



Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering: Mater i offshore systemer	Vår semesteret, 2011
Forfatter: Mario Caric (signatur forfatter)
Fagansvarlig: Arnstein Øvrelid Veileder(e): Arnstein Øvrelid	
Tittel på masteroppgaven: Frost og telehiv i tunneler	
Studiepoeng: 30 sp.	
Emneord: Telehiv	Sidetall: 52 +vedlegg/annet +cd: 7 Stavanger 15.juni/2011 dato/år

Universitetet

i Stavanger

DET TEKNISK - NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET



Masteroppgave

Våren 2011

“Frost og telehiv i vegtunneler”

Skrevet av: Caric Mario

Forord

Statens Vegvesen har bidratt med informasjon, håndbøker og normaler for vegbygging og frostsikring , samt rapporter med temperaturmålinger i forskjellige tunneler. Jeg vil rette en takk til etaten.

Øystein Myhre fra vegdirektoratet i Oslo har bidratt med gode samtaler. Edvard Iversen, Geir Refsdal og Per Otto Aursand har også bidratt med flere excel-filer av temperaturmålinger gjort i tunnelene, klar for videre analyse. Retter en stor takk til dem.

Jeg vil også takke Alexander Slobodinski for kontaktinformasjon, og Arnstein Øvrelid for veiledning av denne oppgaven.

Innhold

1	Telehiv (Frost heave)	10
1.1	Generelt.....	10
1.2	Hva er telehiv og hvorfor skjer det?.....	11
1.3	Illustrasjon av telehiv i milde og kalde vintre.....	12
2	Mekanikken for frostinntrengning i undergrunnen	13
2.1	Årsaker til frostinntrengning	13
2.2	Hvor langt ned går frosten i undergrunnen	15
2.2.1	Frostmengde.....	16
2.2.2	Konstruksjonstyper.....	16
2.2.3	Valg av konstruksjon.....	17
2.3	Frostsikringslag.....	17
2.4	Frostsikring med isolasjonsplater.....	17
2.4.1	Skumglassplater.....	18
2.4.2	Andre materialer (EPS)	18
2.4.3	Ekstrudert polystyren(XPS).....	18
2.5	Omfang av frostsikring	19
2.6	Oppbygning (bæreevne).....	19
2.7	Ising	19
2.8	Frostinntrengning	19
3	Norske tunneler.....	20
3.1.1	Krav til dokumentasjon som bør stilles	20
3.2	Levetiden for tunneler.....	21
3.3	Liten trafikk.....	21
3.4	Tunneler med telefare.....	22
4	Historisk bygning av vegdekke	23
4.1	Bark.....	23
4.2	Overbygning	24
4.2.1	Krav til overbygningen.....	24
4.2.2	Frost og klima	24
4.2.3	Kvalitet.....	24
4.2.4	Forsterkningslag på frostsikringslag som sand/grus/sprengstein.....	24
4.3	Behov for frosterkning av vegdekke.....	25
4.3.1	Materialvalg ved nyanlegg	25

5	Vegfundament som bygges i dag	26
5.1	Generelt.....	26
5.1.1	9.2 Traubunn	26
5.1.2	Tunnelsålerensk.....	26
5.1.3	Forsterkningslag	26
5.1.4	Drenslag og isolasjon.....	27
5.2	Nåtidens vegbygging	27
5.3	Asfalt opp mot betong.....	27
5.3.1	Asfaltdekker.....	27
5.3.2	Betongdekker	28
5.3.3	Konsekvensvurdering	28
6	Krakelering.....	29
6.1	Skadeårsak.....	29
6.1.1	Kjennetegn	30
6.1.2	Årsak	30
7	Drenering.....	31
7.1	Dreneringssystem.....	31
7.1.1	Grøfter	31
7.1.2	Krav til grøftedybde.....	32
8	Formler ved dimensjonering	33
9	Analyse av frostforholdene i Stalheimstunnelen (Voss kommune) Korgfjelltunnelen (Hemnes kommune) og Umskardtunnelen (Rana komumue).....	35
9.1.1	Fakta om Stalheimstunnelen.....	35
9.1.2	Problemer som har oppstått	35
9.1.3	Løsning på problemene	35
9.2	Resultater for frostmengde og frostdybde	35
9.2.1	Plassering av de enkelte temperaturmålerne	36
9.2.2	Frostmengde og årsmiddeltemperatur	36
9.2.3	Frostdybde resultater fra Stalheimstunnelen vinteren 2002/2003	37
9.2.4	Temperaturmålerne i hele skala vinter 2002/2003	38
9.3	Korgfjelltunnelen og Umskardtunnelen	39
9.3.1	Årsak til problemer (felles for begge tunnelene)	39
9.3.2	Løsning på problemene	40
9.3.3	Utbedringsforslag	41

9.4	Resultater for frostmengde og frostdybde (Korgfjelltunnelen)	41
9.4.1	Frostmengde og årsmiddeltemperatur	41
9.4.2	Frostdybde for Korgfjelltunnelen	42
9.4.3	Frostmengde og årsmiddeltemperatur for Umskardtunnelen	42
9.4.4	Forklaringer på målerne på hvor de befinner seg:	42
9.4.5	Temperaturmålerne for Korgfjelltunnelen.....	43
9.5	Eidsvolltunnelen (vegdekkeproblemer og løsninger).....	45
9.5.1	Årsak til problemer.....	45
9.5.2	Løsning på problemene	45
9.6	Dekketiltak "vente og se"	46
9.6.1	Dekketiltak, legge slitelag.....	47
10	Evaluering	48
11	Referanser	51
	Vedlegg for Stalheimstunnelen	58
	Vedlegg for Korgfjelltunnelen	59

Sammendrag

Masteroppgaven handler om frostforholdene i vegtunneler. Statens Vegvesen har bidratt med utleveringsmateriale og nødvendig informasjon av temperaturmålingene til forskjellige tunneler. Det ble utdelt håndbøker, vegnormaler og excel-filer som inneholdt temperaturmålinger for Stalheimstunnelen, Korgfjelltunnelen og Umskardtunnelen, som kunne benyttes til videre analyse av frostdybde og frostmengde.

Videre er det blitt gitt rapporter av Eidsvolltunnelen. Her gjaldt det å finne ut hva som kan være årsaken for at vegdekket ikke holder stand, og hva som kan utbedres. Denne ble sammenliknet med en vegnormal utgitt på 1980-tallet og den reviderte utgaven som ble utgitt i år.

Tele dannes når det er kulde. Vann, kulde og jordmassens permeabilitet er årsakene til telehiv. Norge har i de senere årene hatt store problemer med telehivskader i det norske vegnettet.

Videre er det blitt sett på oppbyggingen av vegdekket. Hva som er den mest gunstige konstruksjonen for at man skal slippe store mengde utskifting på grunn av frost og for dårlig utført kontroll av vegnettets oppbygning.

Det var et motto før i tiden: "Design as you go". Dette mottoet hadde mer med sikkerhet og fremkommelighet i vegtunneler å gjøre, enn selve levetiden på konstruksjonene.

Formålet med denne oppgaven er å se nærmere på frostforholdene i vegtunneler og årsakene man kan få ved for dårlig utført kontroll i anleggsperioden.

Innledning

I Norge er det mer enn 1100km vegtunneler og rundt 200km av dem er jernbanetunneler, der klimatiske forhold påvirker disse tunnelene, som varierer fra sør til nord og fra øst til vest. Når vann opptrer i tunnelen og temperaturen er under frysepunktet dannes det is. Dette er ikke gunstig med tanke på trafikksikkerhet og vedlikehold. Det kan være funksjonskrav til hvilken grad man tillater vann å dryppe ned på vegbanen. Det er viktig å bygge vegtunneler slik at frostforholdene ikke danner telehiv og skaper problemer for vegen.

Mange tunneler har i dag frostfrisoner i de første 500m av tunnelen. Dette gjelder i tunnelens begge ender. For å bygge frostfrie soner må man ha et design for frostforhold og frostmengdefaktor F_{10} . Dette gjelder for tunneler for tofeltsløp, der trafikken går i begge retninger.

I dag kan man teoretisk sett beregne krefter som virker inn på frostmengden. Dette kan være belastning fra trafikk, is og luftstrømmer. I forbindelse med bestemmelse og valg av konsept for vann- og frostsikring for enhver infrastrukturettunnel foreligger ulike løsninger. Løsninger som tung eller lett konstruksjon.

Konsekvensen av ulike frostmengder, og kunnskapen om varmeutvikling mellom den varme bergmassen og den kalde tunneluften er ikke entydig bestemt. Det blir stilt spørsmål som: Hvor dypt i bergmassen dannes islinjene? Hvordan utveksles varmen mellom bergmassen og tunnelen gjennom vann og frostsikringselementene? Det er mye man ikke har konkret kunnskap om, og det mangler vitenskapelig dokumentasjon.

Man ser på hvordan frosten opptrer i tunnelen og hvor stor frostpåkjenning de ulike konseptene tåler, ikke bare teoretisk, men i realiteten.

Temperaturmålingene som er blitt gjort i de forskjellige tunneler her i landet er viktige i tunnelåpningene der påkjenningene er størst, men også andre steder der telehiv dannes. Stalheimstunnelen er den tunnelen som har hatt store mengder telehivpåkjenninger med det samme den ble åpnet. Telehiv har også oppstått i Umskardtunnelen og Korgfjelltunnelen, der både lapping og utskifting av veg har funnet sted. Dette på grunn av tunnelene ble bygd på de gamle funksjonskravene fra tunnelnormalene.

Vegnormaler, tunnelnormaler som har blitt utgitt siden 1970-tallet har hele tiden vært revidert for utbedringer. Selv alle prosedyrer som blir beskrevet blir ikke fulgt. Større mengde utskiftninger av vegbane(r) på grunn av for dårlig utført kontroll har funnet sted. Normalene har blitt revidert ca. hvert 5.år, der den aller nyeste er utgitt januar 2011.

Analysene fra 1970-tallet og frem til dags dato for bygging og frostsikring kan ha vært designfeil, der en gjør grunnleggende planlegging en plass, og konstruerer en annen plass. Før i tiden ønsket man å bygge billigst og raskest mulig, noe som ikke er tilfelle idag, på grunn av de store kostnadene for vedlikehold av norske tunneler. Det var også vanskelig å få tak i riktig materiale for tunnelbygging før i tiden, noe som kan være årsaken til dårlig tunnelbygging.

Nå bygges det med hensyn på at resultatet skal vare lengst mulig. Minst mulig behov for vedlikehold, samt alle de andre funksjonskravene som ble stilt før. Dette vil si at materialene som blir brukt for konstruksjon skal tåle lengre og hardere påkjenning.

1 Telehiv (Frost heave)

1.1 Generelt

Norge har i dag til sammen over 1000 tunneler, som er spredt over hele landet, og mange nye bygges hvert år. Det bygges forskjellige typer tunneler;

Undersjøisketunneler, fjelltunneler og jernbanetunneler. Variasjonen av disse kan være store med tanke på stigning,

lengde, beliggenhet og mengde på trafikk. Kostnadene for vedlikehold kan variere mye og det er derfor viktig at det bygges med hensyn til det norske klima. Materialene som blir designet for disse konstruksjonene bør tåle frostpåkjenninger som oppstår i norske vintre.



Klimaet i Norge er så varierende fra sommer til vinter at veger, jernbaner og vegtunneler har stor vedlikeholdsbehov. Dette har stor innflytelse på konstruksjonsnivå.

Asfalten i tunnelene er ikke tett. Noe fukt trenger alltid gjennom og videre ned i underlaget. Frysing og tining i asfaltdekket er det største problemet med fukten, og det er ikke alltid like lett å forutsi påkjenningene for vegdekket, selv om det har blitt designet for å tåle kulden og belastningen fra trafikkmengden.

Den kalde temperaturen forårsaker inntregning av vann i veibanen. Dette siden kald luft er tyngre enn varmt luft, og kan derfor føre til fukt, som igjen kan føre til islinser.

Tunneler blir hardest rammet i åpningene der temperaturen varierer mest, perioder med frost og kondens kan forekomme, så det er viktig med riktig materialvalg.

Det er alltid viktig å utføre geologiske undersøkelser der vi bygger eller har tenkt å bygge. I selve fjellet der en tunnel bygges bør man ha kart over svakhetssoner, forventet stabilitet, sikringsmetoder, utspregning av massen, og prøver av grunnforhold. Som oftest brukes det tunnelnormaler ved utførsel for bygging av tunneler. Seinest i vinteren 2011 er det blitt skrevet om telehivskader i den norske vegbanen. Det har i midlertidig vist seg at oppbygging og frostsikring av vegoverbygning i tunneler ikke alltid har vært vellykket. Noen av disse problemene kan føres tilbake til kvalitetskontrollen på anlegget. Derfor er det viktig å sikte på vegtunneler som er robuste i sin oppbygning. Mindre tekniske avvik ikke skal behøve å slå ut i større problemer, slik tilfellet er i dag.

1.2 Hva er telehiv og hvorfor skjer det?

Tele og telehiv er et fenomen som skjer i vegbanen der vann samler seg under topplaget, og fryser til is. Vannet som fryser ekspanderer og danner sprekker i veggen. Når vannet tiner og fordampner etterlater den seg hull i vegbanen. Dette kan skape berg- og dalbaneeffekt. Tele oppstår som oftest på eldre veger, men også på de nye. Som oftest skjer dette der det er mye luftfuktighet og variasjon av temperatur. Hyppige klimaforandringer er den største faktoren for dannelse av telehiv.

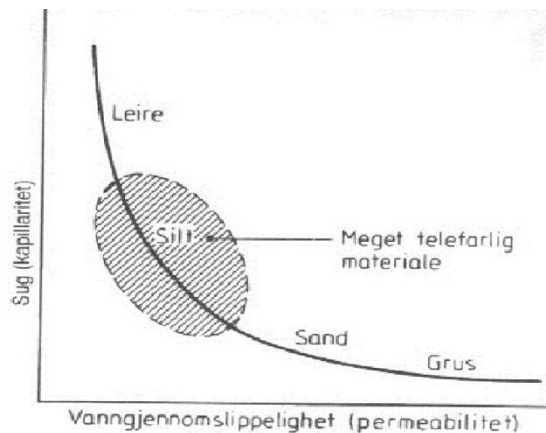
Faktorer som forårsaker telehiv er mengde på:

- vann
- frost
- jordmassens permeabilitet

Som oftest ser vi ikke teleskader i vegtunneler før etter vinteren er forbi.

Telefarlig masse:

- leire
- jord
- silt



Figur 1

Jordarter som silt og siltig leire er mellomfine jordarter, som gir optimale forhold for vanntransport mot isfronten. Slike jordarter har stor evne til å danne tykke islag på grunn av at vann suges opp nedenfra (jord og leire), og resultatet blir telehiv. Vinterens lengde og frostmengden avgjør hvor mye telehiv som dannes. Alt dette avhenger i massens kornfordeling. **NB! Vegbanen bygges ikke opp på disse massene!**

Det er viktig å asfaltere på følgende underlag:

- pukk
- stein
- grus

Disse massene er i liten grad telefarlige. Man vil få meget stabile veger av å asfaltere på slikt underlag. Frostsikringsmateriale (sand, grus og stein) brukes til frostsikring etter prinsippet om utnyttelse av "utfrysingsvarmen", som betyr lite telefarlig masse.

1.3 Illustrasjon av telehiv i milde og kalde vintre

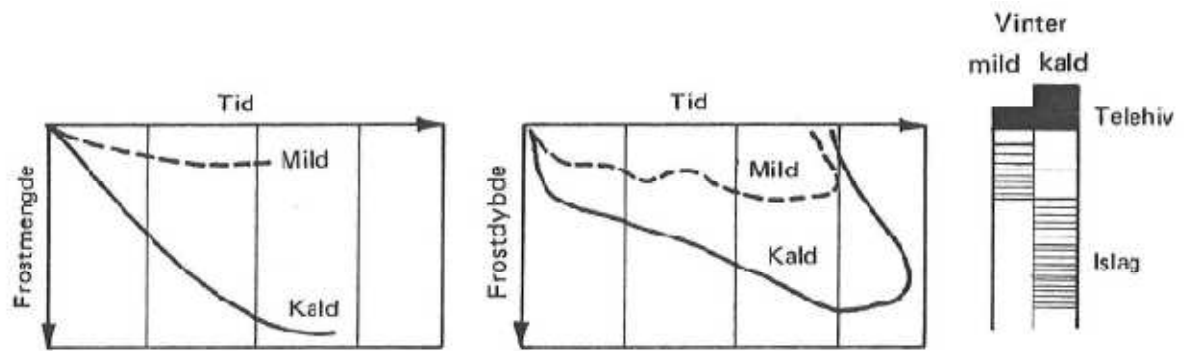


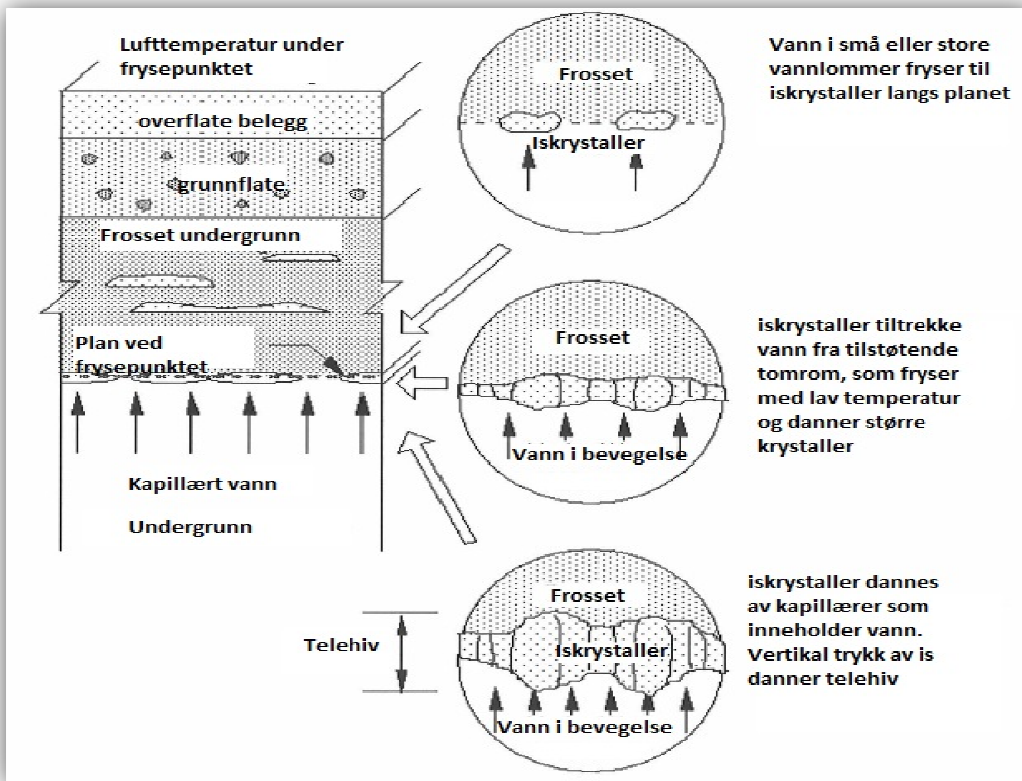
Fig. 1. Prinsipiell sammenstilling av frostmengde, frostnedtrengning, islagdannelse og telehiv i en mild og kald vinter.

Figur 2

Figur 2 illustrerer frostmengden og frostdybden som blir større med tiden. Dette kommer selvfølgelig an på hvor vi befinner oss, og hvor kaldt det er.

2 Mekanikken for frostinntrengning i undergrunnen

Når vann fryser til is ekspandere er det og frosten kan utvide seg ned mot -22°C . Porevannet kan få en volumøkning på 9-10% når det fryser. Dette vil da skape stort trykk som utvider veggen og danner hull. En undersøkelse fra Japan, som også er et "tunnelland", med en 1mm tykk sprekk (mettet med vann) i vegbanen, viste at det kan produsere et volumetrisk trykk på opptil 9-10 bar når vannet fryser. Dette er store krefter, som gjør mye skade.



Figur 3

Figur 3 illustrerer hvordan frostmekanikken dannes fra luft til vann i undergrunnen. Hvordan frosten oppfører seg når den fryser, og hva som skjer når trykk dannes. Forklaringen er; så lenge lufttemperaturen er under frysepunktet så kan den danne seg iskrystaller i undergrunnen. Dette hvis vegdekket i undergrunnen har tilgang på vann.

2.1 Årsaker til frostinntrengning

Det er flere fysiske årsaker til at frost trenger inn i tunneler. Disse kan oppsummeres med:

- Den drivende kraften for naturlig utskifting av luft i tunneler er temperaturforskjellen der varm luft er lettere enn kald. Den vil stige og bli erstattet med kald tung luft. Dette blir kalt **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 **stempeleffekt** fra trafikken påvirker frostinntrengningen. Særlig store biler drar med seg luft inn i tunnelen, og dette kalles for stempeleffekten.
- I høytrafikkerte tunneler med enveisløp og ventilasjon i trafikkretningen vil ventilasjon og stempeleffekt være dominerende. Frosten trenger langt inn i trafikkretningen og nesten ingen frost trenger inn fra utkjørselsiden. Frostinntrengningen i slike tunneler er lite påvirket av pipeeffekten.
- I tunneler med asymmetrisk frostprofil (lengre tunneler med stigning og enveis høytrafikkertunneler) er det uvanlig at frost trenger lenger inn enn 300-500m fra øvre åpning med utkjørende trafikk. Usikkerheten knyttet til frostinntrengning er så stor at alle tunneler med lengde inntil 500 m skal dimensjoneres for frostmengden ute (F_{10})(Se kap 2.3). For lengre tunneler vurderes frostinntrengningen i hvert enkelt tilfelle. Et eksempel på det er Korgfjelltunnelen som er beskrevet mot slutten av denne rapporten.
- Prosjekteringsfeil, der utførelsen kan ha blitt gjort på feil måte.
- Brøyting og salting av veg er ikke alltid gunstig, siden smeltet snø danner vann og is på vegbanen som kan tine og igjen fryse, og dermed virke inn på isolasjonsmaterialet.
- Sprengsteinsfylling i vegtunneler kan være åpne, som kan skyldes dårlig utførelse og kontroll i undergrunnen. Det kan være mindre feil som blir oversett under byggingen av vegen, men som kan danne større konsekvenser senere. Eksempel: prosjektering av vegdekke blir gjort på feil måte.
- Piggdekk tærer på vegen og vannlommer kan dannes. Hvis det er mindre porer kan det bli gjennomtrengning av vann som dannes til is. Utvidelse av vegbanen er da et faktum.

Konsekvenser som oppstår er:

1. økt poretrykk vil gi redusert effektivspenning
2. effektiv spenning vil redusere skjærstyrken
3. ved redusert skjærstyrke vil vi få reduser bæreevne av vegfundamentet.

Alt dette har små eller større innvirkninger på problemet som kan dannes underveis. Som regel er det den gamle vegbanen som får de største påkjenningene, men det har vist seg at selv på de nye konstruksjoner kan skader oppstå.

Dagens vegtunneler er vanligvis frostsikret i åpningene, men selv med frostsikring så har det vist seg at telehiv kan oppstå lengre inne i tunnelen. De største påkjenningene er i

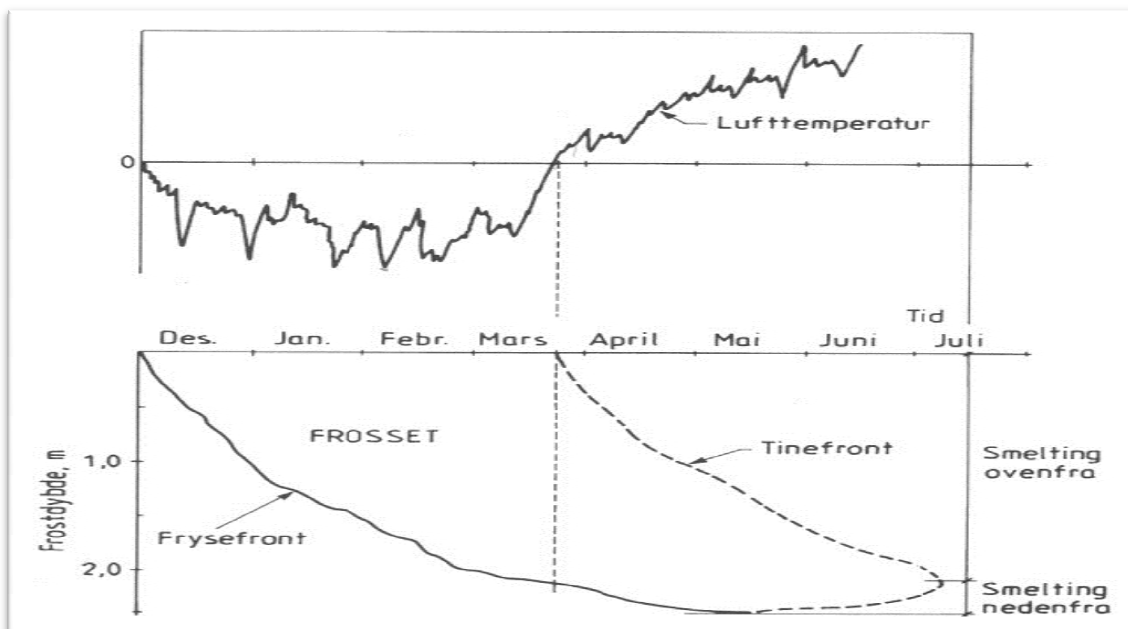
inngangspartiet og ved utgangspartiet i hver ende hvis tunnel(er) er bygd på toveistrafikk(en fra hver side).

Frostisolasjonen dimensjoneres i henhold til frostmengden på stedet. Ved fastsettelse av dimensjoneringskriterier legges vanligvis frostmengden F_{10} (h°C) som dimensjonerings grunnlag, som finnes for hver enkel kommune i vedlegg A.

Lokale forhold kan variere og kan gi større frostmengde enn F_{10} (h°C) som er angitt for kommunen. Dimensjonerende frostmengde bør da fortrinnsvis baseres på lokale målinger.

2.2 Hvor langt ned går frosten i undergrunnen

Figur 4 illustrerer vinterperiode med kuldegrader, og frosten som dannes.



Det som er viktig å merke er følgende:

Figur 4

- Når temperaturen stiger vil ikke frosten i underlaget avta med det samme, men forstette å fryse en liten stund til. Dette skjer på grunn av god isolasjon ovenfra, både fra vegdekket og tunnelens egen skygge.
- Tunneler med toveistrafikk vil få større påkjenninger enn enveistunneler. Dette på grunn av trafikkmengden. Hvis trafikken er stor (ca. 10.000 passerende biler pr. dag) vil særlig store biler ta med seg både snø og kald luft inn, som vil skape stempeleffekt.

I forhold til hvor langt frosten går ned i undergrunnen, er det store forskjeller i kommunene, siden kyststrøkene har mer regn og innenlandsstrøkene har mer snø.

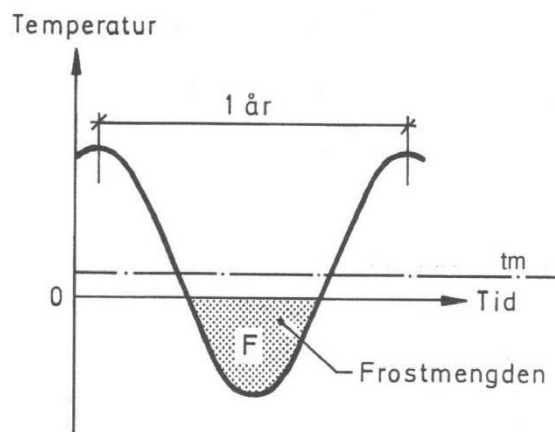
De viktigste dataene i frostteknisk sammenheng er stedets frostmengde, årsmiddeltemperatur og dimensjonerende lufttemperatur, der regn og snø har betydning for temperaturforholdene i undergrunnen.

2.2.1 Frostmengde

Frostmengde F , (se figur 5) er et måledata som viser hvor lang vinteren er. Frostmengden kommer frem som lufttemperaturen når den er under 0°C , og multiplisere med det antallet timer man har som frost.

Eksempel:

I løpe av en uke kan døgntemperatur være -10°C en dag, fem dager med -5°C og den siste dagen $+3^{\circ}\text{C}$. Frostmengden i løpet av denne uken kan regnes som: $(10 \cdot 1 + 5 \cdot 5) \cdot 24 = 840$ timegrader i løpe av ei uke.



Figur 5

For lengre tunneler vurderes frostinntrengningen i hvert enkelt tilfelle. Vurdering av lokale forhold legges til grunn, kombinert med erfaringer fra lignende tunneler.

Vegtunneler bør frostsikres på en lengde mellom 300-500m, men om det er mulig bør det utføres målinger av trekkforholdene i tunnelen. Sikringen kan bli utført ved å montere en avskjerming som fører vann ned til grøften. Hvis frostmengden overstiger en angitt grense vil avskjerming bli utført som en isolert konstruksjon.

2.2.2 Konstruksjonstyper

- Tunge konstruksjoner (**Betongkonstruksjoner**)
- Lette konstruksjoner (**Platehvelv av metall / plast**)

2.2.3 Valg av konstruksjon

Valg av konstruksjon bestemmes ut fra tunnelklasse (enveistunnel der samtlige biler kjører kun inn på den ene siden og kommer ut på den andre, eller tofeltstunnel der det er trafikk i begge retninger), frostmengde, krav til vedlikehold, estetikk, og økonomi. Der alle de nye konstruksjonene skal godkjennes av vegdirektoratet for forventet levetid. Materialvalg, teoretiske beregninger og erfaring spiller en stor rolle for løsninger. Selve løsninger pr. i dag bør gi grunnlag for lang levetid av selve konstruksjonen, men det bør også tas hensyn til spesielle forhold ut fra lokale (kommunale) vurderinger.

Avhengig av trafikkmengde, type tunnel, geografisk plassering og forhold knyttet til drift og vedlikehold vil det være store forskjeller når det gjelder fare for nedbrytning av korrosjon materialer. Generelt gjelder påvirkning fra lekkasjevann (vegsalt og det generelle fuktnivået i tunnelen) forhold som kan føre til nedbrytning av konstruksjonene. Innkjøringssonene er derfor spesielt utsatt.

2.3 Frostsikringslag

Kravene til frostsikringslag er å hindre at frostmengden skal medføre skader på veg eller andre konstruksjoner som følger av telehiv og bæreevneegenskap.

Overbygningen over frostsikringslaget skal dimensjoneres slik at trafikkbelastningen ikke medfører ødeleggelse av frostsikringsmaterialet eller forårsake skadelige deformasjoner. Overbygning ved $F_{10} \geq 10.000h^{\circ}C$ har krav til frostsikring.

Som frostsikringslag kan man benytte sand, grus og steinmateriale (lettklinker eller skumglass), og isolasjonsplater av ekstrudert polystyren (XPS). Dette skal skje ut fra dimensjonerende frostmengde som varierer med konstruksjonstype, vegtype og trafikkmengde.

Bruk av sand, grus og steinmaterialer som frostsikring er mest aktuelt ved nyanlegg, hvor det er god tilgang på rimelige materialer, eksempelvis overskudd av telesikre materialer. Effekten av frostsikringen blir i dette tilfellet ikke fullverdig. Dette antas likevel ikke å gi nevneverdig telehiv.

2.4 Frostsikring med isolasjonsplater

Bruk av isolasjonsplater kan øke isingsfaren på vegoverflaten omhøsten. Isingstendensen vil minske med økende overbygnings tykkelse og med minkende isolasjonstykkelse, men særlig er fukt innholdet i materialet overplaten avgjørende. Det er derfor en fordel, rent isingsmessig, å benytte materialer med et finstoffinnholdsom ligger nær opp mot det tillatte.

Blant plastmaterialene har ekstrudert polystyren (XPS) vært mest benyttet til frostsikring av vei konstruksjonen. Materialet er forholdsvis sterkt (høy trykkfasthet) og har gode fuktegenskaper sammenlignet med de fleste andre plastmaterialer. Isolasjonsmaterialet bør plasseres nederst i overbygningen, normalt med et avrettingslag under isolasjonsplatene (Se figur 6).

Den store tiden for XPS var på 1970 og 1980-tallet, men den blir også brukt for nåtidens vegbygging.

Andre platematerialer som er benyttet for vegkonstruksjoner mot frost er ekspandert leire, skumglassgranulat og lettklinker (Leca).

2.4.1 Skumglassplater

Plater av skumglass er tidligere benyttet til frostsikring av brufundamenter og vegfundament, men er i dag lite aktuelt på grunn av relativt høye materialkostnader. Skumglassplater har vært regnet for å ha svært gode egenskaper med hensyn til oppfukning på grunn av den lukkede cellestrukturen, det vil si at de bevarer sine isolasjonsegenskaper over lang tid.

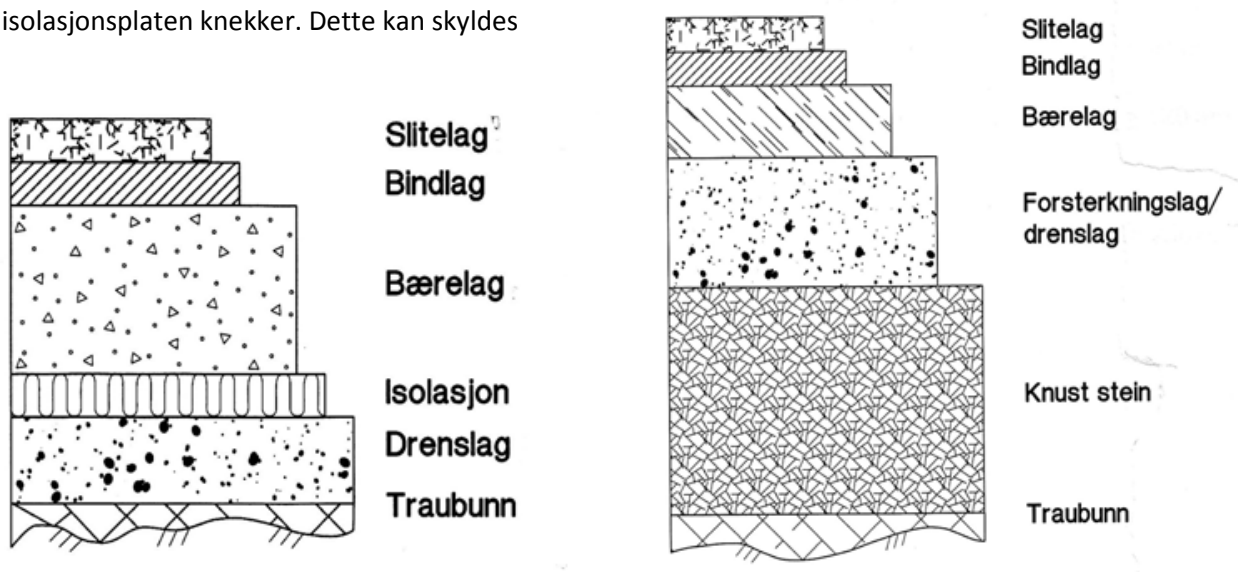
2.4.2 Andre materialer (EPS)

Bruk av ekspandert polystyren (EPS) til frostsikring av vegkonstruksjoner har vært meget begrenset. (Bruk av EPS til lette fyllinger har vært omfattende.) Den begrensede bruken av EPS til frostsikring for vegkonstruksjoner skyldes i hovedsak at EPS (sammenlignet med XPS). EPS har betydelig dårligere egenskaper mht. fuktopptak, som reduserer isolasjonsevnen.

2.4.3 Ekstrudert polystyren(XPS)

Oppbygningen av overbygning ved bruk av isolasjonsplater er som vist i figur 6. Frostsikringen må omfatte hele tunnelbredden. Bruk av isolasjonsplater som frostsikring er særlig aktuelt når det ikke finnes materialer i veglinjen som kan benyttes til dette. En løsning som inkluderer frostsikring med isolasjonsplater som krever nøyaktig utførelse og gode kvalitetssikringsrutiner for å sikre ønsket kvalitet. Bruk av isolasjonsplater som frostsikring er særlig aktuelt når det ikke finnes materialer i veglinjen som kan benyttes til dette.

Problemet som kan oppstå er at isolasjonsplaten knekker. Dette kan skyldes



Figur 6

Figur 7

dårlig jevnhet mellom drens laget, og eller for tung last, som kan tilbakevise til dimensjoneringsfeil eller dårlig utført kontroll. Det kan også forekomme krakelering. Dagens metoder blir utført etter håndbøker gitt fra Statens Vegvesen, der den reviderte håndboken ble utgitt i år. Vegbyggingen i den nye vegnormalen har ennå ikke blitt testet ut i praksis, på grunn av at man må vente 1-5 år for å "vente og se" om den nye vegdekkoppbygningstypen vil holde bedre stand enn den gamle. Figur 6 og 7 illustrer den nye måten å bygge på, fra traubunn og opp til slitelaget og asfaltering.

2.5 Omfang av frostsikring

Ved dimensjonering av vegoverbygninger i Norge er det normalt at bæreevnen sikres for teleløsningen. Vegkonstruksjonen bør frostsikres, som vil kreve tiltak utover det rent bæreevnemessige. Det er derimot vanlig at stikkrenner og overganger mellom telefarlig og ikke-telefarlig undergrunn skiller ut slik at effekten av tele dempes. Dimensjoneringen av bæreevnemessige er det som vedlegges mest i Norsk vegbygging, og kravene til jevnhet er kritisk, for å få den type kvalitetskravet enn vil ha.

2.6 Oppbygning (bæreevne)

I de tilfeller hvor isolasjonslaget består av "myke materialer" som XPS har bæreevnen vært vesentlig å ta vare på.

Det skyldes flere forhold:

- platene er ødelagt (overbelastet) i anleggs perioden.
- bærelaget over platene avviker fra kvalitetskravene, som ved for høyt finstoffinnhold.

Det har vist seg at en tradisjonelt oppbygd veg kan tåle mindre kvalitetsavvik i bærelaget uten at det får dramatiske konsekvenser for vegdekkets levetid.

For en isolert veg kan derimot små avvik ha store konsekvenser. Hvorfor det er slik vites ikke, men det kan ha sammenheng med at det burde stilles større krav til vannømfintlighet for bærelagsmaterialer over isolasjonsplater fordi platene ikke er drenerende.

2.7 Ising

I vegnormalene er isingsproblemet tatt vare på ved at det er gitt krav til tykkelsen av materiellagene over isolasjonslaget. For å unngå ising er det anbefalt at lagene over isolasjonslaget inneholder en del finstoff, som er i stand til å holde på vannet, men ikke så mye finstoff at materialet blir telefarlig eller vannømfintlig. Dette har i det senere tid vist seg å være feil metodevalg.

2.8 Frostinntrengning

Usikkerheten som er knyttet til frostinntrengning er så stor at alle tunneler med lengde inntil 500m skal dimensjoneres for frostmengden (F_{10}).

3 Norske tunneler

Norsk tunnelbygging har gjort seg konkurransedyktig på pris, dvs. at de bygges raskt til en lav pris. Det sies at lave byggekostnader gir høye driftskostnader og vedlikeholdskostnader. Her er det viktig å konsentrere seg om de faglige utfordringene, deretter diskutere kostnader som en konsekvens av det hele.



Figur 8

Før i tiden hadde Norge et tunnelkonsept som gjorde det i stand til å produsere flere tunneler med rimelige byggkostnader enn i andre land. Dette ble kalt for "low cost tunnels", og utført som "design as you go". Lave kostnader refererer til tunneldesign hvor kostnadene har blitt nøye vurdert i forhold til effekten på trafikken som kommer til å være.

Å bygge billig og drifte dyrt er ikke lenger et alternativ, det er et konsept som er tilpasset kvalitet og standard til den aktuelle trafikkmengden. Trafikkmengden på norske veger har det siste tiår fordoblet seg. Det er derfor viktig å bygge med tanke på mindre vedlikehold, selv om det koster mer.

3.1.1 Krav til dokumentasjon som bør stilles

- Levetid
- Forutsigbarhet

Dagens konstruksjoner av tunneler og veibaner bør utrykke seg som "**design for levetiden**".

For å forstå utviklingen på utbyggingen av tunneler i Norge så må man gå tilbake til 2.verdenskrig. Norge var langt unna den levestandarden som er i dag. Løsningen ble å utvikle kostnadseffekten som kunne forsvares politisk og økonomisk. Dette for å skape industriutvikling.

Den norske utbyggingen har vært viktig for utvikling av samfunnet. Tunneler som ble bygd i all hast hadde ikke noe krav til høy standard. Sikkerheten har alltid vært den samme, uansett trafikkbelastning. Mange norske tunneler har hatt ras og uhell, samt telehiv som har oppstått etter en kald vinter. Årsakene kan være mange, men på grunn av den gamle byggesikken har det utviklet seg problemer som har oppstått på grunn av feil dekkonstruksjonen og telehiv. Derfor stilles det

høyere krav til tunneler i dagens samfunn. Trafikken har i større grad økt, og sikkerheten bør være i takt med trafikken.

3.2 Levetiden for tunneler

Store kostnader spiller en stor rolle når relativt nye tunneler må gjennomgå større vedlikeholdsarbeid, på grunn av telehivproblemer eller vegdekke problemer som oppstår i vinterperioden. Mange av problemårsakene starter allerede i dimensjoneringsprosessen ved konstruksjonen av tunneler. Naturpåkjenningene er vesentlige for designutførelsen og trafikkpåkjenningen som bare blir større og større. Tunnelanlegg og konstruksjonsmateriale prosjekteres i et miljø og bygges i et annet. Dette kan føre til at kriteriene ikke holder mål.

Siden 1980-tallet er det blitt bygget relativt mange tunneler, som er bygget på andre kriterier enn det som er i dag. Konstruksjonen var ofte knyttet til rassikring, gode alternativ til fremkommelighet og vegløsninger. Etter en hel generasjon med enkle krav og løsninger på tunnelmetoder, var det tid for forandringer. Nye metoder for tunnelplanlegging ble videreført til den nye generasjonen arbeidere.

I nyere tid er det blitt større behov for rehabilitering av vegnettet i tunnelene som har fått telehiv eller krakeleringsskader.

Kvalitet på bygging av vegtunneler, både som frostsikring og vegbygging, bør ha større krav til lengre levetid slik at man slipper større kostnader ved vedlikehold, og større mengde utskiftninger.

Dagens tunneler bygges under betegnelsen "**moderne vegtunneler**" som er blitt til under utviklingen i de seinere årene. Det ble utviklet en strategi for dokumentering av byggematerialer og vegfundamenter. Med andre ord skal det være en teknisk rapport som skal innholde den geologiske dokumentasjonen med kartlegging og beskrivelser, der alt skal dokumenteres fra grunnundersøkelsen før bygging, til materiale som er blitt brukt til bygging. Rapporten skal inneholde en beskrivelse fra A til Å, alt fra detaljer, avvik og utførelser.

3.3 Liten trafikk

Ifølge vegvesenet er en rekke undersøkelser gjennomført der norske tunneler kommer relativt dårlig ut. Av ca. 1000 norske tunneler har under 5% to løp. Disse tunnelene som har tofeltsløp ligger som regel på hovedstrekninger eller på hovedvegen E6. Under 3% av disse tunnelene er bygd i Norge.

Gjennomsnittlig passerer det 2-5.000 biler pr. døgn gjennom norske tunneler. Ellers i Europa er gjennomsnittstrafikken godt over 10.000 biler. Kravet for å bygge tofeltstunneler er 10.000 biler i døgnet. Det er få plasser i Norge som har den type trafikk, med unntak av storbyer.

3.4 Tunneler med telefare

Frostinntrengningen i vegtunneler klassifiseres etter dens karakteristiske frostprofil. Man kan i dag dele det inn i fire hovedgrupper:

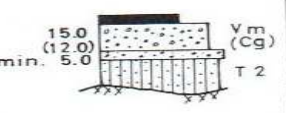
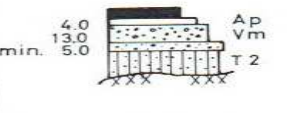
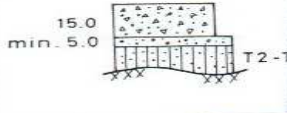
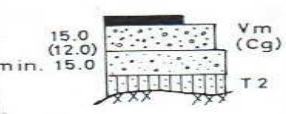
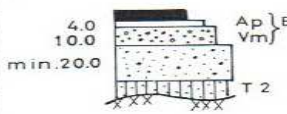
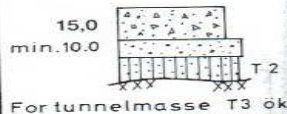
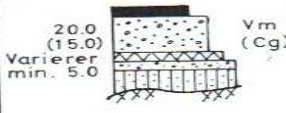
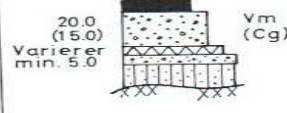
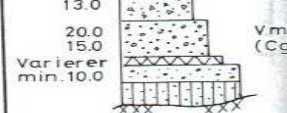
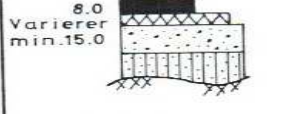

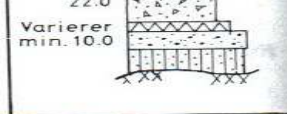
- Horisontale tunneler
- Tunneler med stigning
- Undersjøiske tunneler
- Høytrafikk-tunneler med mekanisk ventilasjon i trafikketningen







Slke typer tunneler har hatt mye problemer med telehiv og forstintingning.

4 Historisk bygning av vegdekke

Vegnormaler (fra håndbok 018, Statens Vegvesen vegbygging 1974, 1980, 2005 og 2010) har dimensjoneringsanvisninger bygget på enkle tabellverk der man kan ta ut tykkelser (for utformingen av vegbygging) for den enkelte kommune.

Det er i dag veldig liten grad av beskrivelse av hvordan man skal utføre frostinntrengning, men pr. i dag er denne utførelsen meget viktig.

Trau	F _{2t}	Bituminøst dekke		Betongdekke
		ÅDT-T < 200	ÅDT-T = 200 - 500	ÅDT-T < 500
Tørt	alle			
				
Vått	8000			
				

 Bituminøst dekke kfr. fig. 7 s. 114	 Skumplast, $\sigma \geq 350 \text{ kN/m}^2$	 Grus, sand T1
 Betongdekke	 Velgradert mat., Vm	 Subbus (telefartlig tunnelmasse)

Tykkelser i cm

Figur 9

Figur 7 illustrerer flere mulige valg av overbygning av vegdekket, men for større trafikkmengder må dekkets bærelag dimensjoneres på grunnlag av den aktuelle trafikkbeklastningen. Utførelsen av vegbyggingen kan være for tynn og det kan derfor forårsake store problemer, bl.a. telehiv. Figur 9 viser en enkel måte fra "gamle dager" å bygge veger på, noe som er veldig forskjellig fra i dag.

4.1 Bark

Bark ble benyttet en del på 1960-tallet og begynnelsen av 1970-tallet til frostsikring av vegkonstruksjoner, men i dag er det ikke lenger i bruk. Dette skyldes tildels at resultatene med bark på vegkonstruksjon ikke var gode nok, pga. at ujevnheter lett oppstår, og materialkostnadene gjorde det mindre konkurransedyktig på grunn av dårlig resultat.

4.2 Overbygning

4.2.1 Krav til overbygningen

Overbygningen skjer ved at lasten fordeles fra trafikken til undergrunnen, slik at det ikke oppstår skadelige eller uakseptable deformasjoner. Overbygningen skal derfor bygges opp av bæredyktige, ikke telefarlige og ikke vannømfintlige materialer, som beholder tilstrekkelig bæreevne hele året. Materialvalg og dimensjoner avhenger av trafikk, grunnforhold og klimatiske påkjenninger.

Vegoverbygningen skal sikres mot telehiv der frostmengden i tunnelen (F_{10}) er større enn 10 000 h°C.

4.2.2 Frost og klima

Overbygningen dimensjoneres for å sikre bæreevnen i den mest kritiske perioden. Dette hindrer ikke nødvendigvis frosten i å trenge ned i grunnen. Avhengig av vegens standard og forventede problemer med telehiving, kan det i slike tilfeller være aktuelt å utføre frostsikring. Dagens krav er at veger med fartssone over 60km/t skal frostsikres.

4.2.3 Kvalitet

Kvalitetshensyn kan berette for valg av knust grus og til dels knust fjell. Dette er som oftest vanskelig å få lagt ut uten at materialet knuses ned slik at det blir vannømfintlig. Det er viktig å være klar over dette ved valg av materialkvalitet og anleggsteknisk opplegg for å oppnå tilfredsstillende kvalitet på sluttproduktet. Til forsterkningslag bør det i størst mulig grad benyttes godt drenerende masser som pukk, kult eller sprengt stein. Grovknust stein er da et godt alternativ til økt lagtykkelse. Dette kan i tillegg gi et mer homogent forsterkningslag.

4.2.4 Forsterkningslag på frostsikringslag som sand/grus/sprengstein

Dersom frostsikringslag av sand, grus eller sprengt stein er tilstrekkelig tykt, kan tykkelsen på forsterkningslaget bestemmes ved å betrakte frostsikringslaget som undergrunn.

Ofte vil man kunne bruke sprengt stein til frostsikring. Ved spesielt åpne steinmaterialer kan frosten gå dypt. Det er viktig å ta hensyn til dette i dimensjoneringen. Frostsikringsmetode formateriale bør utføres etter følgende prioritering:

1. Kult eller sprengt stein
2. Sand og grusmaterialer
3. Lettklinker eller skumglass (granulære frostsikringsmaterialer)
4. Isolasjonsplater av ekstrudert polystyren (XPS)

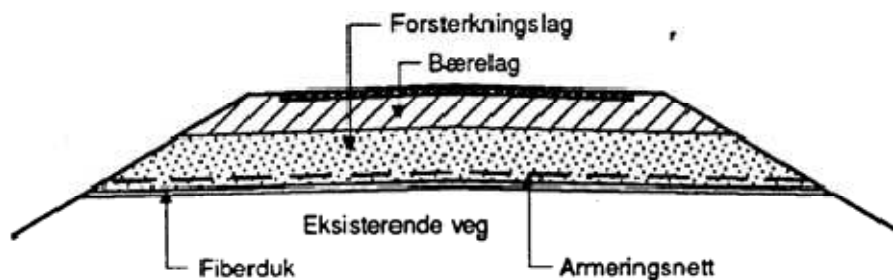
NB! En frostsikring av overbygning vil som regel ikke endre forholdene vesentlig når det gjelder telehiv. Dersom telehiv har ført til problemene tidligere, bør det vurderes spesielle sikringstiltak. For å eliminere telehivsproblemer kan vi gjøre følgende:

- masseutskiftning av vegdekket
- isolering
- omfattende drenering

Armering av dekket kan også være et bra tiltak for å redusere telesprekker, men tiltaket vil i liten grad redusere ujevn telehiv. Se figur 10.

Armeringen kan brukes i overbygningen ved å plassere den:

- i granulære eller bituminøse lag for å lukke telesprekker
- i bituminøse lag for å hindre eller redusere refleksjonssprekker i forbindelse med dekkefornyelse



Figur 10

4.3 Behov for forsterkning av vegdekke

For veger med forsterkningsbehov har vi problemer som følger:

- telefarlige og ustabile materialer i overbygningen
- for liten overbygning, sett i forhold til undergrunnsmateriale
- telehiv og ujevnheter (ved vurdering av større telesprekker vil stålnett være den sikreste løsningen)
- dårlig drenering
- svake kanter

Forsterkning er aktuelt når dekkelevetiden er unormalt lav i forhold til det som anses akseptabelt for den aktuelle dekketyper og trafikkbelastningen.

Den "Funksjonelle dekkelevetiden" er tiden man registrer fra dekke er nylagt til vedlikeholdstandard er nådd.

Funksjonell dekkelevetid fastlegges ut fra utviklingen i tilstandsverdiene for spor, jevnhet og den utløsende standard som er gitt for dekkefornyelse. Normal dekkelevetid er den dekkelevetid man bør forvente på en veg som er dimensjonert riktig.

4.3.1 Materialvalg ved nyanlegg

Som geoteknisk armering vil det ofte være styrkeegenskapene som er viktigst, og mange produkter kan brukes. Både metall (stålnett), plast og trematerialer kan være aktuelle.

5 Vegfundament som bygges i dag

5.1 Generelt

Valg av oppbygningen for vegfundamentet bestemmer tykkelsen av samlet vegoverbygning, og nivået for teoretisk sprengningsprofil (traubunnsnivå i tunnelsålen). Ved valg av materialer for oppbygning skal det gjøres en teknisk vurdering, der alle forhold som påvirkes av traubunnsnivået trekkes inn. Dette gjelder som følger:

- Sprengning og utlasting
- Behov for frostsikring
- Konsekvenser for grøftedybder og de installasjoner som inngår i drencsystemet
- Fundamenteringsnivå og valgt konstruksjon for vann og frostsikring.

5.1.1 9.2 Traubunn

Teoretisk sprengningsprofil skal legges på et nivå som gir plass til valg av vegoverbygningen. I praksis vil etablering av traubunn kreve en utlasting av overskuddsmasser eller oppfylling med egnede masser for avretting. Det forutsettes at gjenværende masser har tilstrekkelig bæreevne. Dersom bæreevnen under dette nivået ikke er tilfredsstillende, skal det masseutskiftes til et nivå som sikrer bedre bæreevne.

I dag gjør de dette ved å renses fjellsålen til "klink". Dette innebærer at de renses det helt ned mot fjellsteinmassen og bygger vegen fra traubunnen. Ved unøyaktighet kan dette skape vanddammer hvis traubunnen ikke renses sikkert.

Forsterkningslaget i tunneler skal bestå av åpne og velgraderte materialer, der laget også fungerer som et drenslag i sålenivå. Minimum tykkelse er 250mm.

Bærelagets tykkelse skal minimum være 120mm. Bærelag, bindlag og slitelag utføres for øvrig i henhold til figur 6. og 7. Overbygning ved $F_{10} \geq 10.000h^{\circ}C$ utformes slik at risikoen for ugunstig telehiv er liten.

Dette kan oppnås ved flere alternative utførelser som:

- Finrensket ut av tunnelsålen og oppbyggingen til avrettet traubunn med drenerende og ikke telefarlige masser
- Frostsikring med isolasjonsplater av ekstrudert polystyren.

5.1.2 Tunnelsålerensk

Tunnelsålen renses slik at det maksimalt blir liggende 50mm tunnelmasser på tunnelsålen. I tillegg må det ved sprengning av tverrgrøfter eller andre tiltak sikres, at vann som blir stående igjen på tunnelsålen blir ubetydelig

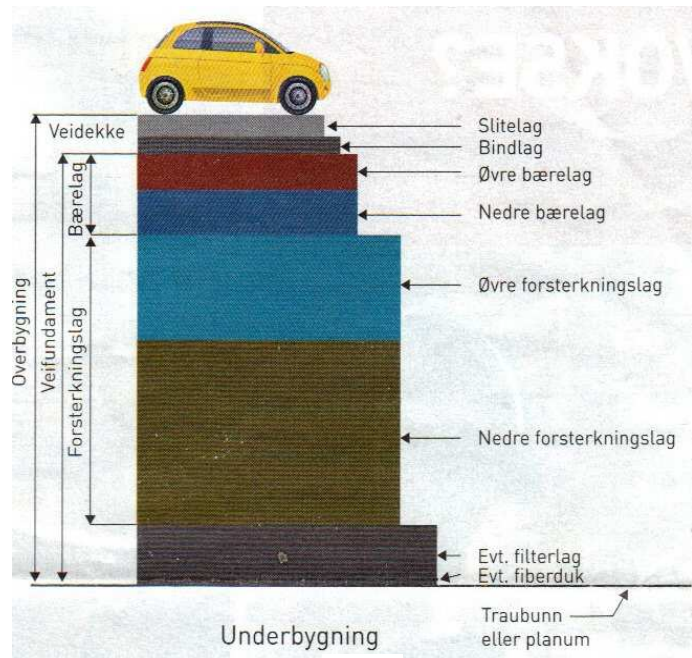
5.1.3 Forsterkningslag

Forsterkningslaget skal ha en tykkelse på minimum 500 mm. Laget vil da fungere som et kombinert

forsterkningslag og drenslag.

5.1.4 Drenslag og isolasjon

Over traubunnen skal det legges et drenslag med minimum tykkelse 100 mm inklusive avretting. Det skal benyttes stabile materialer som samtidig er drenerende. Drenslaget må ha så god jevnhet at det ikke er risiko for at isolasjonsplater knekker, nder utlegging eller komprimering av bærelaget. Behov for herdetiltak vurderes ut fra fuktighetsforhold og lufthastighet (trekk) i tunnelen.



Figur 11

5.2 Nåtidens vegbygging

I flere år har vegnettets oppbygging vært utilstrekkelig, både med tanke på sprekker, telehiv, dårlig dimensjonering, og kontrollutførelse. En kan si at dette er det aller nyeste på markedet. Sist gang en håndbok om vegbygging kom ut var i 2005, og den aller nyeste reviderte versjonen så seint som i januar i år 2011.

En må skjerpe kravene til frostsikring noe som betyr at vegbyggingen blir dyrere. Alle veger som blir bygd i dag, prosjekteres fra håndbok 018. Statens vegvesen har revidert en del der, spesielt det med tanke på drenering, og utbygging av grøfter, for å få vannet ut og føre det til grøftene.

Det er en mengde krav som stilles, hvordan veger skal bygges, der alle avvik bør dokumenteres og søket spesielt hos Vegdirektoratet. Dimensjonering av vegbanen er 10 år etter nye krav.

5.3 Asfalt opp mot betong

Det brukes asfaltdekke ved bygging av vegdekke i stedet for betong for å redusere støv etter piggdekkbruk. Dette gjelder i Norge.

5.3.1 Asfaltdekker

Asfaltdekker kan brukes på alle vegtyper og for alle trafikkbelastninger.

5.3.2 Betongdekker

Betongdekker er spesielt aktuelt på riksveger og høytrafikkerte veger.

Betongdekker skal ikke benyttes uten at det er utført tiltak som sikrer mot skadelige telehiv.

5.3.3 Konsekvensvurdering

Valg av dekketype har en rekke konsekvenser for trafikanten. Valget av dekketype må vurderes i forhold til mulige innvirkninger på miljø, naturressurser og samfunn.

De viktigste funksjonsrelaterte krav er:

- Motstand mot permanente deformasjoner
- Motstand mot piggdekkslitasje
- Friksjon
- Sprekker, krakelering
- Slaghull
- Dekketykkelse

6 Krakelering

Krakelering kan beskrives som et mønster av sprekker i flere retninger i form av rutenett mønster. Krakelering opptrer som langsgående sprekker med fine sprekker på tvers av vegbanen. Stor belastning av trafikk vil tversgående sprekker bli godt markerte, og karakteristiske rutenett framtrer.



Krakelering vil som regel bli knyttet til normalt belastning fra trafikk, og være mest vanlig i hjulsporene. Fenomenet kan oppstå i spesielle tilfelle som rundt kummer og sluk.

6.1 Skadeårsak

Asfaltdekke fra trafikkmengden vil være utsatt for bøyingspåkjenninger ved belastninger fra trafikken. For normaleveg konstruksjoner fører dette til vekslinger av trykkpåkjenningen på oversiden og under av vegen. Hvis tøyninger overskrider dekkets utmattingssegenskap i forhold til belastning, vil det oppstå krakelering.

- Utilstrekkelig bæreevne i forhold til belastningene på veg konstruksjonen.
- Dårlig drenering kan være årsak til redusert konstruksjonen bæreevne.
- For tynt dekke
- Vannømfintlige materiale finnes for nær dekke
- Vegdekke kan være stivt, at den ikke klarer å følge bevegelsene til de underliggende lagene.

6.1.1 Kjennetegn

Størrelsen på rutene kan variere som:

- smårutet krakelering
- storrutet krakelering

6.1.2 Årsak

Hovedårsak til smårutete krakelering vil være knyttet til bærelagskvalitet. Størrelsen på rutene ved krakelering vil gi en indikasjon på hvor i konstruksjonen påkjenningene oppstår. Ved små ruter ligger årsaken høyt oppe i konstruksjonen. I tynt eller åpent asfaltdekke på et telefarlig eller ustabil grusbærelag, er det ikke uvanlig at smårutet krakelering oppstår etter bare noen få måneder vegen har blitt lagt. Kartleggingen av vegkonstruksjonens oppbygning er årsak til krakelering. Da er det nødvendig med tiltak for utbedring som:

- Økning av vegens bæreevne gjennom forsterkninger av bælaget
- utskiftning av vannømfintlige materiale
- bedring av vegkroppens styrke gjennom drenering.

Storrutet krakelering oppstår i de kritiske påkjenningene ved vegkonstruksjonen forsterkningslag eller i underbygning. Skadene kan forklares ved at de kritiske påkjenningene først oppstod dypt nede i vegkonstruksjonen. Den type krakelering som oppstod, fører til at vann komme i undergrunnen, bærelag kan da få deformasjon på grunn av dette.

Hovedårsaken til storrutet krakelering av vegkonstruksjonens oppbygning og årsakene til krakelering vil være høyst nødvendig for å utføre riktige tiltak som:

- Økning av vegens bæreevne gjennom forsterkning av bærelag med drenerende materialer.
- Utskiftning av vannømfintlig og telefarlig masse
- Bedring av vegkroppens styrke gjennom drenering.

7 Drenering

Vannlekkasjer i tunnel skal føres frostsikkert ut av tunnelen via drencsystemet. Leekasjer i vegger og heng samles opp ved at det monteres en avskjerming som fører vannet ned til grøft (se punkt 7.6).

Vannlekkasjer i tunnelsåle er like vanlig som lekkasje i vegger og heng. Leekasjene samles opp via et drencslagsom plasseres over avrettet traubunn. I tillegg til et drencsystem for lekkasjevann skal det også etableres et eget system for overvann og oppsamling av vann fra vasking av tunnelen.

Alternativt kan det vurderes å etablere et system for oppsamling av vaskevann utenfor tunnelen.

7.1 Dreneringssystem

Når tunnelen er drevet vil fordelingen mellom våte og tørre partier og samlet mengde vann være kjent. Ved dimensjonering av drencsystem skal blant annet følgende forhold vurderes:

- forventet lekkasje
- mulige endringer i lekkasjer over tid
- behov for reservemagasin i forbindelse med lavbrekk
- behov for hjelpedrenggrøfter i våte partier
- frostsikring av drencsystemet, inklusive kummer

Drengsrør i hovedgrøft skal ha en innvendig diameter på minimum 150mm. Drengsrør i hjelpegrøft skal ha innvendig diameter på minimum 100mm.

Tillegg til drengsledningen kan det være nødvendig å benytte egen transportledning for drengsvann. Det benyttes da en egen transportledning fra det sted i tunnelen der samlet lekkasje fører til at mer av drengsledningens kapasitet er utnyttet. En egen transportledning vurderes ved lange strekninger med lite fall og med fare for tilslamming i drengsledningen.

Hovedregelen er at drencsystemet legges etter at tunnelen er ferdig drevet for å unngå tilslamming. Der det er aktuelt med legging av drencsystemet parallelt med driving skal det ved dimensjonering tas hensyn til eventuell uforutsett økning i lekkasjemengden og fare for tilslamming.

7.1.1 Grøfter

Teoretisk sprengningsprofil for grøftebunnen definerer underkant av ledningsfundamentet.

Ledningsfundamentets tykkelse skal være minimum 150mm. Grøften skal plasseres i tilstrekkelig avstand fra tunnelveggen slik at fundamentering for eventuelle vann og frostsikringskonstruksjoner og sikringsstøp kan utføres utenfor grøft i sålenivå.

Dersom frostmengden i tunnelen (F_{10}) er større enn 6 000 h°C skal drencsystemet frostsikres med isolasjon eller med tilstrekkelig dyp grøft.

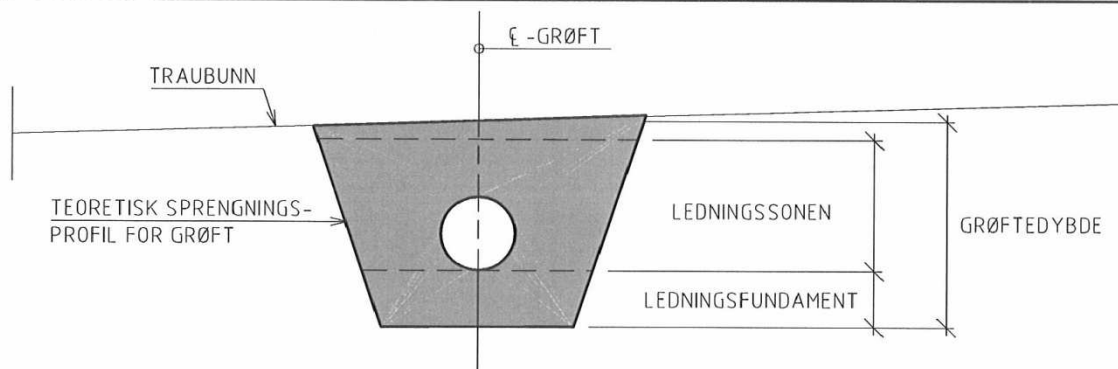
Risiko for at kuldebro kan dannes i overgang mellom grøft og vann. Dette skal vurderes spesielt.

I tilfeller med store lekkasjer kan det være hensiktsmessig å anlegge grøfter på hver side i tunnelen.

7.1.2 Krav til grøftedybde

Til frostsikring av grøfter benyttes fortrinnsvis skumglassgranulat eller lettklinker. I de tilfeller der isolasjonsplater benyttes til frostsikring, skal det benyttes ekstrudert polystyren (XPS) med korttids trykkfasthet. Ved isolasjon av grøftene skal isolasjonen legges dypest mulig i grøfta. Det må settes krav til komprimering slik at platene ikke overbelastes.

Frostmengde i tunnel, F_{10T} ($h^{\circ}C$)	Minimum avstand fra topp ferdig veg til ledningsfundament (m)	Kommentar
< 6 000	-	Ingen krav til frostsikring
6 000 - 10 000	1,0	
10 000 - 15 000	1,5	
> 15 000	-	Grøft og kummer skal alltid frostisoleres



8 Formler ved dimensjonering

Dette er formler som har blitt brukt for excel-filer for å finne, frostdybde og frostmengde.

8.1.1.1 Frostmengden

er definert som tids integralet av negativ temperatur gjennom vinteren.

Praktisk regnemåte:

$$F = 730 \times \sum (v\text{måned}), h^{\circ}C$$

Krav: $v\text{måned} \leq 0^{\circ}C$

V måned = månedsmiddeltemperatur, $^{\circ}C$

F = frostmengde, $h^{\circ}C$

Frostmengden kan finnes i vedlegg del A for den enkelte kommunen der F_{10} eller F_{100} blir vanligvis brukt.

F_{10} er frostmengden som overskrides statistisk en gang i 10-års perioden

F_{100} er frostmengden som overskrides statistisk en gang i løpe av 100-års perioden.

8.1.1.2 Årsmiddeltemperatur

Årsmiddeltemperatur er Gjennomsnitts temperaturen av hele års temperaturen.

8.1.1.3 Frostdybde

Frostdybden kan finnes ved å ta roten av $\sqrt{(\sum(Frostmenden))}$

8.1.1.4 Loggintervall

Loggintervall på målingene som har blitt gjort er 3 timer mellom hver registrering av måldata.

8.1.1.5 Antall Timegrader

Antall timegrader er den negative temperaturen som blir målt i ett intervall av 3 timers periode. For å finne den riktige timegradene ble det brukt en formel for å få all den temperaturen som var over 0 grader til å bli 0 og minusgradene skal ,multiplisert med loggintervall for å få antall timegrader. Bare får å vise hvis timegraden var slik $F_{10} \leq 10.000h^{\circ}C$ siden dette er den formelen for å dimensjonere vegdekke for forstinntregning.

Det har vært en stor mengde data med temperaturmålinger fra Stalheimstunnelen, Korgfjelltunnelen og Omskardtunnelen som har gått på å finne de to parametrene på hvordan frost virker inn på vegdekket.

Det er best å gjøre en slik analyse i et program som hetter EasyView pro, men dessverre så funket ikke programmet pga. demo versjon, filene med temperaturmålingene ble gjort om til excel for videre analyse.

9 Analyse av frostforholdene i Stalheimstunnelen (Voss kommune) Korgfjelltunnelen (Hemnes kommune) og Umskardtunnelen (Rana komumue)

9.1.1 Fakta om Stalheimstunnelen

- Byggeår: 1979-1981
- lendge: 1166m
- 2 kjørefelt en i hver retning

Stalheimstunnelen befinner seg mellom Voss og Gudvangen når en kjører E16. Da tunnelen ble bygd på 1980-tallet fikk den telehivsproblemer bare få år etter åpning.

Tunnelen er bygget på stigning retning Voss i lengderetningen. Tverrfallet er bygget etter nyere håndbøker(utbedret siden 1980-tallet), og stigningen varierer mellom 1 til 6 %. Vegfundament er bygget av sprengt stein (stein fra tunnelen). Det er sprengt ca 1 meter under ferdig veg, og noe dypere i grøft. Fundament er så bygget opp med: Sprengt stein ca. 75 cm, knust grus ca. 15 cm og 2 lag asfalt: Hvert lag ca 5 cm.

9.1.2 Problemer som har oppstått

I 1981 og 1982 var problemet med isen som dannet seg i sidene av (tunnelveggen) og kom fram i vegbanen. Grunnen til dette er, grøften var ikke dyp nok dvs. at den ikke ble sprengt slik som håndbøkene viste.

Vinteren 81 / 82 ble det montert vannsikring i form av Pe-plater (Ethafoam). Dersom entreprenøren valgte å benytte isolasjonsplater av ethafoam eller tilsvarende for isolering mot lave temperaturer, kan disse anses å ha tilsvarende fuktisolerende effekt som plastfolie, forutsatt at mattene er uskadde og har tette omfarskjøter og tilslutninger. Plastfolien må være tilstrekkelig robust til å tåle den trafikken og de påkjenningene som måtte forekomme.

9.1.3 Løsning på problemene

Sommeren 1982 ble drenering forbedret ved å sprengte dypere grøft og legge nye rør i problemområdet. Etter dette ble det ikke flere telehivsproblemer i denne tunnelen.

9.2 Resultater for frostmengde og frostdybde

Statens vegvesen har hatt temperaturmålere utplassert for så å samle inn temperaturdata. Dette har blitt brukt for å finne de nødvendige parametrene samt gi et innblikk på hvordan en kan gjøre dette i praksis.

Temperaturloggere ble utplassert flere plasser i tunnelen.

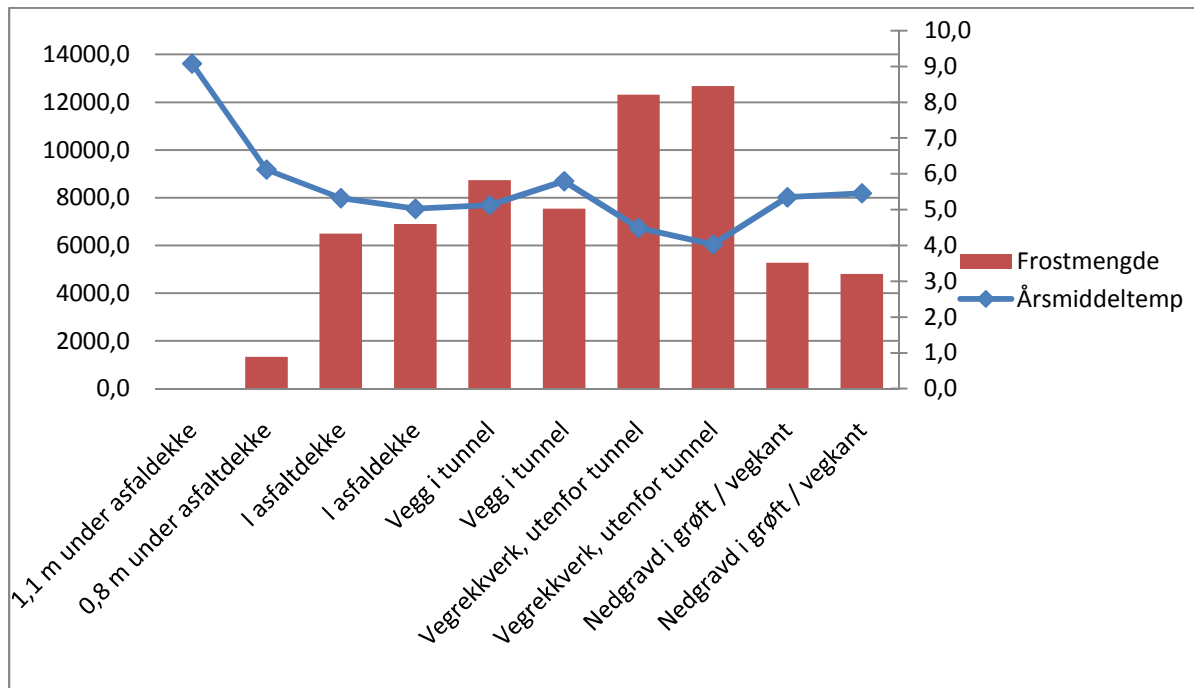
Det ble gitt følgende føringer for plassering av temperaturfølerne :

9.2.1 Plassering av de enkelte temperaturmålerne

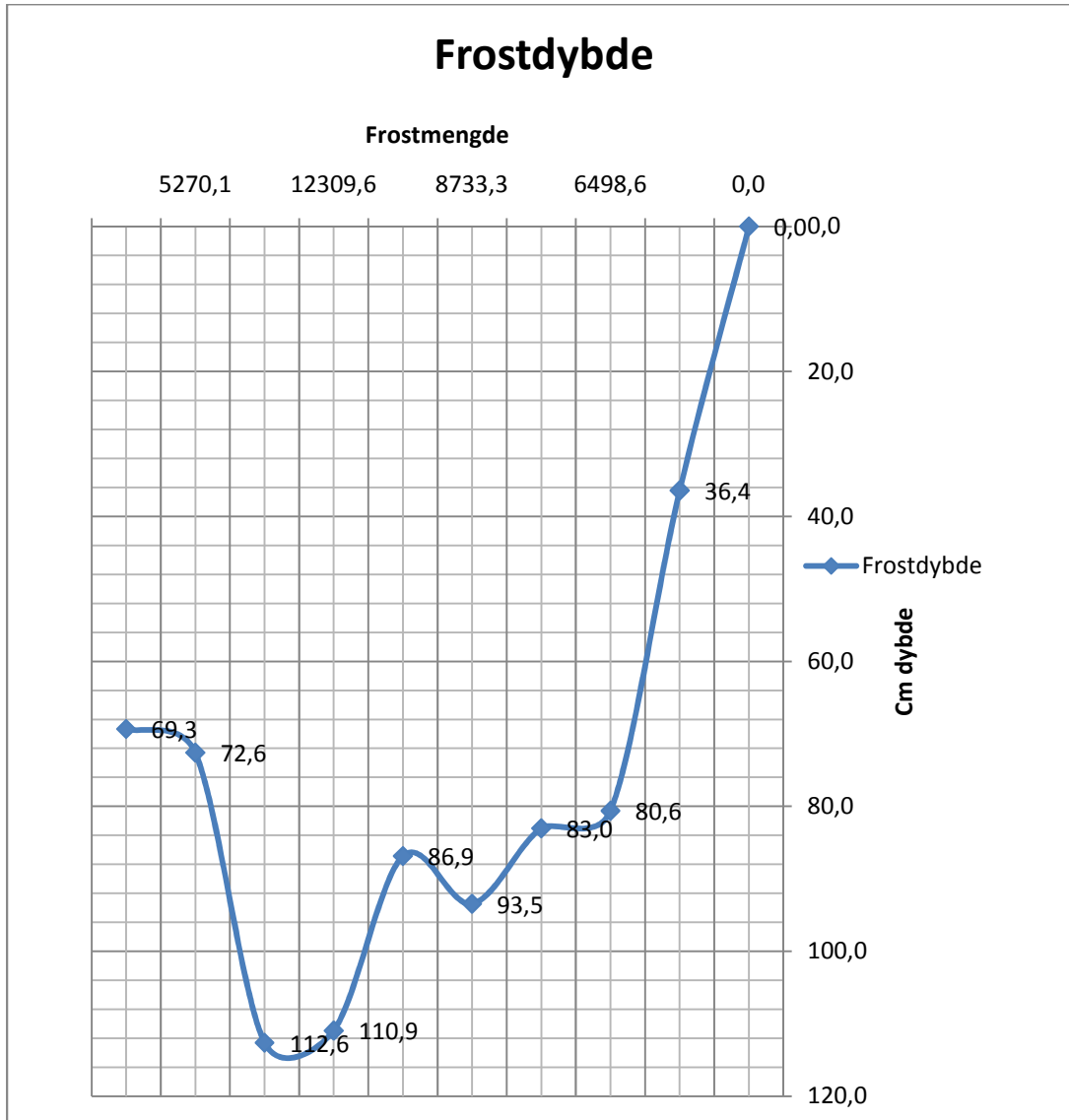
Ref.nr	Kommentar
1	Ca. 80 meter inn i tunnel, dybde ca. 1.1 meter under topp asfaltdekke
2	Ca. 82 meter inn i tunnel, plassert i asfaltdekke
3	Ca. 83,5 meter inn i tunnel, dybde ca. 0,8 meter under topp asfaltdekke
4	Ca. 85,3 meter inn i tunnel, plassert i asfaltdekke

Obs! Det er flere temperaturmålere i vedlegg, dette siden det var brukt 2 målere til en og samme måling i tilfelle en ikke skulle virke, slik at resultater kunne fastsettes.

9.2.2 Frostmengde og årsmiddeltemperatur

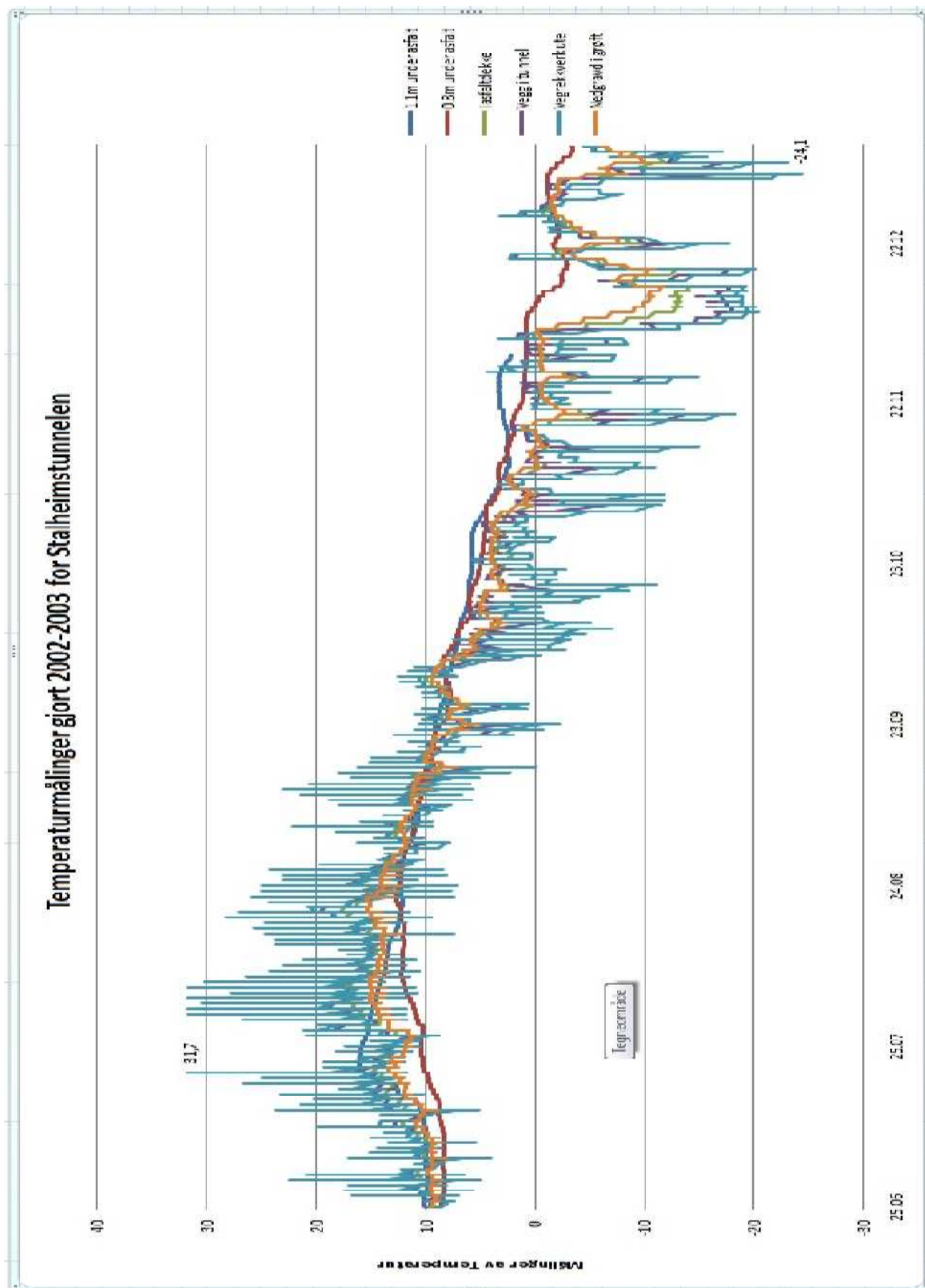


9.2.3 Frostdybde resultater fra Stalheimstunnelen vinteren 2002/2003



- Målinger på frostdybderesultater kan man finne i vedlegg B. Har tatt med alle målingene som har blitt gjort vinteren 2002/2003 for å vise at det ikke er store forskjeller ved måling. Grafen får en grei frostdybdekurve som er i samsvar med realiteten. I tabellen vedlegg A. punkt 12 finner vi at frostmengden for $F_{10} \geq 10.000$. Frostdybde kan variere fra plass til plass på hvor loggerne befinner seg i tunnelen for måling av temperatur. Temperaturloggerne ute viser større frostdybde enn i selve tunnelen, men dette er siden det er kaldere ute enn inne. Det sies at jo lenger inne i tunnelen vi kommer vil frosten avta. Dette kan vi se i tabellen ved å sammenligne det med vedlegg B der resultatene ligger om Stalheimstunnelen. **NB! Ved mekanisk ventilasjon i trafikketningen vil frosten komme enda lenger inn i tunnelen. Dette betyr at frostfrisonen må beregnes manuelt. Den kan være nødvendig å utvide vegnormalens anbefaling på 500meter, for ikke å få forstintrengning lenger inne i tunnelen.**

9.2.4 Temperaturmålerne i hele skala vinter 2002/2003



Ut fra grafen kan vi se at 0.8m under asfaltdekke, beveg seg sakte med sikkert jo kaldere det blir, men dataen er bare om vinteren. Dette viser ikke den totale frostmengden gjennom hele vinterperioden. En kan se at selv om det er 31.7 °C inne i tunnelen er det bare 10 grader 0.8m under asfaltdekke. Temperaturen i lufta og i undergrunnen ikke er symmetriske. Dette skyldes at det er kaldere under bakken en i lufta. I vinterperioden er det ganske kalt, der - 24.1 °C så vidt under 5 grader under 0.8m i vegdekke, men en kan ikke se helheten ut fra denne grafen.

9.3 Korgfjelltunnelen og Umskartunnelen

Korgfjelltunnelen

- Byggeår 2001-2005
- Lengde: Korgfjelltunelen 8533m
- 2 kjørefelt en i hver retning

Korgfjelltunnelen ligger mellom Vefsn kommune og Korgen i Hemnes kommune i Nordland fylke. Dette er den 4 største tunnelen i Norge og den største på E6.

Umskartunnelen

- Byggeår: 2004-2006
- Lengde: 3670m
- 2 kjørefelt en i hver retning

Umskartunnelen ligger på E12 gjennom Umskaret i Rana kommune i Nordland.

9.3.1 Årsak til problemer (felles for begge tunnelene)

Hver vinter har det vært mer eller mindre telehivsproblemer. Tunnelene er prosjektert og bygd med hensyn til Vegvesenets retningslinjer, med antatt frostfrisoner på 500 m i hver ende. Telehiv har kommet i den delen av tunnelen(e) som er forventet å være frostfrie. Korgfjelltunnelen har telehiv ca. 3000 m inni tunnelen, unntatt i frostsonen på 500 m. Samme forhold er gjeldende i Umskartunnelen.

Frostsonene er lengre enn beregnet, blant annet pga. tvunget ventilasjon i retning nord-sør i Korgfjelltunnelen. Større frostmengder enn forventet fører til at vegfundamentet og drencsystemet fryser til utenfor frostsonene.

Utilstrekkelig drenering pga. at drencsystem sannsynligvis ble lagt på prosjektert nivå mens utsprengt nivå ligger dypere. I tillegg er det forsenkninger i traubunn hver 5m i salveskjøtene. Dermed ligger ikke traubunnen drenert. Mulig kollaps av drencrør pga. feil omfyllingsmasser og telekrefter.

Ved sprengning i tunnel blir glimmerrike materialer ofte hardt nedsprenget og finstoffet blir telefarlig. Bunnrensket kun innenfor antatte frostsoner. Det ble lagt finstoffrike og telefarlige forsterkningslagsmasser.

9.3.2 Løsning på problemene

For å løse problemet må man fjerne en eller flere av faktorene som vil fjerne telehiv, dvs.

isolering, utbedring av drenering eller masseutskifting av telefarlige materialer.

9.3.2.1 Isolering

Ved isolering vil man fjerne frosten og det vil derfor ikke være kritisk for telehiv om det bli stående igjen telefarlige materialer. Det er imidlertid en viss fare for bæreevnesvik hvis mye vann blir stående i de finstoffrike materialene. På grunn av frost fare i dreneringsystemet med påfølgende oppbygging av issvuller bør dreneringsystemet også frostisoleres. Isolering utføres med XPS-plater. Disse trenger en minimum overdekning for å beskytte de mot trafikkbelastningene, spesielt i anleggsperioden.

9.3.2.2 Utbedring av drenering

Tidligere erfaring viser at kun utbedring av drenering ikke vil fjerne telehiv da telefarlige masse har for liten permeabilitet til å dreneres effektivt nok. En utbedring av drenering må derfor gjøres i samband med masseutskifting for å få effekt. Utbedring av drenering må utføres ved å senke dreneringene til et nivå under utsprengt traubunnsnivå med frostisolering hvis nødvendig eller til frostfri dybde. Traubunn bør også justeres med sprengning av terskler eller oppfylling av forsenkninger med betong for å sikre avrenning. En utfordring med dreneringsystemet er at det ligger inn under bakkenetter og dermed vil komme i konflikt med trekkør. Alternativt kan det etableres nye dreneringsrøfter utenfor eksisterende bakkenett, men det blir uansett konflikter der kummer må skiftes ut og senkes. Utbedring ved deler av dreneringen ansees som nødvendig uansett. Dette for at rør ikke skal kolapse.

9.3.2.3 Masseutskifting

Masseutskifting av telefarlige materialer, men ikke-telefarlige og godt drenerende materialer vil fjerne telehiv. Dette innebærer uttraning av forsterkningslaget inkludert rens av traubunn. Det vil likevel være fare for frost i dreneringsystemet og en viss fare for isforskyvning ved store vannmengder. Derfor bør dreneringen også utbedres ved dette alternativet. Traubunn må justeres for dette alternativet.

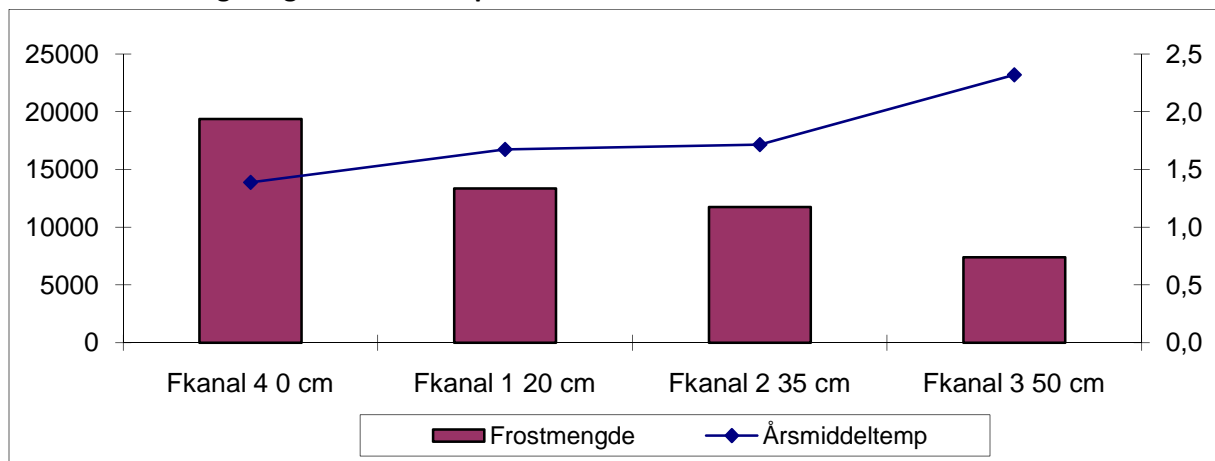
9.3.3 Utbedringsforslag

Nødvendige arbeidsoperasjoner for de to alternativene:

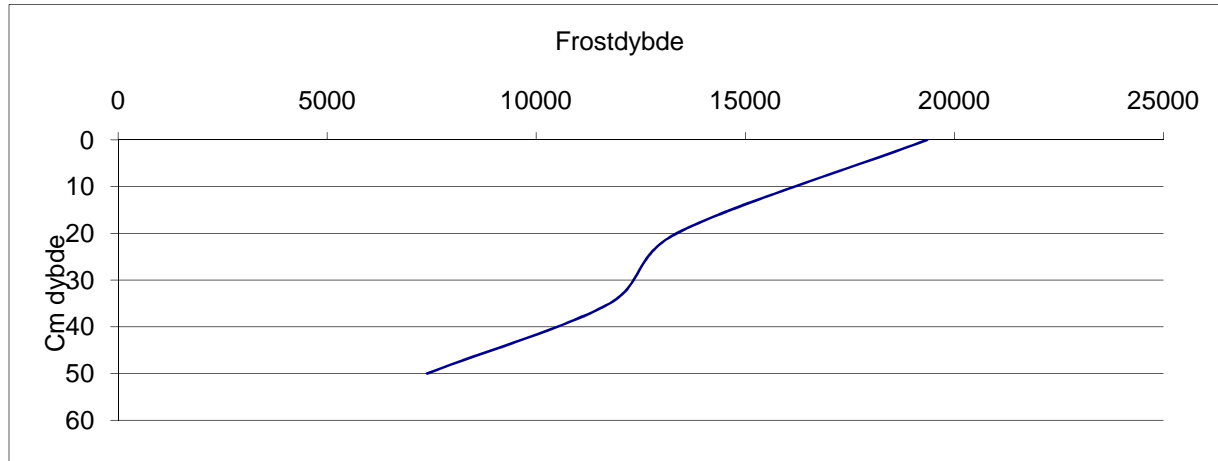
Operasjon	Isolering	Masseutskifting
Fresing	3 lag asfalt	3 lag asfalt
Trauing	Til nødvendig dybde for isolasjon (ca. 50 cm)	Bunnrensk til fast fjell (60+ cm)
Justering av traubunn	10 cm drenerende masser som underlag for XPS	Innfylling med magerbetong i forsenkninger. Mulig sprengning.
Ny overbygning	XPS 5-10 cm, bærelag av betong 22 cm*, dekke 8 cm.	Drens/forsterkningslag kult 10-100 mm 60+cm, bærelag av Ag 11 cm, dekke 6 cm.
Tiltak på drens	Isolasjon av hoved- og hjelpedrens.	Sprengning av ny hoveddrensgrøft utenfor eksisterende. Nye kummer på hoveddrens inkl. sprengning. Isolasjon av hjelpedrens.
Tiltak på banketter	Fjerning av gammel bankett og stoping av ny bankett på begge sider.	Fjerning av gammel bankett og stoping av ny bankett på hjelpedrenssiden og rundt kummer.

9.4 Resultater for frostmenge og frostdybde (Korgfjelltunnelen)

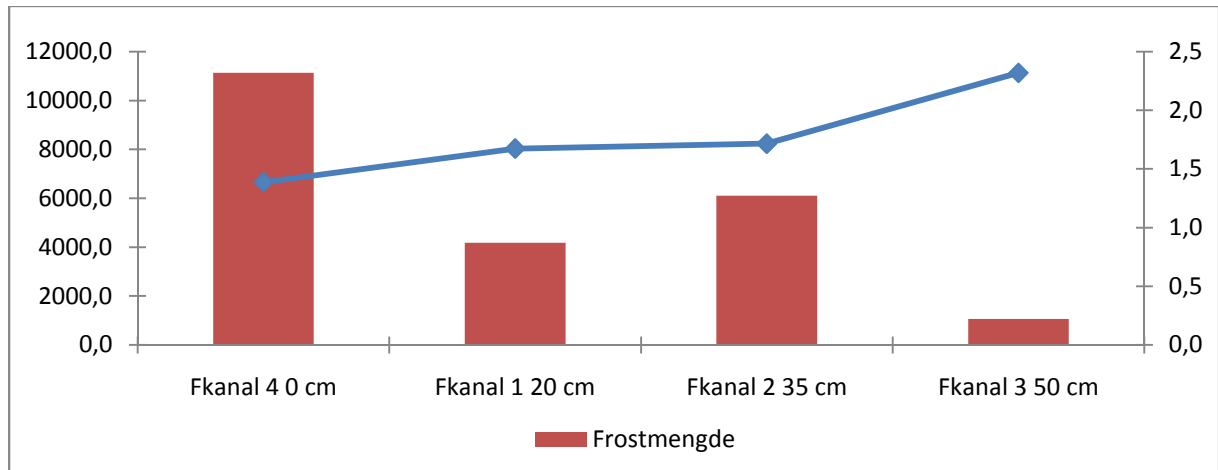
9.4.1 Frostmenge og årsmiddeltemperatur



9.4.2 Frostdybde for Korgfjelltunnelen

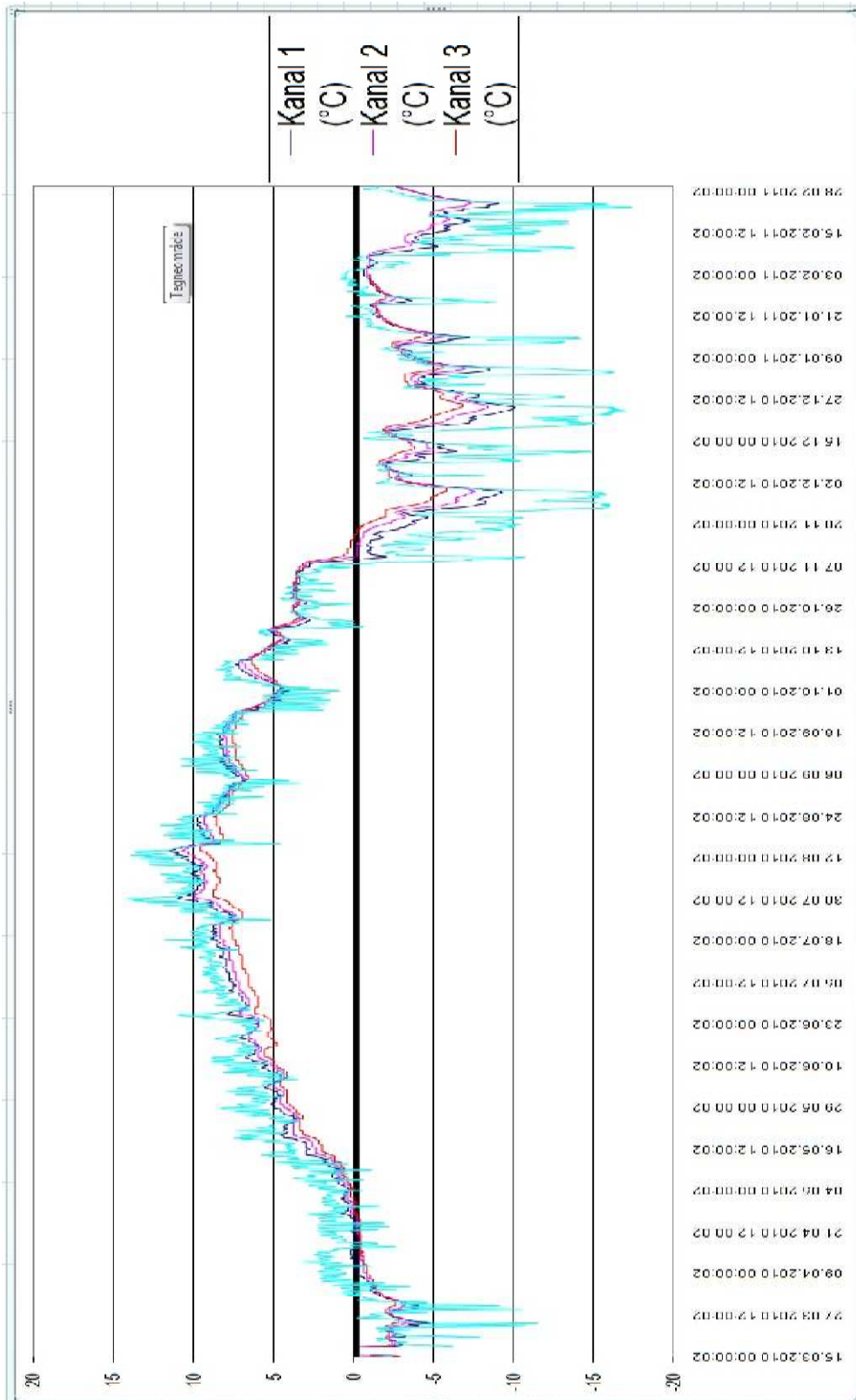


9.4.3 Frostmengde og årsmiddeltemperatur for Umshardtunnelen

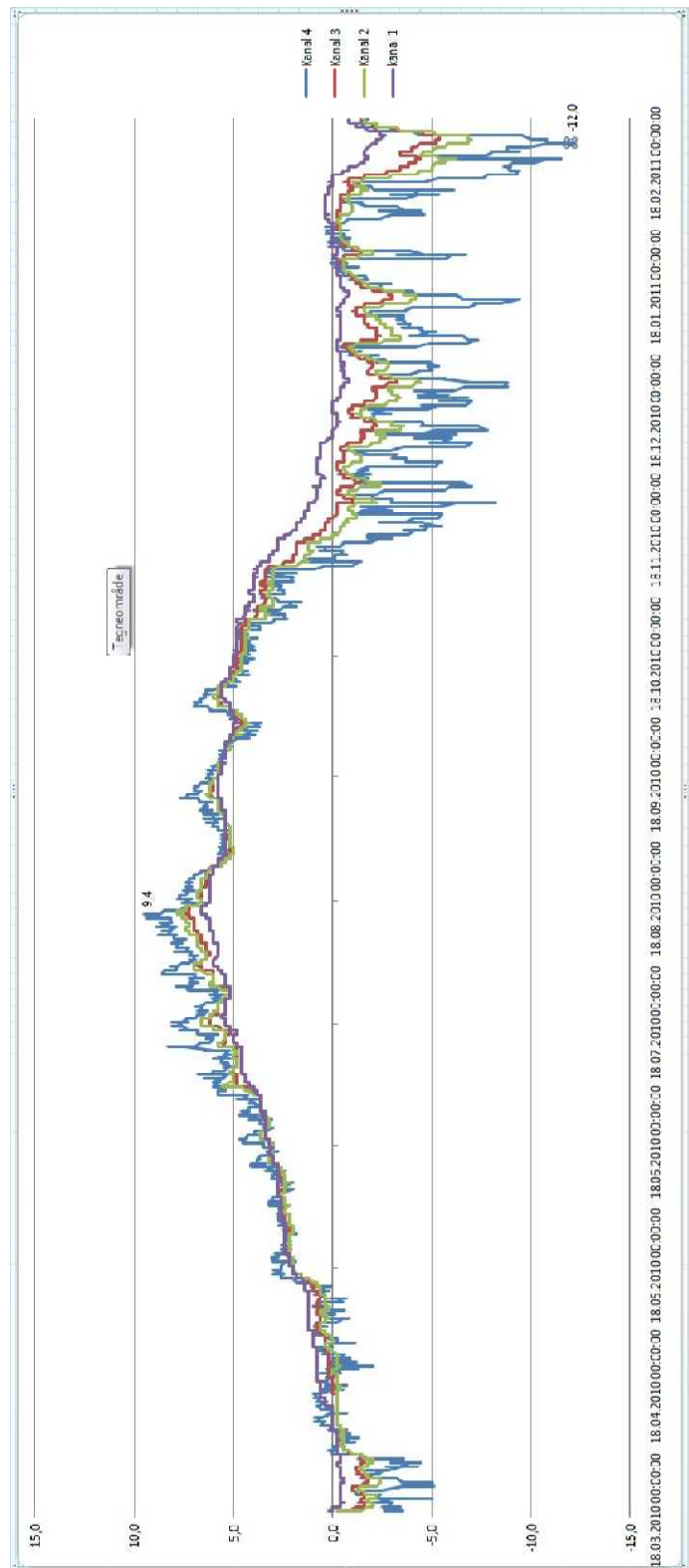


9.4.4 Forklaringer på målerne på hvor de befinner seg:

Tunnel	Km	Meter inn i tunnel (fra nord)	Side	Logger nr.	Kanaler
Korgen	9,890	2270	VS	120	1 Luft
Korgen	10,415	1740	HS	995	4 Luft
Korgen	11,930	230	HS	225	1 Jord (20 cm dybde) 2 Jord (35 cm dybde) 3 Jord (50 cm dybde) 4 Luft
Umshardet	18,850	1900	VS	205	1 Jord (20 cm dybde) 2 Jord (35 cm dybde) 3 Jord (50 cm dybde) 4 Luft



9.4.5 Temperaturmålerne for Korgfjelltunnelen



9.5 Eidsvolltunnelen (vegdekkeproblemer og løsninger)

Eidsvolltunnelen

- byggeår: 1992-1993
- lengde: 1193m
- to kjørefelt en i hver retning
- beliggenhet (209-213)m over havet

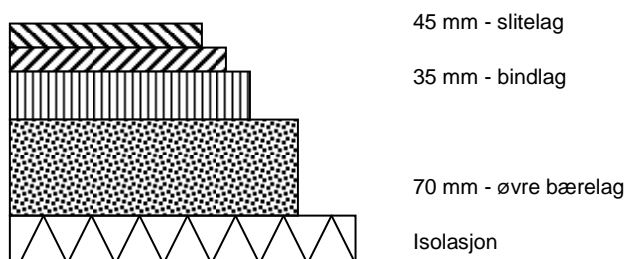
Eidsvolltunnelen ligger på E6, i Akershus kommune.

9.5.1 Årsak til problemer

Eidsvolltunnelen er en eldre tunnel som er bygd på 1990-tallet. Det har vært større mengde utskiftninger og skader på vegdekke, men ingen telehiv. Veggen har blitt lappet sammen flere steder, og i 1998 ble hele dekket reparert for skader, kun 6 år etter åpningen.

I 2001 ble det sett visuelt at det oppsto oppsprekking (krakelering) i deler av kjørebanelen, som ble vurdert som fare. Først i 2004 ble det foretatt inspeksjoner av tverrprofilen, der isolasjonsplater og underliggende avrettingslag ble kontrollert.

Dette var det nye forslaget for utbedning av nytt veidekke som ble lagt i 2004.



Kontrollmålinger som ble gjort av lagtykkelse, viser at den utførelse ble gjort på riktig måte, men isolasjonsplatene var sterkt sammentrykt (spesielt i hjulspor) fra utplanering av overliggende lag. Sammentrykning av slike plater betyr at platen mister sin styrke, og oppfører seg mer som en "svamp". Undersøkelsen viste at platene hadde varierende til svært høyt vanninnhold og til dels svært lav trykkstyrke. Eidsvolltunnelen er en "fuktig tunnel" (det viser seg at, ulykke på grunn av fukt på bilruten kan ha skjedd).

9.5.2 Løsning på problemene

Situasjonen er slik at det er nødvendig med et dekkfornyelse. Skadeutvikling som er observert, er det berettelig tvil om hvor lang levetid vegdekkfornyelse kan ha. Dersom situasjonen i

dag er slik der isolasjonsplatene stort sett er trykket sammen, er det sannsynlig at en dekkefornyelse alene vil føre til en unormalt lav dekkelevetid. Kanskje tilsier forholdene at det er nødvendig å bygge om hele vegoverbygningen for at nye dekkeproblemer ikke skal oppstå umiddelbart etter en dekkeutskiftning..

I denne situasjonen vil det være riktig å foreta en undersøkelse av forholdene i tunnelen. En slik utredning bør :

- vise hvordan vegoverbygningen var forutsatt og bygd opp
- vise hvilke anleggstekniske forhold som kan ha påvirket oppbygningen
- beskrive hvilke forhold som etter åpningen kan ha ført til spesielle skader
- beskrive resultater av oppgravinger på utvalgte steder
- beskrive hvilke tiltak som er nødvendig

Alt dette for å oppnå en fremtidig rimelig dekkelevetid i tunnelen for å unngå ukontrollerte skader, med tanke på gjennomførbarhet med hensyn til trafikkavvik. Risikoen for skader vil reduseres vesentlig mer ved å frese ned eksisterende dekke og legge et nytt bunndekke med strekkarmering.

Mulige dekketiltak blir dermed:

1. "Vente og se", dvs. iverksette aktuell beredskap og ta skadene når de kommer.
2. Legge slitedekke.
3. Frese ned av eksisterende asfalt og bygge opp igjen med et strekkarmert bunndekke.

9.6 Dekketiltak "vente og se"

Tunneloverbygningen kan skiftes med små ulemper for trafikkavviklingen. De svakeste punkter på vegen er fornyet i 2004, tilbake til opprinnelig standard og denne holdt noen år. En må imidlertid være forberedt på nye skader, fra vinteren 2005/2006 med økende risiko hvert år framover. Skadene vil komme på etter vinteren og de vil kunne utvikle seg raskt.

En "vente og se" løsning betinger at det er etablert en beredskap for å handle raskt når skadene oppstår. Dette gjelder både en visuell oppfølging av dekkeutvikling og beredskap for å legge om trafikk/starte reparasjoner raskt. Kontinuerlige registreringer av nedbøyning/elasticitet på dekket bør vurderes som ledd i en oppfølging og kontinuerlig risikovurdering. Dersom det er praktisk mulig, på en rimelig måte, å forhindre sigevann fra veggpanelene å trekke inn over platene, bør tiltaket vurderes.

9.6.1 Dekketiltak, legge slitelag

Det er en rimelig løsning som reduserer risiko for skade sammenliknet med (1) og som gjør at beredskapen, i alle fall de første år kan reduseres. Dersom en i forkant kan registrere at enkelte partier er svakere enn dekket for øvrig, bør det freses ned og forsterkes spesielt.

10 Evaluering

Statens Vegvesen har sendt flere ttd.-filer, som man kunne åpne i et EasyViewPro program. Dette programmet ble sendt til meg for videre analyse for frostmengde og frostdybde, men man kan si at den ikke fungerte på den nyeste versjonen av Windows 7. Filer med ttd.-formatet ble sendt tilbake og gjort om til excel-filer. I mellomtiden fant jeg et demo-program som jeg kunne bruke i 30 dager, men problemet var at programmet ikke ville lagre arbeidet jeg hadde gjort. Dette skyldes nok at det ikke var en fullversjon. Man kan si at programmet er meget bra og egner seg godt til denne type analyse.

Det har vært snakk om flere tunneler med frostproblemer. Jeg har konsentrert meg om fire tunneler.

Telehiv skyldes flere ting:

1. dårlig oppfølging av kontroll
2. finstoff materiale blir brukt ved bygging av veg (Fører til at den tar til seg vann)
3. dårlig kvalitet på materiale
4. grøftdybden er for lav
5. slitasje på vegen, som danner vannlommer etter piggdekk

Stalheimstunnelen er en eldre tunnel som ble bygd etter vegnormalen fra 1980-tallet. Det har vist seg at mindre feil kan skape store konsekvenser. Med flere telefonsamtaler fra region øst, og personene som jeg har vært i kontakt med har fortalt hva de mener er problemet. Grøften var ikke dyp nok for at ising ved hver ende av veggside kom opp i vegbanen. Har de/den ansvarlige for arbeidet gjort feil? Jeg fikk inntrykk av at ikke bare én person jobbet med tunnelen, og kontrolløren(e) som var leid inn var fra et annet firma. Dårlig rutine og oppfølging kan ha forårsaket denne konsekvensen. Man kan si det er en dårlig løsning å leie inn kontrollører når Statens Vegvesen har sine egne kontroller med fagkunnskap.

Mine tanker om 1980-tallet er at det var ingen rutine på oppfølging av rutinesvikt. Det ble nemlig ikke rapportert om noe som helst. Man visste heller ikke hvilket arbeid som ble utført, og hvem som utførte det.

Målingen av grøftedybden ble ikke gjort riktig. Den var ikke jevn over hele planet. Dybden av grøfter bør sjekkes med flere stikkprøver for å slippe å gjøre samme jobb to ganger.

Nå er kravene blitt skjerpet, og forhåpentlig skjer ikke disse tabbene igjen.

Umskardtunnelen er en nyere tunnel, som ble åpnet for trafikk i 2006. Man mente det ville holde med å frostsikre tunnelen 500 meter i hver ende. Det betyr at prosedyrene ble fulgt etter vegnormalkravene som vegdirektoratet stilte. De første 500 meterne brukte man grovt pukkk for frostsikring, men også en liten strekning på 300 meter midt inne tunnelen brukte man den samme løsningen. Det var vann som kom opp fra undergrunnen. Ut i fra kjente frostmengder i området der det er frostsikret, er vegdekket bra. Problemet artet seg der man valgte å benytte den stedegne massen til underlaget for veien. På disse stedene valgte man å ikke kjøre ut all massen i bunnen av tunnelen etter sprengning. Visuelt så det tørt og fint ut, og konsekvensen artet seg der de la ut tynnere lag med pukkk før asfaltering. Dette har pr. i dag ført til at all massen som sprenges bør kjøres ut. Man skal grave til "klink" i den forstand at man hører steinlyden av fjellet. Vegnormalen er blitt revidert på dette område.

Jeg synes det er rart at de ikke tenkte på at vann kunne forplante seg andre steder i tunnelen. Det koster dyrt å undersøke ting nærmere. Små feil og feilvurderinger gir store konsekvenser.

Korgfjelltunnelen er en av de nyere tunnelene. Problemet er at telehiv ble dannet utenfor den antatte frostsone. Telehiv oppstod i den delen som var forventet å være frostfri. Vann, frost, og ømfintlig materiale er nok til å skape denne konsekvensen. Så langt som 3000 meter inne i tunnelen ble det humpete vei. Dette skyldes følgende:

1. Frost: Tvunget ventilasjon i retningen nord-sør Korgfjelltunnelen. Større frostmengder enn forventet til at vegfundamentet og drens-systemet fryser utenfor frostsone.
2. Utilstrekkelig drenering: Drens-systemet kan ligge på prosjekteringsnivå, mens utsprengning kan ligge dypere.
3. Forsenkinger i traubunnen kan ligge lavere enn forventet. Dette kan skyldes at traubunnen ikke er sikkert drenert.
4. Ved sprengning i tunnelen kan materiale som er hardt nedsprengt inneholde finstoffer som vil tiltrekke vann.

For å løse problemet må man fjerne en eller flere faktorer som må til for å fjerne telehiv.

Eidsvolltunnelen er blitt bygd etter vegnormaler. Problemet har vært større mengder veglappning på flere steder inne i tunnelen. Undersøkelsene som ble gjort i selve tunnelen har vist at ekstrudert polystyren (XPS) plater knakk. Dette kan skyldes flere årsaker:

1. ved tung last under bygging
2. ved tung last etter bygging
3. ved dårlig dimensjonering av vegdekket

Siden drift og veldikehold av vegnettet ble konkurranseutsatt i 2003 har det gått i feil retning på fire områder. Blant annet mangler ved utført arbeid og mangelfull rapportering. Det kan skyldes svak konkurranse som har gjort arbeidet vanskeligere.

Vegnормaler for utbygning av nye og bedre veger mot frostsikring og telehiv bør revideres oftere. Alle tunneler som jeg har skrevet om, har like etter byggeperioden fått skader. Det har imidlertid tatt flere år før noe handling. Derfor synes jeg at man bør fortløpende ta ferske problemer på alvor.

11 Referanser

De alle fleste vegnormaler fra Statens Vegvesen kan man hente via denne hjemmesiden, men enkelte har blitt gitt ut personlig. KUn de reviderte håndbøkene er på denne internettsiden.

Internettside:

<http://www.vegvesen.no/Fag/Publikasjoner/Vegnormaler>

- /1/ Håndbok 018 Vegbygging, Januar 2011 (kapittel 3-7)
- /2/ Håndbok 018 Vegbygging, Januar 2005 (kapittel 3-7)
- /3/ Håndbok 018 Vegbygging Januar. 1980 (kapittel 10)
- /4/ Håndbok 018 Vegbygging Januar. 1974 (kapittel 9)
- /5/ Håndbok 021 Vegtunneler Mars. 2010 (kapittel 7-9)
- /6/ Håndbok 021 Vegtunneler November 2006 (kapittel 7-9)
- /7/ Håndbok 021 Vegtunneler April 2004 Kapittel (7-9)
- /8/ Håndbok 163 Vann og frostsikring i tunneler oktober 2006. (kapittel 3-7)
- /9/ Håndbok 193 Skadetyper for bituminøse vegdekker (krakkelering)

Internett sider:

Knut B. Pedersen. Telehiv i vegtunneler Hvorfor skjer det?
http://www.vegvesen.no/_attachment/182051/binary/349347

Hva er telehiv

<http://no.wikipedia.org/wiki/Telehiv>

Søkt på fakta: <http://no.wikipedia.org/wiki/Multiplikasjon> om:

Umskardtunnelen

Eidsvolltunnelen

Korgfjelltunelen

Stalheimstunnelen

Teknisk ukeblad - <http://www.tu.no/motor/article154668.ece>

Telehiv i tunnelene artikkel (Korgfjelltunnelen og Umskardtunnelen) -

-http://fra-kirstis-kant.origo.no/-/bulletin/show/624262_telehiv-tunnelene?ref=mst

Artikkel: tunneler må pusses opp for milliarder -

<http://www.vg.no/bil-og-motor/artikkel.php?artid=10022317>

Nye tunneler med skade og vann - <http://www.nrk.no/nyheter/distrikt/nordland/1.7042843>

Nytt fra SINTEF Byggforsk - <http://www.sintef.no/upload/Konsern/Media/kuldelab.pdf>

PDF. og Rapport-Filer som ennå ikke er offentlige

Aursand - Telehiv i tunnel presentasjon

Bilder:

1. Forside med bilde hentet fra:

http://www.google.no/imgres?imgurl=http://www.ncc.no/Global/Material_services/Norway/Profilbetong/tunnel/tunnel_lofast-715x490.jpg

2. <http://www.vg.no/nyheter/innenriks/artikkel.php?artid=10092072>

Figurer:

1. Per Gundersen /Anlegg av drikkevanns og avløpsledninger /s.24

2. Knut B. Pedersen / Telehiv i tunneler / s.9

3. Knut B. Pedersen / Telehiv i tunneler / s.14

4. Per Gundersen /Anlegg av drikkevanns og avløpsledninger /s.28

5. Per Gundersen /Anlegg av drikkevan83

7. Håndbok 021 /Vegtunneler 2010 / s. 83

8. www.statensvegvesen.no søke videre på "moderne vegtunneler".

9. Håndbok 018 /Vegbygging Januar 1980 / s.404

10. Håndbok 018 /Vegbygging 2011 / s. 485

11. Teknisk ukeblad

12. Håndbok 021 /Vegtunneler 2010 / s. 79

Vedlegg A
Frostmengdetabellen

KOMMUNE	TEMP.	FROSTMENNGDE			
	t _m	F ₂	F ₅	F ₁₀	F ₁₀₀
	°C	h°C			

01 ØSTFOLD					
0101 Malden	6,0	7 000	13 000	18 000	22 000
0102 Sørporsborg	6,0	7 000	13 000	18 000	22 000
0103 Fredrikstad	6,5	5 000	11 000	16 000	24 000
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	6 000	13 000	18 000	22 000
0128 Arneberg	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 Onøy	6,5	5 000	7 000	10 000	14 000
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 Bli	5,5	8 000	15 000	21 000	25 000
0214 As	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 Rølingen	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 Djerdum	4,0	15 000	22 000	28 000	32 000
0235 Ulensaker	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 Nannewad	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
Boligerområder	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	19 000	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 Us	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	26 000	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	19 000	24 000	30 000	36 000
0529 Vestre Toten	3,5	20 000	26 000	32 000	38 000
0532 Jevnaker	4,0	19 000	22 000	28 000	33 000
0533 Lunner	3,0	16 000	23 000	29 000	34 000

KOMMUNE	TEMP.	FROSTMENNGDE			
	t _m	F ₂	F ₅	F ₁₀	F ₁₀₀
	°C	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 Flaesberg	3,5	20 000	27 000	32 000	36 000
0632 Røllag	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 Svevluk	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 Rannar	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 Høsterey	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 Be	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 Hjørtdal	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	7,0	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 Mandal	7,0	1 000	5 000	8 000	12 000
0919 Froland	6,0	5 000	9 000	13 000	16 000
0920 Øystestad	7,0	1 000	5 000	8 000	12 000
0921 Tromøy	7,0	1 000	5 000	8 000	12 000
0922 Hisø	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		

KOMMUNE	TEMP.	FROSTMENGDEN			
	t _m	F ₂	F ₅	F ₁₀	F ₁₀₀
	°C	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
1025 Ålesund	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 Høyehøstet	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
1105 Haugealand	7,5	0	1 000	3 000	6 000
1111 Sokndal	7,0	0	3 000	6 000	11 000
1113 Lund	6,5	1 000	5 000	8 000	11 000
1114 Bjerkreim	6,5	1 000	5 000	8 000	11 000
1117 Må	7,5	0	1 000	3 000	7 000
1120 Klæpp	7,0	0	1 000	3 000	7 000
1121 Tise	7,0	0	2 000	3 000	7 000
1122 Gjesdal	6,0	1 000	4 000	7 000	11 000
1124 Sola	7,5	0	1 000	3 000	7 000
1127 Randberg	7,5	0	2 000	3 000	7 000
1129 Furendal	7,0	1 000	5 000	7 000	11 000
1130 Strand	7,5	0	2 000	3 000	7 000
1133 Hjelmsland	6,5	1 000	4 000	7 000	11 000
1134 Suldal	3,0	5 000	9 000	12 000	15 000
1135 Svalde	6,0	4 000	8 000	11 000	14 000
1141 Fingoy	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	5 000
1145 Bokn	7,5	0	1 000	3 000	5 000
1146 Tysvær	7,5	0	1 000	3 000	5 000
1149 Karmøy	7,5	0	1 000	3 000	5 000
1151 Utsira	7,5	0	0	1 000	2 000
1154 Vindefjord	7,5	0	2 000	3 000	7 000

12 HORDALAND

1201 Bergen	7,5	0	2 000	3 000	5 000
1214 Fleke	6,0	2 000	5 000	8 000	13 000
1214 Fleke	7,0	0	2 000	3 000	7 000
1215 Sveio	7,5	0	2 000	4 000	7 000
1219 Bævre	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 Tysse	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 Odde	5,5	5 000	8 000	11 000	16 000
1231 Ullensvang	6,0	6 000	8 000	11 000	17 000
1232 Eidfjord	5,0	6 000	8 000	11 000	17 000
1233 Ulvik	3,0	9 000	11 000	14 000	20 000
1234 Granvin	3,0	8 000	10 000	13 000	19 000
1235 Voas	4,5	10 000	14 000	18 000	24 000
1238 Kviteseid	6,0	1 000	3 000	5 000	11 000
1241 Fusa	6,0	1 000	2 000	4 000	9 000
1242 Samanger	5,5	5 000	7 000	10 000	13 000
1243 Os	6,5	1 000	2 000	5 000	8 000
1244 Austevoll	7,0	0	1 000	2 000	5 000
1248 Sund	7,0	0	1 000	2 000	5 000
1249 Fjell	7,0	0	1 000	2 000	5 000
1247 Askøy	7,0	0	1 000	2 000	5 000
1251 Værdal	4,5	8 000	12 000	16 000	22 000
1252 Mjølens	5,0	5 000	8 000	13 000	19 000
1253 Oygarden	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 Raddøy	7,0	0	1 000	2 000	5 000
1263 Lindsø	6,5	1 000	3 000	5 000	7 000
1264 Austrheim	7,0	0	1 000	2 000	5 000
1265 Fudje	7,5	0	1 000	2 000	5 000
1266 Mofjorden	6,0	1 000	2 000	4 000	7 000

14 SOGN OG FJORDANE

1401 Flore	7,0	0	1 000	3 000	5 000
1411 Giske	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
1414 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 Ardal	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	5 000
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 Høylandet	5,5	4 000	7 000	10 000	13 000
1438 Ekeberg	7,0	0	1 000	3 000	5 000
1439 Vågå	7,0	0	1 000	3 000	5 000
1441 Selje	7,0	0	1 000	3 000	5 000
1443 Eid	9,0	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	7 000
1449 Ström	3,5	4 000	6 000	9 000	13 000

KOMMUNE	TEMP.	FROSTMENGDEN			
	t _m	F ₂	F ₅	F ₁₀	F ₁₀₀
	°C	h°C			

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	2 000	5 000
1514 Sanda	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 Stråkøy	6,0	1 000	3 000	5 000	8 000
1524 Norddal	6,0	2 000	3 000	5 000	9 000
1525 Strande	6,0	2 000	4 000	6 000	9 000
1526 Stordal	6,0	1 000	3 000	5 000	8 000
1528 Bykkj-Lvann	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 Haren	7,0	0	1 000	2 000	5 000
1535 Vestnes	6,0	1 000	3 000	5 000	8 000
1538 Rauma	6,0	3 000	5 000	8 000	10 000
1542 Nesset	6,0	3 000	5 000	8 000	10 000
1545 Vassund	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 Trøms	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	15 000
1566 Sunndal	5,0	5 000	8 000	12 000	16 000
1567 Rindal	4,5	7 000	12 000	15 000	19 000
1569 Auve	5,5	1 000	3 000	6 000	9 000
1571 Haløa	5,5	1 000	3 000	6 000	9 000
1572 Tuusna	5,5	1 000	3 000	6 000	9 000
1573 Småla	5,5	0	1 000	2 000	5 000

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	2 000	5 000
1514 Sanda	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 Stråkøy	6,0	1 000	3 000	5 000	8 000
1524 Norddal	6,0	2 000	3 000	5 000	9 000
1525 Strande	6,0	2 000	4 000	6 000	9 000
1526 Stordal	6,0	1 000	3 000	5 000	8 000
1528 Bykkj-Lvann	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 Haren	7,0	0	1 000	2 000	5 000
1535 Vestnes	6,0	1 000	3 000	5 000	8 000
1538 Rauma	6,0	3 000	5 000	8 000	10 000
1542 Nesset	6,0	3 000	5 000	8 000	10 000
1545 Vassund	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 Trøms	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	15 000
1566 Sunndal	5,0	5 000	8 000	12 000	16 000
1567 Rindal	4,5	7 000	12 000	15 000	19 000
1569 Auve	5,5	1 000	3 000	6 000	9 000
1571 Haløa	5,5	1 000	3 000	6 000	9 000
1572 Tuusna	5,5	1 000	3 000	6 000	9 000
1573 Småla	5,5	0	1 000	2 000	5 000

16 SØR-TRØNDELAG

1601 Trondheim	5,0	7 000	12 000	14 000	18 000
1612 Heime	5,5	5 000	7 000	10 000	13 000
1613 Brillfjord	5,5	4 000	6 000	9 000	11 000
1617 Hitra	6,0	1 000	2 000	3 000	5 000
1620 Frøya	6,0	1 000	2 000	3 000	5 000
1621 Ørland	5,5	2 000	4 000	5 000	7 000
1622 Agdenes	5,5	3 000	4 000	5 000	7 000
1624 Nisaa	5,5	4 000	7 000	9 000	11 000
1627 Bjug					

KOMMUNE	TEMP.	FROSTMENGDE			
	t_m	F_2	F_5	F_{10}	F_{100}
	$^{\circ}C$	$h^{\circ}C$			

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 Dønne	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 Trana	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 Beiern	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 Rest	5,5	0	1 000	2 000	6 000
1857 Verøy	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 Øknes	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 Bjarkey	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 Sorreisa	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 Toreken	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

Vedlegg B

Beregninger i exel og noen forklaringer.

Vedlegg for Stalheimstunnelen

Måler nr.	Lagret som	Plassering	Måleresultat
135936	d135936.ttd	1,1 m. under asfaltdekket	OK
136288	d136288.ttd	0,8 m. under asfaltdekket	OK
135938	d135938.ttd	I asfaltdekket	OK
136292	d136292.ttd	I asfaltdekket	OK
7930	d7930.ttd	Vegg i tunnel	OK
8101	d8101.ttd	Vegg i tunnel	OK
8094	d8094.ttd	Vegrekkverk, utenfor tunnel	OK
26041	d26041.ttd	Vegrekkverk, utenfor tunnel	OK
8089	d8089.ttd	Nedgravd i grøft / vegkant	OK
8085	d8085.ttd	Nedgravd i grøft / vegkant	OK

	d135936.ttd	d136288.ttd	d135938.ttd	d136292.ttd	d7930.ttd
	1,1 m under asfaltdekke	0,8 m under asfaltdekke	I asfaltdekke	I asfaltdekke	Vegg i tunnel
Summer <0	0,0	-442,2	-2166,2	-2297,7	-2911,1
Antall <0	0,0	238,0	476,0	492,0	395,0
Loggintervall	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Frostmengde	0,0	1326,7	6498,6	6893,1	8733,3
Årsmiddeltemperatur	9,1	6,1	5,3	5,0	5,1
Frostdybde (cm)	0,0	36,4	80,6	83,0	93,5

	d8101.ttd	d8094.ttd	d26041.ttd	d8089.ttd	d8085.ttd
	Vegg i tunnel	Vegrekkverk, utenfor tunnel	Vegrekkverk, utenfor tunnel	Nedgravd i grøft / vegkant	Nedgravd i grøft / vegkant
Summer <0	-2515,4	-4103,2	-4226,6	-1756,7	-1601,9
Antall <0	351,0	560,0	585,0	444,0	424,0
loggintervall	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Frostmengde	7546,2	12309,6	12679,8	5270,1	4805,7
Årsmiddeltemperatur	5,8	4,5	4,0	5,3	5,5
Frostdybde	86,9	110,9	112,6	72,6	69,3

Vedlegg for Korgfjelltunnelen

	Fkanal 4 0 cm	Fkanal 1 20 cm	Fkanal 2 35 cm	Fkanal 3 50 cm
summer <0	-6283,5	-4141,6	-3583,2	-2343,2
antall <0	1049	1145	1209	959
loggerintervall	3	3	3	3
Frostmengde	19354,5	13360,8	11757,6	7389,6
Cm dybde	0	20	35	50
Årsmiddeltemp	1,4	1,7	1,7	2,3
Frostdybde fra nivå på sensor (cm)	139	116	108	86

Vedlegg: Umskardtunnelen

	Kanal 4	Kanal 3	Kanal 2	Kanal 1
summer <0	-3712,3	-1392,6	-2034,0	-354,6
antall <0	1086,0	1024,0	1142,0	596,0
loggerintervall	3,0	3,0	3,0	3,0
Frostmengde	11136,9	4177,8	6102,0	1063,8
Cm dybde	0,0	50,0	35,0	20,0
Årsmiddeltemp	1,3	2,0	1,7	2,5
Frostdybde fra nivå på sensor (cm)	105,5	64,6	78,1	32,6