BACHELOROPPGAVE:

Hvilken løsning for vann- og frostsikring bør anbefales for jernbanetunnelene på strekningen Holm-Nykirke?

FORFATTERE: OLE KRISTIAN FLØYSTAD

LARS MARIUS HOLESTØL

STEFFEN BJUGSTAD

Dato: 23.05.2012

SAMMENDRAG

Tittel:	Hvilken løsning for vann- og frostsikring bør anbefales for jernbanetunnelene på strekningen Holm - Nykirke?	Dato: 23.5.2012
Deltakere:	Ole Kristian Fløystad	
	Lars Marius Holestøl	
	Steffen Bjugstad	
Veileder:	Astrid Stadheim, HiG	
Evt. oppdragsgiver:	HiG	
Stikkord/nøkkelord	Anlegg, tunnel, lekkasje, vann, frost.	

Antall sider/ord:	Antall vedlegg:	Publiseringsavtale inngått: ja/nei
103/15 441	8	Ja

Kort beskrivelse av bacheloroppgaven:

Jernbaneverket skal i forbindelse med høyhastighetsutredningen bygge nytt dobbeltspor mellom Holm og Nykirke, samt bygge nye Holmestrand stasjon inne i fjellet. Store deler av strekningen skal gå i tunnel.

Vår oppgave går ut på å anbefale den beste av to mulige vann- og frostsikringsløsninger for jernbanetunnelene på strekningen Holm-Nykirke. Problemstillingen er besvart etter en analyse av løsningene som er tilgjengelige, sett opp imot gitte kriterier og regelverk.

Løsningene det står i mellom på prosjektet er PE-skum og betongelementer. Begge løsningene har samme egenskaper til innlekkasje og begge løsningene vil tilfredsstille regelverket. Derfor er byggherrens kriterier avgjørende for valg av løsning.

Kriteriene byggherren har valgt å basere sitt valg på:

-Sikkerhet drift
-Brann
-Bruksegnethet
-Vedlikeholdsvennlighet
-Levetid
-byggefase
-Byggekostnad
-Fremdrift

Derimot er ikke alle disse kriteriene like viktig når det gjelder vann- og frostsikringens funksjon. Vi har i vår oppgave valgt å vektlegge noen kriterier høyere enn andre.

Konklusjonen vi har kommet frem til sier at betongelementer som løsning for vann- og frostsikring i tunnelene på strekningen Holm – Nykirke er å anbefale. For å komme frem til denne konklusjonen har det vært nødvendig å vektlegge kriterier i henhold til det vi mener er viktig i forhold til vann- og frostsikring. Med dette menes i hovedsak løsningenes egenskaper mot å hindre skader og ulemper som følge av vannlekkasje samt hindre frost i brukssonen til tunnelen.

Abstract

Title:	Which solution of water- and frost protection should be recommended for the railway tunnels on the section Holm – Nykirke?	Date: 23.5.2012	
Participants:	Ole Kristian Fløystad		
	Lars Marius Holestøl		
	Steffen Bjugstad		
Supervisor:	Astrid Stadheim		
Employer:	Gjøvik University College		
Keywords	Construction site, tunnel, water leakage, water, frost		
Number of pages/words: 103/15 441	Number of appendix: 8	Availability (open/confidential): Open	

Short description of the bachelor thesis:

Jernbaneverket is setting out to build a new two-way high speed railroad between Holm and Nykirke. In addition to this they are also building a station inside a tunnel to replace the current Holmestrand station. Large portions of the planned track will be tunnelized.
In this project we aim to find the best of two solutions for water and frost protection in the tunnels. We solve this by doing an in depth analysis of both solutions given the set criteria and regulations.
The two different solutions are PE-foam and concrete elements. They both have the same characteristics of leakage and meet the requirements of use. We set out to find the optimal solution given the following criteria selected by our client:

-Safety-operation
-Fire
-Use Suitability
-Maintenance-friendly
-Lifetime
-Building phase
-Build cost
-Progress

Not all of the aforementioned criteria are weighted equally in the matter of water and frost protection. In our analysis we have different weighting for the criteria.

We have concluded that concrete elements are preferable for use in the tunnels planned. This solution creates the lowest risk within the criteria postulated in our project and is therefore the solution we have recommended.

FORORD

Bacheloroppgaven er den avsluttende oppgaven under bygg-studiet på Høgskolen i Gjøvik. Vi skal gjennom denne oppgaven vise blant annet at vi har tilegnet oss ny kunnskap innen et selvvalgt tema, forståelse for metodisk arbeid og evne til refleksjon og kompetanse til å planlegge å gjennomføre en selvstendig oppgave.

For å oppnå disse målene har det gjennom Høgskolen i Gjøvik blitt tildelt en intern veileder for å bistå med kvalitetssikring, formalia i forhold til den skriftlige delen av oppgaven samt fremdrift i prosjektet. I tillegg har gruppen benyttet eksterne samarbeidspartnere i forhold til spørsmål av faglig karakter og diskusjon rundt problemstillingen.

Gruppens interesser innenfor faget ligger under anlegg og anleggsdrift, herunder tunneler og underjordsdrift. I forbindelse med sommerjobber har vi kommet i kontakt med entreprenører og således etablert ett kontaktnettverk. Selve oppgaven ble bestemt i forbindelse med en artikkel i Teknisk ukeblad angående Vann- og frostsikringsproblematikken i Holmestrandprosjektet.

Jernbaneverket er byggherre på prosjektet og Skanska er hoved-entreprenør. Jernbaneverket er en norsk statsetat underlagt samferdselsdepartementet, med ansvar for den norske jernbanens infrastruktur. Skanska er et av verdens ledende entreprenørkonsern med ekspertise innen bygg og anlegg. I løpet av høsten ble det bestemt at vi skulle skrive om vann- og frostsikring i Holmestrandprosjektet i samarbeid med overnevnte aktører.

Gruppen syntes oppgaven virket interessant og spennende. Problemstillingen ble møtt med stor interesse av intern veileder og de andre aktørene, selv om vi ikke har hatt noen undervisning i emnet.

Prosjektet i Holmestrand er et jernbaneprosjekt hvor det skal bygges en stor togstasjon i fjell. Denne stasjonen omtales som den største fjellhallen i Norge som noen gang er bygget. I forbindelse med stasjonen skal den nye jernbanen bygges i fjell, istedenfor å følge kysten noe jernbanen gjør i dag. Utbyggingen er en del av jernbaneverkets høyhastighetsutbygging og skal på denne måten bygges for større toghastigheter, samt være tidsbesparende.

Gjennom prosjektet har vi vært nødt til å tillegge oss kunnskap på egenhånd. Dette har blant annet blitt gjort ved selvstudium av litteratur og samtaler med fagpersoner. Vi mener at vi har funnet frem til relevant litteratur om emnet. Samarbeidet med Jernbaneverket og Skanska har gjort det mulig for oss å skrive denne oppgaven.

Vi vil takke følgende personer som har gjort det mulig for oss å skrive denne oppgaven!

Bjørn Kielland – Prosjektleder, Skanska

Nina Rongved – Byggeleder, Jernbaneverket

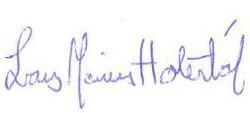
Morten Knudsmoen – Sivilingeniør, Norconsult

Astrid Stadheim – Veileder, Høgskolen i Gjøvik

Ellers vil vi rette en takk til fagpersoner hos Statens Vegvesen, Norges Geotekniske Institutt, SINTEF, leverandører og entreprenører som velvillig har besvart mailer og henvendelser.

Gjøvik, 23.5.2012.

Ole Kristian Fløystad



Lars Marius Holestøl

Steffen Bjugstad

Innhold

SAMMENDRAG 3

FORORD 7

1 INNLEDNING 11

1.1 Oppgaven 11
1.2 Problemstilling 11
1.3 Organisering 12
1.4 Avgrensninger 12

2 METODE 13

2.1 Forståelse av oppgavens problemstilling 13
2.2 Oppgavens form 13
2.3 Faser og fremdrift 13
2.4 Innhenting av informasjon 13
2.4.1 Innhenting av informasjon om parsellen Holm - Nykirke 14
2.4.2 Tilegning av teori 14
2.4.3 Diverse møter, telefonsamtaler og mailgang 14
2.4.4 Spørreundersøkelse 16
2.4.5 Diverse utflukter 16
2.5 Metodekritikk 16
2.6 Kildekritikk 17

3 TEORI 18

3.1 Tunneldrift i Norge 18
3.1.1 Boring og sprengning 18
3.1.2 Fullprofilmaskin 19
3.2 Geologi 20
3.2.1Typer bergarter 20
3.2.2 Geologiens innvirkning ved tunneldriving 20
3.2.3 Vannlekkasjer 20
3.3 Tekniske krav 22
3.3.1 Håndbok 163 – Vann- og frostsikring i tunneler - Retningslinjer 22
3.3.2 Håndbok 021 – Vegtunneler 22
3.3.3 Jernbaneverkets regelverk, JD 520 – Regler for prosjektering og bygging, underbygging 23
3.3.4 Tekniske krav spesielt gjeldende for vann- og frostsikring 23
3.4 Vann- og frostsikring i tunnel 25
3.4.1 Vegvesenets godkjente vann- og frostsikringskonstruksjoner 28
3.4.2 Hvelv av PE-skum med armert sprøytebetong 29
3.4.3 Hvelv av betongelementer 31
3.4.4 Tunnelklassifisering. 33
3.4.5 Frostmengde 34
3.4.6 Isolasjon 34
3.4.7 Innlekkasje og innlekkasjekrav 35

4 FORHOLD AV BETYDNING I HOLMESTRAND 39

4.1 Geologi i Holmestrand 39
4.1.1 Permiske lavabergarter 39
4.1.2 Tunnelklasse i Holmestrand 40
4.1.3 Frostmengde i Holmestrand 40
4.1.4 Innlekkasje og innlekkasjekrav i Holmestrand 40
4.1.5 Tetteklasser i Holmestrand 41
4.1.6 Resultat for Rambergtunnelen 41
4.1.7 Resultat for Grettetunnelen 42
4.2 RAMS – analyse 42

5 DISKUSJON 43

5.1 Sikkerhet drift 46
5.2 Brann 49
5.3 Bruksegnethet 53
5.4 Vedlikeholdsvennlighet 57
5.5 Levetid og levetidskostnad 60
5.6 Byggefase 63
5.7 Byggekostnad 66
5.8 Fremdrift 68
5.9 Tuneller internasjonalt 70

6 KONKLUSJON 76

6.1 Til ettertanke 77

7 ORDLISTE 78

8 FIGURLISTE 79

9 REFERANSER 80

10 VEDLEGG 82

Vedlegg 1, Oversiktskart 82
Vedlegg 2, Frostmengdetabell 84
Vedlegg 3: Mailgang med NGI og SINTEF. 87
Vedlegg 4: Mailgang med JBV 91
Vedlegg 5: Mailgang med SKANSKA 93
Vedlegg 6: Mailgang med AF GRUPPEN 97
Vedlegg 7: Mailgang med VEIDEKKE 99
Vedlegg 8: Mailgang med SKUMTECH AS 103

1 INNLEDNING

1.1 Oppgaven

Gjennom sommerjobber og generell interesse for anleggsfaget la vi tidlig merke til Holmestandsprosjektet da dette ble lyst ut på anbud. Prosjektet virket spennende og omfattende med tanke på størrelse og arbeidsomfang. I den forbindelse kom vi over en artikkel i Teknisk Ukeblad som belyste en utfordring ved prosjektet.

Jernbaneverket skal i forbindelse med høyhastighetsutredningen bygge nytt dobbeltspor mellom Holm og Nykirke, samt bygge Nye Holmestrand stasjon inne i fjellet. Kontraktsummen på den nye jernbanestrekningen samt stasjonen er på ca. fem milliarder kroner. Skanska fikk jobben med tre av fem parseller[1], deriblant Holmestrand Stasjon. Der hvor det eksisterende jernbanesporet snirkler seg frem langs kysten med krappe svinger og relativt lav hastighet, blir situasjonen en helt annen da det nye høyhastighetssporet legges inn i fjellet i en mer rett linje. Det nye dobbeltsporet i fjell vil være både tidsbesparende, samt at vedlikeholdskostnader knyttet til fjellskjæringer og dårlige grunnforhold vil reduseres (Tunmo, 2011).

1.2 Problemstilling

Gjennom dialog med intern veileder og eksterne samarbeidspartnere ble vi enige om en problemstilling. Denne ble i prosjektperioden revidert, og endelig revisjon ble gjort 25.4.2012. Problemstillingen ble godkjent av vår veileder ved Høgskolen i Gjøvik, Astrid Stadheim.

"Hvilken løsning for vann- og frostsikring bør anbefales for jernbanetunnelene på strekningen Holm-Nykirke?"

For å besvare problemstillingen har vi satt oss inn i rollen som rådgivende aktør på prosjektet og gjennomført en analyse av løsningene som eksisterer, sett opp i mot gitte kriterier og regelverk. Vi har i tillegg utvidet horisonten noe, og undersøkt hvilke løsninger

[1] Parsell - Her: Del av tunnelen.

for vann- og frostsikring som blir benyttet i utlandet. Tillatelse til å bruke bilder, figurer og illustrasjoner i oppgaven er hentet fra rettmessig eier(e).

1.3 Organisering

Vi har valgt å skrive en del grunnleggende teori i oppgaven. Dette fordi vi på Høgskolen i Gjøvik ikke har hatt noe undervisning i ingeniørgeologi. Vi mener det er viktig å belyse denne teorien slik at man ser helheten og har noe bakgrunnskunnskap når man leser oppgaven.

1.4 Avgrensninger

Vi valgte relativt tidlig i prosjektarbeidet å avgrense oppgaven opp i mot de vann- og frostsikringsløsningene som var aktuelle for prosjektet i Holmestrand. Ved å vurdere alle løsninger for vann- og frostsikring som finnes, ville vi hatt knapt med tid og alt for mye stoff å sette oss inn i.

2 METODE

2.1 Forståelse av oppgavens problemstilling

Denne utredningsoppgaven er ett resultat av kravet om å levere en bacheloroppgave på henholdsvis 20 studiepoeng, som er en del av den 3-årige bygg- ingeniørutdannelsen ved Høgskolen i Gjøvik. Gruppen har valgt tema med bakgrunn i medlemmenes interesse for anlegg. Vi ønsker med dette å øke vår kunnskap innenfor fagfeltet bygg og anlegg før vi kommer ut i arbeid.

2.2 Oppgavens form

I vår utredningsoppgave ser vi på to løsninger for vann- og frostsikring som er aktuelle i tunnelene på jernbanestrekningen Holm – Nykirke. Vi ser nærmere på alternativene, belyser forskjeller mellom dem, og kommer frem til en anbefaling for tunnelen.

2.3 Faser og fremdrift

Forprosjektet var den første delen av oppgaven som skulle leveres. Under utarbeidelse av denne delen satte vi opp en fremdriftsplan over hva som skulle bli gjort og til hvilken tid. Fremdriftsplanen ble laget på bakgrunn av Høgskolen i Gjøvik sine innleveringsfrister. Fremdriftsplanen var delt inn i syv faser, der en av fasene omhandlet forberedelse til fremføring og de seks andre omhandlet skriving av selve oppgaven. Planen ble fulgt punktvis, der noen punkter hadde avvik fra realiteten. Blant annet punktet “innhenting av litteratur”. Dette punktet strakk seg over lengre tid enn på fremdriftsplanen, fordi vi fant nødvendig litteratur under store deler av oppgavens gang. På grunn av aktørenes allerede fulle avtalebøker, var det vanskelig å få ekskursjonene til tidspunktene vi satte i fremdriftsplanen.

2.4 Innhenting av informasjon

For å få nok informasjon og kunnskap til å gjennomføre oppgaven, har vi vært i kontakt med offentlige aktører som Jernbaneverket og Statens Vegvesen. I tillegg har vi vært i kontakt med entreprenører, produsenter og forskere som har god kunnskap om vann og frostsikring. Vi har gjennomgått mye litteratur for å kunne forbedre vår kunnskap om emnet.

2.4.1 Innhenting av informasjon om parsellen Holm - Nykirke

Denne fasen av vårt prosjekt strakk seg over hele oppgavens tidsperiode. Personen vi først opprettet kontakt med angående prosjektet Holm – Nykirke var prosjektleder for Skanska sine entrepriser, Bjørn Kielland. Han ga oss mye informasjon, og videreformidlet oss videre til byggherren. For ytterligere informasjon om prosjektet valgte vi videre å kontakte:

- Roy Henrik Knudsen, Prosjektingeniør Jernbaneverket. Prosjektingeniør vann- og frostsikring.
- Nina Rongved, Byggeleder Stasjonsentreprisen Jernbaneverket. Rongved var vår kontaktperson hos Jernbaneverket.
- Morten Knudsmoen, Prosjektleder NorConsult. Rådgivende konsulent på prosjektet.

2.4.2 Tilegning av teori

Gruppen har opparbeidet seg kunnskap om emnet igjennom lovverk, rapporter, artikler, rundskriv og lærebøker slik at vi på best mulig måte kan legge frem ett resultat som kan belyses fra flere sider. I tillegg har gruppen fått generell innføring fra noen av aktørene vi har kommet i kontakt med underveis i oppgaven.

2.4.3 Diverse møter, telefonsamtaler og mailgang

Ettersom kunnskapen vår ikke var særlig høy rundt emnet, valgte vi tidlig å kontakte flere aktører innen anleggsbransjen. Metoden vi brukte for denne kontakten var i de fleste tilfeller via mail. Hvis dette mislykkes, som det i de fleste tilfeller ikke gjorde, forsøkte vi å opprette kontakt via telefon. Vi har laget en liste over aktørene vi har vært i kontakt med. Det skal også sies at vi har vært i kontakt med flere aktører utover denne listen. Noen av disse er ikke tatt med fordi vi velger å se bort ifra de aktørene hvor vi mener at informasjonen vi har fått, ikke kan ses på som vesentlig for å besvare vår problemstilling.

- Jernbaneverket (JBV)
  - Nina Rongved - Byggeleder Stasjonsentreprisen. Rongved ble kontaktet med tanke på valg av løsning for tunnelene i Holmestrand. Vi fikk under møtet med Rongved også en omvisning på prosjektet.
  - Egil Olafsen – Olafsen ble kontaktet angående vedlikehold av de aktuelle løsningene for vann- og frostsikring.
- Skanska
  - Roar Sve - Sve ble kontaktet angående Skanska sitt syn på forskjellene mellom PE-skum og betongelementer.
  - Bjørn Kielland - Prosjektleder Skanska sine entrepriser på strekningen Holm – Nykirke. Vi opprettet kontakt med Kielland i oppgavens initieringsfase.
- AF Gruppen
  - Jan Lima - Prosjektleder Underjordservice. Lima ble kontaktet angående AF Gruppen sitt syn på forskjellene mellom PE-skum og betongelementer.
- Veidekke
  - Ole Kristian Egge - Tunnelformann/tunnelstikker. Egge ble kontaktet angående Veidekke sitt syn på forskjellene mellom PE-skum og betongelementer.
- Statens Vegvesen
  - Harald Buvik - Tunnel og betong. Buvik ble kontaktet angående brannkrav i tunneler.
  - Karen Klemetsrud - Tunnel og Betong. Klemetsrud ble kontaktet for å få rapporter om branntesting av de forskjellige løsningene for vann- og frostsikring.
- NorConsult
  - Morten Knudsmoen - Prosjektleder. Knudsmoen ble kontaktet angående RAMS-analyse og prosjektering av de forskjellige løsningene.
- SKUMTECH AS
  - Svein Johnson - Daglig leder. Johnson ble kontaktet angående membran og PE-skum løsninger i Sverige.

- Norges Geotekniske Institutt (NGI)
    - Guro Grøneng - Fagansvarlig ingeniørgeologi. Grøneng ble kontaktet angående geologi rapport for Holm – Nykirke.
- SINTEF
    - Eivind Grøv - Sjefsforsker SINTEF. Grøv bidro med rapporter, prosjektoppgaver og svar på generelle spørsmål.

2.4.4 Spørreundersøkelse

Det ble utført en spørreundersøkelse tidlig i prosjektfasen. De utvalgte objektene for spørreundersøkelsen var byggherrer og entreprenører som jobber med vann- og frostsikring daglig. Spørreundersøkelsen ble sendt ut for å øke gruppens kunnskap rundt vann- og frostsikring. Undersøkelsen bar preg av liten forståelse for vann- og frostsikring på tidspunktet av utsendelse. Vi har derfor valgt å ikke bruke resultatet av undersøkelsen i oppgaven.

2.4.5 Diverse utflukter

Vi dro på Vei- og Anleggsmessa på Hellerudsletta for å se om det er kommet noen nye løsninger, samt verktøy og maskiner som gjør jobben til entreprenørene lettere med tanke på montasje av de to løsningene for vann- og frostsikring.

2.5 Metodekritikk

Innhenting av informasjon fra utlandet har ikke vært lett. Gruppen har forsøkt å opprette mailgang med blant annet en svensk entreprenør for å skaffe oss et referanse-prosjekt. Uten svar etter purring valgte gruppen å la det ligge.

2.6 Kildekritikk

I våre søk etter referanser har vi valgt å gå etter kilder vi anser som pålitelige og gjerne har litt erfaring med fra før.

Vi anser alle regelverk som pålitelige og gode kilder. Det samme gjelder internrapporter, evalueringsprosesser, forsøk og tester samt notater utgitt av seriøse aktører innenfor dette fagfeltet.

Skolebøker og leksikon ser vi også på som sikre og korrekte kilder. Dette fordi disse er ment for læring.

Vi er litt mer reserverte i forhold til stoff fra Wikipedia siden dette kan redigeres av alle uansett faglig bakgrunn.

Tidsskrifter har vi kun tatt ut i fra kilder som Teknisk ukeblad og Bygg.no hvor vi vet det er mye fagpersonell som leser, og som ville ha korrigert eventuelle feil.

3 TEORI

Totalt med både vei og bane bygges det cirka 70 kilometer tunneler per år i Norge (Nordahl, 2009). Under bygging av tunneler og fjellhaller i Norge, blir tunnelene vann- og frostsikret. Dette for å forhindre at vann og is i tunnelens brukssone vil være til hinder for den daglige bruken av tunnelen. Vinteren i Norge gjør at vann fryser til is, som kan volde stor skade hvis det for eksempel bygger seg opp is i tunnelen som faller ned. Derfor er målet med vann- og frostsikring å fjerne alt vann frostfritt fra tunnelen. For å besvare vår problemstilling er det nødvendig å kjenne til noe teoretisk bakgrunnsstoff. Hvordan en tunnel blir laget, geologi, tekniske krav og vann- og frostsikring generelt er noe man bør ha kjennskap til.

3.1 Tunneldrift i Norge

Norske aktører er generelt gode på fjellsprengningsteknikk. Noen vil også si at Norske aktører er eksperter på dette området. Det er i oppgaven valgt å beskrive de to mest brukte driveteknikkene som benyttes i de aller fleste norske tunneler. Her følger litt grunnleggende teori og historie om teknikkene.

3.1.1 Boring og sprengning

I de aller fleste tunnelene som blir bygd i Norge, blir det brukt boring og sprenging som drivemetode. Internasjonalt kalles metoden for "drill and blast" eller bare "D&B" (Wikipedia, 2012a). Norske ingeniører har gjennom mange års gruvedrift opparbeidet seg stor kompetanse og god evne til å gjøre dette raskt og billig (Valmot, 2006). Metoden går ut på at det blir boret flere hull fordelt over hele tunnelens tverrsnitt. Disse hullene er plassert etter en bor- og sprengningsplan. En slik plan inneholder to forskjellige typer hull. Hullene med det minste tverrsnittet skal fylles med sprengstoff, mens de grove hullene er boret for at den utsprengte massen skal ha noe å ekspandere mot. Boringen i stuffen[2] foregår ved hjelp av dataprogrammerte tunnelrigger. Etter at det er ladet og sprengt, blir all sprengstein fraktet ut av tunnelen med masseforflytningsmaskiner(Valmot, 2006), tunnelen blir rensket og sikret. Deretter gjentas operasjonen. Vann- og frostsikring monteres som en del av avslutningsarbeidet i tunnelen for å hindre vann- og isdannelse som kan føre til skade.

[2] Stuff - Tunnelens arbeidsfront/endevegg. Der man sprenger for å komme seg lenger inn.

Figur 1: Bildet viser D&B-arbeid. Borerigg borer hull på stuff som blir ladet med sprengstoff etter bor- og sprengningsplan. Foto: Ole Kristian Fløystad

3.1.2 Fullprofilmaskin

Sprengning er ikke den eneste metoden å drive tunneler på. Et annet alternativ er å benytte en såkalt tunellboremaskin (TBM), også kalt fullprofilmaskin (Kunnskapsforlagets papirleksikon, 2009). Denne kan frese ut hele tverrsnittet i tunellen i en operasjon. Denne metoden er ikke aktuell for Holmestrand, men nevnes allikevel i oppgaven.

Figur 2: Viser tunellboremaskin. Foto: MTA Photos, Metropolitian Transportation Authority of the State of New York. Publisert på Flickr.

3.2 Geologi

Arbeid i fjell og bygging av tunneler krever kunnskap om bergmassenes egenskaper og kvalitet. Denne kunnskapen er vesentlig for å kunne forutse bergets evne til å tåle påkjenningen det er å lage en tunnel, samt fjellets bæreevne. I tillegg er geologi viktig for å forutse forhold rundt vann og frost i tunnelen. Det er derfor tatt med noe generell geologi før geologien i Holmestrand er beskrevet mer detaljert.

3.2.1Typer bergarter

Det finnes tre hovedgrupper av bergarter som etter den geologiske opprinnelse deles inn i (Sigmond, 1986):

- Eruptive bergarter. Også kalt Størkningsbergarter.
- Sedimentære bergarter. Også kalt avsetningsbergarter.
- Metamorfe bergarter.

3.2.2 Geologiens innvirkning ved tunneldriving

Berggrunnen i Norge består hovedsakelig av sterke, tette bergarter, og det ville derfor ikke oppstått større problemer med stabilitet og vannlekkasjer i tunneler hvis det ikke var for defekter i bergartene (Sigmond, 1986). Berggrunnen er imidlertid gjennomsatt av sprekker og forkastninger[3]. Det er disse strukturene som er årsaken til de fleste vanskeligheter en møter under tunneldriving. De vanligste utfordringer man kan komme borti er (Løset, 2006):

- Sprekker
- Svakhetssoner

3.2.3 Vannlekkasjer

De fleste tunneler ligger under grunnvannsspeilet (Løset, 2006), derfor vil det som regel lekke inn en del vann. Vannlekkasjene kan skape problemer for tunneldriften, og for tunnelens funksjon når den er ferdig, men i mange tilfeller er det konsekvensene for miljøet på overflaten som er avgjørende for hvor store lekkasjer som kan aksepteres. Blir lekkasjene for store, må det utføres tettingstiltak (Løset, 2006).

[3] Forkastninger - Betegnelse på bruddflate i fjell som danner grensen mellom to bergartsblokker eller fjellpartier som har beveget seg i forhold til hverandre. (wikipedia)

Erfaringer tilsier at det på grunnlag av vanlige forundersøkelser er vanskelig å anslå nøyaktig de vannmengdene som vil lekke inn i en tunnel. Det er imidlertid mulig å gjøre visse beregninger for eksempel i form av numerisk modellering, men dette har hittil i liten grad vært benyttet ved norske tunnelprosjekter. Vurderingen av vannforholdene baserer seg derfor vanligvis på generelle erfaringsdata og de lokale geologiske forhold (Løset, 2006). Siden lekkasjen er avhengig av de geologiske forhold, er det viktig at en har gode geologiske kunnskaper når en tunneltrasê skal bestemmes. Det kan for eksempel være mulig å legge tunnelen slik at en unngår de mest oppsprukne sonene og de mest sensitive områdene for lekkasjer. En slik vurdering kan kreve en del ekstra forundersøkelser, men dette kan ofte tjenes inn flere ganger i form av reduserte tunnelkostnader (Løset, 2006).

De harde og stive bergartene som utgjør hoveddelen av berggrunnen i Norge, har generelt lav porøsitet og permeabilitet[4], og stort sett all vanntransport foregår langs sprekker. Det viser seg ofte at lekkasjene særlig følger bestemte kanaler langs en sprekk, og dette kan gjøre det vanskelig å oppdage vannet ved for eksempel sondeboring[5] (Løset, 2006).

I og med at tunnelene stort sett går under grunnvannsspeilet, er det store vannmengder til stede, og bergmassens permeabilitet er derfor avgjørende for størrelsen på vannlekkasjene. I enkelte tunneler med liten overdekning kan imidlertid lekkasjene variere i takt med nedbør eller snøsmelting. Permeabiliteten kan måles i borhull ved såkalte lugeontester, noe som skjer ved at vann presses inn i avstengte seksjoner av borhullet med et bestemt trykk, og det måles da hvor mye vann som lekker ut i bergmassene i bestemte tidsintervaller. Enheten lugeon er definert som (Løset, 2006):

"Lekkasje i liter per minutt per meter borhull ved ett overtrykk på 1 MPa."

Lugeonverdien gir ikke alltid noe riktig bilde av permeabiliteten i en bergmasse. Verdien vil blant annet være avhengig av den strekningen langs borhullet den måles over.

[4] Permeabilitet - Evnen ett materiale har til å lede væske
[5] Sondeboring - Benyttes for å fremskaffe opplysninger om vannlekkasjer og bergkvalitet foran stuff.

Forenklet kan en si at permeabiliteten i bergmassene er avhengig av følgende geologiske forhold:

1. Bergartstype
2. Oppsprekkingsgrad og sprekkekarakter
3. Spenningstilstand
4. Spesielle strukturer som folder, forkastninger, eruptivganger etc.

Ved en grundig kartlegging av disse forholdene er det mulig å si en god del om vannlekkasjer inne i en tunnel.

3.3 Tekniske krav

Det er i Norge utarbeidet flere regelverk som beskriver hvordan man skal bygge tunneler. Disse inneholder beskrivelser av hva tunnelene skal inneholde, størrelser, utforming og så videre. Statens Vegvesen har utarbeidet flere håndbøker som inneholder krav og beskrivelser rettet mot bygging, prosjektering og vedlikehold av veitunneler. I alt finnes det flere bøker rettet mot tunnel og tunneldrift. Oppgaven omtaler de to mest aktuelle håndbøkene for problemstillingen.

3.3.1 Håndbok 163 – Vann- og frostsikring i tunneler - Retningslinjer

Denne håndboken omhandler vann og frostsikring. I forordet til håndboken står det at den må sees i sammenheng med håndbok 021- vegtunneler. Håndbok 163 er en utdypning og detaljering av generelle krav gitt i håndbok 021.

3.3.2 Håndbok 021 – Vegtunneler

Dette er Statens Vegvesens viktigste bok når det gjelder tunnelbygging. Denne inneholder mange krav om bygging og utførelse av vegtunneler i Norge deriblant krav til begrensninger av lekkasjer.

Overnevnte håndbøker brukes av Jernbaneverket som grunnlag for bygging av jernbanetunneler (Jernbaneverket, 2012a). De har i tillegg utarbeidet eget regelverk tilpasset jernbane.

3.3.3 Jernbaneverkets regelverk, JD 520 – Regler for prosjektering og bygging, underbygging

Dette kapittelet omhandler spesielle regler for prosjektering og bygging av nye jernbanetunneler for hastighet V≤250 km/h. Reglene skal i utgangspunktet også benyttes ved oppgraderinger av eksisterende tunneler, men her må det i tillegg tas spesielle tekniske og økonomiske hensyn.

Det er håndbøkene til Statens Vegvesen og Jernbaneverkets egne retningslinjer som er gjeldende når krav, lover og regler skal legges til grunn.

3.3.4 Tekniske krav spesielt gjeldende for vann- og frostsikring

Tekniske krav til forundersøkelser

Som nevnt er geologiske undersøkelser viktig for å anslå vannlekkasjer som kan oppstå i tunnelen. Det er også viktig for i senere omgang å bestemme en vann- og frostsikringsløsning. Håndbok 021 til Statens Vegvesen og regelverket til Jernbaneverket sier noe om geologiske forundersøkelser.

Statens Vegvesen

Statens Vegvesens håndbok 021 sier følgende om geologiske forundersøkelser (Statens Vegvesen, 2010):

"*Det stilles spesielle krav til de geologiske undersøkelsene for tunnel, forskjæringer, og påhuggsområder. Forundersøkelsene for tunnelprosjekter skal avklare alternativer og totalkostnader, samt sikkerhetsmessige, samfunnsmessige og miljømessige forhold knyttet til prosjektene iht. håndbok 054 Oversiktsplanlegging, håndbok 140 Konsekvensanalyser og håndbok 151 Styring av utbygging-, drifts- og vedlikeholdsprosjekter.*"

Videre (Statens Vegvesen, 2010):

"Geologiske undersøkelser skal blant annet omfatte detaljert geologisk og ingeniørgeologisk kartlegging. Denne kartleggingen suppleres ofte av geotekniske, hydrogeologiske, og geofysiske undersøkelser. For geotekniske undersøkelser vises det til håndbok 016 Geoteknikk i vegbygging."

Videre i reglementet beskrives hvordan geologiske forundersøkelser skal gjennomføres, hva rapporten skal inneholde og så videre. Det er her kun tatt med de punktene som er relevant for vann- og frostsikring.

Kapittel 2.3 i Statens Vegvesen håndbok 021 sier (Statens Vegvesen, 2010):

"Forundersøkelsene på dette plannivået skal danne grunnlaget for valg av veglinjealternativ.

"...Felt og grunnundersøkelser. Undersøkelsene og vurderingene skal omfatte følgende:

- *Hydrologiske og hydrogeologiske registreringer.*
    - *Krav til begrensning av innlekkasje i de ulike deler av tunnelen"*

Jernbaneverket

Jernbaneverkets eget regelverk omtaler også ingeniørgeologiske forundersøkelser (Jernbaneverket, 2012b):

"Ved prosjektering av jernbanetunneler er det nødvendig å utføre ingeniørgeologiske forundersøkelser langs en korridor i det aktuelle området. Omfanget av undersøkelsene skal tilpasses tunnelens kompleksitet og gi tilstrekkelig grunnlag for den type beslutning som skal fattes. Det bør foretas en nytte-/kostnadsvurdering av undersøkelsesomfanget."

Hensikten med ingeniørgeologiske undersøkelser er å fremskaffe tilstrekkelige geologiske kunnskaper om det aktuelle område, som et beslutningsgrunnlag for trasêvalg. Aktuelle problemstillinger og beslutninger skal defineres tidligst mulig i planprosessen.

Et eksempel på omfang av ingeniørgeologiske undersøkelser som bør inngå i de forskjellige plannivåer er gitt i Statens Vegvesens håndbok 021.

Jernbaneverkets regelverk sier ikke noe om geologiske undersøkelser i forhold til inntrengning av vann.

3.4 Vann- og frostsikring i tunnel

Hensikten med vann- og frostsikring er å hindre skader og ulemper som følge av vannlekkasjer inn i tunnelen. Det er utarbeidet diverse retningslinjer og tekniske krav for dette.

I håndbok 163, vann- og frostsikring i tunneler, retningslinjer, står det (Statens Vegvesen, 2006):

"Vegtunneler skal sikres spesielt mot vann og is. Sikringen skal utføres normalt med avskjerming av vannet som føres ned til grøft/drenslag. Dersom frostmengden overstiger angitte grenser, utføres avskjermingen som en isolert konstruksjon."

Hovedprinsippet for vann og frostsikring er at tunnelen tettes og skjermes mot vann og frost. Ved at vann trenger inn i tunnelen kan lekkasjer oppstå. Dette kan igjen føre til skade på for eksempel elektrisk anlegg, jernbaneskinner osv. Det er de geologiske forholdene som innvirker på hvor mye vann som vil lekke inn i tunnelen. En tunnel vil aldri være helt tett, og tiltak som vann- og frostsikring må benyttes.

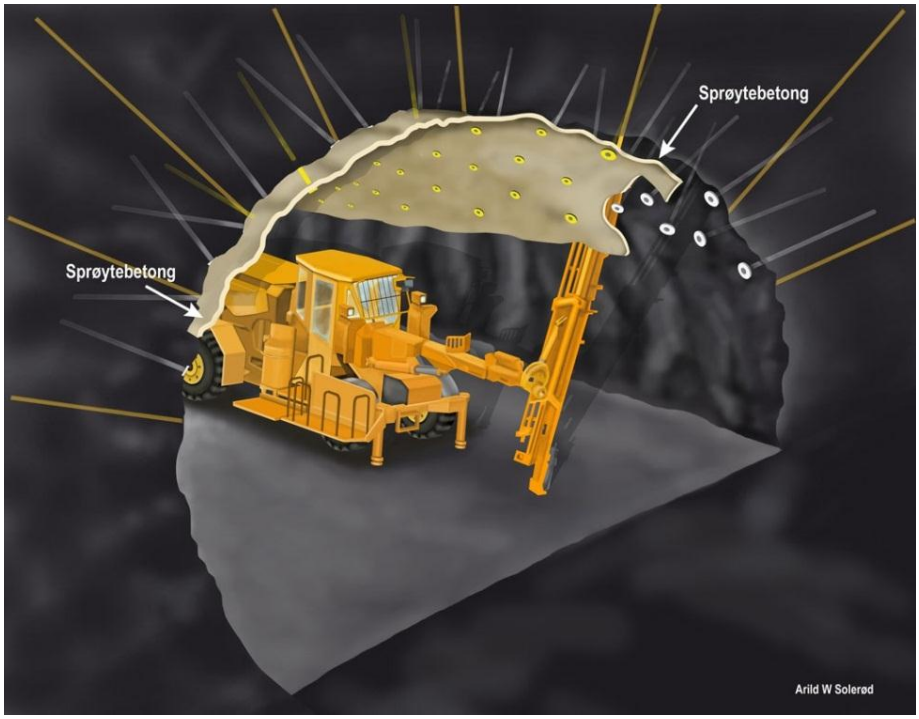
Punkt 7.5.2 oppsummerer de fleste fysiske årsaker til at frost trenger inn i tunneler på følgende vis.

- *"Den drivende kraften for naturlig utskiftning av luft i tunneler er temperaturforskjellen der varm luft er lettere enn kald og stiger og blir erstattet av kald tung luft (pipeeffekt).*
- *I horisontale tunneler vil varm luft strømme ut ved åpningene og bli erstattet av kald luft nede ved vegbanen. I korte tunneler og ved langvarig kulde vil kaldluften etter hvert trenge gjennom hele tunnelen. Fremherskende vindretning, mekanisk ventilasjon og stempeleffekten fra trafikken påvirker frostinntrengningen.*
- *I høytrafikktunneler med to løp og ventilasjon i trafikkretningen, vil ventilasjon og stempeleffekt være dominerende. Frosten trenger langt inn i trafikkretningen og nesten ingen frost trenger inn fra utkjørselssiden. Frostinntrengningen i disse tunnelene er lite påvirket av pipeeffekten. Også undersjøiske tunneler med to løp har en tilsvarende frostprofil.*

- *Undersjøiske tunneler viser seg i stor grad å være påvirket av lokalklimatiske forhold. De fleste ligger i områder med lite frostbelastning, men lokalt kan frosten trenge langt inn.*
- *Noen lange tunneler kan ligge på klimaskillet. Frostinntrengingen i disse tunnelene kan derfor avvike fra det normale bildet for eksempel ved påvirkning av høytrykk/lavtrykk.*
- *I tunneler med asymmetrisk frostprofil (i lengre tunneler med stigning og i enveis høytrafikktunneler) er det sjelden at nevneverdig frost trenger lenger inn enn 200-300 meter fra øvre åpning/åpning med utkjørende trafikk."*

(Statens Vegvesen, 2010)

I utgangspunktet sikres tunnelen med sikringsbolter og sprøytebetong før vann- og frostsikring monteres.



Figur 3: Viser sikring av tunnelen med fjellbolter som gyses, samt sprøytebetong rundt i profilet. Illustrasjon: Statens Vegvesen, Arild W Solerød.

For vann- og frostsikring finnes det flere løsninger. Disse er eksempelvis:

1. En blanding av skum og sprøytebetong
2. Membraner med betonghvelv
3. Betong i full utstøping

En membran er et pustende materiale med to sider der den ene siden hindrer vannpartikler å trenge igjennom, mens andre partikler og molekyler trenger igjennom (Wikipedia, 2012b).

Skum i denne sammenhengen er for eksempel PE-Skum som er laget i et plastisk materiale som kalles polyetylen (Wikipedia, 2012c). Dette materialet er et plastisk hydrokarbon. I tillegg er det et brennbart materiale som må brannsikres.

Løsninger og konstruksjonstyper for vann- og frostsikring omtales i Statens Vegvesen håndbok 163.

Det skilles mellom tunge og lette konstruksjoner. Tunge konstruksjoner beskrives her som betongkonstruksjoner, og lette konstruksjoner beskrives som platehvelv av metall, plast etc. (Statens Vegvesen, 2006).

Konstruksjonene bygges gjerne som pre-aksepterte løsninger, men det forskes stadig på nye og bedre løsninger. Disse må da godkjennes av Vegdirektoratet for å kunne benyttes (Statens Vegvesen, 2006). Kravene Vegdirektoratet setter er for eksempel dimensjonerende levetid, materialvalg og teoretiske beregninger av konstruksjonene.

Valg av løsning og konstruksjon gjøres ut i fra tunnelklasse, trafikkmengde, kjøretøyhastighet, tunnellengde, estetikk, frostmengde, krav til vedlikehold, økonomi og forventet levetid. Det er også krav om at inspeksjonsluker skal anlegges for kontroll bak hvelv (Statens Vegvesen, 2006).

3.4.1 Vegvesenets godkjente vann- og frostsikringskonstruksjoner

Staten Vegvesen håndbok 163 henviser til rundskriv fra Vegdirektoratet som angir godkjente vann- og frostsikringskonstruksjoner. Dette rundskrivet er datert 15.10.2004 (Statens Vegvesen, 2004).

Rundskrivet beskriver tre typer godkjente løsninger for vann- og frostsikring i forhold til forskjellige tunnelklasser:

- PE-skum m/ 80 mm sprøytebetong, nettarmert
- Betongelementer
- Utstøping, membranisolert

Man skiller i utgangspunktet mellom tre løsninger for vann- og frostsikring i en tunnel; PE-skum, betongelementer og full utstøping. Det er disse løsningene som er godkjent av Jernbaneverket.

Derimot er det i praksis bare to løsninger som er aktuelle for vann- og frostsikring av veg - og jernbanetunneler i Norge:

- Hvelv av PE-skum m/ Sprøytebetong
- Hvelv av betongelementer

Dette er fordi den tredje godkjente løsningen, full utstøping, sjeldent har blitt brukt til nå. I en artikkel fra bygg.no hevder Eivind Grøv at løsningen med full utstøpning er for dyr, og ikke særlig mye bedre enn de to andre løsningene. (Grøv Eivind, 2010)

3.4.2 Hvelv av PE-skum med armert sprøytebetong

Den dominerende løsningen for vann- og frostsikring i veg- og jernbanetunneler har i mange år vært PE- skumplater og sprøytebetong. Denne løsningen består av 60 mm PE-skum (kan variere avhengig av frostmengde på stedet) som monteres i styrt profil utenfor normalprofilet ved hjelp av bergbolter, typisk ø16 mm, cc 1,2m x 1,2m. I jernbanetunneler med høye hastigheter er bolteinnfesting typisk økt til ø20 mm bolter og boltemønster 1,0m x 1,2m. For brannbeskyttelse benyttes minimum 80mm nettarmert sprøytebetong på trafikksiden. Denne sprøytebetongen tilsettes også PP-fiber[6] (2kg/m³) for å øke brannbestandigheten. (Norconsult, 2011b)

"Konstruksjonen forutsettes å gi tilstrekkelig styrke lenge nok til at selvberging og evakuering av passasjerer og tog-personalet kan gjennomføres uten risiko for kollaps (Jfr. Krav i teknisk regelverk om 60 minutters brannbeskyttelse ved 1200 °C)." (Norconsult, 2011b)

Konstruksjonen føres ned mot tunnelsålen slik at lekkasjevann føres sikkert ned til drensgrøfter. Det etableres dilatasjonsfuger[7] med 30 meter innbyrdes avstand rundt i hele profilet for kontrollert opptakelse av bevegelser som følge av temperaturvariasjoner i sprøytebetongen (Norconsult, 2011b).

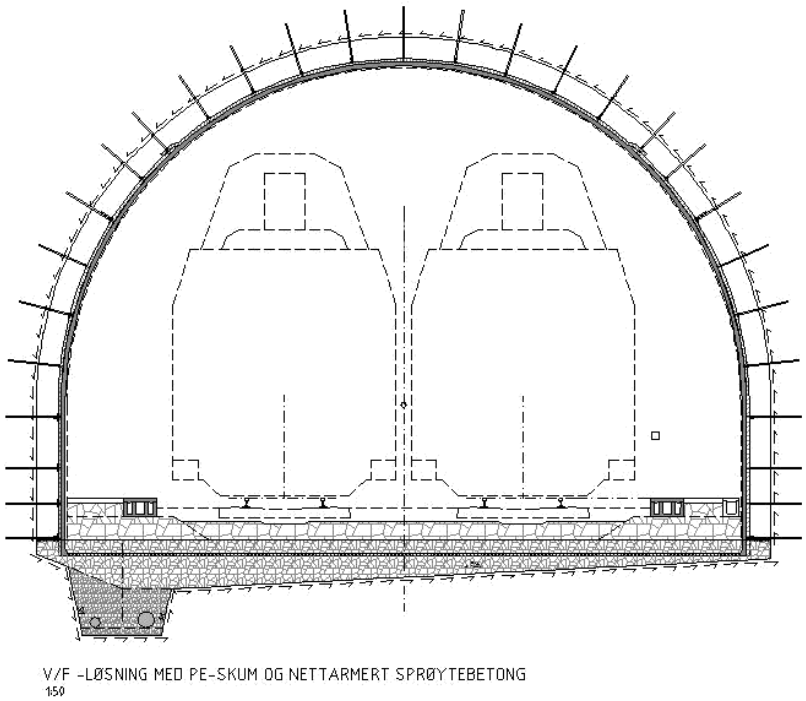
Denne konstruksjonstypen er relativt fleksibel mht. endringer i sprengningsprofilet. Det er relativt enkelt å gjøre lokale tilpasninger da PE-skum og sprøytebetong er veldig tilpasningsdyktige materialer. Perforering av PE-skum med innfestingsbolter er potensielle lekkasjepunkt, og stiller derfor strenge krav til utførelse. Konstruksjonen dimensjoneres og beregnes for en levetid på 50 år.

Levetiden på 50 år forutsetter et normalt vedlikehold (Norconsult, 2011b), men det finnes imidlertid eksempler hvor denne løsningen har måttet skiftes ut på et tidligere tidspunkt.

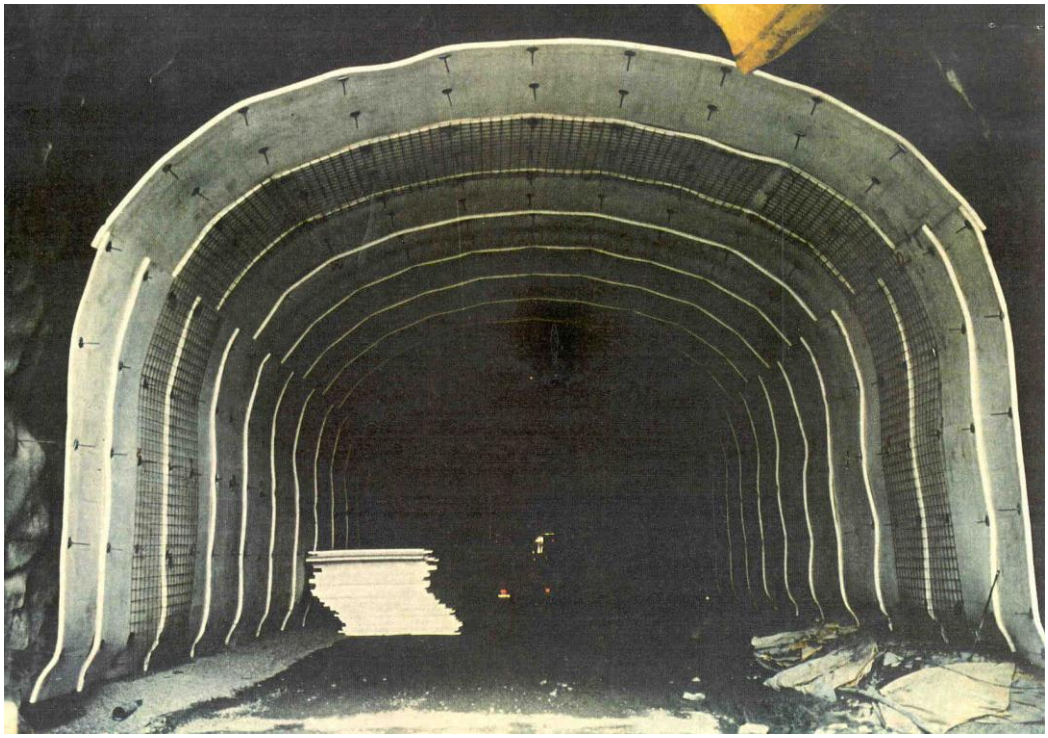
Løsningen blir normalt beskrevet med et sprengningsprofil minimum 600 mm utenfor normalprofilet, for å tilrettelegge for inspeksjon mellom berget og hvelvet. Det blir videre montert inspeksjonsluker i vegger, slik at det blir mulig å foreta periodisk inspeksjon av den

[6] PP-fiber - Polypropylene fibre tilsettes for å forhindre sprekker i betongen ved brann. (Swicofil)
[7] Dilatasjonsfuger - En fuge som skal muliggjøre en viss innbyrdes bevegelse mellom konstruksjonselementer (store norske leksikon)

utførte stabilitetssikringen og baksiden av vann- og frostsikringen. Anbefalt avstand mellom inspeksjonsluker er normalt ca. 200 meter på hver side i tunnelen og for øvrig etter behov.



Figur 4: Detaljtegning av løsningen PE-skum. Skisse: Norconsult AS



Figur 5: Bilde av løsningen PE-Skum rundt i tunnelprofilet. Bilde: Norconsult AS.

3.4.3 Hvelv av betongelementer

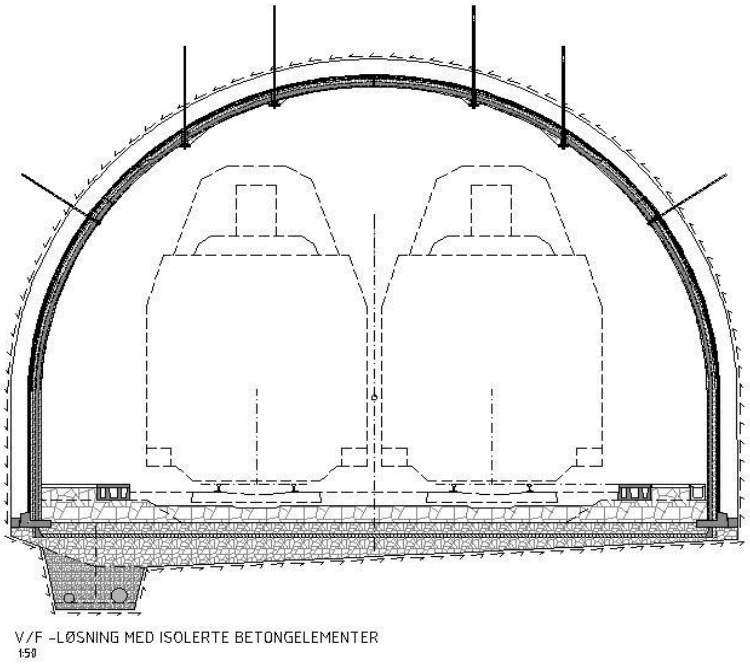
Betongelementer er en solid og godt kjent konstruksjon. Med prefabrikasjon under kontrollerte forhold vurderes levetid på 50 år som kurant. For jernbane er det relativt begrenset erfaring med løsningen. Løsningen har relativt liten fleksibilitet med hensyn på tverrsnittvariasjoner. Betongelementene bestilles etter størrelse og monteres på stedet (Norconsult, 2011b).

Konstruksjonen skal dimensjoneres for opptredende laster fra trafikk, mindre nedfall av berg, is-last, frostmengder og brann. For øvrig er det andre konstruksjonskrav, slik som at konstruksjonen skal være vanntett og frostsikker. Bolter og festedetaljer skal ha sikker forankring i berg og de skal ha godkjent korrosjonsbeskyttelse og kapasitet (Norconsult, 2011b).

Konstruksjonen består av frittstående prefabrikkerte betongelementer med heldekkende membran mot fjellsiden som vannsikring. Tykkelse på elementer er vanligvis 200 mm i en jernbanetunnel. Til sammenlikning er tykkelsen normalt 150 mm i en vegtunnel. Vekt av elementene ved transport gir en naturlig begrensning på elementenes størrelse (Norconsult, 2011b).

Konstruksjonen isoleres med 50 mm isolasjon ved frostmengder over 8000 t°C[8]. Konstruksjonen er solid og dimensjonert for de opptredende laster. Det er mulig og etter-montere mindre tunnelinstallasjoner på betongkonstruksjonen. Konstruksjonen kan demonteres for eventuelle reparasjoner eller supplerende bergsikring.

Betongelementene er som PE-skum tilrettelagt for et sprengningsprofil på minimum 600 mm utenfor normalprofilet. Dette for å tilrettelegge for inspeksjon mellom berget og hvelvet. Mens PE-skum teoretisk bygger 140 mm, vil betongelementer med 50 mm isolasjon bygge 250 mm, og derfor medføre at inspeksjonsrommet blir tilsvarende mindre (Norconsult, 2011b).



Figur 6: Detaljtegning av løsningen betongelementer. Skisse: Norconsult AS.

[8] t°C - Timegradercelsius. Benevnelse på frostmengde (store norske leksikon)

Figur 7: Bilder av montering av betongelementer. Bilder: Norconsult AS.

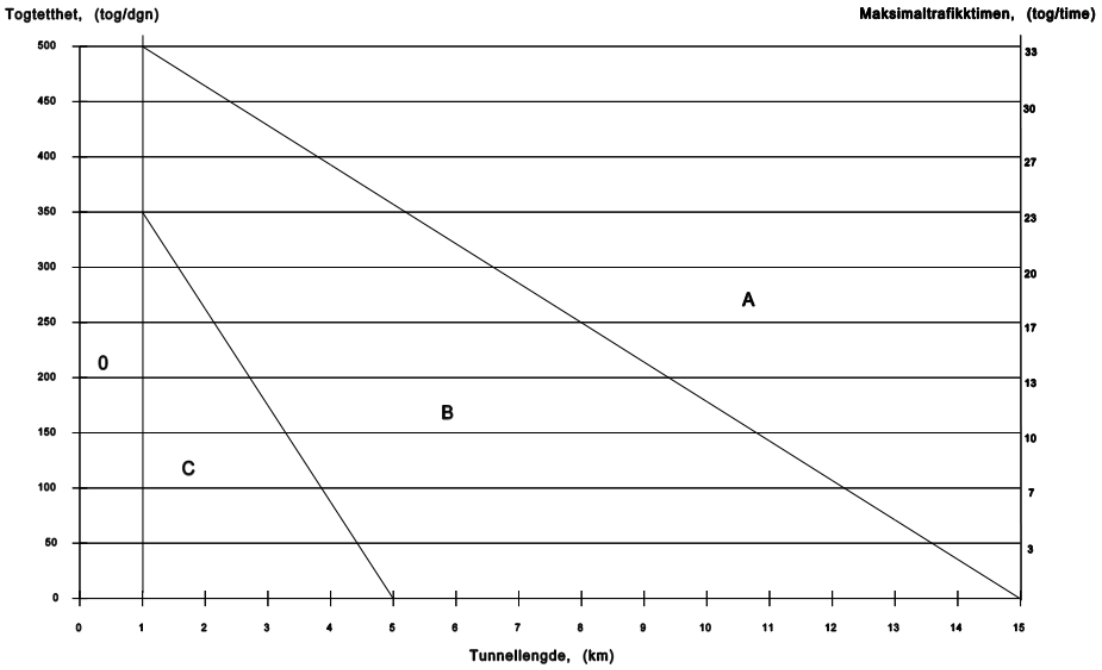
3.4.4 Tunnelklassifisering.

For å velge hvilke konstruksjonstype for vann- og frostsikring som er aktuelle for tunnelen må det tas hensyn til noen faktorer. Disse er tunnellengde, tunnelstandard, togtetthet og frostmengde samt krav til økonomi og vedlikehold (Jernbaneverket, 2012a).

Det er tunnellengde og togtetthet som bestemmer hvilken tunnelklasse som skal være gjeldende. Tunnelklassen bestemmer hvilke og hvor strenge krav det skal settes til sikkerhetstiltak. Tunnellengde oppgis i antall kilometer, mens togtetthet oppgis i tog/døgn eller tog/time.

Det er blant annet listet opp en del minimumskrav basert på tunnelklasse. Eksempler på disse er rømningsveier, lengde mellom rømningsveier, atkomstveier og brannbeskyttelse. (Jernbaneverket, 2012c)

Tabellen under viser hvordan tunnelklasse bestemmes utfra togtetthet, tunnellengde og maksimal trafikk per time. Tunnelklassene går fra A til 0, der A er den strengeste. Tunnellengde er enten tunnelens totale lengde, eller avstand mellom tverrslag og/eller adkomsttunneler (Jernbaneverket, 2012b).



Figur 8: Tabell hentet fra Jernbaneverkets tekniske regelverk (Jernbaneverket, 2012b).

3.4.5 Frostmengde

Frostmengden er definert som tidsintegralet av negativ temperatur gjennom vinteren (Statens vegvesen, 2011a).

Frostmengden i Norge er oppgitt i tabeller, og er fordelt etter fylker og lokale steder. Tabellene finner man i Statens Vegvesens håndbok 018. Håndboken viser eksempel på praktisk regnemåte for frostmengde. Frostmengdetabeller er lagt som vedlegg i oppgaven [Vedlegg 2].

”*Det klimatiske grunnlaget for kommunetabellen er den statiske undersøkelsen av frostmengder ved 69 værstasjoner, og årsmiddeltemperatur og normal frostmengde ved 260 værstasjoner i perioden 1931-1960.*”(Statens vegvesen, 2011b)

3.4.6 Isolasjon

Isolasjon er som navnet tilsier ment for å hindre at kald luft i tunnelen skal trenge gjennom sikringen og komme frem til fjellet bak. Hvis kald luft trenger gjennom, risikerer man å få skader på sikringen som følge av at rennende vann fryser. Man kan få tilfrysing i sprekker i

fjellet. Dette kan resultere i "utsprengning" av steiner som kan falle ned på sikringen, og i verste fall igjennom hvis de er store nok.

Frostisolasjonen skal dimensjoneres i henhold til frostmengden på stedet. Ved fastsettelse av dimensjoneringskriterier er frostmengden F_{100} lagt til grunn (Jernbaneverket, 2012b).

3.4.7 Innlekkasje og innlekkasjekrav

Ved å bygge tunneler og gjennomføringer i fjell og berg, må man ha kjennskap til vann og konsekvensene ved innlekkasje i tunnelen. Ved å sprenge seg innover i fjellet og utforme tunnelprofilet vil man kunne bryte kanaler i fjellet hvor vannet går (Samferdselsdepartementet, 1999). I fjell er det mer eller mindre åpne sprekker som står i forbindelse med hverandre og dermed danner et nettverk av mulige lekkasjeveier i fjellet (Samferdselsdepartementet, 1999). En tunnel vil kunne bryte disse kanalene og vannlekkasjen som oppstår vil virke drenerende, samt kunne senke grunnvannsnivået og dermed porevannstrykket[9] i berg- og løsmassene over. Det vil derfor normalt alltid lekke noe vann inn i tunneler (Samferdselsdepartementet, 1999).

For å redusere vannlekkasjer i fjellet gjennomføres ulike former for sikringstiltak. En metode er å fylle opp sprekker og porer i fjellet som leder vann inn i tunnelen med sement eller kjemisk tettingsmiddel. Denne metoden utføres normalt som forinjeksjon. Dersom det ikke oppnås tilfredsstillende tetthet med forinjeksjon kan det også benyttes etterinjeksjon.

[9] Porevannstrykk - Trykk i væske eller gass i porerom i undergrunnen. I hydrologisk sammenheng brukes begrepet oftest om grunnvann (porevannstrykk)

Figur 9: Viser forinjeksjon i fjellet. Hull blir boret i hele tverrsnittet der sondeboringer finner dette nødvendig. Sementmasse blir pumpet inn i hullene under høyt trykk (gysing). Tunnelen blir således tett.

Ved forinjeksjon bores det fra stuff et stort antall hull cirka 20 meter fremover i vifteform i forhold til det kommende tunneltverrsnittet, vinklet 45° i forhold til tunnelaksen. I hullene presses det inn sement eller annet tettingsmateriale som vil danne en vanntett skjerm rundt tunnelen. Etterinjeksjon benyttes normalt der vannlekkasjen er for høy i den ferdig utsprengte tunnel (Samferdselsdepartementet, 1999).

3.4.7.1 Retningslinjer og krav

Statens Vegvesen sin håndbok 021 beskriver lekkasjer og tetthetskrav i tunneler. Målet med reglene er å begrense lekkasjer i tunnelen.

Håndbok 021 sier følgende om tetthetskrav i tunneler (Statens Vegvesen, 2010):

"Kartlegging og vurdering av konsekvenser for omgivelsene som følge av innlekkasjer i tunnelen skal utføres som en del av forundersøkelsene, Jfr. Kapittel 2 Geologiske forundersøkelser.

Basert på disse skal det vurderes om det skal settes definerte krav til tetthet for tunnelen. Kravene kan variere langs tunneltraseen avhengig av forhold som influensområde[10], setningsømfintlighet[11] og risiko for skadelige virkninger på omgivelsene."

Det stilles altså krav til at den geologiske forundersøkelsen tar for seg en vurdering av innlekkasjer i tunnelen. Videre sies det at den geologiske forundersøkelsen skal sette krav til tetthet for tunnelen. Disse kravene kan variere langs tunneltraseen.

[10] Influensområde - Påvirkningsområde
[11] Setningsømfintlighet - I hvilken grad massene er mottakelig for vertikale forskyvninger.

Videre i håndbok 021 beskrives metoder for å oppnå tetthetskravene som den geologiske forundersøkelsen har satt.

"For tunneler der det er satt krav til tetthet for hele eller deler av tunnelen, er det flere forhold som krever kontinuerlig oppfølging for at kravene oppnås." (Statens Vegvesen, 2010)

"Forinjeksjon er normal tettemetode under tunneldriving." (Statens Vegvesen, 2010)

"Etterinjeksjon av tunneler kan lett gi dårlige resultater, da det er begrenset hvor store trykk som kan benyttes og massen lett finner direkte utganger i tunnelen." (Statens Vegvesen, 2010)

Det er derfor nærliggende å tro at det tilstrebes å benytte forinjeksjon som tettemetode ved tunneler. Videre beskrives det i håndbok 021:

"Der det er fare for at tetthetskravene ikke kan oppnås med systematisk forinjeksjon skal de aktuelle deler av tunnelen i tillegg kunne tettes med en membranisolert eller vanntett betongutforing dimensjonert for det aktuelle vanntrykket." (Statens Vegvesen, 2010)

Det sies altså at der forinjeksjon ikke oppnår tetthetskravene skal det benyttes en membranisolert eller vanntett betongutforing for dette. Det er nærliggende å tro at det her menes vann- og frostsikring, selv om håndboka på dette punktet virker noe uklar.

4 FORHOLD AV BETYDNING I HOLMESTRAND

Her beskrives ulike forhold som er av betydning for vann- og frostsikring i tunnelene fra Holm til Nykirke. Disse punktene ligger til grunn for ett endelig valg av løsning.

4.1 Geologi i Holmestrand

Holmestrand og Oslofeltet består hovedsakelig av Eruptive dypbergarter av permisk alder (granitt, syenitt, monzonitt). Innenfor denne gruppen finner man Nordmarkitt, Larvikitt og granitt. Bergartene i området for Holm-Nykirke tunnelen består av lavabergarter av permisk alder med underliggende sedimenter fra overkarbon (Askergruppen med siltstein og kvartskonglomerat) og sandstein fra sensilur (AS, 2008).

4.1.1 Permiske lavabergarter

I en artikkel fra Teknisk Ukeblad, publisert 18.3.2011, beskriver ingeniør-geolog Hanne Wiig Sagen de geologiske forholdene i Holmestrand slik (Tunmo, 2011):

"Den største ingeniørutfordringen i milliardprosjektet til Jernbaneverket, er å bygge stasjonshallen inne i fjellet, som består av vulkanske bergarter. Stasjonen har et stort spenn som er selvbærende, 35 meter bredt og 250 meter langt. Tverrsnittet på stasjonshallen er på 350 kvadratmeter. Det er spenningene i fjellet som gjør at hvelvet er selvbærende."

De Permiske lavabergartene beskrives slik (Løset, 2006):

"I de permiske lavabergartene vil det særlig være strømtoppene som kan forårsake problemer, mens det som regel er jevnt gode forhold i dypbergartene."

I Vestfold og på Krokskogen danner disse lavabergartene store lavaplatåer som enkelte steder kan ha en tykkelse på mer enn 1000 meter. Strømmene ligger forholdsvis flatt, men på grunn av forkastninger kan de dels være noe skråstilt, og en enkelt strøm kan derfor opptre i forskjellige nivåer. (Løset, 2006)

Lavabergartene er generelt sterke og egner seg til de fleste byggtekniske formål. Stabilitetsmessig er de sentrale delene av de enkelte strømmene av god kvalitet. Selve strømtoppene kan imidlertid være dårlige (Løset, 2006).

4.1.2 Tunnelklasse i Holmestrand

Tunnelene mellom Holm og Nykirke samt togstasjonen vil være den eneste av sitt slag i Norge. Tunnelene skal tilfredsstille kravene til høyhastighetsbaner i Norge med en dimensjonerende fart på 250 km/t. Det finnes per i dag ingen tunneler i denne dimensjoneringsklassen. Tunnelene dimensjoneres derfor etter den strengeste klassifiseringen selv om regelverket er noe uklar når det gjelder tverrslag og nødutganger (Jernbaneverket, 2012b).

4.1.3 Frostmengde i Holmestrand

Ut i fra frostmengdetabell i håndbok 018 er frostmengden for Holmestrand på 22 000 timegrader, mens den er 25000 for Sande (tettsted i nærheten av tunnelåpningen på Holm). (Statens vegvesen, 2011b)

Norconsult sier i sin rapport om vann- og frostsikring at det skal dimensjoneres etter en frostmengde på nærmere 25 000 timegrader (Norconsult, 2011b).

4.1.4 Innlekkasje og innlekkasjekrav i Holmestrand

Multiconsult har utarbeidet en fagrapport (AS, 2008) for Jernbaneverket der hensikten er å dokumentere de ingeniørgeologiske og hydrogeologiske forholdene for tunnelen. Det er i denne rapporten beskrevet tetteklasser mot innlekkasje i tunnelen.

Holmestrandprosjektet strekker seg fra Holm til Nykirke. Prosjektet består av tre dagsoner og to tunneler. Disse to tunnelene har henholdsvis fått navnene Rambergtunnelen og Grettetunnelen. Holmestrand Stasjon ligger i Grettetunnelen.

Denne fagrapporten og tetteklassene som er definert er viktige for å forstå nødvendigheten av vann- og frostsikring. Jo høyere tetteklasse, desto viktigere er det at vann- og frostsikringen oppfyller sin funksjon. Man tilstreber å tette tunnelene etter tettemetodene som er beskrevet, slik at tunnelene er tilnærmet fri for lekkasjer før man installerer vann- og frostsikring og andre installasjoner. Derimot vil man aldri kunne få en 100 % tett tunnel. Det vil alltids kunne oppstå lekkasjer i sprekker og svakhetssoner. Disse vil lettere kunne komme der hvor fjellet allerede er stipulert med stor innlekkasje, det vil si tetteklasse A.

4.1.5 Tetteklasser i Holmestrand

Multiconsult har lagt til grunn NGI's tettekrav fra år 2000, men det er tatt hensyn til at det i området har kommet nye boligområder samt etablert et naturreservat over tunnelen. I tillegg er tunnelene noe forskjøvet i forhold til NGI's vurderingsgrunnlag (AS, 2008).

Fire tetteklasser er definert for tunnelene (AS, 2008):

Tetteklasse	Innlekkasje [l/min/100m]	Tettemetode
A	< 5	Systematisk og omfattende forinjeksjon med mange injeksjonshull. Minst en salve overlapp mellom skjermer. Tørre kontrollhull før neste salve.
B	5-10	Systematisk og omfattende sonderboring og forinjeksjon med mange injeksjonshull pr. omgang. Tørre kontrollhull før neste salve.
C	10-20	Systematisk sonderboring gjennom hele strekningen. Skjerm injeksjon ved behov.
D	<50	Spredt forinjeksjon, tetting av markerte enkeltlekkasjer. Sonderboring/punktinjeksjon utføres dersom større vannmengder påtreffes i salvehull. I tillegg utføres systematisk, lett sonderboring/punktinjeksjon i på forhånd kartlagte soner.

4.1.6 Resultat for Rambergtunnelen

Over Rambergtunnelen er det utført fire totalsonderinger. Samt satt ned poretrykksmålere til fjellflata og i leira i fire punkt over Rambergtunnelen. (AS, 2008)

Stipulerte lekkasjer for Rambergtunnelen fremkommer av følgende tabell:

Km	Klasse	Lengde, m	Punkter, l/min	Jevnt, l/min	Sum, l/min
78,230-80,170	D	1940	150	100	250
80,170-80,870	A	700		35	35
80,870-81,170	D	300		90	90
81,170-84,470	A	3300		150	150
84,470-84,570	C	100		60	60
Tverrsl./nødutg					100
Totalt					**685 (700)**

Det er her stipulert med lekkasjer i tunnelen som krever tetteklasse A og D samt noe C. Dette vil si at forinjeksjon og sonderboring er tettemetoder som i hovedsak vil være nok til å oppnå tilfredsstillende tetthet.

4.1.7 Resultat for Grettetunnelen

Over Grettetunnelen er det utført fire totalsonderinger, samt satt ned poretrykksmålere til fjellflata og leira i to punkt over Grettetunnelen (AS, 2008)

Stipulerte lekkasjer for Grettetunnelen fremkommer av følgende tabell (AS, 2008):

Km	Klasse	Lengde, m	Punkter, l/min	Jevnt, l/min	Sum, l/min
85,315-86,370	A(B)	1055			60
86,370-87,270	B	900			72
87,270-90,650	D	3380	60	330	390
Tverrsl./Nødutg.					60
Totalt					**582 (600)**

Det er i Grettetunnelen stipulert med lekkasjer som krever tetteklasse og metode A, B og D. Det er også her forinjeksjon og sonderboring som skal tilfredsstille krav om tetting av tunnelen.

På grunnlag av denne rapporten må tunnelene tettes etter alle tettemetodene. Det er store deler av strekningene som krever tetteklasse A. Her er det særdeles viktig at vann- og frostsikringen som monteres fungerer optimalt.

4.2 RAMS – analyse

RAMS – analyse er ett engelsk metodeverktøy med fire hovedpunkter. Reliability, Availability, Maintainability and Safety (Skytechnology). Oversatt til Norsk vil disse punktene innebære; Pålitelighet, tilgjengelighet, vedlikehold og sikkerhet.

RAMS-analyse representerer en form for metodelære utviklet av industrielle firmaer hvor pålitelighet har stor innvirkning på kostnadene og sikkerhet står i høysetet.

Da den først ble tatt i bruk ble den brukt til å undersøke design og sammenligne forskjellige tekniske løsninger (Skytechnology). I dag blir denne metodelæren brukt i alle faser av et produkts livssyklus. I denne oppgaven er dette produktet løsning for vann- og frostsikring.

Hensikten med en RAMS-analyse er å fokusere på hvordan teknologiske system oppfører seg under hele sin livssyklus, slik at man lettere kan belyse forskjellene mellom løsninger.

5 DISKUSJON

Her sammenliknes de to løsningene for vann- og frostsikring som er aktuelle i Holm-Nykirke tunnelene. Jernbaneverkets regelverk beskriver derimot tre aktuelle løsninger for vann- og frostsikring. Disse tre løsningene er (Jernbaneverket, 2012b);

- Hvelv av betongelementer
- Hvelv av armert sprøytebetong
- Godkjente vann- og frostsikringskonstruksjoner

Problemstillingen, som er hentet ut i fra en artikkel i Teknisk Ukeblad (Tunmo, 2011), beskriver at valget står mellom to løsninger.

"Om tog tunnelen skal ha såkalt PE-skum eller betongelementer for vann- og frostsikring, er ikke avgjort." (Tunmo, 2011)

Den tredje og siste løsningen som omhandler full utstøping av tunnelen ble ikke vurdert, fordi erfaring tilsier at kostnadene ved denne metoden er veldig mye større enn de to andre. Dette på grunn av den enorme mengden betong som vil gå med. I tillegg var ikke løsningen ett reelt alternativ på det tidspunktet prosjektet ble lagt ut på anbud.

Det er disse to løsningene som sammenliknes opp i mot gitte kriterier. Kriteriene er gitt i henhold til en RAMS-analyse der Jernbaneverket, sammen med flere fagpersoner, har gjennomført en diskusjon for å velge alternativ. Det er derimot stilt flere spørsmål i Jernbaneverkets analyse som vi velger å se nærmere på.

Følgende kriterier er vektlagt av Jernbaneverket som utslagsgivende for et endelig valg. Kriteriene er hentet fra Jernbaneverkets evalueringsrapport (Norconsult, 2011b). Vi velger å definere kriteriene før vi drøfter disse videre.

Kriteriene som valget skal baseres på er (Norconsult, 2011b);

- Sikkerhet drift
- Brann
- Bruksegnethet
- Vedlikeholdsvennlighet
- Levetid
- Byggefase
- Byggekostnad
- Fremdrift

Inngangsparameter som er felles for begge løsningene er;

Dimensjonerende levetid på 50 år, dimensjonerende hastighet er 250 km/t, samt at begge løsningene skal være dimensjonert for oppgaven. Oppgaven er å hindre skader og ulemper som følge av vannlekkasje og hindre frost i brukssonen i tunnelen.

Derimot er det ikke alle disse kriteriene som har like stor innvirkning på vann- og frostsikring. Det er naturlig at for eksempel byggekostnad og fremdrift ikke innvirker like mye på vann- og frostsikringsløsningenes funksjon som for eksempel sikkerhet drift. Derfor må kriteriene vektes forskjellig ut i fra relevans i denne oppgaven.

Til vekting er det gitt hvert kriterium en vektleggingsfaktor etter hvor viktig gruppen mener hvert enkelt kriterium er. De kriteriene som har størst innvirkning på vann- og frostsikringsløsningenes funksjon er gitt en maksimal score på 5. De kriteriene som har minst innvirkning på vann- og frostsikringsløsningenes funksjon er gitt en minimumsscore på 1.

Vektleggingsfaktoren legges til den vann- og frostsikringsløsningen som scorer best under hvert kriterium. Totalsum og høyest score vil derfor være avgjørende for valget. Disse faktorene og måten summen legges frem på er utarbeidet etter en intern diskusjon blant gruppemedlemmene.

Tabell som viser kriterium og vektleggingsfaktor

Kriterium	Vektleggingsfaktor
Sikkerhet og drift	5
Brann	5
Bruksegnethet	4
Vedlikeholdsvennlighet	3
Levetid	3
Byggefase	2
Byggekostnad	1
Fremdrift	1

Under sammenligningen av alternativene vil løsningen som blir vurdert best, få en score på 1. Løsningen som blir vurdert dårligst vil få en score på 0. De vil så bli multiplisert med oppgitt vektleggingsfaktor for å få en endelig sum.

5.1 Sikkerhet drift

Kriteriet sikkerhet drift baserer seg på sikkerhet i driftsfasen. Stikkord for dette kriteriet kan være nedfall og sikkerhet mot sammenbrudd. Med nedfall menes at konstruksjonen tåler ytre påkjenninger som for eksempel at fjellet løsner, faller ned og ødelegger konstruksjonen.

Skulle et slikt brudd på konstruksjonen inntreffe, vil vann trenge igjennom sikringen noe som kan føre til rust på installasjoner og skinnegang. Ved store vannmengder kan det i verste fall føre til utvasking av bærelag.

Det er forutsatt at konstruksjonene tilfredsstiller krav i forhold til sikkerhet i en driftsfase. Det er i reglementet til Jernbaneverket stilt krav om eksempelvis betongkvalitet, samt tykkelseskrav til henholdsvis betongelementer og PE-skum (Jernbaneverket, 2012b).

5.1.1 Drøfting av betongelementer

Betongelementer er av erfaring en solid og godt kjent konstruksjon. Med prefabrikasjon under kontrollerte forhold, av godkjente og pålitelige leverandører, anses betongelementer som en solid og sterk konstruksjon. Det er tidligere i oppgaven beskrevet at man i jernbanesammenheng ikke har en like bred erfaring med løsningen. Derimot er løsningen godt kjent for veitunneler. I vurderingen blir denne ulikheten sett bort i fra, da forskjellen på en veitunnel kontra en jernbanetunnel ikke er så stor.

Det står om krav til hvelv av betongelementer: (Jernbaneverket, 2012b)

"Det skal benyttes betongkvalitet B45 SV-40 i henhold til Håndbok 026 fra Statens Vegvesen…"

Betongkvalitet B45 er en kvalitet benyttet i elementer i kulverter, tunneler og generelt samferdsel (Spenncon, 2012)

Ved å anta at disse retningslinjene blir fulgt er det nærliggende å tro at betongelementer vil være solide og sterke nok til tunnelene i Holmestrand. SINTEF og NGI har per dags dato (23.05.2012) ikke hørt om tilfeller hvor betongelementer har kollapset, eller brutt sammen uten ytre påvirkninger [vedlegg 3]. Dette forutsetter også at sikringen av tunnelene er tilfredsstillende. Dette innebærer nok sikring, rett lengde på sikringsbolter og så videre.

5.1.2 Drøfting av PE-skum

Som tidligere beskrevet består denne løsningen av fortrinnsvis 60mm PE-skum og et lag med minimum 80mm sprøytebetong. Dette er sett på som optimal sikring for konstruksjonen.

Videre er det beskrevet om sprøytebetong som benyttes ved PE-skum:

"For konstruksjoner av sprøytebetong gjelder spesielt at toleranse skal tas hensyn til ved beregning av egenlast og dimensjonering. Dette innebærer at maksimal tykkelse benyttes for beregning av egenvekt og minimum tykkelse benyttes ved dimensjoneringskontroll."
(Jernbaneverket, 2012b)

Derimot er konstruksjonene forskjellige på noen områder som kan innvirke på sikkerheten. Løsningen med PE-skum innebærer flere del-elementer som for eksempel bolter, armeringsnett og selve skummet. Disse elementene kan ha innvirkning på den måten at disse kan løsne og falle ned over tid. Dette er derimot ukjent for SINTEF og NGI [Vedlegg3]. Forutsatt rett montering og produksjon vil ikke dette tillegge løsningen med PE-skum noe mindre sannsynlighet for å falle ned i forhold til betongelementer.

PE-skum blir montert med flere bolter enn betongelementer. Dette kan ha innvirkning på sikkerheten til løsningen på den måten at disse kan løsne og falle ned. Det er viktig med rett gysemetode[12] for innfesting av boltene, og rett lengde på disse. Disse vil ved rett bruk ikke falle ned lettere enn betongelementer.

5.1.3 Sammenligning

I forhold til sikkerhet vil de geologiske forholdene bestemme og legge føringer for hvordan man monterer de ulike løsningene. Geologirapporten fra Norconsult nevner (Dalsegg, 2011):

"Tverrprofilet indikerer også en ca. 150 m bred og ca. 50 m dyp sone med lavere resistivitetsverdier[13], i et område hvor det er observert fjellblotninger, som er tolket til å være dypforvitring[14]. Dypforvitringssonen samt de tre sonene (forkastninger) som går parallelt med tunneltraseen påvirker trolig fjellkvaliteten i stor grad."

[12] Gysing - Utstøping med tyntflytende evt. ekspanderende mørtel av fuger, sprekker og hull.
[13] Resistivitetsverdier - Spesifikke motstandsverdier.
[14] Dypforvitring – Svakhetssoner dannet ved forvitring.

På bakgrunn av dette må det tillegges noen større sikringstiltak som for eksempel mer betong, og/eller flere bolter for deler av tunnelen. Ved å gjøre dette vil tunnelen i seg selv være sikker nok til å bære begge vann- og frostsikringsløsningene.

Forutsatt korrekt sikringsmetode, spesielt i de nevnte svakhetssonene i Holmestrand, finnes det ingen grunn til at tunnelen ikke kan benytte løsningene.

Siden betongelementer er prefabrikkert og således er en selvbærende konstruksjon, så tåler elementene i større grad nedfall. Derfor kommer betongelementer bedre ut på kriteriet sikkerhet drift.

Betongelementer 1

PE-skum 0

5.2 Brann

Et viktig kriterium er brann, bedre definert som brannmotstand i driftsfase, og omfang av utbedring etter en eventuell brann.

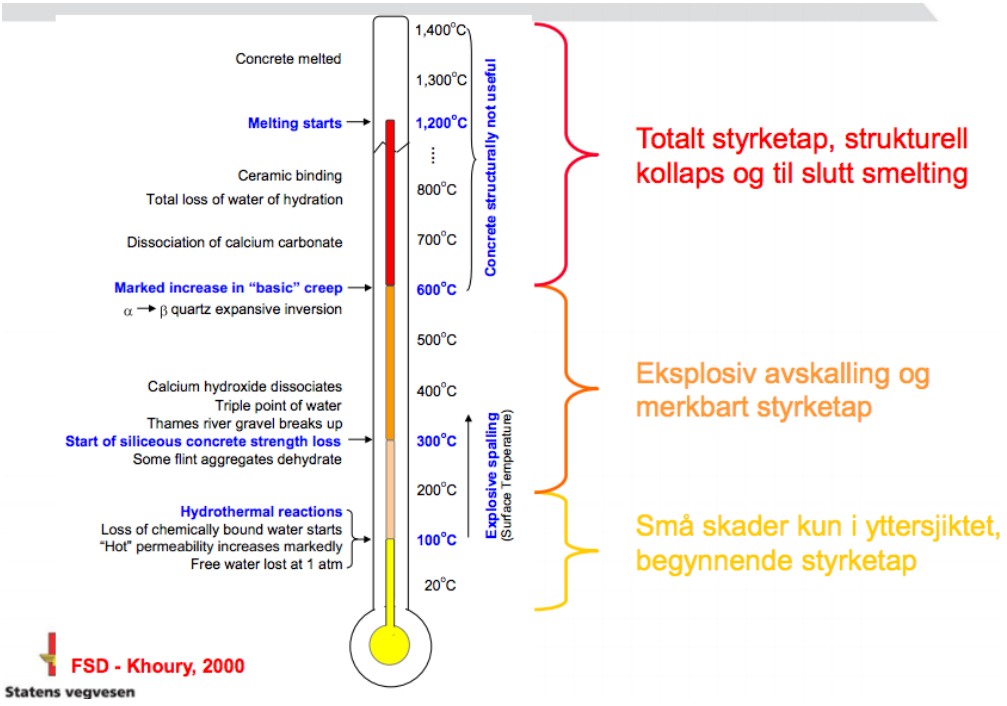
Brann er ved siden av sikkerhet drift det viktigste kriteriet i vurderingen. Skulle en brann oppstå i en tunnel, kan det fort få alvorlige konsekvenser om man ikke har god nok brannsikring og rutiner på evakuering.

Under en brann vil det raskt oppstå svært høye temperaturer, og disse vil innvirke på vann- og frostsikringskonstruksjonene. Det kan da forekomme avskalling av betong, og en svekkelse i festeboltene ved brann på innsiden og/eller i isolasjonen.

En brann i isolasjonen vil utvikle seg veldig fort både i temperatur og omfang. Brann kan også utvikle giftige gasser.

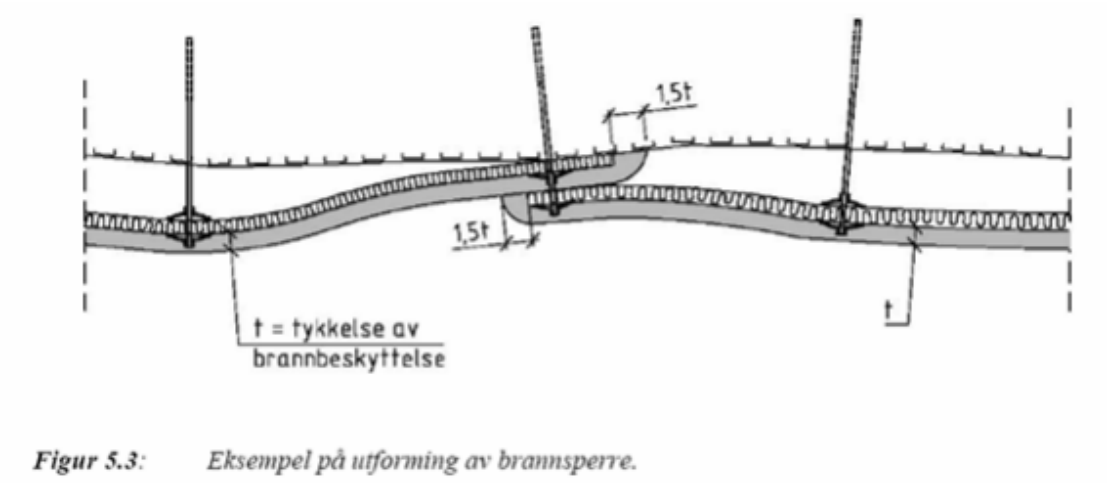
Avskalling er også noe som kan forekomme ved høy temperatur. Dette skal ikke skje så lenge temperaturen ikke overstiger det konstruksjonen er dimensjonert for.

Her ser man hva som skjer med betong under brann ved forskjellige temperaturer:



Figur 10: Temperaturoversikt ved brann. Skisse: Statens Vegvesen

En av de viktigste metodene for å forhindre at en brann sprer seg, er seksjonering i henhold til Håndbok 163. Bildet under viser dette.



Figur 5.3: Eksempel på utforming av brannsperre.

Figur 11: Utforming av brannsperre. Skisse: Statens Vegvesen

5.2.1 Drøfting av Betongelementer

Betongelementer består av ferdigproduserte elementer, som blir fraktet fra fabrikk til montasjested. Her brukes ikke det brannfarlige PE-skummet. På denne måten er faren for brann generelt sett lavere, noe som er positivt.

Avskalling kan forekomme på betongelementer, men det antas at disse er dimensjonert etter krav, og da skal dette normalt sett ikke forekomme. Skulle avskalling skje, kan armeringen bli eksponert for friluft og den kan komme til å korrodere over tid. Dette kan videre føre til svekkelse av konstruksjonen. Men betongelementer er så tykke at det er lite sannsynlig at membranen vil smelte. Man får da ingen brudd som kan føre til vannlekkasje i tunnelen.

Som nevnt tidligere må hele elementet byttes ut hvis det forekommer store skader. Skal man kunne foreta utbedringer umiddelbart, er man avhengig at det er lagringsplass tilgjengelig og/eller kort bestillingstid på nye.

5.2.2 Drøfting av PE-skum

PE-skum er som allment kjent relativt brannfarlig. For å gi et inntrykk av brannfarligheten nevnes et sammendrag av en utført test på PE-skum med brannsikring:

"24. mai 2006 ble det gjennomført fullskala brannforsøk på et 15 m langt felt med gammelt PE-skum beskyttet med sprøytebetong. Sprøytebetongen ble sprøytet i oktober 2005 og er tilsatt 2 kg PP-fiber samt 50 kg stålfiber per m3.

Foreskreven tykkelse av sprøytebetongen var 6 cm som tilsvarte tidligere krav til brannbeskyttelse av brennbar isolasjon (revidert i 2004). PE-skummet var montert på knøl etter gammel metode.

Den eksponerte brannen har vært i overkant av 50 MW og varigheten 70 til 80 minutter. Det er observert overflatetemperaturer på over 1200 °C.

Prøveobjektet (tunnelkledningen) var intakt under hele forsøket men var betydelig svekket ut i fra den høye temperatureksponeringen. PE skummet bak sprøytebetonghvelvet var delvis borte i heng og vederlag. Om det skyldes smelting eller antennelse er ikke godt å si men uansett er akseptkravet for maksimal temperatur mot brennbart materiale ikke tilfredsstilt i denne testen. Dette har igjen sin hovedårsak i manglende tykkelse på sprøytebetongbeskyttelsen." (Buvik, 2007)

Det forutsettes at løsningen i Holmestrand tilfredsstiller de gitte tekniske krav.

Avskalling er noe som kan forekomme ved høy temperatur. Under normale forhold kan man anta at dette ikke skjer med bakgrunn i tekniske krav. Skulle avskalling skje, vil armeringen eksponeres. Tykkelsen på sprøytebetongen er vesentlig mindre enn tykkelsen på et betongelement. Ved høy temperatur vil PE-skummet på baksiden smelte og i verste fall antenne. Dette fører til brudd i vann- og frostsikringen og det kan da forekomme vannlekkasjer.

Som nevnt tidligere så er PE-skum også lett å utbedre ved små skader, og det kreves liten eller ingen lagringsplass for reservedeler.

PE-skum med sprøytebetong er også enkelt å seksjonere for brannskiller. Dette på grunn av sin fleksibilitet.

5.2.3 Sammenlikning

Når man sammenligner disse to løsningene er det i realiteten bruken av selve PE-skummet som utgjør den store forskjellen. I det lange løp er det såpass liten forskjell i reparasjonstid, slik at det ikke vil ha noen innvirkning på brannsikkerheten når man skal utbedre eventuelle småskader.

Det avgjørende er egentlig muligheten for brann som holder en høyere temperatur enn det kravene tilsier. Da vil man i verste fall få smelting og antennelse av PE-skum.

Med bakgrunn i at PE-skum er brannfarlig, får betongelementer en klar fordel på kriteriet brannsikkerhet.

Betongelementer 1

PE-skum 0

5.3 Bruksegnethet

Definisjon av kriteriet bruksegnethet er i denne sammenheng:

"Oppfyllelse av regelverk og funksjon, tåle trykkrefter, vanntetthet, løsningens påvirkning på tekniske installasjoner."(Norconsult, 2011b)

Dette vil si at de vurderte løsningene må oppfylle alle gitte krav i regelverk. De må fungere til sin funksjon, nemlig å vann- og frostsikre tunnelen. Løsningene må også være dimensjonert slik at de tåler antatte påkjenninger de kan bli utsatt for ved frakt, montasje og under driftsfasen.

Hvis en konstruksjon ikke tilfredsstiller teknisk regelverk, er den ikke godkjent for å brukes i tunnelen. Når man ser på vann- og frostsikring, kan dette medføre at konstruksjonen ikke tåler de opptredende kreftene og kan bryte sammen. Da er det ingen sikring igjen og man kan få vann inn i tunnelen.

Det er også viktig at konstruksjonen har minst mulig påvirkning på tekniske installasjoner, slik at det ikke skjer skader som må utbedres. Et eksempel på dette er hvor stabil løsningen er. Den burde være mest mulig stabil slik at man ikke risikerer at tekniske installasjoner løsner og faller ned, eller blir revet i stykker.

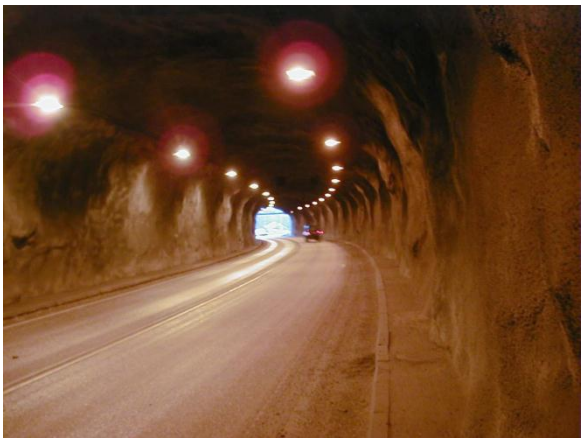
Festemåte har også innvirkning da det for eksempel vil være flere gjennomføringer å tette ved bruk av PE-skum kontra betongelementer.

5.3.1 Drøfting av Betongelementer

Det ville fort bli tidkrevende og kostbart hvis en konstruksjon ikke hadde tålt påkjenninger under montasje, slik at man måtte ha bestilt nye elementer. Dette kan da resultere i økte kostnader og økt tidsbruk som igjen kan lede til forsinkelser i den totale fremdriften. Betongelementer er på denne måten mer sårbar enn PE-skum. Konsekvensene er større ved skade på elementene ved for eksempel transport til montasjested. Konsekvensene ved skade på et betongelement kan være at dette må erstattes. Det koster både tid og penger.

Når det gjelder bruksegnethet har betongelementer den fordelen at de er estetisk mye penere enn PE-skum. Tunnelen vil få et lysere miljø enn ved bruk av PE-skum. Derimot er det ikke like viktig at tunnelen fremstår estetisk da jernbanetunneler stort sett er mørke.

Derimot er dette et poeng i stasjonshallen hvor personer vil oppholde seg og ferdes. Dette sees best på bildene under.



Figur 12: PE-skum med sprøytebetong i Kopparberget vegtunnel i Sverige. Bildet er hentet fra Nordisk Vegforum.

Figur 13: Betongelementer i Sörvikstunnelen i Sverige. Bildet er hentet fra Norsdisk Vegforum.

Tekniske installasjoner er lett å montere i betongelementer, og noen installasjoner kan også monteres på forhånd. Dette ses på som positivt.

For vannsikring benyttes membran. Denne er laget spesielt for at vann ikke skal trenge igjennom og er tett. For frostsikring blir betongelementene levert med isolasjon i de områdene av tunnelene som trenger dette. Det vil være i tunnelåpninger og ved svakhetssoner i fjellet. I følge regelverket blir disse levert i henhold til timegrader i Holmestrand som beskrevet i teorikapittelet. Isolerte betongelementer er en god konstruksjon til formålet.

5.3.2 Drøfting av PE-skum

PE-skum er lettere å tilpasse enn betongelementer. Det vil si at PE-skum er mer fleksibelt og mer håndterlig enn elementene. Dette ses på som positivt fordi man ikke trenger å planlegge logistikk like omfattende som ved montering av betongelementer. En konstruksjon av PE-skum og sprøytebetong kan formes etter nisjer[15] og lignende etterhvert som arbeidet skrider frem.

Den største bekymringen i forhold til bruksegnethet og PE-skum, vil være alle boltene som kan være potensielle lekkasjepunkter. Boltene blir benyttet til å montere PE-skum i tunnelen.

Ved å benytte PE-skum vil fuger muligens være en del av utfordringene for å oppnå tetthet. Det er viktig at overlappingen mellom skumplatene er korrekt, slik at lekkasjepunkter ikke oppstår.

For å montere installasjoner i PE-skum vil bolter i sprøytebetongen benyttes.

5.3.3 Sammenlikning

Sett opp i mot kriteriet bruksegnethet vil begge løsningene være tilfredsstillende.

Det at betongelementer kan leveres med ferdiginstallerte installasjoner, er mer solid og at de benytter membran til vannsikring sees på som ett fortrinn i forhold til PE-skum.

PE-skum er derimot mer fleksibelt enn betongelementer, noe som gir mindre tidsforsinkelser ved eventuelle feil i planleggingen.

Planleggingen av vann- og frostsikringen skjer i god tid. Derfor er det nærliggende å anta at man får prosjektert, planlagt og bestilt alt i rett tid slik at man ikke får nevneverdige forsinkelser.

[15] Nisjer - Utsparinger i tunnelrommet

I forhold til kriteriet bruksegnethet kommer betongelementer bedre ut enn PE-skum. Dette fordi man blant annet har en jevnere overflate til membran. I tillegg er betongelementer generelt sett en mer solid konstruksjon, med færre svakhetspunkter som for eksempel antall bolter.

Betongelementer 1

PE-skum 0

5.4 Vedlikeholdsvennlighet

Vedlikeholdsvennlighet kan beskrives som reparasjonstid, behov for inspeksjoner, vedlikeholdskostnader, behovet for og lagring av reservedeler samt inspeksjonsmuligheter.

For ettertiden er det viktig å tenke på hvordan de forskjellige konstruksjonstypene blir påvirket av gjentagende vedlikehold og eventuelle reparasjoner.

Ved manglende vedlikehold kan det føre til at konstruksjonen får en kortere levetid enn antatt/dimensjonert. Det kan føre til store kostnader når man for eksempel må bytte ut større deler av konstruksjonen som man kunne unngått ved godt vedlikehold.

"Konstruksjoner og portaler skal ikke ha skader som reduserer deres funksjon eller kan være til skade for trafikantene eller andre. De skal være rene og estetisk tiltalende i henhold til opprinnelig utforming."

"Skader på konstruksjoner og utstyr som er til fare for trafikantene skal repareres straks. Tiltakstid for igangsetting av permanent utbedring når det ikke er umiddelbar fare for trafikantene er vist i etterfølgende tabell." (Vegdirektoratet, 2003)

De valgbare løsningene har forskjellig oppbygning. Betongelementer kommer ferdigprodusert og er selvbærende. Derfor krever elementer færre bolter enn PE-skum. På PE-skum bruker man armerigsnett man sprøyter betong over, og man er da avhengig av at det blir brukt flere bolter for å få tilstrekkelig med festing.

Uten tilstrekkelig vedlikehold vil levetiden reduseres og miljøet vil tære på konstruksjonen. Hvis skader på membran ikke blir utbedret, kan det føre til at vann trenger inn i, og gjennom konstruksjonen. Vannet kan da for eksempel forårsake tæring på skinnegang og annet utstyr i tunnelen.

Et annet viktig moment er at tunnelen må stenge ved vedlikeholdsarbeid.

5.4.1 Drøfting av betongelementer

Betongelementer har som beskrevet tidligere en glattere overflate enn PE-skum med sprøytebetong. Dette fører til at det er enklere å vaske bort all smuss som samler seg på betongens overflate.

Problem med smuss som veistøv, salt og eksos forekommer først og fremst i vegtunneler. Denne oppgaven omhandler jernbanetunneler og man kan da se bort i fra dette. Det støvet man finner i jernbanetunneler er hovedsakelig etter skinneslitasje og sand som blåser inn i tunnelåpningene.

For å undersøke dette nærmere ble det sendt ut spørsmål til vedlikeholds ansvarlig i Jernbaneverket som sa følgende [Vedlegg 4]:

"På strekninger hvor toghastigheten er over 200 km/h bør nok betongelementer brukes, da disse er mer robuste mot trykkpåvirkninger fra passerende tog. Det er viktig at det brukes rustfritt stål i alle innfestinger på betongelementene. Låsemuttere må brukes for å redusere kontrollbehovet på innfestingen."

"Ved fornyelse av elektro installasjoner i tunnel er det en fordel med betongelementer, innfesting må kanskje forandres og da er 8 cm sprøytebetong (PE-skum) vanskeligere å bore fast nye fester i (pga. fare for å punktere vannskjermen)."

Ved bruk av betongelementer er man avhengig av å ha et lager av deler for rask utbedring, samt elementer til utskiftning. Skulle det skje en ulykke eller ekstra slitasje, som igjen kan føre til vedlikehold av konstruksjonen, er det stor sannsynlighet for at man må bytte ut et helt element på grunn av oppbygningen. Dette på steder hvor man ikke oppnår gjeldende krav ved utbedringer på konstruksjonen. Med PE-skum er man ikke avhengig av noen lagerbeholdning, siden dette kan lages/konstrueres på stedet.

5.4.2 Drøfting av PE-skum

Når det gjelder vegtunneler så vil det være vanskeligere å holde PE-skum med sprøytebetong rent fordi den har en mer ru og ujevn overflate. Allikevel er dette problemet så å si ikke eksisterende i jernbanetunneler i følge vedlikeholds ansvarlig i Jernbaneverket:

"*Det er i utgangspunktet lite vedlikehold på begge løsninger."* [vedlegg 4].

Det er egentlig kun støv fra skinneslitasje og sand som har innvirkning på denne løsningen.

5.4.3 Sammenlikning

Som beskrevet over er vedlikeholdet lite på begge løsningene.

Forskjellene er hvis utstyr som er festet i konstruksjonen må byttes ut, og den nye konstruksjonsdelen har en annen innfesting enn den gamle slik at nye hull og tilpasninger må lages.

Ved inspeksjon vil det være mer tidkrevende å inspisere PE-skum med sprøytebetong fordi denne løsningen har flere bolter som må kontrolleres.

Man kan argumentere for at betongelementer får en liten fordel her med bakgrunn i de overnevnte punktene. Allikevel med dagens tilgjengelighet av festeanordninger og utstyr vurderes dette punktet som likt mellom de to løsningene.

Betongelementer 1

PE-skum 1

5.5 Levetid og levetidskostnad

Det er fastsatt i Jernbaneverkets reglement at levetiden for de forskjellige løsningene skal være 50 år. Det står i Jernbaneverkets regelverk følgende;

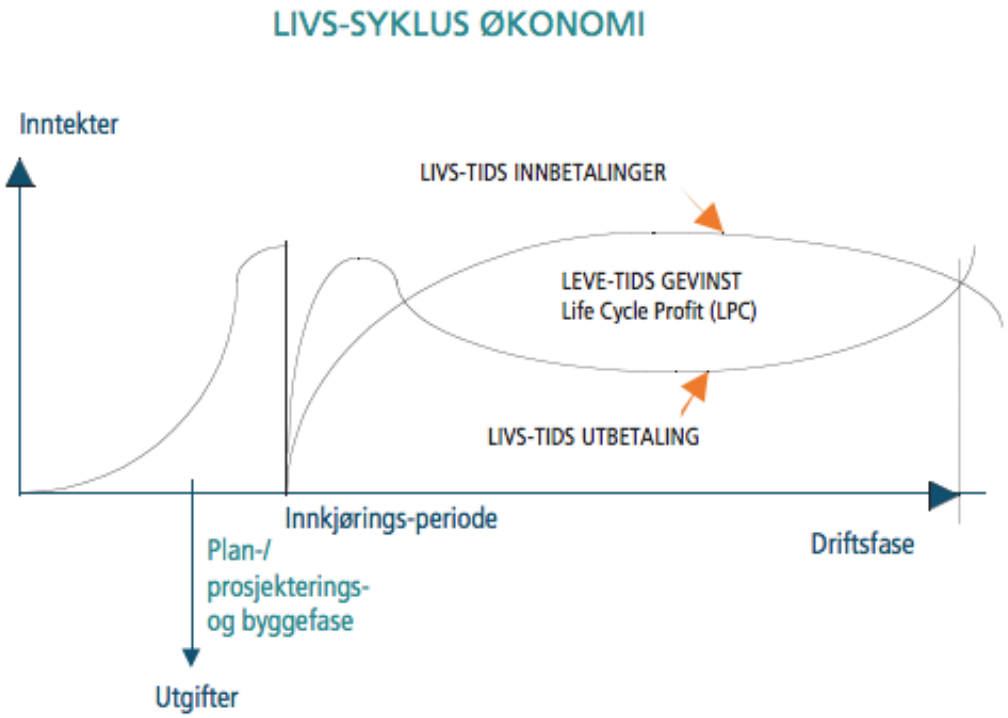
"For dimensjonering og valg av materialer for vann- og frostsikring skal det tas utgangspunkt i en levetid på 50 år" (Jernbaneverket, 2012b)

Målet som etterstrebes er å optimalisere levetiden til konstruksjonen med lavest mulig kostnad.

Livssyklusen eller levetidskostnad er sett opp i mot anskaffelseskostnad. Det vil si hvor mye det koster å kjøpe, produsere og montere en løsning opp i mot vedlikeholdsvennlighet, levetid, serviceintervaller og reparasjonskostnad.

I Norge blir det i mange tilfeller brukt et verktøy som kalles LCC (Life Cycle Cost). Denne metoden er kort oppsummert en oversikt over alle kostnadene for en tunnels levetid. Altså plan- og prosjekteringsfasen, byggefasen og hele driftsfasen. (Vegdirektoratet, 2001)

LCC er illustrert på tegningen under.



Figur 14: Livstidssyklus for en konstruksjon. Publikasjon 97, Statens Vegvesen

Det forutsettes at begge alternativene tilfredsstiller gjeldende tekniske og dimensjonerende krav.

Når man ser dette kriteriet direkte opp mot vann- og frostsikring, så vil levetiden ha innvirkning. Hvis man har dimensjonert for en levetid, forventer man at konstruksjonen oppfyller dette og planlegger deretter. Når levetiden er innfridd kan man forvente utbytting/omgjøring av konstruksjonen. Blir ikke dette gjort, kan man oppleve at det forekommer feil og mangler som eksempelvis oppsprekking. Dette kan deretter føre til vannlekkasjer inne i tunnelen.

5.5.1 Drøfting av Betongelementer

Betongelementer bruker færre bolter enn PE-skum med sprøytebetong. Elementene blir produsert ferdig på fabrikk med isolasjon, armering etc. De er i stor grad selvbærende og man får færre gjennomføringer å passe på.

Betongelementer er laget etter mål og får en glattere overflate enn sprøytebetong og er dermed lettere å rengjøre. Som nevnt tidligere er det derimot ett lite aggressivt miljø i jernbanetunneler sammenlignet med vegtunneler.

Siden betongelementene blir kledd med XPS-plater inneholder denne løsningen BFH[16](forurensningsdirektoratet, 2010). Det vil derfor her oppstå ekstra kostnader med tanke på gjenvinning ved eventuelle utskiftninger.

I en mail som ble sendt ut i forbindelse med vedlikehold av jernbanetunneler, kom følgende om levetid frem:

"Betongelementer vil ha lenger holdbarhet enn 50 år (kanskje opp mot 100 år)." [Vedlegg 4].

5.5.2 Drøfting av PE-skum

PE-skum med sprøytebetong bruker som nevnt tidligere flere bolter enn betongelementer. Gjerne i mønster på 1 meter x 1.2 meter.

Da PE-skum og den påførte sprøytebetongen blir montert på armerings nett og boltet til fjell, er denne konstruksjonen ikke selvbærende. Altså er det behov for flere bolter som igjen fører til flere gjennomføringer og tetningspunkter. Derfor har denne løsningen flere punkter hvor det over tid kan forekomme lekkasjer, samt flere bolter som kan bli utsatt for korrosjon.

I vegtunneler er det behov for jevnlig rengjøring av konstruksjonen på grunn av salt, snø veistøv o.l. Siden Sprøytebetongen har en ru overflate kan rengjøringen noen steder være mer tidkrevende, og man kan få vanskeligheter med å fjerne all smuss. Siden dette er en jernbanetunnel, vil man ikke ha det samme aggressive miljøet her.

PE-skum inneholder også en andel av BFH, noe som gjør at det blir klassifisert som spesialavfall (forurensningsdirektoratet, 2010). Da blir også kostnadene ved en eventuell utbytting av PE-skum store.

Det ble sendt mail til vedlikeholdsansvarlig i Jernbaneverket i forbindelse med foregående kriterium. Han nevner følgende:

[16] BFH - Bromerte flammehemmere

"PE-skum med 8cm påsprøytet betong på nettarmering. Denne konstruksjonen holder ikke lenger enn ca 50 år. Dette betyr at en jernbanetunnel med denne konstruksjonen må totalrenoveres etter ca 50 års drift. For å skifte vannskjermingen av PE-skum må det påregnes lang stengetid. Eks. en tunnel på 5 km lengde må stenges i mer enn et år. Dette er svært problematisk da det sjelden finnes omkjøringsbaner. Kapasiteten på slike alternative strekninger blir overbelastet." [Vedlegg 4]

Med bakgrunn i overnevnte kommer PE-skum med sprøytebetong dårlig ut siden noe av dette kriteriet innebærer å vurdere konstruksjonens levetid utover 50 år.

5.5.3 Sammenlikning

Som nevnt under forrige kriterium er vedlikeholdet for begge løsningene minimalt i en jernbanetunnel. Man kan også si at vedlikeholdskostnadene, der det ikke kreves utskiftning av konstruksjonen, er like. Med bakgrunn i mail hvor det av erfaring sies at PE-skum ikke har en holdbarhet over 50 år, vil betongelementer ha en klar fordel på kriteriet levetid og levetidskostnad.

Betongelementer 1

PE-skum 0

5.6 Byggefase

Ett viktig moment ved utvelgelse av løsning er forholdene tilknyttet byggefasen. Her kommer momenter som fleksibilitet ved montering, miljøforhold ved utførelse, oppheng av installasjoner og påvirkning for andre fagområder.

Konstruksjonene bør være fleksible i forhold til montering slik at det ikke må flere tilpasninger til på montasjestedet. Bygging av tunneler og fjellhaller er ikke et millimeterarbeid. Tverrsnitt og størrelser vil ikke stemme på millimeteren hele tiden, selv om utviklingen har gjort det sik at det er blitt mye mer nøyaktig. Konstruksjoner for vann- og frostsikring som er tilpasningsdyktige på byggeplassen vil spare prosjektet for merarbeid i forbindelse med tilpasninger.

Hvordan miljøet påvirkes ved montering er også en faktor som er viktig. I Holmestrandtunnelen vil montering av vann- og frostsikring sannsynligvis foregå på

forskjellige steder samtidig i tunnelen. Dette gjør at det miljøet det jobbes i må tas hensyn til. Luftkvalitet og ventilasjon er viktige stikkord.

Oppheng av installasjoner i konstruksjonen må kunne gjøres på en grei måte. I en jernbanetunnel er det mye kabler og elektrisitet, lys og brannslokkingsutstyr. Konstruksjonen må tåle all påkjenning dette arbeidet innebærer.

Man må i byggefasen være forsiktig og nøyaktig når det monteres membran og/eller skumplater slik at man unngår vannlekkasjer.

5.6.1 Drøfting av Betongelementer

Inneklima og luftkvaliteten i tunnelen ved oppføring av elementene er tilfredsstillende. Dette fordi det er en montering av et ferdig produkt der ingen betydelig herding eller støping kommer til å foregå i tunnelen. Eksos og annen forurensning forekommer under hele byggeperioden og dette er ventilasjonen i tunnelene dimensjonert for.

Når det gjelder fleksibiliteten ved montering av betongelementer er denne liten. Dette fordi betongelementene er ett slags byggesett som må passe så nøyaktig som mulig. Når byggesettet er satt opp er det mulig å feste tekniske installasjoner i selve elementet, så lenge de ikke er alt for tunge eller det stilles krav til at de skal festes i fast fjell.

"Betongelementene har normalt en tykkere betongutførelse, så det er kanskje enklere å montere skiltinstallasjoner etc. på disse i ettertid." SKANSKA [Vedlegg 5].

5.6.2 Drøfting av PE-skum

Etter en rundspørring av entreprenørene AF Gruppen, Skanska og Veidekke kom følgende momenter om PE-skum frem:

"I ca. 80 % av tunnelene, er det lite problem med arbeidsmiljøet ved sprøyting. Vi har da gjennomtrekk i tunnelen, med jevn og stabil ventilasjon hele tiden. I ca. 20 % av tunnelen, har vi problem med å få trekken til å være stabil. Dette kan være pga. høybrekk, lavbrekk, parallelle tunneler, ulik oppvarming av luft utenfor tunnelen på varme sommerdager, mm. I disse tilfellene har vi ofte utfordringer med arbeidsmiljøet fordi viftene våre ikke er store nok til å skape stabil trekk. Antall maskiner i tunnelen som slipper ut dieseleksos og arbeidsoperasjoner som hvirvler opp støv spiller også en rolle for arbeidsmiljøet. Det hender

seg at vi flytter forurensende arbeidsoperasjoner til kveld/natt for å redusere ulempene". AF-GRUPPEN [Vedlegg 6].

"Det er klart at påføring av sprøytebetong er negativt i forhold til arbeidsmiljøet. Det forårsaker mye støv under selve utførelsen av aktiviteten. Det er også vanskelig å få fjernet dette uten en fullstendig vask av tunnelen". SKANSKA [Vedlegg 5].

Det positive med tunnelene i Holmestrand er at man ikke har en parallell tunnel og tunnelene har ubetydelig lavbrekk/høybrekk av betydning. Med hensyn til både miljø og fremdrift pleier flere av entreprenørene å legge sprøyting av PE-skummet til kvelden, mens montasje av skummet er lagt til dagtid. Veidekke er en av entreprenørene som også benytter seg av andre hjelpemidler for å bedre miljøet ved sprøyting av PE-skum.

"Oppføring av mobilt vanngardinsannlegg. Binder opp mye støv. - Vi har også laget noen "viftebiler" der vi har montert tunnelvifter på lastebil med aggregat så vi får bedre luft. Vanning av såle er også viktig" VEIDEKKE [Vedlegg 7]

Fleksibiliteten til PE-skum er stor fordi disse ikke er spesialbestilte til Holmestrandstunnelene, men standardiserte PE-skum matter i mange forskjellige størrelser. Ved montering av tekniske installasjoner må alt festes i fast fjell fordi det ikke er noe hold i sprøytebetongen.

5.6.3 Sammenlikning

Ved sammenligning av alternativene kan man se at det bare er påføringen av sprøytebetong og hvordan det påvirker miljøet i tunnelen som er det negative med PE-skum. Det finnes her flere hjelpemidler som kan være med å redusere problemene. Eksempler på dette kan være mer ventilasjon under sprøytefasen, eller fuktig luft/vann som binder opp mye av svevestøvet. Fleksibiliteten er bedre ved bruk av PE-skum, og tilpasningsmulighetene større.

Med tanke på kriteriet byggefase kommer PE-skum med sprøytebetong bedre ut på grunn av fleksibilitet. Det finnes såpass gode tiltak mot støv fra sprøytebetong (nevnt eksempler over) slik at miljøet inne i tunnelen er tilfredsstillende.

Betongelementer 0

PE-skum 1

5.7 Byggekostnad

Kriteriet byggekostnad baserer seg på innkjøp av materialene, montering og installasjon. Man vil her se på prising av konstruksjonene, og hvor mye de koster i innkjøp. I tillegg kommer det fraktkostnader og kostnader knyttet til monteringen. Herunder kommer et tidsaspekt og ett ressursaspekt. Hvor lang tid tar det å montere de forskjellige løsningene, samt hvor mange arbeidere er det behov for? De to løsningene er såpass forskjellige at det trolig vil være betydelige forskjeller. Her er det ingen annen direkte innvirkning på Vann- og frostsikring enn kostnadene på løsningene.

I drøftingene er det tatt i bruk priser fra Norconsult. Disse prisene inneholder alle kostnader løsningen har per kvadratmeter. Prisene inkluderer innkjøp, frakt, montasjekostnader med tid, materiell og personalkostnader.

5.7.1 Drøfting av Betongelementer

På løsningen med betongelementer har Norconsult gjort et overslag på ca. 1300 kr/m^2 (Norconsult, 2011a). Prisene er hentet fra Norconsult sitt notat 11.11.2011 så det tas forbehold om forandring i prisen. Ett raskt overslag viser pris per kilometer tunnel:

Areal = ((2*3,14*6.65m)/2)*1000m = 20892m^2

Pris = 20892m^2*1300 = 27 159 600 kr = **27,2 mill**.

Dette gir et inntrykk av kostnadene ved bruk av betongelementer.

5.7.2 Drøfting av PE-skum

Norconsult har gjort et oversalg på denne løsningen og kommet frem til en ca. Pris på 800 kr/m^2 (Norconsult, 2011a). Prisen er hentet fra Norconsult sitt notat 11.11.2011 så det tas forbehold om forandring i prisen. Ett raskt overslag viser pris per kilometer tunnel:

Areal = 20892m^2 (fra beregninger i alternativ 1):

Pris = 20892m^2*800 kr/m^2 = 16 713 273 kr = **16,71 mill.**

Dette gir ett inntrykk av kostnadene ved bruk av PE-skum.

5.7.3 Sammenlikning

På prisoverslagene blir det en prisforskjell på 27,2 – 16,71 = **10,5 mill**. per kilometer. Og siden tunnelen er 12,3km lang utgjør dette et stort beløp. (Evensen, 2012)

10,5*12.3 = **129,2 millioner kroner.**

129,2 millioner kroner er relativt mye penger. Sett opp i mot hele prosjektets estimerte kostnad på cirka fem milliarder kroner, vil ikke dette beløpet utgjøre så stor forskjell. Sammenlikner man løsningene, og setter disse opp i mot hverandre, kommer PE-skum med sprøytebetong best ut.

Betongelementer 0

PE-skum 1

5.8 Fremdrift

Med fremdrift menes den tiden det tar fra byggestart til konstruksjonen er ferdig montert og i bruk. Viktige punkter under fremdrift er leveringstid og montasjetid.

5.8.1 Drøfting av betongelementer

Ved bruk av elementer er det viktigere å bestille riktige elementer med tanke på mål, lengder etc. Samt at det må passes på at det blir bestilt i rett tid da elementer blir produsert på fabrikk og fraktet til anleggsplassen etter at bestillingen er levert. Det gir mindre fleksibilitet under bestilling og vil trenge større områder for å lagre de flere tusen elementene for å få god nok fremdrift under en montasjeperiode.

Leveringstiden på alle elementene til Holmestrandstunnelen antas å være lang siden alt blir planlagt og prosjektert i god tid. Dette fordi tverrsnittet på tunnelen er stort, og det vil bli et veldig høyt antall elementer siden den totale lengden også er stor.

Det ble sendt ut mail til tre store entreprenører angående montasjetid på de forskjellige løsningene:

"Normalt går det raskere å bruke elementer. Det er færre delaktiviteter, og det medgår omtrent halvparten så mange timeverk på denne metoden – kontra PE-skum/Brannsikret". SKANSKA [Vedlegg 5].

"Ved betongelement er det mer krevende planlegging av logistikk – mindre fleksibelt. Men dersom det blir lagt gode planer, kan det monteres mange element på kort tid" AF GRUPPEN [Vedlegg 6]

5.8.2 Drøfting av PE-skum

PE-skum krever liten plass til lagring, og siden løsningen blir formet og montert på stedet, gir det stor fleksibilitet. Spesielt med tanke på eventuelle endringer i tunnelprofilen, samt montasje av utstyr som man ikke har hatt mulighet til å forutse.

Leveringstiden på PE-skum antas å være kort. Dette fordi det her benyttes standardiserte produkter i hele oppføringen. Dette innebærer at produktene som benyttes er like for hver tunnel.

Oppføringstiden varierer mellom entreprenørene fordi de har forskjellig kunnskap på de forskjellige metodene og bruker ulik tid:

"PE-skum har flere arbeidsoperasjoner, men er mer fleksibel når det gjelder å øke kapasiteten. Element er mer avhengig av å ha jevn produksjon. Dersom jeg sier at PE-skum har 50 % høyere kapasitet, så kan dette være korrekt for enkelte prosjekt, men ikke for alle. Jeg tror ikke jeg vil si at det er noen stor forskjell". AF-Gruppen [Vedlegg 6].

Veidekke er uenig med de to andre entreprenørene og bruker kortere tid på PE-skum enn på elementer:

"Det er jo tre versjoner av disse vann/frost-sikringene: Kun PE-skum, kun elementer eller veggelementer og PE-skum i hengen. Det som tar minst tid er kun PE-skum, så kommer veggelementer og PE-skum i heng. Det som tar lengst tid er kun elementer". VEIDEKKE [Vedlegg 7].

5.8.3 Sammenlikning

Prosjektet skal ikke være ferdig før i desember 2015. I ett møte med Norconsult ble det sagt at de blir ferdig med prosjektering av valgt løsning i løpet av våren 2012. Under ekskursjon ble det observert at tunnelene ikke er ferdig utsprengt. Med bakgrunn i dette trekkes leveringstiden ut av sammenligningen siden det blir god tid med tanke på logistikk.

Oppføringstiden er forskjellig fra entreprenør til entreprenør, men PE-skum er mer fleksibelt. Det er av erfaring sjeldent at et prosjekt går 100 % etter planen, og man vil oppleve avvik. Med tanke på dette kommer PE-skum best ut på grunn av sine tilpasningsmuligheter.

Betongelementer 0
PE-skum 1

5.9 Tuneller internasjonalt

5.9.1 Sverige

I Sverige har de eget regelverk for veger og jernbane. De hadde frem til 2008 benyttet sju ulike løsninger for vann- og frostsikring i sine tunneler (Nordisk Vegteknisk Forbund, 2008b). I dag tester Sverige ut flere forskjellige løsninger. Etter kontakt med et leverandørfirma av vann- og frostsikring kom følgende frem:

"Det finnes to typer. Det ene hvelvet er membran vi monterer med vanntette gjennomføringer bak tak og vegglementer.

Det andre hvelvet er en membran som monteres med vanntette gjennomføringer på et boltemønster 1,20m x 1,20. Dette hvelvet armeres og sprøytes inn. Dette hvelvet er montert i Ålesundtunnelene og på Norra Länken.

Vårt system er patentert både når det gjelde vanntette gjennomføringer, membran med flosset overflate og maskin for å montere membran maskinelt.

Utvklingen startet i 2005 da den gan Vägverket nå Trafikverket spurte oss om å utvikle et vanntett hvelv. Bakgrunnen for dette var at vi hadde levert pe-skum til hele Södra Länken. Jeg var den gang fornøyd med leveringen av skum. Det gikk med store mengder , men jeg påpekte at de ville få store lekkasjeproblemer med is om vinteren. Metoden de brukte for å installere var feil. Smale drenmatter litt her og der ville ikke fungere var min beskjed, og det stemte! Den dag i dag må Södra Länken stenges om natten for å hugge ned is!!

Vi monerte for hånd ca 500 m2 Ultraflex membran på boltemønster 1,2 x 1,2 m og med vanntette gjennomføringer,- i en arbeids tunnel til SL som omtales som Träskolevegen. Vi monterte ca 250 m2 uten noen form for isolering, ca 125m2 var membran + 5 cm pe-skum og 125m2 med membran + 10 cm Isolon Fire Proof (IFP) Dette er en sprøytebetong vi utviklet som har gode islorenede egenskaper mot frost samtidig som den har svært gode brannegenskaper!!

Hele feltet ble etter påføring av IFP + normal sprøytebetong på resten frosset ned til minus 10 graer i 60 døgn pluss ca 2 ukers nedfrysningperiode.." SKUMTECH AS [Vedlegg 8]

5.9.2 Finland

I Finland brukes mye av de samme løsningene som i Sverige. Vägforvaltningen, Sveriges vegvesen, eier noen av tunnelene der (Nordisk Vegteknisk Forbund, 2008b).

5.9.3 Island

På Island var det frem til 2008 åtte tunneler på tilsammen 25 kilometer. Island ser på Norges løsninger, og bruker HB 163 samt HB 021 i sine prosjekter. De aksepterer også alle løsningene som Statens Vegvesen har godkjent i Norge (Nordisk Vegteknisk Forbund, 2008b).

5.9.4 Danmark

Danmark har få tunneler. Den lengste er Øresundtunnelen på 4 kilometer. I 2008 hadde ikke Danmark utarbeidet egne standarder eller godkjente krav til tunneler (Nordisk Vegteknisk Forbund, 2008b)

5.9.5 Færøyene.

Færøyene hadde i 2008 atten tunneler med en total lengde på cirka 42 kilometer. Videre planer var i 2008 seks nye tunneler i løpet av de 10 neste årene. Her blir også de norske reglene og løsningene anvendt (Nordisk Vegteknisk Forbund, 2008b).

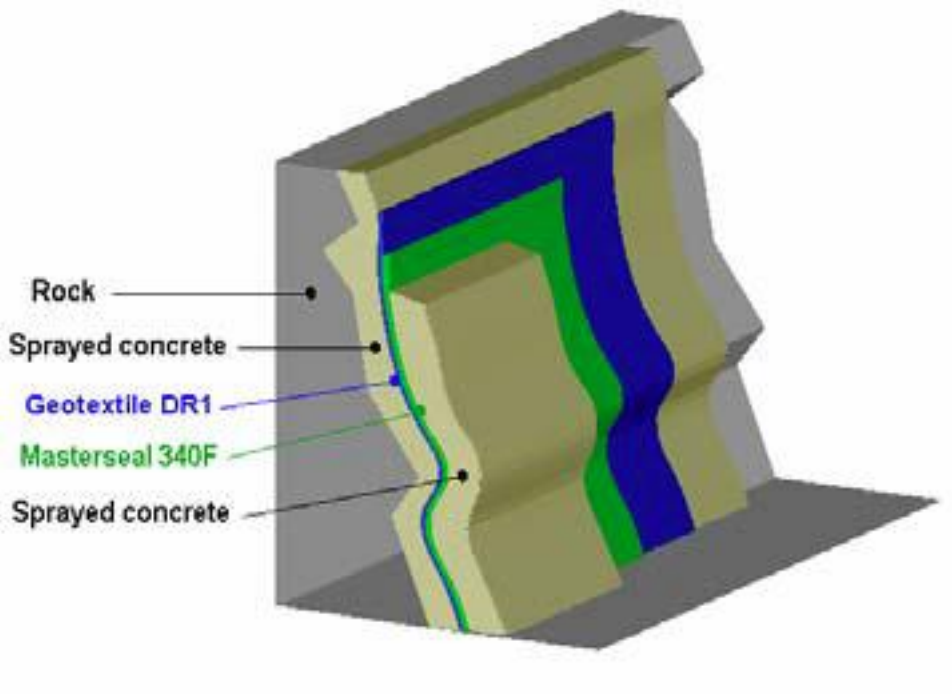
5.9.6 Sveits, Østerrike og Tyskland

I Sveits, Østerrike og Tyskland bruker man nesten utelukkende full utstøpning. I disse landene hvor man har dårlig fjellkvalitet, kan denne løsningen brukes til å bære og stabilisere berget. Tverrsnittet som blir benyttet i disse tunnelene er som regel større enn i Norge. Det påpekes at løsningen med full utstøping er mye dyrere enn de andre løsningene. Dette kom frem i ett møte med Norconsult i Sandvika 3.5.2012. De har gode kontakter nedover i Europa.

5.10 Nye løsninger

5.10.1 Sprøytbar membran

Løsningen går ut på å sprøyte et lag med betong innerst, så et lag med membran og isolasjon, før man deretter sprøyter et siste lag med sprøytebetong.



Figur 15: Sprøytbar membran, Nordisk veiforum

Denne løsningen er ikke benyttet i Norge enda. Den prøves ut i blant annet Sveits, Hong Kong og Sverige (Statens Vegvesen, 2007).

Det er planlagt at man skal prøve ut dette konseptet i Statens Vegvesens testtunnel for å dokumentere følgende faktorer:

"• Egenskaper knyttet til frostgjennomtrenging, og konseptets termiske egenskaper i uisolert løsning.

• Egenskaper knyttet til bergmasseegenskaper knyttet til vanngjennomtrengning og trykkoppbygging i bakenforliggende bergmasse og i selve applikasjonen. "

(Statens Vegvesen, 2007)

5.10.2 Fotokatalytisk betong

Denne betongen er laget slik at den blir selvrensende, slik at man får reduserte kostnader i driftsfasen. Den skal også kunne ta opp NO_x slik at man vil ha behov for mindre ventilasjon slik at man oppnår et bedre miljø inne i tunnelen.

Betongen har ved hjelp av nanoteknikk[17] blitt gitt fotokalytiske[18] egenskaper, samt at den er lysere slik at behovet for lys blir mindre.

Denne løsningen er planlagt ferdig utforsket i 2010 med testing av følgende egenskaper:

"• Självrengörande effekt/ Klotterskydd

Eftersom rengöring av tunnlar medför en stor kostnad och påverkan på miljön ochdessutom stör trafiken, finns det mycket att vinna på att kunna reducera tvättningen.En renare tunnelyta bör även ge en ljusare yta som minskat behovet av belysning. Denfotokatalytiska betongen har en självrengörande förmåga genom dess förmåga att64bryta ner organiska ämnen och den hydrofila effekten gör att smutsen inte fastnar såhårt.Den självrengörande effekten kan bli ett effektivt klotterskydd

• Nedbrytning av NOx.

Halterna av NOx kan minskas. Högsta tillåtna NOx-halter i en tunnel är framtagna isamråd med den lokala miljömyndigheten. Nu styrs halten i tunnlar med ventilation."

(Nordisk Vegteknisk Forbund, 2008a)

5.10.3 Fleksivelv

Statens Vegvesen har følgende beskrivelse av dette:

"Flexihvelvet er et kassettsystem med med Rockwool som isolasjonsmateriale. Hvelvet er bygd opp av aluminiumsprofiler og kompositttmateriale som skal monteres på langsgående betongføringskant. Inspeksjonsluker i hvelvet vil gi adgang bak hvelvet til inspeksjoner etc."(Statens Vegvesen, 2007).

[17] Nanoteknikk - Teknologi på atom- og molekylnivå
[18] Fotokalytisk - en reaksjon hvor titandioksid aktiveres av UV-lys og nedbrytning av NO_x starter (byggkatalogen.no)

Som vist på bildet under:

Figur 16: Flexivelv, Nordisk veiforum

5.10.4 Sprøytbar steinull

"Dendamix er et produkt som er utviklet av steinull med vannglass som bindemiddel med tanke på passiv brannbeskyttelse, termisk isolering og akkustisk isolering/demping av skip og bygg. Materialet er mye brukt i maritime miljø."(Statens Vegvesen, 2007)

Figur 17: Dendamix, Statens Vegvesen

5.10.5 WARPO isolert materiale.

Denne løsningen går rett og slett ut på å erstatte dagens PE-skum med Glava mineralull som isolasjonsmateriale. Løsningen er tilnærmet lik den allerede godt beskrevne løsningen, PE-skum med sprøytebetong.

6 KONKLUSJON

Vi skulle i denne oppgaven besvare følgende problemstilling;

"Hvilken løsning for vann- og frostsikring bør anbefales for jernbanetunnelene på strekningen Holm-Nykirke?"

Problemstillingen skulle besvares etter en analyse av løsningene som er tilgjengelige, sett opp imot gitte kriterier og regelverk. I henhold til innhentet teori, samtaler med fagpersoner og egne diskusjoner mener vi at vi har kommet frem til en god konklusjon.

For å kunne komme frem til konklusjonen, har det vært nødvendig å vektlegge kriteriene i henhold til det vi mener har vært viktig i forhold til vann- og frostsikring. Med dette menes i hovedsak løsningens egenskaper mot å hindre skader og ulemper som følge av vannlekkasjer, samt hindre frost i frostsoner sett opp i mot gitte kriterier og regelverk. Vektleggingsfaktorenes størrelse har vi diskutert oss frem til sammen basert på vår kunnskap, innhentet teori og regelverk.

Kort fortalt:

Kriterier med vektleggingsfaktor i parentes;

	Resultat	
Kriterium	**Betongelementer**	**PE-skum**
Sikkerhet og drift (5)	5	
Brann (5)	5	
Bruksegnethet (4)	4	
Vedlikeholdsvennlighet (3)	3	3
Levetid og levetidskostnad (3)	3	
Byggefase (2)		2
Byggekostnad (1)		1
Fremdrift (1)		1
SUM	**20**	**7**

Ut i fra dette kan vi se at betongelementer er overlegne da det kommer til valg av løsning. Vi vil med bakgrunn i vår teori, resultater og diskusjon med rimelig sikkerhet kunne anbefale betongelementer som vann- og frostsikringsløsning i jernbanetunnelen på strekningen Holm-Nykirke.

Det er derimot rimelig å anta at i tiden fremover vil vann- og frostsikringsløsningene utvikle seg. Nye løsninger er på vei, samt at det gjennomgås stadig tunnelprosjekter for å optimalisere vann- og frostsikringsløsninger. I utlandet skjer det også store fremskritt når det gjelder temaet, og det er ikke usannsynlig at disse ideene også vil få innvirkning i Norge. Vi mener at Konklusjonen per i dag er god, men lenger frem i tid vil nok denne bli annerledes.

Kriteriene gitt av Jernbaneverket innebærer flere faktorer enn bare vann- og frostsikringens funksjon. I denne oppgaven har vi for eksempel ikke valgt å vektlegge kriterier som fremdrift og byggekostnad like mye som sikkerhet og drift. Derimot kan noen byggherrer prioritere disse kriteriene annerledes. Ved en annen vekting av kriteriene, kan endelig valg av løsning også bli en annen.

6.1 Til ettertanke

Det kommer til å bli forsket mer på nye og mindre brannfarlige løsninger som kan erstatte PE-skum. Løsninger med sprøytbar membran, som prøves ut i Sverige, kommer høyst sannsynlig til å bli prøvd ut i Norge også. Statens Vegvesen sier at de ønsker å gå bort i fra å bruke PE-skum som vann- og frostsikring. Derfor er det nærliggende å tro at vi vil kunne se mer av løsningen full utstøpning i tiden fremover. Full utstøpning er blant annet prosjektert for siste parsellen på E6 prosjektet ved Minnesund.

Skulle vi fulgt opp denne bacheloroppgaven, ville vi trolig ha fokusert mer på full utstøpning samt de nye membranløsningene som kommer i tiden fremover.

7 ORDLISTE

Parsell	Del av tunnelen.
Stuff	Tunnelens arbeidsfront/endevegg. Der man sprenger for å komme seg lenger inn.
Forkastninger	Betegnelse på bruddflate i fjell som danner grensen mellom to bergartsblokker eller fjellpartier som har beveget seg i forhold til hverandre (wikipedia).
Permeabilitet	Evnen ett materiale har til å lede væske
Sondeboring	Benyttes for å fremskaffe opplysninger om vannlekkasjer og bergkvalitet foran stuff.
PP-fiber	Polypropylene fibre tilsettes for å forhindre sprekker i betongen ved brann (Swicofil).
Dilatasjonsfuger	En fuge som skal muliggjøre en viss innbyrdes bevegelse mellom konstruksjonselementer.
t°C	Timegradercelsius. Benevnelse på frostmengde (store norske leksikon)
Porevannstrykk	Trykk i væske eller gass i porerom i undergrunnen. I hydrologisk sammenheng brukes begrepet oftest om grunnvann (porevannstrykk).
Influensområde	Påvirkningsområde.
Setningsømfintlighet	Hvilken grad massene er mottakelig for vertikale forskyvninger.
Gysing	Utstøping med tyntflytende evt. ekspanderende mørtel av fuger, sprekker og hull.
Resistivitetsverdier	Spesifikke motstandsverdier.
Dypforvitring	Svakhetssoner dannet ved forvitring.
Nisjer	Utsparinger i tunnelrommet.
BFH	Bromerte flammehemmere.
Nanoteknikk	Teknologi på atom- og molekylnivå
Fotokalytisk -	En reaksjon hvor titandioksid aktiveres av UV-lys og nedbrytning av NO_x starter (byggkatalogen.no)

8 FIGURLISTE

Figur 1	Holmestrand Stasjon. Foto: Ole Kristian Fløystad
Figur 2	Foto: MTA Photos, Metropolitian Transportation Authority of the State of New York. Publisert på Flickr.
Figur 3	Viser sikring av tunnelen med fjellbolter som gyses, samt sprøytebetong rundt i profilet. Illustrasjon: Statens Vegvesen, Arild W Solerød.
Figur 4	Detaljtegning av løsningen PE-skum. Skisse: Norconsult AS.
Figur 5	Bilde av løsningen PE-Skum rundt i tunnelprofilet. Bilde: Norconsult AS.
Figur 6	Detaljtegning av løsningen betongelementer. Skisse: Norconsult AS.
Figur 7	Bilder av montering av betongelementer. Bilder: Norconsult AS.
Figur 8	Tabell hentet fra Jernbaneverkets tekniske regelverk.
Figur 9	Illustrasjon: Statens Vegvesen, Arild W Solerød.
Figur 10	Temperaturoversikt ved brann. Skisse: Statens Vegvesen.
Figur 11	Utforming av brannsperre. Skisse: Statens Vegvesen.
Figur 12	Betongelementer i Sörvikstunnelen i Sverige. Bildet er hentet fra Norsdisk Vegforum.
Figur 13	Bildet hentet fra Nordisk Vegforum.
Figur 14	1. Publikasjon 97, Statens Vegvesen.
Figur 15	Nordisk veiforum.
Figur 16	Nordisk veiforum.
Figur 17	Dendamix, Statens Vegvesen.

9 REFERANSER

AS, M. 2008. Fagrapport Ingeniørgeologi og Hydrogeologi.
BUVIK, H. 2007. Fullskala brannforsøk 50MW brannsikret PE-skum. Vegvesen.no.
DALSEGG, G. V. G. O. E. 2011. Geofysiske målinger ved Holm-Holmestrand jernbanetunnel, Holmestrand, Vestfold fylke. *In:* UNDERSØKELSE, N. G. (ed.).
EVENSEN, T. K. B. 2012. *Nå sprenges det langs hele traseen* [Online]. Jernbaneverket. Available: http://www.jernbaneverket.no/no/Nyheter/Nyhetsarkiv/2012/Na-sprenges-det-langs-hele-traseen/ [Accessed 25.04.12 2012].
FORURENSNINGSDIREKTORATET, K.-O. 2010. *Isolasjon som farlig avfall* [Online]. Available: http://www.klif.no/publikasjoner/2648/ta2648.pdf [Accessed 25.04.12 2012].
GRØV EIVIND. 2010. Full utstøpning er ikke veien å gå. *Bygg.no*.
JERNBANEVERKET 2012a. Jernbaneverkets regelverk. *Underbygging/Prosjektering og bygging/Tunneler.* Jernbaneverket.
JERNBANEVERKET. 2012b. *Underbygging/Prosjektering og bygging/Tunneler* [Online]. Jernbaneverket. Available: https://trv.jbv.no/wiki/Hovedside [Accessed 29.02.2012].
JERNBANEVERKET 2012c. Underbygning/prosjektering og bygging/tunneler. *Teknisk regelverk.*
KUNNSKAPSFORLAGETS PAPIRLEKSIKON. 2009. *Fullprofilmaskin* [Online]. Available: www.snl.no/fullprofilmaskin [Accessed 10.05.2012].
LØSET, F. 2006. *Norges Tunnelgeologi*, Norges Geotekniske Institutt.
NORCONSULT 2011a. Modernisering av Vestfoldbanen. Tunnel Holm-Nykirke.
NORCONSULT 2011b. Rapport fra evalueringsprosess vann- og frostsikring av tunnel 17. nvember 2011.
NORDAHL, R. H. R. S. 2009. *Tunnel* [Online]. Available: http://snl.no/tunnel [Accessed 07.03 2012].
NORDISK VEGTEKNISK FORBUND. 2008a. *Kledninger i tunnel* [Online]. Nordisk Vegtekniske Forbund. Available: http://www.nvfnorden.org/lisalib/getfile.aspx?itemid=3856 [Accessed 26.04.12 2012].
NORDISK VEGTEKNISK FORBUND 2008b. Kledninger i tunnel.
SAMFERDSELSDEPARTEMENTET. 1999. *Gardermoprosjektet, Generelt om vannlekkasjer i tunneler, måling av vannlekkasjer, ansvarsfordeling mellom byggherre og entreprenør* [Online]. www.regjeringen.no. Available: http://www.regjeringen.no/mobil/nb/dep/sd/dok/nouer/1999/nou-1999-28/24/10/2.html?id=355627 [Accessed 19.03.2012 2012].
SIGMOND, E. M. O. 1986. *Berggrunnen i Norge*, Tapir Forlag.
SKYTECHNOLOGY. *RAMS analysis* [Online]. Skytechnology. Available: http://www.skytechnology.it/flyer/flyer_RAMS.pdf [Accessed 21.03.12 2012].
SPENNCON. 2012. *Betongfasthet - klasser, krav, utvikling* [Online]. Available: http://www.consolis.com/Spenncon/?node=1.0.2.2 [Accessed 18.04.2012 2012].
STATENS VEGVESEN 2004. Typegodkjente metoder for vann og frostsikring av vegtunneler og retningslinjer for brannsikring av PE-skum. *NA-rundskriv 04/20.* Statens Vegvesen.

STATENS VEGVESEN. 2006. *Vann- og frostsikring i tunneler, Håndbok 163* [Online]. Vegdirektoratet. Available: http://www.vegvesen.no/_attachment/61460/binary/14167 [Accessed 16.02.2012].

STATENS VEGVESEN 2007. FoU Tunnelutvikling, Sluttrapport fase 1: Brann- og frostsikring. *Teknologirapport*.

STATENS VEGVESEN. 2010. *Vegtunneler, håndbok 021* [Online]. Statens Vegvesen, Vegdirektoratet. Available: http://www.vegvesen.no/_attachment/61913/binary/249783 [Accessed 16.02.2012].

STATENS VEGVESEN 2011a. Håndbok 018 - Vegbygging.

STATENS VEGVESEN. 2011b. *Vegbygging, Håndbok 018* [Online]. Veidirektoratet. Available: http://www.vegvesen.no/s/pdf/hb/018/#/1/ [Accessed 19.03.12].

TUNMO, T. 2011. Gjennom togstasjonen i 250 km/t. *Teknisk Ukeblad*, 18. Mars.

VALMOT, O. R. 2006. *Fjell ingen hindring - bygger i berge* [Online]. Available: http://www.tu.no/innsikt/bygg/article62465.ece [Accessed 27.02 2012].

VEGDIREKTORATET. 2001. *Samfunnstjenelige vegtunneler* [Online]. Statens Vegvesen. Available: http://www.vegvesen.no/_attachment/61908/binary/15130 [Accessed 24.04.12 2012].

VEGDIREKTORATET. 2003. *Standard for drift og vedlikehold, Håndbok 111* [Online]. Statens Vegvesen. Available: http://www.vegvesen.no/_attachment/61430/binary/14137 [Accessed 22.02.12 2012].

WIKIPEDIA. 2012a. *Drilling and blasting* [Online]. Wikipedia. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Drilling_and_blasting [Accessed 19.05.2012 2012].

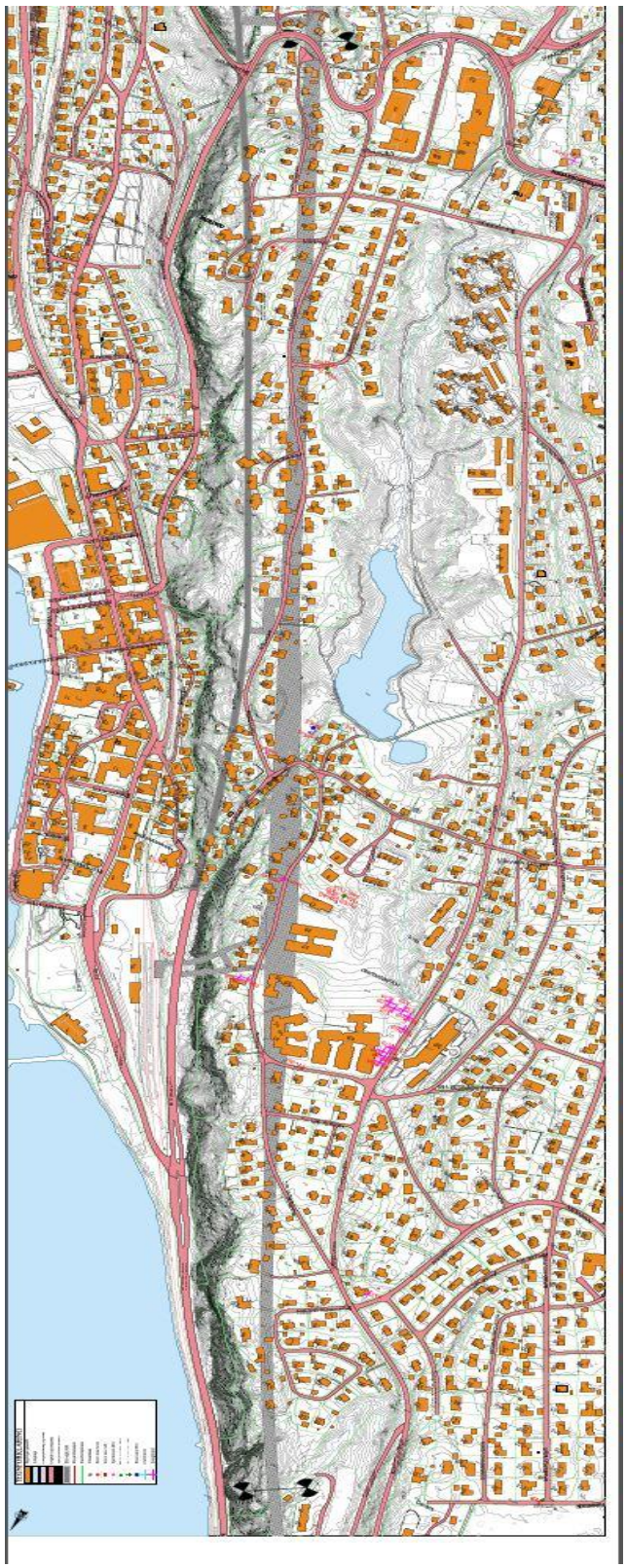
WIKIPEDIA. 2012b. *Membran* [Online]. wikipedia. Available: http://no.wikipedia.org/wiki/Membran [Accessed 16.02.2012 2012].

WIKIPEDIA 2012c. PE-skum.

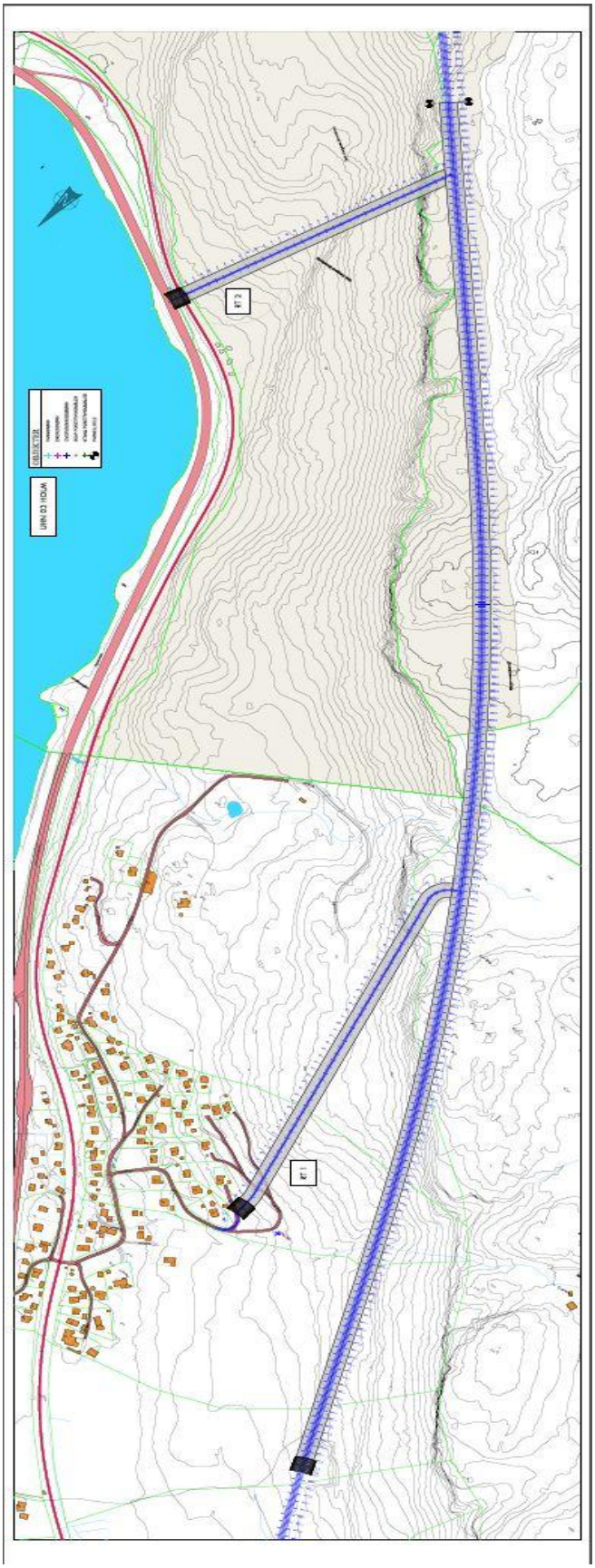
10 VEDLEGG

Vedlegg 1, Oversiktskart

Holmestrand Stasjon



Starten av Grettebergtunnelen med to tverrslag



Vedlegg 2, Frostmengdetabell.

Frostmengdetabell; Frostmengden er beskrevet med F_x hvor x står for lengden på en periode hvor frostmengden overskrides statistisk sett en gang i løpet av perioden. F_{100} betyr for eksempel at frostmengden overskrides en gang i løpet av en 100-års periode.

KOMMUNE	TEMP. t_m °C	FROSTMENGDE F_2 h°C	F_5 h°C	F_{10} h°C	F_{100} h°C
01 ØSTFOLD					
0101 Halden	6,0	7 000	13 000	18 000	22 000
0102 Sarpsborg	6,0	7 000	13 000	18 000	22 000
0103 Fredrikstad	6,5	5 000	11 000	16 000	20 000
0104 Moss	6,0	6 000	12 000	17 000	21 000
0111 Hvaler	7,0	3 000	7 000	11 000	15 000
0113 Borge	6,5	5 000	11 000	16 000	20 000
0114 Varteig	6,0	7 000	13 000	18 000	22 000
0115 Skjeberg	6,0	7 000	13 000	18 000	22 000
0118 Aremark	5,0	10 000	16 000	21 000	25 000
0119 Marker	5,0	12 000	18 000	23 000	28 000
0121 Rømskog	4,5	14 000	20 000	25 000	30 000
0122 Trøgstad	5,0	10 000	16 000	21 000	26 000
0123 Spydeberg	5,0	10 000	16 000	21 000	26 000
0124 Askim	5,5	10 000	16 000	21 000	26 000
0125 Eidsberg	5,5	10 000	16 000	21 000	26 000
0127 Skiptvet	5,5	10 000	16 000	21 000	26 000
0128 Rakkestad	5,5	10 000	16 000	21 000	26 000
0130 Tune	6,0	7 000	13 000	18 000	22 000
0131 Rolvsøy	6,0	8 000	14 000	19 000	23 000
0133 Kråkerøy	7,0	4 000	9 000	13 000	18 000
0134 Onsøy	6,5	5 000	7 000	16 000	20 000
0135 Råde	6,0	6 000	12 000	17 000	21 000
0136 Rygge	6,0	5 000	11 000	16 000	20 000
0137 Våler	6,0	7 000	14 000	20 000	24 000
0138 Hobøl	5,5	8 000	15 000	21 000	25 000
02 AKERSHUS					
0211 Vestby	5,5	7 000	14 000	20 000	24 000
0213 Ski	5,5	8 000	15 000	21 000	25 000
0214 Ås	5,5	8 000	15 000	21 000	25 000
0215 Frogn	5,5	8 000	15 000	21 000	25 000
0216 Nesodden	5,5	8 000	15 000	21 000	25 000
0217 Oppegård	5,5	8 000	15 000	21 000	25 000
0219 Bærum	6,0	11 000	15 000	18 000	26 000
0220 Asker	5,5	11 000	15 000	18 000	26 000
0221 Aurskog-Høland	4,5	12 000	18 000	24 000	29 000
0226 Sørum	4,5	12 000	18 000	25 000	29 000
0227 Fet	5,0	11 000	18 000	24 000	28 000
0228 Rælingen	5,0	11 000	18 000	24 000	28 000
0229 Enebakk	5,0	11 000	18 000	24 000	28 000
0230 Lørenskog	5,0	11 000	18 000	24 000	28 000
0231 Skedsmo	4,5	12 000	19 000	25 000	29 000
0233 Nittedal	7,0	14 000	21 000	27 000	31 000
0234 Gjerdrum	4,0	15 000	22 000	28 000	32 000
0235 Ullensaker	4,5	15 000	22 000	28 000	32 000
0236 Nes	4,0	15 000	22 000	31 000	36 000
0237 Eidsvoll	4,0	17 000	23 000	30 000	35 000
0238 Nannestad	4,0	16 000	22 000	29 000	34 000
0239 Hurdal	4,0	16 000	22 000	29 000	34 000
OSLO					
0301 Byområdet	6,0	10 000	14 000	17 000	25 000
Boligområder	5,0	12 000	16 000	19 000	27 000
Marka	4,0	14 000	18 000	23 000	29 000
04 HEDMARK					
0401 Hamar	4,0	18 000	25 000	32 000	39 000
0402 Kongsvinger	4,0	18 000	25 000	34 000	39 000
0412 Ringsaker	4,0	20 000	27 000	33 000	41 000
0414 Vang	3,0	20 000	27 000	33 000	41 000
0415 Løten	3,5	20 000	27 000	34 000	41 000
0417 Stange	4,0	18 000	25 000	32 000	39 000
0418 Nord-Odal	4,0	18 000	25 000	34 000	39 000
0419 Sør-Odal	4,0	18 000	25 000	34 000	39 000
0420 Eidskog	4,0	15 000	22 000	31 000	36 000
0423 Grue	3,5	20 000	27 000	36 000	41 000
0425 Åsnes	3,5	21 000	28 000	37 000	42 000
0426 Våler	3,5	21 000	28 000	37 000	42 000
0427 Elverum	3,0	23 000	30 000	39 000	44 000
0428 Trysil	2,0	27 000	34 000	43 000	48 000
0429 Åmot	2,5	26 000	32 000	42 000	47 000
0430 Stor-Elvdal	2,0	26 000	32 000	43 000	49 000
0432 Rendalen	2,5	25 000	30 000	42 000	48 000
0434 Engerdal	1,0	29 000	34 000	46 000	52 000
0436 Tolga	0,5	31 000	36 000	48 000	54 000
0437 Tynset	0,5	32 000	37 000	49 000	55 000
0438 Alvdal	1,0	28 000	33 000	45 000	51 000
0439 Folldal	0,5	30 000	36 000	45 000	53 000
0441 Os	0,5	31 000	36 000	48 000	54 000
05 OPPLAND					
0501 Lillehammer	4,0	23 000	30 000	36 000	44 000
0502 Gjøvik	4,0	18 000	25 000	30 000	36 000
0511 Dovre	1,5	30 000	37 000	42 000	53 000
0512 Lesja	1,5	25 000	32 000	37 000	48 000
0513 Skjåk	1,0	24 000	31 000	36 000	42 000
0514 Lom	1,5	24 000	31 000	36 000	42 000
0515 Vågå	2,0	25 000	34 000	39 000	44 000
0516 Nord-Fron	2,5	26 000	34 000	40 000	44 000
0517 Sel	2,0	26 000	34 000	40 000	44 000
0519 Sør-Fron	2,5	26 000	34 000	40 000	44 000
0520 Ringebu	3,0	24 000	32 000	38 000	42 000
0521 Øyer	3,5	23 000	30 000	36 000	41 000
0522 Gausdal	2,0	26 000	34 000	40 000	44 000
0528 Østre Toten	4,0	18 000	24 000	30 000	36 000
0529 Vestre Toten	3,5	20 000	26 000	32 000	38 000
0532 Jevnaker	4,0	15 000	22 000	28 000	33 000
0533 Lunner	3,0	16 000	23 000	29 000	34 000

KOMMUNE	TEMP. t_m °C	FROSTMENGDE F_2 h°C	F_5 h°C	F_{10} h°C	F_{100} h°C
0534 Gran	3,0	17 000	23 000	30 000	35 000
0536 Søndre Land	3,0	19 000	25 000	31 000	37 000
0538 Nordre Land	2,5	22 000	28 000	34 000	40 000
0540 Sør-Aurdal	2,5	20 000	28 000	34 000	39 000
0541 Etnedal	1,0	26 000	34 000	40 000	45 000
0542 Nord-Aurdal	1,5	25 000	33 000	39 000	44 000
0543 Vestre Slidre	2,0	25 000	33 000	39 000	44 000
0544 Øystre Slidre	2,0	25 000	33 000	39 000	44 000
0545 Vang	2,5	25 000	33 000	39 000	44 000
06 BUSKERUD					
0602 Drammen	5,5	13 000	20 000	25 000	29 000
0604 Kongsberg	4,5	15 000	23 000	28 000	31 000
0605 Ringerike	4,5	16 000	23 000	29 000	34 000
0612 Hole	4,5	16 000	23 000	29 000	34 000
0615 Flå	2,0	21 000	30 000	36 000	41 000
0616 Nes	2,0	26 000	35 000	41 000	46 000
0617 Gol	1,5	25 000	34 000	40 000	45 000
0618 Hemsedal	1,5	20 000	29 000	34 000	42 000
0619 Ål	2,0	20 000	27 000	33 000	42 000
0620 Hol	1,0	25 000	32 000	38 000	47 000
0621 Sigdal	3,0	18 000	27 000	33 000	38 000
0622 Krødsherad	3,5	17 000	25 000	31 000	35 000
0623 Modum	5,0	16 000	23 000	28 000	31 000
0624 Øvre Eiker	4,5	15 000	22 000	28 000	31 000
0625 Nedre Eiker	5,0	14 000	21 000	27 000	30 000
0626 Lier	5,5	13 000	19 000	23 000	29 000
0627 Røyken	5,5	10 000	16 000	20 000	26 000
0628 Hurum	6,0	8 000	14 000	18 000	24 000
0631 Flesberg	3,5	20 000	27 000	32 000	36 000
0632 Rollag	3,0	20 000	27 000	32 000	36 000
0633 Nore og Uvdal	1,5	24 000	32 000	38 000	44 000
07 VESTFOLD					
0701 Borre	6,5	5 000	10 000	15 000	20 000
0702 Holmestrand	6,0	7 000	13 000	18 000	22 000
0705 Tønsberg	6,5	4 000	9 000	14 000	19 000
0706 Sandefjord	6,5	4 000	10 000	15 000	19 000
0709 Larvik	6,5	4 000	9 000	14 000	17 000
0711 Svelvik	6,0	10 000	17 000	22 000	26 000
0713 Sande	6,0	9 000	16 000	21 000	25 000
0714 Hof	6,0	10 000	17 000	22 000	26 000
0716 Våle	6,0	6 000	12 000	18 000	22 000
0718 Ramnes	5,5	7 000	14 000	19 000	23 000
0719 Andebu	5,5	7 000	13 000	19 000	23 000
0720 Stokke	6,0	5 000	11 000	16 000	20 000
0722 Nøtterøy	6,5	4 000	9 000	14 000	19 000
0723 Tjøme	7,0	3 000	7 000	11 000	15 000
0728 Lardal	5,5	7 000	14 000	19 000	23 000
08 TELEMARK					
0805 Porsgrunn	6,0	10 000	15 000	18 000	22 000
0806 Skien	5,0	11 000	16 000	21 000	25 000
0807 Notodden	3,5	13 000	19 000	27 000	29 000
0811 Siljan	3,5	10 000	16 000	21 000	25 000
0814 Bamble	6,0	6 000	10 000	13 000	17 000
0815 Kragerø	6,0	4 000	8 000	11 000	15 000
0817 Drangedal	5,5	10 000	16 000	20 000	25 000
0819 Nome	5,0	11 000	16 000	22 000	25 000
0821 Bø	4,0	12 000	17 000	23 000	26 000
0822 Sauherad	4,5	13 000	18 000	25 000	27 000
0826 Tinn	2,0	25 000	31 000	37 000	41 000
0827 Hjartdal	2,5	15 000	21 000	27 000	31 000
0828 Seljord	3,5	13 000	18 000	24 000	27 000
0829 Kviteseid	5,0	12 000	17 000	21 000	25 000
0830 Nissedal	5,5	10 000	15 000	20 000	25 000
0831 Fyresdal	5,0	10 000	14 000	19 000	23 000
0833 Tokke	5,0	11 000	16 000	20 000	24 000
0834 Vinje	2,0	20 000	26 000	32 000	36 000
09 AUST-AGDER					
0901 Risør	6,5	2 000	6 000	9 000	13 000
0903 Arendal	7,0	1 000	5 000	8 000	12 000
0904 Grimstad	7,0	1 000	5 000	8 000	12 000
0911 Gjerstad	6,0	5 000	10 000	14 000	19 000
0912 Vegårshei	6,0	5 000	9 000	12 000	16 000
0914 Tvedestrand	6,5	2 000	6 000	9 000	13 000
0918 Moland	7,0	1 000	5 000	8 000	12 000
0919 Froland	6,0	5 000	9 000	13 000	16 000
0920 Øyestad	7,0	1 000	5 000	8 000	12 000
0921 Tromøy	7,0	1 000	5 000	8 000	12 000
0922 Hisøy	7,0	1 000	5 000	8 000	12 000
0926 Lillesand	7,0	1 000	5 000	9 000	12 000
0928 Birkenes	6,0	5 000	9 000	13 000	16 000
0929 Åmli	5,0	7 000	11 000	14 000	18 000
0935 Iveland	6,0	5 000	9 000	13 000	16 000
0937 Evje og Hornnes	6,0	5 000	9 000	13 000	16 000
0938 Bygland	5,0	7 000	10 000	14 000	18 000
0940 Valle	4,0	9 000	13 000	17 000	21 000
0941 Bykle	4,0	10 000	15 000	19 000	23 000
10 VEST-AGDER					
1001 Kristiansand	7,0	2 000	7 000	10 000	13 000
1002 Mandal	7,0	1 000	5 000	9 000	12 000
1003 Farsund	7,5	1 000	5 000	9 000	12 000
1004 Flekkefjord	7,5	1 000	5 000	9 000	12 000
1014 Vennesla	6,0	6 000	10 000	14 000	17 000

KOMMUNE	TEMP. t_m °C	FROSTMENGDE F_2 h°C	F_5 h°C	F_{10} h°C	F_{100} h°C
1017 Songdalen	6,0	5 000	9 000	13 000	16 000
1018 Søgne	7,0	1 000	6 000	9 000	12 000
1021 Marnardal	6,5	4 000	9 000	12 000	15 000
1026 Åseral	5,0	6 000	10 000	14 000	17 000
1027 Audnedal	5,0	5 000	10 000	13 000	16 000
1029 Lindesnes	7,0	1 000	6 000	9 000	12 000
1032 Lyngdal	6,5	1 000	6 000	9 000	12 000
1034 Hægebostad	5,5	4 000	9 000	12 000	15 000
1037 Kvinesdal	5,5	4 000	9 000	12 000	15 000
1046 Sirdal	4,5	4 000	9 000	12 000	15 000
11 ROGALAND					
1101 Eigersund	7,5	0	3 000	6 000	11 000
1102 Sandnes	7,5	0	2 000	3 000	7 000
1103 Stavanger	7,5	0	2 000	3 000	7 000
1106 Haugesund	7,5	0	1 000	3 000	6 000
1111 Sokndal	7,0	0	3 000	6 000	11 000
1112 Lund	6,5	1 000	5 000	8 000	12 000
1114 Bjerkreim	6,5	1 000	5 000	8 000	12 000
1119 Hå	7,5	0	1 000	3 000	7 000
1120 Klepp	7,0	0	1 000	3 000	7 000
1121 Time	7,0	0	2 000	3 000	7 000
1122 Gjesdal	6,0	1 000	4 000	7 000	12 000
1124 Sola	7,5	0	1 000	3 000	7 000
1127 Randaberg	7,5	0	2 000	3 000	7 000
1129 Forsand	7,0	1 000	5 000	7 000	12 000
1130 Strand	7,5	0	2 000	3 000	7 000
1133 Hjelmeland	6,5	1 000	4 000	7 000	12 000
1134 Suldal	5,0	5 000	9 000	12 000	16 000
1135 Sauda	6,0	4 000	8 000	11 000	15 000
1141 Finnøy	7,5	0	1 000	3 000	7 000
1142 Rennesøy	7,5	0	1 000	3 000	6 000
1144 Kvitsøy	7,5	0	1 000	2 000	6 000
1145 Bokn	7,5	0	1 000	3 000	6 000
1146 Tysvær	7,5	0	2 000	4 000	7 000
1149 Karmøy	7,5	0	1 000	3 000	6 000
1151 Utsira	7,5	0	0	1 000	2 000
1154 Vindafjord	7,5	0	2 000	3 000	7 000
12 HORDALAND					
1201 Bergen	7,5	0	2 000	3 000	5 000
1211 Etne	6,0	2 000	5 000	8 000	13 000
1214 Ølen	7,0	0	2 000	4 000	7 000
1216 Sveio	7,5	0	2 000	4 000	7 000
1219 Bømlo	7,5	0	1 000	2 000	5 000
1221 Stord	7,5	0	1 000	2 000	5 000
1222 Fitjar	7,5	0	1 000	2 000	5 000
1223 Tysnes	7,5	0	1 000	2 000	5 000
1224 Kvinnherad	6,5	1 000	3 000	6 000	11 000
1227 Jondal	6,0	1 000	3 000	5 000	11 000
1228 Odda	5,5	5 000	8 000	11 000	16 000
1231 Ullensvang	5,0	6 000	8 000	11 000	17 000
1232 Eidfjord	5,0	6 000	8 000	11 000	17 000
1233 Ulvik	5,0	9 000	11 000	14 000	20 000
1234 Granvin	5,0	8 000	10 000	13 000	19 000
1235 Voss	4,5	10 000	14 000	18 000	24 000
1238 Kvam	6,0	1 000	3 000	5 000	11 000
1241 Fusa	6,0	1 000	2 000	4 000	8 000
1242 Samnanger	5,5	5 000	7 000	10 000	15 000
1243 Os	6,5	1 000	2 000	5 000	8 000
1244 Austevoll	7,0	0	1 000	2 000	5 000
1245 Sund	7,0	0	1 000	2 000	5 000
1246 Fjell	7,0	0	1 000	2 000	5 000
1247 Askøy	7,0	0	1 000	2 000	5 000
1251 Vaksdal	4,5	8 000	12 000	16 000	22 000
1252 Modalen	5,0	5 000	8 000	13 000	19 000
1253 Osterøy	7,0	2 000	4 000	6 000	9 000
1256 Meland	7,0	0	1 000	2 000	5 000
1259 Øygarden	7,5	0	1 000	2 000	5 000
1260 Radøy	7,0	0	1 000	2 000	5 000
1263 Lindås	6,5	1 000	3 000	5 000	7 000
1264 Austrheim	7,0	0	1 000	2 000	5 000
1265 Fedje	7,5	0	1 000	2 000	5 000
1266 Masfjorden	6,0	1 000	2 000	4 000	7 000
14 SOGN OG FJORDANE					
1401 Flora	7,0	0	1 000	3 000	5 000
1411 Gulen	7,0	0	1 000	3 000	5 000
1412 Solund	7,0	0	1 000	3 000	5 000
1413 Hyllestad	7,0	0	1 000	3 000	5 000
1416 Høyanger	7,0	0	2 000	3 000	5 000
1417 Vik	6,5	1 000	3 000	4 000	6 000
1418 Balestrand	6,0	3 000	6 000	9 000	12 000
1419 Leikanger	6,5	1 000	4 000	7 000	10 000
1420 Sogndal	6,0	4 000	7 000	10 000	13 000
1421 Aurland	6,0	8 000	11 000	14 000	18 000
1422 Lærdal	6,0	5 000	9 000	11 000	15 000
1424 Årdal	4,5	8 000	12 000	14 000	18 000
1426 Luster	4,0	10 000	14 000	16 000	19 000
1428 Askvoll	7,0	0	1 000	3 000	5 000
1429 Fjaler	7,0	0	1 000	3 000	9 000
1430 Gaular	5,5	4 000	7 000	10 000	13 000
1431 Jølster	4,0	5 000	8 000	11 000	14 000
1432 Førde	5,5	4 000	7 000	10 000	13 000
1433 Naustdal	5,5	4 000	7 000	10 000	13 000
1438 Bremanger	7,0	0	1 000	3 000	5 000
1439 Vågsøy	7,0	0	1 000	3 000	5 000
1441 Selje	7,0	0	1 000	3 000	5 000
1443 Eid	6,0	3 000	4 000	6 000	8 000
1444 Hornindal	5,5	4 000	6 000	9 000	13 000
1445 Gloppen	6,0	2 000	3 000	5 000	9 000
1449 Stryn	5,5	4 000	6 000	9 000	13 000

KOMMUNE	TEMP. t_m °C	FROSTMENGDE F_2 h°C	F_5 h°C	F_{10} h°C	F_{100} h°C
15 MØRE OG ROMSDAL					
1502 Molde	6,0	0	2 000	3 000	5 000
1503 Kristiansund	7,0	0	1 000	2 000	5 000
1504 Ålesund	7,0	0	1 000	2 000	5 000
1511 Vanylven	6,0	0	1 000	3 000	5 000
1514 Sande	7,0	0	1 000	2 000	5 000
1515 Herøy	7,0	0	1 000	2 000	5 000
1516 Ulstein	7,0	0	1 000	2 000	5 000
1517 Hareid	7,0	0	1 000	2 000	5 000
1519 Volda	6,0	1 000	3 000	5 000	8 000
1520 Ørsta	6,0	1 000	3 000	5 000	8 000
1523 Ørskog	6,0	1 000	3 000	5 000	8 000
1524 Norddal	6,0	2 000	3 000	5 000	9 000
1525 Stranda	6,0	2 000	4 000	6 000	9 000
1526 Stordal	6,0	1 000	3 000	5 000	8 000
1528 Sykkylven	6,0	1 000	3 000	5 000	8 000
1529 Skodje	7,0	0	1 000	2 000	5 000
1531 Sula	7,0	0	1 000	2 000	5 000
1532 Giske	7,0	0	1 000	2 000	5 000
1534 Haram	7,0	0	1 000	2 000	5 000
1535 Vestnes	6,0	1 000	3 000	6 000	8 000
1539 Rauma	6,0	3 000	5 000	8 000	10 000
1543 Nesset	6,0	3 000	5 000	8 000	10 000
1545 Midsund	6,5	1 000	2 000	3 000	6 000
1546 Sandøy	7,0	0	1 000	2 000	5 000
1547 Aukra	7,0	0	1 000	2 000	5 000
1548 Fræna	6,5	1 000	3 000	4 000	6 000
1551 Eide	6,5	1 000	2 000	3 000	6 000
1554 Averøy	6,5	1 000	2 000	3 000	6 000
1556 Frei	6,5	1 000	2 000	3 000	6 000
1557 Gjemnes	6,0	1 000	3 000	5 000	8 000
1560 Tingvoll	6,0	1 000	3 000	5 000	8 000
1563 Sunndal	5,5	4 000	7 000	11 000	14 000
1566 Surnadal	5,0	5 000	8 000	12 000	15 000
1567 Rindal	4,5	7 000	12 000	15 000	18 000
1569 Aure	5,5	1 000	3 000	6 000	8 000
1571 Halsa	5,5	1 000	3 000	6 000	8 000
1572 Tustna	5,5	1 000	3 000	4 000	6 000
1573 Smøla	5,5	0	1 000	2 000	5 000
16 SØR-TRØNDELAG					
1601 Trondheim	5,0	7 000	12 000	14 000	16 000
1612 Hemne	5,5	5 000	7 000	10 000	12 000
1613 Snillfjord	5,5	4 000	6 000	9 000	11 000
1617 Hitra	6,0	1 000	2 000	3 000	6 000
1620 Frøya	6,0	1 000	2 000	3 000	6 000
1621 Ørland	5,5	2 000	4 000	5 000	7 000
1622 Agdenes	5,5	2 000	4 000	5 000	7 000
1624 Rissa	5,5	4 000	7 000	9 000	11 000
1627 Bjugn	6,0	2 000	4 000	7 000	9 000
1630 Åfjord	5,5	2 000	4 000	7 000	9 000
1632 Roan	5,5	2 000	5 000	7 000	9 000
1633 Osen	5,5	2 000	5 000	7 000	9 000
1634 Oppdal	2,0	15 000	20 000	23 000	26 000
1635 Rennebu	2,5	14 000	20 000	23 000	25 000
1636 Meldal	4,0	10 000	16 000	19 000	21 000
1638 Orkdal	5,0	6 000	11 000	13 000	15 000
1640 Røros	0,5	30 000	38 000	45 000	55 000
1644 Holtålen	1,5	14 000	21 000	23 000	27 000
1648 Midtre Gauldal	4,0	11 000	17 000	20 000	22 000
1653 Melhus	4,5	7 000	12 000	16 000	18 000
1657 Skaun	5,0	6 000	11 000	15 000	17 000
1662 Klæbu	4,5	7 000	12 000	16 000	18 000
1663 Malvik	5,0	6 000	11 000	13 000	15 000
1664 Selbu	4,0	10 000	15 000	19 000	21 000
1665 Tydal	2,0	14 000	19 000	23 000	27 000
17 NORD-TRØNDELAG					
1702 Steinkjer	5,0	8 000	12 000	15 000	19 000
1703 Namsos	5,0	6 000	9 000	12 000	15 000
1711 Meråker	3,0	10 000	15 000	20 000	23 000
1714 Stjørdal	5,0	6 000	10 000	13 000	17 000
1717 Frosta	5,5	6 000	9 000	12 000	15 000
1718 Leksvik	5,5	6 000	9 000	12 000	15 000
1719 Levanger	5,0	6 000	10 000	13 000	17 000
1721 Verdal	5,0	6 000	10 000	13 000	17 000
1723 Mosvik	5,5	6 000	9 000	12 000	15 000
1724 Verran	5,0	7 000	11 000	14 000	18 000
1725 Namdalseid	5,0	7 000	11 000	14 000	18 000
1729 Inderøy	5,0	6 000	9 000	12 000	15 000
1736 Snåsa	4,0	13 000	19 000	23 000	27 000
1738 Lierne	1,0	28 000	29 000	36 000	41 000
1739 Røyrvik	1,5	25 000	29 000	36 000	41 000
1740 Namsskogan	3,0	14 000	19 000	24 000	28 000
1742 Grong	4,0	12 000	17 000	22 000	26 000
1743 Høylandet	3,5	10 000	15 000	20 000	24 000
1744 Overhalla	4,5	10 000	15 000	20 000	24 000
1748 Fosnes	5,0	5 000	8 000	11 000	16 000
1749 Flatanger	5,5	2 000	5 000	8 000	11 000
1750 Vikna	5,5	1 000	3 000	6 000	10 000
1751 Nærøy	5,5	2 000	5 000	8 000	13 000
1755 Leka	5,5	1 000	3 000	6 000	10 000
18 NORDLAND					
1804 Bodø	4,5	6 000	9 000	12 000	17 000
1805 Narvik	3,5	11 000	13 000	17 000	25 000
1811 Bindal	4,5	5 000	8 000	12 000	18 000
1812 Sømna	5,0	3 000	5 000	8 000	12 000
1813 Brønnøy	5,0	3 000	5 000	8 000	12 000
1815 Vega	5,5	2 000	4 000	7 000	11 000
1816 Vevelstad	5,5	1 000	4 000	7 000	13 000

KOMMUNE	TEMP. t_m °C	FROSTMENGDE F_2 h°C	F_5 h°C	F_{10} h°C	F_{100} h°C
1818 Herøy	5,5	2 000	4 000	7 000	11 000
1820 Alstahaug	5,5	1 000	4 000	7 000	13 000
1822 Leirfjord	5,0	3 000	6 000	9 000	15 000
1824 Vefsn	3,5	13 000	16 000	21 000	27 000
1825 Grane	2,5	18 000	23 000	28 000	32 000
1826 Hattfjelldal	1,5	26 000	32 000	37 000	42 000
1827 Dønna	5,5	2 000	4 000	7 000	11 000
1828 Nesna	5,5	2 000	4 000	7 000	11 000
1832 Hemnes	3,0	18 000	23 000	29 000	37 000
1833 Rana	3,0	16 000	18 000	25 000	35 000
1834 Lurøy	5,5	2 000	4 000	8 000	13 000
1835 Træna	6,0	0	1 000	2 000	6 000
1836 Rødøy	5,0	3 000	5 000	10 000	15 000
1837 Meløy	5,0	3 000	5 000	10 000	15 000
1838 Gildeskål	5,0	2 000	4 000	9 000	14 000
1839 Beiarn	3,5	10 000	13 000	18 000	24 000
1840 Saltdal	2,0	18 000	22 000	28 000	37 000
1841 Fauske	3,5	14 000	17 000	22 000	28 000
1842 Skjerstad	4,0	10 000	13 000	18 000	24 000
1845 Sørfold	4,0	10 000	13 000	18 000	24 000
1848 Steigen	4,5	4 000	6 000	10 000	15 000
1849 Hamarøy	4,0	7 000	9 000	13 000	18 000
1850 Tysfjord	3,5	10 000	13 000	18 000	24 000
1851 Lødingen	4,0	7 000	10 000	13 000	18 000
1852 Tjeldsund	4,0	8 000	11 000	14 000	19 000
1853 Evenes	3,5	9 000	11 000	15 000	21 000
1854 Ballangen	3,5	10 000	13 000	17 000	24 000
1856 Røst	5,5	0	1 000	2 000	6 000
1857 Værøy	5,5	0	1 000	2 000	6 000
1859 Flakstad	5,0	1 000	3 000	5 000	12 000
1860 Vestvågøy	5,0	3 000	5 000	8 000	14 000
1865 Vågan	5,0	3 000	5 000	8 000	14 000
1866 Hadsel	4,5	4 000	6 000	9 000	15 000
1867 Bø	4,5	3 000	4 000	7 000	14 000
1868 Øksnes	4,5	3 000	4 000	7 000	15 000
1870 Sortland	4,5	4 000	6 000	9 000	16 000
1871 Andøy	4,0	4 000	5 000	8 000	16 000
1874 Moskenes	5,0	1 000	3 000	5 000	12 000
19 TROMS					
1901 Harstad	4,5	5 000	7 000	10 000	16 000
1902 Tromsø	3,5	10 000	13 000	16 000	21 000
1911 Kvæfjord	4,5	7 000	9 000	12 000	18 000
1913 Skånland	4,0	8 000	10 000	13 000	19 000
1915 Bjarkøy	4,5	6 000	8 000	10 000	16 000
1917 Ibestad	4,5	7 000	9 000	12 000	18 000
1919 Gratangen	3,5	11 000	14 000	18 000	25 000
1920 Lavangen	3,5	12 000	15 000	19 000	26 000
1922 Bardu	2,0	27 000	29 000	36 000	47 000
1923 Salangen	3,5	12 000	15 000	19 000	26 000
1924 Målselv	2,0	27 000	29 000	36 000	47 000
1925 Sørreisa	3,0	12 000	16 000	19 000	26 000
1926 Dyrøy	3,5	11 000	15 000	18 000	25 000
1927 Tranøy	3,5	10 000	14 000	17 000	24 000
1928 Torsken	3,5	8 000	11 000	14 000	20 000
1929 Berg	3,5	10 000	13 000	16 000	21 000
1931 Lenvik	3,5	11 000	15 000	18 000	25 000
1933 Balsfjord	3,0	15 000	18 000	22 000	29 000
1936 Karlsøy	4,0	8 000	11 000	15 000	19 000
1938 Lyngen	3,0	17 000	21 000	25 000	31 000
1939 Storfjord	2,0	23 000	26 000	30 000	42 000
1940 Kåfjord	2,0	23 000	26 000	30 000	42 000
1941 Skjervøy	3,5	10 000	14 000	19 000	24 000
1942 Nordreisa	2,0	23 000	26 000	30 000	42 000
1943 Kvænangen	2,0	25 000	28 000	32 000	44 000
20 FINNMARK					
2001 Hammerfest	2,0	15 000	18 000	21 000	32 000
2002 Vardø	1,0	17 000	23 000	26 000	33 000
2003 Vadsø	1,0	18 000	25 000	29 000	37 000
2011 Kautokeino	-2,0	51 000	56 000	65 000	76 000
2012 Alta	1,5	25 000	28 000	32 000	44 000
2014 Loppa	2,5	10 000	13 000	16 000	27 000
2015 Hasvik	3,0	8 000	11 000	14 000	25 000
2016 Sørøysund	3,0	9 000	12 000	15 000	26 000
2017 Kvalsund	2,0	18 000	21 000	26 000	37 000
2018 Måsøy	2,0	13 000	16 000	20 000	30 000
2019 Nordkapp	2,5	12 000	15 000	19 000	29 000
2020 Porsanger	1,5	30 000	33 000	37 000	49 000
2021 Karasjok	-1,5	52 000	57 000	69 000	78 000
2022 Lebesby	1,5	25 000	28 000	33 000	44 000
2023 Gamvik	1,5	17 000	20 000	24 000	34 000
2024 Berlevåg	1,5	18 000	24 000	28 000	35 000
2025 Tana	0,5	30 000	33 000	38 000	49 000
2027 Nesseby	1,0	30 000	35 000	40 000	49 000
2028 Båtsfjord	1,0	18 000	25 000	28 000	36 000
2030 Sør-Varanger	0,5	31 000	35 000	43 000	50 000

Vedlegg 3: Mailgang med NGI og SINTEF.

Gmail by Google

Steffen Bjugstad <bjugstad@gmail.com>

Bacheloroppgave om vann- og frostsikring i tunnel.

7 messages

Steffen Bjugstad <bjugstad@gmail.com> Tue, Apr 10, 2012 at 11:28 AM
To: guro.groneng@ngi.no
Cc: Lars Marius Holestøl <lholestol@hotmail.com>, Ole Kristian Fløystad <olekfloystad@gmail.com>

Hei!

Vi er 3 studenter ved høgskolen i Gjøvik som jobber med vår bacheloroppgave denne våren. Oppgaven omhandler vann- og frostikring i tunnel og anbefaling av metode.

I en evalueringsrapport for tunnelen i holmestrand så vi at du var med i en evalueringssamling og da har god innsikt i dette prosjektet som og vår oppgave skal fokusere på.

Det er nevnt en del kriteriern i norconsult sin rapport datert 17 nov 2011, dokumentnummer uvb-53-a10120. Er de kriteriene som er oppgitt standard eller kun bestemt for dette prosjektet? I den forbindelse lurte vi og på om du/dere har flere kriterier for vurdering av metode enn de som rapporten oppgir?
Kriteriene for holmestrand er gitt:
-sikkerhet drift
-brann
-bruksegnethet
-vedlikeholdsegnethet
-levetid
-byggefase
-byggekostnad
-fremdrift

Vår veileder nevnte at NGI er med på tunnelprosjekter utenlands og lurer på i den forbindelse om:
Brukes de samme kriteriene utenlands? eller er det flere/færre?
Brukes det flere løsninger for vann- og frostsikring i utlandet med denne toghastigheten?

og til slutt lurte vi på om du eller noen andre hos dere har kunnskap om relevante prosjekter i utlandet og eventuelt en konntaktperson for dette som vi kunne fått?

Mvh
Steffen Bjugstad

Guro Grøneng <Guro.Groneng@ngi.no> Tue, Apr 10, 2012 at 12:10 PM
To: Steffen Bjugstad <bjugstad@gmail.com>

Heisann!

Jeg ser dere har flere interessante spørsmål angående et viktig fagområde innenfor ingeniørgeologi. Selv har jeg ikke så mye kunnskap/erfaring med vann- og frostsikring, selv om jeg satt i en slik vurderingsgruppe i Holmestrandprosjektet. Når det gjelder kriteriene fra Holmestrand, var disse utarbeidet for dette prosjektet. Det er ikke vanlig å foreta en så nøye vurdering av de forskjellige metodene, men Holmestrand-prosjektet er såpass stort at Jernbaneverket valgte å foreta en slik vurdering.

Når det gjelder metoder utenlands, så brukes det mye andre løsninger. Vi har en ubestridt ekspert på vann- og frostsikring her i Norge, han heter Christian Rønneberg og jobber i Aas Jacobsen

(christian.ronneberg@aas-jakobsen.no). Jeg foreslår at dere prøver å sende ham en mail (dere kan evt. si at det er jeg som har videresendt dere til ham).

Gi beskjed hvis dere ikke lykkes med å få noe informasjon av ham, da skal jeg sette meg ned og se litt mer nøye på spørsmålene deres!

Hilsen Guro.

med vennlig hilsen
Guro Grøneng
Fagansvarlig Ingeniørgeologi
for Norges Geotekniske Institutt (NGI)
Postadresse: Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 Oslo
Gateadresse: Sognsveien 72, 0855 Oslo
Web: www.ngi.no

-----Opprinnelig melding-----
Fra: Steffen Bjugstad [mailto:bjugstad@gmail.com]
Sendt: 10. april 2012 11:28
Til: Guro Grøneng
Kopi: Lars Marius Holestøl; Ole Kristian Fløystad
Emne: Bacheloroppgave om vann- og frostsikring i tunnel.
[Quoted text hidden]
The confidentiality or integrity of this message can not be guaranteed following transmission on the Internet. The addressee should be aware of this before using the contents of this message.

Steffen Bjugstad <bjugstad@gmail.com> Wed, Apr 11, 2012 at 1:13 PM
To: Guro Grøneng <Guro.Groneng@ngi.no>

Hei!

Takk for svar og kontaktperson!

Vi holder også på å sammenligne to løsninger, betongelementer og pe-skum+sprutbetong.
Så vi lurte på om du hvet om tilfeller hvor slike typer har falt ned av seg selv, sprukket opp eller lignende?

Fint hvis du har tid til å svare :)

mvh
Steffen Bjugstad

Den 10. apr. 2012 kl. 12:10 skrev Guro Grøneng:
[Quoted text hidden]

Guro Grøneng <Guro.Groneng@ngi.no> Wed, Apr 11, 2012 at 1:31 PM
To: Steffen Bjugstad <bjugstad@gmail.com>

Hei igjen,
betongelementer og PE-skum faller ikke ned av seg selv, det har vi ingen eksempler på. Dersom vann- og frostsikringen blir ødelagt, er det snakk om en påkjørsel eller at det går et ras i tunnelen. Et tema for vann- og frostsikring er de kreftene som dette blir utsatt for, da er det snakk om trykk- og sugkrefter fra kjøretøy og tog. Vann- og frostsikring blir imidlertid dimensjonert til å tåle de aktuelle kreftene.

Håper det var svar "godt nok".

Hilsen Guro.

med vennlig hilsen
Guro Grøneng
Fagansvarlig Ingeniørgeologi
for Norges Geotekniske Institutt (NGI)
Postadresse: Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 Oslo
Gateadresse: Sognsveien 72, 0855 Oslo
Web: www.ngi.no

-----Opprinnelig melding-----
Fra: Steffen Bjugstad [mailto:bjugstad@gmail.com]
Sendt: 11. april 2012 13:14
Til: Guro Grøneng
Emne: Re: Bacheloroppgave om vann- og frostsikring i tunnel.
[Quoted text hidden]

Steffen Bjugstad <bjugstad@gmail.com> Wed, Apr 11, 2012 at 1:38 PM
To: Guro Grøneng <Guro.Groneng@ngi.no>

Ja det var det og takk for raskt svar!

steffen

Den 11. apr. 2012 kl. 13:31 skrev Guro Grøneng:
[Quoted text hidden]

Steffen Bjugstad <bjugstad@gmail.com> Thu, Apr 12, 2012 at 10:23 AM
To: Lars Marius Holestøl <lholestol@hotmail.com>, Ole Kristian Fløystad <olekfloystad@gmail.com>

Videresendt melding:

> **Fra:** Guro Grøneng <Guro.Groneng@ngi.no>
> **Emne: SV: Bacheloroppgave om vann- og frostsikring i tunnel.**
> **Dato:** 10. april 2012 12:10:04 GMT+02:00
> **Til:** Steffen Bjugstad <bjugstad@gmail.com>
> [Quoted text hidden]

Steffen Bjugstad <bjugstad@gmail.com> Tue, May 8, 2012 at 11:02 AM
To: Ole Kristian Fløystad <olekfloystad@gmail.com>

Videresendt melding:

> **Fra:** Guro Grøneng <Guro.Groneng@ngi.no>
> **Emne: SV: Bacheloroppgave om vann- og frostsikring i tunnel.**
> **Dato:** 11. april 2012 13:31:24 GMT+02:00
> **Til:** Steffen Bjugstad <bjugstad@gmail.com>
>
> [Quoted text hidden]

Gmail - Vann- og Frostsikring https://mail.google.com/mail/?ui=2&ik=96b3b4d750&view=pt&c...

Gmail by Google

Steffen Bjugstad <bjugstad@gmail.com>

Vann- og Frostsikring

4 messages

Steffen Bjugstad <bjugstad@gmail.com> Wed, Apr 11, 2012 at 1:08 PM
To: Eivind Grøv <eivind.grov@sintef.no>

Hei og takk for sist!

Det var vi som skrev til deg ang. bacheloroppgave om vann- og frostsikring i tunnel tidligere i vår.

Vi har et sprøsmål til det hadde vert fint om du kunne ta deg tid til å svare på:

Har du hørt om tilfeller hvor løsningene betongelemeter eller pe-skum med sprutbetong på har falt ned av seg selv, sprukket opp eller lignende?

Grunnen til spørsmålet er at vi ser på fordeler ulemper med de to løsningene basert på gitte kriterier.

Mvh
Steffen Bjugstad

Steffen Bjugstad <bjugstad@gmail.com> Wed, Apr 11, 2012 at 1:10 PM
To: Lars Marius Holestøl <lholestol@hotmail.com>

Videresendt melding:

> **Fra:** Steffen Bjugstad <bjugstad@gmail.com>
> **Emne:** **Vann- og Frostsikring**
> **Dato:** 11. april 2012 13:08:43 GMT+02:00
> **Til:** Eivind Grøv <eivind.grov@sintef.no>
> [Quoted text hidden]

Eivind Grøv <Eivind.Grov@sintef.no> Wed, Apr 11, 2012 at 11:28 PM
To: Steffen Bjugstad <bjugstad@gmail.com>

Hei

Så vidt jeg kan komme på i farten har jeg ikke hørt om at det har oppstått sprekker eller svakheter på disse konseptene av en slik karakter at det har medført brudd i selve strukturen og derigjennom har medført til kollaps. At det kan oppstå sprekker som følge av svinn etc er ikke uvanlig, men ikke ønsket.

Håper dette var utfyllende nok, og send meg gjerne en kopi av verket ders når dere er ferdige.

Eivind

From: Steffen Bjugstad [bjugstad@gmail.com]
Sent: Wednesday, April 11, 2012 1:08 PM
To: Eivind Grøv

Vedlegg 4: Mailgang med JBV.

Gmail by Google

Steffen Bjugstad <bjugstad@gmail.com>

Fwd: Vedlikehold av vann- og frostsikring
1 message

Ole Kristian Fløystad <olekfloystad@gmail.com> Mon, May 7, 2012 at 1:39 PM
To: Steffen Bjugstad <bjugstad@gmail.com>, Lars Marius Holestøl <lholestol@hotmail.com>

---------- Videresendt e-post ----------
Fra: **Olafsen Egil** <Egil.Olafsen@jbv.no>
Dato: 12:39 7. mai 2012
Emne: SV: Vedlikehold av vann- og frostsikring
Til: Ole Kristian Fløystad <olekfloystad@gmail.com>

Hei

Du etterspør vurdering av vedlikehold på PE-skum med sprøytebetong eller betongelementer.

Det er i utgangspunktet lite vedlikehold på begge løsninger.

På strekninger hvor toghastigheten er over 200 km/h bør nok betongelementer brukes, da disse en mer robuste mot trykkpåvirkninger fra passerende tog. Det er viktig at det brukes rustfritt stål i alle innfestinger på betongelementene. Låsemuttere må brukes for å redusere kontrollbehovet på innfestingen.

Betongelementer vil ha lenger holdbarhet enn 50 år (kanskje opp mot 100 år).

PE-skum med 8cm påsprøytet betong på nettarmering. Denne konstruksjonen holder ikke lenger enn ca 50 år. Dette betyr at en jernbanetunnel med denne konstruksjonen må totalrenoveres etter ca 50 års drift. For å skifte vannskjermingen av PE-skum må det påregnes lang stengetid. Eks. en tunnel på 5 km lengde må stenges i mer enn et år. Dette er svært problematisk da det sjelden finnes omkjøringsbaner. Kapasiteten på slike alternative strekninger blir overbelastet.

Dette betyr at løsningen med PE-skum har innebygget et svært stort fornyelsesproblem. Kostnadene vil også bli svært høye.

Ved fornyelse av elektro installasjoner i tunnel er det en fordel med betongelementer, innfesting må kanskje forandres og da er 8 cm sprøytebetong (PE-skum) vanskeligere å bore fast nye fester i (pga fare for å punktere vannskjermen).

Ved nedfall av overliggende fjell vil betongelementer ha vesentlig større bæreevne enn PE-skum med sprøytebetong.

Ved ulykker som punkterer sprøytebetongen og hvor PE-skummet blir antent kan skadene på tunnelkonstruksjonen bli betydelige og tiden som medgår til utbedring bli lang.

2 09.05.20

Alle forhold tatt i betraktning driftsmessig vil betongelementer være bedre enn PE-skum på sprøytebetong.

Betongelementer er en del dyrere å bygge.

Det vil alltid være en avveining om det skal tas større kostnader i byggeperioden og lavere kostnader i driftsperioden eller motsatt.

Håper svaret kan hjelpe der litt.

Hilsen

Egil Olafsen

Fra: Ole Kristian Fløystad [mailto:olekfloystad@gmail.com]
Sendt: 25. april 2012 09:37
Til: Olafsen Egil
Emne: Vedlikehold av vann- og frostsikring

Hei!

Vi er 3 studenter ved Høgskolen i Gjøvik som jobber med vår bacheloroppgave denne våren. Oppgaven omhandler vann- og frostikring i tunnel og anbefaling av metode til en valgt tunnel.Vi fikk mail adressen din av Nina Rognved som sa at du muligens kunne hjelpe oss med noen spørsmål. Vi skal velge metode ut ifra noen kriterier og en av disse er vedlikehold.

Vi ser bruk av PE-skum og betongelementer, og da lurer vi på om det er noe forskjell på vedlikeholdsmetode og vedlikeholdstid på disse?
Og om dere foretrekker vedlikehold av den ene kontra den andre.

Mvh
Ole Kristian Fløystad

Vedlegg 5: Mailgang med SKANSKA

Gmail by Google

Ole Kristian Fløystad <olekfloystad@gmail.com>

Bachelor oppgave.

3 meldinger

Ole Kristian Fløystad <olekfloystad@gmail.com> 11:34 18. april 2012
Til: bjorn.kielland@skanska.no

Hei!

Det er oss med bachelor oppgaven om vann- og frostsikring her igjen, vi har nå kommet til gjennomføringen der vi vurderer de ulike alternativene ut i fra kriteriene under. Jeg vet ikke om du er riktig mann for spørsmålene men prøver likevell.

Vi har i vår oppgave tenkt å velge metode ut i fra kriteriene under.
-sikkerhet drift
-brann
-bruksegnethet
-vedlikeholdsegnethet
-levetid
-byggefase
-byggekostnad
-fremdrift

Og siden dere er de som setter det opp disse installasjonene, har vi noen spørsmål angående fremdrift og byggefase, som vi ville satt stor pris på hvis dere kunne hjulpet oss med.

1. Hvordan er arbeidsmiljøet med tanke på oppføring av PE-skum, tenker da på påføring av sprøytebetong.

2. Hvilken av metodene vil du si at tar lengst tid og sette opp?

3. Hvilken metode er best med tanke på tekniske instalasjoner og andre oppheng?

4. Ved hvilken metode brukes det flest bolter til fjell?

5. Hvilken metode er mest krevende med tanke på bruk av ressurser?

6. Ved bruk av hvilken metode er det enklest og inspisere i ettertid?

7. Hvilken metode foretrekker dere, hvis du ser bort fra det økonomiske.

8. Hvilken metode er enklest og sette opp med tanke på HMS?

Mvh
Ole Kristian Fløystad

Kielland, Bjørn <bjorn.kielland@skanska.no> 15:40 18. april 2012
Til: "Sve, Roar" <roar.sve@skanska.no>
Kopi: "olekfloystad@gmail.com" <olekfloystad@gmail.com>

Hei Roar

Du er den av oss i Skanska som er best på detaljer som dette.

Viser til dagen samtale der du lover å besvare Ole Kristians forespørsel iløpet av en ukes tid.

mvh

Bjørn Kielland, prosjektsjef
JBV Holm-Nykirke UHN 346 HOLMESTRAND
3080 Holmestrand
Mobil: +47 908 51 250
E-post: bjorn.kielland@skanska.no

Fra: Ole Kristian Fløystad [mailto:olekfloystad@gmail.com]
Sendt: 18. april 2012 11:34
Til: Kielland, Bjørn
Emne: Bachelor oppgave.

[Sitert tekst skjult]

This message, including any attachments hereto, may contain privileged or confidential information and is sent solely for the attention and use of the intended addressee(s). If you are not an intended addressee, you may neither use this message nor copy or deliver it to anyone. In such case, you should immediately destroy this message and kindly notify the sender by reply email. Thank you.

Sve, Roar <roar.sve@skanska.no> 10:24 23. april 20
Til: "olekfloystad@gmail.com" <olekfloystad@gmail.com>
Kopi: "Kielland, Bjørn" <bjorn.kielland@skanska.no>

Hei Ole Kristian

Jeg tror jeg har besvart spørsmålene dine.

Hvis det er noe du spekulerer på, så får du ringe (Roar Sve – 92851512).

(Det er ikke sikkert jeg svarer på sparket, men jeg ringer opp)

Mvh

Roar Sve

Fra: Kielland, Bjørn
Sendt: 18. april 2012 15:40
Til: Sve, Roar
Kopi: olekfloystad@gmail.com
Emne: VS: Bachelor oppgave.

[Sitert tekst skjult]

[Sitert tekst skjult]

Det er klart at påføring av sprøytebetong er negativt i forhold til arbeidsmiljøet. Det forårsaker mye støv under selve utførelsen av aktiviteten. Det er også vanskelig å få fjernet dette uten en fullstendig vask av tunnelen.

2. Hvilken av metodene vil du si at tar lengst tid og sette opp?

Normalt går det raskere å bruke elementer. Det er færre delaktiviteter, og det medgår omtrent halvparten så mange timeverk på denne metoden – kontra PE-skum/Brannsikret.

Jeg tror ikke at alle entreprenørene i Norge behersker metoden med bruk av elementer. PE- skum en nok en enklere metode.

3. Hvilken metode er best med tanke på tekniske instalasjoner og andre oppheng?

Metoden med å bruke elementer er en mer eksklusiv metode. Jeg vet ikke om jeg vil preferere noen av metodene med tanke på dette spørsmålet.

Betongelementene har normalt en tykkere betongutførelse, så det er kanskje enklere å montere skiltinstalasjoner etc. på disse i ettertid.

Når det gjelder gjennomgående tekniske bolter (som må festes i fjell), så må det uansett metode planlegges på forhånd, for å få en vanntett utførelse.

4. Ved hvilken metode brukes det flest bolter til fjell?

Her er det ingen tvil;

Betongelementer krever forholdsvis få bolter.

For en vegtunnel kan det for veggelementer være en bolt pr. 10m2. (2bolter på ett element av størrelse (3,9*5,1)meter).

For takelementene variere det med nisjer, breddeutvidelser etc.. For ett T9 normalprofil er det kunn en bolt (Sikkerhetsbolt) for hvert element. Prinsippet for disse elementene er at de ligger an på veggelementene, og «støtter seg» mot hverandre i senterlinjen. Ett slik takelement er normalt ca. 14m2. Dette vil da si 14 m2/bolt. Når vi tar hensyn til nisjer etc. vil nok dette bli sterkt redusert(Har ikke regnet på det).

PE-skum metoden krever klart flere bolter.

Det er selvfølgelig avhengig av boltemønsteret.

Ett normalt boltemønster for vegtunneler er 1,2 * 1,2 meter (Bolter ø16mm).

Hvis man ønsker å legge PE-platene «Butt i butt», kan dette boltemønsteret økes til 1,375 *1,2 meter (PE-platene er 2,75 meter brede, derfor 1,375m)

For Jernbaneverket har jeg i den senere tid sett ett ennå tettere boltemønster 1,2 * 1,0 meter (ø20mm bolter).

5. Hvilken metode er mest krevende med tanke på bruk av ressurser?

Dette spørsmålet har jeg vel egentlig svart på under punkt 2).

6. Ved bruk av hvilken metode er det enklest og inspisere i ettertid?

Dette avhenger av hvilken montasjelinje som velges, og selvfølgelig på hvor mye fjell som blir sprengt ut.

Elementene blir montert i normalprofilet. Hvis vi benytter PE-skum bruker vi – for sikkerhets skyld å legge oss ca. 5 cm utenfor normalprofilet.

Elementer med isolasjon bygger normalt 20cm, PE-skum ca. 15 cm, så med tanke på plass – går dette opp i opp.

7. Hvilken metode foretrekker dere, hvis du ser bort fra det økonomiske.

Vi i Skanska har utstyr og kompetanse for å utføre begge metodene. Jeg mener at vi har ett pre med tanke på elementmontasje, så .... Derfor ønsker vi denne metoden.

8. Hvilken metode er enklest og sette opp med tanke på HMS?

Støvet fra brannsikringen er som jeg har nevnt tidligere negativt.

Elementmontasje går ut på å løfte tunge elementer (max. 8 tonn). På to av våre maskiner benytter vi vakum. Det er viktig å vite hva man holder på med, har respekt for arbeidsoperajonene.

SJA er svært viktig før man starter slike aktiviteter.

Mvh
Ole Kristian Fløystad

Vedlegg 6: Mailgang med AF GRUPPEN

Spørsmålene er mottatt. Jeg skal tenke gjennom noen svar i løpet av ettermiddagen.

Med vennlig hilsen
Jan Lima
Prosjektleder
AF Anlegg

AF Gruppen
Innspurten 15, Postboks 6272 Etterstad, N-0603 Oslo
M +47912 48 080 T 22 89 11 00 F +47 22 89 11 01

Fra: Ole Kristian Fløystad [mailto:olekfloystad@gmail.com]
Sendt: 17. april 2012 13:18
Til: Jan Lima
Kopi: Lars Marius Holestøl; Steffen Bjugstad
Emne: Vann- og frostsikring i tunnel

[Sitert tekst skjult]

Jan Lima <Jan.Lima@afgruppen.no> 23:00 19. april 2
Til: Ole Kristian Fløystad <olekfloystad@gmail.com>
Kopi: Lars Marius Holestøl <lholestol@hotmail.com>, Steffen Bjugstad <bjugstad@gmail.com>

Hei

Se svar under.

Med vennlig hilsen
Jan Lima
Prosjektleder
AF Anlegg

AF Gruppen
Innspurten 15, Postboks 6272 Etterstad, N-0603 Oslo
M +47912 48 080 T 22 89 11 00 F +47 22 89 11 01

Fra: Ole Kristian Fløystad [mailto:olekfloystad@gmail.com]
Sendt: 17. april 2012 13:18
Til: Jan Lima
Kopi: Lars Marius Holestøl; Steffen Bjugstad
Emne: Vann- og frostsikring i tunnel

Hei!

Vi er 3 studenter ved Høgskolen i Gjøvik som jobber med vår bacheloroppgave denne våren. Oppgaver omhandler vann- og frostikring i tunnel og anbefaling av metode til en valgt tunnel. Vi fikk mail adressen din fra Harald Berg som vi har vært i kontakt med, så vi skal også hilse fra han.

Vi har i vår oppgave tenkt å velge metode ut i fra kriteriene under.

Vi ser nærmere på metodene PE-skum og betongelementer.
Og siden dere er de som setter det opp disse installasjonene, har vi noen spørsmål angående fremdrift og byggefase, som vi ville satt stor pris på hvis dere kunne hjulpet oss med.

-1. Hvordan er arbeidsmiljøet med tanke på oppføring av PE-skum, tenker da på påføring av sprøytebetong.
I ca 80% av tunnelene, er det lite problem med arbeidsmiljøet ved sprøyting. Vi har da gjennomtrekk i tunnelen, med jevn og stabil ventilasjon hele tiden.

I ca 20% av tunnelen, har vi problem med å få trekken til å være stabil. Dette kan være pga. høybrekk, lavbrekk, parallelle tunneler, ulik oppvarming av luft utenfor tunnelen på varme sommerdager, mm. I disse tilfellene har vi ofte utfordringer med arbeidsmiljøet fordi viftene våre ikke er store nok til å skape stabil trekk. Antall maskiner i tunnelen som slipper ut dieseleksos og arbeidsoperasjoner som hvirvler opp støv spiller også en rolle for arbeidsmiljøet. Det hender seg at vi flytter forurensende arbeidsoperasjoner til kveld/natt for å redusere ulempene.
2. Hvilken av metodene vil du si at tar lengst tid?
Vi får som regel oppgitt en byggetid fra byggherren, eller lager en framdriftsplan der alle arbeidsoperasjoner må tilpasses total byggetid. Ut fra dette setter vi opp et ressursapparat med antall maskiner, skiftordning og personell.

PE-skum har flere arbeidsoperasjoner, men er mer fleksibel når det gjelder å øke kapasiteten. Element er mer avhengig av å ha jevn produksjon.

Dersom jeg sier at PE-skum har 50% høyere kapasitet, så kan dette være korrekt for enkelte prosjekt, men ikke for alle. Jeg tror ikke jeg vil si at det er noen stor forskjell.
3. Hvilken metode er best med tanke på tekniske instalasjoner og andre oppheng?
PE-skum er absolutt mest fleksibel – enklest å gjøre tilpasninger.
4. Ved hvilken metode brukes det flest bolter til fjell?
Antall bolter er betydelig flere ved PE-skum. Regnet i antall kg bolter pr areal er det liten forskjell (litt mer ved PE-skum).
5. Hvilken metode er mest krevende med tanke på bruk av ressurser?
Vi har større bemanning i tunnelen med PE-skum, men det er samtidig mest fleksibelt, og enklere å sette inn flere ressurser for å øke produksjonen. Det er også enklere å flytte produksjonen rundt i tunnelen.

Ved betongelement er det mer krevende planlegging av logistikk – mindre fleksibelt. Men dersom det blir lagt gode planer, kan det monteres mange element på kort tid.
6. Ved bruk av hvilken metode er det enklest og inspisere i ettertid?
Omtrent likeverdige. Dersom montasjeprofilet er det samme, er PE-skum enklere å inspisere fordi det er tettere boltemønster (som er lettere å klatre i).
7. Hvilken metode foretrekker dere, hvis du ser bort fra det økonomiske.
I AF er vi veldig glade i kombinasjonen med veggelement og PE-skum i hengen. Det tror jeg en del av konkurrentene våre også foretrekker.

8. Hvilken metode er enklest og sette opp med tanke på HMS?

PE-skum. Selv om det er mer støv i forbindelse med brannsikring, har jeg veldig stor respekt for montering av betongelementer, spesielt i tak. Konsekvensene ved å miste et betongelement kan ofte være katastrofale.

09.05.2012 1

Vedlegg 7: Mailgang med VEIDEKKE

Fra: Ole Kristian Fløystad [mailto:olekfloystad@gmail.com]
Sendt: 18. april 2012 11:28
Til: Kåre Strand
Emne: Vann- og frostsikring i tunnel

[Sitert tekst skjult]

Ole Kristian Egge <ole.kristian.egge@veidekke.no> 14:41 23. april 2
Til: "olekfloystad@gmail.com" <olekfloystad@gmail.com>

Hei!

Da skal jeg prøve å komme opp med noen svar:

Siden dette er en oppgave i å sjekke ut forskjeller mellom elementmontasje og PE-skummontasje regner jeg med at PE-skummet skal settes i profil med armering og ikke på knøl.

1. Hvordan er arbeidsmiljøet med tanke på oppføring av PE-skum, tenker da på påføring av sprøytebetong

Sprutebetong: Ved kun spruting i tunnelen blir ikke dette annerledes enn ved vanlig sprut på stuff, da operatøren benytter seg av hjelm med surstoffmaske.

Problemene kommer ofte med at i følge regelverket skal ikke mer en dags forbruk av PE-skum stå usprut i tunnelen grunnet brannsikkerhet (PE-skum er jo litt flåsete sagt diesel i fast form). Dette sammen med framdriftsønsker fører til at man må starte og sprute før man er ferdig med montering av PE-skum og armeringsnett andre steder i tunnelen. Dette fører til mye ekstra støv for disse.

Vi har jo noen tiltak som hjelper:

- Montering av PE-skum og armering på dagtid. Spruting på natt.
- Oppføring av mobilt vanngardinsannlegg. Binder opp mye støv.
- Vi har også laget noen "viftebiler" der vi har montert tunnelvifter på lastebil med aggregat så vi får bedre luft. Vanning av såle er også viktig.

2. Hvilken av metodene vil du si at tar lengst tid?

Det er jo tre versjoner av disse vann/frost-sikringene: Kun PE-skum, kun elementer eller veggelementer PE-skum i hengen.

Det som tar minst tid er kun PE-skum, så kommer veggelementer og PE-skum i heng. Det som tar lengst tid er kun elementer.

3. Hvilken metode er best med tanke på tekniske installasjoner og andre oppheng?

Vifter: Her er det ofte krav at boltene til disse skal sitte i fjell. Det blir dermed kun en gjennomføring i PE-skummet og hull i takelementene. Detter er vel ganske hipp som happ.

Brannskap/Inspeksjonsluker: Veggelementene blir produsert med lukehull, mens man må lage egne lukehull i PE-skummet. Noe mer arbeid med PE-skummetoden.

Skilt: Disse festes direkte på veggelementene, mens på PE-skummet må de festes på bolter i fjell. Må ha gjennomføring igjennom skummet.

Andre installasjoner: Det blir vel som over på de fleste andre installasjoner også tenker jeg. Det meste blir festet i elementene, mens på PE-skummet må det festes i fjell.

4. Ved hvilken metode brukes det flest bolter til fjell?

Ved PE-skum montasje blir det borret bolter i mønster 1,2m x 1,2 m eller 1,325m x 1,325m. Dette gjelder for hele profilet.

Ved elementmontasje blir det brukt to bolter pr. veggelement og 1 bolt pr. takelement (Unntatt i nisjer der det er 3 bolter på takelementene).

Det er litt forskjellig lengde på elementene ut i fra trafikkmengde og elementleverandør.

Vanlige lengder er ca. 4-5 m på veggelement og 2-2,5 m på takelement.

Det går derfor langt flere bolter i fjell på PE-skum enn på elementmontering.

Til PE-skum brukes 16mm bolter, mens på takelement blir det brukt 24mm bolter. På vegg blir det benyttet 24mm eller 32mm bolter alt ettersom tykkelsen på elementet.

Vi i Veidekke har egen bolterigg for boring for PE-skum. Denne borrer to hull samtidig og blir navigert med totalstasjon. Essverk er produsent.

For boring av takbolt har vi brukt to metoder: Enten boring med knemater (håndholdt maskin med mater) eller en dieseldrevet en-boms borerigg fra Atlas Copco.

09.05.2

5. Hvilken metode er mest krevende med tanke på bruk av ressurser?

PE-skum:

Utstyr: Bolterigg, bakstuffbil for boltemontering, bakstuffbil for PE-skummatte-montering, armeringmontering med kran, bakstuffbil for "stoling" (Avstandsklosser mellom skum og armering) og spruterigg.

Elementmontasje:

Utstyr: Borerigg/bakstuffbil med knemater, hjullaster for boltetrekking, Veggtruck, Takelementmaskin, membranmaskin og lifter.

Veggelementer og PE-skum:

Utstyr: Det samme som over for PE-skum og veggtruck for elementer.

Mannskap er forholdsvis likt på alle tre måtene. Ca. 0,35 – 0,4 tv pr. kvadrat.

6. Ved bruk av hvilken metode er det enklest og inspisere i ettertid?

Dette er for så vidt noe vi ikke har vært så mye borti siden det oftest er SVV eller JBV som utfører slike inspeksjoner.

Begge metodene skal jo være likeverdige hvelv, men forskjellene er jo i antall bolter bak hvelvet.

Hvis man skal opp på et PE-skumhvelv er det jo tett i tett med bolter der.

7. Hvilken metode foretrekker dere, hvis du ser bort fra det økonomiske.

Elementmontasje. HMS hensyn.

8. Hvilken metode er enklest og sette opp med tanke på HMS?

Elementmontasje er å foretrekke. Se bl.a. punkt om sprøyting.

Dette var et forsøk på å svare på spørsmålene. Har dere flere spørsmål så er det bare å spørre.

Ole Kristian Egge

Tunnelformann / tunnelstikker

Veidekke Entreprenør AS

Distrikt Fjell

(+47) 21 05 50 00 / (+47) 909 16 445

Kristian.Egge@veidekke.no

www.veidekke.no

Vedlegg 8: Mailgang med SKUMTECH AS

Gmail by Google

Steffen Bjugstad <bjugstad@gmail.com>

Fw: ISOLON MEMBRANHVELV

1 message

Lars Marius Holestøl <lholestol@hotmail.com> Fri, Mar 9, 2012 at 4:31 PM
To: Ole Kristian Fløystad <olekfloystad@gmail.com>, Steffen Bjugstad <bjugstad@gmail.com>

-----Opprinnelig melding----- From: Svein Jonsson
Sent: Friday, March 09, 2012 11:31 AM
To: lholestol@hotmail.com
Subject: ISOLON MEMBRANHVELV

Hei!

Ref telefonsamtale i går. Da begynner jeg å sende deg litt informasjon om vårt membranhvelv. Det finnes tio typer. Det ene hvelvet er membran vi monterer med vanntette gjennomføringer bak tak og vegglementer . Dette er en 1,1mm Ultraflex membran. (kommer med mer forklaringer og dokumentasjon) Det andre hvelvet er en membran som monteres med vanntette gjennomføringer på et boltemønster 1,20m x 1,20. Dette hvelvet armeres og sprøytes inn. Dette hvelvet er montert i Ålesundtunnelene og på Norra Länken Vedlegger en kort presentasjon fra Norra Länken= NL 11 og NL 35. Her har vi faktisk montert både membran og elementer .

Vårt system er patentert både når det gjelder vanntette gjennomføringer, membran med flosset overflate og maskin for å montere membran maskinelt.

Utvklingen startet i 2005 da den gan Vägverket nå Trafikverket spurte oss om å utvikle et vanntett hvelv. Bakgrunnen for dette var at vi hadd levert pe-skum til hele Södra Länken. Jeg ar den gang fornøyd me leveringen av skum. Det gikk med store mengder , men jeg påpekte at de ville få store lekkasjeproblemer med is om vinteren. Metoden de brukte for å installere var feil. Smale drenmatter litt her og der ville ikke fungere var min beskjed, og det stemte! Den dag i dag må Södra Länken stenges om natten for å hugge ned is!!

Vi monerte for hånd ca 500 m2 Ultraflex membran på boltemønster 1,2 x 1,2 m og med vanntette gjennomføringer,- i en arbeids tunnel til SL som omtales som Träskolevegen. Vi monterte ca 250 m2 uten noen form for isolering, ca 125m2 var membran + 5 cm pe-skum og 125m2 med membran + 10 cm Isolon Fire Proof (IFP) Dette er en sprøytebetong vi utviklet som har gode islorenede egenskaper mot frost samtidig som den har svært ode brannegenskaper!!

Hele feltet ble etter påføring av IFP + normal sprøytebetong på resten frosset ned til minus 10 graer i 60 døgn pluss ca 2 ukers nedfrysningperiode..

Testrapporten oversendes som egen mail. Men det viktige var at Trafikverket besluttet på bakgrun av denne testen å bygge NL med innerhvelv uten noen form for frost isoloering! Mao ble vårt hvelv lagt til grunn for det som ble bygget i hele NL!!

Jeg skjønte fort at våre enkle ideer om vanntett gjennomføring og membran med flosset overflate måtte patenteres ! Samtidig skjønte jeg at membran i så stor målestokk ikke kunne monteres for hånd. Det ville ta alt for lang tid og bli svært dyrt. Vi begyne å forske på og utvikle en maskin som vi kunne bruke til å montere membran. Vi har i dag to sloike maskiner som ble bygget i Sveits.

Dette i denne omgang