

Askimporten - feltforsøk med overflatebehandling

Kloridinntrenging etter 5 og 10 år. FoU-programmet Bedre
bruvedlikehold 2017–2021

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 848



Tittel

Askimporten - feltforsøk med overflatebehandling

Undertittel

Kloridinntrenging etter 5 og 10 år. FoU-programmet Bedre bruvedlikehold 2017-2021

Forfatter

Eva Rodum

Avdeling

Konstruksjoner

Seksjon

Konstruksjonsteknikk

Prosjektnummer

L10114

Rapportnummer

848

Prosjektleder

Bård M. Pedersen/Karla Hornbostel

Godkjent av

Bård M. Pedersen

Emneord

Betong, tunnel, overflatebehandling, lyshet, kloridinntrenging, feltundersøkelser, laboratorieundersøkelser

Sammendrag

Rapporten gir en oppsummering av resultater fra et testfelt med ulike overflateprodukter på veggelementer i Askimporten tunnel. Elementene ble påført både fargeløse impregneringer/hydrofobere impregneringer, hvitpigmenterte impregneringer og hvite belegg, før tunnelen ble åpnet for trafikk i 2010. Resultater fra målinger av lyshet de første 3 årene og kloridinntrenging etter 5 og 10 års drift er rapportert. Kun de hvite/hvitpigmenterte overflateproduktene bidrar til bedre lyshet. Kun de silanbaserte hydrofobere impregneringene og det sementbaserte belegget har betydelig kloridbremsende effekt etter 10 år.

Title

Askimporten - field testing of surface treatment products

Subtitle

Chloride ingress after 5 and 10 years. The R&D program Improved bridge maintenance 2017-2021

Author

Eva Rodum

Department

Structures

Section

Structural Engineering

Project number

L10114

Report number

848

Project manager

Bård M. Pedersen/Karla Hornbostel

Approved by

Bård M. Pedersen

Key words

Concrete, tunnel, surface treatment, brightness, chloride ingress, field examinations, laboratory examinations

Summary

The report summarizes the results from field testing of different surface treatment products on concrete elements in Askimporten tunnel. Both colourless impregnations/hydrophobic impregnations, white pigmented impregnations and white coatings were applied on the elements prior to opening of the tunnel in 2010. Results from measurements of brightness/light reflection during the three first years and chloride ingress after 5 and 10 years are reported. Only the white products show any effect on the brightness. Only the silane based hydrophobic impregnations and the cement based coating show considerable chloride retarding effect after 10 years.



Innhold

Forord.....	2
1 Innledning	3
2 Målsetning	3
3 Prøveprogram.....	3
3.1 Etablering av forsøksfeltet	3
3.2 Produktleverandører og produkter	4
3.3 Forsøksfeltets lokalisering	5
4 Karakterisering av elementenes lyshet	6
5 Temperaturdata	10
6 Laboratorieundersøkelser – etter 5 og 10 år	11
6.1 Uttak og disponering av kjerner	11
6.2 Bestemmelse av kloridinntrenging.....	13
6.3 Bestemmelse av inntrengingsdybde av impregneringer	15
6.4 Bestemmelse av karbonatiseringsdybder	16
6.5 Bestemmelse av kapillær vannmetningsgrad og porøsitet	17
7 Oppsummering av resultatene	19
8 Konklusjoner	20
9 Referanser	20

Vedlegg 1: Temperaturer logget i perioden november 2010 til november 2011

Vedlegg 2: Kloridresultater etter 5 og 10 års eksponering

Forord

Denne rapporten er utarbeidet innenfor FoU-programmet Bedre bruvedlikehold (2017–2021). Bedre bruvedlikehold har vært ledet av Bård M. Pedersen og har hatt som målsetting å bidra til at Statens vegvesen i større grad skal kunne optimalisere ressursbruken knyttet til inspeksjon, vedlikehold og forvaltning av bruer.

Bedre bruvedlikehold består av fire prosjekter:

Prosjekt 1: Forvaltningsverktøy for bruer

Prosjekt 2: Armeringskorrosjon i betong

Prosjekt 3: Alkalireaksjoner i betong

Prosjekt 4: Vedlikehold av stålbruer

Denne rapporten tilhører Prosjekt 2: «Armeringskorrosjon i betong» som har vært ledet av Karla Hornbostel. Prosjekt 2 er rettet mot drift og vedlikehold av betongbruer med armeringskorrosjon. Mål for prosjektet er å utarbeide anbefalinger for inspeksjonsmetoder for å utrede omfang av skader på grunn av armeringskorrosjon samt å utvikle verktøy for å kunne bedømme konsekvenser av armeringskorrosjon for bruens levetid. Prosjektet skal også utarbeide et beslutningsgrunnlag for valg av reparasjonstiltak og anbefalinger for gjennomføring av tekniske gode og økonomisk effektive reparasjonstiltak.

Rapporten er skrevet av Eva Rodum og er utarbeidet i delprosjekt 2.1 «Overflatebehandling av betong». Prosjektet har søkelys på kloridbremsende effekt av overflateprodukter for betong. Rapporten beskriver oppfølgende prøving av betongelementer i Askimporten tunnel. Tunnelen har et forsøksfelt med overflatebehandling som ble etablert før åpning av tunnelen i 2010. Oppfølging knyttet til elementenes lyshet ble utført innenfor Statens vegvesens FoU-program Varige konstruksjoner (2012–2015). Overflateproduktene kloridbremsende egenskaper er undersøkt etter hhv. 5 og 10 års drift og resultatene er oppsummert i denne rapporten.

1 Innledning

I høytrafikkerte tunneler består vann- og frostsikringen som oftest av prefabrikkerte veggelementer, enten i kombinasjon med sprøytebetong eller takelementer i hengen. Veggelementene er i mange tilfeller sterkt eksponert for vegsalt. Kloridpåkjenningen er størst i innkjøringssonen, men kan også være betydelig gjennom hele tunnelen /1/.

Lyse overflater i trafikkrommet anses å ha en positiv effekt både på trafiksikkerhet og kjørekomfort, men det er per i dag ingen krav knyttet til overflatenes lyshet, det er kun stilt krav til belysningen. Nye prefabrikkerte betongelementer har generelt en relativt lys gråfarge. Erfaringer viser imidlertid at overflatene mørkner over tid, hovedsakelig på grunn av tilsmussing av støv, sot, oljerester etc.

Overflatebehandling av veggelementene er et mulig tiltak for å opprettholde betongoverflatenes lyshet. Dette utføres i varierende grad og med varierende type produkter, avhengig av stedlige rutiner og tradisjoner. Statens vegvesen har per i dag ingen krav til ulike egenskaper for denne typen produkter. Dersom det først påføres en overflatebehandling vil det være ønskelig at tiltaket samtidig bremser kloridinntrengingen i betongen.

I forbindelse med bygging av Askimporten tunnel ble det opprettet et samarbeid mellom byggeledelsen og daværende Tunnel og betongseksjonen i Vegdirektoratet om å etablere et forsøksfelt med ulike typer overflatebehandling i tunnelen. Totalt sju overflateprodukter ble påført betongelementene like før trafikken ble satt i drift på vegstrekningen i november 2010.

Oppfølging knyttet til elementenes lyshet ble utført innenfor Statens vegvesens FoU-program Varige konstruksjoner (2012–2015). Overflateproduktene kloridbremsende egenskaper ble undersøkt etter hhv. 5 og 10 års drift, og resultatene er oppsummert i denne rapporten, som del av Statens vegvesens FoU-program Bedre bruvedlikehold (2017–2021).

2 Målsetning

Formålet med forsøksfeltet i Askimporten tunnel er å dokumentere effekten av ulike overflatebehandlinger over tid, med hensyn på å:

- Opprettholde en lys farge på betongelementene
- Redusere kloridinntrengingen i betongen

Denne rapporten omhandler i hovedsak resultater knyttet til den kloridbremsende effekten av produktene, undersøkt etter 5 og 10 års drift. Tidligere resultater fra målinger av lyshet er også oppsummert.

3 Prøveprogram

3.1 Etablering av forsøksfeltet

Etableringen av forsøksfeltet er beskrevet i detalj i VD rapport nr. 16 /2/.

Betongelementene ble montert i 2010 og antatt prosjektert iht. Håndbok 163:2006 /3/, med fasthetskklasse B35 og betongspesifikasjon SV-40. Krav til minimumsoverdekning for konstruksjoner med 50 år dimensjonerende brukstid er 40 mm iht. NS3473:2003 /4/ eller NS-EN1992-1-1:2004/NA:2008 /5/ for eksponeringsklasse XD3 (betong som jevnlig utsettes for sprut med tinesalter), og vanlig spesifisert overdekningskrav til tunnelementer, mot trafikksiden, er 45 ± 5 mm.

Representanter fra de ulike leverandørene sto for påføringen og utarbeidet rapporter fra utførelsen/2/. Produktene ble påført i uke 35–36 i 2010.

Elementene ble høytrykksvasket i regi av Statens vegvesen ei uke før elementene ble overflatebehandlet. Det viste seg etter hvert at elementene var påført herdemembran etter avforming. Ettersom høytrykksvasking ikke regnes som tilstrekkelig til fullstendig å fjerne herdemembran er det grunn til å anta at herdemembranen en medvirkende årsak til det enkelte leverandørene opplevde som et «glidesjikt» på deler av elementene.

3.2 Produktleverandører og produkter

Overflateproduktene består av impregnering/hydrofoberende impregnering, der to er hvitpigmenterte og resten er fargeløse. De hvitpigmenterte impregneringene ble tatt med etter initiativ fra de aktuelle leverandørene, og er kun inkludert som «ekstrafelt». Videre er det inkludert to belegg, der ett er en hvit epoksy påført i kombinasjon med en hydrofoberende impregnering og det andre er et sementbasert produkt sprøytet i 5 mm tykkelse. En oversikt over overflateproduktene med tilhørende produktkategori iht. NS-EN 1504-2 /6/ finnes i Tabell 1.

Tabell 1 Overflateprodukter og produktkategorier

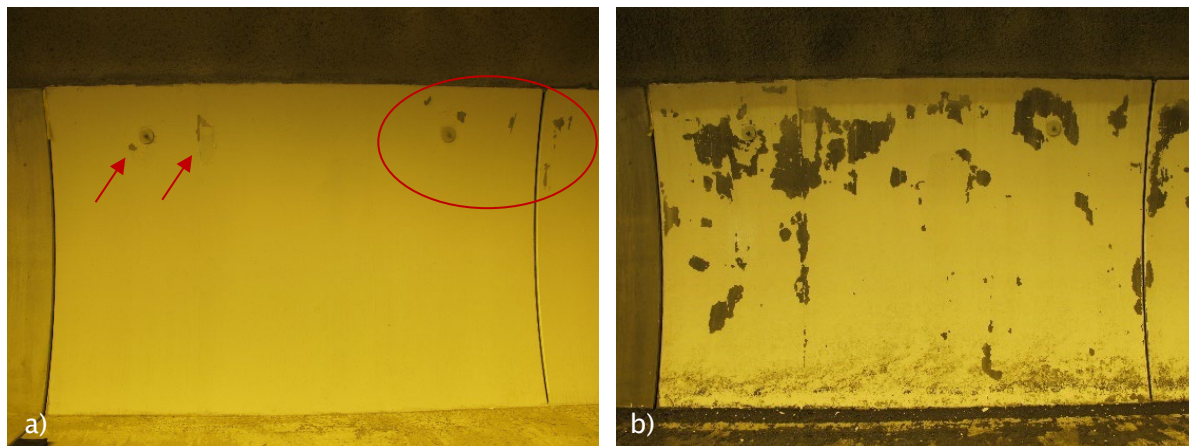
Leverandør	Produkt	Produktkategori
Sto Norge AS	StoCryl HG 200	Hydrofoberende impregnering, silanbasert gel (~90 % silan)
	StoPox WL 50	Belegg, vannbasert epoksybelegg. Påført i kombinasjon med StoCryl HG 200.
Sika Norge AS	Sikagard 706 Thixo	Hydrofoberende impregnering, silanbasert krem (~80 % silan)
All Remove AS	Faceal Oleo CP	Hydrofoberende impregnering, væske (silaninnhold >20 %)
	Faceal Oleo hvitpigmentert	Impregnering/hydrofoberende impregnering*) (akryl, blandingspolymerisat)
Nanopool Norge	Stone Protect	Impregnering/hydrofoberende impregnering*) (stoffblanding på basis av modifiserte hybridmaterialer i en vannløsning)
SurfaProof Norge AS	Surfapore C	Hydrofoberende impregnering, silisium og titandioksid molekyler i nanostrukturert emulsjon
	Surfapore C hvitpigmentert	
CemPro AS	CemPro Whitecoat	Belegg, sementbasert

*) uklart om produktet kan klassifiseres som impregnering eller hydrofoberende impregnering

Produktdatablader finnes i VD rapport nr. 16 /2/.

Epoksybelegget StoPox WL 50 løsnet etter kort tid (se Figur 1) og forsøket ble ansett mislykket av leverandøren allerede i leverandørrapporten. Årsaken ble antatt å være for kort ventetid mellom påføring av StoCryl HG 200 og StoPox WL 50.

Intakte deler av belegget har vært inkludert i lyshetsmålingene, men elementet har ikke vært fulgt opp med uttak av kjerner og laboratorieundersøkelser i 2015 og 2020.



Figur 1 Element med flassende StoPox WL 50 a) før åpning av tunnelen i 2010 og b) etter vask i 2011. Foto: Eva Rodum, Statens vegvesen

3.3 Forsøksfeltets lokalisering

Forsøksfeltet ble etablert i Askimporten tunnel på E18 fra Krosby til Knapstad i Østfold. Tunnelen er en 1050 m lang toløps tunnel med to kjørefelt i hver retning. Forsøksfeltet ble lagt i det østgående løpet, fra enden av portalen til første nisje. Portalen er traktformet og har lengde på ca. 50 m.

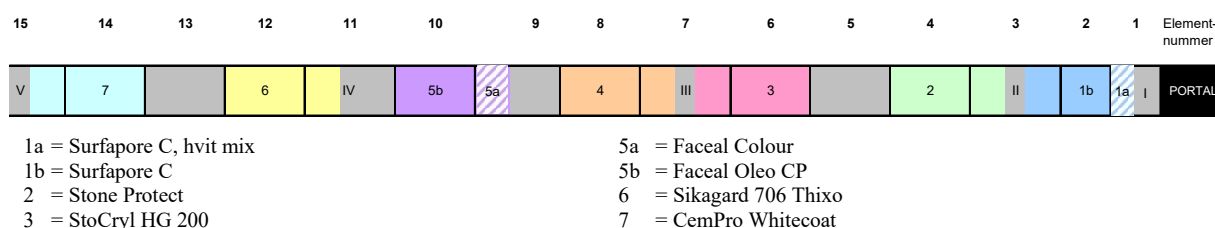
Forsøksfeltet ble etablert i månedsskiftet august/september, før tunnelen ble åpnet for trafikk i november 2010. Feltet består av 15 prefabrikkerte veggelementer, nummerert fra østre portal. To av betongelementene nærmest portalen har bredde 3,35 m, mens de øvrige har bredde 5,0 m, Elementhøyden over bankett er 3,33 m.

Ulike hele og halve elementer er påført til sammen sju ulike overflateprodukter, to av produktene i både fargeløs og hvitpigmentert variant, se Figur 3. Mellom hvert produkt ble det lagt inn et ubehandlet referansefelt, med bredde varierende mellom 1 og 5 m.

Foto av forsøksfeltet like etter påføring av overflateproduktene er vist i Figur 2. Hvor i feltet de ulike produktene er påført er vist i Figur 3.



Figur 2 Forsøksfeltet i Askimporten tunnel fotografert like etter påføring av overflateproduktene i 2010. Elementene er nummerert fra portal mot Oslo (til høyre i figuren). Foto: Eva Rodum, Statens vegvesen.

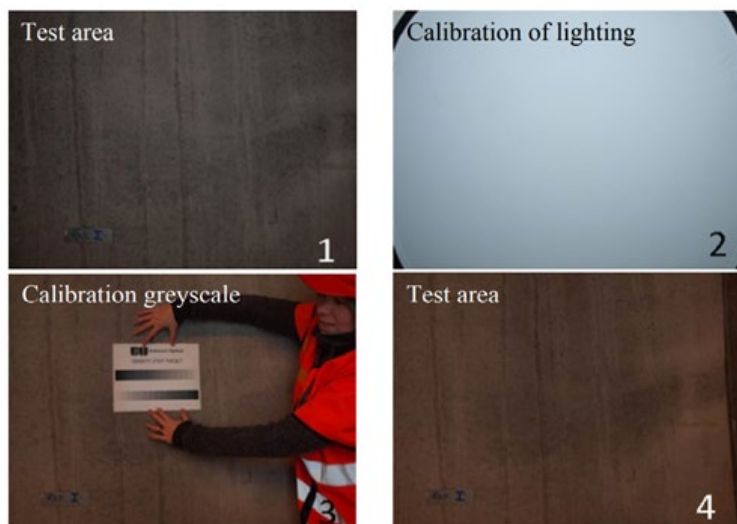


Figur 3 Oversikt over hvor i forsøksfeltet de ulike overflateproduktene er påført. Elementer uten overflatebehandling (grå felter) er referanseelementer.

4 Karakterisering av elementenes lyshet

Det er benyttet to ulike metoder for å karakterisere betongoverflatene; analyse av foto og luminansmåling.

Som del av ett av prosjektene i COIN (Senter for Forskningsdrevet Innovasjon ved SINTEF, 2007–2014), ble overflatene til betongelementene analysert ved hjelp av en metode som i 2010 var på utviklingsstadiet. Metoden involverte fotografering av et utsnitt av betongoverflaten (60 x 60 cm²), sammen med en hvit og en gråskala kalibreringsmal, med etterfølgende fotoanalyse ved hjelp av programvaren BetongGUI, se Figur 4 .



Figur 4 Eksempler på foto for kalibrering og analyse /7/.

Det ble utført flere runder med fotografering:

- Før tunnelen ble åpnet for trafikk, kort tid etter overflatebehandling (oktober 2010)
- Etter én vintersesong, før og etter vasking (juni 2011)
- Etter to vintersesonger, før og etter vasking (april/mai 2012)

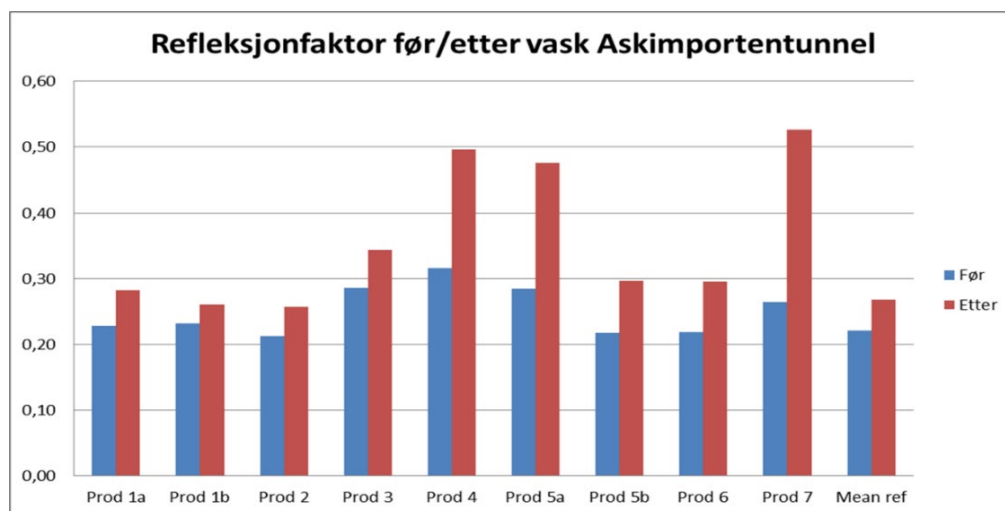
Betongoverflatenes grånyanser ble uttrykt som en verdi mellom 0 og 1 hvor 0 er sort og 1 er hvit. Selve metoden og resultatene er beskrevet i rapporten *Characterisation of concrete surfaces in Askimporten tunnel. COIN Project report 45* /7/.

I forbindelse med forsknings- og utviklingsprogrammet Varige konstruksjoner (2012–2015) ble lysrefleksjonsegenskapene til betongelementene målt ved hjelp av et luminanskamera. Dette er et spesialtilpasset fotoapparat som i forbindelse med målingen ble stilt opp på et stativ og koblet til en PC, se Figur 5. Målingene ble utført mens det var mørkt ute og kun nattbelysning i tunnelen var tent. Målingen ble utført av Pål Johannes Larsen i Norconsult AS, før og etter vask våren 2013, etter tre vintersesonger.



Figur 5 Oppstilling av utstyr for måling av refleksjonsfaktor, før vask i april 2013. Foto: Eva Rodum, Statens vegvesen.

Forsøket er beskrevet i rapporten *Fremtidens tunnelbelysning: Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015, Statens vegvesen rapport nr. 562 /8/*. Målte refleksjonsfaktorer før/etter vask i 2013 er vist i Figur 6.



Figur 6 Refleksjonsfaktorer, før og etter vask i 2013 /8/.

Begge metodene konkluderte med at produkt 4, 5a og 7 (StoCryl HG + StoPox WL 50, Faceal Colour og CemPro Whitecoat) skilte seg ut positivt mht. lyshet. Dette er ikke uventet, siden dette er hvite eller hvitpigmenterte produkter. Elementer med fargeløs impregnering/hydrofoberende impregneringer skilte seg ikke signifikant fra de ubehandlede referanseflatene. Som Figur 6 viser er forskjellene mellom produktene/referansene størst umiddelbart etter vask. Etter nedsmussing (før vask) er forskjellene relativt små. Dette stemmer godt med de visuelle observasjonene i tunnelen, hvor en tydelig kan se at lysheten, også for elementene med de «hvite» produktene, taper seg betraktelig i tiden etter en tunnelvask. Se foto av forsøksfeltet før og etter tunnelvask, hhv. i 2011 (Figur 7 og Figur 8) og 2013 (Figur 9 og Figur 10). Se også foto i Figur 15b) og c).



Figur 7 Oversikt – fra element nummer 15 – før vask juni 2011. Foto: Eva Rodum, Statens vegvesen.



Figur 8 Oversikt – fra element nummer 15 – etter vask juni 2011. Foto: Eva Rodum, Statens vegvesen.



Figur 9 Oversikt – fra element nummer 15 – før vask april 2013. Foto: Eva Rodum, Statens vegvesen.

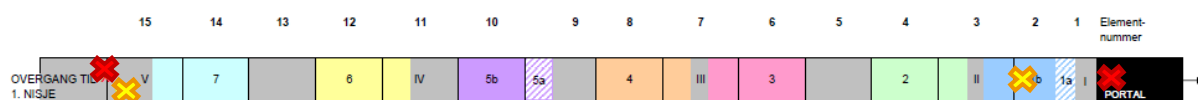


Figur 10 Oversikt – fra element nummer 15 – etter vask april 2013. Foto: Pål Johannes Larsen, Norconsult AS.

5 Temperaturdata

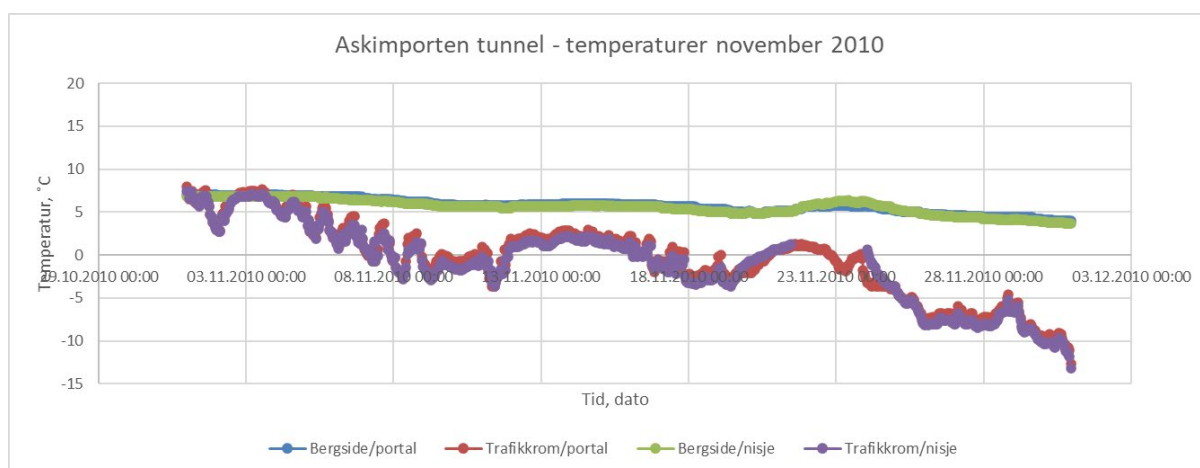
Luftfuktigheten bak vann- og frostsikringen i tunnelen (på bergsiden) antas å være nært 100 % RF gjennom hele året. På grunn av temperaturforskjellene over betongelementene vil det skje en fukttransport gjennom elementene, fra bergsiden mot trafikkrommet, i de deler av året hvor temperaturen på bergsiden er høyere enn i trafikkrommet. En slik fukttransport vil kunne få negative konsekvenser for betongen og/eller overflatebehandlingen dersom overflatebehandlingen har for høy motstand mot vandampdiffusjon. Konsekvensene av en fuktakkumulering bak f.eks. et overflatebelegg vil kunne medføre flassing av belegget og eventuelt frostnedbrytning av betongen.

I forbindelse med oppstart av forsøksfeltet ble det installert fire temperaturloggere, to i hver ende av forsøksfeltet (nær portal og nær nisje), hhv. én bak hvelvet/på bergsiden og én i trafikkrommet, detaljert plassering er vist i Figur 11. Temperaturene ble logget 1 g/time.



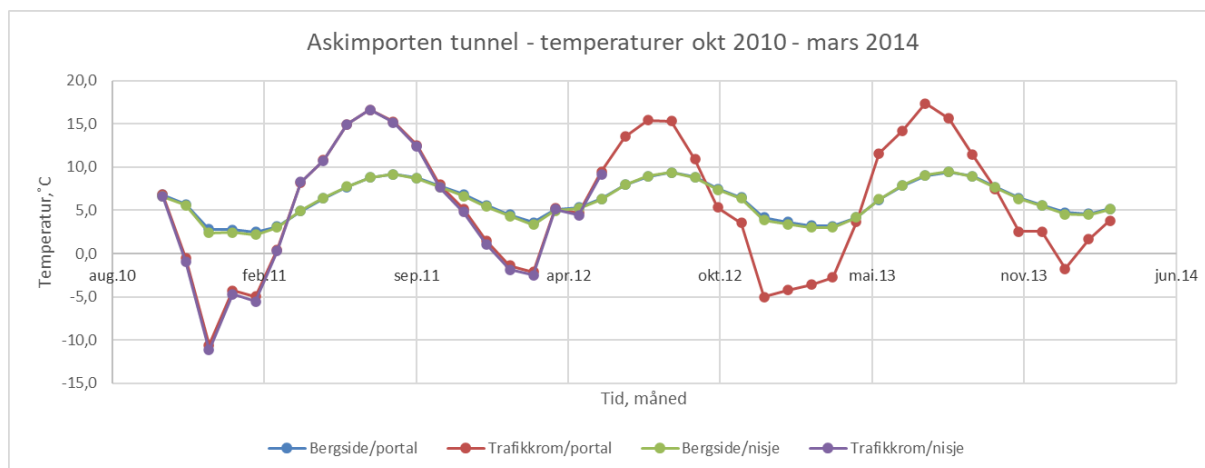
Figur 11 Plassering av temperaturloggere. Røde kryss markerer lokalitet av temperaturloggere inn mot trafikkrommet, gule kryss markerer lokalitet av temperaturloggere på baksiden av hvelvet.

Temperaturen i trafikkrommet svinger med utetemperaturen og varierer over døgnet, se eksempel for november 2010 i Figur 12 og november 2010–november 2011 i Vedlegg 1. Differansen mellom temperaturen ved portal og temperaturen ved første nisje er med få unntak mindre enn 1 °C. Som en hovedregel er det om høsten og vinteren litt kaldere ved nisjen enn ved portalen, og dermed også noe større frostmengde. Temperaturen bak hvelv holder seg mer stabil over året, og er i alle måneder over 0 °C.



Figur 12 Temperatur i tunnelrommet og bak tunnelhvelv, logget hver time i november 2010

Midlere månedstemperaturer over perioden fra oktober 2010 til mars 2014 er vist i Figur 13. Fra juni 2012 er det i trafikkrommet kun målt ved portal.



Figur 13 Temperatur (månedsgjennomsnitt) i tunnelrommet og bak tunnelhvelv

Resultatene viser at det er relativt små temperatursvingninger bak tunnelhvelvet. Over en knapp fireårsperiode ligger midlere månedstemperatur hele tiden mellom +2 og +10 °C. I trafikkrommet svinger temperaturen betydelig mer, med registrerte midlere månedstemperaturer over perioden mellom -11 og +17 °C. Spesielt vintertemperaturene varierer mellom de fire vintersesongene.

Figuren viser at i halvparten av de 42 månedene vi har temperaturdata for er temperaturen bak hvelvet høyere enn i trafikkrommet. Fukttransport fra hvelvet mot trafikkrommet vil derfor kunne foregå i store deler av året.

6 Laboratorieundersøkelser – etter 5 og 10 år

6.1 Uttak og disponering av kjerner

Det ble boret ut kjerner fra betongelementene etter hhv. 5 og 10 års eksponering, nærmere bestemt 24. juni 2015 og 26. mai 2020.

Kjernene ble boret ut av Statens vegvesen Sentrallaboratoriet. Stig Henning Helgestad fra Myndighet og regelverk organiserte arbeidet i felt. Kjernene ble tatt ut ca. 0,8 m over banketten, se Figur 14. Dette er samme høyde som kjerneuttak fra veggelementer i Ekebergtunnelen og Helltunnelen i 2011/1/.

Kjernene ble boret ut med diameter ca. 80 mm og lengde ca. 100 mm (med unntak av kjerner for bestemmelse av vanninnhold, disse ble boret gjennomgående). Antall kjerner som ble boret fra de ulike elementer er angitt i Tabell 2. Etter utboring ble kjernene tørket av med papir, merket og pakket tett inn i tynnplastfilm og plastposer. For gjennomgående kjerner til bestemmelse av vannmetningsgrad ble det spesielt lagt vekt på umiddelbar avtørking/innpakking, dette for å hindre oppfukting/uttørking av betongen.



Figur 14 Utboring av kjerner i 2020, høyde ca. 0,8 m over bankett. Reparert borhull fra 2015 til venstre på bildet (merket med pil). Foto: Stig Henning Helgestad, Statens vegvesen

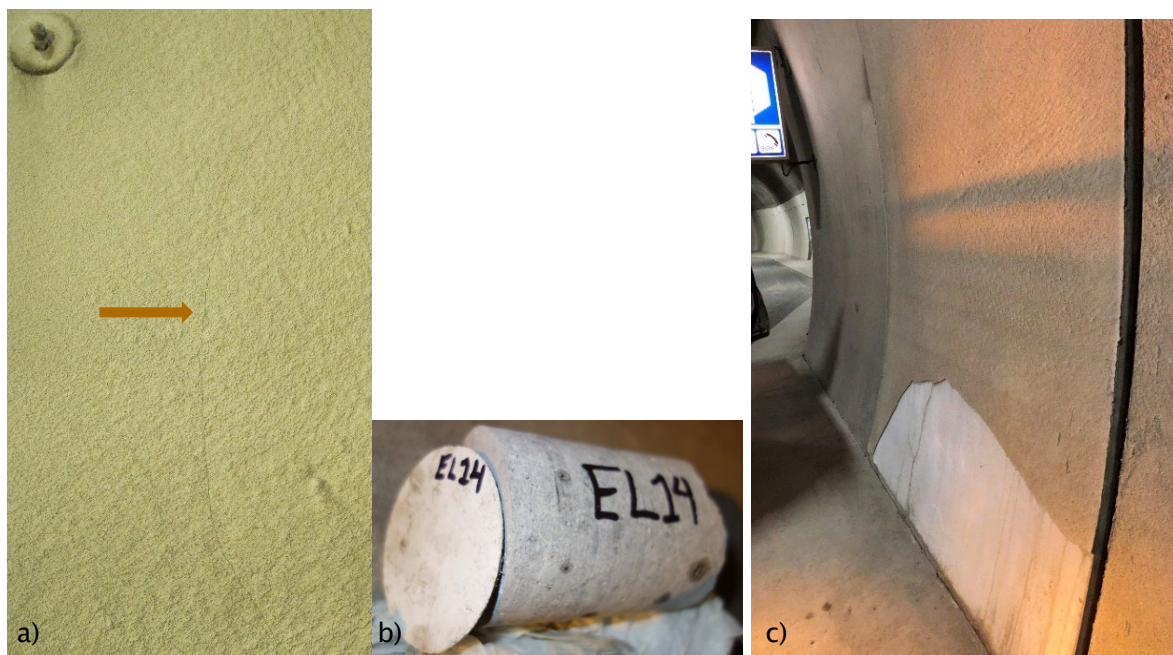
Tabell 2 Overflateprodukter og produktkategorier

Element nr.	Antall kjerner	
	2015	2020
Element 1 (høyre halvdel) – referanse	1	1
Element 2 – Surfapore C	1	2
Element 4 – Nanopool Stone protect	1	2
Element 5 – referanse	1	1
Element 6 – StoCryl HG200	1	2
Element 9 (høyre halvdel) – referanse	2 ^{*)}	2 ^{*)}
Element 10 – Faceal Oleo CP	1	2
Element 12 – Sikagard 706 Thixo	1	2
Element 13 – referanse	1	1
Element 14 – Cempro Whitecoat	1	2

^{*)} hvorav 1 gjennomgående, for bestemmelse av kapillær vannmetningsgrad

Det ble oppdaget riss og bom i deler av belegget Cempro Whitecoat ved prøveuttak etter 5 år og avflaking av et større område etter 10 år (se Figur 15). Dårlig heft av belegget kan muligens relateres til gjenværende herdemembran i overflata ved påføring, se kommentarer i kapittel 3.1.

I 2015 ble feltarbeidet utført like etter tunnelvask, i 2020 det ble utført før tunnelvask. Av foto i Figur 15b) og c) kan en se at Cempro-belegget i 2015 (etter vask) er lysere enn betongoverflata bak, mens det i 2020 (før vask) er mørkere enn betongen bak.



Figur 15 Foto av overflate med Cempro Whitecoat a) Riss i belegget i 2015 (merket med pil) b) Heftbrudd etter utboring av kjerne i 2015 og c) Avflaking av større område i 2020. Merk at i 2015 (etter vask) er belegget lysere enn betongoverflata bak, mens det i 2020 (før vask) er mørkere enn betongen bak. Foto: Stig Henning Helgestad, Statens vegvesen

Hovedformålet med undersøkelsene var å bestemme kloridinntrenging og de ulike produktenes kloridbremsende effekt. I tillegg er inntrengingsdybde av impregneringene, karbonatiseringsdybder og kapillær vannmetningsgrad bestemt.

Alle laboratorieundersøkelser er utført ved Statens vegvesen Sentrallaboratoriet i Oslo.

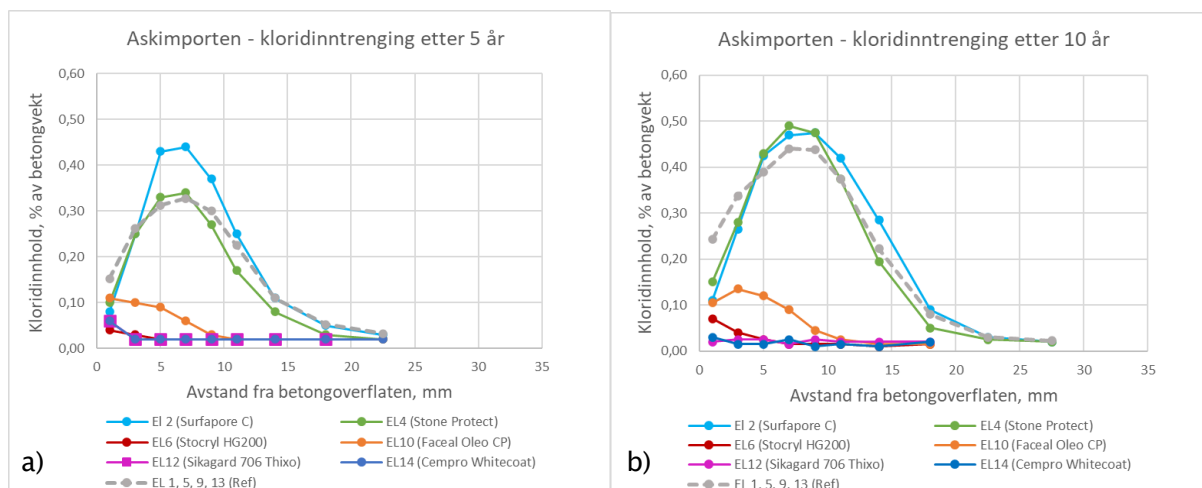
6.2 Bestemmelse av kloridinntrenging

Fra kjerne øremerket bestemmelse av kloridinntrenging ble det frest støv i 2 mm sjikt inn til 12 mm, 4 mm sjikt inn til 20 mm og 5 mm sjikt inn til hhv. 30 mm i 2015 og 35 mm i 2020.

Kloridanalyser er utført ved potensiometrisk titrering, iht. metode 432/433 i Statens vegvesens Retningslinje R210: Laboratorieundersøkelser.

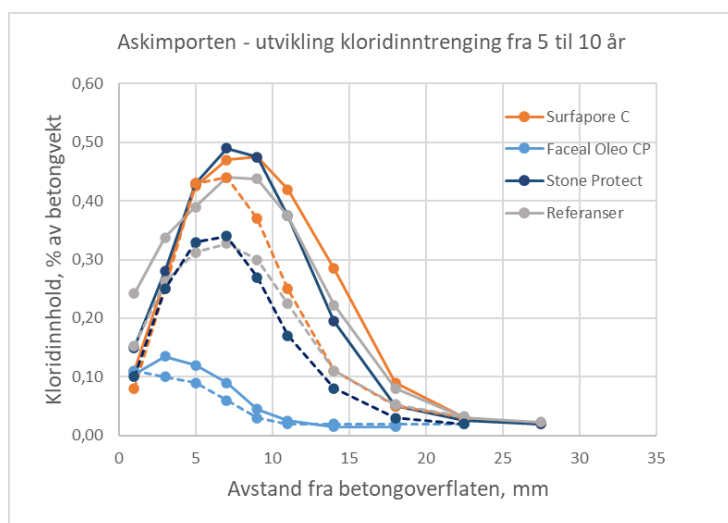
Alle enkeltresultater fra 2015 og 2020 finnes i Vedlegg 2. Som det framgår av figurer i Vedlegg 2 er det ingen sammenheng mellom kloridinntrengingen og referanseelementenes plassering i forsøksfeltet, og det er derfor benyttet et midlere kloridprofil for referansene, både i 2015 og 2020.

Middelverdier for hvert produkt og alle referanser er fremstilt grafisk i Figur 16, a) etter 5 års drift og b) etter 10 års drift.



Figur 16 Kloridprofiler fra undersøkelser utført etter a) 5 års drift (én kjerne pr element, for referanseelementer er beregnet en middelerverdi) og b) 10 års drift (middelerverdi av to kjerner pr overflatebehandlet element og én kjerne for hvert referanseelement)

Produktene StoCryl HG 200, Sikagard 706 Thixo og Cempro Whitecoat viser en tilnærmet blokkering av kloridinntrengingen, selv etter 10 år. Produkt Faceal Oleo CP har også en god kloridbremsende effekt, mens produktene Stone Protect og Surfapore C ikke har noen kloridbremsende effekt i det hele tatt. For de tre sistnevnte produktene er utviklingen i kloridinntrenging fra 5 til 10 år vist i Figur 17.



Figur 17 Utvikling i kloridinntrenging fra 5 år (stiplede linjer) til 10 år (heltrukne linjer) – middelerverdi for ubehandlede referanseelementer og produktene Surfapore, Faceal og Nanopool

For å tallfeste den kloridbremsende effekten er det gjort beregninger av total inntrengt mengde klorider i henholdsvis overflatebehandlede og ubehandlede elementer, etter 10 års eksponering. Dette er gjort ved at kloridinnholdet i ulike sjikt (middelerverdi av hhv. to profiler for de behandlede og fire profiler for de ubehandlede referansene) er omregnet fra % av tørr betongvekt til g/m² og summert. Ved omregning er det antatt en tørrdensitet på 2300 kg/m³ og en bakgrunnsverdi på 0,015 %.

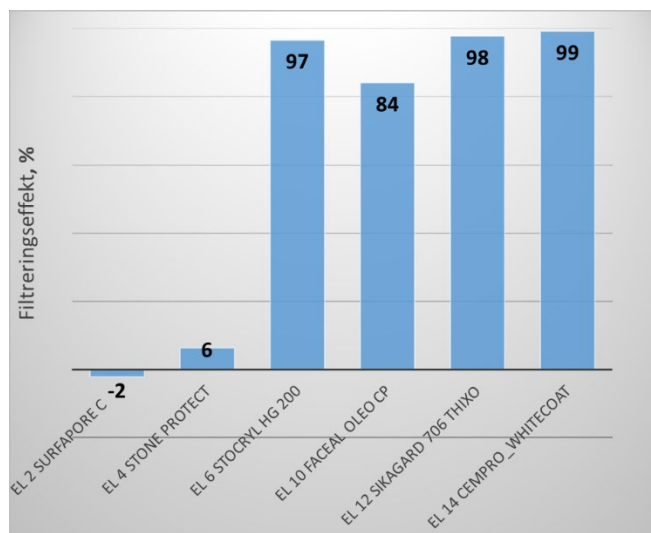
Basert på de beregnede mengder inntrengte klorider er det beregnet en filtreringseffekt som følger:

$$\text{Filtreringseffekt [\%]} = \left(1 - \frac{m_{Cl \text{ tot impregneret}}}{m_{Cl \text{ tot referanse}}} \right) \cdot 100 \%$$

hvor: $m_{Cl \text{ tot impregneret}}$ = total inntrengt mengde klorider i overflatebehandlede prøver

$m_{Cl \text{ tot referanse}}$ = total inntrengt mengde klorider i ubehandlede referanser

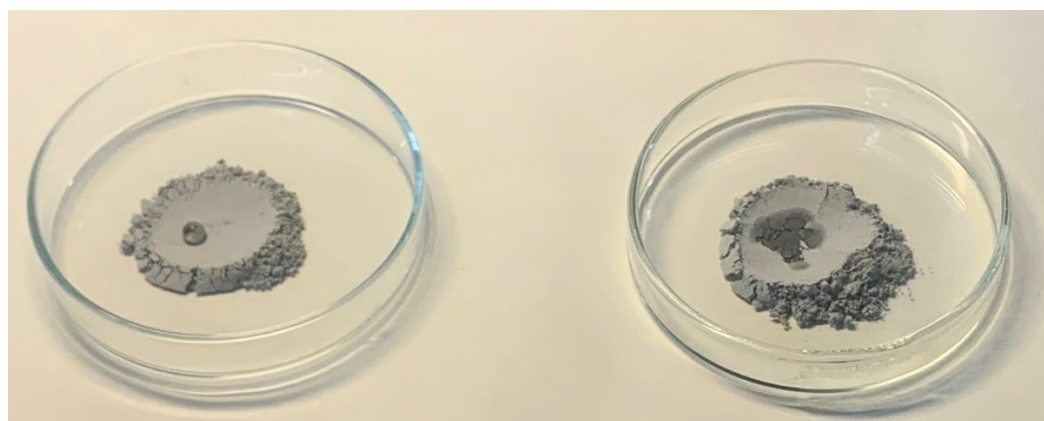
Beregnet filtreringseffekt for ulike produkter etter 10 års drift er vist i Figur 18.



Figur 18 Kloridfiltreringseffekt for ulike produkter etter 10 års drift.

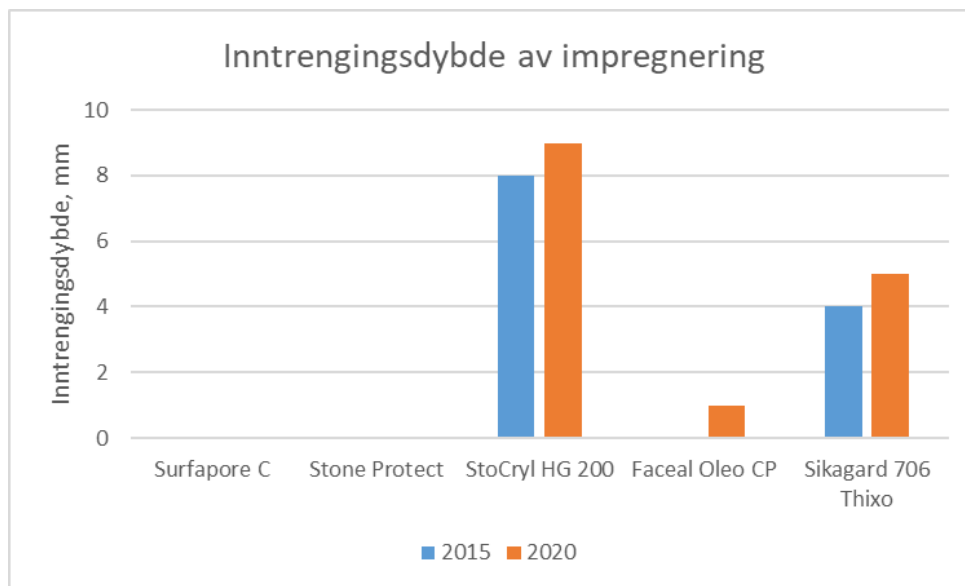
6.3 Bestemmelse av inntrengingsdybde av impregneringer

Bestemmelse av inntrengingsdybde av impregneringene ble utført ved en forenklet metode. En liten teskje reststøv (etter kloridanalyser) fra sjiktene 0–2 og 2–4 mm, og videre nødvendig antall sjikt, ble lagt på petriskål og påført en dråpe vann. Betongstøv som ikke trakk vann ble ansett som impregneret, se Figur 19. Utviklingen ble fulgt de første minuttene etter vanntilsetning, og det ble anmerket dersom den vannavvisende effekten avtok.



Figur 19 Eksempel – foto av betongstøv tilsatt vann. Impregneret (vannavvisende) betongstøv til venstre og ikke-impregneret (vannsugende) betongstøv til høyre.

Resultatene er vist i Figur 20.

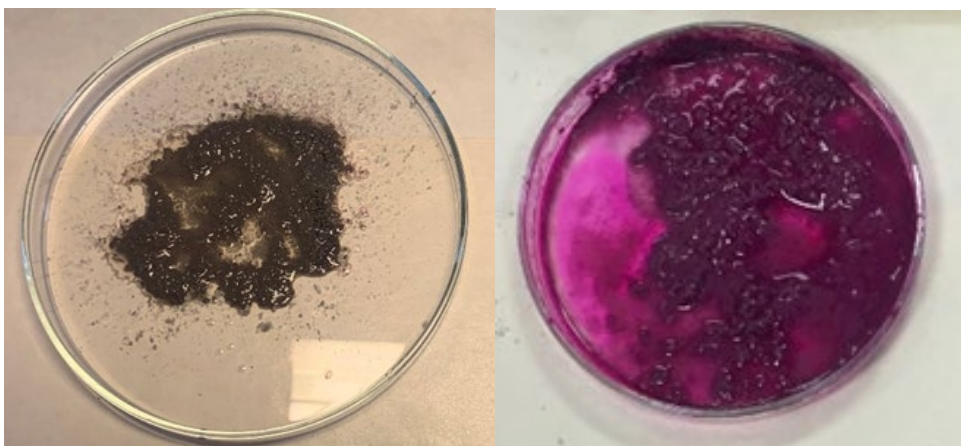


Figur 20 Målt inntrengingsdybde av ulike produkter, hhv. i 2015 og 2020.

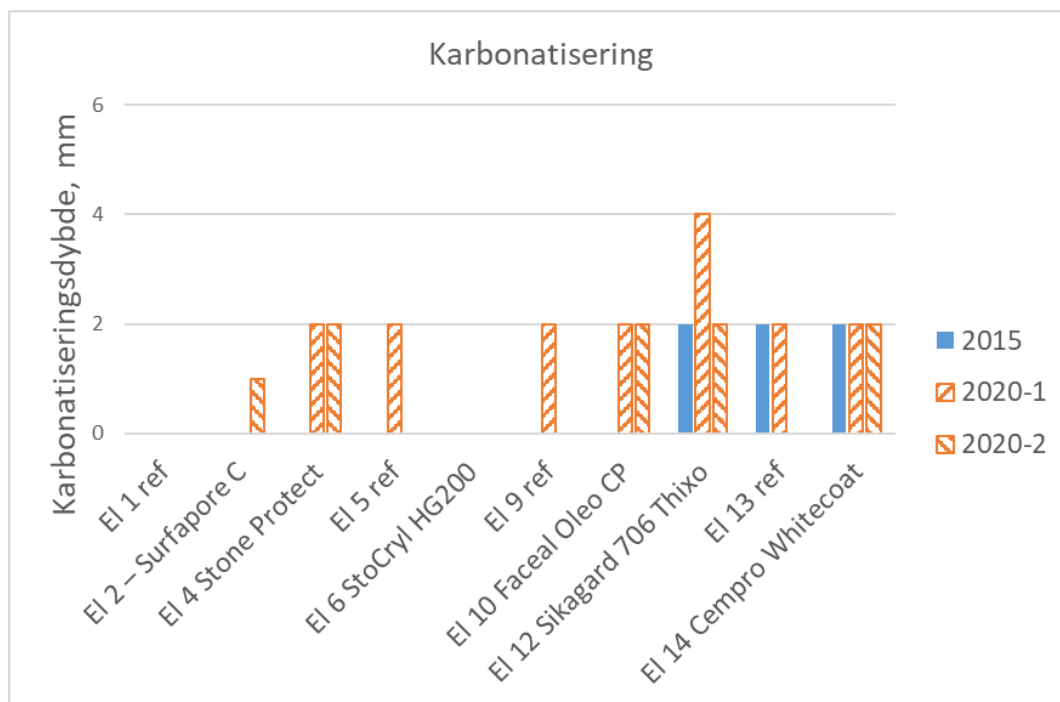
Resultatene viser en svært god inntrenging av StoCryl HG 200 og god inntrenging av Sikagard 706 Thixo. Det er ikke mulig å måle inntrengingsdybden av Surfapore C og Stone Protect, og inntrengingsdybden av Faceal Oleo CP er knapt målbar. Det er ingen tegn på at inntrengingsdybden av silanene StoCryl HG200 og Sikagard 706 Thixo er redusert etter 10 år.

6.4 Bestemmelse av karbonatiseringsdybder

Bestemmelse av karbonatiseringsdybde ble utført ved en forenklet metode. En liten teskje reststøv (etter kloridanalyser) fra sjiktene 0–2 og 2–4 mm ble lagt på petriskål og tilsatt fenolftalein (i 2015)/tymolftalein (i 2020). Betongstøv som forble grått ble betraktet som karbonatisert, og støv som ble farget rødt/blått ble betraktet som ikke-karbonatisert, se Figur 21. Resultatene er presentert i Figur 22.



Figur 21 Eksempel – foto av karbonatisert støv til venstre og ikke-karbonatisert støv til høyre.



Figur 22 Karbonatisering, målt på støv fra alle utborede kjerner, hhv. i 2015 og 2020.

Resultatene viser at det er svært liten karbonatisering av betongen (≤ 2 mm), både i ubehandlede og impregnerte elementer.

6.5 Bestemmelse av kapillær vannmetningsgrad og porøsitet

Kapillær vannmetningsgrad og porøsitet er bestemt på prøvestykker tildannet fra én betongkjerne boret ut fra ubehandlet referanseelement nr. 9, hhv. i 2015 og 2020.

Prøvestykker for bestemmelse av kapillær vannmetning og porøsitet er tildannet ved splitting av «skiver» med tykkelse ca. 50 mm. Prøving er utført i henhold til Statens vegvesens Retningslinje R210, metode 426: Kapillær sugeshastighet og porøsitet, utvidet PF-metode – bestemmelse av vanninnhold.

Tildannede prøvestykker er veid i følgende tilstand:

- Umiddelbart etter utpakking og splitting
- Etter neddykking i vann i 7 døgn
- Etter tørking ved 105 °C i 7 døgn
- Etter trykkmetning i 2 døgn

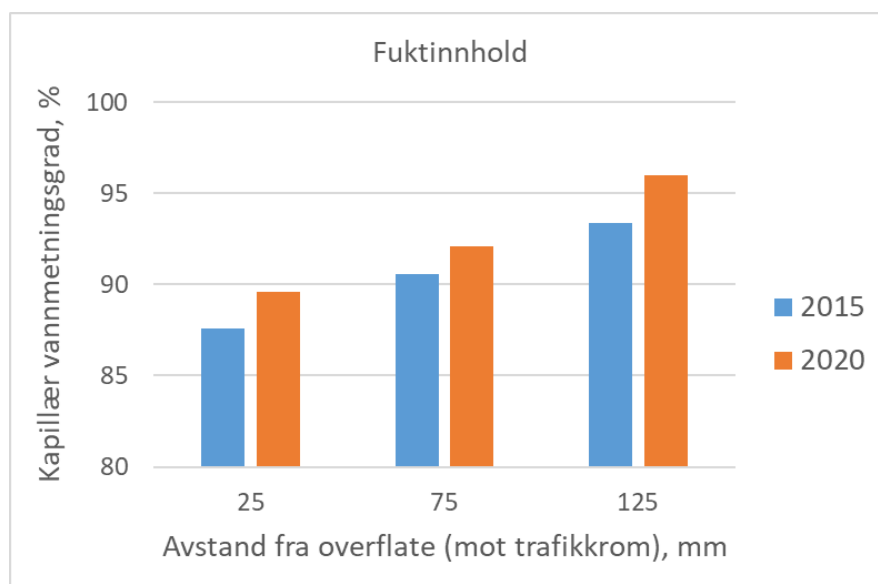
Basert på vektresultatene er det beregnet verdier for kapillær vannmetningsgrad, porøsitet og densitet. Resultatene er vist i Tabell 3.

Tabell 3 Beregnede verdier for kapillær vannmetningsgrad, porøsitet og densitet. Kjerne boret fra referanseelement 9, hhv. i 2015 og 2020.

År	Kjerne	Dybde*, mm	Kapillær vannmetningsgrad [%]	Sugporøsitet [%]	Makroporøsitet (luftinnhold) [%]	Sugmettet densitet [kg/m³]	Faststoffdensitet [kg/m³]
2015	Element 9 (referanse)	0–50	87,6	13,0	4,2	2350	2690
		50–100	90,6	14,0	4,8	2320	2680
		100–150	93,4	15,8	5,4	2280	2690
	Gjennomsnitt			14,2	4,8	2320	2690
2020	Element 9 (referanse)	0–50	89,6	12,5	4,5	2350	2680
		50–100	92,1	14,0	5,1	2310	2680
		100–150	96,0	14,9	5,2	2290	2680
	Gjennomsnitt			13,8	4,9	2320	2680

*) Dybde fra flate mot trafikkrommet

Verdier for kapillær vannmetningsgrad er fremstilt grafisk i Figur 23.



Figur 23 Kapillær vannmetningsgrad, bestemt i ulike sjikt av kjerne boret ut fra Element 9-ubehandlet referanse, hhv. i 2015 og 2020.

Resultatene viser økende kapillær vannmetningsgrad fra trafikkrommet mot bergsiden (bak hvelvet) og indikasjoner på økende fuktinnhold med tiden. Selv om elementet er beskyttet mot direkte vannpåkjenning på bergsiden, så er vanninnholdet her svært høyt. Resultatene underbygger at det pågår en vanntransport fra bergsiden mot trafikkrommet.

Luftinnholdet i betongen er målt til ca. 5 %, hvilket tilsier at betongens frostmotstand er god.

7 Oppsummering av resultatene

Undersøkelser av veggelementenes lyshet de første tre årene viste, som forventet, at hvite eller hvitpigmenterte produkter hadde en positiv effekt på lyshet/lysrefleksjon sammenlignet med ubehandlede referanser. Elementer med fargeløs impregnering eller hydrofoberende impregneringer skilte seg imidlertid ikke signifikant fra de ubehandlede referanseflatene. For de «hvite» produktene er forskjellene i lyshet størst umiddelbart etter tunnelvask og avtar med økende tilsmussing fram mot neste vask.

Kloridinntrengingen i overflatebehandlede og ubehandlede betongelementer er undersøkt etter 5 og 10 års drift. Resultatene kan oppsummeres som følger:

- De silanbaserte hydrofoberende impregneringene StoCryl HG 200 og Sikagard 706 Thixo (med 80–90 % silan) og det sementbaserte belegget Cempro Whitecoat viser en tilnærmet blokkering av kloridinntrengingen (filtreringseffekt 97–99 %), selv etter 10 år. Produkt Faceal Oleo CP (angitt med et silaninnhold > 20 %) har en betydelig kloridbremsende effekt (filtreringseffekt 84 %), mens produktene Stone Protect og Surfapore C er uten nevneverdig kloridbremsende effekt (filtreringseffekt < 7 %).
- Inntrengingsdybden av produktene StoCryl HG200, Sikagard 706 Thixo og Faceal Oleo CP er målt til hhv. 9, 5 og 1 mm etter 10 år. Det er ikke registrert en reduksjon i inntrengingsdybde fra 5 til 10 år. For produktene Stone Protect og Surfapore C har det ikke på noe tidspunkt vært mulig å måle en inntrengingsdybde. Inntrengingsdybden er normalt en viktig faktor for levetiden av silanbasert impregnering, all den tid silaner ikke er UV-bestendig. I en tunnel vil dette være av mindre betydning.

Midlere kloridinntrenging i ubehandlet betong viser at kloridinnholdet i dybde 18 mm øker fra 0,05 % i 2015 til 0,08 % i 2020 (% av betongvekt). Veggelementene er prosjektert med SV 40-betong, overdekning på 45 ± 5 mm og en forutsatt levetid på 50 år. Elementene skal således, ikke ha behov for kloridbremsende overflatebehandling. Det er ikke beregnet klorid-diffusjonskoeffisienter og aldringsfaktorer med tanke på å estimere videre kloridinntrenging de neste 40 årene. Dette pga. store usikkerheter ved transportmekanismer og beregningsmetoder når kloridkilden er tinesalter fra vinterdrift.

Karbonatiseringsdybder er målt på utboret støv i 2 mm tykke sjikt fra eksponert betongoverflate. Med unntak av én prøve som viser karbonatisering i dybde 2–4 mm er alle karbonatiseringsdybder ≤ 2 mm etter 10 år. Karbonatisering av betongen anses ikke å utgjøre et potensielt bestandighetsproblem.

Temperaturmålinger viser at det er relativt små temperatursvingninger bak tunnelhvelvet. Over en knapp fireårsperiode ligger månedstemperaturen hele tiden mellom +2 og +10 °C. I trafikkrommet svinger temperaturen betydelig mer, med registrerte månedstemperaturer over perioden mellom –11 og +17 °C. I halvparten av de 42 månedene vi har temperaturdata for er temperaturen bak hvelvet høyere enn i trafikkrommet. Fukttransport fra hvelvet mot trafikkrommet vil derfor kunne foregå i store deler av året.

Fukttinnholdet i ubehandlet betong er høyt, over 90 % kapillær vannmetningsgrad i mesteparten av tverrsnittet, og øker fra trafikkrommet mot bergsiden (bak hvelvet). Det er videre indikasjoner på at fukttinnholdet øker med tiden. Selv om elementet er beskyttet mot direkte vannpåkjenning på bergsiden, så er vanninnholdet her svært høyt (96 % i 2020). Resultatene underbygger at det pågår en vanntransport fra bergsiden mot trafikkrommet. Fukttilstanden i veggelementene tilsier at det ikke bør påføres overflateprodukter med relativt høy diffusjonstetthet. Dette vil innebære en stor risiko for fuktakkumulering og etterfølgende avflassing, noe som medfører stort vedlikeholdsbehov og eventuelt også miljøutfordringer.

8 Konklusjoner

Basert på tidlige resultater fra prosjektet, kan følgende konklusjoner trekkes:

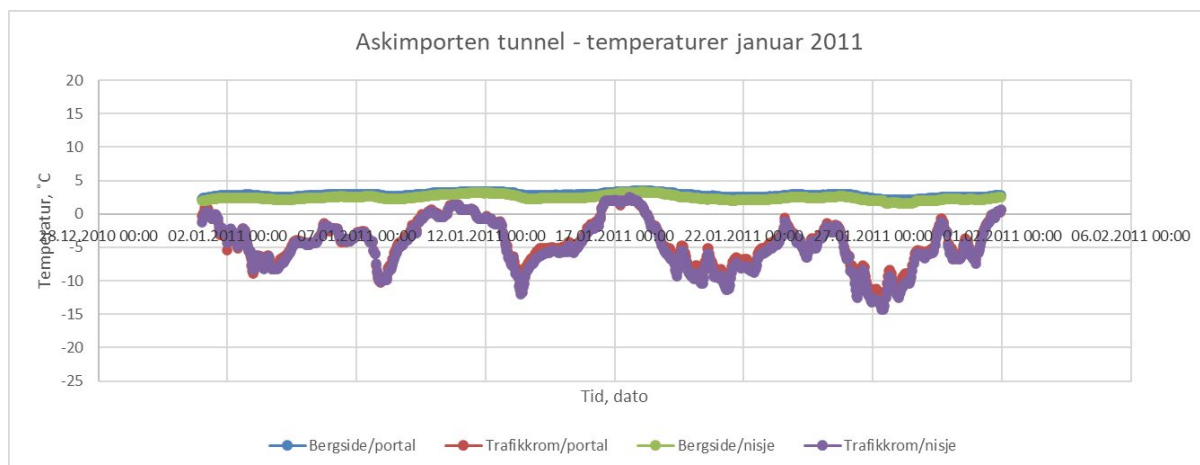
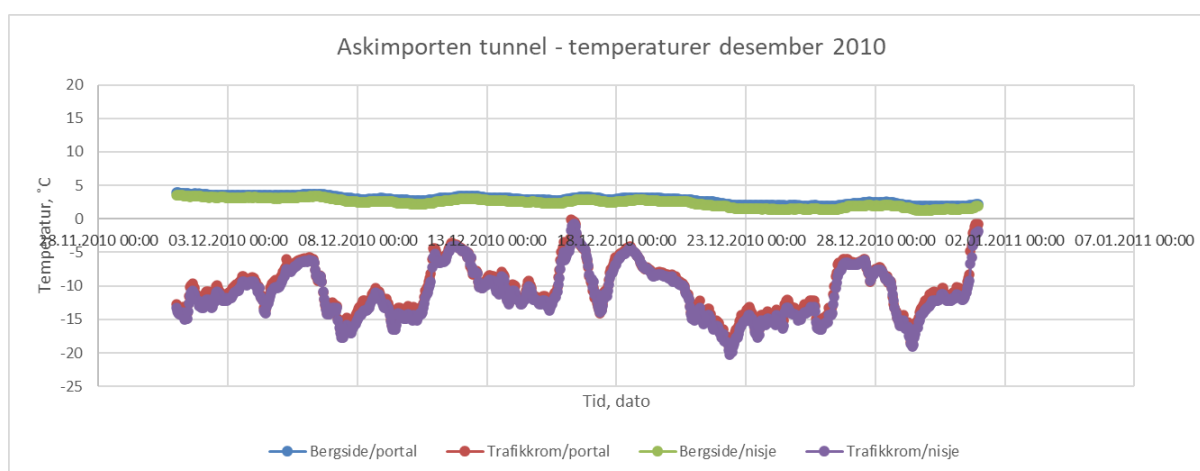
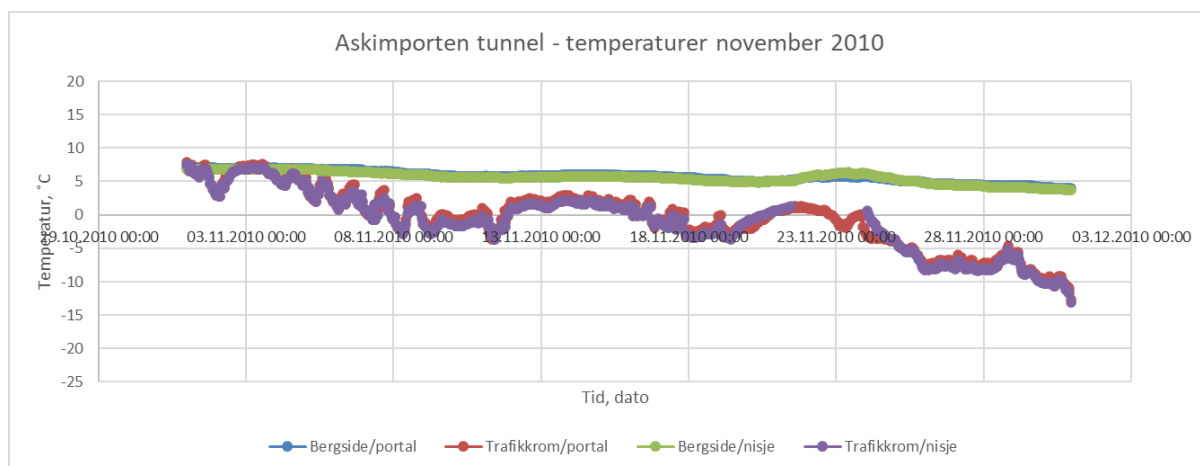
- De fargeløse impregneringene har ingen smussavvisende effekt som påvirker veggelementenes lyshet. Kun de hvite eller hvitpigmenterte overflateproduktene bidrar til bedre lyshet. Effekten er imidlertid mest uttalt like etter tunnelvask og avtar med økende tilsmussing mot neste vask. Effekten av produktene over lang tid (>3 år) er ikke undersøkt.
- De silanbaserte hydrofoberende impregneringene i krem-/gelform, med 80–90 % silan, har svært god kloridbremsende effekt etter 10 år, det samme har det sementbaserte hvite belegget. En væskebasert hydrofoberende impregnering med >20 % silan har også vist god kloridbremsende effekt etter 10 år. Inntrengingsdybden av dette produktet er imidlertid minimal og levetiden vil sannsynligvis være kortere enn for de to andre silanbaserte produktene, som har inntrengingsdybder på hhv. 4 og 8 mm.
- Karbonatisering av betongen anses ikke å utgjøre et potensielt bestandighetsproblem. Det er heller ingen tegn på økt karboniseringshastighet som følge av impregnering av betongen.
- Fukttilstanden i veggelementene tilsier at det er stor risiko for fuktakkumulering og etterfølgende avflassing ved påføring av diffusjonstette belegg. Det vil kunne føre til økt vedlikeholdsbehov og mulige miljøutfordringer.

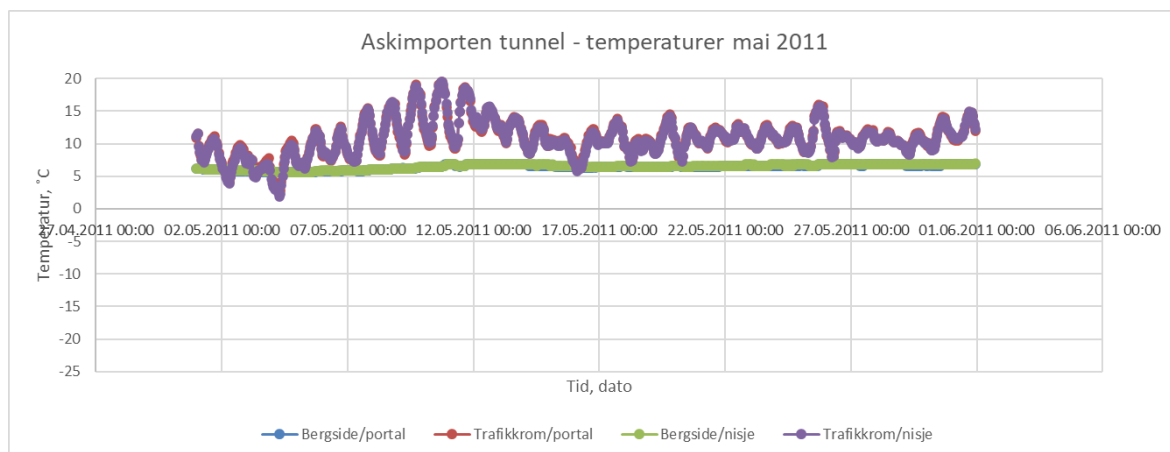
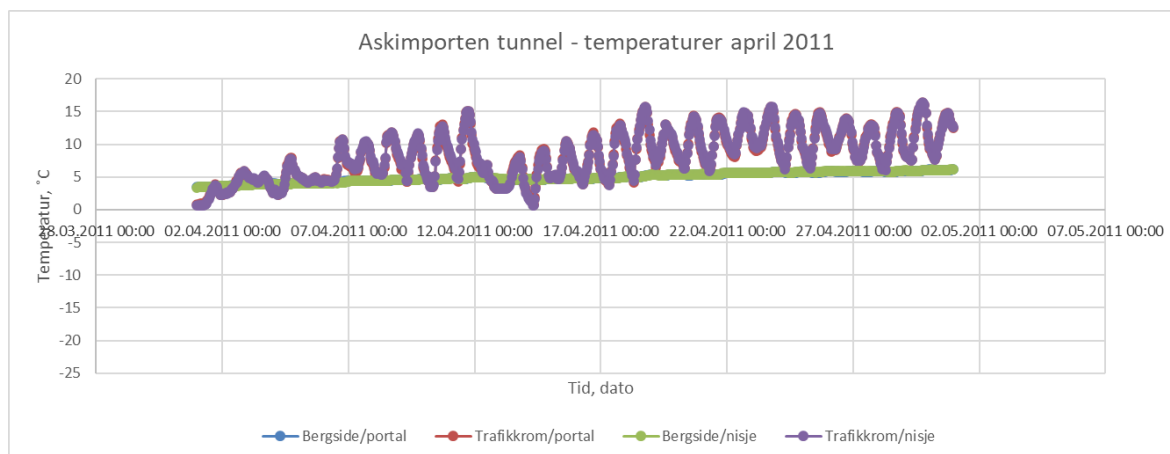
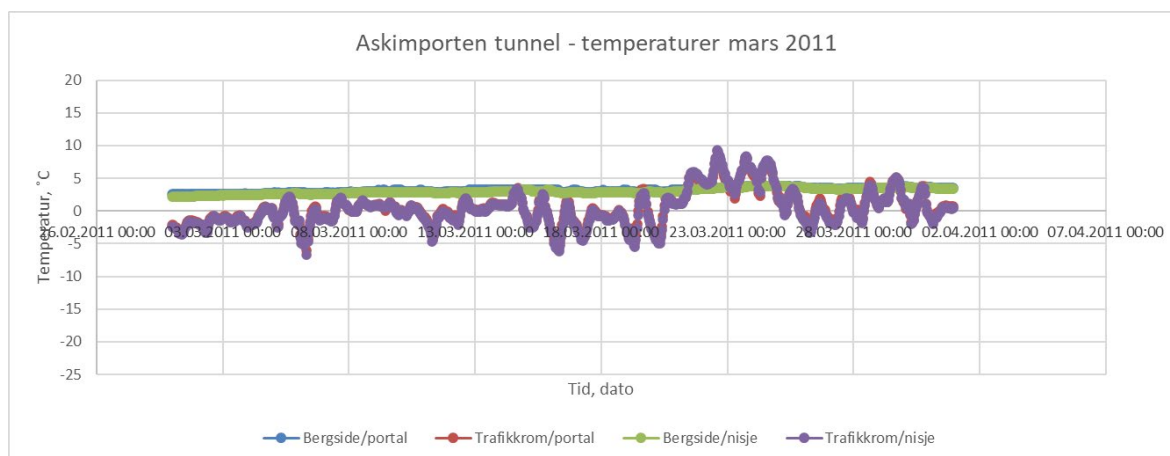
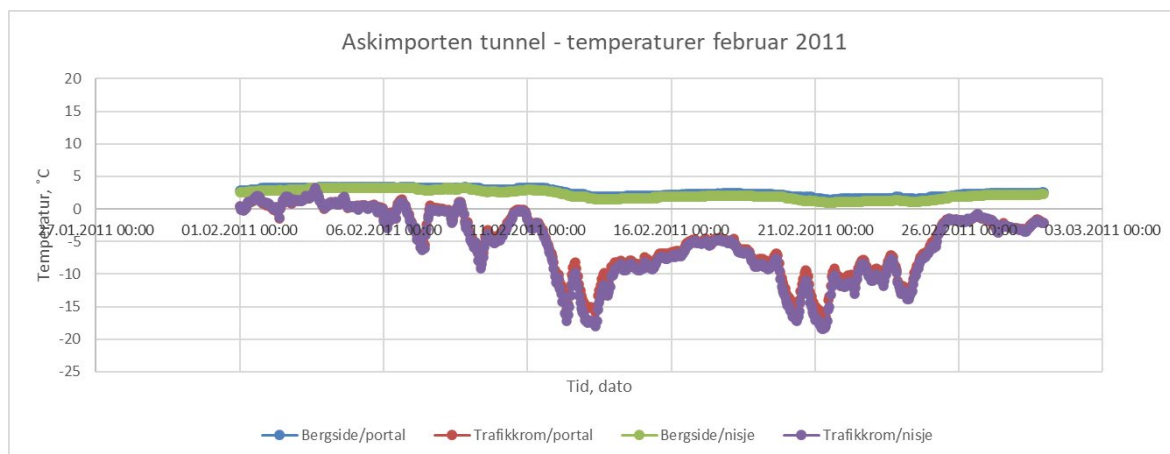
9 Referanser

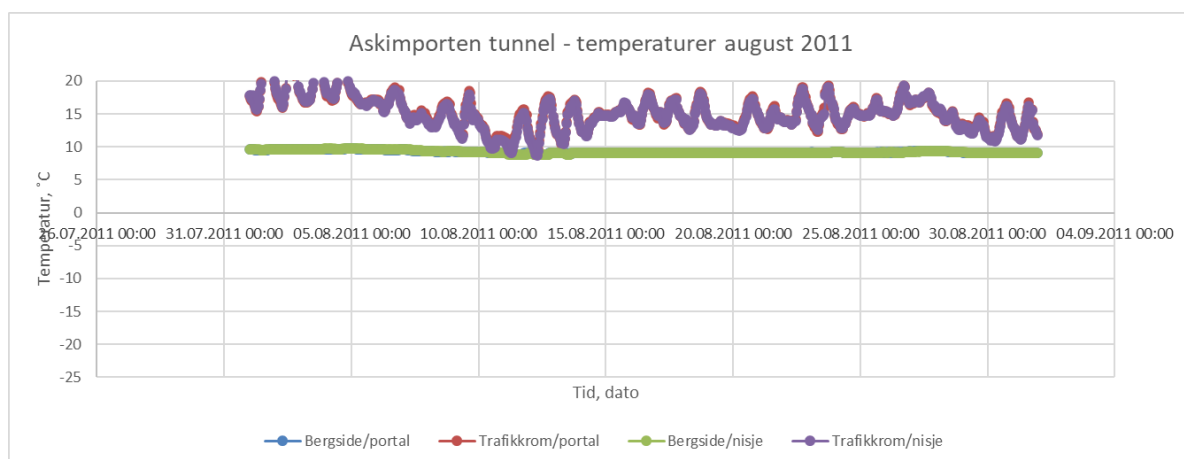
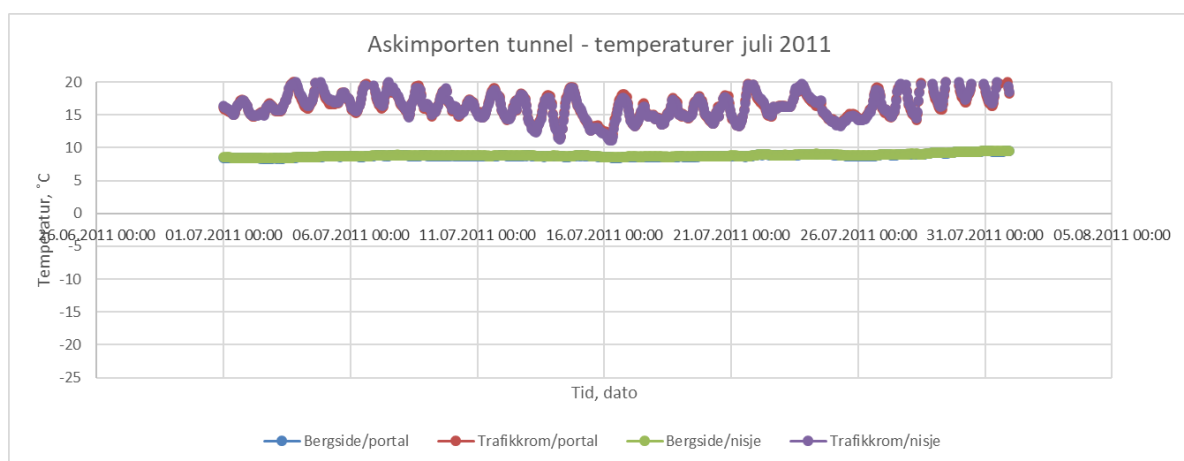
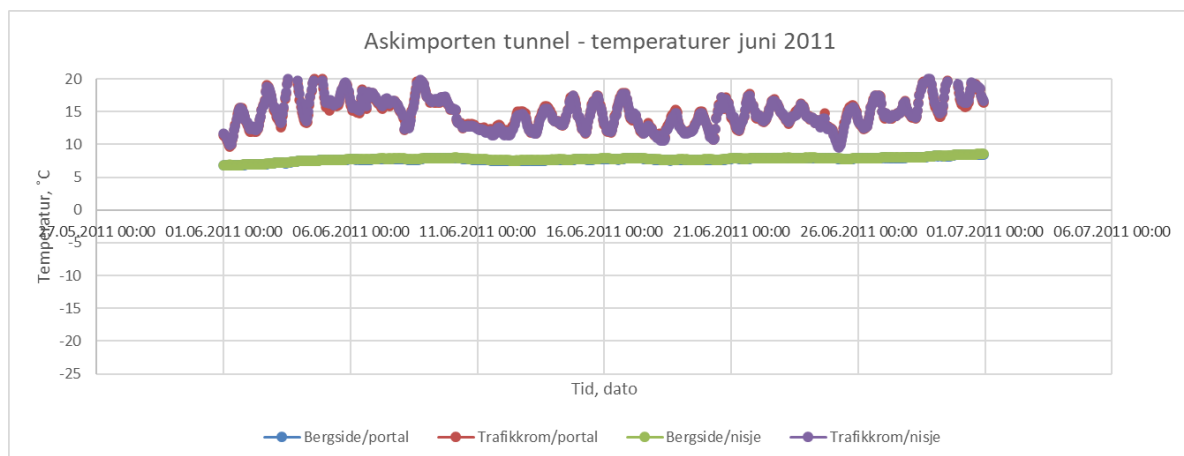
- 1 Luke, J. (2013): Kartlegging av miljøbetingelser i tunneler. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015, Statens vegvesen rapport nr. 236
- 2 Klemetsrud, K., Rodum, E., Kompen R. (2011): Askimporten tunnel – Feltforsøk med overflatebehandling av veggelementer Fase 1 – etablering av forsøksfelt VD Rapport nr. 16
- 3 Statens vegvesen Håndbok 163 (2006): Vann- og frostsikring i tunneler
- 4 NS 3473 (2003): Prosjektering av betongkonstruksjoner. Beregnings- og konstruksjonsregler.
- 5 NS-EN 1992-1-1:2004/NA:2008: Prosjektering av betongkonstruksjoner. Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger.

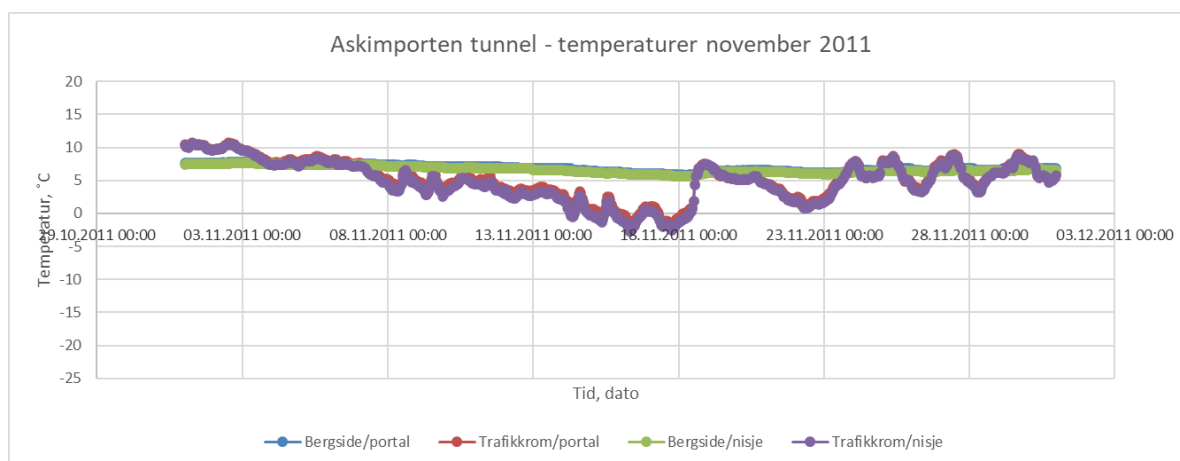
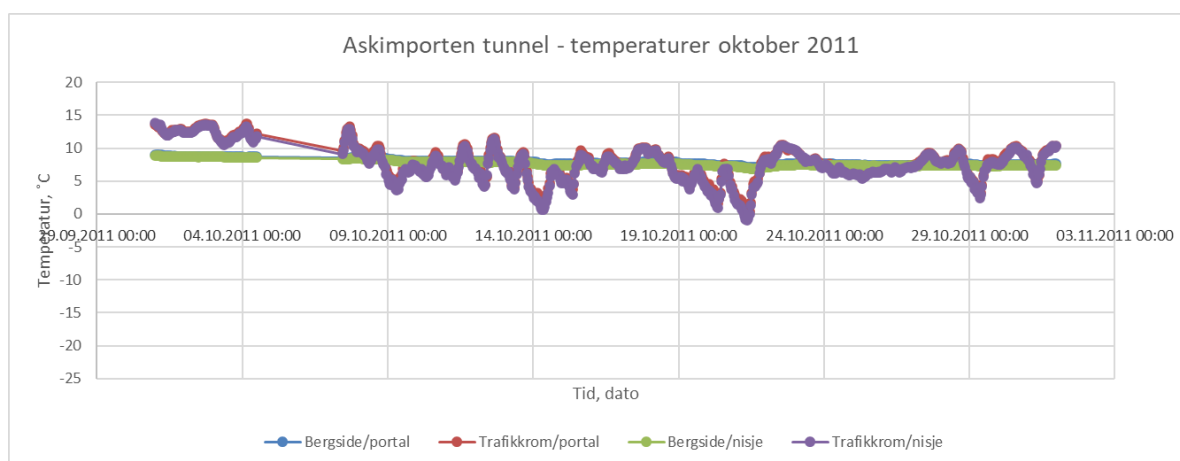
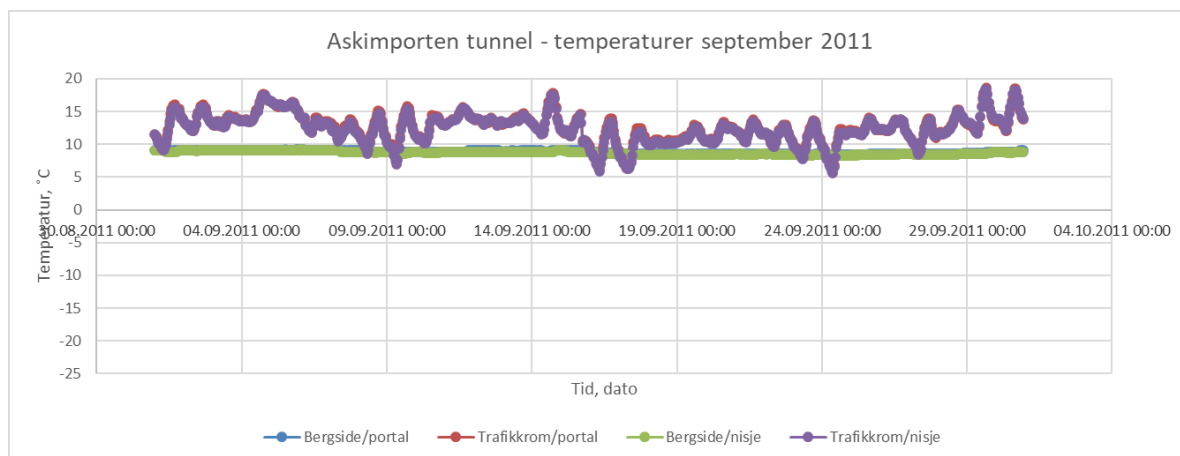
- 6 NS-EN 1504-2 (2004): Produkter og systemer for beskyttelse og reparasjon av betongkonstruksjoner – Definisjoner, krav, kvalitetskontroll og evaluering av samsvar – Del 2: Systemer for overflatebehandling
- 7 Kaspersen, K, Østnor, T., Eide M. B. og De Weerd K. (2012) Characterisation of concrete surfaces in Askimporten tunnel. COIN Project report 45
- 8 Larsen, P. J. (2016): Fremtidens tunnelbelysning: Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012–2015, Statens vegvesen rapport nr. 562

TEMPERATURER – fra november 2010 til november 2011









KLORIDRESULTATER

2015:

Alle kloridresultater fra 2015 er vist i Tabell 1 og Tabell 2.

Tabell 1 Kloridresultater fra analyser utført i 2015 – overflatebehandlede elementer

Avstand fra overflata, mm	Kloridinnhold, % av betongvekt					
	El 2 – Surfapore C	El 4 – Stone Protect	El 6 – StoCryl HG 200	El 10 – Faceal Oleo CP	El 12 – Sikagard 706 Thixo	El 14 – Cempro Whitecoat
1	0,08	0,10	0,04	0,11	0,06	0,06
3	0,25	0,25	0,03	0,10	0,02	0,02
5	0,43	0,33	0,02	0,09	0,02	0,02
7	0,44	0,34	0,02	0,06	0,02	0,02
9	0,37	0,27	0,02	0,03	0,02	0,02
11	0,25	0,17	0,02	0,02	0,02	0,02
14	0,11	0,08	0,02	0,02	0,02	0,02
18	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
22,5	0,03	0,02		0,02		0,02

Tabell 2 Kloridresultater fra analyser utført i 2015 – ubehandlede referanseelementer

Avstand fra overflata, mm	Kloridinnhold, % av betongvekt				
	El 1	El 5	El 9	El 13	Middel
1	0,27	0,10	0,13	0,11	0,15
3	0,39	0,21	0,27	0,18	0,26
5	0,34	0,30	0,29	0,32	0,31
7	0,31	0,31	0,29	0,40	0,33
9	0,27	0,27	0,25	0,41	0,30
11	0,20	0,21	0,18	0,31	0,23
14	0,11	0,12	0,09	0,19	0,13
18	0,05	0,05	0,04	0,09	0,06
22,5	0,03	0,03	0,02	0,05	0,03

2020:

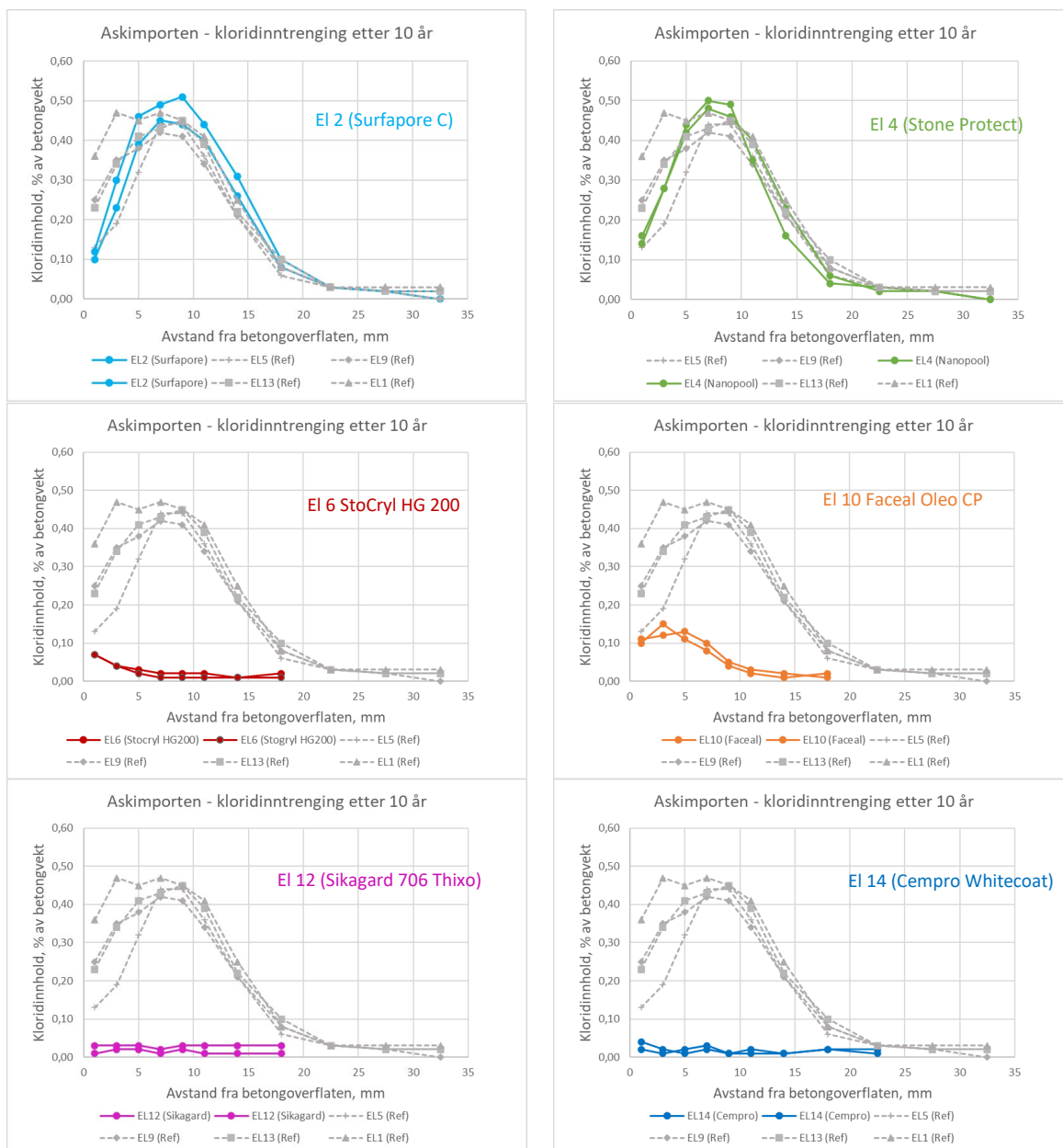
Alle kloridresultater fra 2020 er vist i Tabell 3 og Tabell 4, samt presentert grafisk i Figur 1.

Tabell 3 Kloridresultater fra analyser utført i 2020 – overflatebehandlede elementer

Avstand fra overflata, mm	Kloridinnhold, % av betongvekt											
	El 2 – Surfpore C		El 4 – Stone Protect		El 6 – StoCryl HG 200		El 10 – Faceal Oleo CP		El 12 – Sikagard 706 Thixo		El 14 – Cempro Whitecoat	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	0,10	0,12	0,14	0,16	0,07	0,07	0,11	0,1	0,01	0,03	0,04	0,02
3	0,23	0,3	0,28	0,28	0,04	0,04	0,12	0,15	0,02	0,03	0,02	0,01
5	0,39	0,46	0,44	0,42	0,03	0,02	0,13	0,11	0,02	0,03	0,01	0,02
7	0,45	0,49	0,5	0,48	0,02	0,01	0,1	0,08	0,01	0,02	0,02	0,03
9	0,44	0,51	0,49	0,46	0,02	0,01	0,05	0,04	0,02	0,03	0,01	0,01
11	0,40	0,44	0,35	0,4	0,02	0,01	0,03	0,02	0,01	0,03	0,02	0,01
14	0,26	0,31	0,16	0,23	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01
18	0,08	0,1	0,04	0,06	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,03	0,02	0,02
22,5	0,03	0,03	0,03	0,02							0,01	0,02
27,5	0,02	0,02	0,02	0,02								
32,5		0,02										

Tabell 4 Kloridresultater fra analyser utført i 2020 – ubehandlede referanseelementer

Avstand fra overflata, mm	Kloridinnhold, % av betongvekt				
	El 1	El 5	El 9	El 13	Middel
1	0,36	0,13	0,25	0,23	0,24
3	0,47	0,19	0,35	0,34	0,34
5	0,45	0,32	0,38	0,41	0,39
7	0,47	0,44	0,42	0,43	0,44
9	0,45	0,44	0,41	0,45	0,44
11	0,41	0,36	0,34	0,39	0,38
14	0,25	0,21	0,21	0,22	0,22
18	0,08	0,06	0,08	0,1	0,08
22,5	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
27,5	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
32,5	0,03	0,02		0,02	0,02



Figur 1 Kloridprofiler etter 10 års eksponering – bestemt for kjerner boret ut fra elementer med ulike overflatebehandling (fargede, heltrukne linjer), sammenstilt med kloridprofiler fra ubehandlede referanseelementer (grå, stiplede linjer)



Statens vegvesen
Pb. 1010 Nordre Ål
2605 Lillehammer

Tlf: (+47) 22 07 30 00

firmapost@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Tryggere, enklere og grønnere reisehverdag