Platene skal være bestandige mot avgasser, olje og salt, og ikke være skummet opp med klorfluorkarboner (CFC).

Platene skal ikke benyttes uten brannbeskyttelse. Før påføring av brannbeskyttelse skal det gjennomføres nøye tetthetskontroll av montert hvelv.

I tillegg til generelle krav til materiale og brannsikring kreves at platene har tilfredsstillende stivhet og er egnet for belegging av brannsikring.

2.4 Membran

Membranen skal hindre at vann trenger igjennom øvrige konstruksjoner og ut i tunnelrommet. Den består av ett eller flere tynne lag av materialer med meget lav permeabilitet. Kledninger skal suppleres med en heldekkende membran såfremt vannsikringen ikke er ivaretatt ved hjelp av annen vanntett kledning mot bergoverflaten. Således krever lette kledninger ikke membran der plateskjøtene er utført ved korrugering, overlapp og popnagler.

Med betegnelsen heldekkende menes at membranen er sammenføyet til et kontinuerlig dekke uten hull, og at alle gjennomføringer (bolter, etc.) er vannsikret etter vanlige metoder innen taktekking. Det samme gjelder membranens avslutninger i alle retninger.

Foliemembraner kan bestå av PVC, men andre plasttyper som for eksempel EPDM, PP og PE er til vurdering. Dessuten er fortsatt asfaltmembraner aktuelle for mange typer kledninger. Nærmere detaljer om membraner vil bli utredet i en separat publikasjon.

Valg av membran avhenger av monteringsmåte, vekt, styrkekrav, tilpasningsbehov, detaljer, kontrollhensyn og pris. Det skal utføres kvalitetssikring av alle leveranser. Skjøting skal foregå med sveis ifølge spesifikasjonen for den aktuelle membran.

Foliemembraner kan ikke brukes i direkte kontakt med et hvilket som helst annet materiale, fordi det kan finne sted kjemiske reaksjoner eller migrasjon av tilsetningsstoffer. For eksempel kan mykneren i PVC vandre over i XPS-isolasjon ved direkte kontakt. Der det ikke finnes dokumentasjon bør det utføres kompatibilitets-testing.

2.5 Bolter og festedetaljer

Bærende bolter skal være forankret i stabilt berghvelv, og testes i henhold til NS 5800. Alle bolter og festemateriell i stål skal korrosjonsbeskyttes med forsinking og eventuelt lakkering i henhold til gjeldende forskrift. For bolter som støpes inn med sementmørtel, må det treffes tiltak for å bevare heften mellom mørtel og sinkbelegg.

For stål- og aluminiumskonstruksjoner vil krav til materialkvaliteter og overflatebehandling bli fastsatt i forbindelse med typegodkjenning.

2.6 Renhold og vedlikehold

Kledningene skal ha en utforming som sikrer et enkelt vedlikehold og muligheter for utskifting av enkeltkomponenter. Overflatene skal være bestandige mot vaskerutiner med de metoder som er foreskrevet for den aktuelle kledning.

3 Betonghvelv

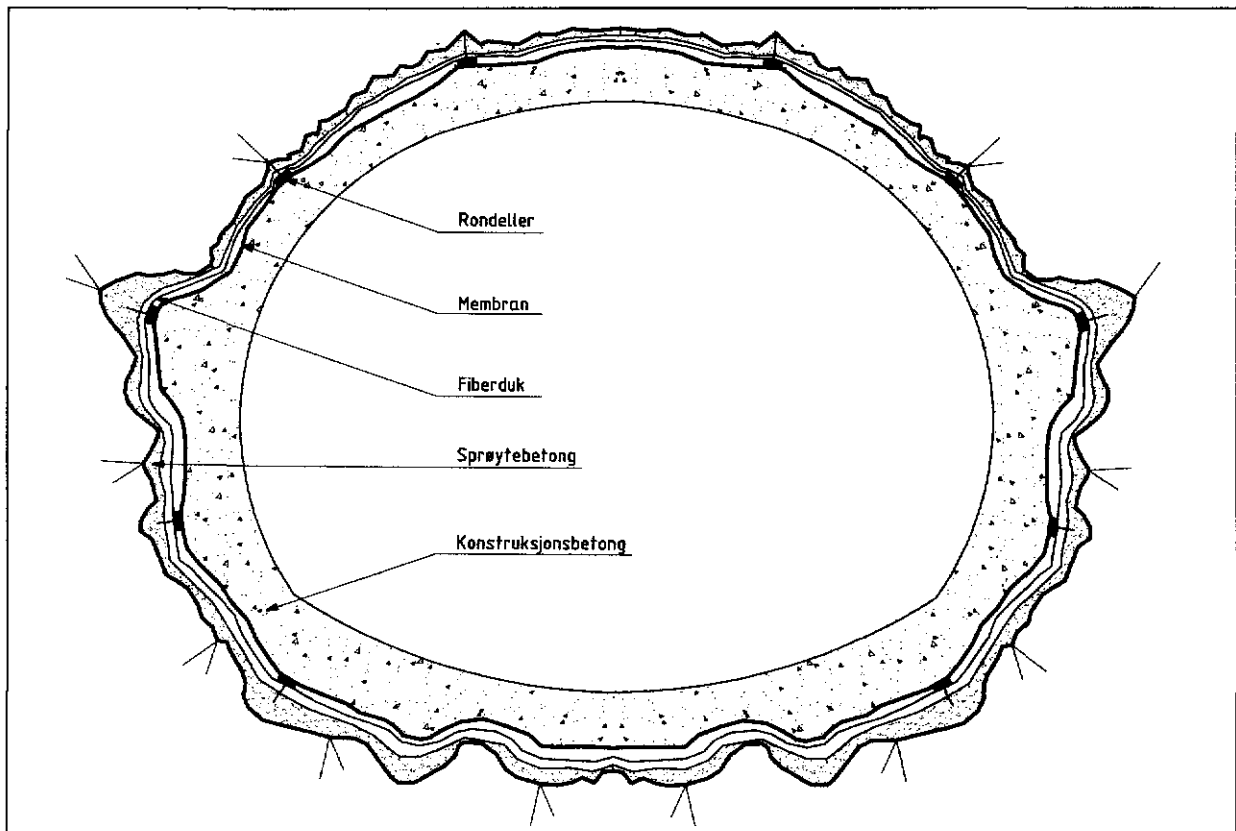
3.1 Innledning

Tunnelkledninger i betong og sprøytebetong har vært i bruk i norske vegtunneler i noen år. Aktuelle løsninger som blir presentert er følgende:

- *Membranisolert utstøpning*, høy standard, for svak berggrunn, motorvei-, og by-tunneler
- *Fritt bærende betonghvelv*, prefabrikerte, lite brukt, høy standard kledning
- *Betongelementer* og lettbetongelementer, prefabrikerte og forankret i bergbolter
- *PE-skum med armert sprøytebetong* som brannbeskyttelse.

Kledninger av PE-skum med brannsikring av lett sprøytebetong < 6 cm har vært benyttet i de siste 10 år. Denne løsningen vurderes som uaktuell ved fremtidige prosjekter, og er ikke tatt med i denne presentasjonen.

Den enkelte tunnelkledning er presentert i tabellform som angir bruksområder med aktuelle funksjonskrav, referanseprosjekter, en generell omtale av løsningen, samt konstruksjonsdetaljer. Materialer og materialkrav er supplert i forhold til kapittel 2, og utforming og utførelse er presentert for aktuelle tunnelprofiler. Til slutt i hver presentasjon gis en kort omtale av spesielle erfaringer knyttet til løsningen.



Figur 3.2 Skjematisk tverrsnitt av tunnel med sprøytebetong som avretting og membranisolert utstøpning, vanntett løsning.

Materialer og materialkrav

Avjevningen med sprøytebetong skal ha en minimum tykkelse på 50 mm og en overflatejevnhet i henhold til figur 3.3 og nedenstående tabell. Tilslaget til sprøytebetongen har d_{maks} 4-8 mm. Det anvendes naturlig, ikke knust tilslag og betong av kvalitet C45 MA.

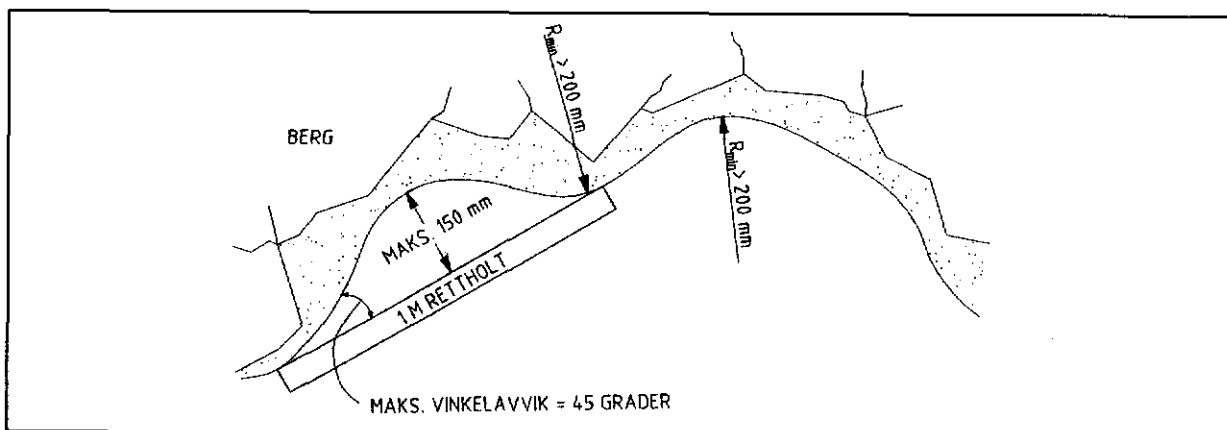
Drenerende og beskyttende filterduk skal bestå av polypropylen med en minstevekt på 500 g/m². Tykkelsen er gitt ved gjeldende forskrifter, og avhenger også av hvor mye vann som skal dreneres bort.

Ustøpingsarbeidet vil føre til store påkjenninger for membranen, og dette er en vesentlig faktor for valg av membran. Der det brukes foliemembraner er det av kontrollhensyn fordelaktig med en transparent membran, se gjeldende forskrift.

Utforming og utførelse

Det er to måter å utføre membranisolert utstøpning på; ved foliemembran eller ved den tradisjonelle metoden med asfaltbaner. Asfaltbaner er lite fleksible, mens de fleste membranfolier har høy bruddforlengelse og kan tåle noe deformasjon. Asfaltbaner krever et så jevnt underlag at de bare kan limes på en avjevningsstøp utført med en glatt og nøyaktig montert forskaling. Derimot er det tilstrekkelig med avjevning med sprøytebetong ved bruk av foliemembraner.

Asfaltmatten klebes til betongoverflaten med varm bitumen eller sveises til denne ved oppvarming, og blir på denne måten en kontaktmembran. Den blir således mindre ømfintlig for skade og spredning av eventuelle lekkasjer. En lekkasje i en plastmembran vil lettere



Figur 3.3 Krav til underlag av sprøytebetong for legging av foliemembran.

kunne bre seg ut i et større område, og bli vanskeligere å lokalisere. Derfor blir foliemembraner seksjonert for å begrense spredning dersom lekkasjer skulle oppstå.

Armering bør unngås, men skulle dette være nødvendig, må det foretas spesielle tiltak for å beskytte membranen under armeringsarbeid og utstøping, ikke minst ved endene av armeringsstengene. Det bør også støpes gjennom støpeluker slik at betongen ikke får for stor fallhøyde, dette vil kunne skade membranen og presse armeringsstengene ut mot membranen.

Sprengning

Detaljerte og strenge krav til planlegging og utførelse av bore- og sprengningsarbeidet er nødvendig for å oppnå en jevnest mulig kontur, med minst mulig behov for avjevningbetong. For å oppnå dette må en detaljert kvalitetssikring gjennomføres.

Utførelse med foliemembran

Skarpe kanter og store groper vil føre til store påkjenninger når støpetrykket påføres foliemembranen. Det skal ikke benyttes fiberarmering i sprøytebetongen for å unngå perforering av membranen. Mengden betong som går med til avretting vil avhenge av ujevnheter i bergoverflaten. Et minstekrav til utjevning av bergoverflaten er derfor sprøytebetong med (se figur 3.3):

- Største tillatte vinkel på overflaten : 45°
- Minste radius : 200 mm
- Største fordypning ved 1 m rettholt : 150 mm.

For beskyttelse av membranen mot ru overflate på sprøytebetongen festes en filterduk til sprøytebetongen med rondeller laget i samme materiale som membranen. Rondellene skytes fast med spikerpistol, og skal senere tjene som festepunkter for membranen. Det brukes gjerne 3 rondeller pr. m² i hengen og 2 pr. m² i veggene. Ved bruk av 3 mm membran bør antall rondeller i hengen økes til 4.

I taket punktsveises membranen mot filterduk og rondeller ved hjelp av varmluft. I sålen trenger også membranen innfesting for å hindre membranen i å gli ned mot midten i anleggsperioden. Snarest etter legging må den beskyttes med en påstøp for å hindre skader ved anleggstrafikk og håndtering av materialer.

Rondellene skal være konstruert mekanisk svakere enn membranen slik at rondellen vil ryke før membranen under en eventuell påkjenning. Slike påkjenninger kan unngås/redueres ved at rondellene festes i fordyppningene (skålbunnene) i sprøytebetongen på en slik måte at membran og filterduk blir liggende godt inntil men ikke for stramt. Hulrom mellom membran og konstruksjonsbetong bør fylles opp med støp av hensyn til forbruk av mer kostbare injiseringsmasser i tilfelle lekkasjer.

Det er vanskelig å dokumentere at membranen er tett og ikke ble skadet under montasje. Dessuten vil utstøpingen av hvelvet kunne føre til hard påkjenning for membranen. For å redusere følgen av slike påkjenninger seksjoneres membranen ved hjelp av radielle fugebånd med sperreankere slik at det etableres lukkede seksjoner av rommet mellom membranen og betonghvelvet. I hver celle monteres injeksjonsslanger for å gi mulighet til å tette eventuelle lekkasjer.

Utførelse med prefabrikerte asfaltmembraner

Denne membranen limes/sveises til underlaget og krever full understøttelse fordi den ikke har tilstrekkelig fleksibilitet til å tåle særlig tøyning. Betonghvelvet støpes som en kontaktstøp mot membranen slik at membranen blir klemt inntil avjevningstøpen og alle hulrom under membranen fylles med betong. Etter herdning må det injiseres betong for å kompensere for svinnet i betonghvelvet.

Betongen støpes ut i seksjoner på for eksempel 5 m lengde og minimum tykkelse på 300 mm. Hvis sålestøp skal utføres kan den støpes i seksjoner på for eksempel 10 m slik at skjøtene flukter med skjøtene i hvelvet.

Membranen må beskyttes mot endeforskaling ved utstøping av seksjoner. Det kan gjøres med PE-skum både i såle og hvelvstøp.

Kommentarer og erfaringer

Erfaringene viser at membrantekking krever at alle delarbeider blir tilpasset fuktsikringsarbeidet. Tilfredsstillende resultater krever:

- gode arbeidsplaner
- tilstrekkelig tid
- fagarbeid
- gjennomført kvalitetssikring.

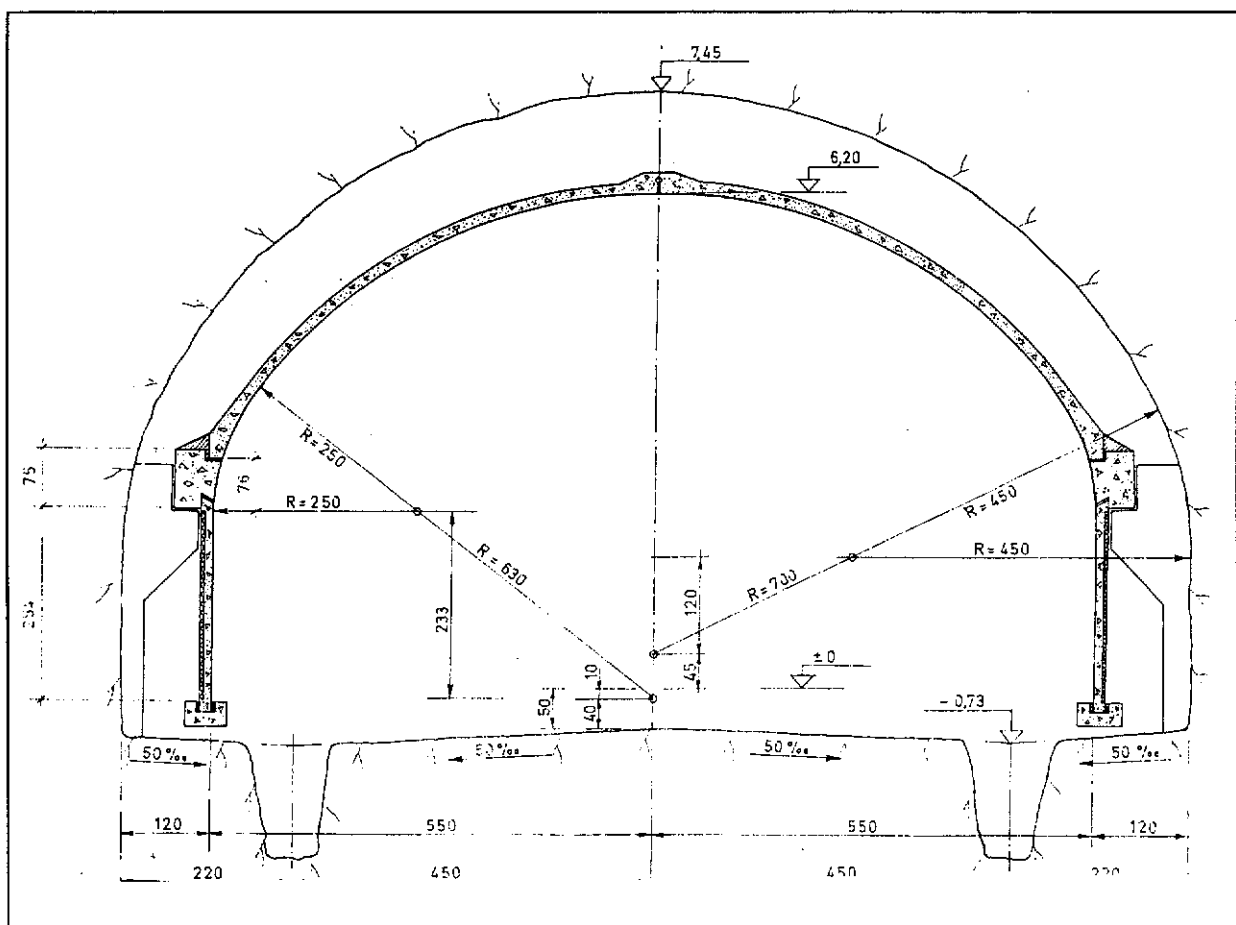
Reparasjonsarbeider blir sjelden vellykket og må unngås.

3.3 Frittstående betonghvelv

Bruksområde		Brukt på følgende prosjekter	
		Tunnel	Fylke
ÅDT	1 500-15 000	Fosskollen	Buskerud
Vegklasse	C-E		
Frostmengde, $F_{10}(h^{\circ}C)$	10 000-30 000		
Konstruksjonsdeler		Generelt	
1) Råsprengt og arbeidssikret bergoverflate 2) Svilleelement 3) Veggelement isolert med XPS 4) Bjelkeelement m/pålimt asfaltpapp ved bjelke-endene. 5) Takelement tekket med 45 mm EPS og et lag asfaltpapp (Aqarite)		Konstruksjonen er bygd opp av flere prefabrikerte betongelementer som sammen utgjør et hvelv bestående av vegger og tak. Mellom elementene er det brukt mørtel som fugemateriale. Se figur 3.4.	

Materialer og materialkrav

Bjelkeelementene er levert med asfaltpapp på endene, hvor de kommer i kontakt med opplegget. Takelementet er isolert med 45 mm ekspandert polystyren (EPS) og tekket med et lag asfaltpapp med sveiserims over alle overlappinger. Veggelementene består av 100 mm tykke betongplater isolert med 45 mm XPS.



Figur 3.4 Frittstående betonghvelv.

Øvrige krav er gitt i kapittel 2.

Utforming og utførelse

Tunneltverrsnittet utvides for å få plass til monteringen av elementene, og for å sikre plass til inspeksjon og reparasjon.

Bjelke-element

Bjelkene monteres på oppleggssøyler som er støpt fast i tunnelveggen, og justeres i riktig høyde ved hjelp av skolinger/shims. Se figur 3.5.

Bjelkene sikres mot velting ved hjelp av strekk-stropp ved oppleggene. Fugene mellom bjelkeendene skal justeres slik at de får lik bredde og slik at bjelkene får tilstrekkelig opplegg. Fugene mellom bjelker og opplager fylles med mørtel.

Takelement

Takelementet består av to halve hvelvelementer som monteres på bjelkeelementene og justeres på skolinger og/eller kiler.

Fugene mellom takelementene skal ha lik bredde og skal flukte med fugene mellom bjelkeendene. Fugene mellom bjelker og tak fylles med mørtel. Asfalt-papp og gummi-asfalt-matte fra taket trekkes ned over mørtelfyllingen. Se figur 3.5.

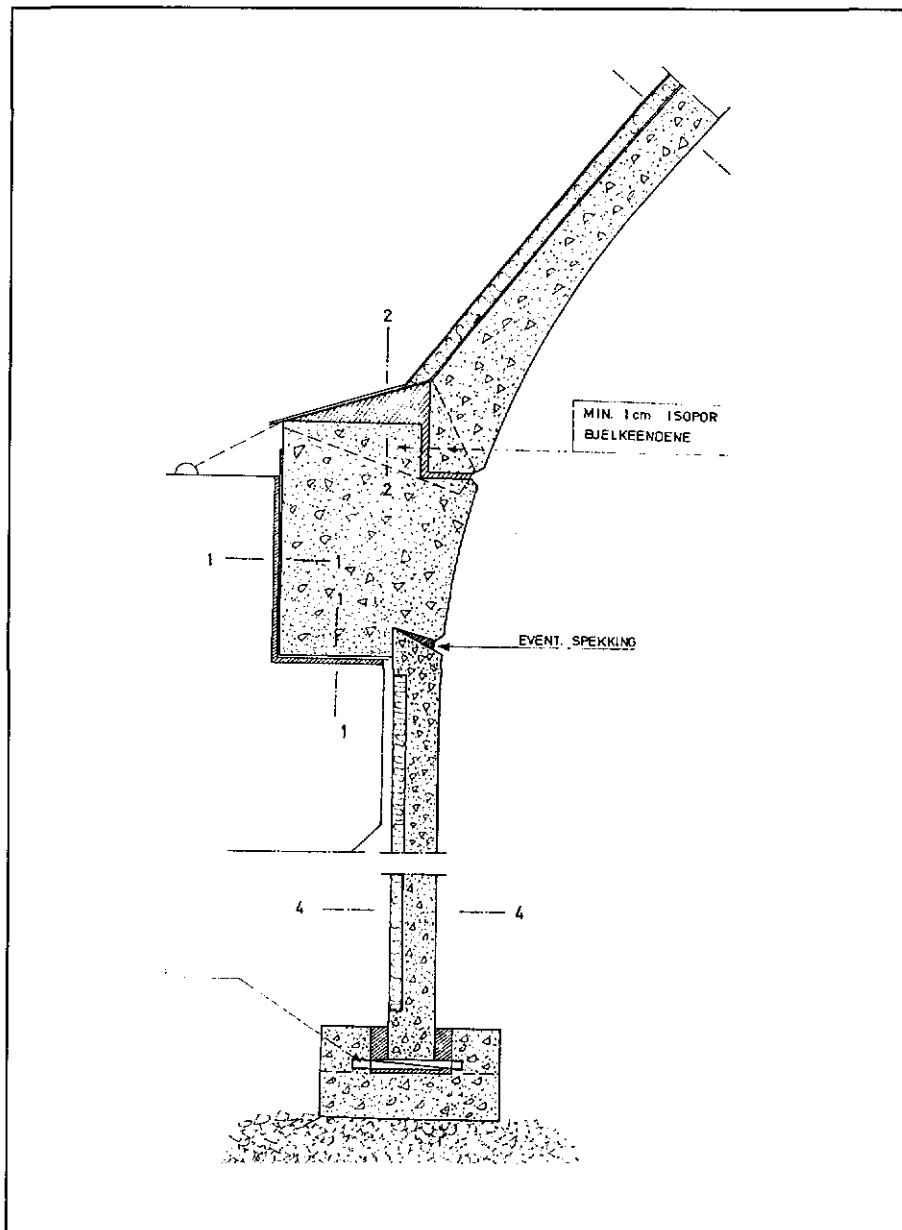
Sville-element

Disse monteres på kult og justeres i side/høyde-retning etter at veggelementene er montert, og underpakkes godt. Fugene skal flukte med fugene mellom bjelkeelementene.

Veggelement

Disse monteres på kiler på svillene og presses opp i utsparingen i bjelkeelementene slik at de står støtt. Fugene skal være parallelle og flukte med tilsvarende fuger i bjelker og tak.

Etter at alle elementene er på plass, fylles alle åpne fuger fra vegsiden med mørtel.



Figur 3.5 Detalj av elementopplegget for frittstående betonghvelv.

Kommentarer og erfaringer

Løsningen krever ekstra stort tverrsnitt for montasje, som medfører en merkostnad i forhold til andre løsninger. Det er imidlertid positivt at det blir god plass for inspeksjon på bergsiden av hvelvet.

Erfaringer viser at konstruksjonen fungerer meget bra, og krever lite vedlikehold. Neoprenpakninger mellom elementene i Fosskollen er blåst ut, men dette har ikke ført til problemer. Tunge elementer og høye anleggskostnader er hovedårsaken til at løsningen ikke er benyttet senere.

3.4 Betongelementer

3.4.1 Generelt

Konstruksjonen er bygget opp av 4-5 prefabrikerte betongelementer som til sammen utgjør et hvelv bestående av vegger og tak. Elementene er festet til fjell med bolter. Mellom elementene brukes neopren som fugemateriale. Se figurene 3.9, 3.10 og 3.11.

Løsningen kan utføres med elementer av lettbetong, eventuelt isolerte eller uisolerte betongelementer. De tre metodene er i prinsippet helt like og er her beskrevet samlet. Spesifikke opplysninger for den enkelte løsning er gitt henholdsvis i kapittel 3.4.2, 3.4.3 og 3.4.4. Detaljer som må beskrives spesielt er også illustrert i disse kapitlene.

En spesifikk løsning med bruk av isolerte sandwich betongelementer er beskrevet i kapittel 3.4.5. Isolerte og uisolerte betongelementer, som beskrevet i kapittel 3.4.3 og 3.4.4, er pr. 1996 ikke benyttet som helt hvelv, men kun som veggelement i kombinasjon med andre løsninger som for eksempel PE-skum og sprøytebetong, Ekeberghvelvet og Miljøhvelvet.

Materialer og materialkrav

Betongelementer utføres isolert eller uisolert avhengig av frostmengde. Ved bruk av lettbetong isoleres fundamentet ved behov.

Materialkrav er gitt i kapittel 2, og i Håndbok 163.

Utforming og utførelse

Fundament

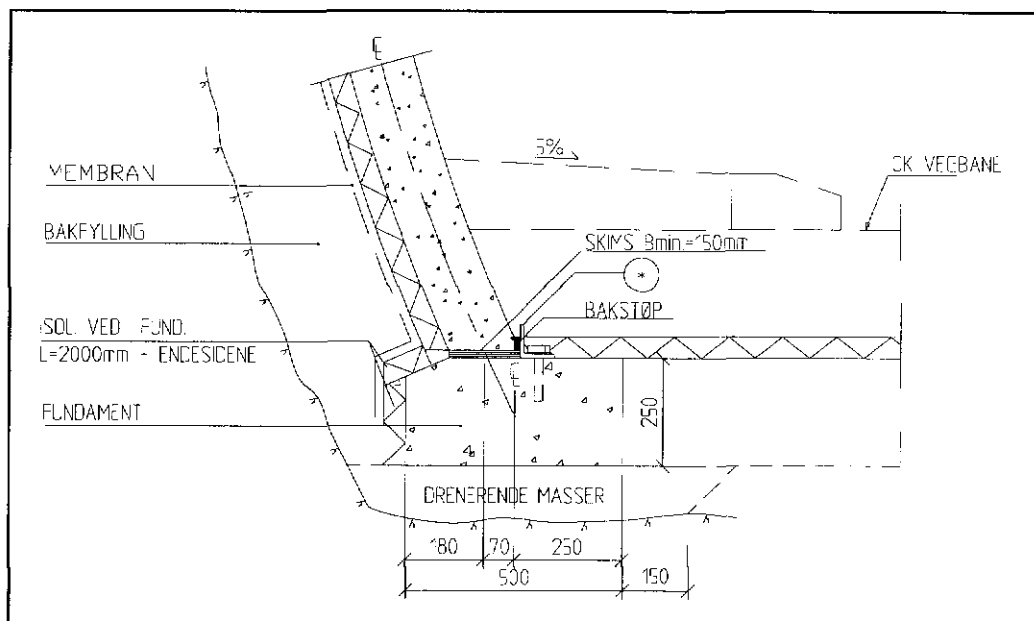
Fundamentene plasseres sentrisk under veggelementskjøtene og skal fungere som fundament/opplager for disse, se forslag i figur 3.7.

Veggelementet støttes sideveis med braketter av vinkeljern som er boltet til fundamentet.

Betongelementer i vegg

Veggelementene, som kan ha en lengde på opptil 6 m, plasseres på fundamentene og avstives sideveis med en bakfylling av drenerende og selvkomprimerende masse mot fjell for å sikre konstruksjonen mot påkjørsel. Bakfyllingen må ikke skade membranen. For eksempel kan sand eller Leca brukes. Elementet shimses til i høyden (se figur 3.6). På toppen av bakfyllingen støpes en betongplate ved elementskjøtene for å stive opp disse.

Membranen blir liggende mellom bakfyllingen og veggelementet og festes på toppen av dette slik at den klemmes mellom veggelementet og takelementet. Elementene festes med bolter til fjell. Boltens gjennomgang i membranen sikres med en klemmering med vannspærre. Alle fuger tettes fra vegsiden med bunnfyllingslist og fugemasse.



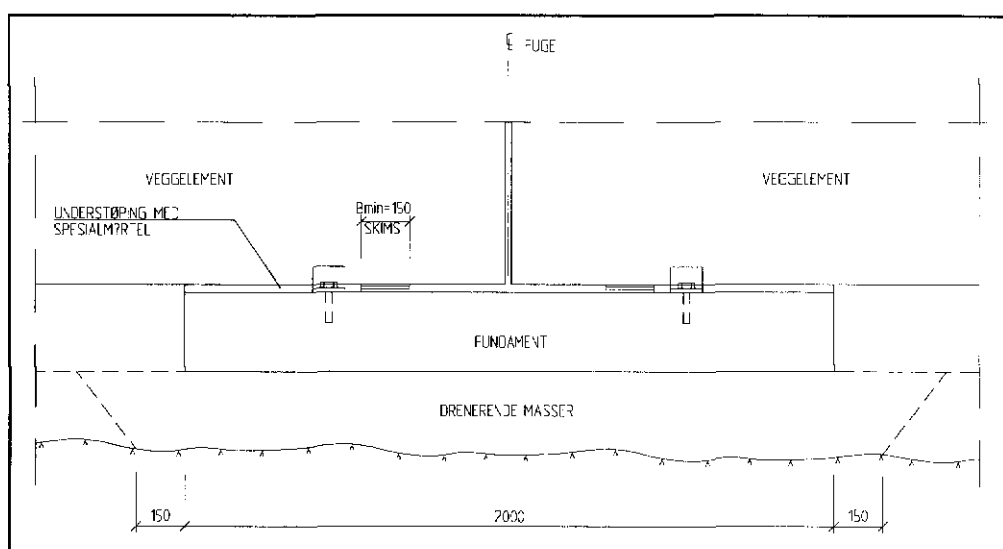
Figur 3.6 Tverrsnitt av isolert fundament for betongelementer.

Betongelementer i tak

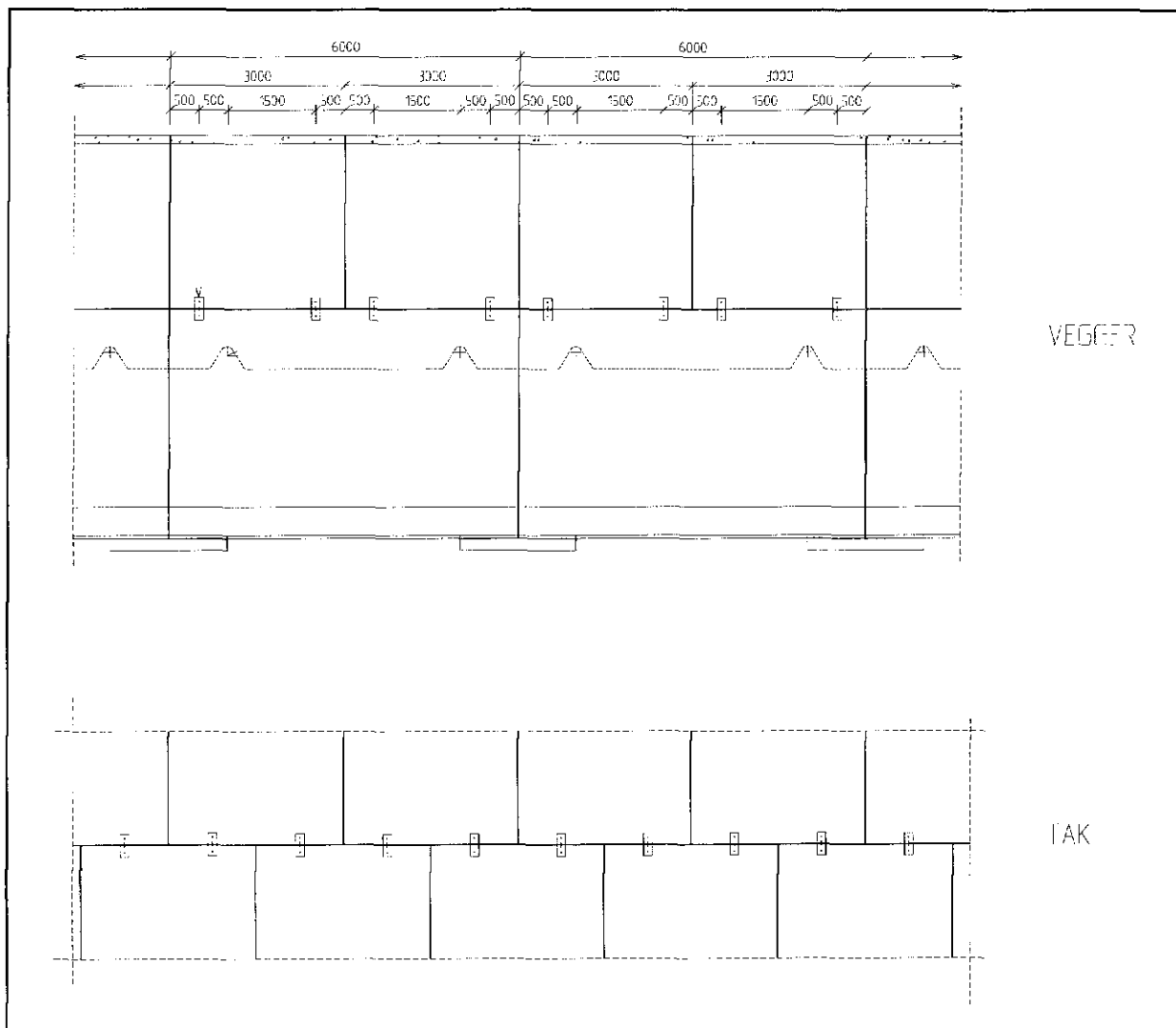
Elementene i taket er normalt halvparten så lange som veggelementene (3 m). Elementene på hver side av kjørebane monteres med en forskyvning i forhold til hverandre i lengderetning. Således vil ingen tverrgående fuger flukte i toppen av hvelvet. Dette gjøres for at elementene skal få bedre innfesting under montasje slik at sikkerheten ivaretas. Elementene festes i hverandre med sikkerhetsplater både i tak og side (se figur 3.8). Elementene i taket festes ikke med bolter, og utgjør et selvbærende hvelv.

Det kreves en overflatejevnhet på betongen slik at den heldekkende membranen ikke skades.

I taket legges elementene mot hverandre uten fugemateriale. Alle åpne fuger fylles fra veggisiden.



Figur 3.7 Lengdesnitt av uisolert fundament.



Figur 3.8 Montering av betongelementer i vegger og tak.

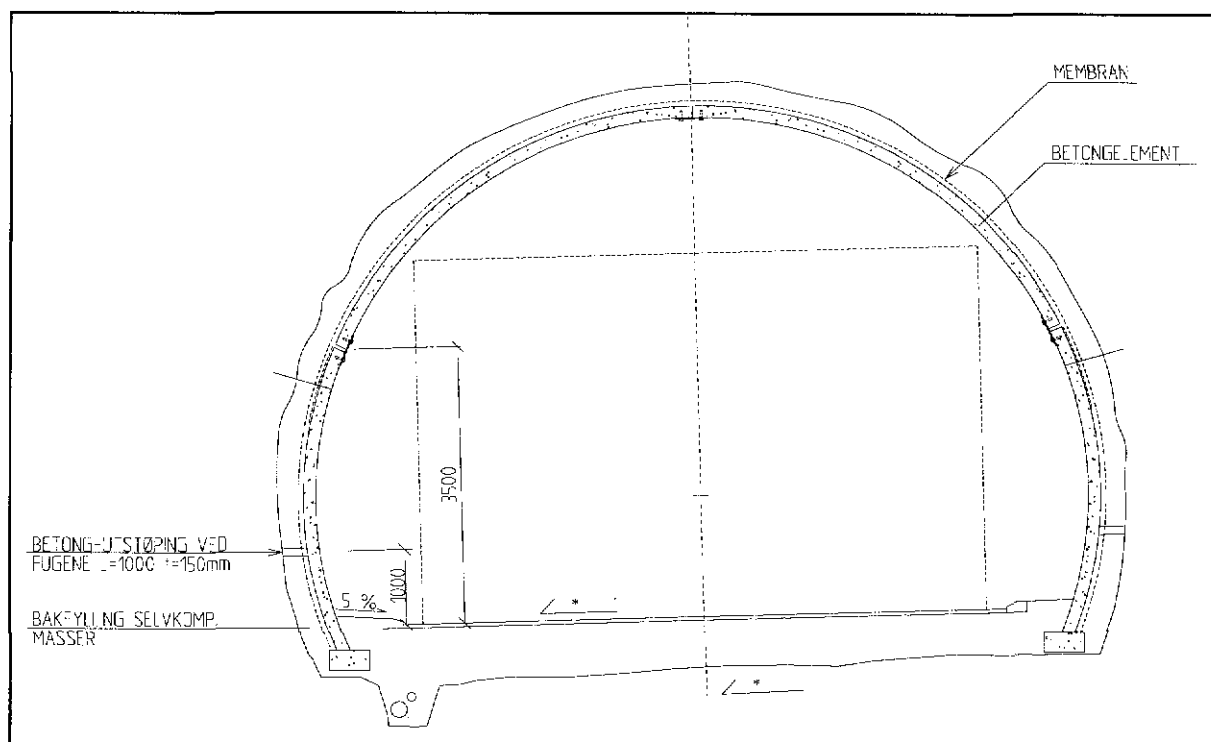
Kommentarer og erfaringer

Metoden er mest blitt brukt med lettbetongelementer. Frostisolerte og uisolerte betongelementer har først og fremst blitt brukt i kombinasjon med andre løsninger, som Miljøhvelv, Ekeberghvelv og PE-skum og sprøytebetong. Se kapittel 5.

Ved bruk av betongelementer alene gir metoden en komplisert element-geometri ved tverrsnittsforandringer.

3.4.2 Lettbetongelementer

Bruksområde		Brukt på følgende prosjekter	
		Tunnel	Fylke
ÅDT	1 500-15 000	Roa/Grua	Oppland
Vegklasse	C-D	Bokn	Rogaland
Frostmengde, F_{10} (h°C)	< 12 000	Steinbrekkatunnelen	Telemark
		Kjørbotunnelen	Akershus
		Porsgrunntunnelen	Telemark
Konstruksjonsdeler		Generelt	
1) Avrettingslag av drenerende masser 2) Plasstøpt fundament 3) Lettbetongelementer i tak og vegg, tykkelse 150 mm. 4) Bolter 5) Heldekkende membran		Generell beskrivelse av betongelementer som vann og frostsikring er gitt i kapittel 3.4.1. Under følger en spesifikk beskrivelse for bruk av lettbetongelementer. Hvelv av lettbetong utføres uten tilleggsisolering i tak og vegger. Fundamentet isoleres ved behov. Se figur 3.9.	



Figur 3.9 Hvelv av lettbetongelementer, generelt tverrsnitt.

Materialer og materialkrav

Fundamentet, som er i C45 MA betong frostisoleres med godkjent materiale etter behov.

Øvrige materialkrav er gitt i kapittel 2 og i Håndbok 163.

Utforming og utførelse

Fundament

Se generell beskrivelse i kapittel 3.4.1.

Fundamentet utføres som vist i figur 3.7, men understøpingen mellom fundament og vegg-element erstattes med frostisolasjon under veggskjøtene og i endene av fundamentet. Fundamentet frostisoleres og overtrekkes med membranen. Se figur 3.6.

Betongelementer i vegg

Se generell beskrivelse i kapittel 3.4.1.

Betongelementer i tak

Se generell beskrivelse i kapittel 3.4.1.

Kommentarer og erfaringer

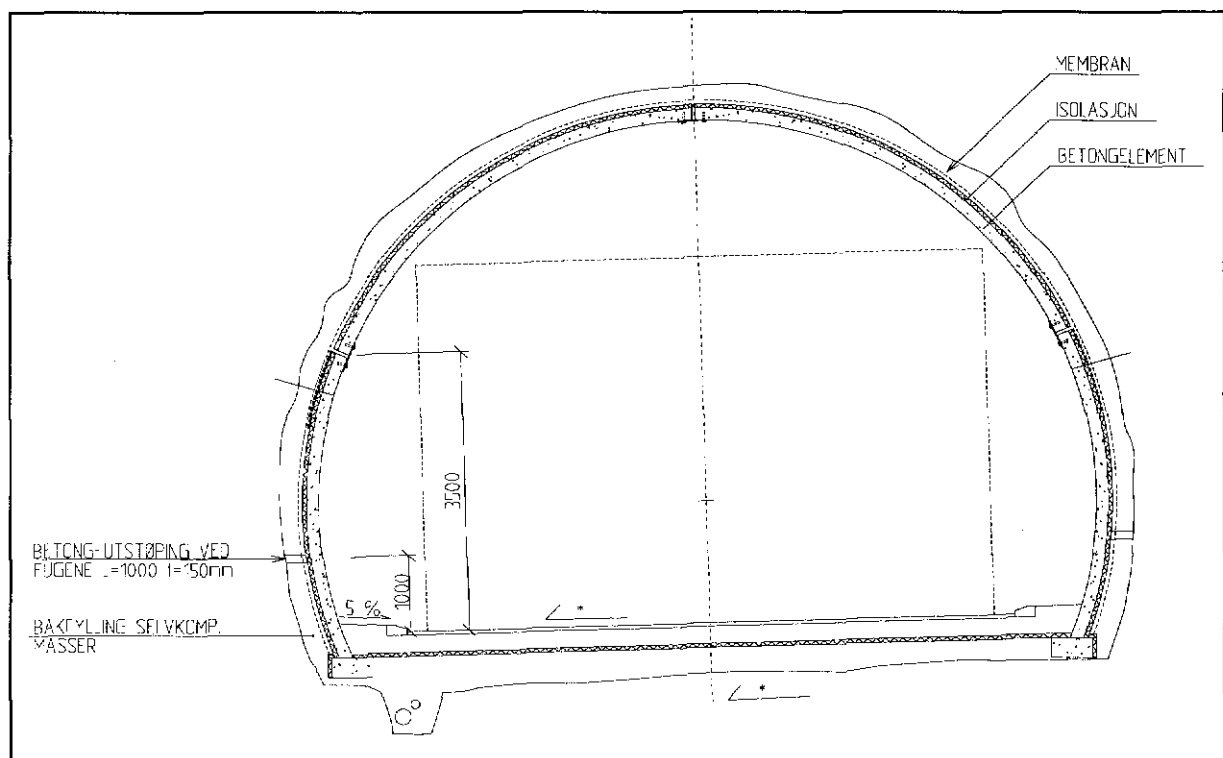
De første prosjekter med denne metoden hadde fuktproblemer. De ble utført uten membran, og med fuger og boltegjennomføringer med silikon som tettemasse.

Det har også vært forsøkt med membran som kun dekker elementskjøtene, i kombinasjon med vertikale dreneringsrenner. Dette ga ingen vanntett løsning, i tillegg ledet gjennomgående armeringsstoler vannet gjennom betongen. Som følge av disse forhold er krav om heldekkende membran innført.

Med heldekkende membran fungerer konstruksjonen bra med hensyn til vann og frostsikring, men det har vist seg at lettbetongelementene er sårbare for brekkasje ved montering og ved påkjørsel.

3.4.3 Frostisolerte betongelementer

Bruksområde		Brukt på følgende prosjekter	
		Tunnel	Fylke
ÅDT	5 000-30 000	Strandveien (veggelement)	Akershus
Vegklasse	C-E	Rælingentunnelen	Akershus
Frostmengde, F_{10} (h°C)	10 000-30 000	Stavengåsentunnelen	Akershus
		Eidsvoll (veggelement)	Akershus
		Ekeberg tunnelen (veggelement)	Oslo
		Blødekjær (veggelement)	Aust-Agder
Konstruksjonsdeler		Generelt	
1) Avrettingslag av drenerende masser 2) Plasttøpt fundament 3) Betongelementer i tak og vegg, tykkelse 150 mm. 4) Frostisolasjon 5) Heldekkende membran 6) Bolter 7) Fylling bak veggelement for sidestøtte ved fundament		Generell beskrivelse av betongelementer som vann- og frostsikring er gitt i kapittel 3.4. Under følger en spesifikk beskrivelse for bruk av frostisolerte betongelementer. Se figur 3.10.	



Figur 3.10 Hvelv av frostisolerte betongelementer, generelt tverrsnitt.

Materialer og materialkrav

Isolasjonen utføres i både fundament og hvelv, og skal festes mekanisk til elementene med korrosjonsbeskyttet festeranordning. Isolasjonstykkelsen beregnes for hvert enkelt tilfelle etter Håndbok 163 punkt 4.4.

Fundamentet frostisoleres og overtrekkes med membran.

Øvrige materialkrav er gitt i kapittel 2 og i Håndbok 163.

Utforming og utførelse

Isolert fundament

Se generell beskrivelse i kapittel 3.4.1, og figur 3.10.

Fundamentet utføres som i figur 3.7, men understøpingen mellom fundament og vegg-element erstattes med frostisolasjon under veggskjøt og i endene av fundamentet.

Betongelementer i vegg

Se generell beskrivelse i kapittel 3.4.1, og figur 3.10.

Betongelementer i tak

Se generell beskrivelse i kapittel 3.4.1, og figur 3.10.

Montering

Først monteres nøyaktig innmålte bolter for oppheng av membran og betongelementer. Deretter tres sammensveiste baner av membranen inn på boltene, og hullet tettes ved hjelp av doble pakninger som presses sammen. Til slutt tres betongelementene inn på boltene gjennom prefabrikerte hull (Rælingentunnelen).

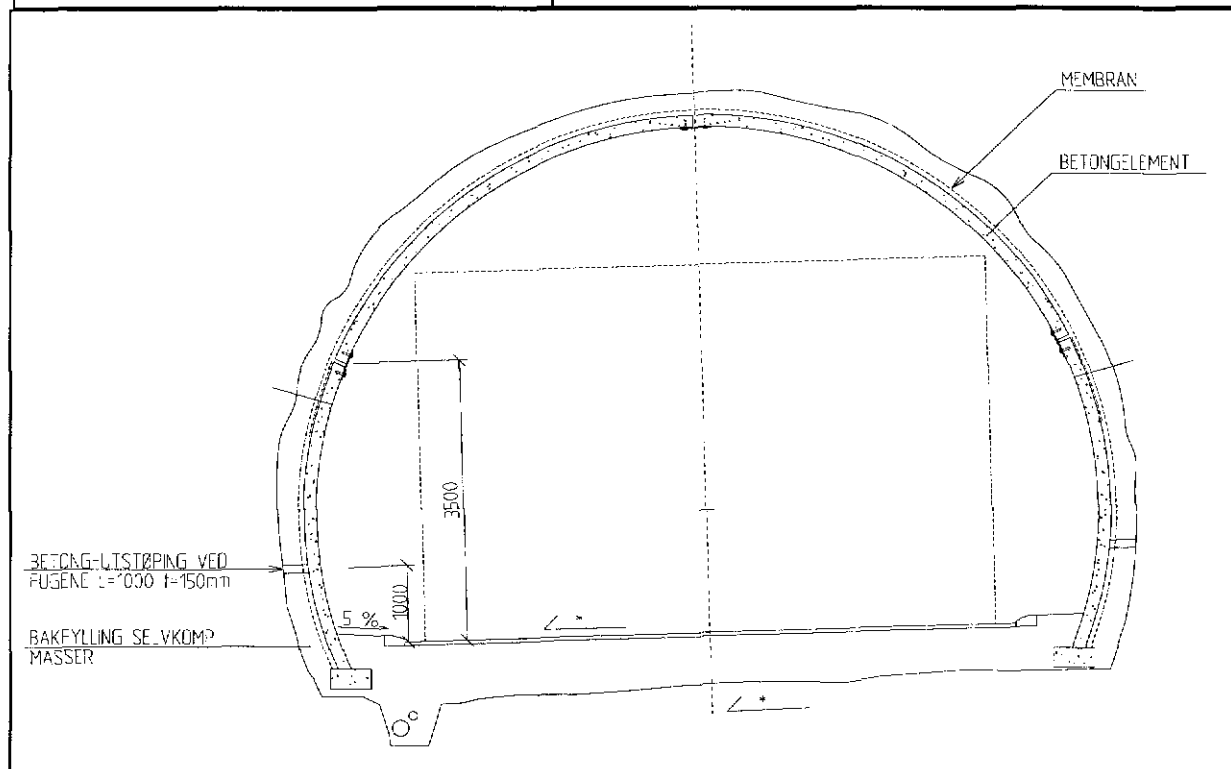
Kommentarer og erfaringer

Denne konstruksjonen er brukt på de to nye prosjektene Rælingentunnelen og Stavengåsentunnelen i Akershus. Forøvrig har flere tunneler betongelementer i veggene i kombinasjon med andre løsninger.

I Nordbyttunnelen på E6 i Akershus ble det brukt en type frostisolerte betongelementer med navnet ConForm. Dette er et «sandwichelement» som består av frostisolasjon mellom to lag betong. Denne konstruksjonen har så langt fungert bra, men elementenes tyngde kompliserer monteringen og eventuelle utskiftninger. Dagens utgave av ConForm har produktbetegnelsen Termo lining og er omtalt i kapittel 3.4.5.

3.4.4 Uisolerte betongelemerter

Bruksområde		Brukt på følgende prosjekter	
		Tunnel	Fylke
ADT	5 000-30 000		
Vegklasse	C-E		
Frostmengde, F_{10} (h°C)	< 8 000		
Konstruksjonsdeler		Generelt	
1) Avrettingslag av drenerende masser 2) Plasstøpt fundament 3) Betongelemerter i tak og vegg, tykkelse 150 mm. 4) Heldekkende membran 5) Bolter 6) Fylling bak veggelement for sidestøtte ved fundament		Generell beskrivelse av betongelemerter som vann- og frostsikring er gitt i kapittel 3.4.1. Under følger spesifikk beskrivelse for bruk av uisolerte betongelemerter. Se figur 3.11.	



Figur 3.11 Hvelv av uisolerte betongelemerter, generelt tverrsnitt.

Materialer og materialkrav

Hele konstruksjonen utføres uisolert.

Øvrige materialkrav er gitt i kapittel 2 og i Håndbok 163.

Utforming og utførelse

Fundament

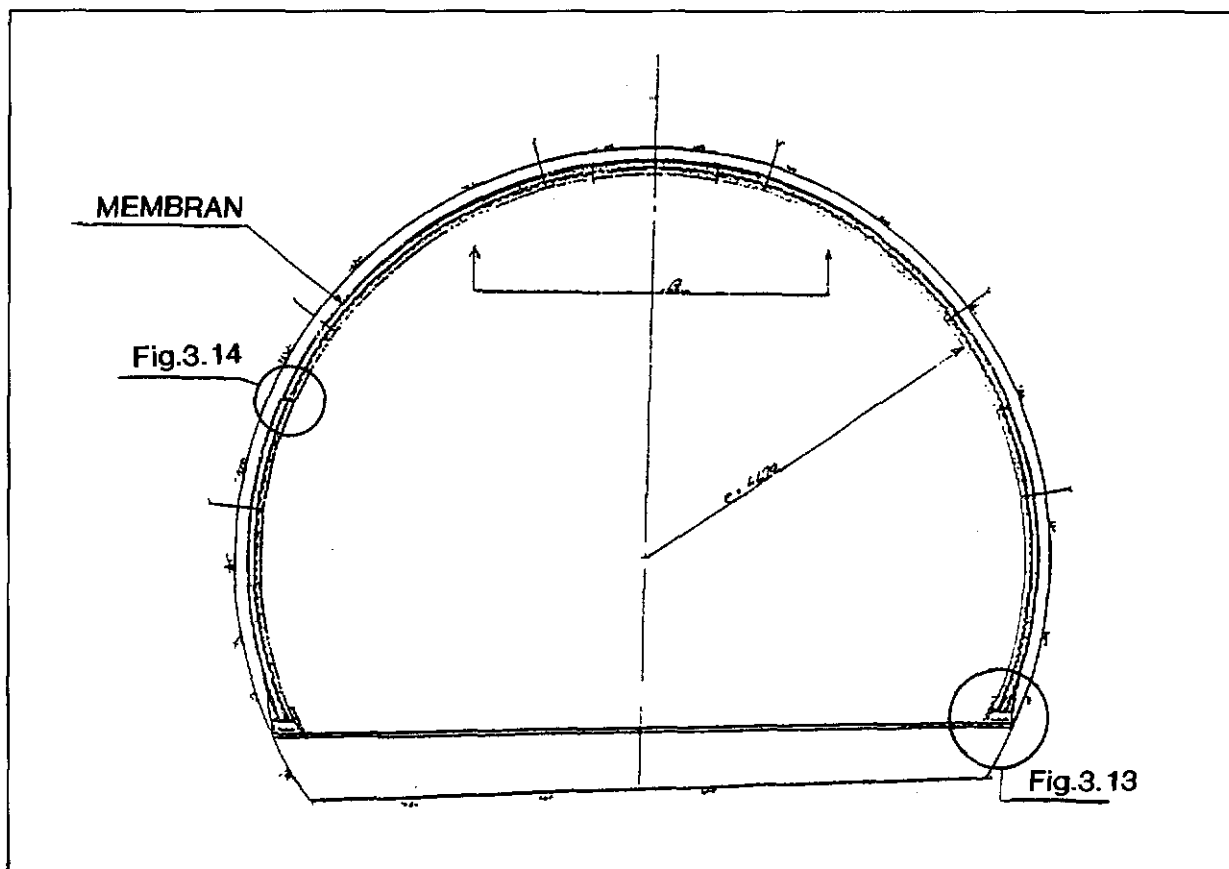
Se generell beskrivelse i kapittel 3.4.1, og figur 3.11. Fugen mellom fundamentet og veggen fylles med spesialmørtel som understøp. Membranen festes i fundamentet.

Betongelemerter i vegg og tak

Se generell beskrivelse i kapittel 3.4.1 og figur 3.11.

3.4.5 Sandwich betongelementer

Bruksområde		Brukt på følgende prosjekter	
		Tunnel	Fylke
ÅDT	5 000-30 000	Nordbytunnelen	Akershus
Vegklasse	C-E	Bekkestua	Oslo
Frostmengde, F_{10} (h°C)	10 000-30 000		
Leverandør	Veidekke		
Produktnavn	Termo Lining		
Konstruksjonsdeler		Generelt	
1) Plasstøpt fundament 2) Isolerte betongelementer i tak og vegg, tykkelse 150 mm. 3) Heldekkende membran 4) Bolter 5) Fylling bak veggelement for sidestøtte ved fundament.		Sandwich betongelementer er en spesifikk type frost-isolert betongelementløsning. Se figur 3.12. Generell beskrivelse av betongelementer som vann- og frost-sikring er gitt i kapittel 3.4.1 Løsningen kan leveres med og uten bolteinnefesting.	



Figur 3.12 Hvelv av sandwich betongelementer.

Materialer og materialkrav

Sandwich-konstruksjonen består av to stk. 60 mm tykke betongskall med mellomliggende 50 mm tykk frostisolasjon av ekstrudert polystyren (XPS). De nettarmerte betongskallene er bundet sammen av varmforsinkede gitterdragere. I hjørnene på elementene er betongen gjennomgående. Betongkvaliteten er C45 MA. Tilsetning eller behandling av kromat er nødvendig for å sikre heften mellom fersk betong og gitterdragere.

Membran type 1 i henhold til Håndbok 163.

Øvrige materialkrav er gitt i kapittel 2 og i Håndbok 163.

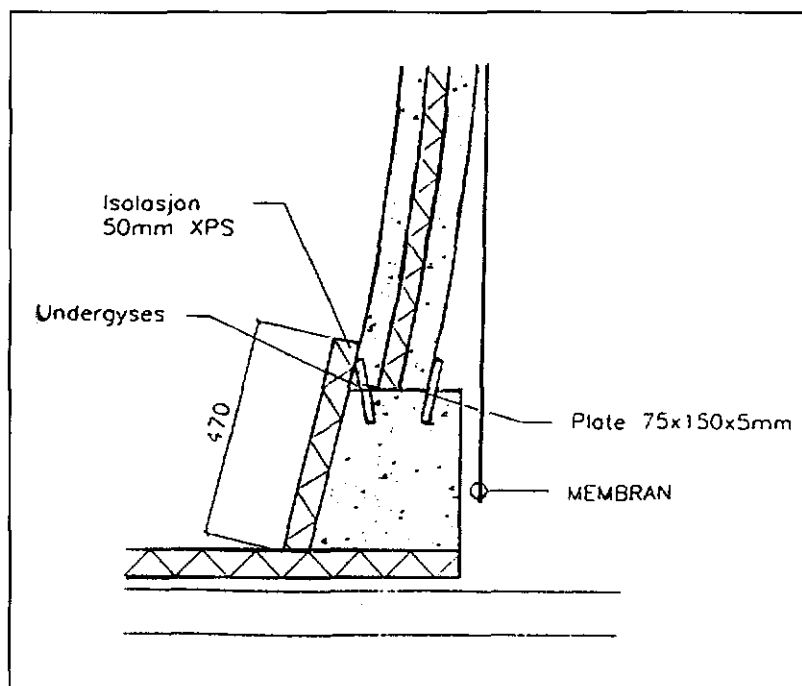
Utforming og utførelse

Fundament

Fundamentet glidestøpes i full lengde og isoleres mot vegen. Alle høyder kontrolleres før montasje av veggelement. Nødvendig shims legges ut for eventuell justering. Se figur 3.13.

Veggelementer

Veggelementene er 5 m lange og ca 3,5 m høye, med krumningsradius tilpasset tunnelen der denne går i kurve. Elementene løftes med en spesialmaskin utstyrt med vakuum sugekopper, og styres på plass på fundamentene. Fugene justeres før elementet festes med to bolter plassert 600 mm under element-topp. Boltene i veggelementene monteres med en framplate på vegsiden og låseplate på bergsiden for å ta opp last begge veier. Vanntetting av boltegjennomføringene må utføres med doble pakninger. Andre løsninger (dryppsikring langs bolten, silikonpakning, etc.) har ikke vist seg pålitelige. Se figur 3.14.

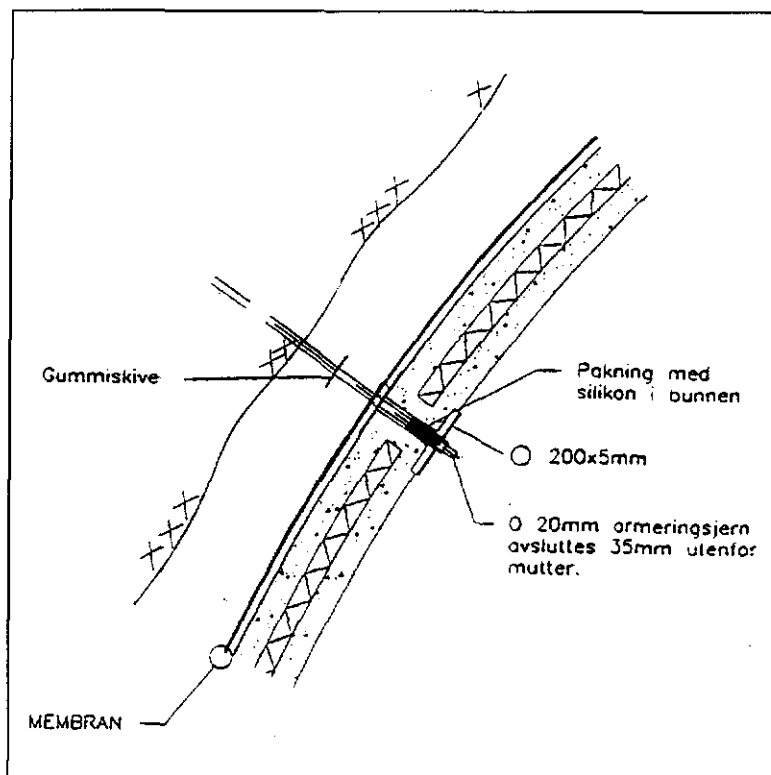


Figur 3.13 Fundament for sandwich betongelementer.

Takelementer

Takelementene er 2,5 m lange slik at det plasseres to takelementer på hvert veggelement. Elementene på hver side av vegen monteres med en forskyvning på 1,25 m i forhold til hverandre i tunnelens lengderetning (halve takelementlengden). To løsninger er i bruk, en utforming der stabiliteten sikres ved hjelp av bolter, og en uten bolter.

Det finnes en spesialmaskin også for montering av takelementer. Elementet føres inn mellom veggelementet og takelementet på motsatt side av senterlinje tunnel, og festes med to bolter til berghvelvet, en bolt i vegg og en i heng. Boltene i takelementene er kun utstyrt med en låseplate på vegsiden av hvelvet. I den boltefrie løsningen er mønefugen utført slik at det oppnås statisk hvelvvirkning fra fundament til fundament.



Figur 3.14 Festebolt i veggelement.

Membranen klemmes i fugen mellom veggelement og takelement og henger ned slik at den dekker fundamentet. En membran legges over takelementene og overlapper med membran på veggelementene. Membranen er heldekkende, og alle skjøter sveises ifølge spesifikasjonene for membranen. Boltegjennomføringene tettes med doble pakninger.

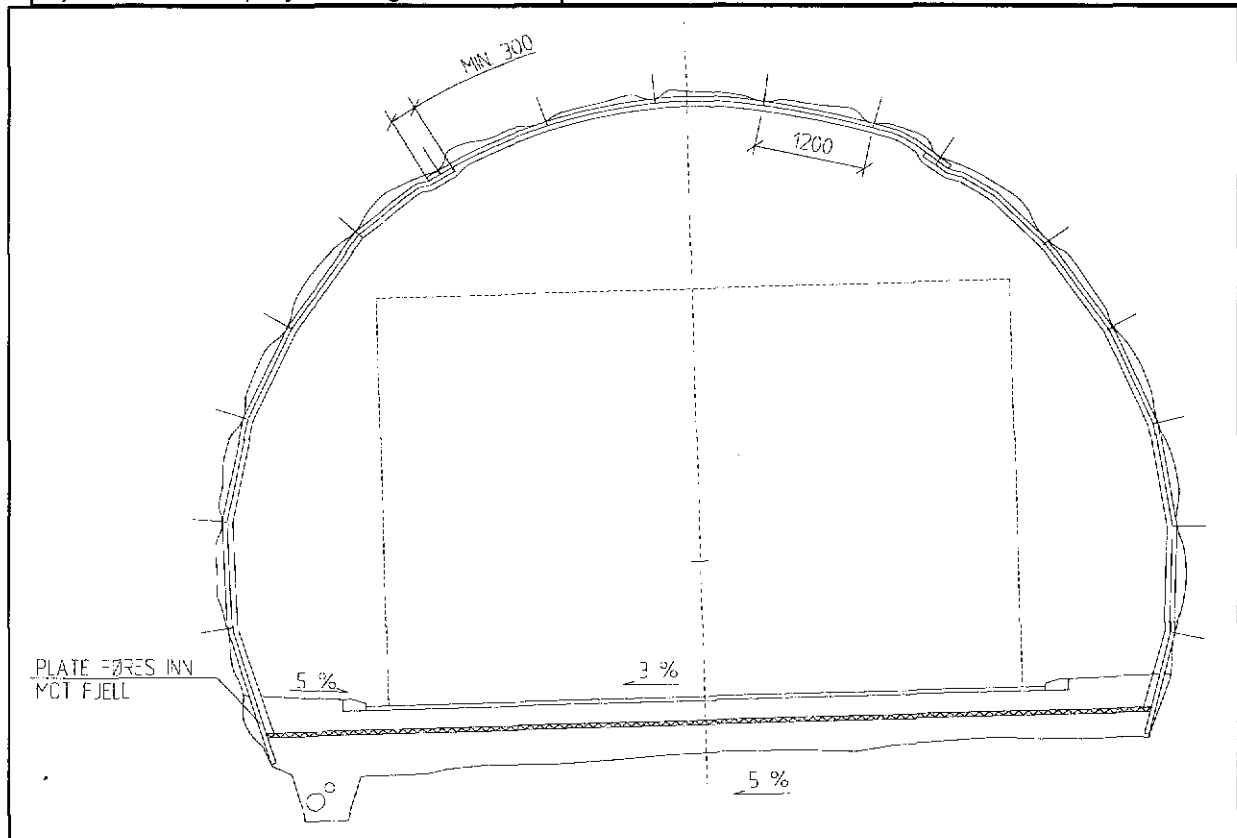
Kommentarer og erfaringer

Løsningen er så ny at erfaringsgrunnlaget er lite. Et fagmessig membranarbeid er en forutsetning for at løsningen skal forbli tett. Det er ikke avsatt spesiell plass for membranmontasje, og blant annet derfor krever fuktsikringen av den boltestabiliserte kledningen en gjennomarbeidet utførelse.

Elementene er tunge. Montering og eventuell utskiftning krever spesialutstyr. Montering er imidlertid meget skånsom mot elementene. Under monteringsarbeidet i Nordbytunnelen var det brekkasje på tre av i alt 10 000 elementer.

3.5 PE-skum og armert sprøytebetong

Bruksområde		Brukt på følgende prosjekter	
		Tunnel	Fylke
ADT	1 500-30 000	Hordviktunnelen	Hordaland
Vegklasse	A-E	Lianbakken	Hordaland
Frostmengde, F_{10} (h°C)	10 000-30 000	Eidsvoll-tunnelen (i tak)	Akershus
		Strandveien (i tak)	Akershus
Konstruksjonsdeler		Generelt	
1) Permanent sikret berghvelv 2) Bolter av kamstål 3) Bakskeive m/tetningspropp 4) PE-skumbaner 5) Framskive m/mutter 6) Stigebånd 7) Nettarmering 8) Fiberarmert sprøytebetong		Konstruksjonen består av baner av PE-skum festet med bolter og stigebånd til sikret berghvelv, og fiber- eller nettarmert sprøytebetong. Se figur 3.15.	



Figur 3.15 Hvelv av PE-skum og armert sprøytebetong.

Materialer og materialkrav

Innfesting

Det benyttes polyesterforankret eller innstøpte gjengete (300 mm) kamstålbolter, 400-800 mm x Ø12-16 mm. Boltelengder og gjenget parti skal være tilpasset krav til forankring av armert sprøytebetong.

Stigebåndet består av to stk. kamstål Ø10 mm.

PE-skum

Krav om isolasjonstykkelse er gitt i kapittel 2. Ved større frostmengder enn $F_{10} = 12\ 000$ h°C beregnes isolasjonstykkelsen ut fra krav i Håndbok 163.

Brannbeskyttelse

For at sprøytebetongen skal hefte til PE-skummet, er det nødvendig at overflaten er rubbet og tørr. Følgende egenskaper kreves dokumentert for å få godkjent brannsikring av PE-skum:

- Brannbestandighet
- Isolasjonsegenskaper
- Materialets bestandighet over tid
- Heft til PE-skumplater
- Materialeegenskaper (styrke/vekt).

Forskjellige produkter er utprøvet og vurdert. Armert sprøytebetong i 60-70 mm tykkelse er nødvendig som brannbeskyttelse.

Utforming og utførelse

PE-skumbaner

Dersom ikke hele baner kan leveres må PE-skumplatene limes sammen til baner for å dekke tunneltak og vegg fra såle til såle. Limskjøtene må tåle at banene bøyes, og være holdbare for spesifisert levetid. Banene leveres med to vertikale renner skåret ut i platekanten for drenering av vann som renner mot skjøten, se figur 3.16.

Bolter

Boltene forankres minimum 200 mm i berg, og må plasseres så nøyaktig som mulig i et rutenett største avstand 1,2 x 1,2 m, og tilpasset målene på PE-banene. Metoden krever at boltene står vinkelrett på bergoverflaten.

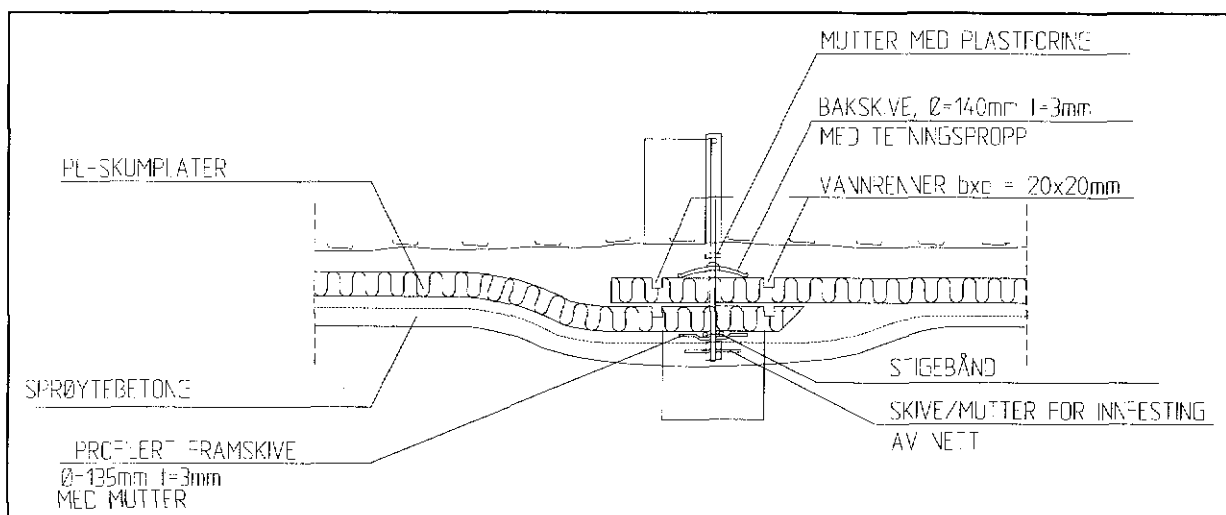
Bakskiver med tetningspropp

Bakskivene (Ø140 mm) med tetningspropp av elastisk materiale tres inn mot mutter på boltene. PE-skumbanene monteres ved at de tres inn på boltene og presses mot tetningspropp og bakskive, se figur 3.16. Overlappingen mellom banene skal være minst 300 mm, og drenasjerennene skal plasseres radielt i konturen og ligge på hver side av bolter og stige-bånd.

Framskive og stigeband

PE-banene festes med en framskive og mutter. Stigebandet festes i framskiven og føres rundt hele konturen via alle boltene montert radielt og vinkelrett på tunnelretningen. Horisontale stigeband festes bare i horisontale plateskjøter. Framskiven har preget spor slik at den klemmer rundt stigebandet og inn på PE-skumplaten.

Stigebandet monteres normalt slik at det presser platene mot bergoverflaten for at vannavrenningen skal bli best mulig. Dessuten blir konstruksjonen mer stabil. PE-skumbanene føres ned til minimum 500 mm under topp vegbane. Skjøtene skal ikke ligge nærmere kant kjørebane enn 0,75 m. Den nederste enden av PE-banen i tunnelens lengderetning boltes fast sammen med det neste etter taktekkingsprinsippet, slik at vannet ikke renner inn i skjøten, se figur 3.16.



Figur 3.16 Detalj av plateskjøt og innfesting av nettarmering.

Armert sprøytebetong

Nettet monteres på boltene for feste av PE-skummet, og forsynes med avstandshylser på minst 20 mm mellom nett og PE-skum, se figur 3.16. Armeringsnettene overlappes med to ruter i begge retninger. I taket festes også nettet til PE-skummet i feltet mellom boltene med egnet plugg for å unngå vibrasjon under sprøyting.

Sprøytebetongen påføres først i full tykkelse, 60-70 mm, langs stigebånd og skjøt PE-skumbaner, og tillates å herdne. Derneft påføres resten med halv tykkelse i to omganger med mellomliggende herdetid. Dette for å hindre for mye sig i PE-skumbanene. Sprøytebetong uten nettarmering må utføres med stålfiberarmering. Nettarmering vil motvirke riss- og sprekkedannelse bedre enn fiberarmering.

Kommentarer og erfaringer

PE-skum er en metode for vann- og frostsikring som er enkel, fleksibel og billig i anlegg. Metoden ble lansert rundt 1980 til lokale dryppsikringer i gamle, trange tunneler med lav trafikk. Den ble snart tatt i bruk ikke bare til hele hvelv, men også i lengre partier.

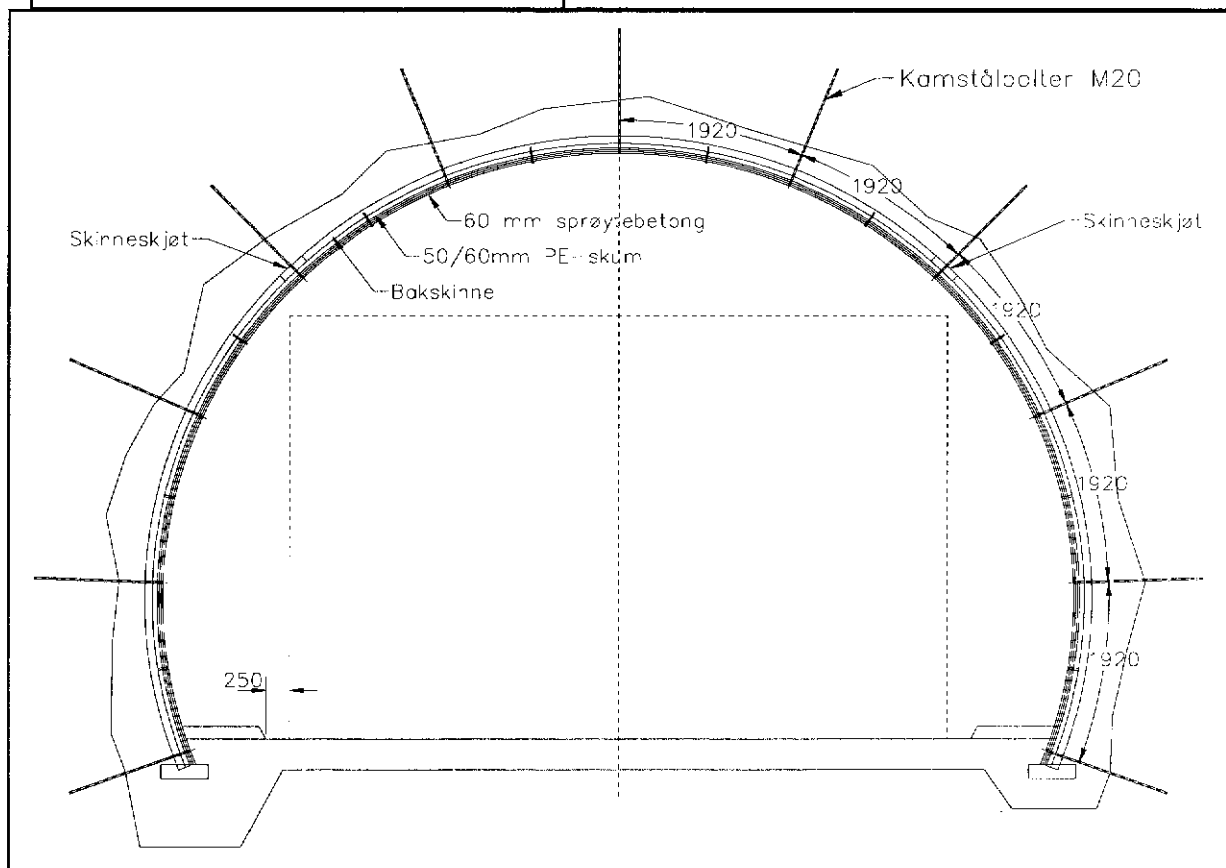
Metoden er imidlertid mindre fordelaktig i vedlikehold. Det har vist seg vanskelig å tette boltegjennomføringer og plateskjøter tilstrekkelig. Dessuten har utette skjøter og endeavslutninger ført til pumping av luft i rommet mellom bergoverflate og PE-skum, hvilket har resultert i isdannelse med lekkasjer, slitasje og skader som resultat. Montering av PE-skumhvelv må utføres meget samvittighetsfullt for i størst mulig grad å unngå lekkasjer.

Brannegenskapene til PE-skum har nå ført til krav om tilfredsstillende brannbeskyttelse, fortrinnsvis med betong sprøytet på PE-skummet. Brannbeskyttelsen bidrar til å hindre luftsirkulasjon i rommet mellom PE-skum og bergoverflate. Dermed fås en sikrere frostisolering enn ubeskyttet PE-skum.

Overflaten på sprøytebetongen er svært ru og vanskelig å holde ren. Tilfredsstillende fjerning av forurensninger og renhold krever overflatebehandling. Erfaringer viser at det er meget vanskelig å unngå riss og sprekker i betongen grunnet herdeprosess, aldring, monteringsmetode og variasjoner i temperatur og fuktighet. Disse forhold kan føre til lekkasjer, oppløsning, tap av heft og videre forvitring av betongen.

3.6 Ekeberghvelvet

Bruksområde		Brukt på følgende prosjekter	
		Tunnel	Fylke
ÅDT	1 500-30 000	Ekeberg tunnelen	Oslo
Vegklasse	C-E	Helltunnelen	Sør-Trøndelag
Frostmengde, F_{10} (h°C)	10 000-30 000	Hitratunnelen	Sør-Trøndelag
Leverandør	Ørsta Stålindustri	Blødekjærtunnelen	Aust-Agder
Produktnavn	Ekeberghvelv		
Konstruksjonsdeler		Generelt	
1) Permanent sikret berghvelv 2) Bolter av kamstål 3) Stålprofiler i teoretisk profil vinkelrett på tunnelakse 4) PE-skum festet til stålprofilene 5) Nettarmering 6) Sprøytebetong		Konstruksjonen består av nettarmert sprøytebetong på PE-skum festet i tverrgående profiler boltet i berg. Se figur 3.17. Konstruksjonen kan alternativt utføres med betongelementer i vegg for å bedre egenskapene mht. vedlikehold og trafiksikkerhet. Se kapittel 5.2.	



Figur 3.17 Ekeberghvelvet, T9 profil.

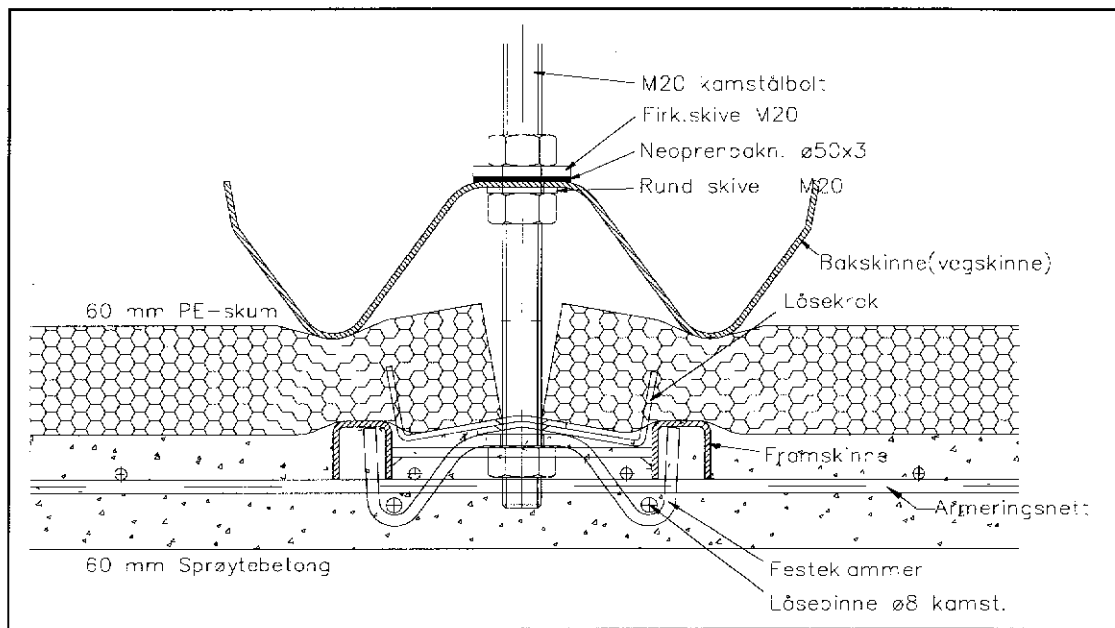
Materialer og materialkrav

Boltene er gjengede kamstål Ø20 mm.

Det benyttes 3,15 m brede armeringsnett tilpasset tunnelens areal. Forøvrig er det Ø7 mm tverrtråd c/c 125 mm, og Ø5 mm langtråd med senteravstand 150 mm.

Det benyttes sprøytebetong uten fiber.

Øvrige materialkrav er gitt i kapittel 2 og i Håndbok 163.



Figur 3.18 Innfestingsystem for PE-skumplater, Ekeberghvelvet.

Utforming og utførelse

Bolter og profil

Stålprofilene vinkelrett på tunnelretningen har samme form som profilene brukt i autovern, og vales til en krumning spesielt tilpasset tunnelen. Det benyttes flere profiler som skjøtes for å dekke hele hvelvet i teoretisk tverrsnitt. Boltene forankres i berg ved hjelp av polyesterpatroner. Profilene festes til disse med mutter og neoprenpakning, se figur 3.18. Avstanden mellom boltene er maksimalt 2,3 m. I lengderetning monteres stålprofilene med senteravstand 3 m.

PE-skum

PE-skumbanene leveres i bredde og lengde tilpasset tverrsnittet. De festes med kantene langs profilet slik at boltegjennomføringene kommer i plateskjøten som vist i figur 3.18. Under montering festes platene i første omgang med en låsekrok som monteres på boltene. En framskinne monteres med et festklammer til boltene slik at PE-skumplatene klemmes fast mellom stålprofilet og framskinnen.

Armeringsnett

Nettene låses i festklammeret med låsepinner av Ø8 mm kamstål.

Sprøytebetong

Sprøytebetongen påføres først langs festeprofil og kant PE-skumbaner i full tykkelse, 60-70 mm. Etter herding påføres resten av sprøytebetongen i to omganger med halve tykkelsen med mellomliggende herdetid. Dette gjøres for å få innspente PE-skumplatene før påsprøytingen der platene ikke har bakstøtte.

Kommentarer og erfaringer

Denne måten å montere PE-skumhvelv på fører til mindre materialforbruk av både PE-skum og sprøytebetong. Løsningen gir også en bedre linjeføring på grunn av et mer symmetrisk tverrsnitt, nær det teoretiske. Ekeberghvelvet er en ny løsning for vann og frostsikring, og det finnes foreløpig lite erfaringsdata på dette. Så langt har løsningen fungert bra. Sprøytebetongen er imidlertid utsatt for rissdannelse, det må derfor på fremtidige prosjekter finnes løsninger som reduserer omfanget av riss- og sprekke-dannelser.

4 Lette konstruksjoner

4.1 Innledning

Lette tunnelkledninger omfatter hvelv laget av tynne materialer, eventuelt i to lag med mellomliggende frostisolasjon. De først utprøvde hvelv besto av korrugerte aluminiums-plater med mineralullmatter emballert i folie (vintermatter) som isolasjon. Det ble montert i 1971, og står fortsatt på E18 ved Lyngdal, Vest-Agder. Mest brukt er platekledninger av stål og aluminium levert henholdsvis av Miljøsikring og Vik Verk, og tunnelduk levert av W.Giertsen. Følgende lette tunnelkledninger blir presentert i dette kapitlet:

- Platekledning i aluminium, som helhvelv frostisolert etter behov, eller som platetak med takrenne
- Tunnelduk i PVC-belagt polyesterarmert duk bygd som helhvelv, eller takhvelv med takrenne
- Miljøhvelvet, som består av isolerte stålkassetter med heldekkende membran
- Sandwich tunnelhvelv, som består av to elementer (halvbuer) av polyuretanskum belagt på begge sider med glassfiberarmert polyester.

Den enkelte tunnelkledning er presentert i tabellform som angir bruksområder med aktuelle funksjonskrav, referansprosjekter, samt generell omtale av løsning og konstruksjonsdeler.

Materialbruk og -krav er supplert i forhold til kapittel 2, og utforming og utførelse er presentert for aktuelle tunnelprofiler. Til slutt i hver presentasjon er spesielle erfaringer knyttet til løsningen kort omtalt.

4.2 Platekledning

4.2.1 Generelt

Kledningen består av korrugerte plater som dekker vegger og tak fra såle til såle. Der frostisolering er nødvendig, består hvelvet av to hvelv med mellomliggende isolasjon etter frostmengden. Platekledning kan kombineres med veggelementer av betong, se kapittel 5.4.

Materialer og materialkrav

Aluminiumsplatene leveres i størrelse 1,2 x 6,0 m. Uisolerte konstruksjoner av platekledning kan benyttes i klimasoner hvor F_{10} ikke overstiger 3000 h°C. Krav til styrke og bestandighet av platene og konstruksjonen forøvrig fastsettes i forbindelse med typegodkjenning.

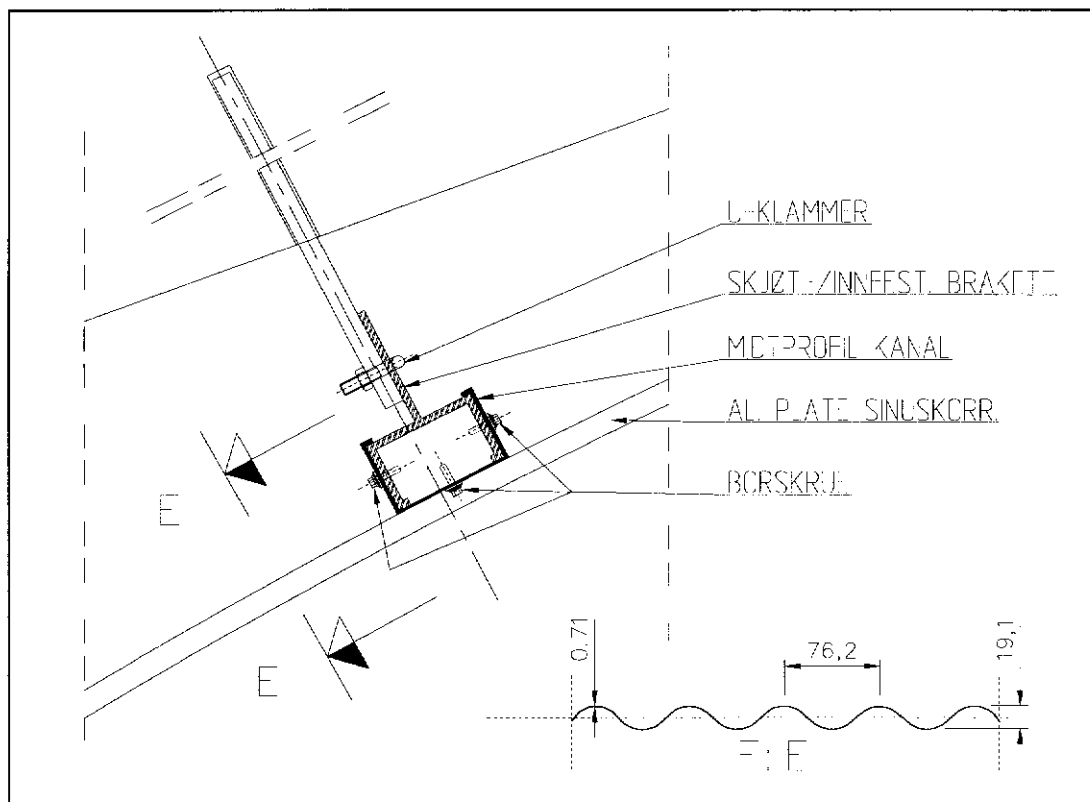
Boltene er kamstål Ø16 mm, og Ø20 mm i toppen av hvelvet. Øvrige materialkrav er gitt i kapittel 2 og i Håndbok 163.

Utforming og utførelse

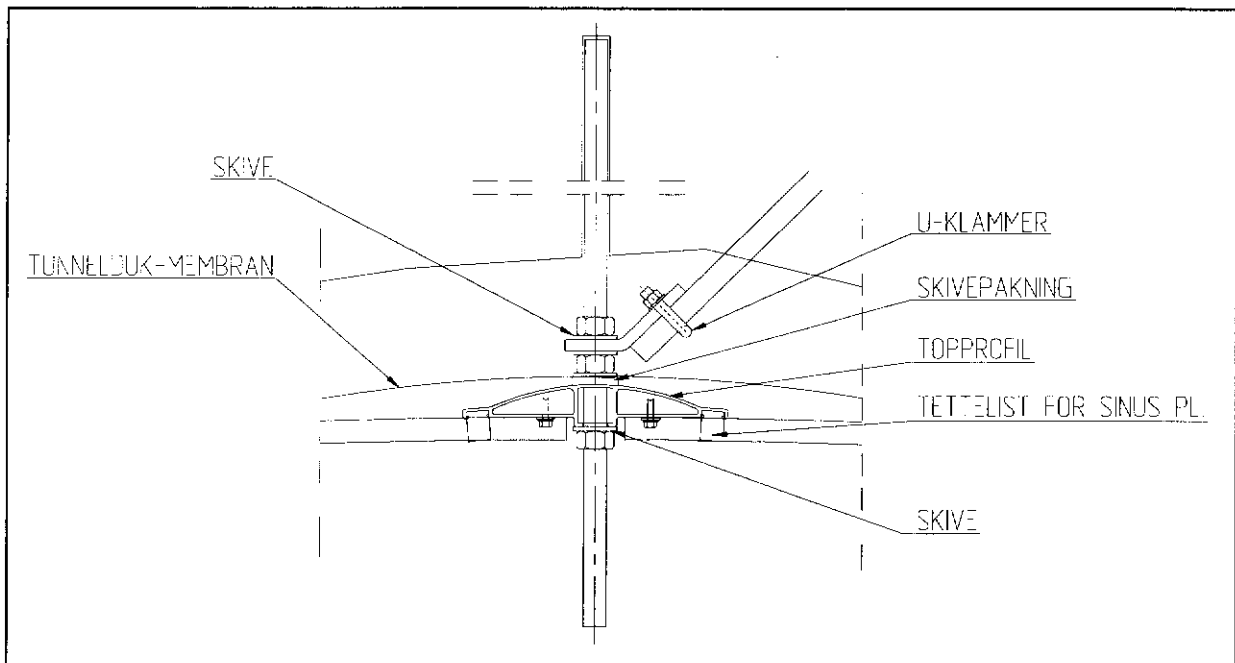
Innfestingssystem

Boltene forankres i berg i et rutenett på 2 x 2 m. Langsgående kanalprofil i tunnelretningen festes til boltene ved en forbindelse med festebrakett og U-klammer som vist i figur 4.1.

I hvelvets topp festes et profil til boltene som vist i figur 4.2. Dette profilet utgjør en langsgående plateskjøt som vannsikres med membran. Profilet er utstyrt med tettelist som følger bølgeprofilet.



Figur 4.1 Innfesting av aluminiumsplater.



Figur 4.2 Innfesting av aluminiumsplater i topp hvelv.

Aluminiumsplater

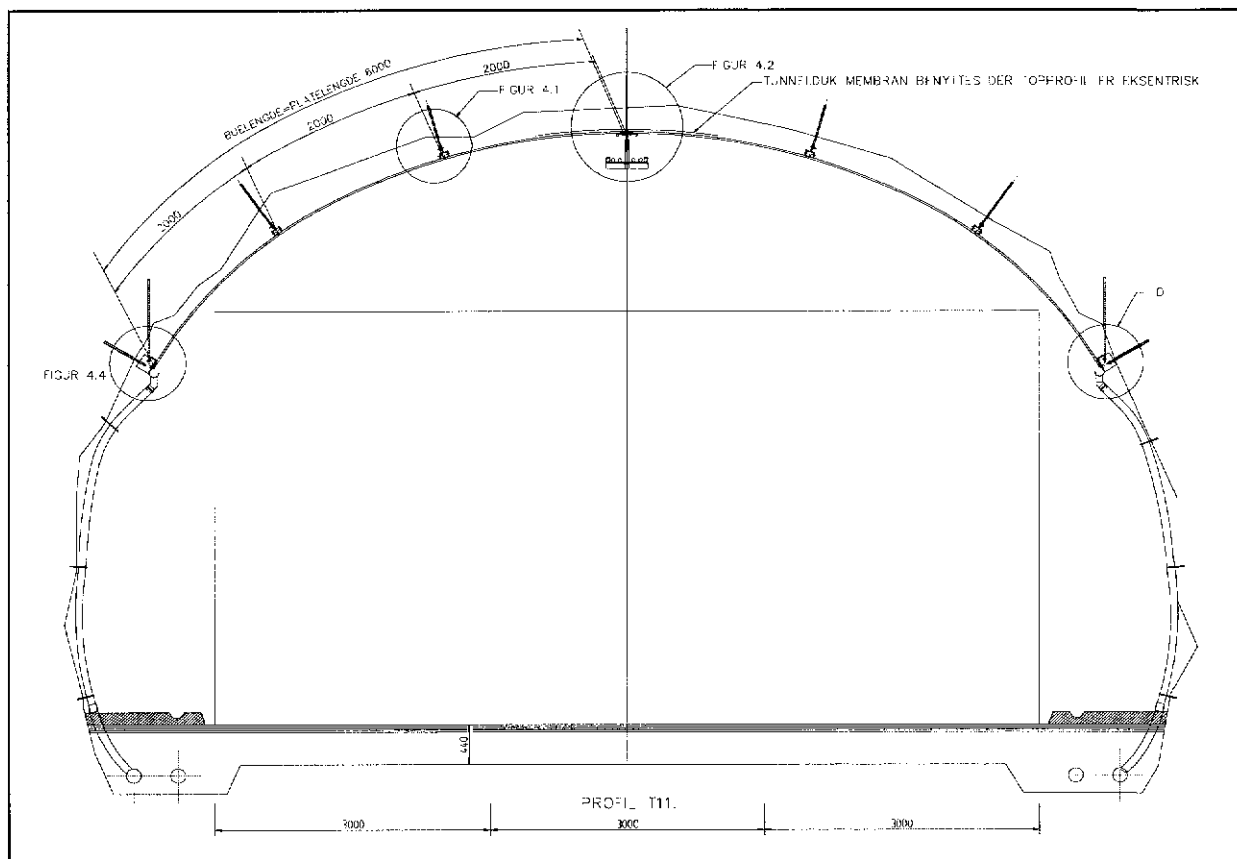
Platene skrues fast til de langsgående profilene, og overlappes i tunnelens lengderetning med to bølgelengder av korrugeringen.

Kommentarer og erfaringer

Aluminium er valgt av hensyn til korrosjonsegenskaper, håndteringsegenskaper og pris. Hvelvet bør gis lakkering, fortrinnsvis med lys farge. Løsningene er følsomme for skader og krever derfor effektiv beskyttelse mot påkjørsel og sikring mot steinnedfall.

4.2.2 Platetak med takrenne

Bruksområde		Brukt på følgende prosjekter	
		Tunnel	Fylke
ÅDT	300-8 000	Godøytunnelen	Møre og Romsdal
Tunnelklasse	A-C	Freifjordtunnelen	Møre og Romsdal
Frostmengde, F_{10} (h°C)	< 3 000	Hitrattunnelen	Sør-Trøndelag
Leverandør	Hydro Aluminium, Vik Verk	Fodnes	Sogn og Fjordane
Produktnavn	Platetak		
Konstruksjonsdeler		Generelt	
1) Permanent sikret berghvelv 2) Bolter 3) Bæreskinner 4) Aluminiumsplater 5) Takrenne med nedløpsrør		Konstruksjonen består av uisolerte korrugerte aluminiumsplater i tak opphengt i langsgående skinner. Se figur 4.3.	

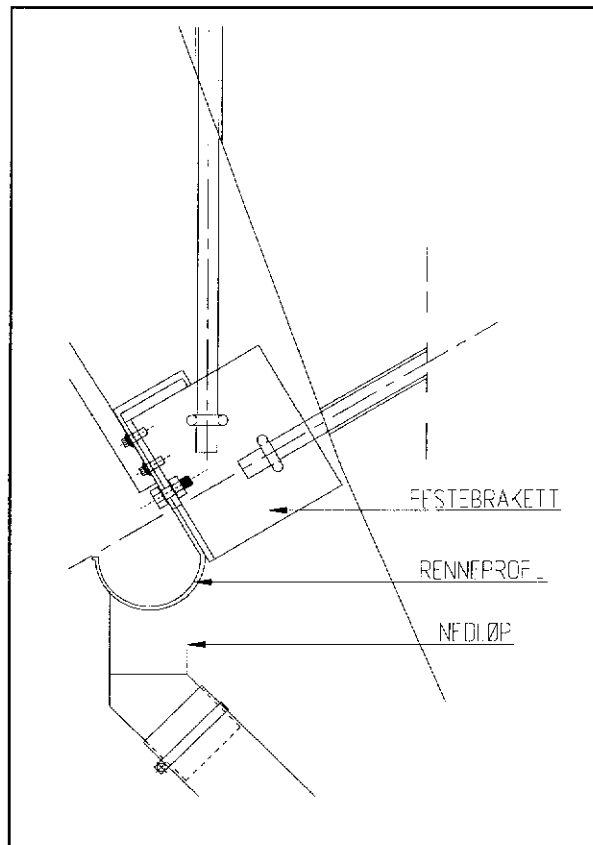


Figur 4.3 Uisolert platetak med takrenne, T11 profil.

Utforming og utførelse

Platetak monteres med bolte- og profilforbindelse som beskrevet i kapittel 4.2.1.

Platetak er benyttet for avskjerming av vegbanen for lekkasjevann og dekker tunnelens tak fra vederlag til vederlag. Langs platekanten festes en takrenne med nedløpsrør. Detalj av innfestingen vises i figur 4.4.



Figur 4.4 Innfesting av takrenne for platetak.

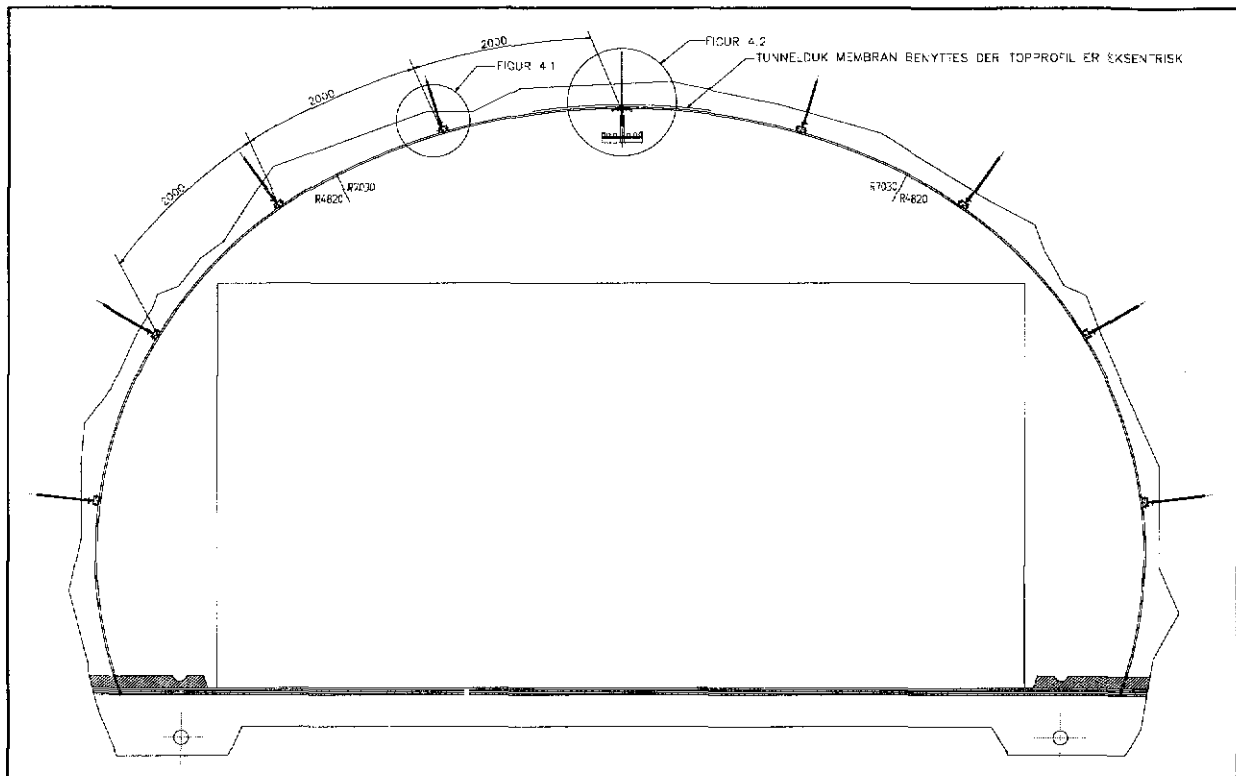
Kommentarer og erfaringer

Konstruksjonen er benyttet i tunneler med lav frostmengde og liten trafikk, eller der frostinntrengingen kan kontrolleres med automatiske porter, eventuelt manipuleres med vifter.

Vedlikeholdsproblemer og ulempene med fukt fra veggene er grunnen til at løsningen ikke lenger er aktuell.

4.2.3 Uisolert platehvelv

Bruksområde		Brukt på følgende prosjekter	
		Tunnel	Fylke
ÅDT	300-8 000	St.Hansfjellet	Østfold
Vegklasse	A-C		
Frostmengde, F_{10} (h ⁰ C)	< 3 000		
Leverandør	Hydro aluminium, Vik Verk		
Produktnavn	Uisolert platehvelv		
Konstruksjonsdeler		Generelt	
1) Permanent sikret berghvelv 2) Bolter 3) Bæreskinner 4) Aluminiumplater		Konstruksjonen består av uisolerte korrugerte aluminiumsplater i vegg og tak opphengt i langsgående skinner. Se figur 4.5	



Figur 4.5 Uisolert helhvelv, korrugerte aluminiumsplater, T11 profil.

Utforming og utførelse

Uisolert platehvelv monteres med bolte- og profilforbindelse som beskrevet i kapittel 4.2.1.

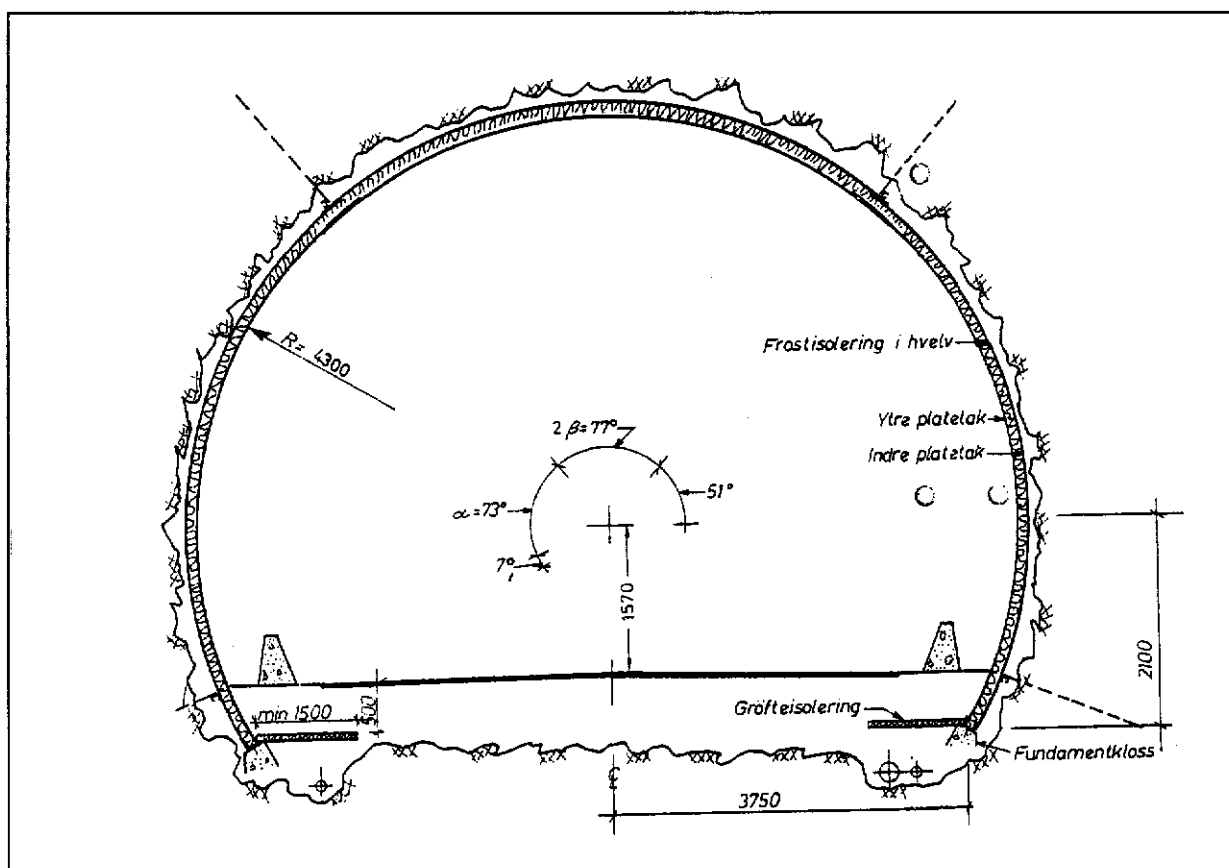
Platene avsluttes under ferdig vei. Konstruksjonen utgjør således et fullstendig hvelv over vegbanen.

Kommentarer og erfaringer

Forsterket løsning er blitt tilfredsstillende. Godkjenning av løsningen krever en gjennomgang av dimensjoneringen.

4.2.4 Frostisolert platehvelv

Bruksområde		Brukt på følgende prosjekter	
		Tunnel	Fylke
ÅDT	300-10 000	Åtland-tunnelen	Vest-Agder
Vegklasse	A-C	Holmestrand	Vestfold
Frostmengde, F_{10} (h°C)	10 000-25 000	Høyanger	Sogn og Fjordane
Leverandør	Hydro Aluminium, Vik Verk	Vardø	Finnmark
Produktnavn	Frostisolert helhvelv	Skaret	Buskerud
Konstruksjonsdeler		Generelt	
1) Permanent sikret berghvelv 2) Bæreskinner 3) Bolter 4) Aluminiumsplater 5) Mineralull 6) Aluminiumsplater		Konstruksjonen består av to hvelv av korrugerte aluminiumsplater med mellomliggende isolasjon av folieemballert mineralull. Hvelvet er på bergsiden opphengt i langsgående skinner på permanent sikret fjelloverflate, på vegsiden oppspennet mot isolasjon og bakhvelv. Se figur 4.6.	



Figur 4.6 Frostisolert platehvelv.

Materialer og materialkrav

Mineralullmatter benyttes som isolasjonsmateriale. For spesifikasjon se foran, se også gjeldende forskrift.

Utforming og utførelse

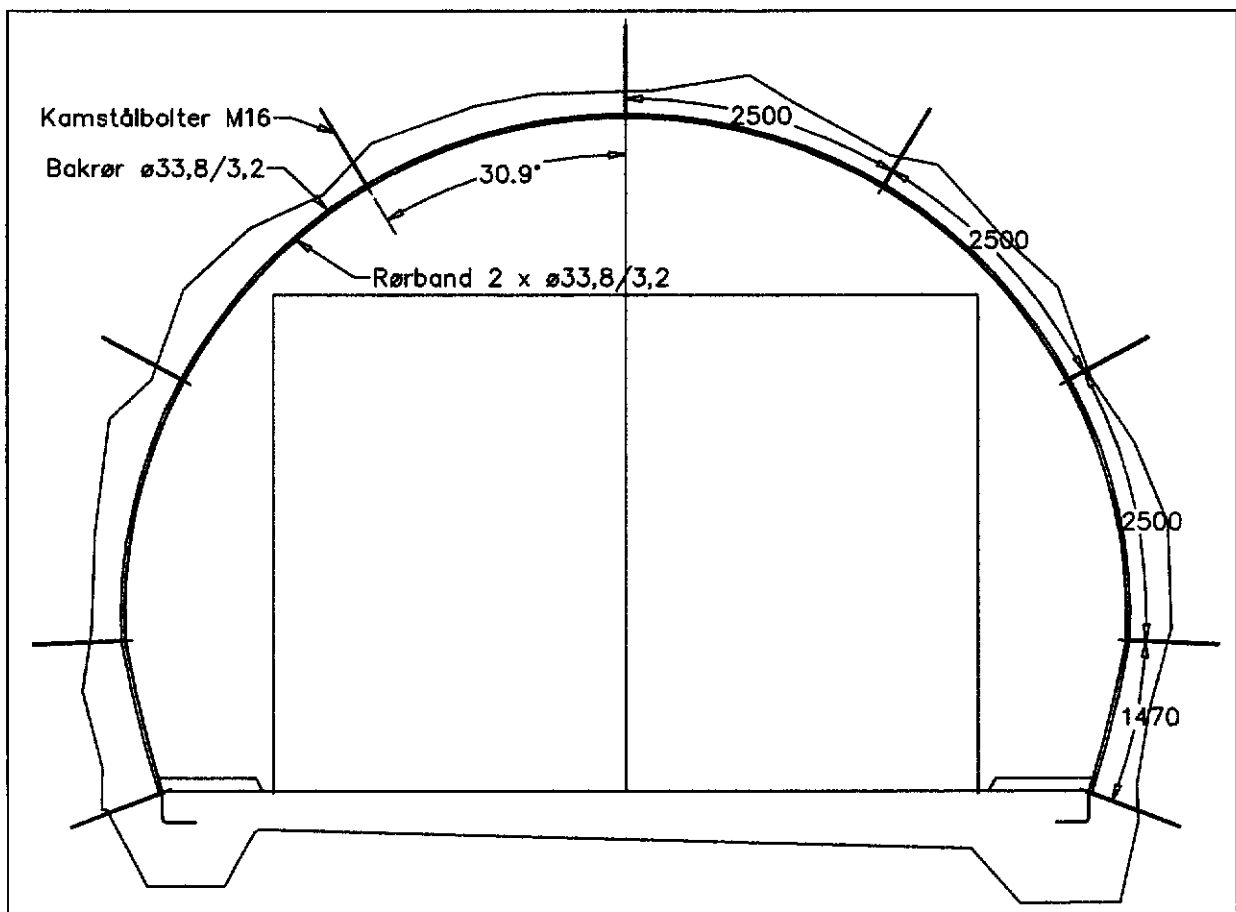
Frostisolert platehvelv består av to heldekkende hvelv med mellomliggende folieemballerte matter av mineralull. Hvelvet på bergsiden er identisk med uisolert platehvelv. Etter at dette er montert presses et platehvelv på vegsiden mot mineralullmatter pålimt bakhvelvet. Platehvelvet på vegsiden forsterkes med rørbuer og utgjør et selvbærende hvelv. Avstanden mellom rørbuene er fra 1,5 til 3 m i tunnelens lengderetning, avhengig av trafikkmengde og tunnelverrsnitt.

Kommentarer og erfaringer

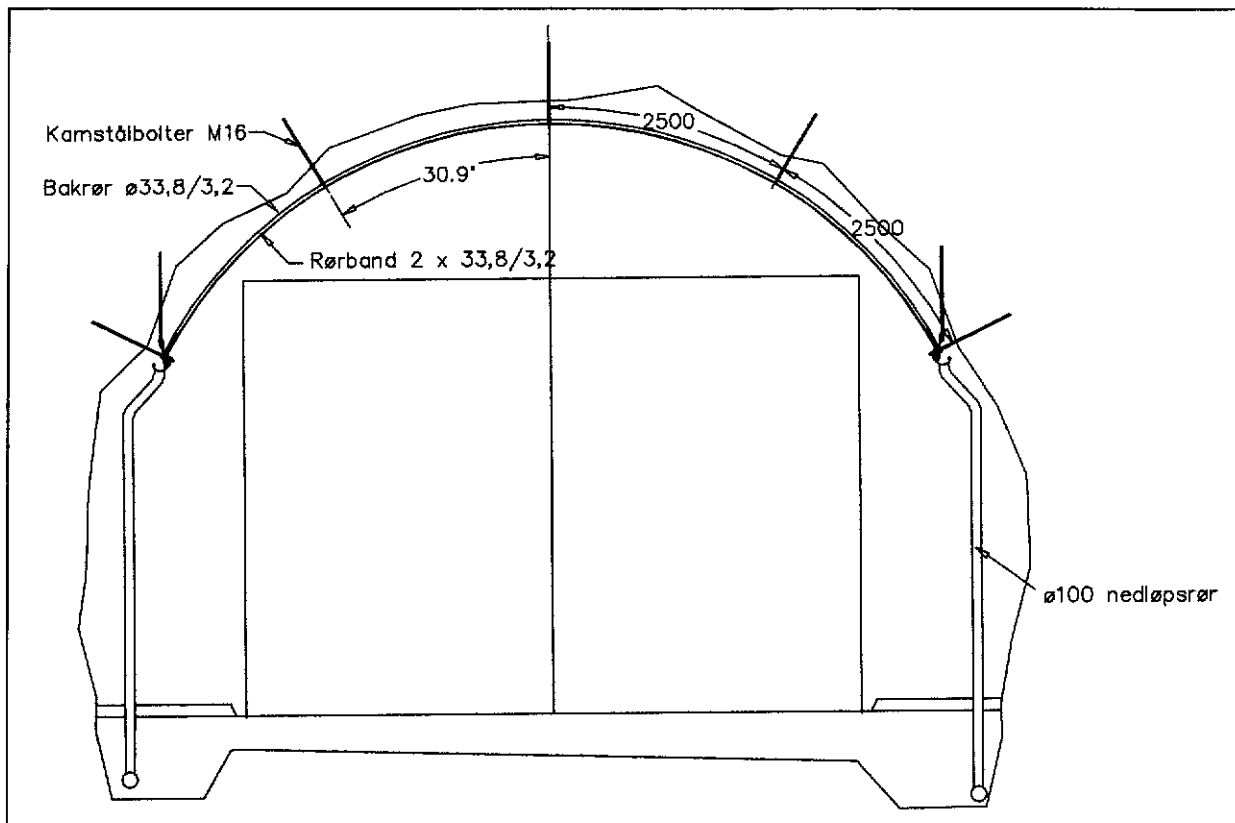
Frostisolert forsøkshvelv på E18 med middels trafikk har fungert tilfredsstillende siden 1971. Et annet hvelv i høytrafikk tunnel står like godt etter 12 år. Forenklet frostisolert platehvelv har hatt varierende kvalitet. Montering av hvelvet er tidkrevende og krever mange komponenter.

4.3 Tunnelduk

Bruksområde		Brukt i følgende prosjekter	
		Tunnel	Fylke
ÅDT	< 1 000	Langhelletunnelen	Hordaland
Vegklasse	A-C	Åtlandstunnelen	Vest-Agder
Frostmengde, F_{10} (h°C)	20 000	Bjørøytunnelen	Hordaland
Leverandør	W. Giertsen	Storvikskaret	Nordland
Produktnavn	WG tunnel- hvelv T100		
Konstruksjonsdeler		Generelt	
1) Permanent sikret berghvelv 2) Bolter av kamstål 3) Rørbuer i teoretisk profil 4) Armert PVC-duk		Konstruksjonen består av en PVC-belagt polyestervev festet i rørbuer vinkelrett på tunnelretningen. Løsningen er også utført som et halvhvelv supplert med takrenner og nedløpsrør. Se figur 4.7 og figur 4.8.	



Figur 4.7 W. Giertsen helhvelv, T8 profil.



Figur 4.8 W. Giertsen halvhvelv med takrenne, T8 profil.

Materialer og materialkrav

Konstruksjonen skal dimensjoneres for islast og frost i henhold til gjeldende forskrift. Krav til styrke og bestandighet av konstruksjonen fastsettes i forbindelse med typegodkjenning.

Det benyttes polyesterforankrede 16 mm varmgalvaniserte kamstålbolter. Alt stål i innfestingssystemet er varmforsinket i henhold til NS 1970. Avhengig av miljøklassifisering skal stålet epoxybelegges.

Utforming og utførelse

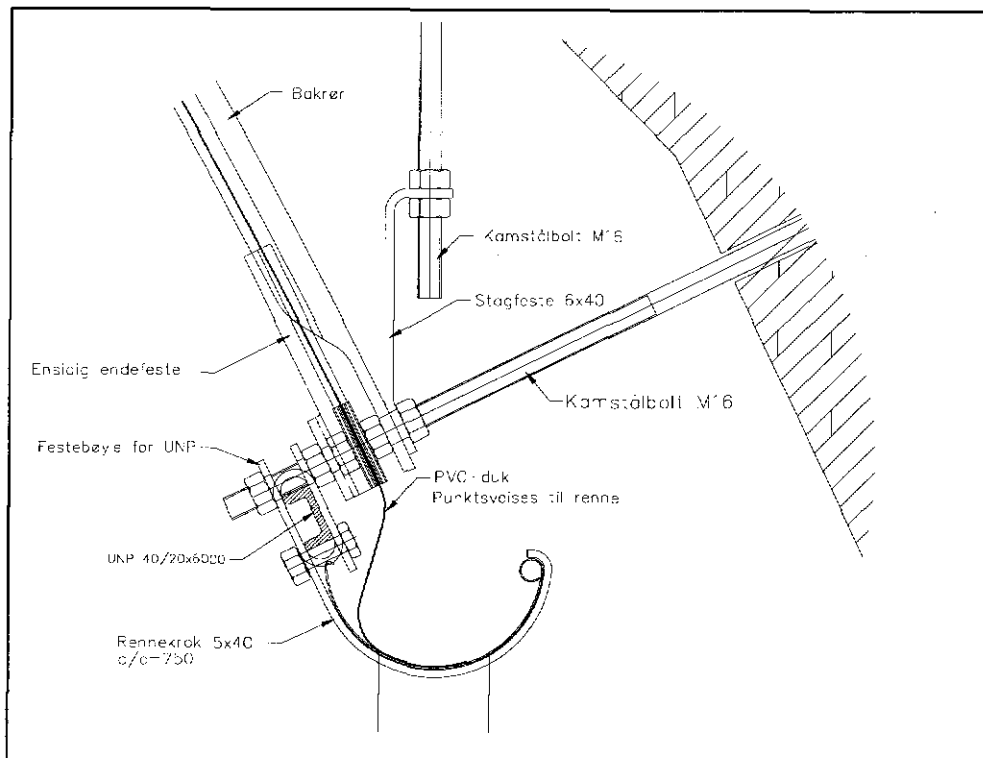
Bolter og bakrør

Boltene forankres med 2,5 m senteravstand vinkelrett på tunnelretningen, se figur 4.7. I overgangen mellom vegg og såle festes bolter uavhengig av avstanden til nærmeste bolt i vegg.

Rørprofil som er tilpasset tunnelens teoretiske profil, festes i boltene slik at det etableres tverrgående buer. Rørene (bakrør) angir konstruksjonens endelige profil. De monteres med en avstand på 1,50 m. Ved utstikkende fremspring i berghvelvet kan rørene forskyves.

Tunnelduk og rørband

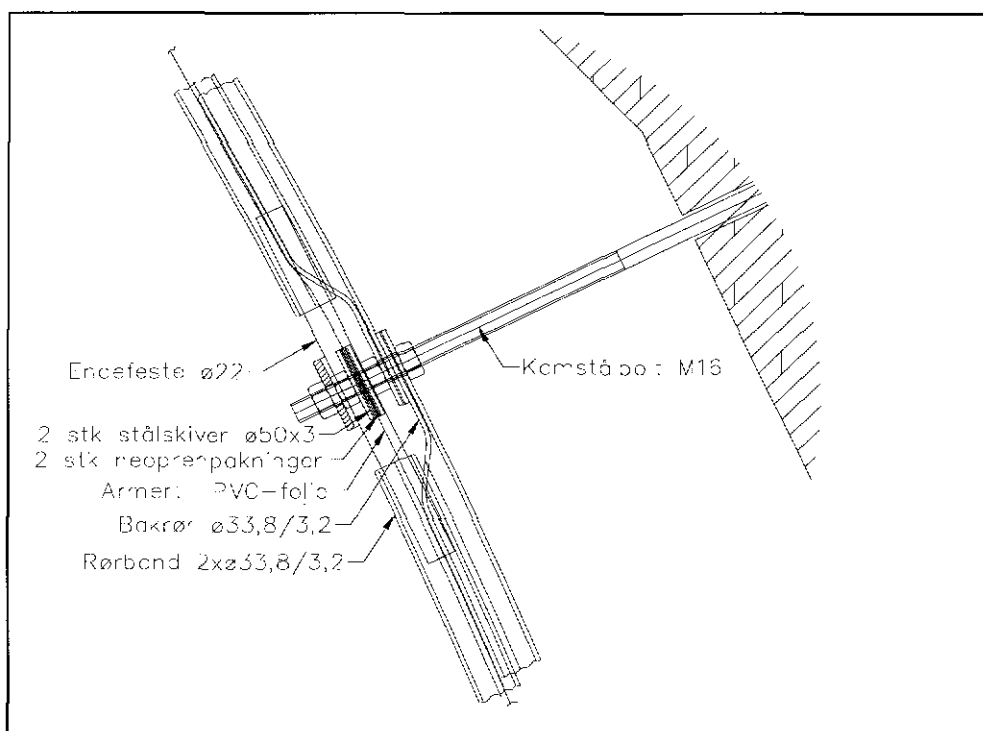
Tunnelduken kan leveres i store flak, eksempelvis 6 x 20 m. Den festes med et rørband som klemmer duken mot bakrøret. Rørband og bakrør er festet ved bergbolter. Gjennomgangen i duken klemmes mellom to pakninger, se figur 4.10. Det er vanlig med en duk i taket, og en duk på hver side fra vederlag til grøft. Duken avsluttes i overgangen mellom vegg og såle. Alle skjøter i duken blir varmluftsveiset.



Figur 4.9 Takrenne, W. Giertsen halvhvelv.

Løsningen med halvhvelv avsluttes med tunnelduk litt utenfor vederlagene, se figur 4.8. Takrenne med nedløpsrør festes langs konstruksjonen med innfesting som vist i figur 4.9.

Duken endeavsluttes med innfesting via bolter direkte på fjell, og hindrer luftsirkulasjon mellom duk og berg.



Figur 4.10 Detalj av innfesting av tunnelduk.

Kommentarer og erfaringer

Duken er motstandsdyktig mot dråpeslitasje, kjemikalier og olje, men skal ha tilsetninger for å hindre angrep av bakterier, alger og mugg. Monteringstiden er kort og tunnelduken er billig og enkel å reparere og holde ren. Duken er lite plasskrevende, og riktig oppstrammet gir den en fin linjeføring.

Tunnelduk gir en lite stiv konstruksjon, og er dermed utsatt for hærverk. Oppstramming mot bergkanter kan rive hull ved trafikkslitasje. Duken er imidlertid lett og rimelig å skifte ut ved eventuelle skader.

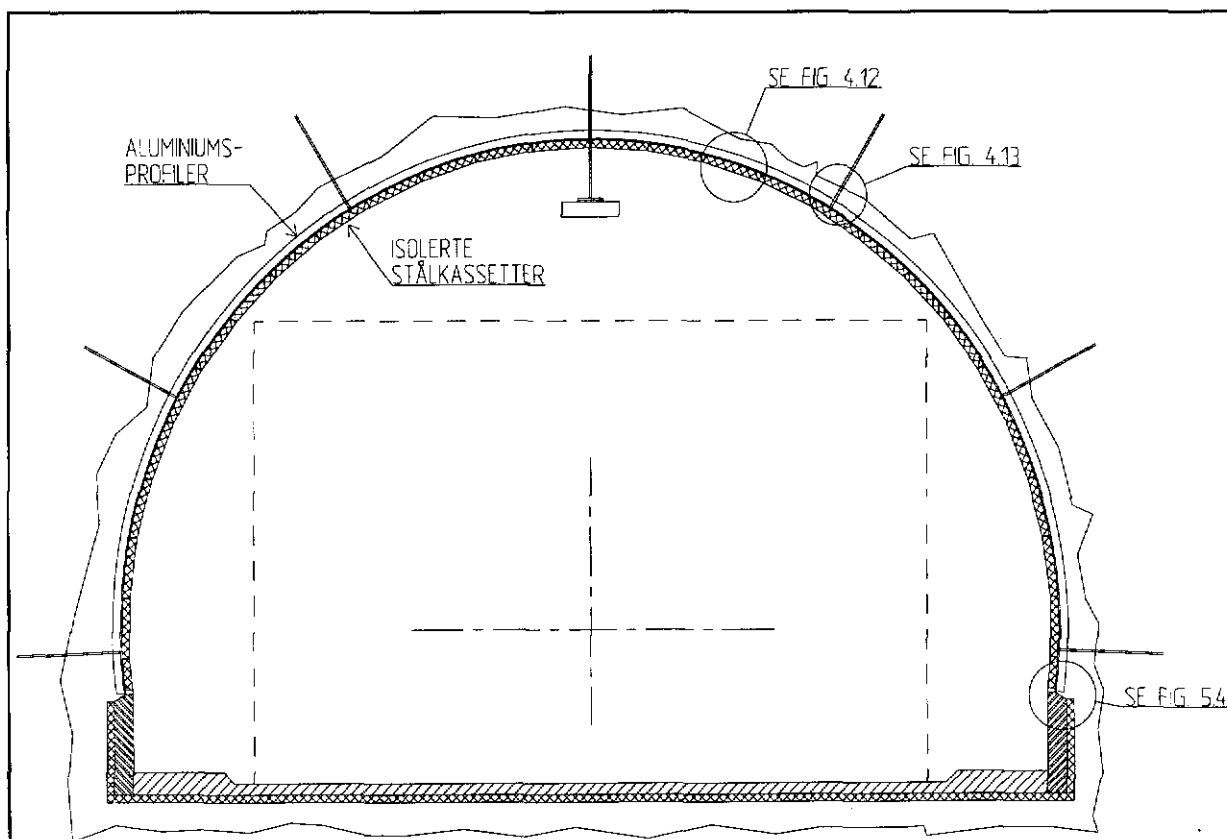
Is som eventuelt dannes mellom fjell og duk hefter ikke på duken og ramler til grøften etterhvert på grunn av vibrasjoner fra trafikken. Duken er klassifisert som brannsikker og leverandøren garanterer for vanntetthet i 15 år.

En mineralullisolert utgave med produktbetegnelsen WG tunnelmatte er blitt prøvd ut, men faller for kostbar. Det har imidlertid vist seg at forsøkshvelv av tunnelduken har stått godt imot nedisning.

Det har blitt gjort forsøk på WG tunnelmatte for å finne dens styrke ved utfall av blokker. Det ble konkludert med at matten tåler nedfall av en blokk på 300 kg fra 1,5 m under realistiske forhold. Nedbøyingen av matten under dette forsøket var ca. 300 mm.

4.4 Miljøhvelvet

Bruksområde		Brukt i følgende prosjekter	
		Tunnel	Fylke
ÅDT	< 10 000	Aursund	Møre og Romsdal
Vegklasse	A-C	Måndaltunnelen	Møre og Romsdal
Frostmengde, F_{10} (h°C)	10 000-30 000	Granfosslinja	Oslo (eldre løsning)
Leverandør	Miljøsikring A/S	Sandvikatunnelen	Akershus (eldre løsning)
Produktnavn	Miljøhvelv M93	Nordmark	Nordland
Konstruksjonsdeler		Generelt	
<ol style="list-style-type: none"> 1) Permanent sikret berghvelv 2) Bolter av kamstål 3) Aluminiumsprofiler montert vinkelrett på tunnelakse 4) PVC-membran 5) Isolerte stålplater 		<p>Konstruksjonen består av et hvelv bygd opp av isolerte stålplater (plater) med heldekkende membran. Platene er festet til fjellbolter med en forbindelse av profiler og bolter. Se figur 4.11.</p> <p>Alternativt kan løsningen utføres med vegger av betong, se kapittel 5.3.</p>	

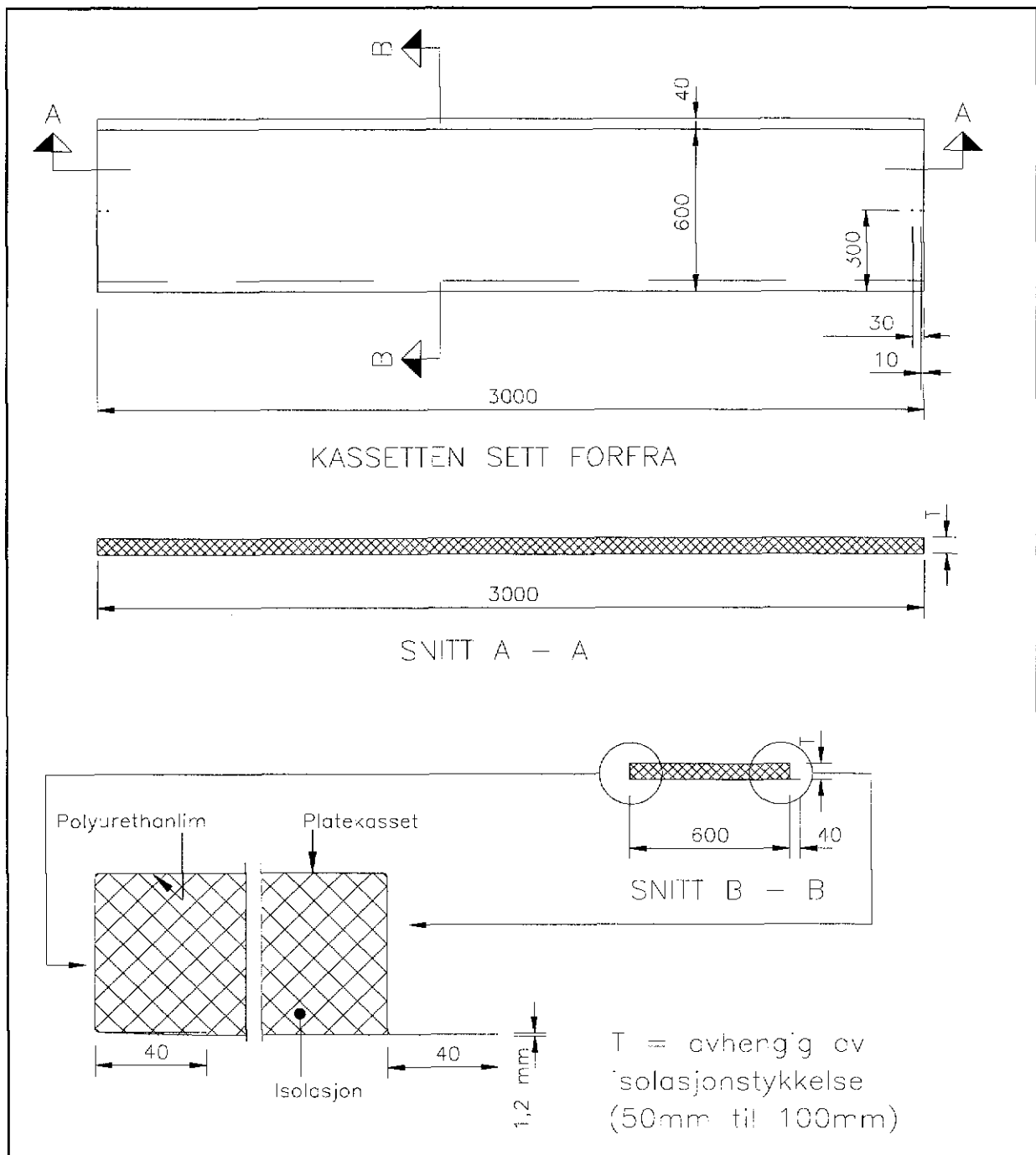


Figur 4.11 Miljøhvelvet, T9 profil

Materialer og materialkrav

Til forankring i fjell benyttes 16 mm kamstålbolter. Det benyttes 0,8 mm PVC-membran av type 1 i henhold til Håndbok 163, punkt 7.3. Bæreprofilene er av aluminium. Krav til disse fastsettes i forbindelse med typegodkjenning.

Platene leveres i varmgalvanisert stål, type StE 250-2Z med pulverlakk. Platene leveres i størrelser 3,00·0,75 m, eventuelt 3,00·0,65 m avhengig av lasten. Platetykkelsen er 1,2 mm. Isolasjonen består av ekstrudert polystyren som limes fast med polyurethanlim. Isolasjonstykkelser varierer fra 50 - 100 mm avhengig av frostmengden, se figur 4.12.



Figur 4.12 Isolerte stålplater, miljøhvelvet.

Utforming og utførelse

Innfestingsystem

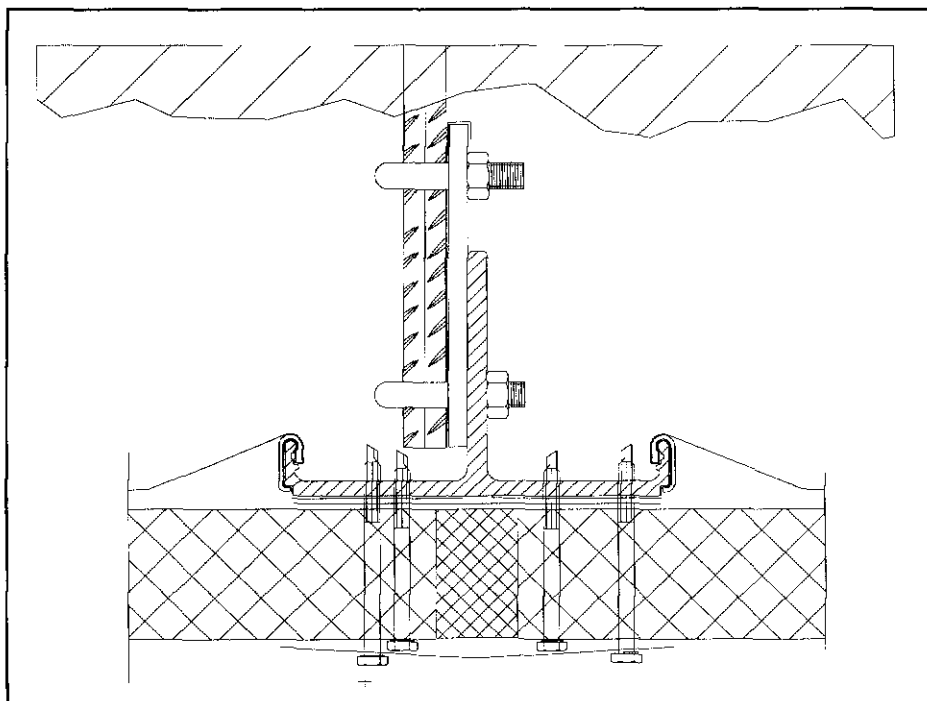
Boltene forankres til fjell med 3,0 m avstand parallelt med tunnelretningen. Vinkelrett på tunnelretningen skal boltene være slik at avstanden mellom dem i teoretisk profil er 2,5 m. Tverrgående aluminiumsprofiler som er spesialvalset til tunnelens teoretiske profil, festes til boltene ved hjelp av en innfestingsplate og U-bolter som vist i figur 4.13. Hvis boltens lengde fra fjell til fri ende er større enn 1,4 m skråavstives boltene. Montering gir tverrgående aluminiumsprofiler i c/c 3,0 m. Disse brukes som bæreprøfler for stålplatene.

PVC-membran og stålplater

Membranen er heldekkende og festes til aluminiumsprofilene med klemlister av PVC.

Platene stables oppå hverandre og boltes fast i aluminiumsprofilen. Dekkbeslag (150 mm x 3,5-4,5 mm), som består av samme materiale som platene, dekker over tverrgående fuger mellom platene, og boltes fast gjennom platene og inn i aluminiumsprofilen, se figur 4.13.

Til dette systemet finnes det to forskjellige løsninger for feste av vifteoppheng, lysarmatur, kabelbro, skilt osv. Det er spesialplater med gjennomgangshylse for bolter og kamstålbolter som forbindes til aluminiumsprofilen i tverrgående skjøter. Som endeavslutning benyttes PE-skum mellom hvelv og berg slik at luftsirkulasjon hindres.



Figur 4.13 Innfestingsystem for stålplater og membran, miljøhvelvet.

Kommentarer og erfaringer

De erfaringer som er gjort på Miljøhvelvet er fra tidligere versjoner, og er derfor basert på løsninger som ikke lenger leveres. Erfaringene viser lekkasjer i boltegjennomføringene og på steder der boltene ikke går radielt på buen. Dessuten har det oppstått brudd i bæreprofil av glassfiber på grunn av trykk- og sug-krefter fra trafikken. Det har i noen tilfeller oppstått problemer med korrosjon på platene.

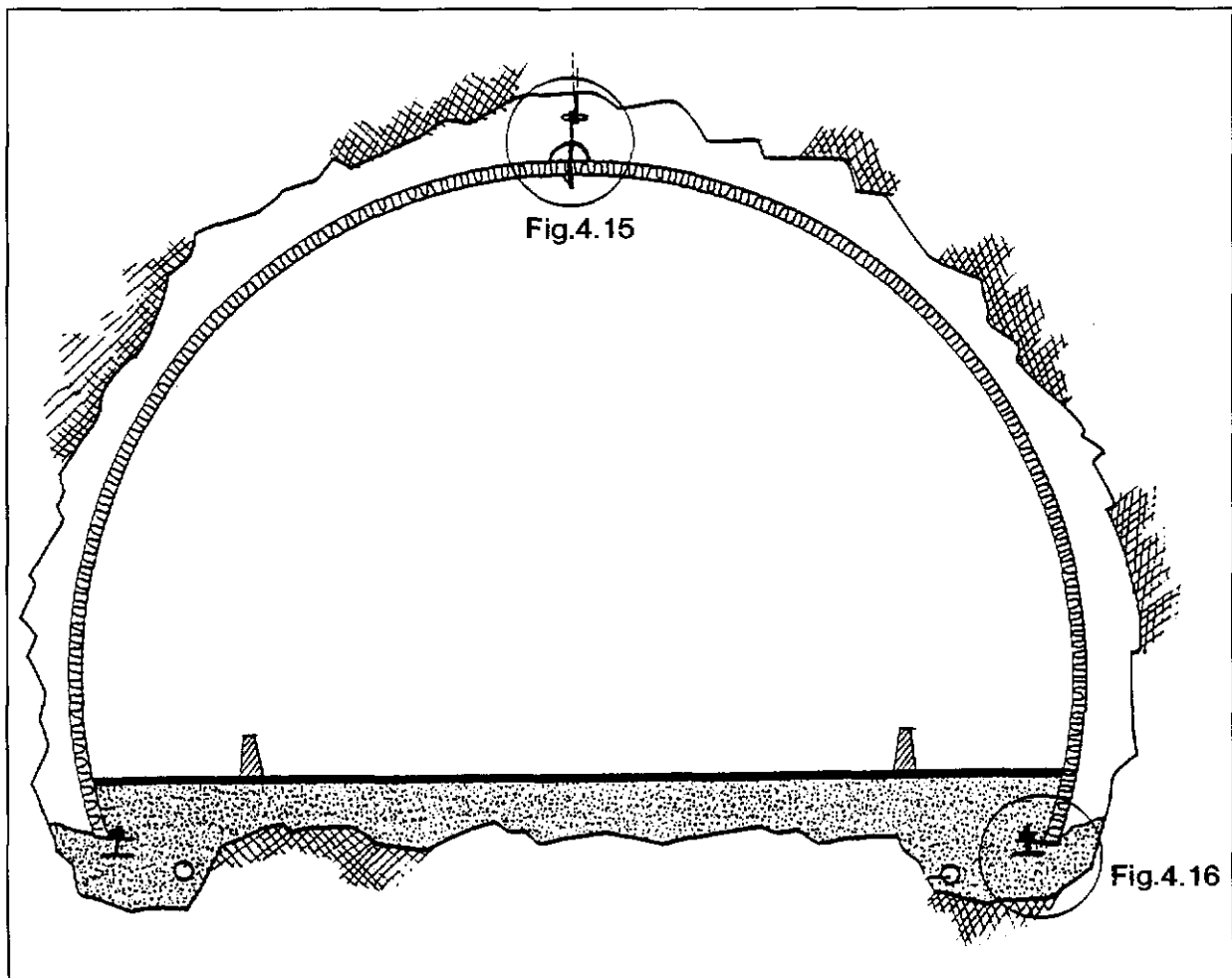
Dagens miljøhvelv, M93, som er presentert her, er basert på disse erfaringene. Løsningen er typegodkjent og utprøvd i testseksjoner. Den er montert i Lindø - Tappstrømtunnelen i Stockholm i oktober 1994. Senere er den montert i tunnellene Hellesylt, Aursund og Måndal, Møre og Romsdal, samt Pyttjøhaugen, Breivikhammeren, Neset og Nordmark i Nordland. Det er ikke innhentet erfaringer fra disse tunnelene.

Miljøhvelvet er lett å tilpasse varierende tverrsnitt. Platene er lette å holde rene, de er brannsikre og de gir en fin linjeføring. Det er mulig å benytte ulike farger for å markere overgang mellom vegg og tak. Kassetene er lette å skru ned og er lett utskiftbare. Dette gir god adgang for å inspisere bak hvelvet.

Systemet tåler ikke nedfall og påkjørsler og må derfor sikres mot dette.

4.5 Sandwich plastelementer

Bruksområde		Brukt i følgende prosjekter	
ADT	5 000-15 000	Tunnel	Fylke
Vegklasse	C-E	Holmestrand (E18)	Vestfold
Frostmengde, F_{10} (h°C)	Alle	Brevik (E18)	Telemark
Leverandør	Sollistrand industrier A/S	Moelv (E6)	Hedmark
Produktnavn	Sandwich- hvelv		
Konstruksjonsdeler		Generelt	
1) Permanent sikret berghvelv 2) Langsgående skinnprofil 3) Glassfiberarmert polyester 4) Plater av polyuretanskum		Konstruksjonen er bygd opp av to halvhvelv bestående av polyuretanskum-plater belagt med glassfiberarmert polyester, se figur 4.14.	



Figur 4.14 Hvelv av sandwich plastelementer, generelt tverrsnitt.

Materialer og materialkrav

Elementene består av 50 mm tykke plater av polyuretanskum belagt med 2 mm glassfiber-armert polyester.

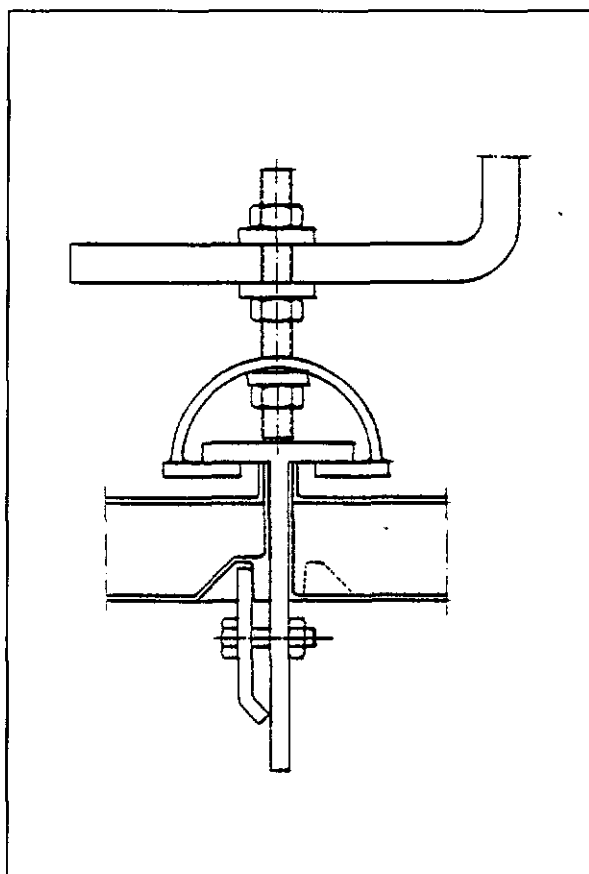
Materialkrav er gitt i kapittel 2.

Utforming og utførelse

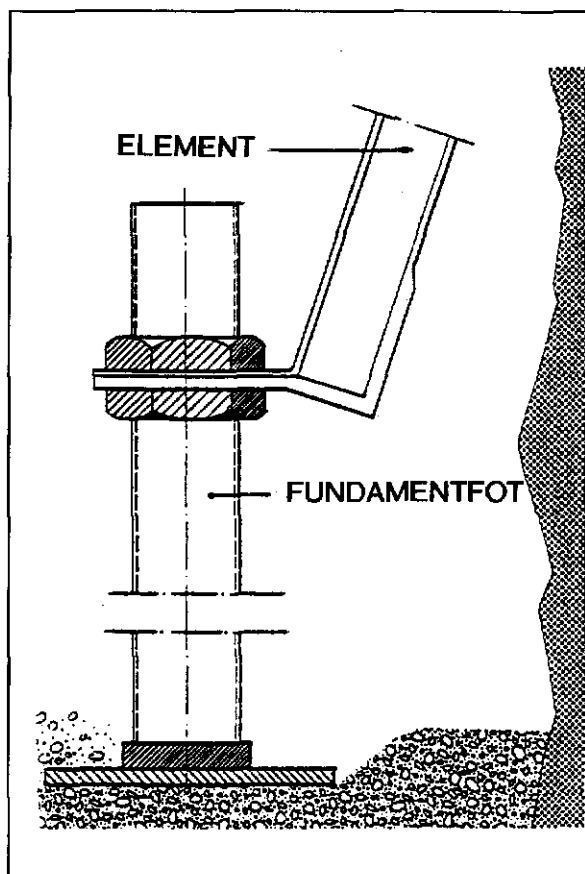
Elementene er bueformede slik at to elementer utgjør et hvelv. Elementene festes midt i taket med bolter til berghvelvet. En detalj av denne konstruksjonen vises i figur 4.15. I tillegg festes elementene i fundament 50 cm under ferdig vei. Fundament er enten en langs-gående skinne, eller fot der høyden enkelt kan justeres med en skrueforbindelse, se figur 4.16.

Elementskjøtene gjøres vanntette med en av de to aktuelle konstruksjonene i figur 4.17.

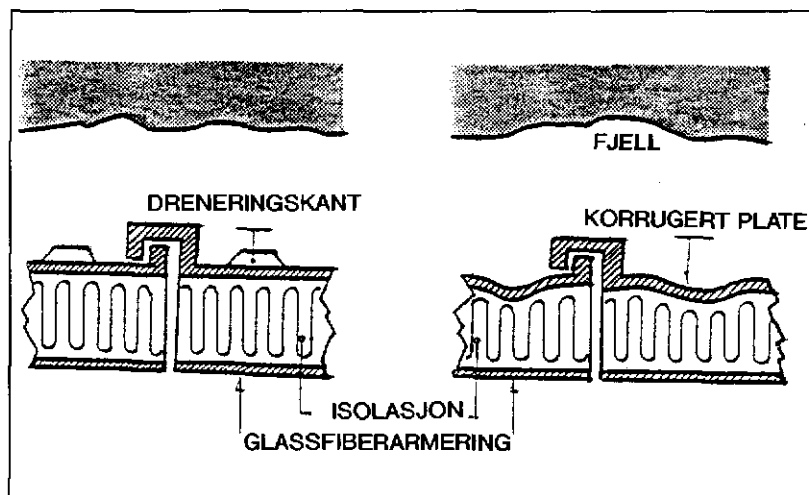
Lengden av elementene varierer fra 1,5 til 2,4 m avhengig av tunnelkurvaturen. Metoden kan tilpasses ned til en kurveradius på 300 m.



Figur 4.15 Innfesting i topp hvelv.



Figur 4.16 Overgang til fundamentfot.



Figur 4.17 To ulike konstruksjoner for vanntetting i elementskjøtene.

Kommentarer og erfaringer

Forutsatt forskriftsmessig montering blir sandwich-hvelvet vanntett. Det er stabilt og solid, og har en glatt og lett vaskbar overflate som kan gis farger etter ønske. Erfaringer fra 15 års tjeneste i høytrafikk tunnel på E18 er gode.

Det har vist seg vanskelig å produsere sandwich-hvelv med gode brann tekniske egenskaper. Dette har forsinket den videre utvikling, og i dag finnes ingen brann godkjent sandwich-hvelv type.

5 Kombinerte hvelv

5.1 Innledning

Kombinerte tunnelkledninger består normalt av betongelementer i veggene. Disse er frost-isolerte etter behov. I taket utføres Ekeberghvelv, stål- (Miljøhvelvet) eller aluminiumshvelv (Vik Verks platekledning). Kombinasjonen utgjør en optimal løsning, med hovedvekt på vanntetting/isolasjon i heng og trafikksikkerhet i veggen (kollisjonsmotstand, vedlikehold, linjeføring, og estetikk). Følgende 3 tunnelkledninger er presentert hvorav kun førstnevnte er tatt i bruk:

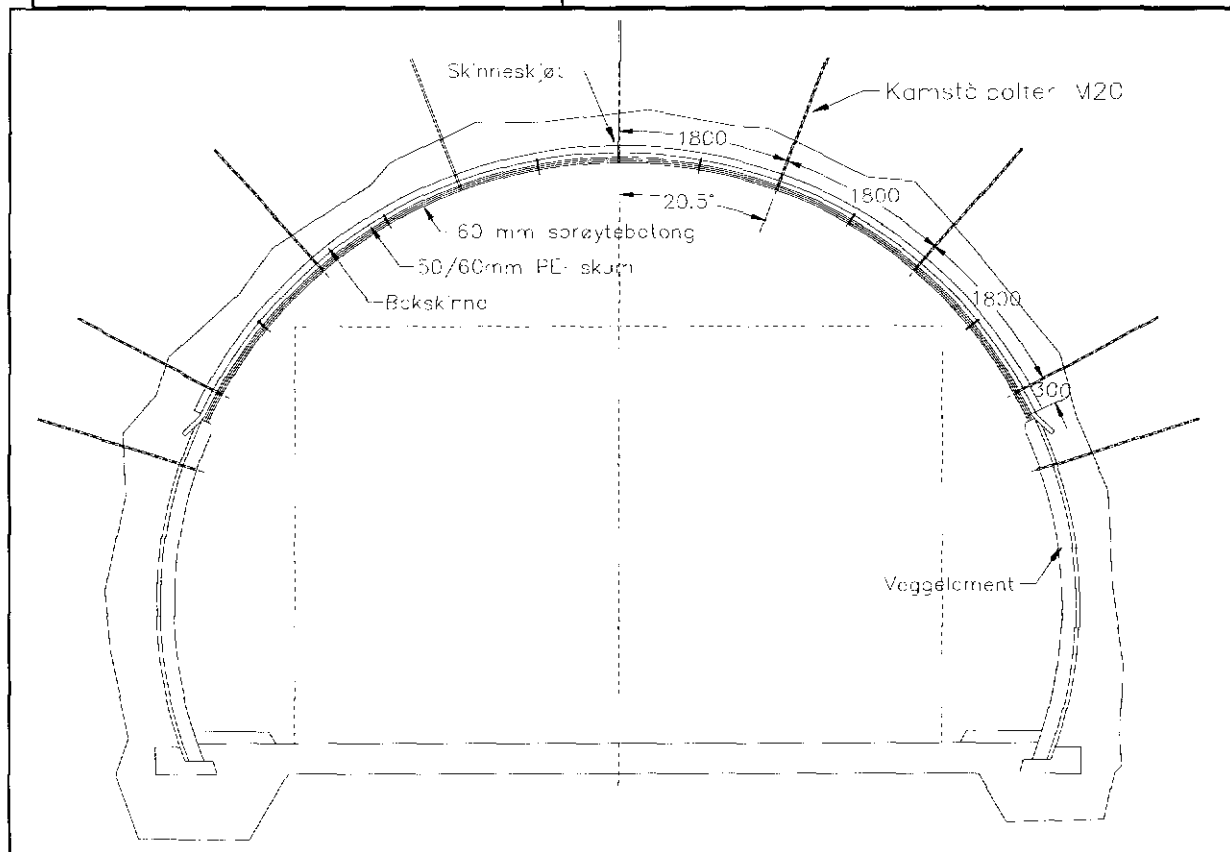
- Ekeberghvelv og betongelementer
- Miljøhvelv og betongelementer
- Platekledning og betongelementer.

Den enkelte tunnelkledning er presentert i tabellform som angir bruksområder med aktuelle funksjonskrav, referansprosjekter, samt generell omtale av løsning og konstruksjonsdeler.

Materialbruk og -krav er supplert i forhold til kapittel 2 foran, og utforming og utførelse er presentert for aktuelle tunnelprofiler. Til slutt i hver presentasjon er spesielle erfaringer knyttet til løsningen kort omtalt.

5.2 Ekeberghvelv og betongelemerter

Bruksområde		Brukt i følgende prosjekter	
		Tunnel	Fylke
ADT	5 000-30 000	Ekeberg tunnelen	Oslo
Vegklasse	C-E	Hitrattunnelen	Sør-Trøndelag
Frostmengde, F_{10} (h°C)	10 000-30 000	Blødekjørtunnelen	Arendal
Konstruksjonsdeler		Generelt	
1) Permanent sikret bergoverflate 2) Bolter av kamstål 3) Vannavisende festeprofilen i stål montert vinkelrett på tunnelakse 4) PE-skumplater festet butt til butt til stålprofilene 5) Nettarmoring 6) Sprøytebetong 7) Betongelemerter i vegg		Konstruksjonen består av armert sprøytebetong på PE-skum festet i tverrgående profiler, med veggelementer i betong, se figur 5.1. Detaljer ved de to konstruksjonsdelene finnes hhv. i kapittel 3.4, og kapittel 3.6.	



Figur 5.1 Ekeberghvelv i tak og betongelemerter i vegg, T9 profil.

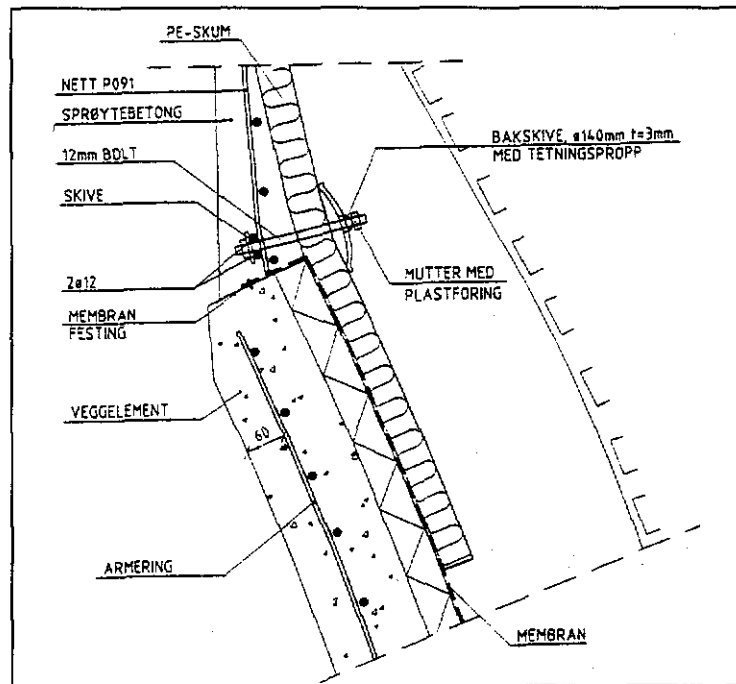
Utforming og utførelse

Veggelementer

Veggelementene som er 150 mm tykke monteres først med isolasjon av PE-skum som vist i kapittel 3.4.

Ekeberghvelv

Ekeberghvelvet utføres som beskrevet i kapittel 3.6. Overgang mellom betongelement og Ekeberghvelv vises i figur 5.2. PE-skummet i taket skal overlape PE-skummet belagt på betongelementene.



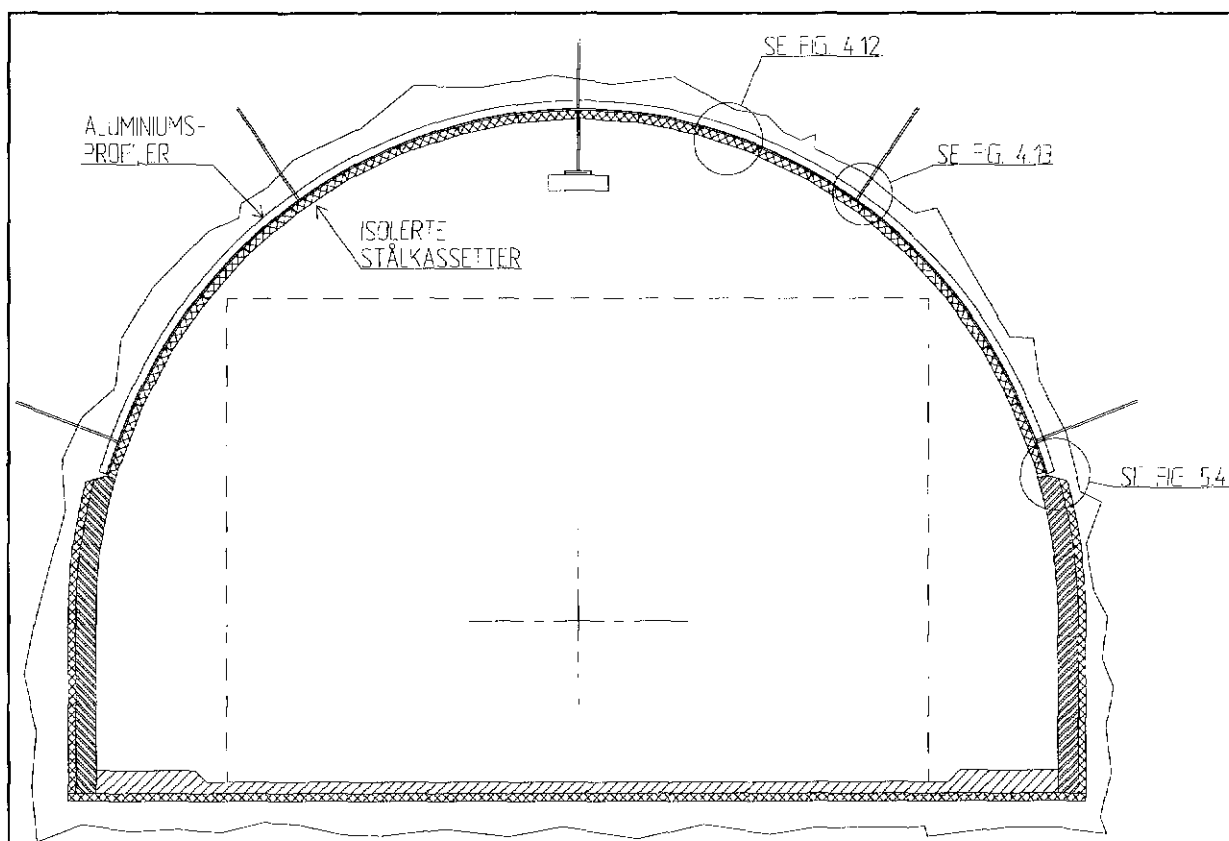
Figur 5.2 Overgang mellom ekeberghvelv og betongelementer.

Kommentarer og erfaringer

Erfaringene er gode så langt, bortsett fra at sprøytebetongoverflaten er vanskelig å holde ren. Et tilfelle av bussbrann i Ekeberg tunnelen viste at løsningen har gode branntekniske egenskaper.

5.3 Miljøhvelv og betongelementer

Bruksområde		Brukt på følgende prosjekter	
		Tunnel	Fylke
ADT	5 000-10 000	Kirkhei	Vest-Agder
Vegklasse	A-C	Henrik Ibsen	Oslo
Frostmengde, F_{10} (h°C)	10 000-30 000	Granfosslinja	Oslo
		Sandvikatunnelen	Akershus
Konstruksjonsdeler		Generelt	
1) Permanent sikret berghvelv 2) Bolter av kamstål 3) Aluminiumsprofiler vinkelrett på tunnelakse 4) Membran 5) Isolerte stålplater 6) Veggelementer i betong		Konstruksjonen består av et hvelv bygd opp av isolerte stål-kassetter (plater) med veggelementer i betong. Se figur 5.3. Detaljer ved de to konstruksjonsdelene finnes henholdsvis i kapittel 3.4, og kapittel 4.4.	



Figur 5.3 Miljøhvelv i tak og betongelementer i vegg, T9 profil.

Utforming og utførelse

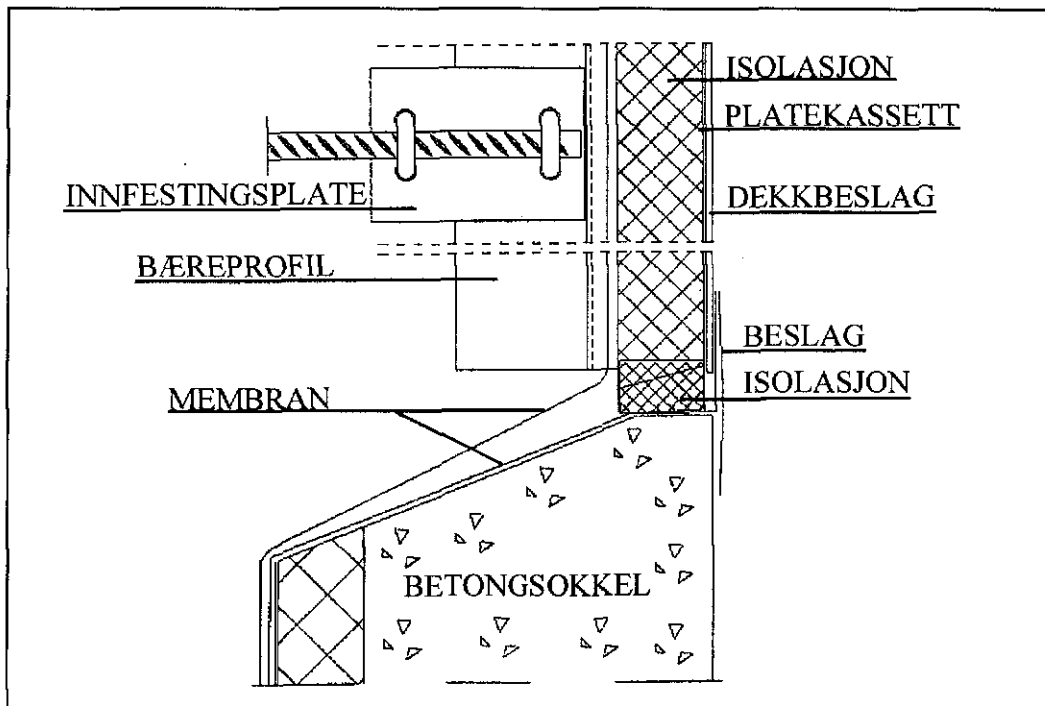
Veggelementer

Veggelementene kan være 1-3 m høye og minimum 150 mm tykke, og eventuelt isolert med ekstrudert polystyren. Elementene vanntettes med PVC-membran.

Utførelsen er som beskrevet i kapittel 3.4.

Miljøhvelv

Miljøhvelvet utføres som beskrevet i kapittel 4.4. De horisontale fugene mellom stålplatene behandles ikke, mens det i overgangen mellom stålplate og veggelement festes et 1,25 mm dekkbeslag som poppes til platen, og skrues til betongen, se figur 5.4.



Figur 5.4 Overgangen mellom stålplater i miljøhvelv og betongelement.

Kommentarer og erfaringer

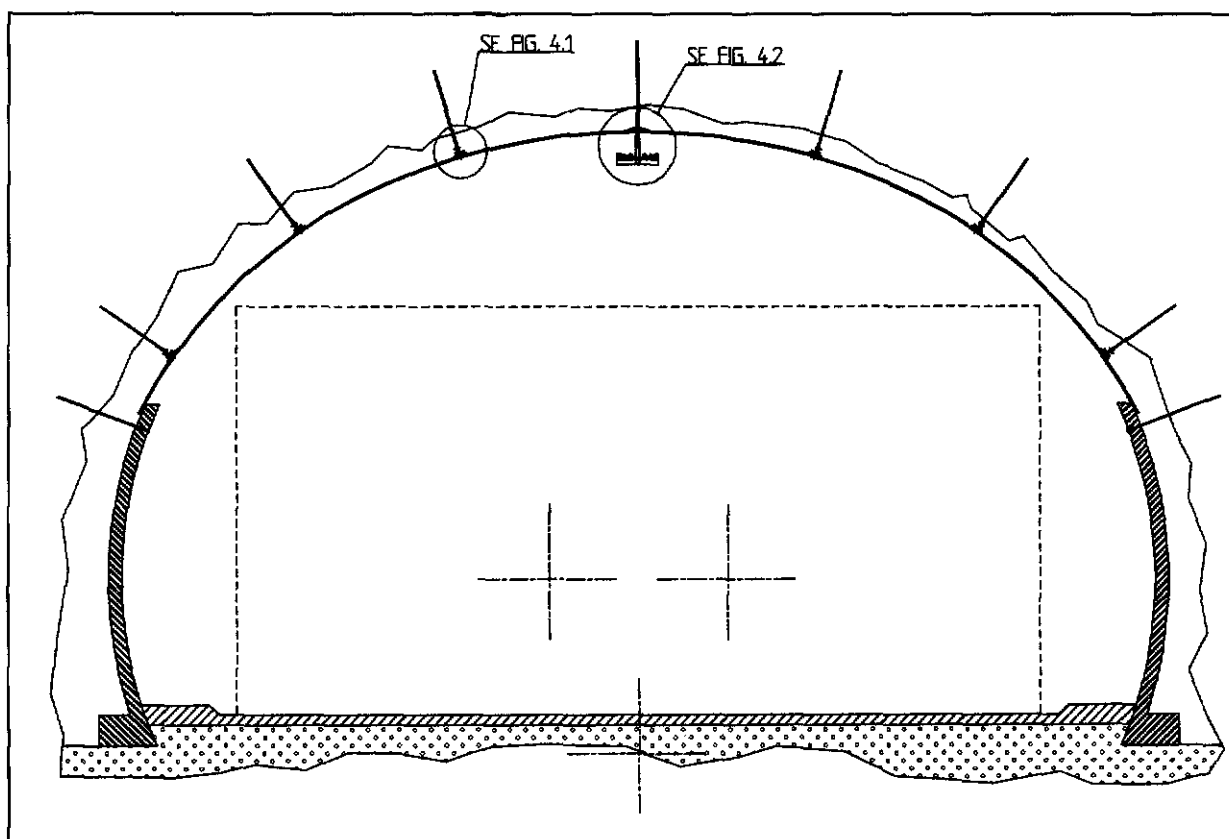
For miljøhvelv, se kapittel 4.4.

Veggelementer

På steder hvor det er brukt vegger av lettbetong uten tettende membran, er det registrert skader på grunn av fukt og påkjørsler.

5.4 Platekledning og betongelementer

Bruksområde		Brukt i følgende prosjekter	
		Tunnel	Fylke
ÅDT	< 10 000		
Vegklasse	A-C		
Frostmengde, F_{10} (h°C)	< 3 000		
Konstruksjonsdeler		Generelt	
1) Permanent sikret berghvelv 2) Bolter av kamstål 3) Stål festeprofilen i tunnelretningen 4) Aluminiumplater 5) Isolasjon av mineralull 6) Veggelementer i betong		Konstruksjonen er bygd opp av et dobbelt hvelv av aluminiumsplater med mellomliggende isolasjon, samt av veggelementer i betong. Se figur 5.5. Detaljer ved de to konstruksjonsdelene finnes henholdsvis i kapittel 3.4, og kapittel 4.2.	



Figur 5.5 Platekledning i tak og betongelementer i vegg, T11 profil.

Utforming og utførelse

Veggelementer

Veggelementene kan være mellom 1 og 3 m høye og minimum 150 mm tykke, og eventuelt pålagt frostisolasjon. Elementene vanntettes med heldekkende membran.

Utførelsen er som beskrevet i kapittel 3.4.

Platehvelv

Platehvelv utføres som beskrevet i kapittel 4.2.

Kommentarer og erfaringer

Konstruksjonen er ennå ikke brukt og erfaringer må bygges på de som er vunnet ved hver av hvelvtypene.

6 Litteratur

- Statens Vegvesen *Konstruksjoner for vann- og frostsikring i tunneler; anbefalt anbudsgrunnlag etter Håndbok 163.* Vegdirektoratet. Oslo 1992.
- Statens Vegvesen *Vegtunneler.* Håndbok 021. Vegdirektoratet. Oslo 1992.
- Statens Vegvesen *Vann- og frostsikring i tunneler; konstruksjoner for avskjerming: funksjonskrav og dimensjoneringsregler.* Håndbok 163. Vegdirektoratet. Oslo 1995.
- Grønhaug, A. *Vann- og frostsikring av vegtunneler; SK-kurs Stavanger 1992.* Intern rapport 1566. Vegdirektoratet, Veglaboratoriet. Oslo 1992.
- Bergan, M. *Befaring Granfosslinjen 15. og 30. november 1994.* Intern rapport 1755. Vegdirektoratet, Veglaboratoriet. Oslo 1994.
- Bergan, M. *Membraner i tunnelbygging; SK-kurs Scandic hotel, Høvik oktober 1994.* Intern rapport 1758. Vegdirektoratet, Veglaboratoriet. Oslo 1995.
- Grønhaug, A. *Vann- og frostsikring av trafikk tunneler; injeksjon og kledning: strategier for vanntetting av norske vegtunneler.* NIF-kurs. NIF. Oslo 1995.
- Boge, K. *Vann- og frostsikring av trafikk tunneler; injeksjon og kledning: vanntett utstøpning med og uten membran.* NIF-kurs. NIF. Oslo 1995.
- Aas-Jakobsen A/S *Anbudsbeskrivelse, Romeriksporten.* Oslo 1994.
- Andreassen, F. *Vann- og frostsikring av trafikk tunneler; injeksjon og kledning: planlegging, design og utførelse av vannsikring (rev. av håndbok 163).* NIF-kurs. NIF. Oslo 1995.
- Statens Vegvesen *Prosesskode 1: Standard arbeidsbeskrivelse for vegarbeidsdriften; hovedprosess 3.* Håndbok 025. Vegdirektoratet. Oslo 1994.
- Berg, N. *Vann- og frostsikring av vegtunneler; utenlandske krav og retningslinjer.* Intern rapport 1582. Vegdirektoratet, Veglaboratoriet. Oslo 1993.
- Grønhaug, A. *Forsøk med steinnedfall på W.Giertsens tunnelmatte.* Intern rapport 1596. Vegdirektoratet, Veglaboratoriet. Oslo 1993.

- Berg, N. *Utenlandske krav til betong som vann- og frostsikring i tunneler.* Intern rapport 1602. Vegdirektoratet, Veglaboratoriet. Oslo 1993.
- Bergan, M. *Branntesting av brannbeskyttede PE-plater.* Intern rapport 1632. Vegdirektoratet, Veglaboratoriet. Oslo 1993.
- Davik, K.I. *Trykkimpulser fra vogntogtrafikk i vegtunneler.* Intern rapport 1633. Vegdirektoratet, Veglaboratoriet. Oslo 1993.
- Davik, K.I. *Metoder for vann- og frostsikring av vegtunneler. Delprosjekt C: Miljøpåkjenninger.* Intern rapport 1653. Vegdirektoratet, Veglaboratoriet. Oslo 1994.
- Bergan, M. *Metoder for vann- og frostsikring av vegtunneler. Delprosjekt H: Brannsikring av PE-skum. Delprosjekt I: Alternative løsninger for brannsikring av PE-skum.* Intern rapport 1657. Vegdirektoratet, Veglaboratoriet. Oslo 1994.
- Grønhaug, A. *Linings for sub-sea tunnels in rock.* Intern rapport 1671. Vegdirektoratet, Veglaboratoriet. Oslo 1994.
- Davik, K.I. *Metoder for vann- og frostsikring av vegtunneler. Delprosjekt D: Vedlikehold.* Intern rapport 1681. Vegdirektoratet, Veglaboratoriet. Oslo 1994.
- Pedersen, K.B. *Måling av frostmengder i 8 tunneler vinteren 93/94: datarapport med kommentarer.* Intern rapport 1699. Vegdirektoratet, Veglaboratoriet. Oslo 1994.
- Bergan, M. *Lyse vegger i vegtunneler.* Intern rapport 1707. Vegdirektoratet, Veglaboratoriet. Oslo 1994.
- Grønhaug, A. *Metoder for vann- og frostsikring av vegtunneler. Delprosjekt E: Geomembraner. Rapport fra NIF's studiereise i England 31/5-5/6 1994.* Intern rapport 1724. Vegdirektoratet, Veglaboratoriet. Oslo 1994.
- Davik, K.I. *Metoder for vann- og frostsikring av vegtunneler. Delprosjekt B: Trykkimpulser fra vogntog i vegtunneler.* Intern rapport 1727. Vegdirektoratet, Veglaboratoriet. Oslo 1994.
- Davik, K.I. *Brannsikring av PE-skum; fullskala brannforsøk av «Hordamix» (P-499).* Intern rapport 1763. Vegdirektoratet, Veglaboratoriet. Oslo 1995.
- Skaar, V. *Vaskbare paneler.* Intern rapport 1764. Vegdirektoratet, Veglaboratoriet. Oslo 1995.

- Davik, K.I. *Brannsikring av PE-skum: fullskala brannforsøk og evalueringer (P-499)*. Intern rapport 1773. Vegdirektoratet, Veglaboratoriet. Oslo 1995.
- Iversen, E. *Frostmålinger i 8 utvalgte tunneler vinteren 1994/95*. Intern rapport 1802. Vegdirektoratet, Veglaboratoriet. Oslo 1995.
- Olsen, F.M. *Vann- og frostsikring av vegtunneler; dagens teknologi og gårsdagens synder*. Betongindustrien nr. 4, 1994.
- W. Giertsen A/S *WG Tunnelduk: Vegtunnel*. Infofolder. Bergen 1993.
- Ørsta Stålundstri *WG tunnelduk: ståprofil T100, tunnelprofil T8 og T8,5*. Tegninger. Ørsta.
- Ørsta stålundstri *Ekeberghvelvet - en vanntett tunnelkledning basert på PE-skum og sprøytebetong*. Informasjonsfolder. Ørsta.
- Statens Vegvesen *Tunnel Fosskollen, motorveg Oslo-Drammen*. Tegninger. Vegdirektoratet, Veglaboratoriet. Oslo 1970.
- Statens Vegvesen *Prosedyrer for tunnel; montasje av PE-skum*. Vegdirektoratet. Oslo.
- Statens Vegvesen *Kvalitetshåndbok for vann- og frostsikring med PE-skum; Gjeldende fra 01.05.95*. Tunnelseksjonen. Vegdirektoratet. Oslo.
- Grøntveit, J. *Vann- og frostsikring av vegtunneler*. Litteraturoppgave. Trondheim 1994.
- Statens Vegvesen *Nye retningslinjer for bruk av PE-skum i vegtunneler*. NA-Rundskriv 95/27. Vegdirektoratet. Oslo 1995.
- Tveide, E. *E18 Øst Rona - Torsvik; tilbud på lettbetongelementer - ferdig montert*. Vest-Agder vegkontor. Kristiansand 1992.
- Tveide, E. *E18 Øst Rona - Torsvik; tilbud på betonghvelv montert i Haumyrheia tunnel*. Vest-Agder vegkontor. Kristiansand 1993.
- Førland, J. *Statiske beregninger av isolert tunnelplatekledning*. Vik Verk. Vik i Sogn 1994.
- AH-Vik Verk *Hydro platetak: Tunnelprofil T11*. Tegning. Vik i Sogn 1994.
- Taugbøl & Øverland *Statisk beregning; enkelt uisolert tunnelplatetak i aluminium med takrenne, tunnelprofil T11*. Oslo 1993.

- DNV *Utmattningstest av aluminiumskorrigeret aluminiumsplate, legering 5052 H36, til Hydro platetak i vegtunneler. DNV classification. Høvik 1994.*
- Rescon AS *Rescon-leveranser til japanske vegtunneler. Rescon News. Oslo 1996.*
- Grønhaug, A. *Kartlegging av sprøytebetong i vegtunneler. Intern rapport 1816. Vegdirektoratet, Veglaboratoriet. Oslo 1995.*
- Statens Vegvesen *Sluttrapport Nordbytunnelen - E6 Vassum-Vinterbro. Akershus vegkontor. Oslo 1994.*
- Veidekke ASA *Vann- og frostsikring av tunneler: Termo Lining. Informasjonsfolder.*
- Hydro Aluminium *Statiske beregninger av uisolert tunnelplatekledning i aluminium. Oslo 1995.*
- Vik Verk *Hydro platetak m/takrenne: Tunnelprofil T11. Vik i Sogn.*
- Miljøsikring AS *Typegodkjenning: Miljøhvelvet M-93. Vegdirektoratet. Oslo 1994.*
- Miljøsikring AS *Miljøhvelvet M-93. Informasjonsfolder.*
- Miljøsikring AS *Miljøhvelvet Eidsnes 1993. Tegninger.*
- Statens Vegvesen *Data om tunneler på riks- og fylkesveger. Rapport 15. Vegdirektoratet, Transportanalysekontoret. Oslo 1996.*
- Berdal Strømme, Asplan Viak Sør A/S *Byggeplan, Arendal Øst-Vest. Aust-Agder vegkontor. Arendal 1992.*
- W.Giertsen A/S *WG-Tunnelduk. Referanseliste. Bergen.*
- Veidekke ASA *Utvikling og markedsføring av sandwich-tunnelelementer. Prosjekt nr.: BA 30.204.*
- Statens Vegvesen *Anbudsbeskrivelse, Arendal Øst-Vest. Aust-Agder vegkontor. Arendal.*
- Statens Vegvesen *Sikring av vegtunneler. Meddelelse nr. 48. Vegdirektoratet, Veglaboratoriet. Oslo 1975.*
- Bardal, O.I. *Vann- og frostsikring av vegtunneler; vurdering av betongelementløsninger. Hovedoppgave høsten 1992, NTH. Trondheim 1992.*

Publikasjoner fra Veglaboratoriet

38. Ø. JOHANSEN. Varmeledningsevne av forskjellige vegbyggingmaterier (The thermal conductivity of various road aggregates). 18 p. 1971.
39. R. S. NORDAL, E. HANSEN. Vormsund Forsøksveg, Del 1: Planlegging og bygging (Vormsund Test Road, Part 1: Design and Construction). 48 p. 1971.
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 frostakkumulerende 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.
51. 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 løsmassetunneler (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 «Prøvereparasjon og produktutvikling» («Trail repairs and product development, final report»). 156 p. 1997.
85. OFU Gimsøystraumen bru. Sluttrapport «Klimapåkjenning 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.

