

Frost i tunneler



NADim 2015

Radisson Blu Airport Hotel, Gardermoen

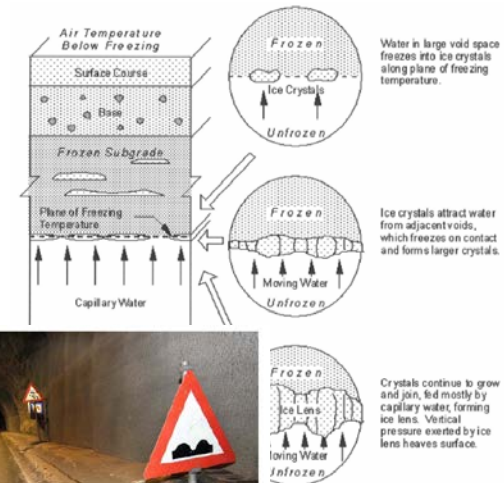
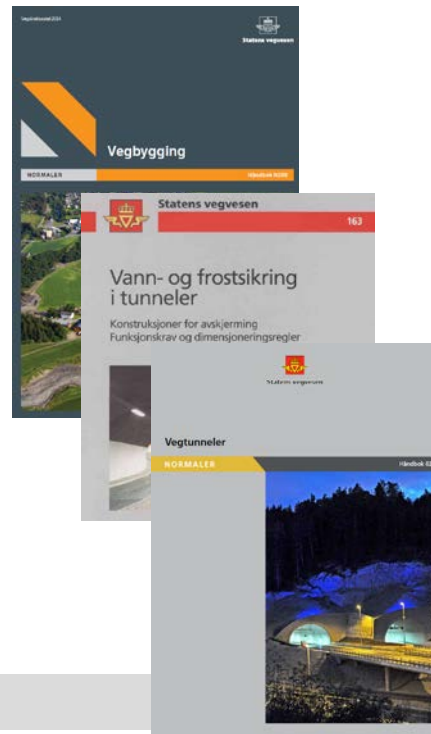
3. desember 2015

Per Otto Aursand, Geo/lab, Ressursavd., Region nord

Frost i tunneler – sentrale spørsmål

- Hvordan bør frostdimensjoneringen i tunneler gjøres?
- Hvilke materialer og metoder kan man bruke for å forebygge frostskader i tunneler?

- Normaler
- Teori
- Erfaringer

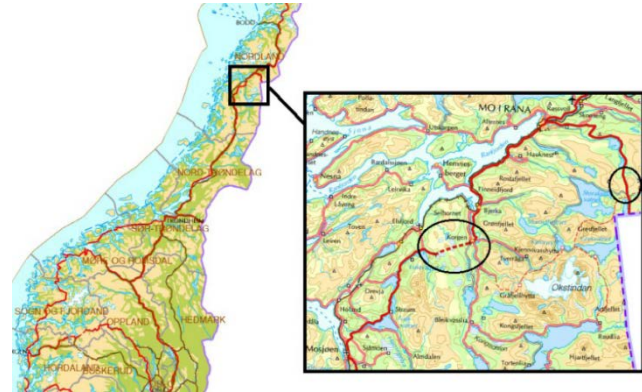


Sikringsnett og søtt opp med en Kongsgrubbenes vater over den vegvesen. Foto: Øyvind Bratt

Vegvesenet innrømmer feil



Frostskeer på nye tunneler i Nordland



- **E6 Korgfjelltunnelen:** 8600 m, åpnet 2005.
 - Telehiv og isvuller på vegbanen 300–2500 m inn fra nord
- **E12 Umkardunnellen:** 3560 m, åpnet 2006.
 - Telehiv og isvuller på vegbanen i hele tunnelen
 - Flere trafikkulykker med personskade pga. isingen
- Tunnelene er prosjektert og bygd iht. Vegvesenets retningslinjer, med antatt frostsone på 300–500 m i hver ende.



Storingspolitiker Janne Sjelmo Nordås krever at Statens vegvesen retter opp byggetabbe i Korgfjelltunnelen og Umskartunnelen. Foto: Torild Wika

Krever utbedring etter tunneltabbe



Skiltene som er satt opp inne i Korgfjelltunnelen vitner om at her er det noe galt. Det innrømmer nå vegvesen. Foto: Øyvind Bratt

Vegvesenet innrømmer feil

Lettere skadd etter bilvelt i Umskardtunnelen

RANA: En personbil gikk i formiddag rundt og ble liggende på taket inne i Umskardtunnelen.



En issvull nærmere 700 meter inn i Korgfjelltunnelen fra nordsiden førte til et trafikkuhell torsdag ettermiddag der en bil kjørte inn i bergveggen. Foto: Klaus Solbakken

Uskadd etter tunnelkollisjon

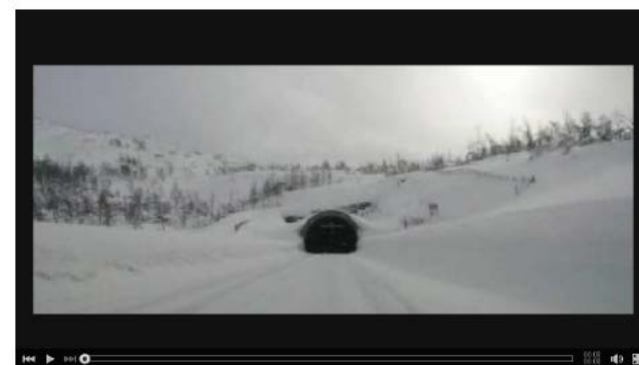


Ordner opp: Regionvegsef Torbjørn Naimak sier at de lenge har vært klar over problemene i Korgfjelltunnelen, men at de skal rette opp de feilene som ble gjort under byggingen. (Foto: Arne Fo

– Skal utbedre feilene



ens vegvesen

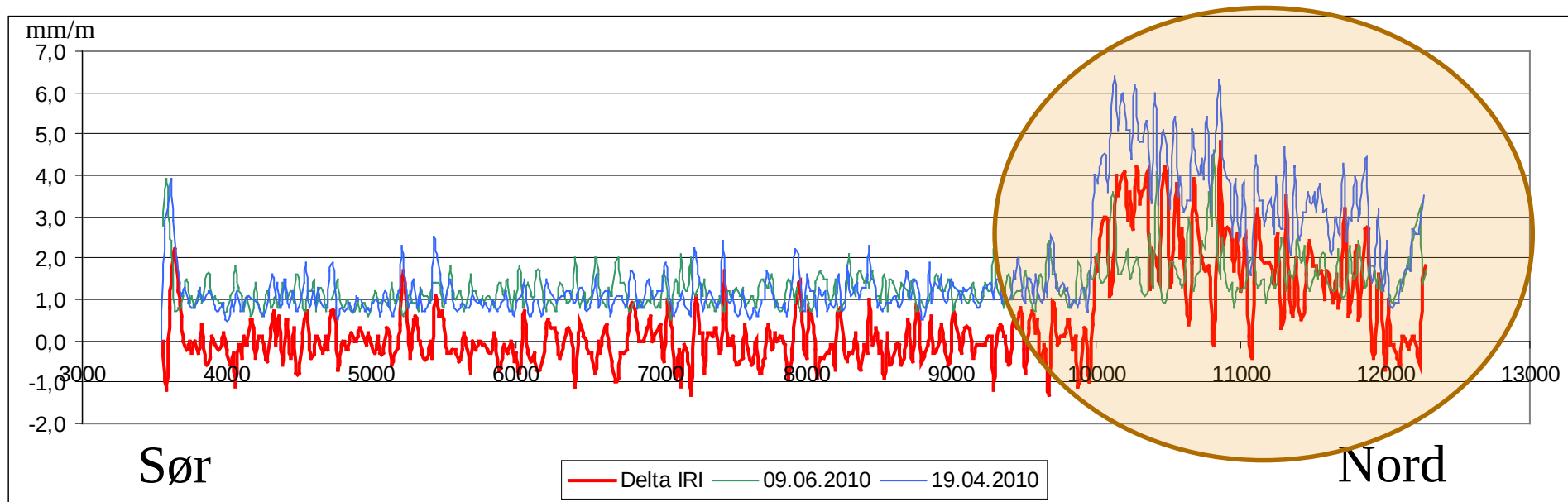


Humpetitten



Statens vegvesen

Jevnhetsmålinger (IRI) Korgfjelltunnelen 2010



Ventilasjon og stigning

Dimensjonering og utførelse

- Dimensjonert iht. Hb018 med antatt frostsone ($F_{10T} > 10\ 000\ h^{\circ}C$) 300 meter.
- Tunnelen går i glimmerrike bergarter
 - Høyt finstoffinnhold med stor vannømfintlighet etter spregning.
 - Ingen bunnrensk utenfor antatt frostsone.
 - Prøvetaking i ettertid viste også T2–T3 materialer i tilført forsterkningslaget

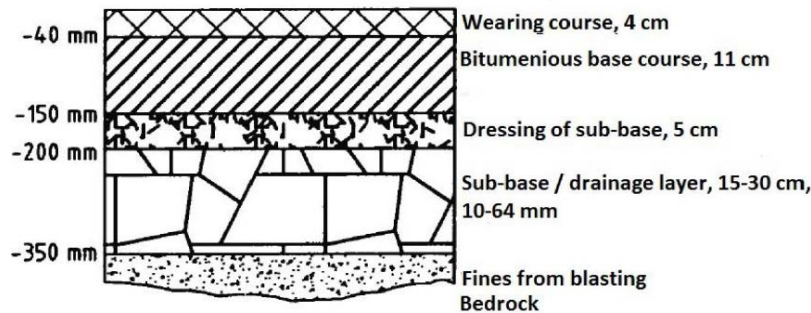
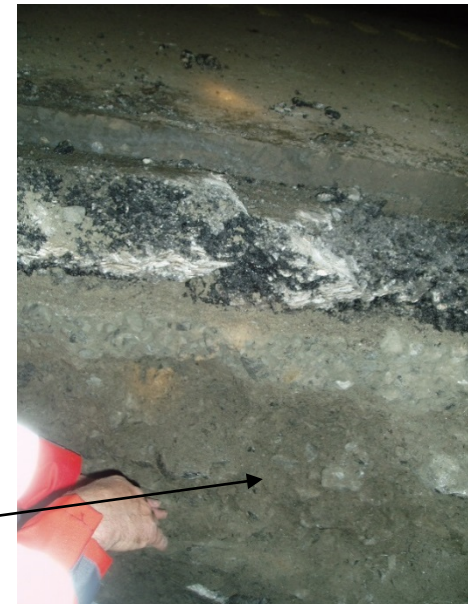


Table 1: Results from sampling of sub-base material (depth ~0,5m) from Umskardet tunnel

Sample nr.	Meters into tunnel (from north)	% <20µm of material <20mm	Frost susceptibility (Nordals criteria)
1	1230	12,2 %	T3
2	2465	8,8 %	T2
3	3110	6,6 %	T2



Frostmengder, Korgfjell

- Frostmengder i dagen: $F_{10}=34000$ °C
- Dimensjonert med frostsone på 300 m (antatt).
- Virkelig frostsone (fra nord) ca. 2000 m ($F_{10T}>10000$ °C) (målt vinter 2010/11)
- Stigning og tvunget ventilasjon i en retning tvang store mengder kald luft inn fra nord.
- Telefarlig fosterkningslag og rester etter spregning på traubunn ble utsatt for store frostmengder.

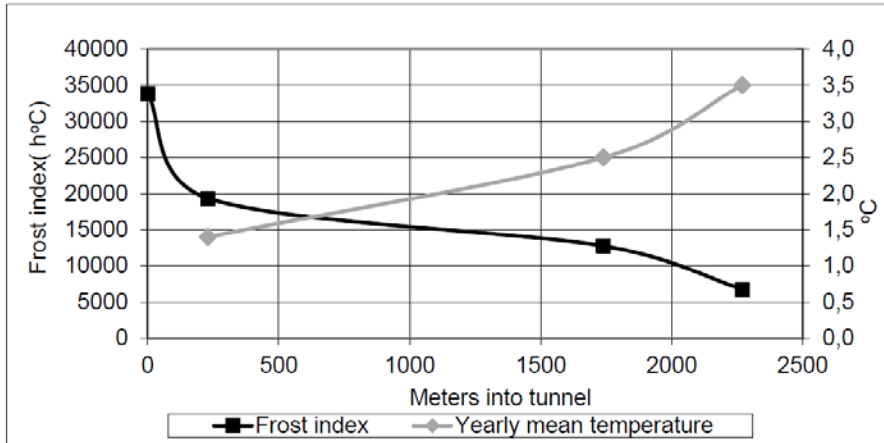


Figure 4: Measured frost index in Korgfjellet tunnel march 2010 – march 2011

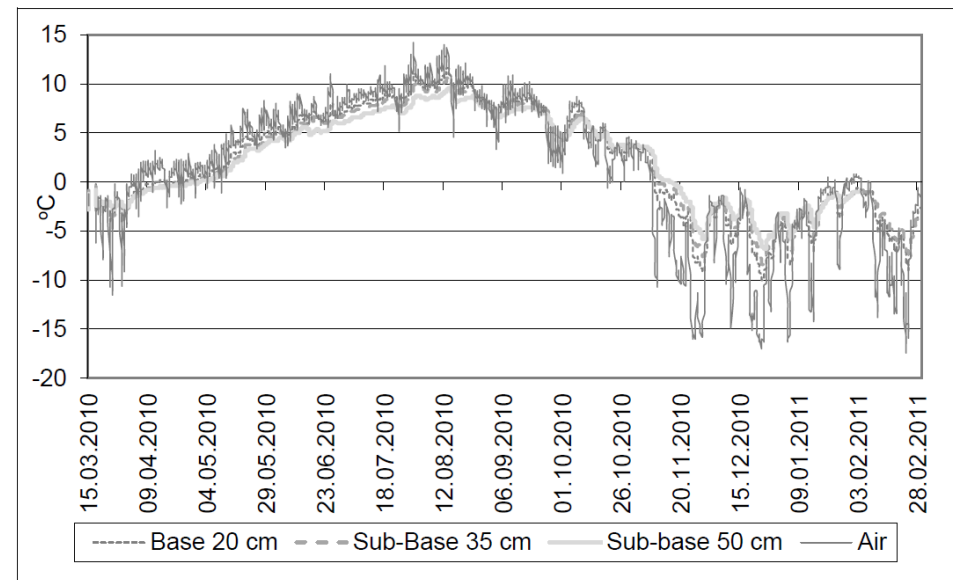


Figure 5: Measured temperatures at meter 230 in Korgfjellet tunnel march 2010 – march 2011.

Dreneringssystem

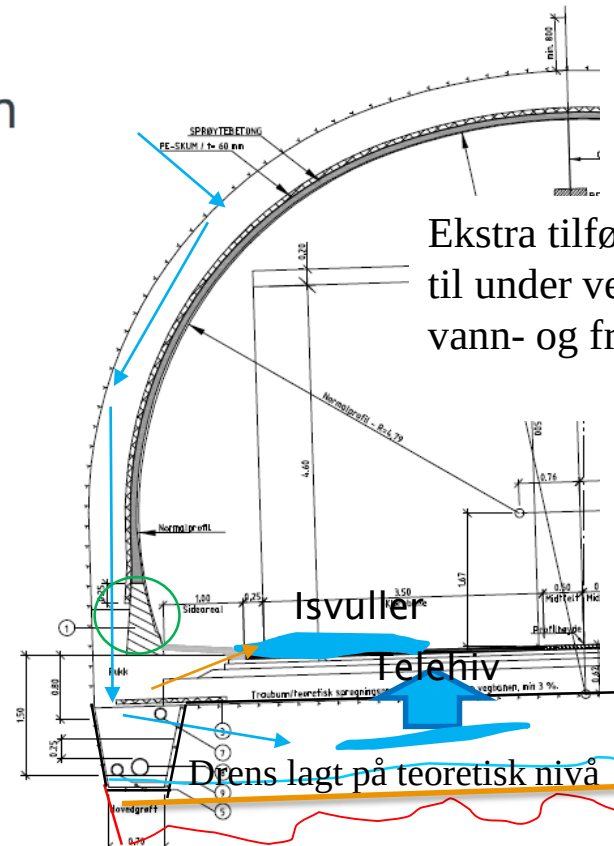
- Drensrør plassert for grunt ifht. reele frostmengder
 - Korgfjellet: dybde til drens 0,7–0,8 m.
 - Frostdybde ved reell $F_{10} = 0,8\text{--}1,5$ m (avh. av avstand fra portal).
- Isolering over drensrør kun de første 300 m.
- Rør ble plassert på prosjektert dybde og ikke ned på virkelig traubunn.
 - Forsenkninger fra spregning ikke drenert → vannspeil som forsyner frysefronten med vann → islinser → telehiv.
 - Gjenfrysing av rør → Ufrosset vann fra heng og lengre inn i tunnelen ble presset opp, rant over vegbanen og dannet issvuller i vegbanen.



Drenering og isolasjon

Vegtunnel- profil

På en tegning er sålen alltid jevn



Ekstra tilførsel av vann til under vegbanen pga. vann- og frostsikring

Manglende isolasjon

Tett/frosset omfylling/drensrør, vann presses ut i vegbanen

Teoretisk traubunn

Vannspeil
Frostdybde
Virkelig traubunn

Utbedring av tunnelene gjennomført i 2012

- To alternativer vurdert:
 - 1) Delvis masseutskifting og isolering under hele vegbanen inkl. drens-systemer.
 - 2) Full masseutskifting, bunnrensk, justeringer av såle, senket drens-system.
- Alternativ 2) ble valgt etter en teknisk-økonomisk vurdering.



Bilde fra utbedring i 2012

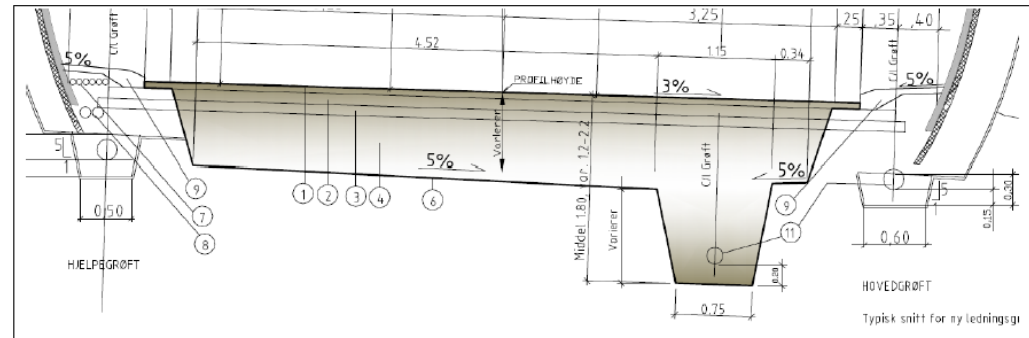


Figure 7: Principle for rehabilitation of Korgfjellet tunnel. Mass-exchange and new drainage in shaded area.

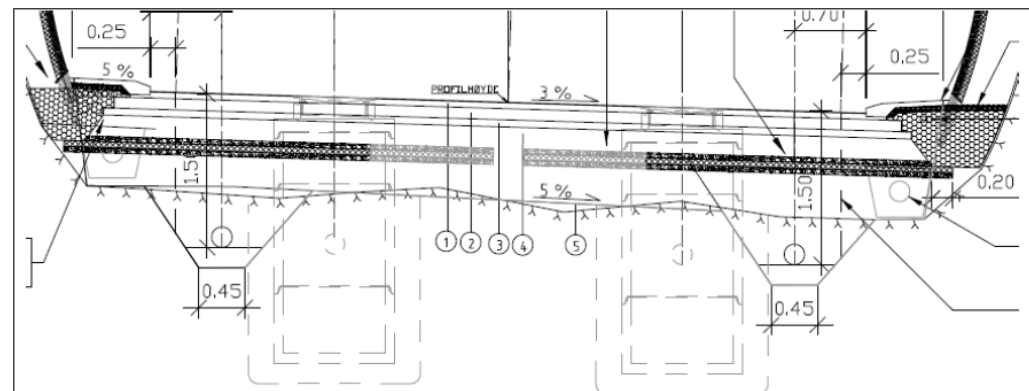


Figure 8: Principle for rehabilitation of Umskardet tunnel. New double sided drainage with frost protection using XPS-plates and foamed glass.

Dimensjonering av vegoverbygning etter N200

- Overbygning ved $F_{10T} \leq 10\,000\text{ h}^\circ\text{C}$
 - Tunnelsåle kan skal dimensjoneres som angitt i figur 517.1.
 - 25 cm forsterkningslag
- Overbygning ved $F_{10T} > 10\,000\text{ h}^\circ\text{C}$
 - tiltak som sikrer mot iskjøving og ugunstig telehiv.
 - 50 cm forsterkningslag

Bunnrensk: maks 5 cm masse kan ligge igjen.

Drenering: Drensledning må ligge frostfritt! Drenere forsenkninger

Vurderinger av frostsoner meget viktig!

T	DIMENSJONERINGSTABELL FOR OVERBYGNING I TUNNEL (lagtykkelser i cm)					
	TRAFIKKGRUPPE (Antall ekvivalente 10 t aksler pr. ferd i dimensjoneringsperioden, N, mill.)					
	A	B	C	D	E	F
	($< 0,5$)	($0,5 - 1$)	($1 - 2$)	($2 - 3,5$)	($3,5 - 10$)	(> 10)
DERKE	Dekketype og tykkelse velges på grunnlag av ADT i åpningsåret, se kap. 512.12 / figur 512.2					
BÆRELAG	Tykkelse, bærelag					
Typiske materialer						
Ag	9	10	11	12	13	14
Ag over Ag	5 over 6	6 over 7	6 over 8	7 over 8	7 over 9	7 over 10
Ag over Pg	5 over 9	5 over 10	6 over 10	7 over 10	8 over 10	8 over 10
Ag over Ak	5 over 10	6 over 10	7 over 10	7 over 11	-	-
Ag over Fk	5 over 10	6 over 10	7 over 10	7 over 11	-	-
Ag over Gja ⁽¹⁾	6 over 5	6 over 7	6 over 9	6 over 10	-	-
Sg, Eg, Gja over Fk ⁽²⁾	8 over 10	9 over 11	10 over 12	-	-	-
Fk	20	20	-	-	-	-
FORSTERKNINGSLAG	Tykkelse forsterkningslag					
Frostmengde F10T						
F10T ≤ 10000 h°C ⁽³⁾	1 ⁽⁴⁾	25	25	25	25	25
F10T > 10000 h°C ^{(3) (4)}	1 evt. 3 ⁽⁴⁾	50	50	50	50	50
BÆRELAGSINDEKS B _L	39 ⁽¹⁾	45 ⁽¹⁾	50 ⁽¹⁾	54	62	65

Figur 517.1 Dimensjonering av dekke, bærelag og forsterkningslag i tunnel, inklusive overbygning med frostsikringslag av skumglass eller lettklinker

Vurdering av frostsoner

Intern rapport nr. 2301 «Frostmengder i vegtunneler» (SVV, 2002)

- Teori om frostinntrengning
- Dimensjoneringsdiagrammer basert på reelle temperaturmålinger i norske vegtunneler.
- Forhold som innvirker på frostinntregningen:
 - Dominerende vindretningen
 - Tunnelens stigning
 - Eventuell ventilasjon i en retning
 - En/tovegs trafikk
 - Andelen vann og frostsikring i tunnelen
 - Høyde over havet, innland eller kystklima (bruk korreksjonsfaktorer for frostmengder (vedl. 2 N200))

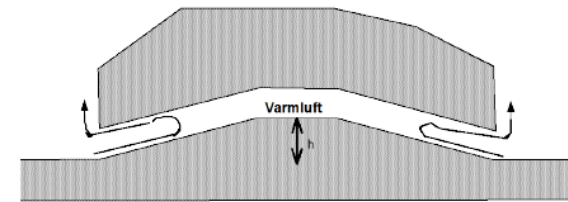


Fig. 3 Skisse av luftstrømmen i en tunnel med stigning .

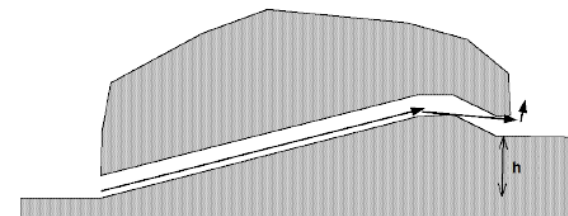


Fig. 4 Skisse av luftstrømmen i en tunnel med stigning og høybre

Kommune-nummer	Kommune-navn	Årsmiddel-temperatur	Frostmengder, h°C				Korreksjonsfaktorer	
			F ₂	F ₅	F ₁₀	F ₁₀₀	Min	Maks
1662	Klæbu	4,5	6000	11000	14 000	24 000	0.96	1.19
1663	Malvik	5,4	4000	8000	10 000	18 000	0.96	1.42
1664	Selbu	4,4	6000	10000	13 000	23 000	0.85	1.54
1665	Tydal	2,4	12000	19000	24 000	38 000	0.71	1.78

Temparturprofiler for ulike tunneltyper

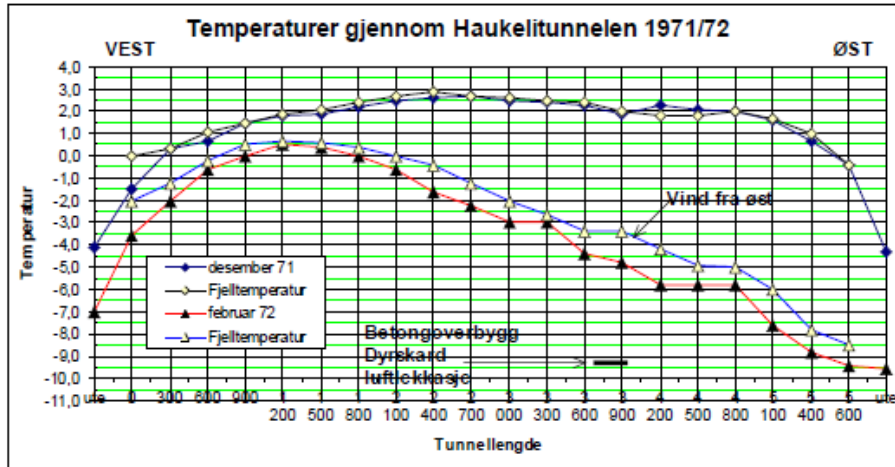


Fig. 6: Temperatur gjennom Haukelitunnelen målt med håndtermometer i 1971 - 1972.

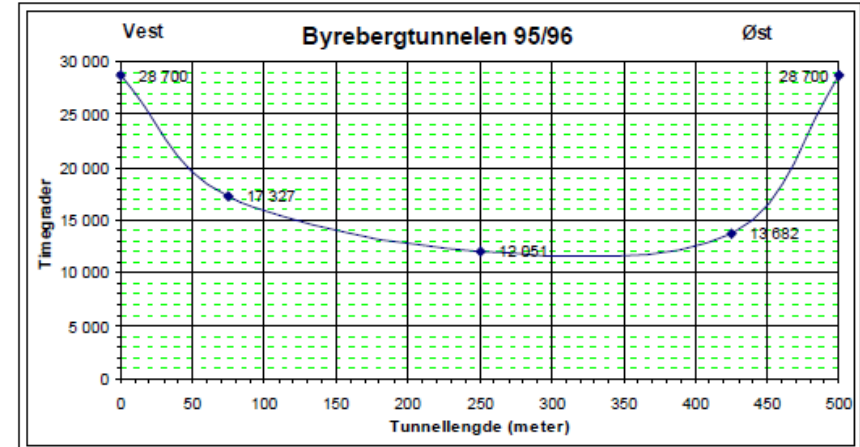


Fig. 7 Typisk frostprofil for en horisontal tunnel

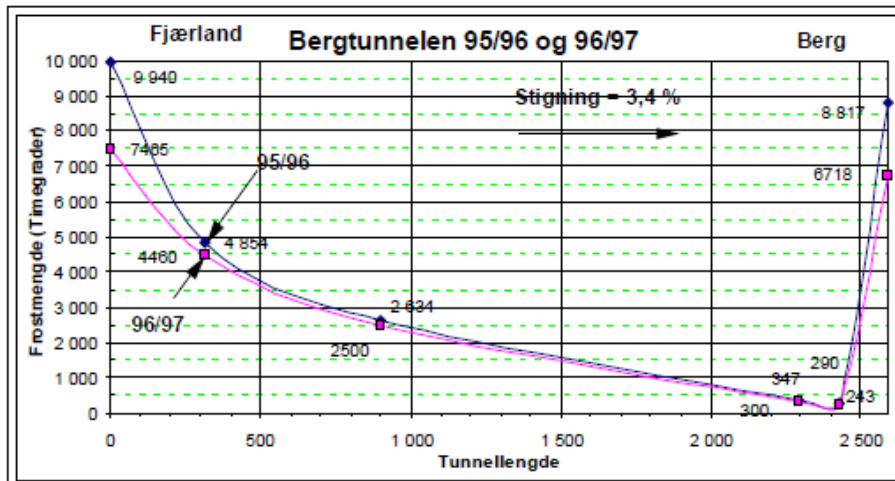


Fig. 8: Frostprofil for Bergstunnelen.

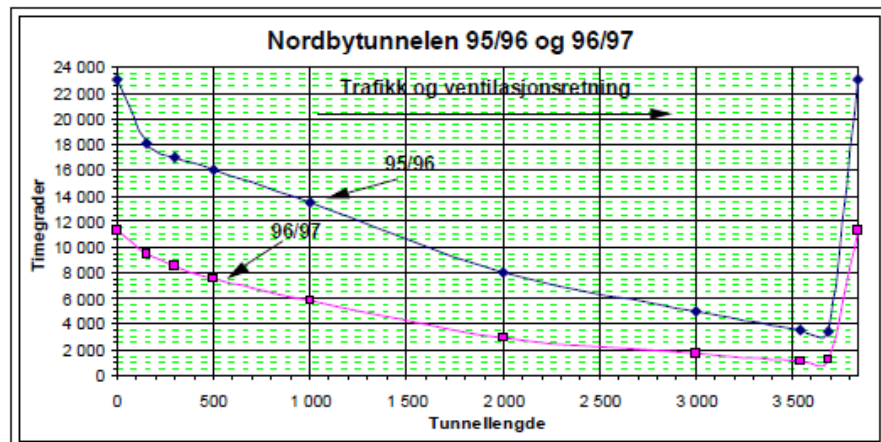


Fig. 9: Frostprofil fra Nordbytunnelen .

Dimensjoneringsdiagrammer fra IR 2301



Statens vegvesen

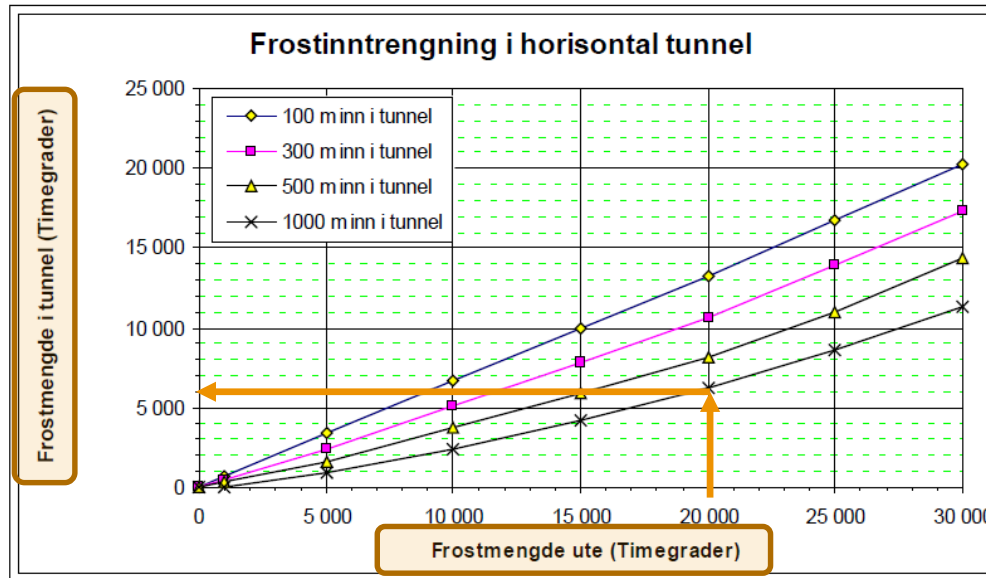


Fig. 16: Frostinntrengning i horisontale tunneler

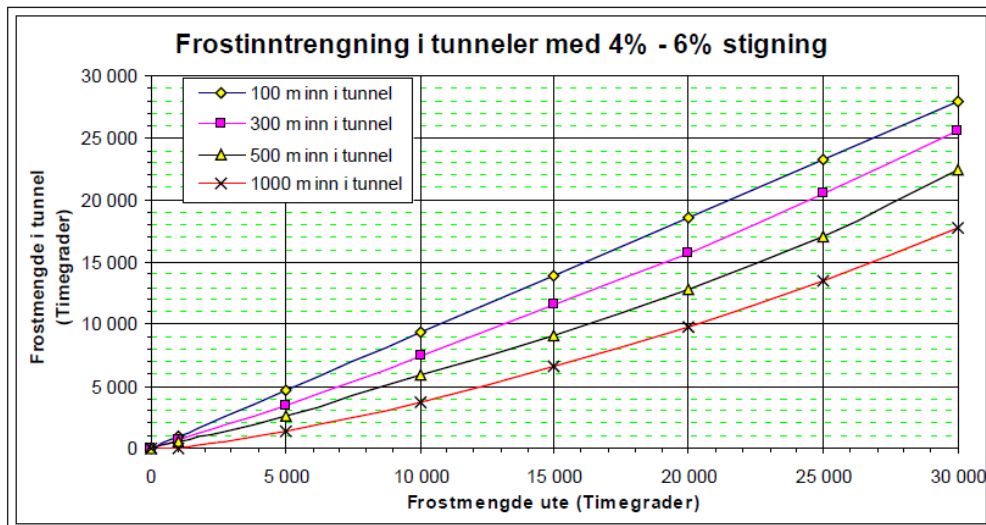


Fig. 18: Frostinntrengning i tunneler med ca. 4% - 6% stigning

Dimensjonering av dybde/isolasjon dren



Statens vegvesen

- Eksempel fra E6 Alta vest

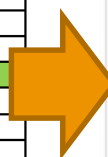
Dimensjonering av isolering av drenerør med XPS - basert på SINTEF Byggforsk								
Inndata som må gis								
Predef. inndata (kan endres)			Årsmiddeltemp	1,5				
Beregning			C	833				
Lag	Type	Tykkelse (m)	Densitet (kg/m ³)	w-vekt%	Lam-f (W/mK)	Frostmengde	Frostdybde	Frostnedregning under isolasjon
1	Asf	0,15	2400	0,5	1,7	16		
2	avretting	0,1	1900	3	1	91		
3	Pukk	0,5	1800	1	1	641		
4	Isolasjon (XPS)	0,15	100	1	0,04	516		
5	Mat. under iso	0,38	1800	4	1,85	15000	1,28	0,38



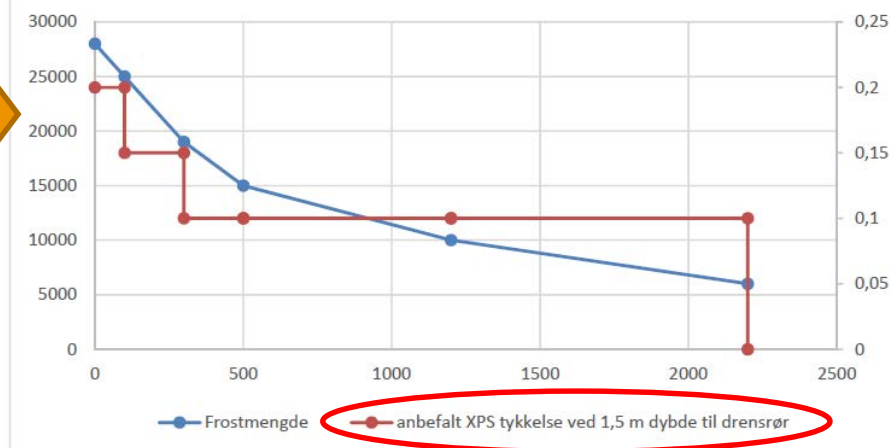
Frostdybder*

meter inn i tunnel	0m	100m	300m	500m	1200m	2200m
Frostmengde	28000	25000	19000	15000	10000	6000
Iso tykk (m)						
0				2,35	1,91	1,49
0,1	1,83	1,73	1,52	1,38	1,19	1,04
0,15	1,63	1,55	1,39	1,28		
0,2	1,52	1,46	1,33			

*forutsatt 15 cm asfalt og 60 m pukk over XP og pukk med w=4% under XPS



Antatt frostprofil





Anbefalinger

- Forsterkningslag og oppfylling fra rensket såle bør være drenerende masser, feks 20–120 mm.
- Vurdering av frostsoner iht. tunnelens beliggenhet og IR2301.
- Bunnrensk I del av tunnel der $F_{10\text{tunnel}} > 10\,000\text{ h}^\circ\text{C}$.
- Justering av fall på såle, pigging av terskler, gjenstøping av forsenkninger.
- Dybde til drencrør dimensjoneres etter vurdert frostprofil med isolasjonsplater om nødvendig.
- Spesiell oppmerksomhet mot overgangen mellom PE-skum I heng/vegg og isolasjon over grøfta – Ingen kuldebroer!
- Viktige kontrollpunkter under utførelse:
 - Såle, rensk og justering
 - Dybde på drencrør og isolering av disse
 - Kvalitet på innfylte masser over såle og forsterkningslag.



Statens vegvesen

Takk for oppmerksomheten!



Korgfjelltunnelen etter utbedring – ingen telehiv!