

Intern rapport

Intern rapport nr. 1946



Frostinntrengning i tunneler

(Foreløpig sammendrag for 3 vintre)



Statens vegvesen
Vegdirektoratet

Mars 1997

Veglaboratoriet

Frostinntrengning i tunneler

Sammendrag

På grunnlag av mer detaljerte frostmålinger i et utvalg av tunneler de tre siste vintre er det utarbeidet nye frostinntrengningskurver for de forskjellige tunneltyper. De tidligere kurvene baserte seg på tunneler med naturlig ventilasjon og kunne ikke uten videre brukes i "nye" tunneltyper, undersjøiske og med mekanisk ventilasjon. Datagrunnlaget er fremdeles noe mangelfullt, målingene bør derfor fortsette i to år til for å supplere grunnlaget for de nye kurvene. Rapporten er derfor foreløpig og basert på måleresultatene fram til 1996.

De nye målingene viser at det er tildels store lokale variasjoner innenfor de enkelte tunneltyper som har sin årsak i lokalklimatiske variasjoner og forskjellig bruk av mekanisk ventilasjon. Det må derfor påregnes større variasjon fra kurvene for enkelte tunneler.

Frostisolering av tunnelene fører til at varmemstrømmen fra fjellet blir redusert. Frosten trenger derfor lenger inn i isolerte tunneler enn i tunneler med naturlig fjelloverflate. Det er ikke gjort beregninger på effekten av dette, men kurvene blir automatisk tilpasset dette da det blir målt i tunnelrommet utenpå det isolerte hvelvet.

Emneord: *Frostmålinger, tunneler, P - 523 Tunnelkledninger*

Seksjon: *3520, Kontoret for Geologi og geoteknikk*

Saksbehandler: *Edvard Iversen*

Dato: *Mars 1997*

Innhold

1	INNLEDNING	1
2	VARMEBALANSE	1
3	FROSTINNTRENGNING	2
3.1	Nær horisontale tunneler	2
3.2	Tunnel med stigning	3
3.3	Tunneler med høybrekk	4
3.4	Undersjøiske tunneler	5
3.5	Virkningen av mekaniske vifter	5
3.6	Virkning av tunnelisolering	5
4	FROSTMÅLINGER	7
4.1	Innledning	7
4.1.2	Frostmengde	7
4.1.3	Tidligere målinger	7
4.2	Frostinntrengning	9
4.2.1	Tilnærmet horisontale tunneler	9
4.2.2	Tunneler med stigning; pipe-effekt	10
4.2.3	Motorveggtunneler med ventilasjon	11
4.2.4	Undersjøiske tunneler	12
4.2.5	Høyfjellstunneler med spesielle forhold - Nesbøtunnelen .	15
5	FROSTINNTRENGNING	16
5.1	Innledning	16
5.2	Tunneler inntil 500 m	16
5.3	Tunneler over 500 m	16
5.3.1	Høgtrafikk-tunneler	16
5.3.2	Undersjøiske tunneler	17
5.3.3	Tunneler med stigning	18
6	KONKLUSJON	22

1 INNLEDNING

I forbindelse med vannlekkasjer og våte fjellpartier fører frost til ulemper for trafikkantene med fare for ulykker og store vedlikeholdskostnader for vegvesenet.

I tørt tunnelfjell har frosten liten betydning. Selv om temperaturvariasjoner fører til bevegelser (utvidelser og sammentrekninger) som kan føre til nedfall av stein, viser all erfaring at dette ikke er noe stort problem.

Kombinasjonen vann og frost byr på problemer listet opp nedenfor:

- Is i tak og vegger løsner og faller ned i vegbanen i mildværsperioder
- Lysarmaturer brytes ned av islast
- Kjørebane blir islagt ved drypp fra tak, farlige issvuller dannes
- Drensgrøfter fryser til og vann trenger opp på kjørebane og fryser
- Stein faller ned fra tak og vegger ved frostsprengning
- Store vedlikeholdskostnader: istapper må slås ned og vegbane skrapes opptil flere ganger pr. dag.

For å løse disse problemer begynte man å kle tunnelene med ulike vann og frostsikringskonstruksjoner der det var lekkasjer.

2 VARMEBALANSE

En rekke faktorer virker inn på varmebalansen i en tunnel. Disse vil ikke bli diskutert detaljert, men nevnt for å gi en oversikt over det komplekse bildet som frostinntrengningen representerer.

Varmebalansen er summen av tilført og avgitt varme:

- Ført ut av tunnelen - lufttransport
- Avgitt fra fjellet - overgang, stråling
- Frigitt ved isdannelse og nedkjøling av isen
- Avgitt fra vann over 0° C
- Avgitt fra vegmaterialene, tunnelkledninger etc.
- Avgitt fra vifter, belysning etc.
- Avgitt fra kjøretøyene.

Tunnelkledninger isolerer det "varme" fjellet fra tunnelrommet og fører derfor til at frosten trenger lenger inn enn i ukledde tunneler.

Den viktigste varmetilførselen i uisolerte tunneler kommer fra fjellet. Ved 1000 m fjelloverdekning vil temperaturen i berget være ca 20° og med 1500 m opptil ca 30°. Den termiske gradienten kan variere mellom 14°C/km - 34 °C/km etter bergartstypen, nær overflaten. Gradienten avtar mot dypet, men for norske forhold vil tunnelene sjelden gå så

dypt at dette virker særlig inn på evt. beregninger. I tunneler med mye vannlekkasje vil varmetilførselen fra vannet tilføre en relativt stor varmemengde. I isolerte tunneler vil mye av denne varmen bli bevart i rommet mellom fjellet og hvelvet, og dermed redusere frostfaren bak hvelvet.

Det er forskjellig varmeledningsevne og varmekapasitet i forskjellige bergarter og mineraler. For anisotrope bergarter med lagning eller foliasjon, kan ledningsevnen være opptil 50% bedre langs strukturen enn på tvers.

Varmestrøm og gradient måles i dype borhull. I dyptliggende tunneler der varmen vil være et problem kan det utføres kompliserte beregninger for mer nøyaktige temperaturbestemmelser. For norske forhold vil det i de fleste tilfeller med dype tunneler være nok med generelle tabeller beregnet fra anslåtte temperaturgradienter.

3 FROSTINNTRENGNING

Frosten trenger inn i tunnelen med kaldluften. Helt ute i tunnelmunningen vil det i tillegg være et varmetap ved varmestråling ut i det fri. Inne i tunnelen vil varmestråling bare føre til en utjevning på de lokale temperaturforskjellene.

3.1 Nær horisontale tunneler

Luftstrømmene på vindstille vinterdager er illustrert i fig. 1.

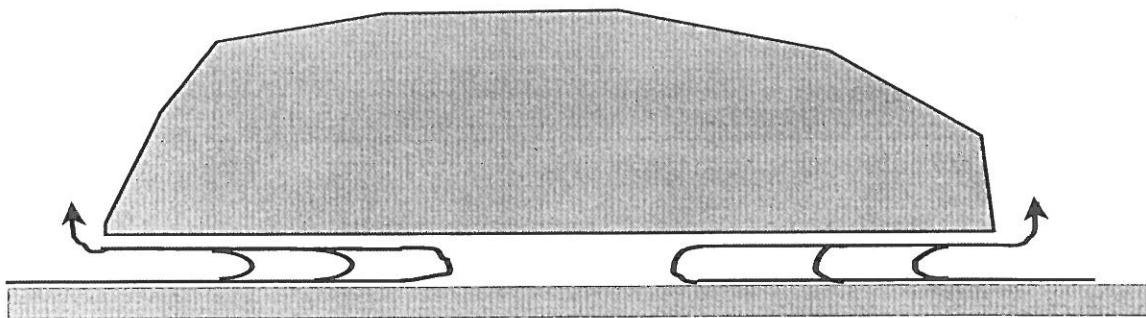


Fig. 1: Luftstrømmen i en horisontal tunnel en stille vinterdag

Varm tunnelluft strømmer ut oppe i hvelvet i begge tunnelender, mens kald luft strømmer inn nede langs kjørebanelen. Den kalde luften varmes opp av kjørebanelen og tunnelveggene og stiger opp mot taket og ut ved tunnelmunningene.

I korte tunneler vil disse luftstrømmene nå sammen og ved kuldegrader gi frost gjennom hele tunnelen. Frostinntrengningen vil i praksis være sterkt avhengig av lokalklimatiske forhold der den dominerende vindretningen vil være utslagsgivende for frostprofilen.

I lengre tunneler vil luftstrømmene ikke nå sammen og det vil i midten av tunnelen være en frostfri sone. Lengden av den frostfrie sonen er avhengig av frostmengden og tunnelens lengde.

Dersom vifter er i bruk eller der vind presser mot den ene tunnelmunningen vil det enkle strømningsbildet vist i fig. 1 bli forandret.

3.2 Tunnel med stigning

På vindstille vinterdager vil luftstrømmene vinterstid i en viftefri tunnel med stigning være som vist i fig. 2.

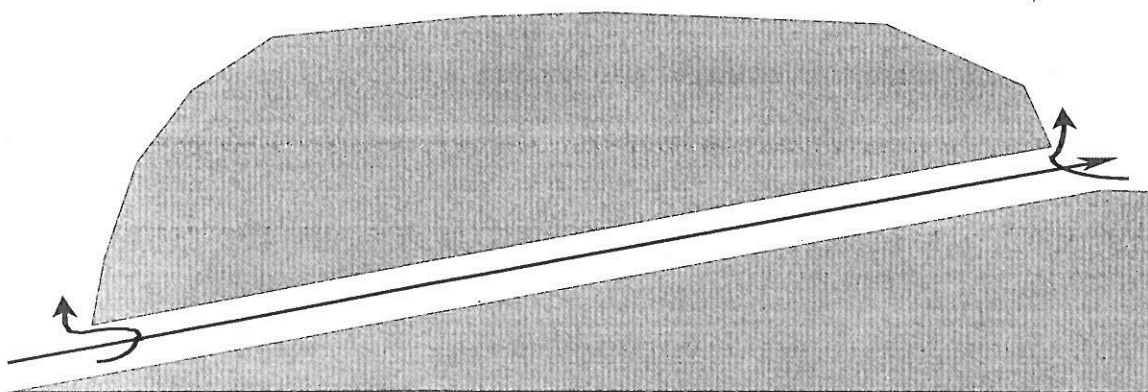


Fig. 2: Luftstrømmen i en tunnel med stigning en stille vinterdag

Den varme tunnelluften vil strømme ut i tunnelens øvre ende, mens kald luft trekkes inn ved den nedre åpningen. Frostinntrengningen i en tunnel med stigning vil derfor i hovedsak skje fra den nedre enden på grunn av den såkalte "pipeeffekten". I lengre tunneler med stigning vil trekkretningen være dominert av pipeeffekten. Temperaturforskjellen mellom tunnelluft og luften utenfor er den drivende faktoren.

Lokale klimatiske forhold kan i perioder forandre på trekkbildet, men bare i helt spesielle forhold forandre hovedprinsippet. Ved enkelte av høyfjellstunnelene vil kaldluft fra høyfjellsplatåer drenere i motsatt retning og kan bremse eller overvinne pipeeffekten.

3.3 Tunneler med høybrekk

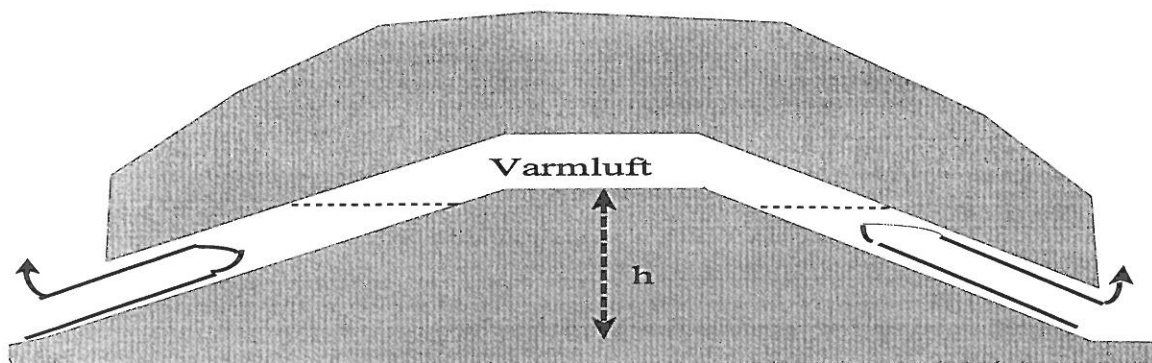


Fig. 3: Luftstrømmen i en tunnel med høybrekk

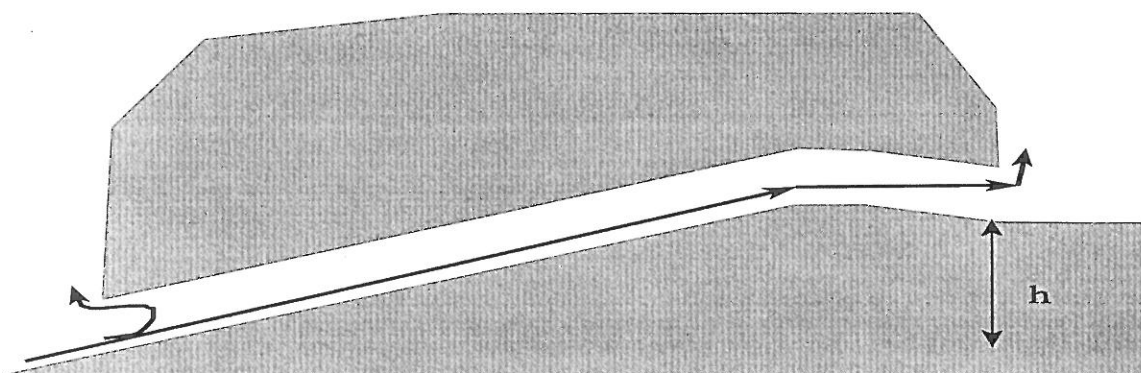


Fig. 4: Luftstrømmen i en tunnel med stigning og høybrekk

Flere tunneler stiger fra begge ender mot et høybrekk i tunnelen. Det vil da dannes en en "varmluftspropp" ved høybrekket om vinteren som reduserer eller stopper luftstrømmen. I de fleste tilfeller er imidlertid høydeforskjellen liten slik at tunnelen vil virke tilnærmet som en horisontal tunnel. Med høydeforskjell mellom tunnelåpningene er det den som er avgjørende for luftstrømmen (pipeeffekten), fig. 4.

3.4 Undersjøiske tunneler

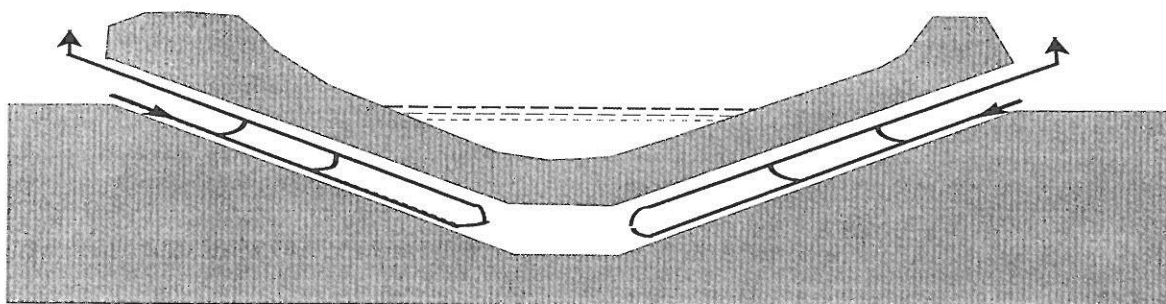


Fig. 5: Luftstrømmen i en undersjøisk tunnel en stille vinterdag

Undersjøiske tunneler har sterk stigning mot åpningene. Varmeluften i tunnelen vil derfor stige raskere ut, samtidig som kaldluften renner inn fra åpningene. Frostene trenger derfor lenger inn enn i de andre tunneltypene. Erfaringene viser også at lokalklimatiske forhold gir sterkere utslag ved de undersjøiske tunnelene.

3.5 Virkningen av mekaniske vifter

I tunneler med stor årsdøgntrafikk (ÅDT) er det montert mekaniske vifter. Ventilasjonen øker frostinntrengningen. Ofte er ventilasjonen dirigert i en retning av hensyn til miljøet utenfor tunnelen, særlig gjelder dette i byområder. Videre er motorvegtunneler ofte ventilert med trafikkretningen. Sammen med stempeleffekten fra trafikken vil dette i sterk grad påvirke frostinntrengningen og frostprofilen for disse tunneler. Frostene trenger derfor langt inn i ventilasjons og trafikkretningen.

3.6 Virkning av tunnelisolering

PE-skum og andre tunnelkledninger isolerer fjellet fra tunnelrommet. Dette reduserer varmemestrømmen fra fjellet til tunnelrommet og skal i prinsippet holde fjelloverflaten med vannlekkasjer frostfrie. I isolerte tunneler vil derfor frostene trenge lenger inn i tunnelen enn der det varme fjellet er eksponert i tunnelrommet. De nye målingene i høytrafikk tunneler tar automatisk hensyn til dette da målingene er gjort i tunnelrommet med målere festet til hvelvkonstruksjonen.

Det er også målt bak forskjellige hvelvkonstruksjoner for å få et bilde av temperaturen i rommet bak hvelvet som i utgangspunktet er planlagt å være frostfrie. Måleresultatene viser imidlertid at det ved midlere og høye frostmengder blir en betydelig frostmengde bak alle hvelvtypene som er kontrollert. Det er imidlertid en klar reduksjon av den totale frostmengden og det er sjelden frost bak isoleringen før i midten av desember.

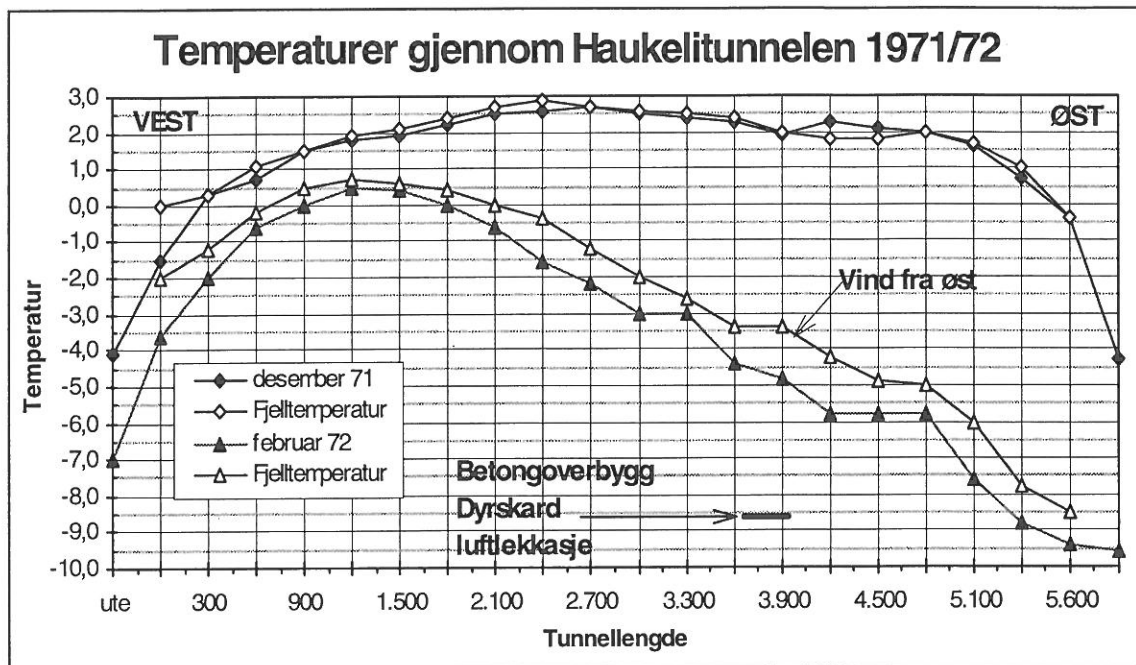


Fig. 7: Temperaturer gjennom Haukelitunnelen

Temperaturoversikten målt i Haukelitunnelen, fig. 7 viser eksempel på virkningen av "tilfeldig" værpåvirkning. Målingene fra februar 1972 med vind fra øst viser et annet bilde enn målingene fra desember i roligere vær. Det er videre klart at for denne tunnelen vil vind fra øst føre til frostinntrengning langt inn i tunnelen. Det foreligger ikke opplysninger om at vestavind fører til en tilsvarende temperaturfordeling fra vest, men av 10 vintermålinger 1971 - 73 viser ingen av målingene forskyvninger fra vest.

Målinger fra Fånefjelltunnelen i 1972, fig. 8, vise at "pipeeffekten" ikke alltid er dominerende.

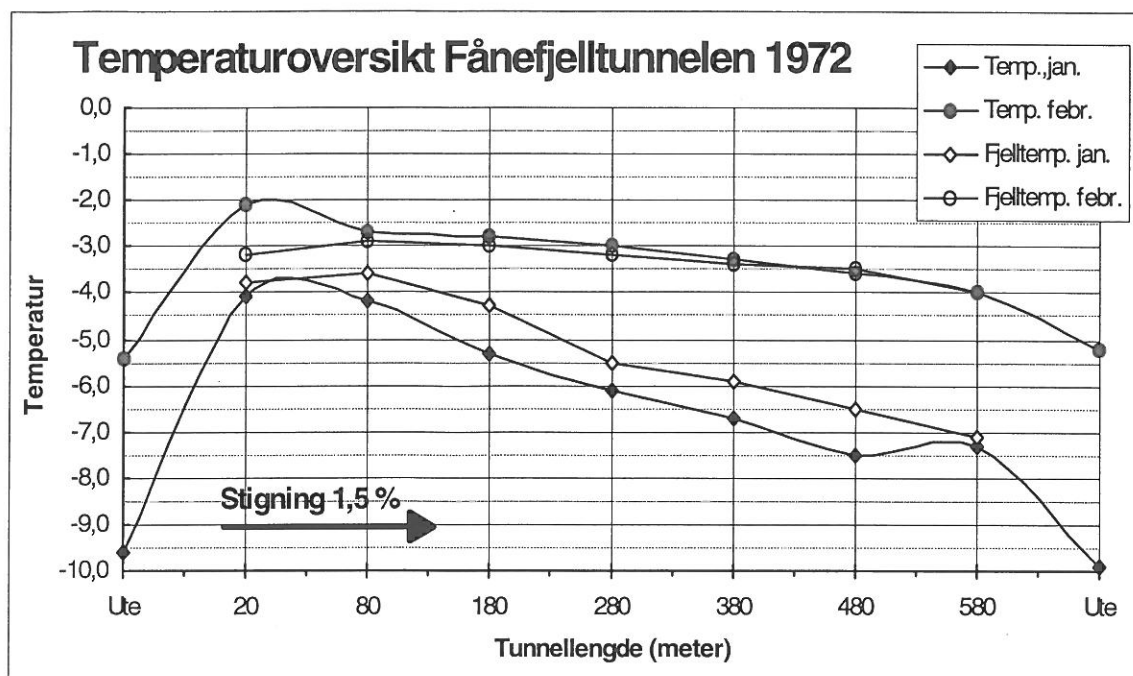


Fig. 8: Temperaturer gjennom Fånefjelltunnelen

Målingene av fjelltemperaturen (overflatetemperatur) viser at den raskt tilnærmer seg lufttemperaturen i tunnelen. En gjennomgang av målingene fra en rekke tunneler viser at fjelltemperaturen i perioder med kuldegrader sjelden er over 1°C - 2°C høyere enn lufttemperaturen. I de fleste målingene er temperaturdifferansen mindre enn 1°C .

4.2 Frostinntrengning

4.2.1 Tilnærmet horisontale tunneler

Horisontale tunneler uten ventilasjon får et symmetrisk frostprofil. Den fremherskende vindretningen om vinteren vil forskyve minimumspunktet for frostprofilet noe i vindretningen. Som eksempel på en kort tunnel med høy frostmengde vises frostprofilet for Byrebergstunnelen ved Vågåvatnet for vinteren 95/96. Frostbelastningen var stor med 28.700 målte timegrader, ($F_{10} = 37.500 \text{ H}^{\circ}\text{C}$) på grunn av soloppvarming av måleren ute og noe tap av data for forvinteren er den målte frostmengden ute for lav.

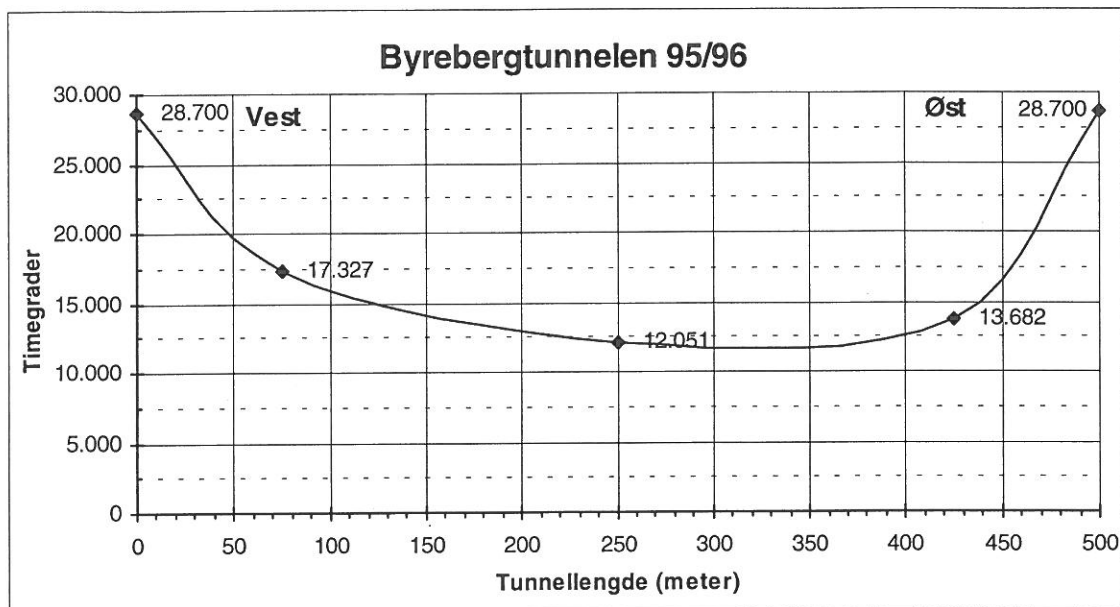


Fig. 9: Typisk frostprofil for en horisontal tunnel, Byrebergstunnelen, Rv 15 ved Vågåvatnet

4.2.2 Tunneler med stigning; pipe-effekt

I tunneler med stigning vil frosten trenge langt inn fra den nedre åpningen, mens det er nesten ingen frostinntrengning fra den øvre åpningen. Moderat trafikk og ventilasjon vil i liten grad forandre bildet. Ventilasjonen vil normalt være styrt med pipeeffekten mot øvre åpning. Som eksempel på frostprofil for slike tunneler er det vist målingene fra Bergtunnelen ved Fjærland i fig 9.

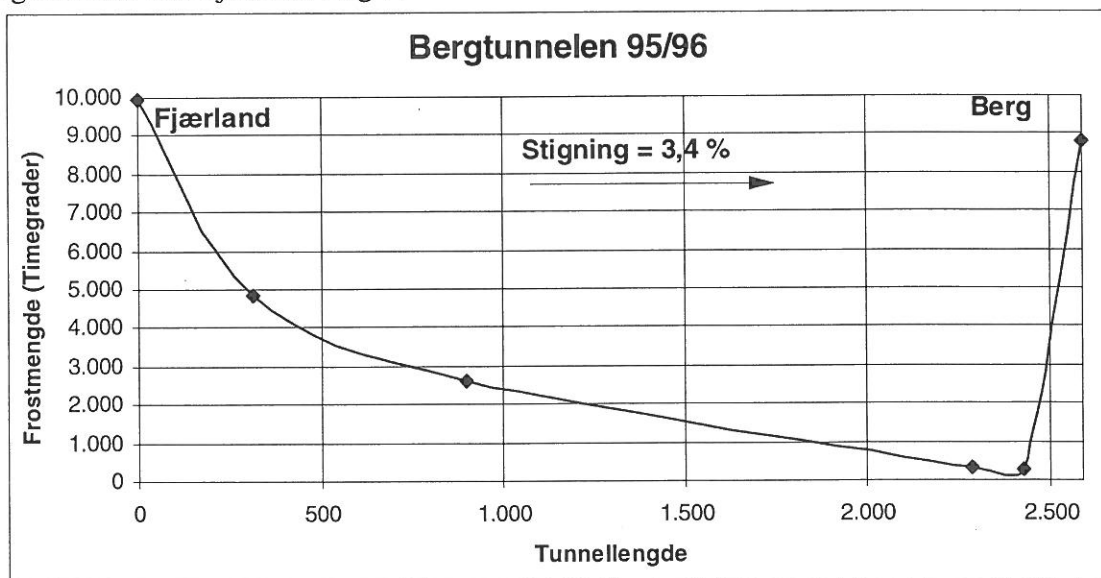


Fig. 10: Frostprofil for Bergstunnelen, Rv. 5 ved Fjærland, som eksempel på tunnel med stigning

4.2.3 Motorvegtunneler med ventilasjon

I flerløpstunneler med høy trafikk og ventilasjon i trafikkdirningen blir frostprofilen sterkt forskjøvet i trafikkdirningen. Dette sees klart i dataene fra Nordbytunnelen og Tromsøtunnelen. Selv om Tromsøtunnelen er undersjøisk og Nordbytunnelen har svak stigning i trafikkdirningen, blir frostprofilen nesten identiske.

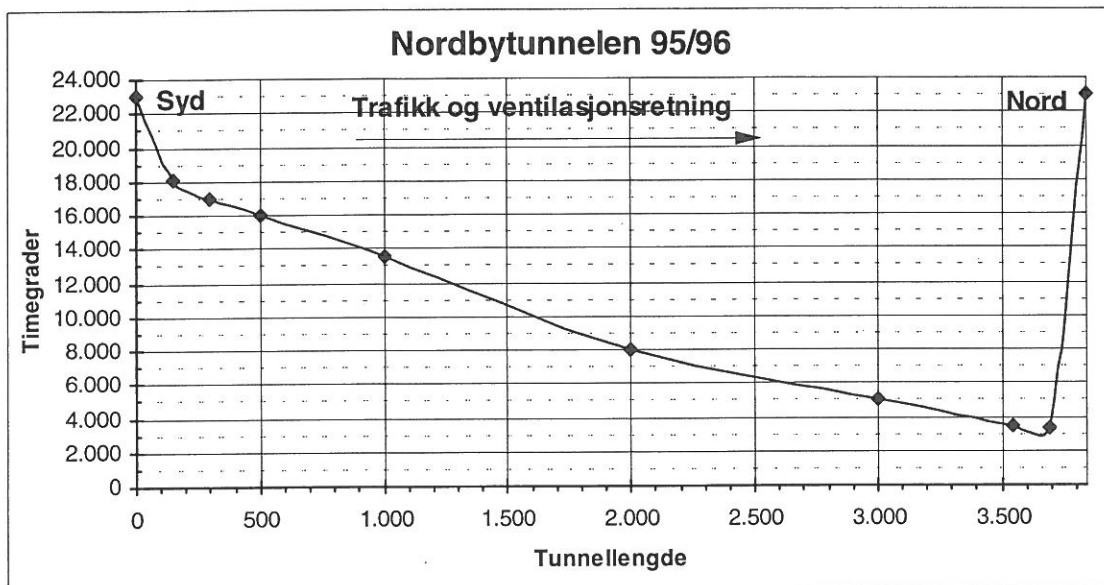


Fig. 11: Frostprofil fra Nordbytunnelen 1995/96

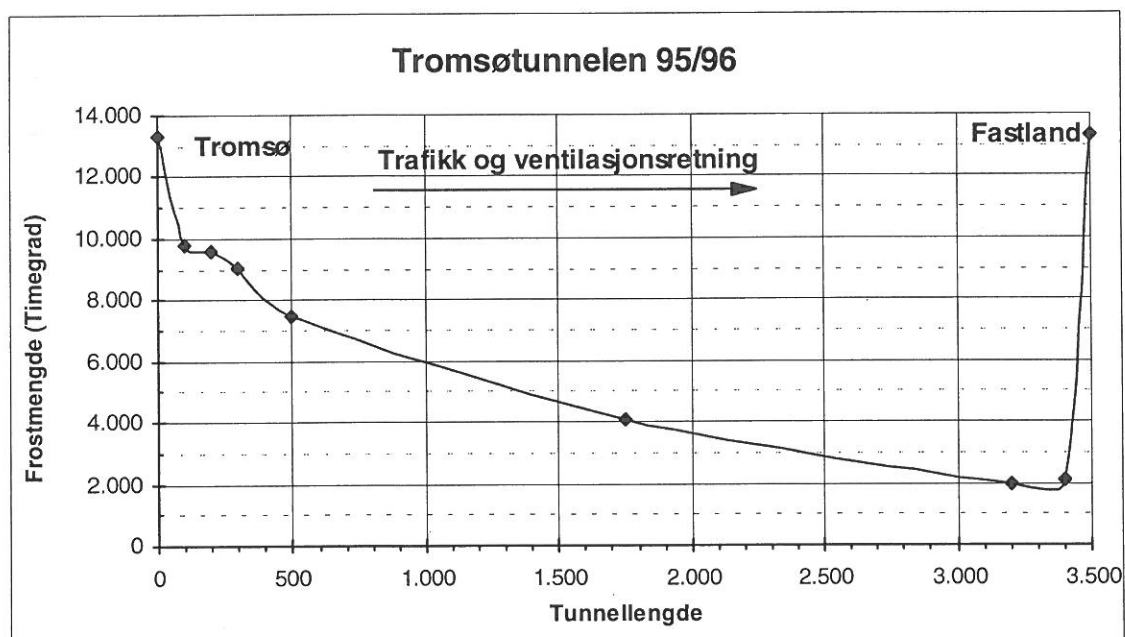


Fig. 12: Frostprofil fra Tromsøtunnelen 1995/96

I kortere motorvegtunneler, 500 m - 1000 m, får en det samme bildet. I Granfosstunnelen der pipeeffekten virker sammen med stempeleffekten og ventilasjonen er den laveste frostmengden *utenfor* tunnelen. I disse korte tunnelen blir det ca. en halvering av frostmengden på det varmeste punktet i tunnelen, og noe mer for Granfosstunnelen.

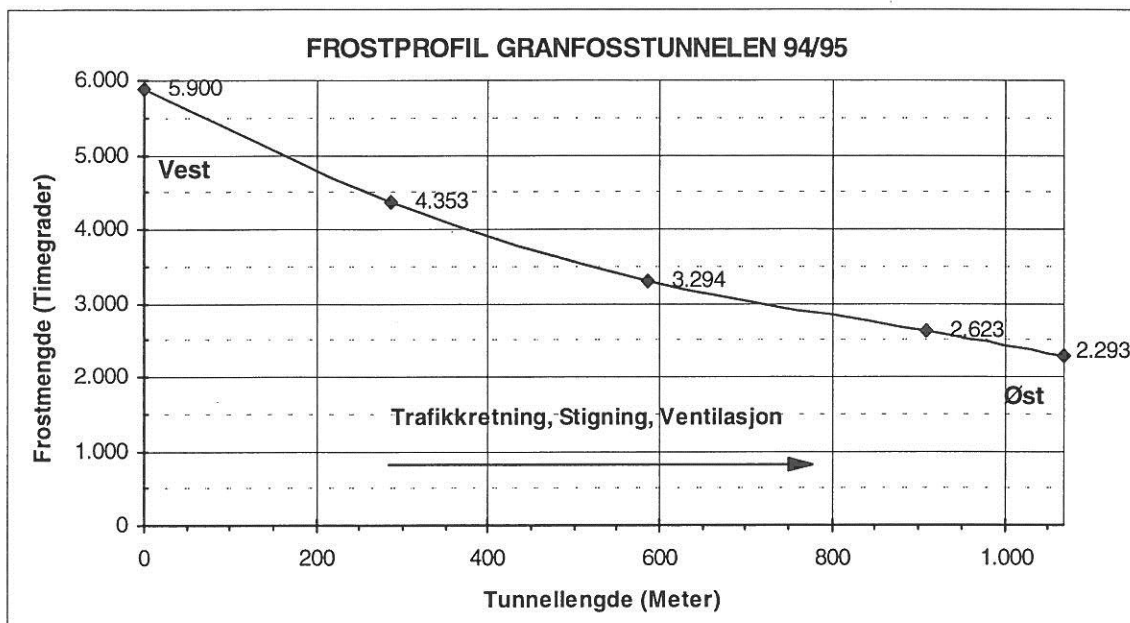


Fig. 13: Frostprofil fra Granfosstunnelen.

4.2.4 Undersjøiske tunneler

I de undersjøiske tunnelen trenger frosten lenger inn enn de "normale" tunnelene med liten høydeforskjell mellom åpningene. Videre synes det klart at lokalklimatiske forhold spiller en stor rolle. F.eks. er det store frostproblemer med Ellingsøytunnelen (mellom Ålesund og Ellingsøy), mens det nesten ikke er frostproblemer i nabetunnelen Ellingsøy - Vigra. De fleste undersjøiske tunneler er ventilert i en hovedretning, ofte mot den minst bebygde åpningen. Dette styrer frostinntrengningen. I enkelte tunneler kan de lokalklimatiske forhold motvirke ventilasjonen, særlig i tunneler med lite trafikk der viftene er lite brukt. Vardøtunnelen har for eksempel størst frostinntrengning fra Svartnessiden selv om ventilasjonen er styrt mot Svartnes.

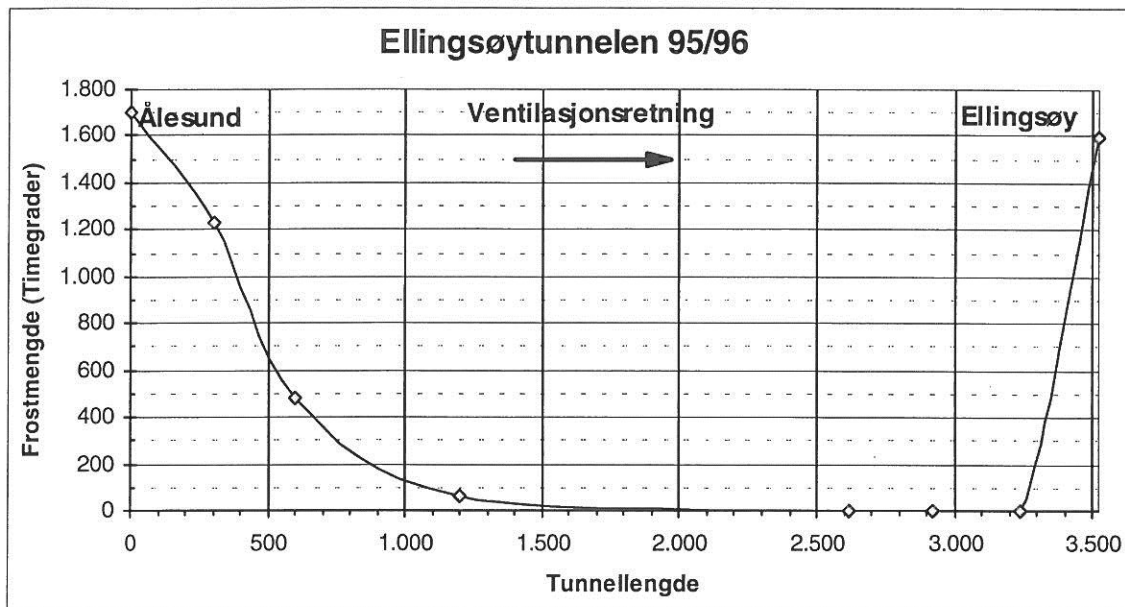


Fig. 14: Frostprofil fra Ellingsøytunnelen 1995/96

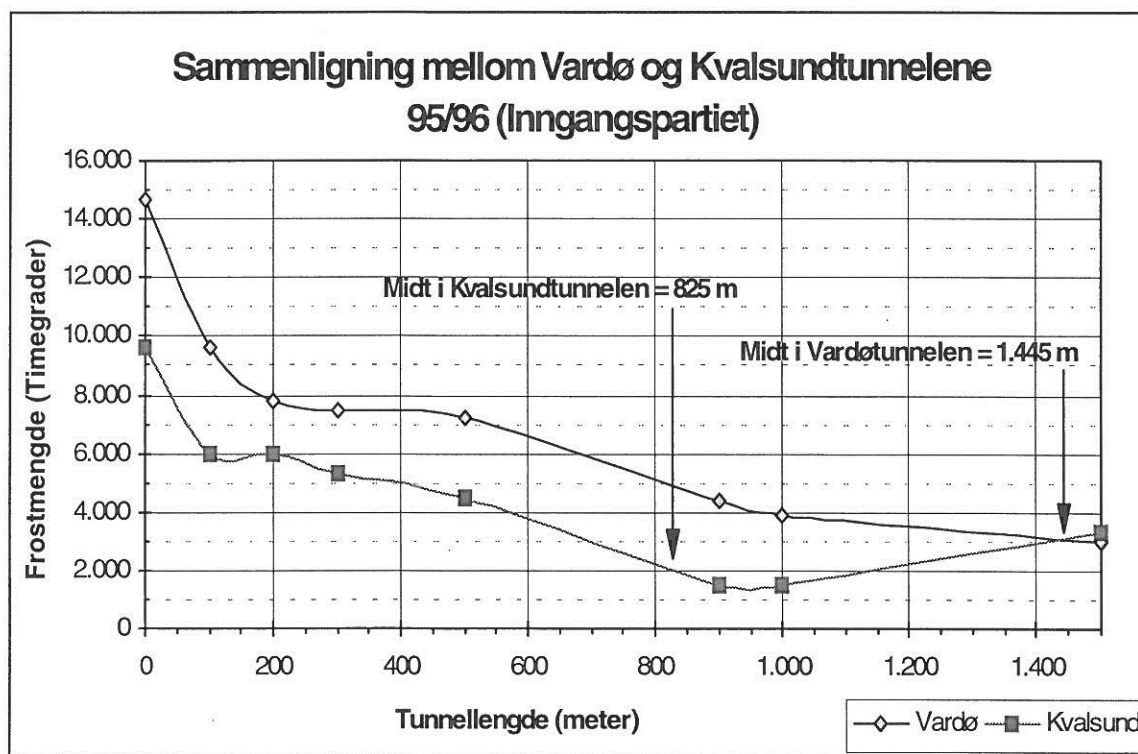


Fig. 15: Frostprofil fra inngangspartiene i Vardø og Kvalsund tunnelene

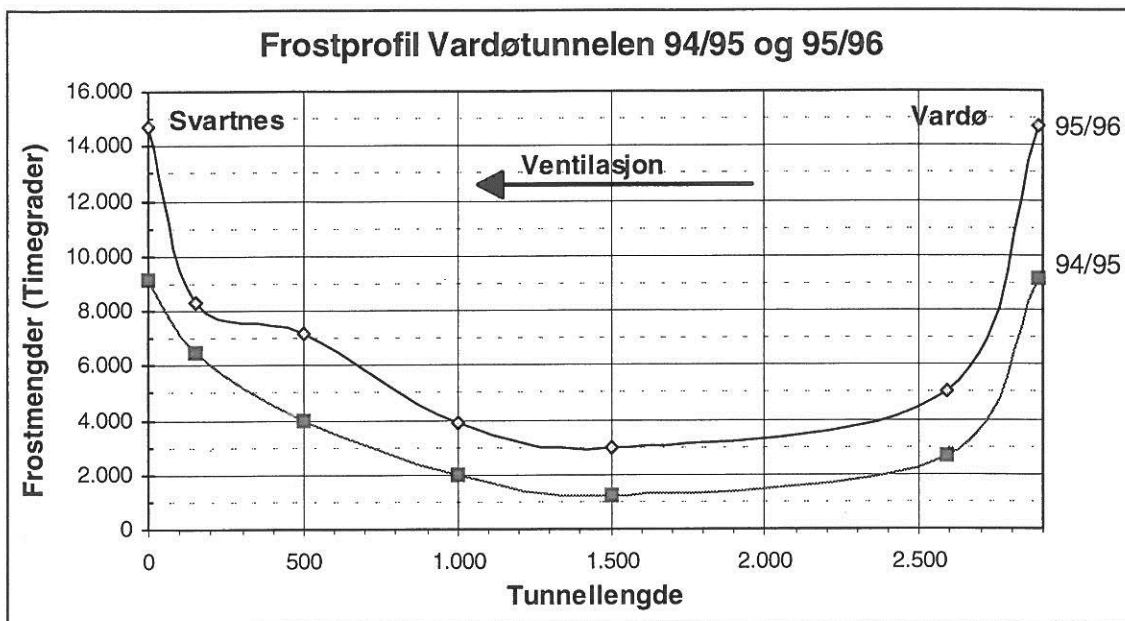


Fig. 16: Eksempel på variasjoner fra år til år i Vardøtunnelen (undersjøisk)

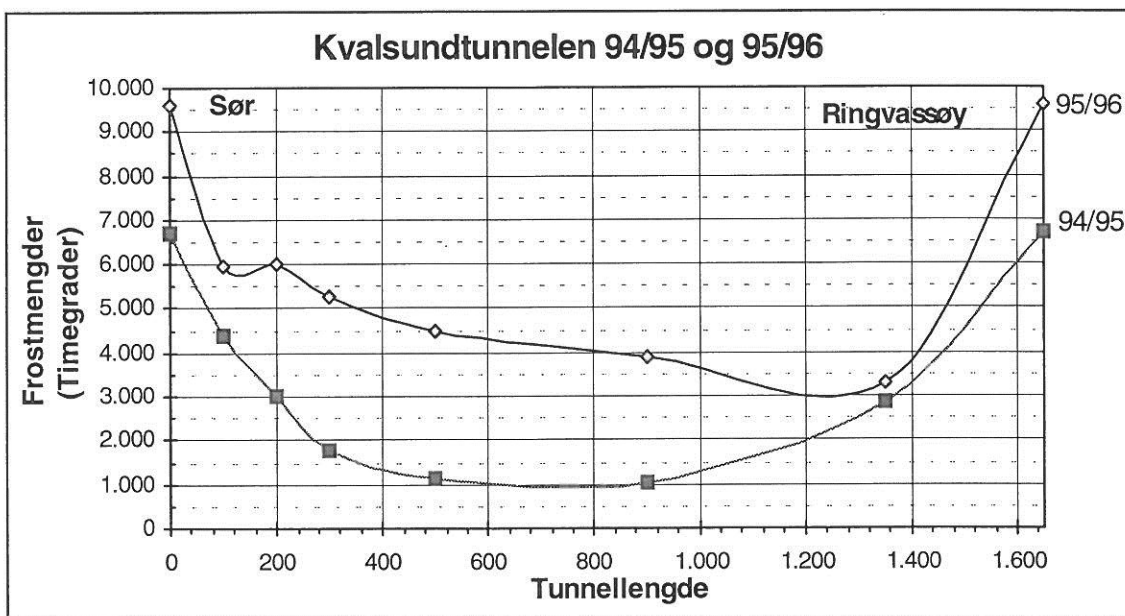


Fig. 17: Eksempel på variasjoner fra år til år i Kvalsundtunnelen (undersjøisk)

Variasjonen i frostinntrengningen fra år til år er som oftest liten.

Frostinntrengningsmønsteret varierer derfor lite for defleste tunnelene, fig. 16, og 18.

Forskjellig vær med avvikende vindretning og variasjon i viftebruk kan føre til noe større avvik, fig. 17, men hovedbildet er likevel likt. Like tunneltyper har relativt likt frostinntrengningsmønster, fig. 15.

4.2.5 Høyfjellstunneler med spesielle forhold - Nesbøtunnelen

Nesbøtunnelen i Aurlandsdalen drenerer kaldluft fra høyfjellsplatået mot lavlandet. Dette motvirker pipeeffekten, det dannes en "propp" i tunnelen slik at frostinntrengningen blir liten og frostprofilen blir tilnærmet symmetrisk. Frosten trenger i hovedsak inn fra den øvre åpningen. Frostbelastningen i de sentrale deler av tunnelen er derfor liten.

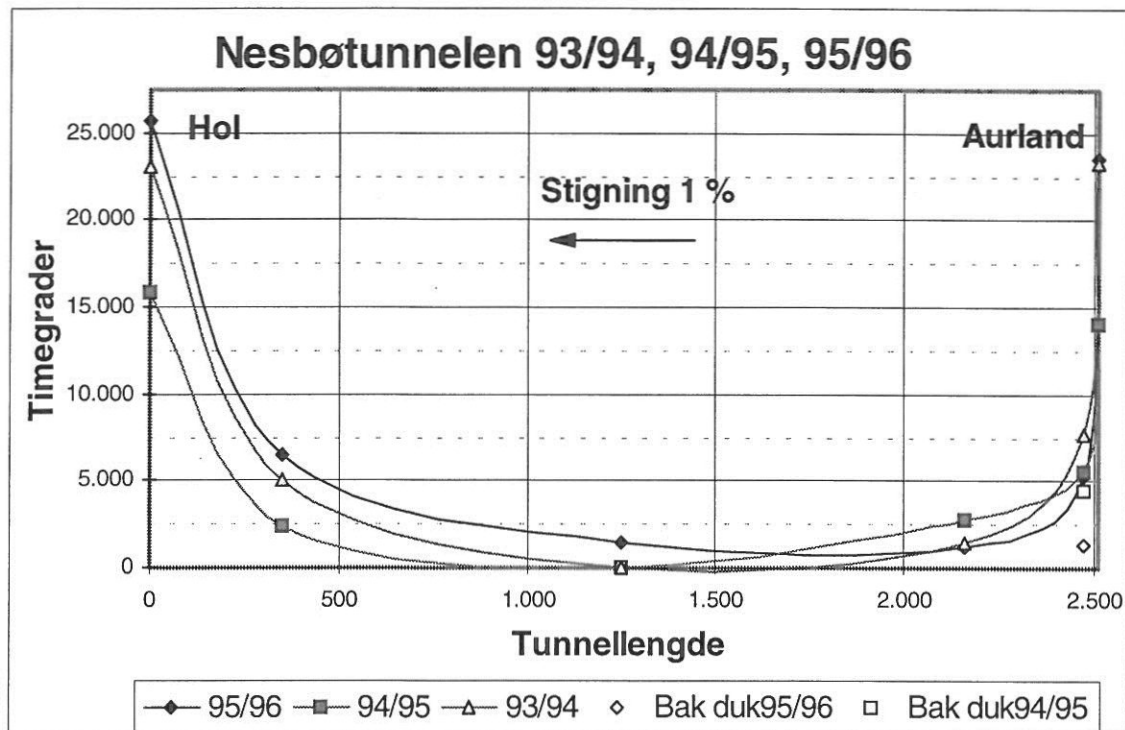


Fig. 18: Frostprofil fra Nesbøtunnelen, Rv. 50, Aurlandsfjellet

5 FROSTINNTRENGNING

5.1 Innledning

De tidligere frostinntrengningskurvene er utarbeidet på grunnlag av målinger i tunneler med naturlig ventilasjon. I de senere år er det kommet en rekke nye tunneltyper, for eksempel undersjøiske med ventilasjon, og to-løps høytrafikk tunneler med enveis rettet trafikk og ventilasjon. Frostinntrengningen i en del av disse tunneler varierer betydelig mer enn i tunneler med naturlig ventilasjon på grunn av varierende viftebruk. Det kan derfor bli større variasjon fra år til år og det kan også bli relativt store avvik ved forskjellige frostmengder.

Kurvene for frostinntrengning blir derfor beheftet med større usikkerhet på grunn av slike lokale variasjoner. Kurvene er presentert i fig. 19 - 23 og de viktigste informasjonen er også presentert i tabell 1.

5.2 Tunneler inntil 500 m

Tunneler inntil 500 m vil i de fleste tilfeller ha en minimum frostmengde på ca. 50 % av frostmengden ute. I horisontale tunneler uten mekanisk ventilasjon vil minimum frostmengde ligge omtrent midt i tunnelen, normalt noe forskjøvet etter den framherskende vindretningen på stedet. Tunneler med stigning vil få minimumspunktet forskjøvet på grunn av pipeeffekten. Envegs høytrafikk tunneler vil ha sin minimums frostmengde kraftig forskjøvet i trafikketningen. Høytrafikk tunneler med samvirkende stigning, trafikk og ventilasjon vil kunne ha fallende frostmengde gjennom hele tunnelen. Her vil frostreduksjonen normalt være mindre enn 50 % på 500 m, opptil 1000 m må til før reduksjonen blir 50 %.

Siden posisjonen for minimumsverdien inne i tunnelen varierer mye vil det være riktig å dimensjonere disse tunnelene etter frostmengden ute = F_{10} .

5.3 Tunneler over 500 m

5.3.1 Høytrafikk tunneler

I høytrafikk tunneler med to løp og ventilasjon i trafikketningen vil frosten trenge langt inn i ventilasjons og trafikketningen. Ved større kuldemengder vil frosten trenge inn i hele tunnallengden selv i lange tunneler over 3 km. Disse tunnelene er normalt dekket med frostisolerte hvelv i hele tunnallengden. Dette gjør at varmetilskuddet fra fjellet inn i tunnelrommet blir begrenset og frosten sprer seg relativt raskt gjennom hele tunnellopet. Lekkasjer inn i tunnelrommet fører derfor uvegerlig til vedlikeholdsproblemer og trafikkfare.

Det normale frostbilde presentert i fig. 11 og 12, viser en relativt kraftig reduksjon av frostmengden over de første 100 - 200 m. i tunnelen. Videre innover blir det en gradvis reduksjon til minimumsverdien nær utgangen.

Frostinntrengningskurvene er presentert i fig. 19 og viser en tilnærmet lineær frostinntrengning på 85% for de første 100 m av tunnelen for alle frostmengder. Lenger inn i tunnelen vil avkjøling av vegger og konstruksjoner føre til en tilnærmet parabelformet utvikling av kurvene. Ved store frostmengder “bruker man opp” varmen i tunnelen og den prosentvise frostmengden øker ved store frostmengder ute. 300 m inn i tunnelen vil frostmengdene ligge under 75 % helt opp til 22 000 h°C. 1000 m inn i tunnelen vil frostmengden ligge like under 50 %.

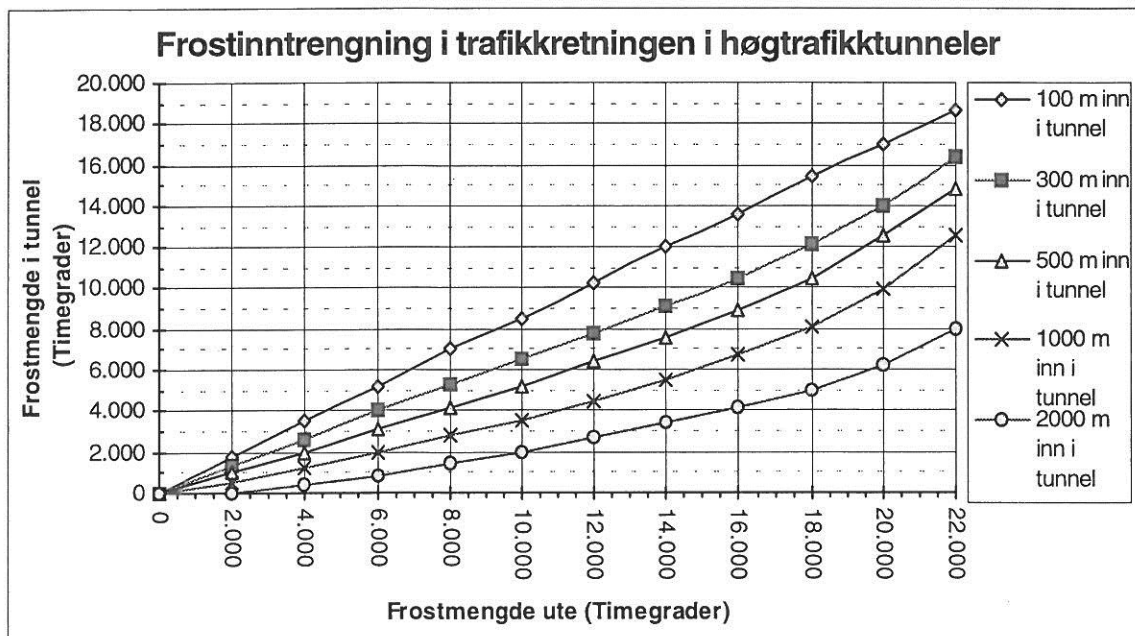


Fig. 19: Frostinntrengning i trafikk og ventilasjonsretningen i høgtrafikk tunneler

5.3.2 Undersjøiske tunneler

De undersjøiske tunnelen ligger i kystsonen, med små frostmengder med $F_{10} = 2.000 \text{ H}^\circ\text{C}$ til $3.000 \text{ H}^\circ\text{C}$ på Vestlandet. Tunneler i Nord Norge vil ha høyere frostmengder med opptil $F_{10} = 26.000 \text{ H}^\circ\text{C}$ for Vardøtunnelen.

Frostinntrengningen for de undersjøiske tunnelene er preget av de lokale klimatiske forhold. Kombinert med lokale variasjoner i bruk av vifter, fører dette til at generelle frostinntrengningskurver blir beheftet med usikkerhet. Slike kurver er likevel forsøkt konstruert, fig. 20, men ved beregninger må det forventes større variasjoner for frostinntrengningen enn for de andre tunneltypene.

Som det fremgår av kurvene er det en tilnærmet lineær sammenheng mellom utetemperaturen og tunnelen de første 100 m inn i tunnelen for små og moderate frostmengder. I motsetning til tunneler med naturlig trekk avtar frostmengden i tunnelen ved høyere frostmengder i uteluften, (basert på Vardø og Kvalsundtunnelene). Disse tunnelene får en ekstra kraftig reduksjon i frostmengden de første 100 - 200 m inn fra åpningen (fig. 13/14).

For større avstander fra tunnelåpningen vil avkjølingen og varmeutvekslingen med tunnelveggen føre til en avtagende reduksjon av frostmengden og frostinntrengningskurvene får et svakt buet forløp. Ved lave frostmengder og langt inn i tunnelene vil frostmengden nærme seg $0\text{ H}^{\circ}\text{C}$, mens det ved høye frostmengder vil være betydelige frostmengder gjennom hele tunnelen. De lengste tunnelene som er målt er Byfjord og Ellingsøy tunnelene på ca. 3.500 m. På grunn av lite data er frostinntrengningen i avstand over 1.500 m er derfor ikke beregnet.

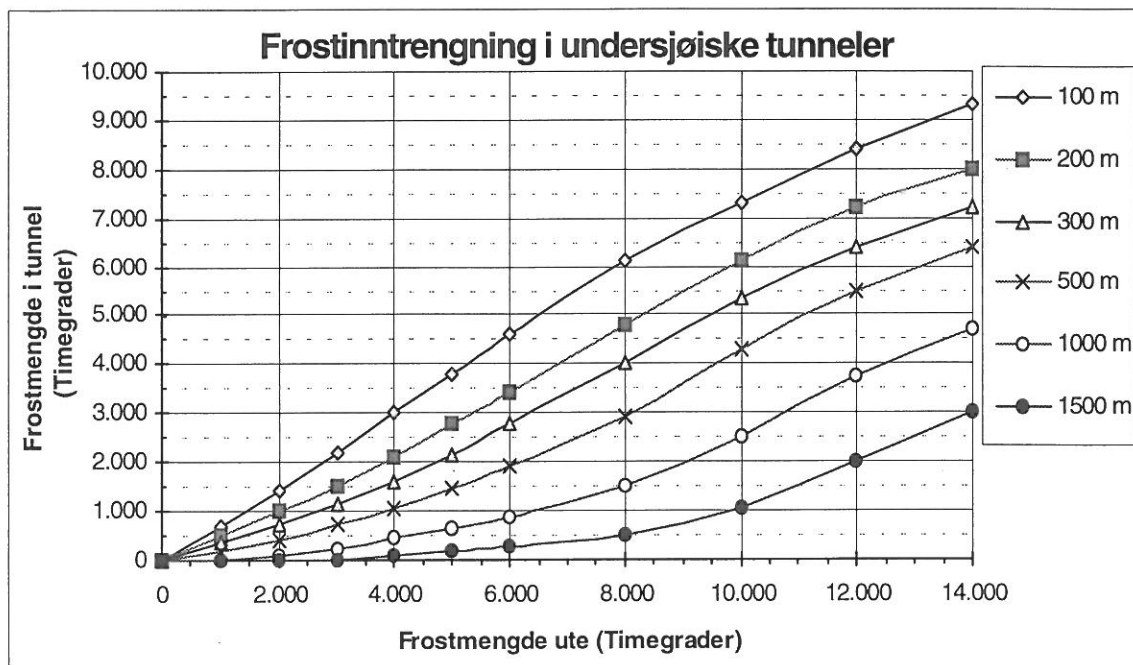


Fig. 20: Frostinntrengning i undersjøiske tunneler (fra hovedinntrengningssiden)

5.3.3 Tunneler med stigning

I tunneler med stigning vil pipeeffekten dominere strømningsmønsteret og dermed frostinntrengningen. Til kraftigere stigning til sterkere er pipeeffekten og dermed frostmengdene i tunnelen. Frostinntrengningskurver er presentert for 3 stigningsintervaller, 0 %, ca 2 - 4 % og ca 4 - 6 % stigning. For andre stigningsforhold må det skjønnsmessig interpoleres.

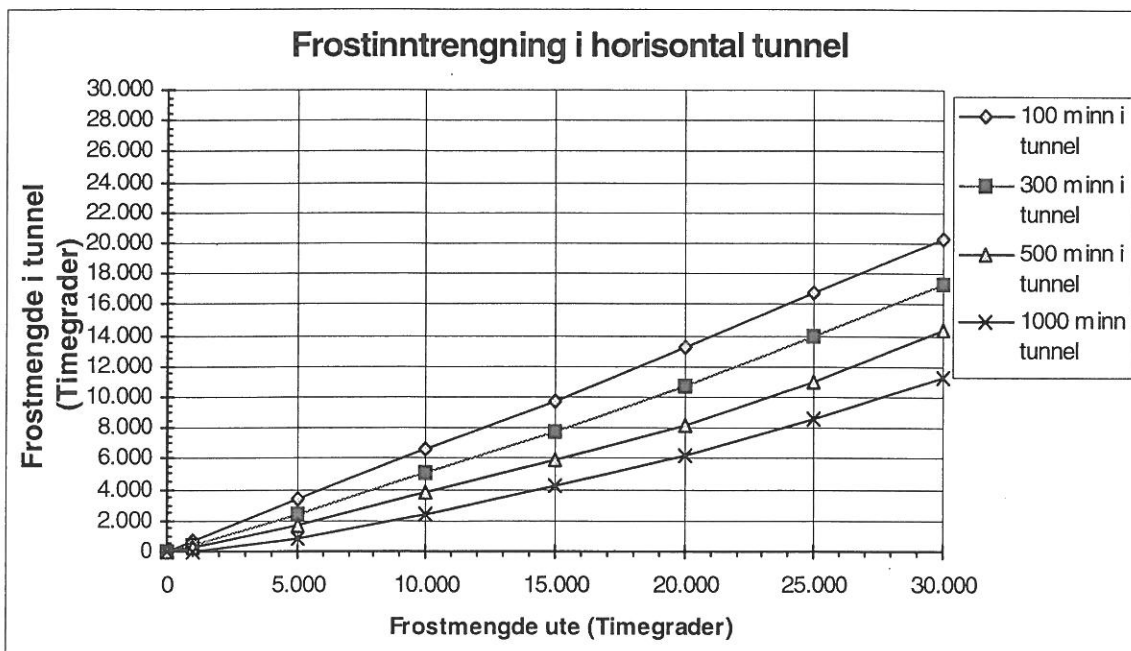


Fig. 21: Frostinntrengning i horisontale tunneler

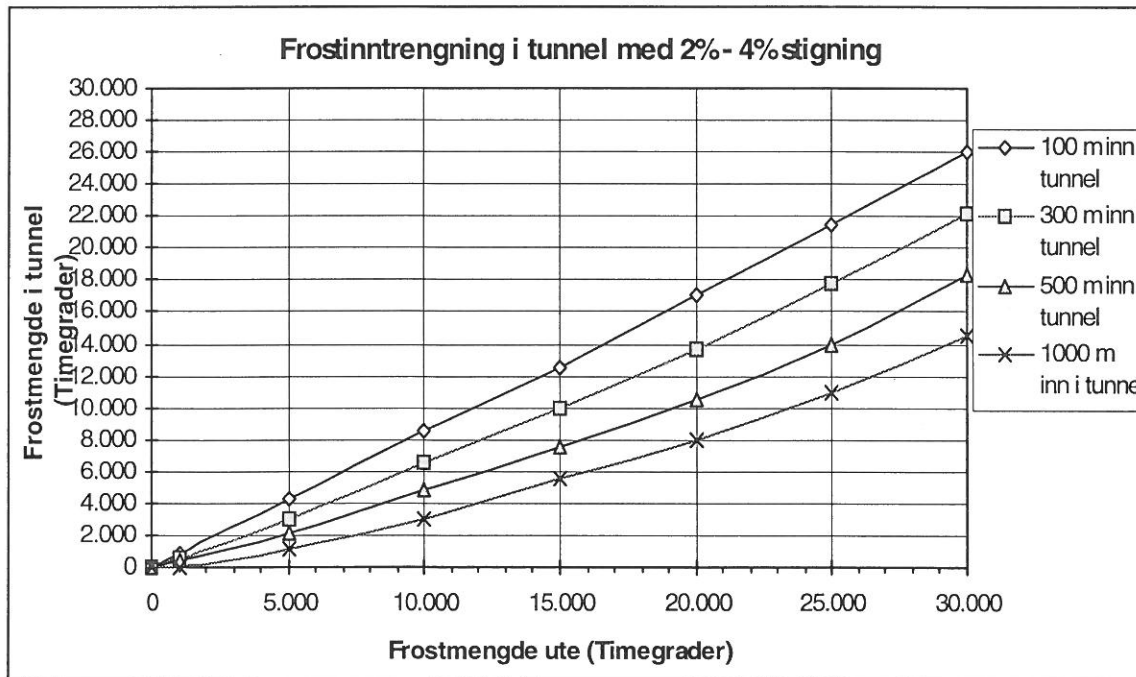


Fig. 22: Frostinntrengning i tunneler med ca. 2% - 4% stigning

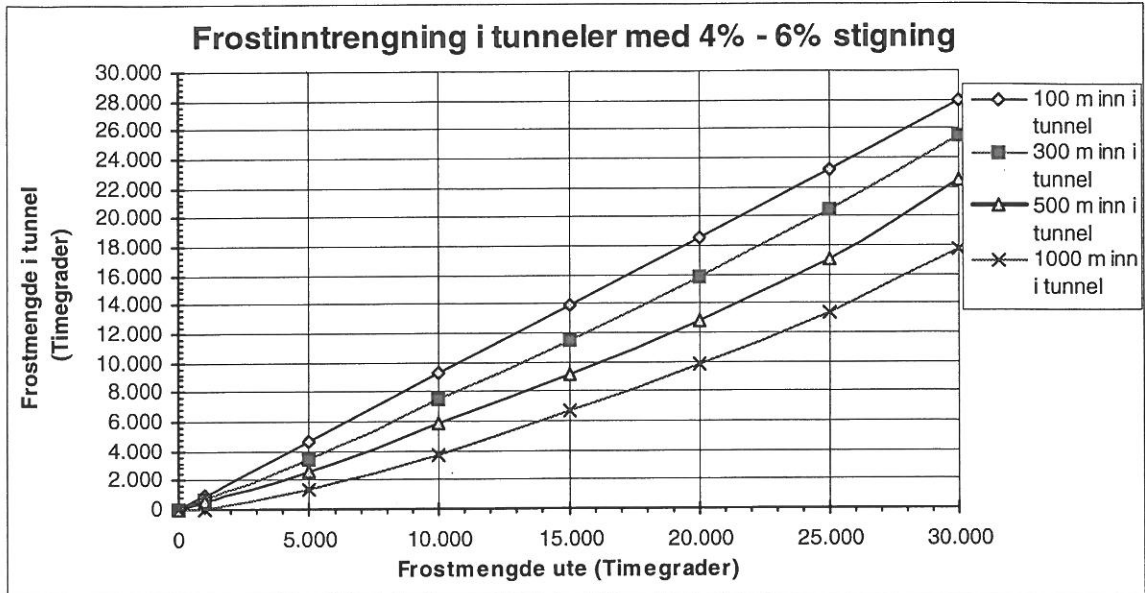


Fig. 23: Frostinntrengning i tunneler med ca. 4% - 6% stigning

Tabell over frostinntrengning

Prosentvis frostmengde i tunnel fra utvendig frostmengde

Tunneltype	Avstand fra åpning	Lave frostmengder	Midlere frostmengder	Høye frostmengder
Frostmengde ute		0 - 5000 h°C	5000-15000 h°C	over 15000 h°C
Høytrafikk	100 m	85 %	85 %	85 %
	300 m	≤ 75 %	≤ 75 %	ca 75 %
	500 m	ca 50 %	ca 50 %	≤ 50 %
	1000 m	ca 30 %	ca 30 %	ca 50 %
	1500 m	ca 25 %	ca 25 %	ca 35 %
	2000 m	≤ 25 %	ca 25 %	25 % - 35 %
Undersjøisk	100 m	ca 75 %	ca 75 %	ca 65 % ?
	300 m	≤ 50 %	ca 50 %	ca 50 % ?
	500 m	ca 25 %	25 % - 50 %	≤ 50 % ?
	1000 m	≤ 10 %	15 % - 30 %	ca 30 % ?
	1500 m	ca 0 %	0 - 25 %	ca 25 % ?
Horisontal	100 m	ca 65 %	Ca 65 %	ca 65 %
	300 m	ca 50 %	ca 50 %	50 - 65 %
	500 m	30 - 50 %	30 - 50 %	40 - 50 %
	1000 m	ca 25 %	ca 25 %	25 - 40 %
2 - 4 % Stigning	100 m	ca 85 %	ca 85 %	ca 85 %
	300 m	ca 75 %	ca 75 %	ca 75 %
	500 m	ca 50 %	ca 50 %	50 - 60 %
	1000 m	ca 25 %	ca 25 %	25 - 50 %
4 - 6 % Stigning	100 m	ca 90 %	ca 90 %	ca 90 %
	300 m	ca 75 %	ca 75 %	75 - 85 %
	500 m	ca 65 %	ca 65 %	65 - 75 %
	1000 m	ca 50 %	ca 50 %	50 - 65 %

6 KONKLUSJON

På grunnlag av frostmålinger i et utvalg av tunneler er det utarbeidet nye frostinntrenningskurver for de forskjellige tunneltyper. De tidligere kurvene baserte seg på tunneler med naturlig ventilasjon og kunne ikke uten videre brukes i "nye" tunneltyper; undersjøiske og med utstrakt bruk av mekanisk ventilasjon.

De nye målingene viser at det er tildels store lokale variasjoner innenfor de enkelte tunneltyper som har sin årsak i lokalklimatiske variasjoner og forskjellig bruk av mekanisk ventilasjon. Det må derfor påregnes større variasjon fra kurvene for enkelte tunneler.

Det mest markerte resultatet er den kraftige frostinntrengningen i høytrafikk tunneler der stempeleffekten og ventilasjonen samvirker.

Litteratur:

- Blom, P.** 1976: Frostinntrengning i vegtunneler
Intern rapport nr.: 721, Veglaboratoriet
- Davik, K.I.** 1995: Frostens opptreden i vegtunneler. Foredrag ved NTH 9. - 10 januar 1995. Intern Rapport nr. 1766, Veglaboratoriet
- Iversen, E.** 1995: Måling av frostmengder i 8 utvalgte tunneler vinteren 94/95
Intern Rapport nr. 1802, Veglaboratoriet
- Iversen, E.** 1996: Måling av frostmengder i 12 utvalgte tunneler vinteren 95/96
Intern Rapport nr. 1915, Veglaboratoriet
- Larsen, T.L.** 1975: Tunneltemperaturer (36 tunneler 1971 - 75).
Intern rapport nr.: 660, Veglaboratoriet
- Pedersen, K. B.** 1994: Frost i vegtunneler.
Intern Rapport nr. 730, Veglaboratoriet
- Pedersen, K. B.** 1977: Måling av frostmengder i 8 utvalgte tunneler vinteren 93/94
Intern Rapport nr. 1699, Veglaboratoriet
- Skogseid, A.** 1971: Frost i tunneler.
Intern Rapport nr. 258, Veglaboratoriet
- Skogseid, A.** 1971: Frostsikring i tunneler.
Intern Rapport nr. 331, Veglaboratoriet

