

Stad skipstunnel

Teknisk forprosjekt VEDLEGG I - Frostberegning



Oppdragsnr.: 5161743 Dokumentnr.: 001-I Versjon: J01
2016-12-06

J01	2016-12-06	For bruk	Erik Eika	Bård Venås	Svend Arntzen
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.



Sammendrag

Temperaturdata fra målestasjonene på Fiskåbygd og Kråkenes er vurdert opp mot frostmengder for Selje og Vanylven fra Vegvesenets håndbok N200. Dette viser at det er lokalt store forskjeller i frostmengder. Med utgangspunkt i lokale forhold vurderes data fra Fiskåbygd å gi mest representative frostmengder.

Det forventes lokalt store variasjoner på temperaturene i området rundt Stad tunnelen. Det kan være slik at temperaturdata for Fiskåbygd overestimerer frostmengden i Eide og Kjødspollen. Det anbefales derfor at måling av temperatur, lufttrykk og vind videreføres gjennom vinteren 2017. Det vil gi bedre grunnlag for å fastslå sannsynlig frostmengde i Eide og Kjødspollen. Dette vil også gi bedre grunnlag for å estimere luftbevegelsene gjennom tunnelen i vintersesongen.

Det er østavær som gir de laveste temperaturene i området. Ved vestavær vil det typisk være høyere temperaturer, da det er temperaturen i Norskehavet som da påvirker temperaturen i området.

Omfanget av is som kan dannes i tunnelen vil være veldig avhengig av tilgjengelig innlekkasjevann. Det er beregnet veggtemperatur i tunnelen for vintre med ulik frostmengde. Dette er gjort for å anslå hvor lang periode per vinter det er forhold hvor det kan dannes is i tunnelen.

Normalvinteren er vurdert til å ha en frostmengde på 1500 t°C. Det gir anslagsvis en periode på 12 dager hver vinter, hvor veggtemperaturen i tunnelen er under 0°C. Statistisk vil halvparten av vintrene ha en lavere frostmengde enn dette. For halvparten av vintrene vil perioden med frost være som dette eller større.

Frostmengde F_{10} er beregnet til 4000 t°C. Statistisk vil det oppstå en vinter som er kaldere enn dette en gang hvert tiende år. I portalområdet er det, for F_{10} , beregnet en sammenhengende periode på 27 dager med veggtemperatur under 0°C. For frostmengde lik F_{10} anslås det derfor at det vil være om lag en måned av vinteren hvor temperaturen er under 0°C. For frostmengde lik F_{100} , vil det være en periode på i overkant av to måneder hvor temperaturen i tunnelen er under 0°C. Det vil si at det statistisk en gang hvert tiende år, vil det være veggtemperaturer under 0°C i deler av tunnelen, i en periode på én til to måneder.



Innhold

1	Innledning	5
2	Grunnlag	6
2.1	Temperaturlaster	6
2.2	Temperaturdata fra eKlima	6
2.3	Data fra midlertidige målestasjoner	7
2.4	Sjøtemperatur	7
2.5	Tunnelgeometri	7
3	Metode	9
4	Resultater	10
4.1	Beregnete frostmengder	10
4.2	Frostinntrenging i tunnel	12
4.3	Oppbygging av is i tunnelen	15
4.4	Sammenligning av målestasjoner	15
5	Konklusjon	17
6	Referanser	18
7	Vedlegg: Begreper	19
8	Vedlegg: Vanntemperatur	19

1 Innledning

I forbindelse med utredning av Stad skipstunnel har Norconsult gjort en vurdering av frostmengden i området og frostinntrenging i tunnelen som følge av metrologiske krefter.

Denne rapporten oppsummerer vurderingen av frostinntrengning i tunnelen inkludert frekvenser for hvor ofte det vil oppstå. Hensikten er å gi grunnlag for å vurdering av behov for vann- og frostsikring i tunnelen. Tiltak for håndtering av frostinntrengning i tunnelen er beskrevet i hovedrapporten.

2 Grunnlag

I mangel på tilstrekkelig måledata for portalområdene for Stadttunnelen, benyttes måledata for nærområdet for å estimere temperaturforløp ved portalene. Temperaturdata, midlertidige målinger av trykk og vindhastighet og tunnelens geometri legger grunnlaget for frostberegninger for Stadttunnelen.

2.1 Temperaturlaster

Frostmengde og årsmiddeltemperatur for Selje og Vanylven kommune er gitt i tabell 1. Data er hentet fra Vegvesenets håndbok N200. Datagrunnlaget er perioden 1981 – 2010. Verdiene er gitt for kommunesenteret. Variasjon innenfor kommunen er beskrevet med korreksjonsfaktorene. Vanylven kommune er også vurdert fordi Stadttunnelen er planlagt nære kommunegrensen til Vanylven.

Tabell 1: Frostmengde og årsmiddeltemperatur for Selje kommune [1].

Sted	Årsmiddeltemperatur [°C]	Frostmengder [h°C]				Korreksjonsfaktorer	
		F ₂	F ₅	F ₁₀	F ₁₀₀	Min	Maks
Selje	6,9	1000	1000	2000	3000	0,35	1,73
Vanylven	6,7	1000	2000	3000	5000	0,69	2,66

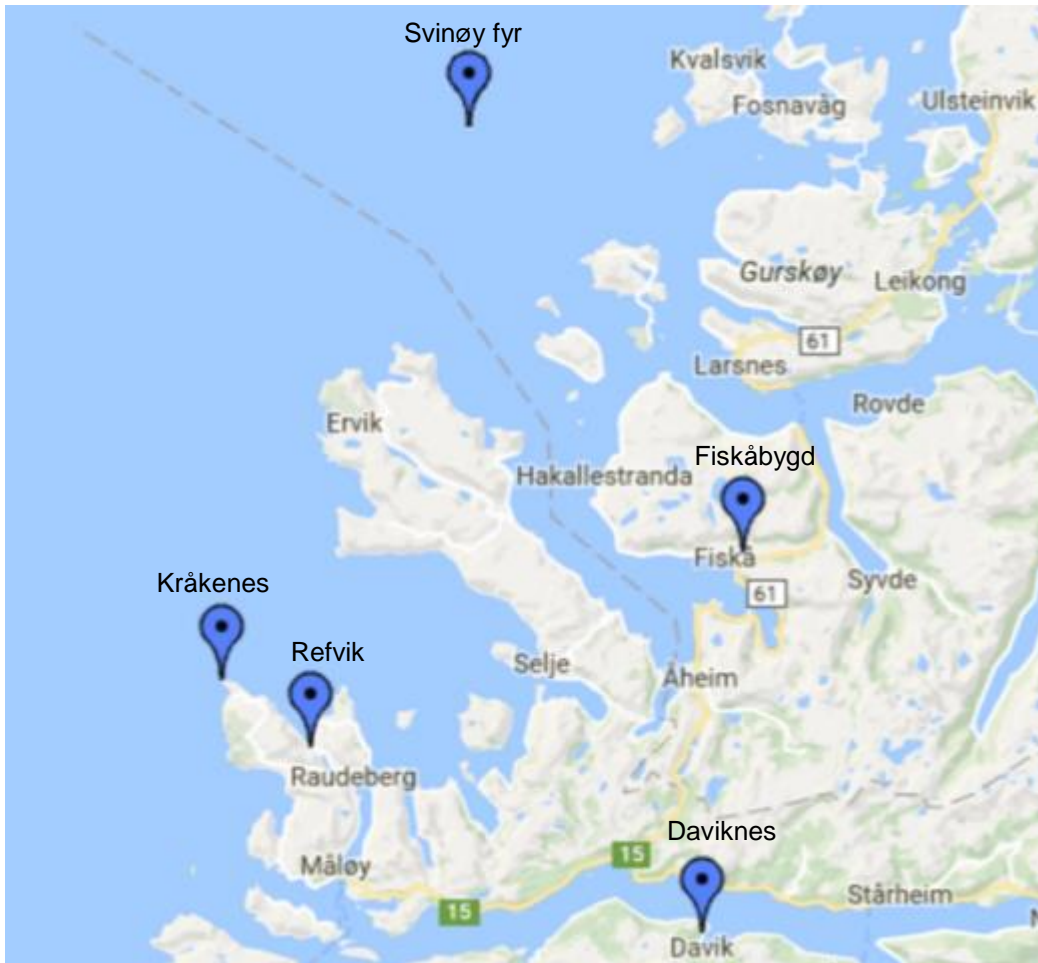
Laveste gjennomsnittlige utelufttemperatur for Selje og Vanylven kommune er gitt i tabell 2. Data er hentet fra byggforskeren 451.021 Klimadata for termisk dimensjonering og frostsikring [2]. Tabellen har laveste registrerte gjennomsnittlige uteluftstemperatur registrert over én, to, tre og fire døgn. Datagrunnlaget er perioden 1971 – 2000.

Tabell 2: Dimensjonerende utetemperatur for Selje og Vanylven kommune [2].

Sted	Temperatur [°C]			
	θ_{1d}	θ_{2d}	θ_{3d}	θ_{4d}
Selje	-10,7	-10,7	-9,7	-9,0
Vanylven	-15,0	-14,8	-13,7	-12,8

2.2 Temperaturdata fra eKlima

Relevante værstasjoner i nærheten er vurdert. Figur 1 viser Metrologisk institutt sine værstasjoner i området rundt Stad. Nærmeste værstasjon med temperaturdata er Fiskåbygd og Kråkenes. Sviøy fyr vurderes å ikke ha representative temperaturdata på grunn av plasseringen og er derfor ikke vurdert videre. Refvik og Daviknes har kun nedbørsmåling, data fra disse er derfor ikke vurdert. For Fiskåbygd og Kråkenes er døgnmiddeltemperaturer for stasjonenes driftstid vurdert. For Fiskåbygd er det perioden 1969 – 2016 vurdert, mens for Kråkenes er det perioden 1993 – 2016 vurdert.



Figur 1: Værstasjoner i området rundt Stad.

2.3 Data fra midlertidige målestasjoner

Data fra de midlertidige målestasjoner i Eide og Kjødspollen som er etablert i prosjektet er benyttet. Målinger av lufttrykk, vindretning og -hastighet er benyttet som grunnlag for trykkforskjell mellom portalene på Eide og i Kjødspollen. Analyse av måledata fra de midlertidige målestasjonene er oppsummert i vedlegg H Ventilasjon. En sammenligning av måledata for midlertidige målestasjoner og Metrologisk institutts målestasjoner er også vist i avsnitt 4.3.

2.4 Sjøtemperatur

Data for sjøtemperatur er hentet fra havforskningsinstituttets målestasjon i Sognesjøen. Temperaturserien for vinteren 2010 er benyttet. Temperaturene er justert ned én grad for å kompensere for mulig lavere temperatur i vannet ved Stad tunnelen. Temperaturkurven er vist i vedlegg på side 19.

2.5 Tunnelgeometri

Data for tunnelgeometrien er oppsummert i tabell 3.

Tabell 3: Data for tunnelgeometri

	Verdi
Totalt areal teoretisk sprengningsprofil	1625 m ²
Areal over vannlinje	1193 m ²
Areal under vannlinje	432 m ²
Omkrets sprengningsprofil	155 m
Lengde av fri bergflate over vann	95 m
Bredde tunnelprofil	36 m
Tunnellengde	1700 m
Friksjonsfaktor	0,030
Vinkel mellom tunnelportal og nord, Eide	300°
Vinkel mellom tunnelportal og nord, Kjødspollen	120°



3 Metode

Det er etablert en modell av Stad tunnelen i programmet «IDA tunnel» (versjon 4.6.1) fra EQUA Simulation [3].

Programmet er basert rundt visuelle tunnelobjekter (tunnelsegmenter, portaler avgrensninger osv.) som settes sammen til et nettverk av det modellerte tunnelsystemet. Objektene representerer hver for seg ligninger for bevarelse av bevegelsesmengde, masse og energi i objektet. I bakgrunnen settes det opp et system av differensialligninger som gjør det mulig å løse systemet for trykk, hastighet og temperatur mm. Det tas videre hensyn til friksjonskrefter mot tunnelvegg, innløp- og utløpstap. Modellen gjør det mulig å inkludere klimadata som temperatur, lufttrykk og vind, dette er inkludert i modellen for Stad tunnelen. En konduksjonsligning løses normalt på tunnelretningen for å ta hensyn til varmelagring i omkringliggende fjell. Modellen er én-dimensjonal og transient, dvs. løsningene framkommer som er en funksjon av longitudinal posisjon langs tunnelen og tid.

Luftbevegelser i Stad tunnelen er vurdert med utgangspunkt i måledata fra midlertidige værstasjoner på Eide og Kjødspollen. Dette er benyttet som input i modellen i IDA tunnel.

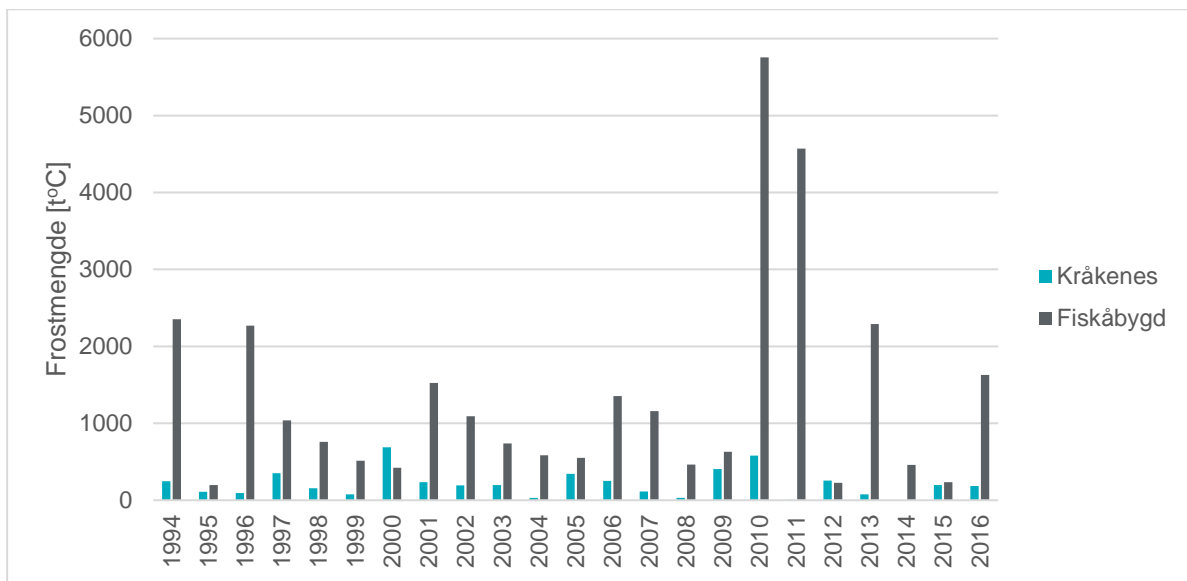
For å finne dimensjonerende utetemperaturer med hensyn på frost i tunnelen, er klimadata fra omkringliggende værstasjoner vurdert. For hver enkelt vinter er frostmengde beregnet. Dette er sammenlignet mot dimensjonerende frostmengde gitt i Klimadata for termisk dimensjonering og frostsikring [2]. Dette er benyttet som input i IDA tunnel for å vurdere frostinntrengning i veggtemperaturer i tunnelen.

4 Resultater

4.1 Beregnede frostmengder

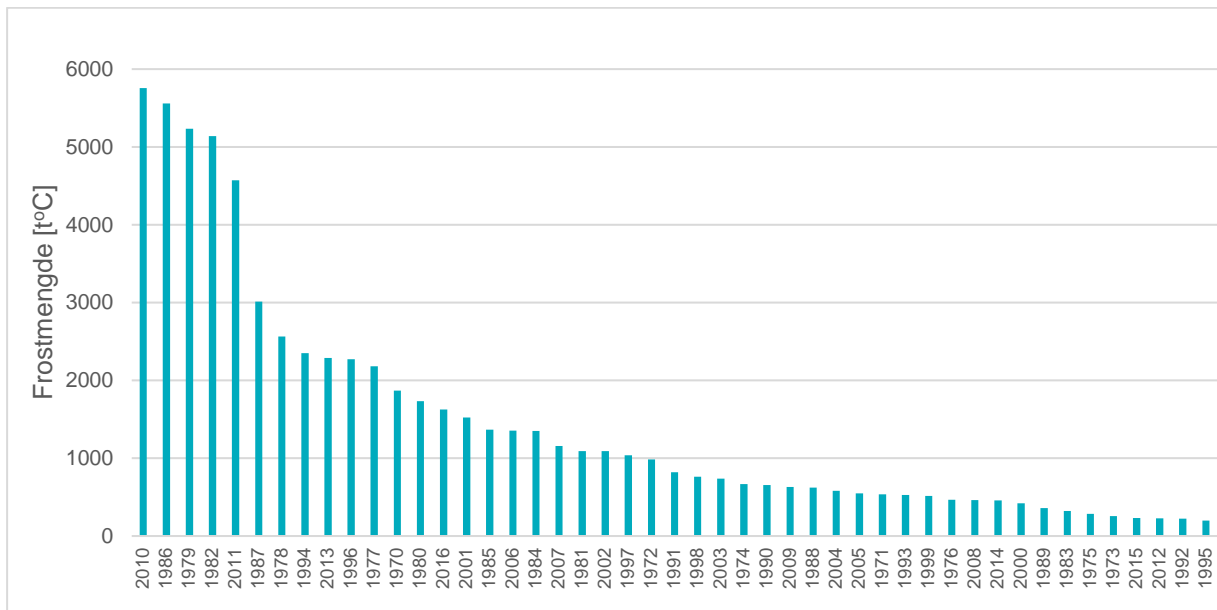
Figur 2 viser frostmengder for Kråkenes og Fiskåbygd i vintrene 1994 til 2016. Figuren viser at det er stor forskjell på vintertemperaturene i Fiskåbygd og Kråkenes. Med unntak av vintrene 2000 og 2012, har det vært større frostmengde på Fiskåbygd enn Kråkenes. For en stor andel av vintrene i perioden er det vesentlig større frostmengde på Fiskåbygd enn Kråkenes. Det er dermed lokalt store forskjeller.

Det foreligger ikke temperaturmålinger gjennom en vintersesong for portalområdene til Stadttunnelen. Da Fiskåbygd ligger skjermet inne i Vanylvsfjorden, antas data fra Fiskåbygd å være representativt for østre portal på Stadttunnelen. Data fra Fiskåbygd antas også å være representative for vester portal, da vestre portal ligger vesentlig mer skjermet enn Kråkenes.



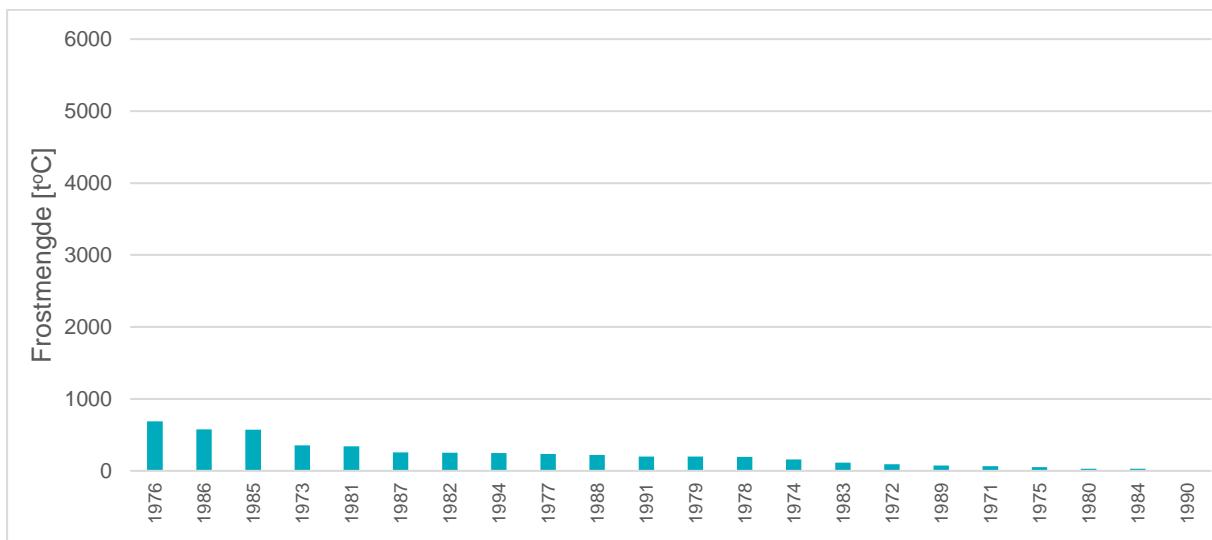
Figur 2: Frostmengder for Kråkenes og Fiskåbygd for vintrene i perioden 1994 til og med 2016.

Figur 3 viser frostmengder for vintrene i 1970 til 2016 på Fiskåbygd. I figuren er vintrene sortert etter frostmengde. Tilsvarende er frostmengde for Kråkenes vist i figur 4.



Figur 3: Fiskåbygd. Frostmengder for vintrene i perioden 1970 til og med 2016. Sortert etter frostmengde.

I området rundt Stadstunnelen gir østavær om vinteren typisk lave temperaturer. Det vil si at det er kald luft fra fjelltraktene som gir lave temperaturer. Ved vestavær vil det typisk være høyere temperaturer, da det er temperaturen i Norskehavet som da påvirker temperaturen i området. Temperaturene fra Fiskåbygd viser et stort antall vintre med frostmengde under 1000 t°C. Det er sannsynlig at det er vintre hvor det dominerende har vært vestavær. For de vintrene hvor det er registret frostmengder over 3000 t°C, har det sannsynlig vis vært lange perioder med østavær som har gitt de lave temperaturene. For de vintrene hvor vestavær dominerer, er det dermed sannsynlig med en lav frostmengde. Vintre som har lengere perioder med østavær kan derimot gi relativt store frostmengder. Dette er med på å gi store variasjoner i frostmengde per vinter.



Figur 4: Kråkenes. Frostmengder for vintrene i perioden 1994 til og med 2015. Sortert etter frostmengde.

Frostmengde for Fiskåbygd basert på data fra eKlima er beregnet ved bruk av Gumbel-fordelingen som beskrevet i NS-EN ISO 13793 [5]. Døgnmiddeltemperaturer i perioden 1977 til 2016 er benyttet.

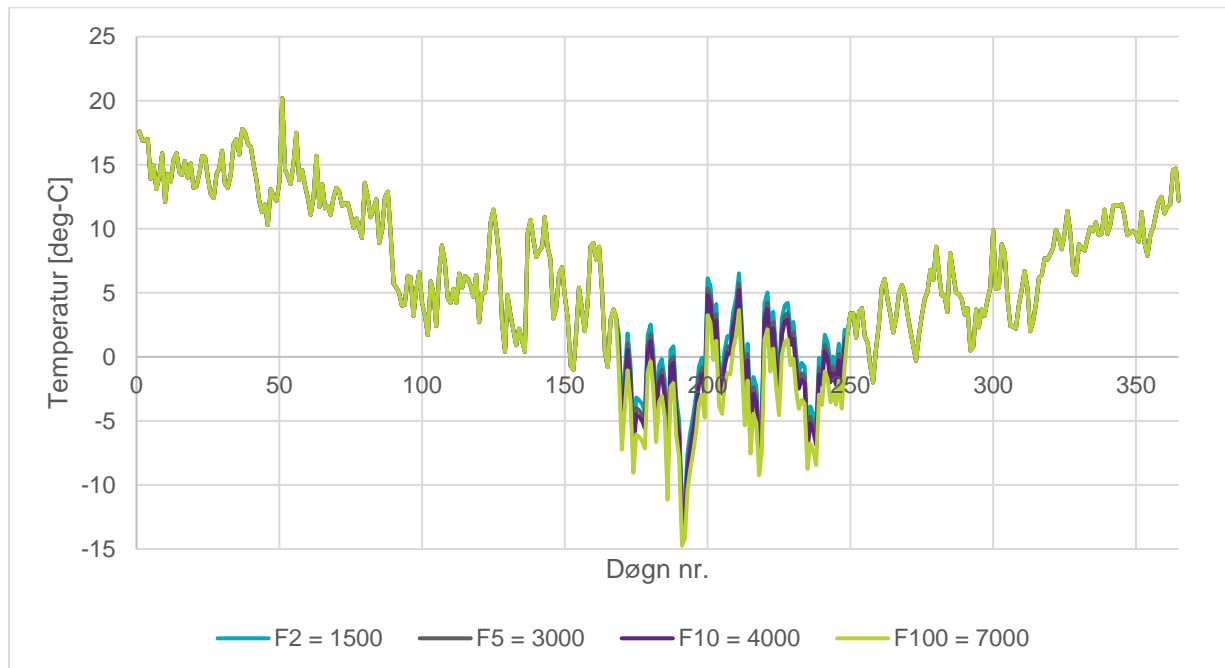
Beregnete frostmengder er gitt i tabell 4. F_2 betraktes her som normalår, det vil si middelveidien av registrerte frostmengder i perioden.

Sted	Frostmengder [h°C]			
	F_2	F_5	F_{10}	F_{100}
Fiskåbygd	1500	3000	4000	7000

Tabell 4: Beregnede frostmengder for Fiskåbygd basert på data fra eKlima i perioden 1977-2016.

De beregnede frostmengdene er større enn frostmengdene gitt for Selje og Vanylven i gitt i Håndbok N200. For Vanylven er de beregnede frostmengdene innenfor øvre korreksjonsfaktor for kommunen. Frostmengdene gitt i tabell 4 synes dermed å være rimelige verdier for Fiskåbygd, sammenlignet med data gitt for Vanylven. Sammenlignet med frostmengden for Selje kommune har Fiskåbygd større frostmengder. Stadttunnelens plassering i på grensen mot Vanylven kommune, skjernet fra kysten, gjør det sannsynlig at det er en kaldere del av Selje kommune. Det kan ikke utelukkes at frostmengdene her vil være på linje med de som er observert i Fiskåbygd. Frostmengdene i tabell 4 for Fiskåbygd er derfor lagt til grunn ved vurdering av frost i Stadttunnelen.

For å representere frostmengden i tabell 4, er temperaturforløpet for vinteren 2010 fra Fiskåbygd benyttet. Temperaturen i frostperioden er justert for å tilsvare de ulike frostmengdene. Temperaturforløpet er vist i figur 5. Døgn nummer 191 i temperaturforløpet for F_{100} tilsvarer ett døgn dimensjonerende utetemperatur for Vanylven. Døgn nummer 191 og 192 tilsvarer to døgnsmiddel for dimensjonerende utetemperatur for Vanylven.



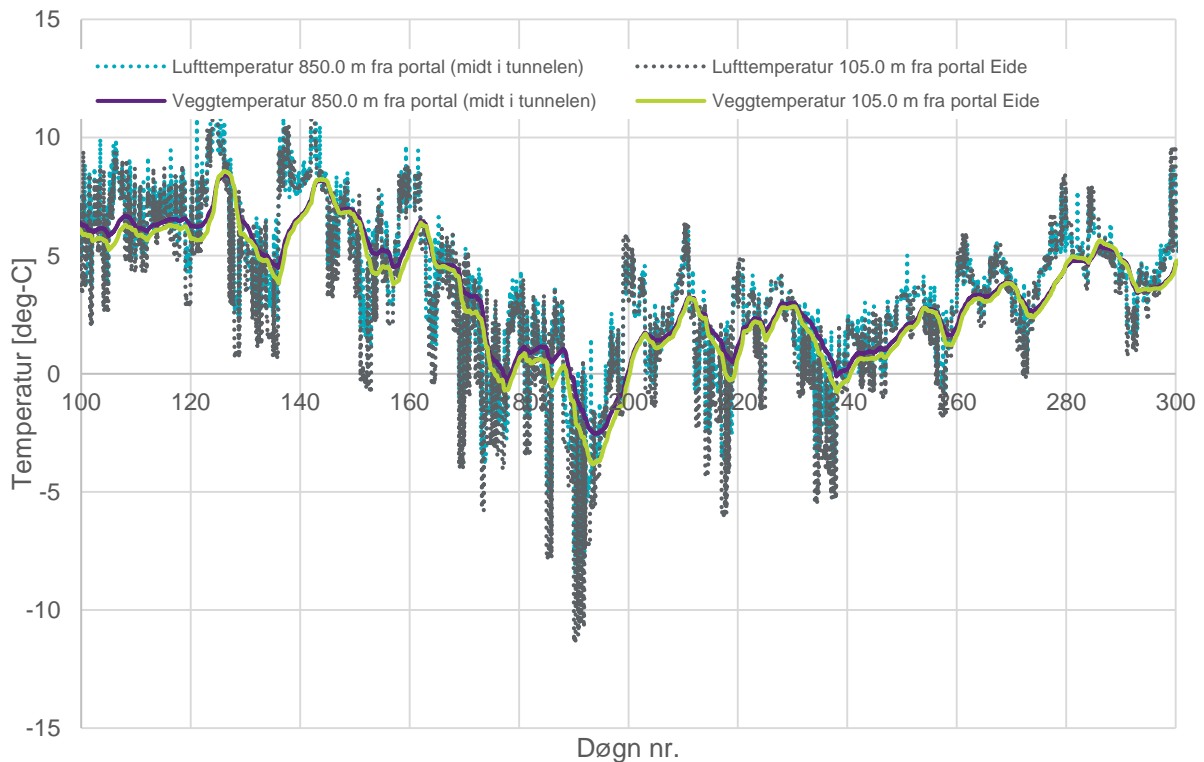
Figur 5: Vintertemperaturer benyttet i simulering av frostinntrengning.

4.2 Frostinntrengning i tunnel

Det er gjort vurdering av frostinntrengning i tunnelen for F_2 , F_{10} og F_{100} . For frostmengdene er lufttemperatur og veggtemperatur vurdert gjennom tunnelen.

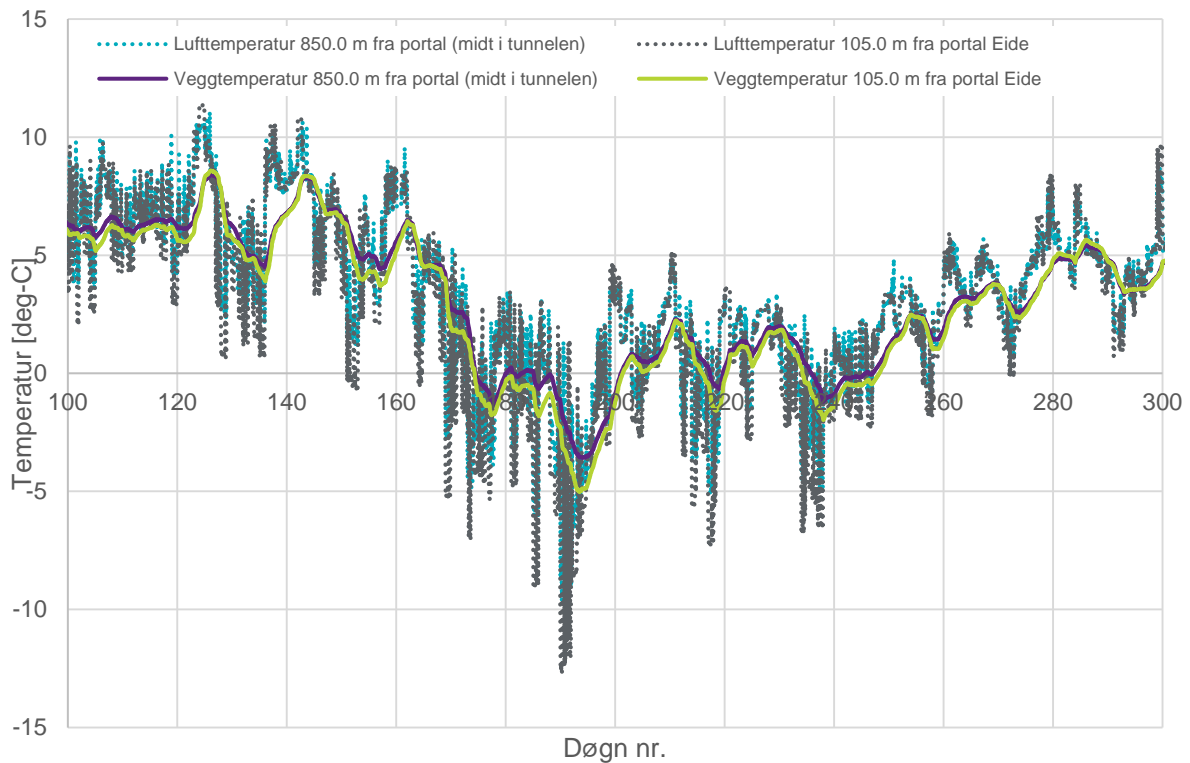
Basert på trykkforholdene og vindlasten som er lagt til grunn har det i frostperioden har den dominerende strømningsretningen vært inn portalen på Eide. Det har ført til at det i simuleringene har vært størst frostbelastning ved denne portalen. Vurderingen av temperatur innenfor portal er derfor gjort på innenfor portalen på Eide. Det er i tillegg vurdert temperaturer for posisjonen midt i tunnelen.

Figur 6 viser beregnede temperaturer normalåret, F_2 . Det er tre perioder hvor beregnet veggtemperatur, midt i tunnelen, er lavere enn 0°C . For posisjonen 105 m innenfor portalen er veggtemperaturen under 0°C fem ganger i løpet av vintersesongen. For begge posisjonene er det en periode hvor det er lave temperaturer over lengere periode. Da er veggtemperaturen under 0°C i 12 døgn for posisjonen 105 m fra portal på Eide og 11 døgn midt i tunnelen. De andre periodene er av vesentlig kortere varighet. Varigheten av veggtemperatur under 0°C gjør det kan dannes is der hvor det er innlekkasje av vann i tunnelen. Det er anslagsvis en periode på 12 døgn per vinter hvor det da vil kunne være utfordringer med isdannelse i tunnelen.



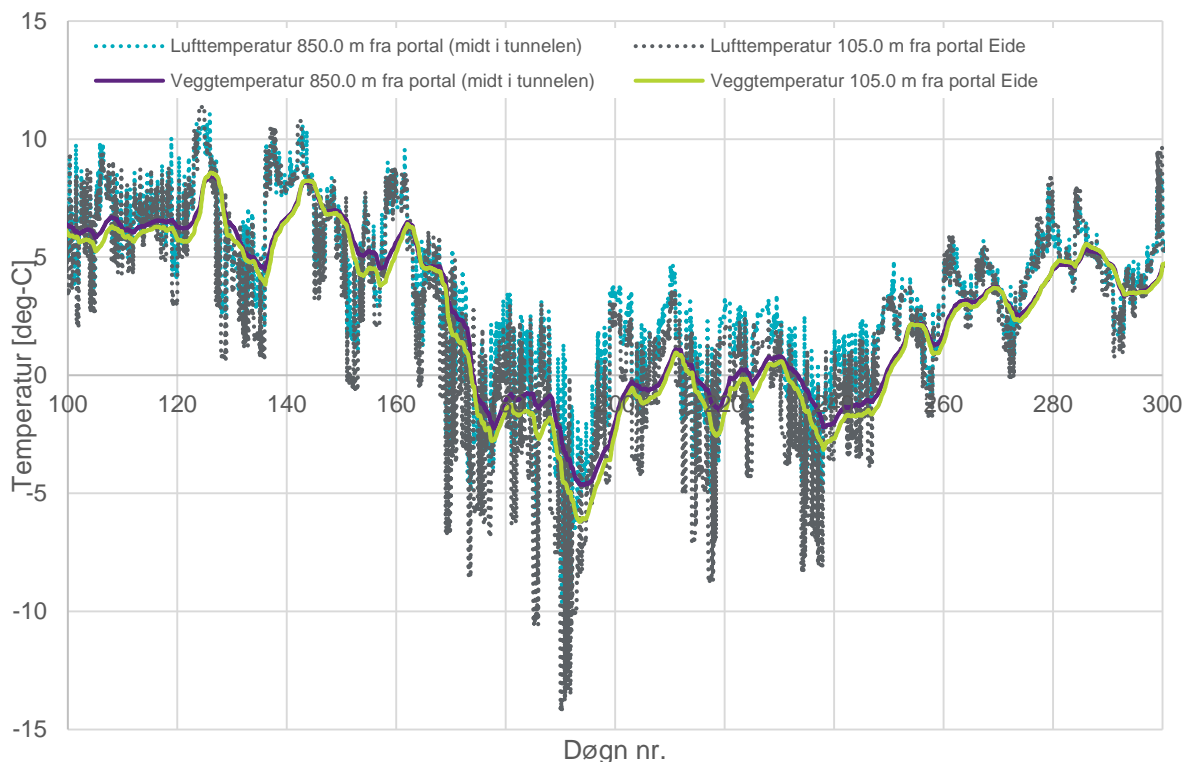
Figur 6: Beregnede luft- og veggtemperaturer for frostmengde F_2 .

Beregnete temperaturer i tunnelen for frostmengde lik F_{10} er vist i figur 7. Statistisk vil det oppstå en vinter som er kaldere enn dette en gang hvert tiende år. For frostmengde lik F_{10} må det forventes lengere perioder med veggtemperatur under 0°C i tunnelen. I portalområdet er det beregnet en sammenhengende periode på 27 dager med veggtemperatur under 0°C . Det er i tillegg to mindre perioder med veggtemperatur under 0°C . Midt i tunnelen er omfanget av perioden med veggtemperatur under 0°C lavere. For frostmengde lik F_{10} anslås det at det vil være en om lag en måned av vinteren hvor temperaturen er slik at det kan dannes is.



Figur 7: Beregnede luft- og veggtemperaturer for frostmengde F_{10} .

Figur 8 viser beregnede luft og veggtemperaturer for frostmengde F_{100} . Statistisk vil det oppstå én vinter per hundre år som blir kaldere enn dette. For området innenfor portalen er det 67 døgn med veggtemperatur lavere enn 0°C . De anslås dermed at for frostmengde lik F_{100} , vil det være en periode på i overkant av to måneder hvor det er forhold i tunnelen slik at det kan dannes is.



Figur 8: Beregnede luft- og veggtemperaturer for frostmengde F_{100} .

4.3 Oppbygging av is i tunnelen

Omfanget av is som kan dannes i tunnelen vil være veldig avhengig av tilgjengelig innlekkasjevann. Uten løsning for vann- og frostsikring kan det bygge seg opp is i tunnelen når veggtemperaturen er under 0°C . På bakgrunn av dette er det derfor beskrevet omfanget av perioder med veggtemperatur under 0°C . Dette er gjort for å anslå hvor lang periode per vinter det er forhold hvor det kan dannes is i tunnelen.

Innlekkasjer som følger veggene i tunnelen vil kunne danne iskjøvinger som bygger seg opp på veggene. Iskjøving på veggene kan redusere fremkommelighet på gangbanen. Størrelsen på tunneltversnittet gjør det lite sannsynlig at det vil kunne komme ut i fritt profil for båttrafikken. Ved overgang til mildvær vil iskjøvingen på et tidspunkt slippe vegg og rase over gangbane og ut i vannet i tunnelen.

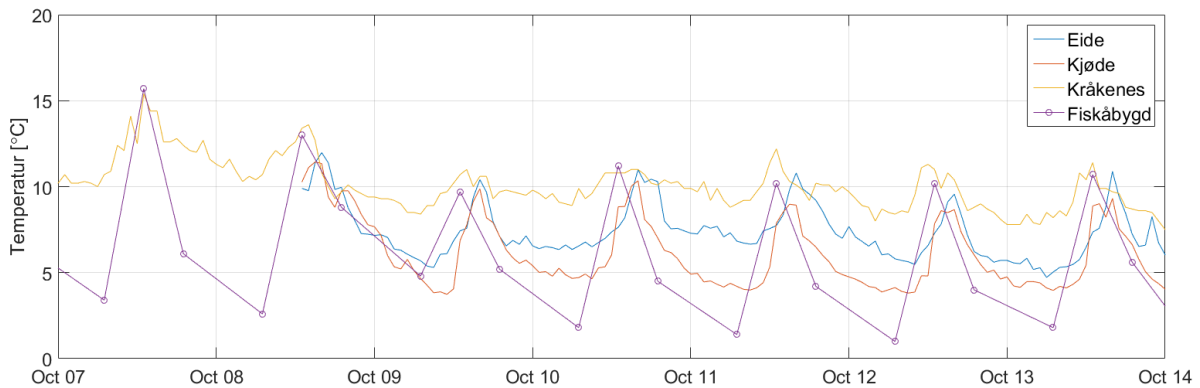
Fra dryppunkt i hengen kan det bygges opp istapper. Omfanget av dette er meget vanskelig å predikere og er avhengig av hengens utforing.

Oppbygging av is i tunnelen vil være konsentrert til områdene med innlekkasjer. Mengden is som bygger seg opp hvert sted vil være avhengig av innlekkasjens størrelse kombinert med luft og veggtemperatur. Ved uheldig kombinasjon av temperatur og innlekkasjemengde kan det lokalt bygges opp store ismengder. Overslag viser opp mot 100 kg is per lengdemeter tunnel ved uheldige kombinasjoner. Ved kulde tilsvarende F_{100} , det vil si en frostmengde som statistisk overskrides en gang på hundre år. Normalt forventes det at ismengden vil være vesentlig lavere enn dette (5 – 20 kg per lengdemeter). Dette kan typisk skje flere vintre i løpet av en tiårsperiode.

4.4 Sammenligning av målestasjoner

Figur 9 viser registrerte temperaturer gjennom døgnet for Metrologisk institutts målestasjoner på Kråkenes og Fiskåbygd sammen med data fra de midlertidige målestasjonene i Eide og Kjødspollen.

For perioden i figuren er det en klar tendens at temperaturen i Kråkenes er vesentlig høyere enn temperaturen i Fiskåbygd. Temperaturen i Eide og Kjødspollen ligger mellom dette.



Figur 9: Registrerte temperaturer i perioden 7. til 14. oktober 2016.

Som beskrevet i avsnitt 4.1 er vurderingen av frost gjort med utgangspunkt i frostmengde beregnet for Fiskåbygd. Dersom tendensen vist i figur 1 også er tilstede gjennom vinteren, vil frostmengden ved portalene på Eide og Kjødspollen være lavere enn det som er benyttet. Fordi det ikke foreligger målinger fra Eide og Kjødspollen gjennom en vintersesong, er Fiskåbygd benyttet i vurderingen av frost, men det antas å være konservativt.

Det forventes lokalt store variasjoner på temperaturene i området rundt Stadttunnelen. Eksempel på dette er vist i figur 9. Det kan være slik at temperaturdata for Fiskåbygd overestimerer frostmengden i Eide og Kjødspollen. Det anbefales derfor at måling av temperatur, lufttrykk og vind videreføres gjennom vinteren 2017. Det vil gi bedre grunnlag for å fastslå sannsynlig frostmengde i Eide og Kjødspollen.



5 Konklusjon

Det er gjort vurdering av frostmengden på stedet. Med utgangspunkt i lokale forhold vurderes data fra Fiskåbygd å gi mest representative frostmengder. Det forventes lokalt store variasjoner på temperaturene i området rundt Stad tunnelen. Det kan være slik at temperaturdata for Fiskåbygd overestimerer frostmengden i Eide og Kjødspollen. På grunn av dette er det derfor mulig at omfanget av frost i tunnelen er overestimert i denne rapporten. Det anbefales derfor at måling av temperatur, lufttrykk og vind videreføres gjennom vinteren 2017.

Det er østavær som gir de laveste temperaturen i området. Ved vestavær vil det typisk være høyere temperaturer, da det er temperaturen i Norskehavet som da påvirker temperaturen i området.

Beregningene av frostinntrenging i tunnelen viser at frostbelastningen avtar noe med avstand fra portal, men beregningene viser at det i perioder vil være veggtemperatur under 0°C i hele tunnelen. Frost er ikke begrenset til portalområdene, på grunn av luftbevegelsene i tunnelen vil det være frost i hele tunnelens lengde i kalde perioder.

Omfanget av is som kan dannes i tunnelen vil være veldig avhengig av tilgjengelig innlekkasjevann. Det er beregnet veggtemperatur i tunnelen for vintre med ulik frostmengde. Dette er gjort for å anslå hvor lang periode per vinter det er forhold hvor det kan dannes is i tunnelen.

Normalvinteren er vurdert til å ha en frostmengde på 1500 t°C. Det gir anslagsvis en periode på 12 dager hver vinter, hvor veggtemperaturen i tunnelen er under 0°C. Statistisk vil halvparten av vintrene ha en lavere frostmengde enn dette. For halvparten av vintrene vil perioden med frost være som dette eller større.

Frostmengde F_{10} er beregnet til 4000 t°C. Statistisk vil det oppstå en vinter som er kaldere enn dette en gang hvert tiende år. I portalområdet er det, for F_{10} , beregnet en sammenhengende periode på 27 dager med veggtemperatur under 0°C. For frostmengde lik F_{10} anslås det derfor at det vil være om lag en måned av vinteren hvor temperaturen er under 0°C. For frostmengde lik F_{100} , vil det være en periode på i overkant av to måneder hvor temperaturen i tunnelen er under 0°C. Det vil si at det statistisk en gang hvert tiende år, vil det være veggtemperaturer under 0°C i deler av tunnelen, i en periode på én til to måneder.

6 Referanser

- [1] Statens Vegvesen Håndbok N200.
- [2] Sintef Byggforsk, 451.021 Klimadata for termisk dimensjonering og frostsikring. Byggdetaljer mai 2012
- [3] EQUA Simulation AB, IDA Tunnel theoretical reference, november 2012.
- [4] Havforskningsinstituttet, forskningsdata Tilgjengelig fra:
<http://www.imr.no/forskning/forskningsdata/stasjoner/view/initdownload> [lastet ned 2016-08-30]
- [5] NS-EN ISO 13793 Bygningers termiske egenskaper Termisk dimensjonering av fundamenter for å unngå telehiv. 1. utgave juni 2001.

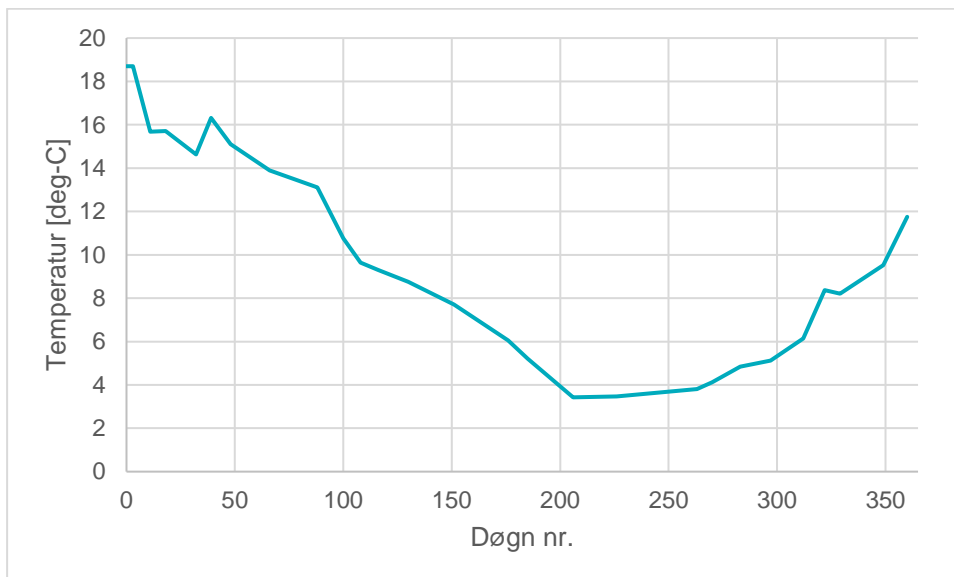
7 Vedlegg: Begreper

Dimensjonerende utetemperatur: Er lavest midlere utetemperatur observert siste 30 år. Det oppgis dimensjonerende utetemperatur for ett, to, tre og fire døgns middeltemperatur.

Frostmengde: 24 ganger differansen mellom døgnmiddeltemperatur og 0°C, både positive og negative referanser, summert over frosts sesongen. Frosts sesongen er perioden hvor døgnmiddeltemperaturen er lavere enn 0°C og alle tine- og fryseperioder i hver ende som gir netto frost [2].

8 Vedlegg: Vanntemperatur

Vanntemperaturen som er benyttet i simuleringene er vist i figur 10.



Figur 10: Vanntemperatur.