



Vann- og frostsikringskledninger for trafikk tunneler

Funksjon og tekniske løsninger, utvikling over tid

NFF, Temadag, 3. mai 2023

Karl Gunnar Holter

Teknisk ekspert, ingeniørgeologi og bergteknikk

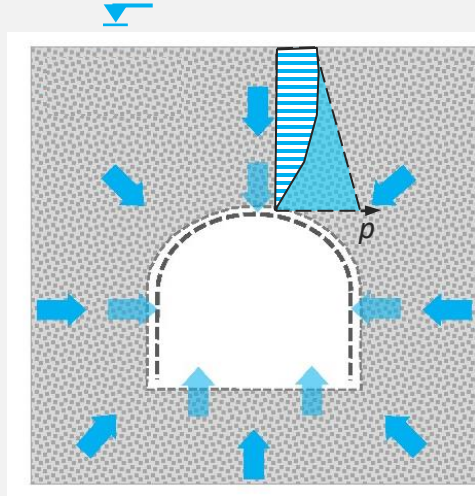


Innhold

- ↗ Hovedtyper tekniske løsninger ut fra funksjon
- ↗ Historisk utvikling i «nyere» tid
- ↗ Tekniske løsninger med eksempler på anvendelser med ulike funksjonskrav
- ↗ Erfarte utfordringer
- ↗ Kostnadssammenlikning

Hovedtyper tekniske løsninger

Fullstendig drenerte løsninger

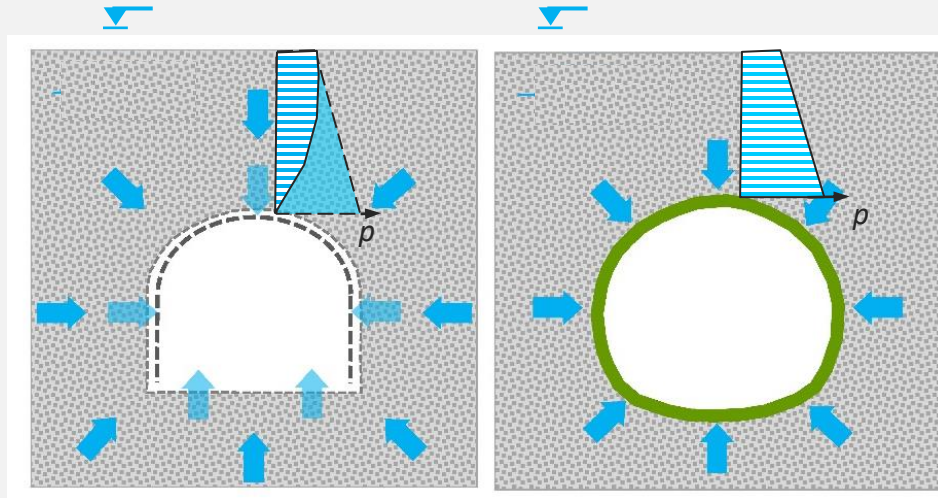


Bergsikring uten
vanntetningsfunksjon.
Vannsikringskonstruksjon
mekanisk adskilt fra berg

Hovedtyper tekniske løsninger

Fullstendig drenerte løsninger

Udrenerte løsninger

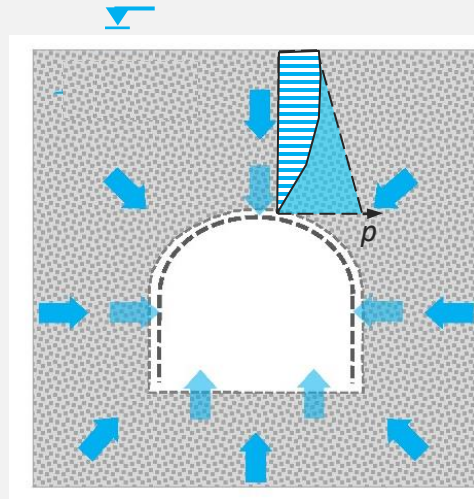


Bergsikring uten
vanntetningsfunksjon.
Vannsikringskonstruksjon
mekanisk adskilt fra berg

Vanntett kledningskonstruksjon i
hele tunnelens periferi. Må
dimensjoneres for hydrostatisk
trykk

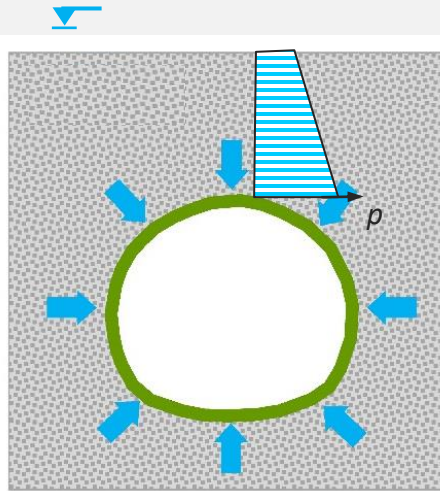
Hovedtyper tekniske løsninger

↗ Fullstendig drenerte løsninger



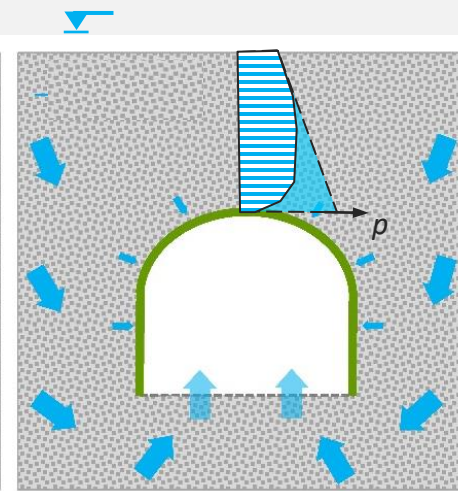
Bergsikring uten
vanntetningsfunksjon.
Vannsikringskonstruksjon
mekanisk adskilt fra berg

↗ Udrenerte løsninger



Vanntett kledningskonstruksjon i
hele tunnelens periferi. Må
dimensjoneres for hydrostatisk
trykk

↗ Delvis drenerte løsninger



Vanntett og udrenert
kledningskonstruksjon i vegger
og heng. Drenerende såle uten
vanntetting

Hovedtyper tekniske løsninger

↗ Drenerte løsninger



E6 Eidsvollstunnelen (2012)

↗ Udrenerte løsninger



Bane NOR Blixtunnelen (2022)

↗ Delvis drenerte løsninger



Bane NOR Holmestrandporten
(2014)

Historisk viktige milepæler av betydning for tekniske løsninger til vann- og frostsikring

- 1990 – 2000 tallet, videreutvikling og forbedring av drenasjehvelv, til vann og frostsikring
- 2012: Statens Vegvesen Vegdirektoratet, etatsprogrammet «Varige Veier»
- 2016: FNs bærekraftsmål
- 2023: Veien videre ?

En viktig milepæl: Statens Vegvesen sitt etatsprogram «Moderne vegtunneler 2008 – 2011»

Satte fokus på levetid og RAMS parametere

Reliability:	pålitelighet
Availability:	tilgjengelighet, oppetid
Maintainability :	vedlikeholdbarhet
Safety:	sikkerhet

Og LCCA som viktig beslutningsgrunnlag for metodikk og prosjektering:

LCCA: Life Cycle Cost Analysis



Foto: Knut Opeide

Historisk viktige milepæler av betydning for tekniske løsninger til vann- og frostsikring

2008-2011: Statens Vegvesen Vegdirektoratet, etatsprogrammet «Moderne Vegtunneler»,

Viktige enkeltpunkter:

Strategi for bygging av bergtunneler

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

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

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

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

Tunneler med $\dot{A}DT_{20}$ under 4 000 kan alternativt etter behov utformes med øvrige typegodkjente vann- og frostsikringsløsninger.

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

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

FNs bærekraftsmål, av betydning for tunnelbygging

FNs 17 bærekraftsmål



Hovedtyper tekniske løsninger

↗ Drenerte løsninger



E6 Eidsvollstunnelen (2012)

↗ Udrenerte løsninger



Bane NOR Blixtunnelen (2022)

↗ Delvis drenerte løsninger



Bane NOR Holmestrandporten
(2014)

Drenerte løsninger: Frittstående hvelv for vann og frostsikring

- ↗ Innlekkende vann dreneres ned til såle med et vannsikringshvelv som er montert fast på tunneloverflaten
 - Gir dryppsikring på kjørebanelen
 - Frostisoleres ved behov
- ↗ Flere typer:
 - Betongelementhvelv i hele tunnelprofilen
 - Kombihvelv med veggelementer av betong og PE-skum med brannsikring av sprøytebetong i heng
 - PE-skum hvelv med brannsikring av sprøytebetong
 - Dukhvelv, med eller uten beskyttelse av sprøytebetong
 - Til Brannsikring av sprøytebetong og konstruksjonsbetong benyttes monofilament PP-fibre, som hindrer/forsinker eksplosiv avskalling av betong ved brann

Drenert løsning (1) Frittstående hvelv for vann og frostsikring

Bergsikring med brukslevetid 100 år

I dag: krav til at sprøytebetong føres ned til såle med minimumstykkelse 80 mm

Frostsikring av hvelv og såle etter dimensjonerende frostlast



Drenert løsning (1) Frittstående hvelv for vann og frostsikring

Elementhvelv

*Krav til brukslevetid av
hvelv: 50 år*



E6 Eidsvollstunnelen, 2012

Drenert løsning (1) Frittstående hvelv for vann og frostsikring
Kombihvelv, veggelementer av betong, heng av PE-skum med brannsikret
sprøytebetong



Drenert løsning (2) vann og frostsikring med PE-skum

I sin enkleste form:

PE skum montert «på knøl».

Kan monteres selektivt i partier med lekkasjer.

Krav til brannsikring med sprøytebetong med monofilamnet PP fibre



Drenert løsning (2) Frittstående hvelv for vann og frostsikring PE-skum hvelv

PE skum med montert på bolter med presis posisjonering for PE-skum hvelv



Gevingåstunnelen, fra byggingen av seksjon med PE-skum hvelv, mars 2009

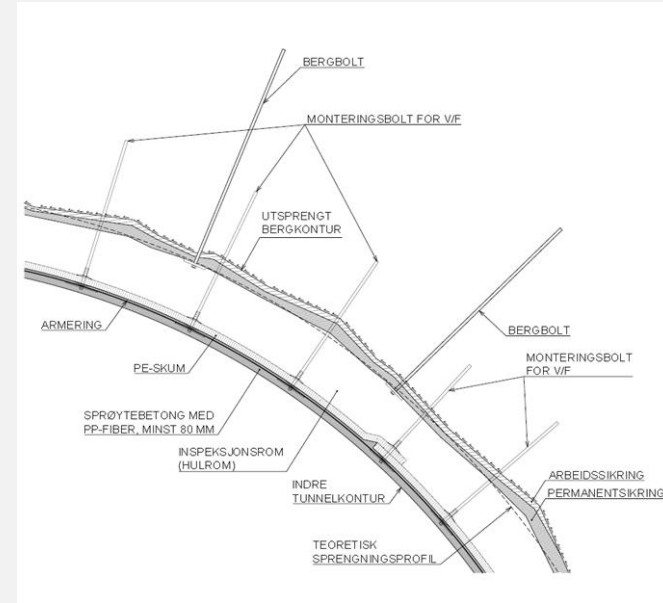
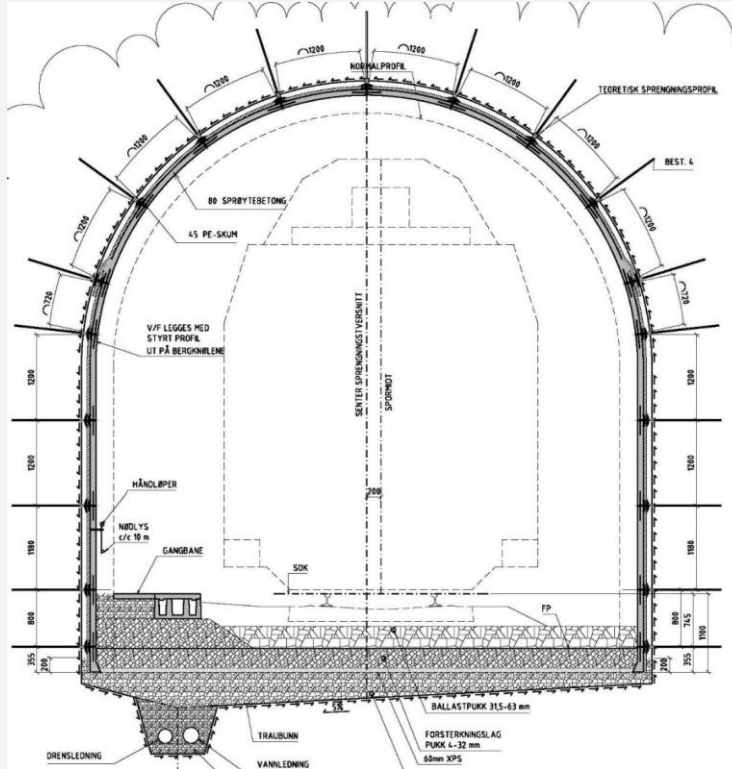
Drenert løsning (2) Frittstående hvelv for vann og frostsikring PE-skum hvelv

*PE skum med
nettarmoring,
brannsikring med
sprøyting med
monofilament PP fibre*



Gevingåstunnelen, fra byggingen av seksjon med PE-skum hvelv, mars 2009

Drenert løsning (2) Frittstående hvelv for vann og frostsikring PE-skum hvelv, med montasje bolter



Drenert løsning (2) Frittstående hvelv for vann og frostsikring PE-skumhvelv

*Brannsikret PE-skumhvelv i
moderne dobbeltsporet
jernbanetunnel*

*Bærumstunnelen, Sandvika-
Lysaker, 2012*



Drenert løsning (3) Frittstående hvelv for vann og frostsikring foliemembran hvelv med sprøytebetong

*Folmembran med
nettarmoring,
brannsikring med
sprøytebetong med
monofilament PP fibre*



Drenert løsning (3) Frittstående hvelv for vann og frostsikring foliemembranhvelv med sprøytebetong

*Installasjon av nettarmeringen
til foliemembranhvelv
brannsikring med sprøyting
med monofilament PP fibre*

*Ulrikentunnelen Arna – Bergen,
enkeltsporet jernbane, september 2018*



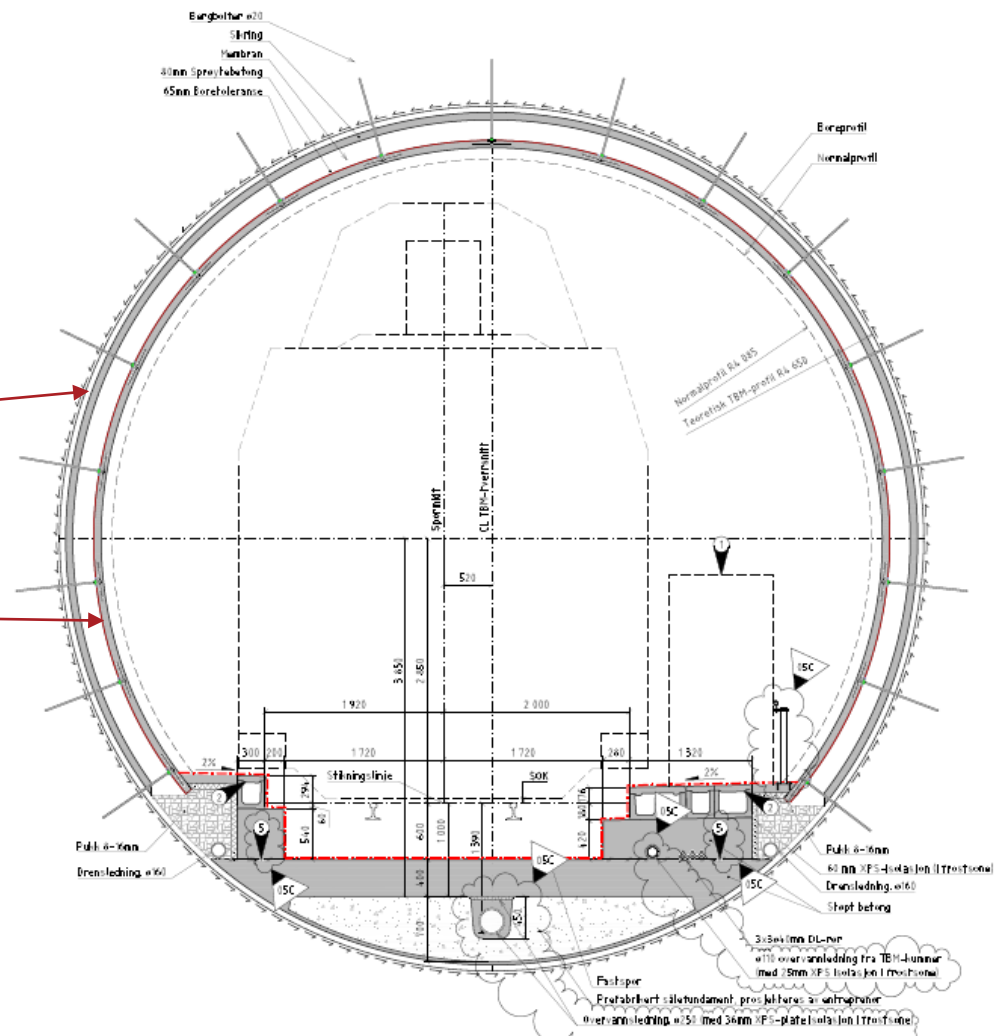
Drenert løsning (3)

Frittstående hvelv for vann og frostsikring

foliemembranhvelv med sprøytebetong

Bergsikring

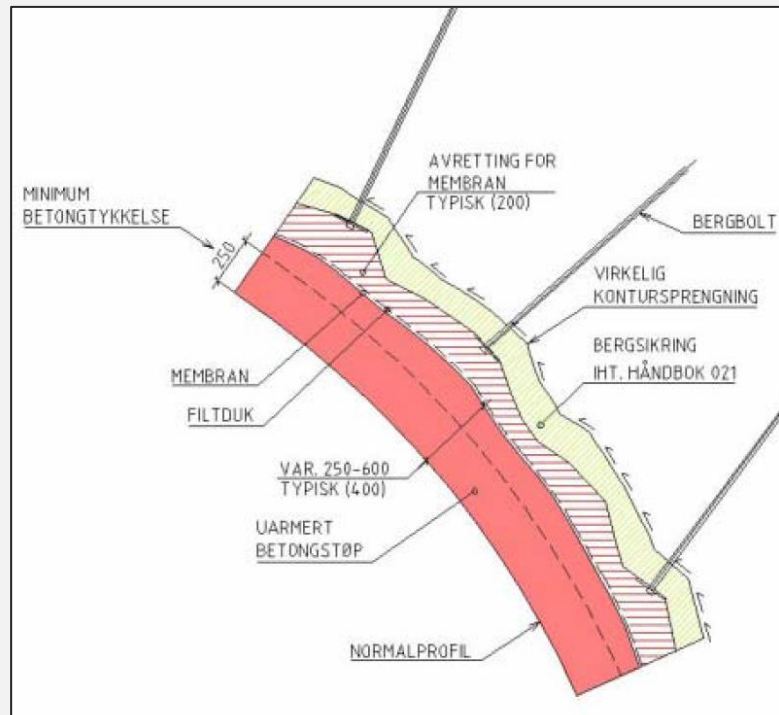
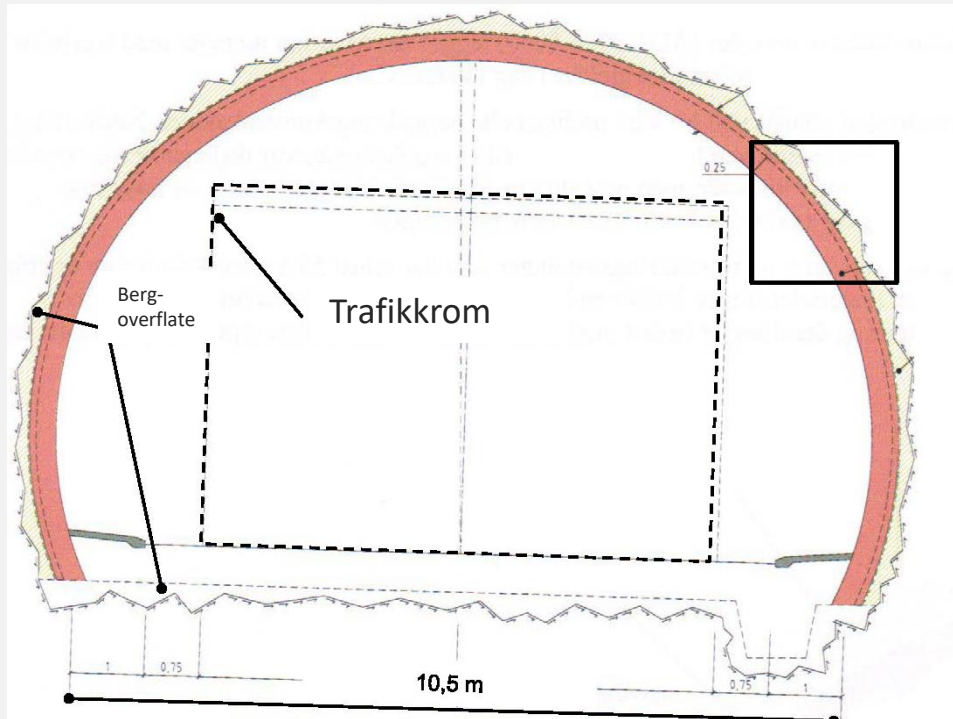
Vannsikringhvelv, med 80 mm nettarmert sprøytebetong



Ulrikentunnelen Arna – Bergen,
enkeltsporet jernbane,
Kilde: Bane NOR Utbygging

Drenert løsning (4) Kontaktstøp med foliemembran

Fra «Etatsprogrammet Moderne Vegtunneler 2008-2011», Statens Vegvesen Vegdirektoratet, rapport 127, 2012, teknisk løsning for vegtunneler med ÅDT > 4000



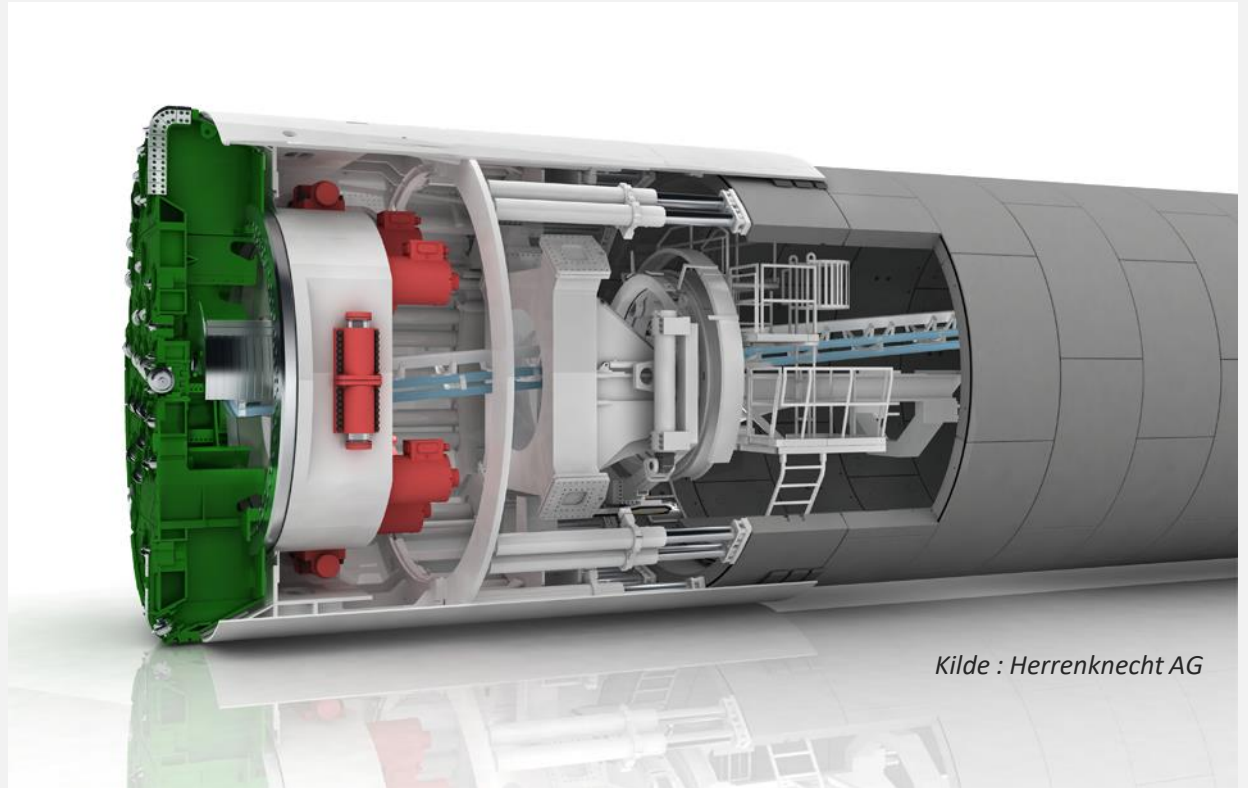
Drenert løsning (4) Kontaktstøp med foliemembran

- Plastøpt betonghvelv, som vannsikres med drenerende geotekstil med sveiset foliemembran
- Bergsikringsoverflaten jevnes ut før membranen monteres
- Betongkledningen plastøpes i seksjoner på ca 12 m



Udrenert løsning: TBM-boret tunnel med betongelementkledning

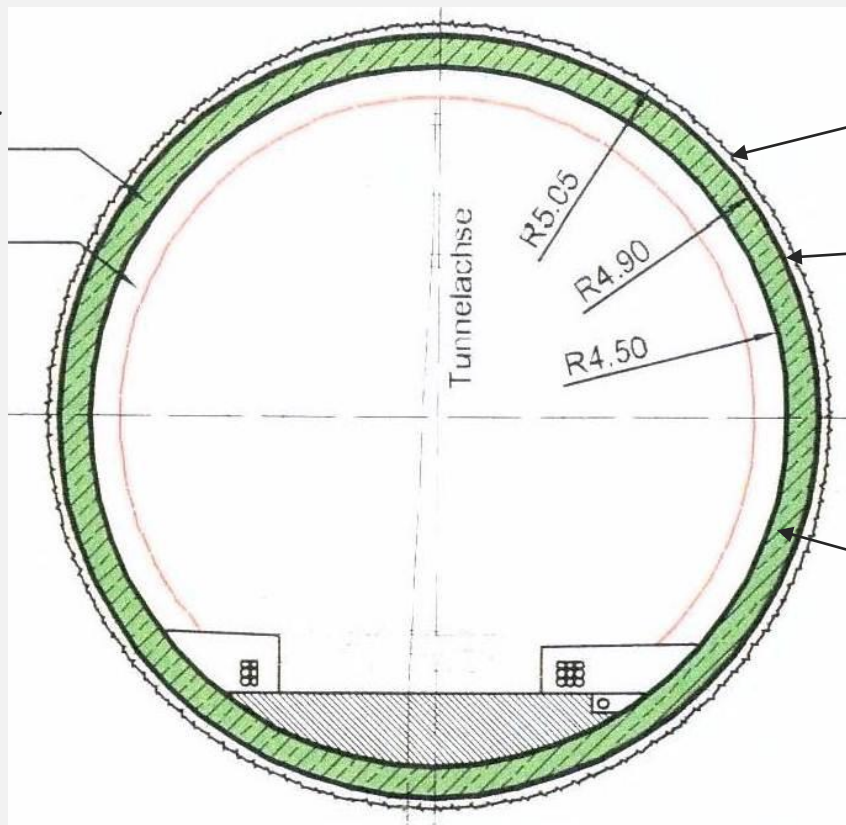
*Tunnelkledningen består av
prefabrikkerte
betongelementer som
monteres parallelt med
boringen av tunnelen*



Kilde : Herrenknecht AG

Udrenert løsning: TBM-boret tunnel med betongelementkledning

*Tunnelkledningen består
prefabrikkerte
betongelementer som
monteres parallelt med
boringen av tunnelen*



Boret tunnelkontur

*Ringspalten mellom berg
og betongelementkledning,
fylles med en
tilbakefyllingsmørtel*

*Kledning av
prefabrikkerte
betongelementer*

Udrenert løsning: TBM-boret tunnel med betongelementkledning

*Montasje av
betongelementer inni
haleskjoldet på TBM*



Udrenert løsning: TBM-boret tunnel med betongelementkledning



Delvis drenert løsning: Sprøytebetongkledning vanntettet med sprøytbar membran



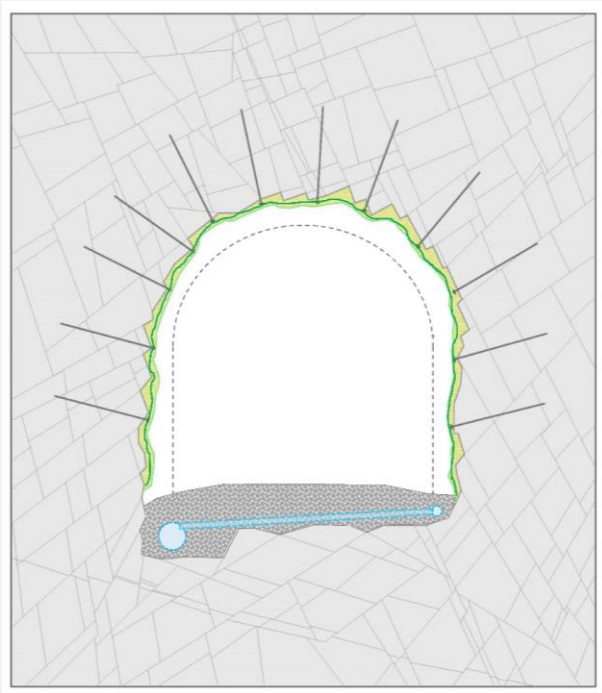
Holmestrandporten under bygging, mai 2016



*Gevingåstunnelen, april 2014
- Blir elektrifisert 2022-2023*

Delvis drenert løsning:

Sprøytebetongkledning vanntettet med sprøytbar membran



BERG

BERGSIKRINGSSPRØYTEBETONG

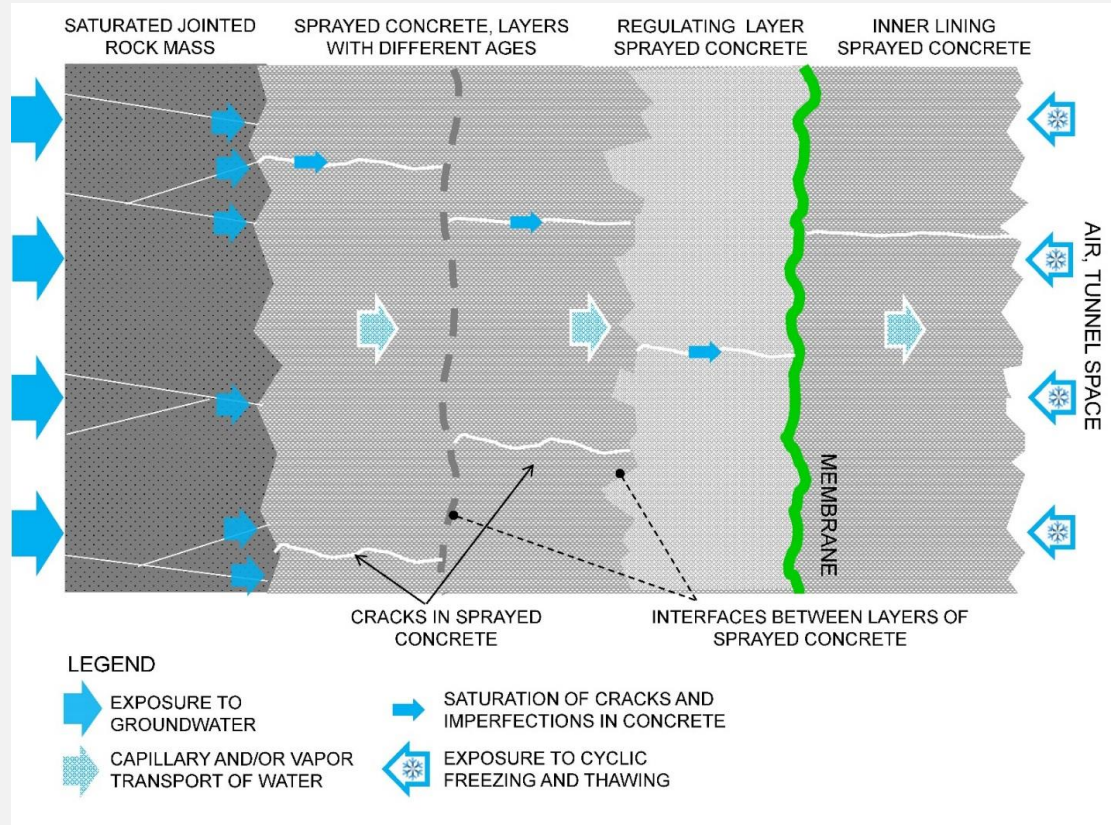
DEKKSJIKT-
SPRØYTEBETONG

↑
SPRØYTBAR
VANNTETTINGS
MEMBRAN

Delvis drenert løsning: Sprøytebetongkledning vanntett med sprøytbar membran

Funksjonsprinsipp:

- Vanntett, diffusjonsåpen, udrenert konstruksjon.
- Bygges/prosjekteres som en delvis drenert tunnel
- Geomekanisk belastning prosjekteres som samvirke med bergsinking



Delvis drenert løsning

Sprøytebetongkledning vanntett med sprøytbar membran

*Utførte prosjekter i Norge
viser hittil intet
vedlikeholdsbehov av
kledning etter opp til 12 års
drift*



Delvis drenert løsning

Sprøytebetongkledning vanntettet med sprøytbar membran

*Siste utførelse i Norge:
Kronstadtunnelen,
Bergen*

*Gang- og sykkel tunnel,
Bybanen*

*Kronstadtunnelen,
Bergen februar 2023*

Kilde: Vestland Fylkeskommune



Delvis drenert løsning

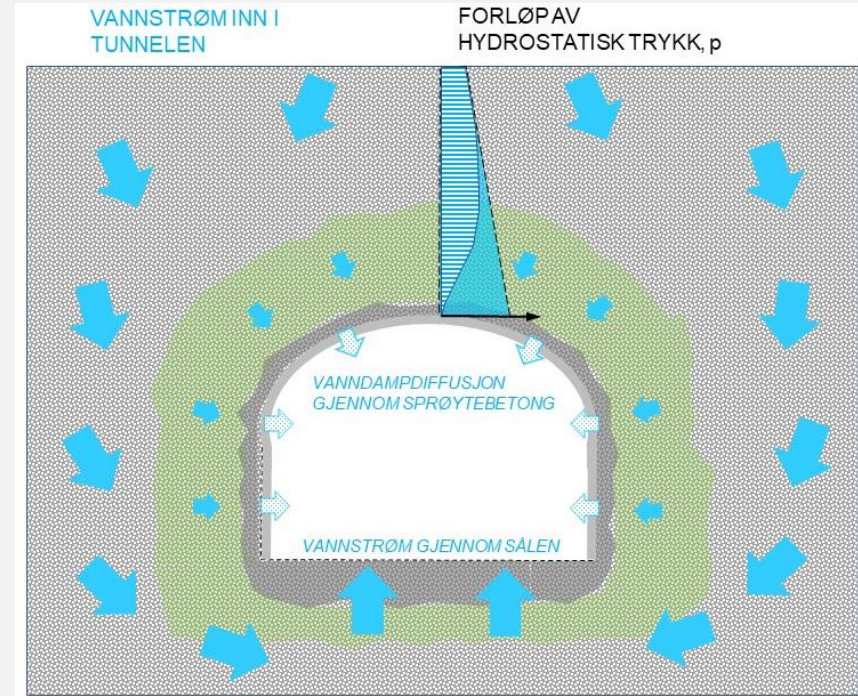
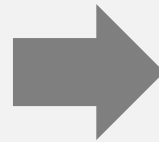
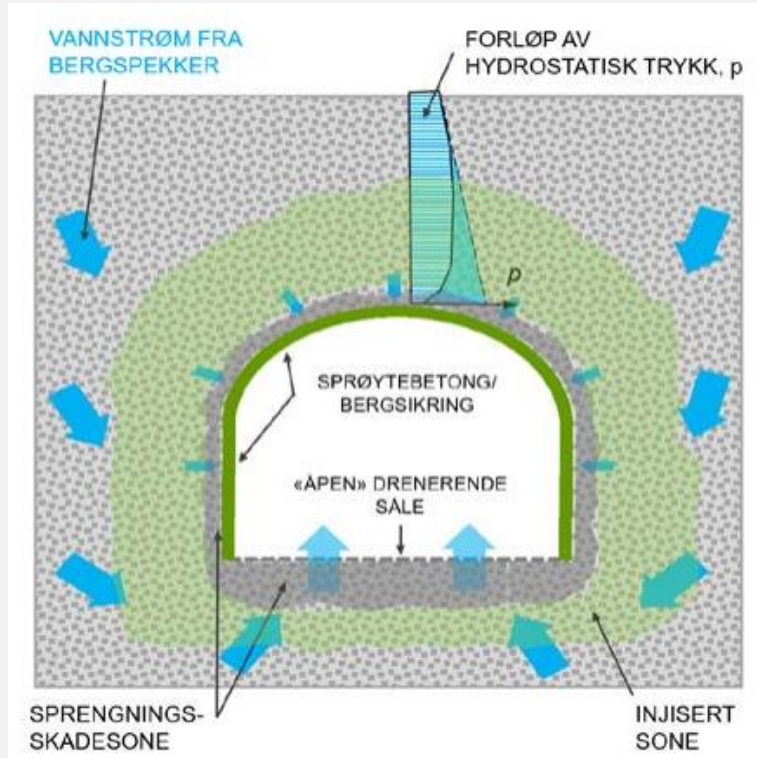
Sprøytebetongkledning vanntettet med sprøytbar membran

Kronstadtunnelen, Bergen. Grensesnitt mellom ulike løsninger



Delvis drenert løsning: pågående utvikling Hestnestunnelen

Forinjeksjon utføres med meget høyt tetthetsmål slik at vanntetningsmembran eller konstruksjon utføres kun lokalt



Erfarte utfordringer

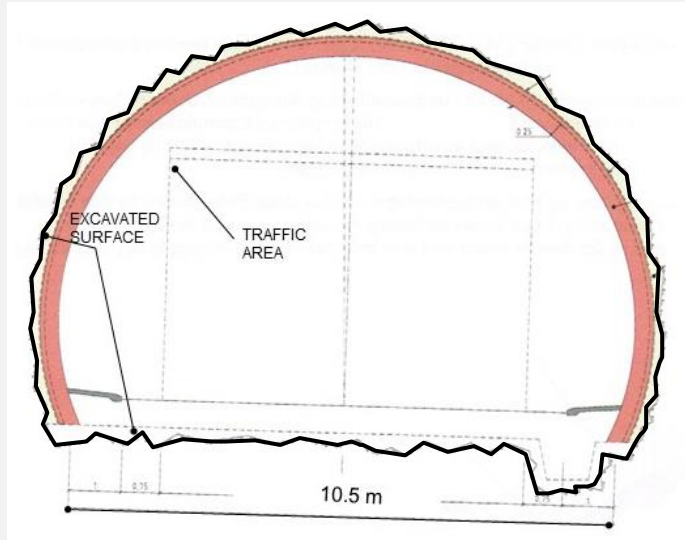
Erfarte utfordringer

- ↗ Utfordringer under bygging som løses før ferdigstillelse
- ↗ Utfordringer som oppstår under driftsfasen og fører til driftsavbrudd, ikke-planlagt stengt tid med uforutsette rehabiliteringskostnader

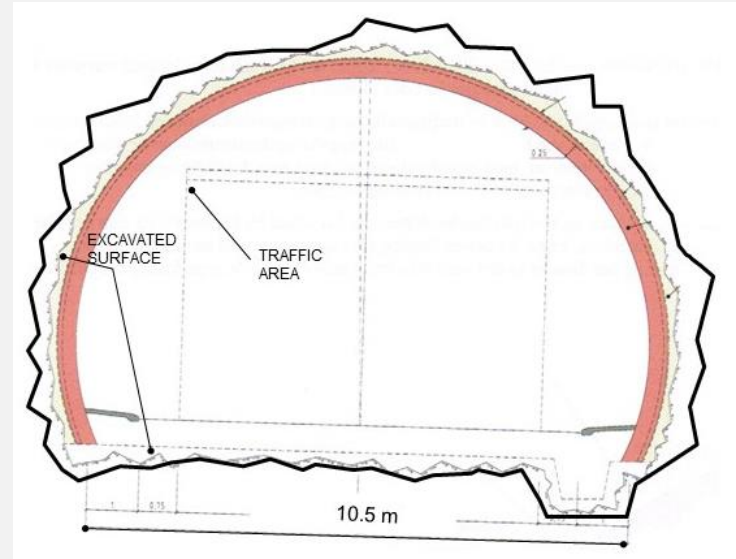
Erfarte utfordringer: kontaktstøp

Stort betongforbruk

Ideell situasjon:



Typisk realitet



Erfarte utfordringer: kontaktstøp

Stort betongforbruk



Ulvintunnelen under driving, desember 2012



UDK01, dobbeltsporet jernbanetunnel Drammen-Kobbervikdalen, under bygging, april 2022

Erfarte utfordringer:

Frittstående drenasjehvelv uten fullstendig dekning av bergoverflaten



Ikke-planlagt stengetid



Ikke-planlagt stengetid



Brennende PE-skum, E6 Eidsvollstunnelen, februar 2012 (kilde: Statens Vegvesen)

Ikke-planlagt stengetid



Ikke-planlagt stengetid

E18 Hanekleivtunnelen (2005)

Ras i svakhetssone

Årsak:

*Uoppgaget svakhetssone,
undersikret. Destabilisering av
leirmateriale i svakhetssonen
over tid førte til kollaps flere år
etter bygging*

*Problemet var skjult bak vann-
og frostsikringshvelvet og ble
ikke påvist før kollapsen*



Erfarte utfordringer, TBM tunnel med betongelementkledning

Blixunnelen, Bane NOR

*Lekkasjer gjennom
utettheter i pakningene
mellom
betongelementene
kombinert med
frostbelastning*

*Lekkasjene ble tettet i
byggefase med
injeksjon*



Blixunnelen, februar 2021

Kilde for bilde: Follobanen, gjengitt i Aftenposten april 2021

Erfarte utfordringer,

Delvis drenert løsning, vannsikring med sprøytbar membran

Membran er sensitiv for fukt og drypp på underlag

Håndtverkspreget arbeid

Krever tilrettelagte forberedelser

Krever insentivering og ansvarliggjøring av utførende entreprenør



Tverrslag Danserud, UDK01 jernbanetunnel Drammen-Kobbervikdalen, Oktober 2022

Erfarte utfordringer,

Delvis drenert løsning, vannsikring med sprøytbar membran



Erfarte utfordringer

Delvis drenert løsning, vannsikring med sprøytbar membran
Håndverkspreget arbeid, sensitivt for mangelfull utførelse



Sammenlikning oversikt, funksjon

Type kledning, vann/frost sikring



Plasstøpt betonghvelv med foliemembran.



Betongelementkledning: montert under TBM driving



Frittstående vann og frostsikringhvelv basert på betongelementer



Sprøytebetongbasert vanntett kledning

Hovedfunksjonsprinsipp





Drenert, vanntett, dimensjoneres normalt ikke for geomekanisk eller hydrostatisk last

Vanntett udrenert, tåler hydrostatiske og geomekaniske laster

Drenert, vanntett, ingen hydrostatisk eller geomekanisk last

Vanntett, diffusjonsåpen, udrenert konstruksjon. Drenering i såle. Dimensjoneres sammen med bergsikring

Sammenlikning oversikt, kostnader

Type kledning, vann/frost sikring		Kostnad NOK / løpemeter
	Plasstøpt betonghvelv med foliemembran.	50'000-60'000
	Betongelementkledning: montert under TBM driving	50'000-55'000
	Frittstående vann og frostsikringhvelv basert på betongelementer	45'000-55'000
	Sprøytebetongbasert vanntett kledning	25'000 – 35'000

En avsluttende tanke:



*Denne utviklingen
kom fra vår egen
bransje*

En avsluttende tanke:



*Denne utviklingen
blir forlangt av
våre politikere*



Vår bransje har mer enn nok kreativitet og kunnskap til skape bærekraftige, kostnadseffektive og funksjonelle løsninger



@infoNGI

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT
NGI.NO