

Dynamisk prognosstyrd vinterväghållning – Fas 3 & 4

Restsaltmodeller och automatisk saltspridning

Anna K. Arvidsson
Göran Blomqvist
Christina Stave
Mats Wärme
Maria Polukarova
Andreas Bäckström

vti

VTI resultat 2021:4
Utgivningsår 2021
vti.se/publikationer

VTI resultat 2021:4

Dynamisk prognosstyrd vinterväghållning – Fas 3 & 4

Restsaltmodeller och automatisk saltspridning

Anna K. Arvidsson

Göran Blomqvist

Christina Stave

Mats Wärme

Maria Polukarova

Andreas Bäckström

SBUF ®

SVEVIA



BM SYSTEM

vti

Författare: Anna K. Arvidsson, VTI (www.orcid.org/0000-0001-8975-0040), Göran Blomqvist, VTI (www.orcid.org/0000-0002-0124-04802), Christina Stave, VTI (www.orcid.org/0000-0002-1816-9483), Mats Wärme, BM System, Maria Polukarova, VTI, (www.orcid.org/0000-0003-0491-1365), Andreas Bäckström Svevia, (www.orcid.org/0000-0001-8612-4503)

Diarienummer: 2016/0439-9.1

Publikation: VTI resultat 2021:4

Utgiven av VTI, 2021

Kort sammanfattning

I ett föränderligt klimat där allt större krav ställs på väghållare och vinterdriftsentreprenörer att åstadkomma en för trafikanterna acceptabel vintersdriftstandard samtidigt som de ekonomiska resurserna blir alltmer begränsade, ökar behoven av kostnadseffektiva metoder. Prognosstyrd dynamisk vägdrift har visat sig kunna leda till en ökad produktivitet då väglagsprognoser integreras med ruttoptimering.

Ett sätt att vidareutveckla väglagsprognoserna är att veta hur mycket salt som behövs på vägen, eller mer exakt, hur mycket salt finns kvar? Om det redan finns salt på vägen, behöver du inte sprida hela mängden, det kan räcka med hälften eller ännu mindre.

Restsaltmätningar har gjorts under tre vintersäsonger vid Testsite E18. Platsen valdes eftersom den är utrustad med flera olika sensorer, monterade över, bredvid och i vägen. Salt mättes var trettionde centimeter tvärs över vägens två körfält. Av 9 mätningar var det bara 5 tillfällen med salt varav två av dem saltades enbart för våra mätningar, kvar var tre mätningar med vinterförhållanden. Alla mätningar som gjordes jämfördes med sensorer monterade på testplatsen för att jämföra hur väl en sensor representerar vägytan. Det visade sig att det generellt var väldigt låga saltvärden från de monterade sensorerna jämfört med de manuella mätningarna.

För några år sedan resulterade ett nordiskt samarbetsprojekt, NordFoU-MORS (modellering av restsalt), i en algoritm som förmodligen är den bäst stödda modellen för förutsägelse av restsalt. Modellen användes för att beräkna restsalt som jämfördes med den faktiskt uppmätta mängden. Tyvärr gav de tre mätningarna med vinterförhållanden för lite material för att kunna validera MORS-modellen efter justering av algoritmen.

En av lärdomarna från detta projekt är att aldrig underskatta kvaliteten på fältmätningar för att veta vad dina sensorer berättar och inte lita på vintervädret, det blir aldrig som du vill och att det behövs många upprepade mätningar för att fånga hur länge det finns salt kvar på vägen vid olika vädertillfällen.

Nyckelord

Restsalt, Vinterväghållning, Dynamisk, Vinterdrift.

Abstract

In a changing climate with greater demands on road managers and winter operation contractors to achieve a winter operating standard acceptable to road users while at the same time the financial resources become increasingly limited, the need for cost-effective methods increases. A forecast-driven dynamic road operation has been shown to lead to increased productivity as road condition forecasts are integrated with route optimisation.

One way to further develop road conditions forecasts is to know how much salt is needed on the road, or more precisely, how much residual salt is still there? If there already is salt on the road, then is there no need to spread the full amount, it might be enough with half or even less.

Residual salt measurements have been made during three winter seasons at Testsite E18. The site was chosen because it is equipped with several different sensors, mounted above, next to and in the road. Salt was measured every 30 cm across the road's two lanes. Of 9 measurements, there were only 5 occasions with salt, of which two of them were salted only for our measurements. There were three measurements left with winter conditions. All measurements were compared with sensors on the site to compare how well a sensor represents the road surface. It turned out that there were generally very low salt values from the sensors compared with manual measurements.

A few years ago, a Nordic co-operation project, NordFoU-MORS (modelling of residual salt), resulted in an algorithm that is probably the best supported model for predicting residual salt. The model was used to calculate residual salt compared to the measurements. Unfortunately, the three measurements with winter conditions gave too little material to validate the MORS model after adjusting the algorithm.

One of the lessons from this project is to never underestimate the quality of field measurements to know your sensors and not to rely on the winter weather, it will never be what you want and that many repeated measurements are needed to capture how long salt stay on the road.

Keywords

Residual Salt, Winter Maintenance, Dynamic

Förord

Prognosstyrd dynamisk vägdrift startade under 2016 och har hittills bestått av 5 faser. Denna rapport summerar ”Fas 3 – Restsalt” och ”Fas 3 & 4, Prognosstyrd dynamisk vintervägdrift”. Delar av rapporten finns även beskrivna i ett PM ”Restsaltmodeller för beslutsstödsystem” (Arvidsson & Blomqvist, 2019).

Det vi har lärt under tiden med detta projekt är att det är svårt att göra en modell som stämmer med verkligheten, men även att vinterväder sällan är som man har tänkt sig. Vintern 2019/2020 blev i södra Sverige rekordmild (SMHI, 2020) vilket förde med sig väldigt få saltningsåtgärder på E18 mellan Västerås och Enköping. I november och december 2020 gjordes ytterligare två försök att mäta restsalt, men även då var det inte kallt nog, men salt spreds på platsen ändå för att få mätvärden.

Göteborg, augusti 2021

Anna Arvidsson
Projektledare

Granskare/Examiner

Mats Gustafsson, VTI.

De slutsatser och rekommendationer som uttrycks är författarens/författarnas egna och speglar inte nödvändigtvis myndigheten VTI:s uppfattning./The conclusions and recommendations in the report are those of the author(s) and do not necessarily reflect the views of VTI as a government agency.

Innehållsförteckning

Kort sammanfattning	5
Abstract	6
Förord	7
1. Bakgrund	10
2. Syfte	11
2.1. Projektets avgränsning	11
3. Litteraturstudie	13
4. Metod	16
4.1. Friktionsmätning	16
4.2. Valideringsmätning av restsalt	17
4.3. Automatisk saltspridning	18
5. Resultat FAS 3 Restsalt	19
5.1. Väder och saltningar	20
5.1.1. 31 januari 2019	21
5.1.2. 28 november 2019.....	23
5.1.3. 19 december 2019	25
5.1.4. 9 januari 2020	27
5.1.5. 30 januari 2020	30
5.1.6. 20 februari 2020.....	32
5.1.7. 12 mars 2020.....	32
5.1.8. 10 november 2020.....	32
5.1.9. 8 december 2020	34
5.1.10. Manuella temperaturmätningar	35
5.2. Friktion.....	36
5.2.1. Friktion 31 januari 2019.....	36
5.2.2. Friktion 28 november 2019.....	37
5.2.3. Friktion 19 december 2019	37
5.2.4. Friktion 9 januari 2020.....	37
5.2.5. Friktion 30 januari 2020.....	38
5.2.6. Friktion 20 februari 2020	38
5.2.7. Friktion 12 mars 2020.....	39
5.2.8. Friktion 10 november 2020.....	39
5.2.9. Friktion 8 december 2020	39
5.2.10. Sammanfattning	40
5.3. Salt	40
5.3.1. Salt 31 januari 2019	40
5.3.2. Salt 28 november 2019	42
5.3.3. Salt 19 december 2019.....	42
5.3.4. Salt 9 januari 2020	43
5.3.5. Salt 30 januari 2020	44
5.3.6. Salt 20 februari 2020.....	44
5.3.7. Salt 12 mars 2020	44
5.3.8. Salt 10 november 2020	45
5.3.9. Salt 8 december 2020.....	46
5.3.10. Sammanfattning	49

6. Resultat FAS 4 Automatisk saltspridning	51
6.1. Framtagande av metodik och protokoll.....	51
6.2. Saltgiva från prognos	53
7. Modellberäkning MORS	54
7.1.1. Modellberäkning 31 januari 2019.....	54
7.1.2. Modellberäkning 19 december 2019.....	55
7.1.3. Modellberäkning 9 januari 2020.....	55
7.1.4. Modellberäkning 10 november 2020	56
7.1.5. Modellberäkning 8 december 2020.....	57
7.1.6. Modelljustering.....	57
7.1.7. Sammanfattning	58
8. Slutsatser	59
8.1. FAS 3	59
8.2. FAS 4	59
8.3. Sammanfattning och fortsatt forskning.....	60
Referenser	61

1. Bakgrund

I ett föränderligt klimat där allt större krav ställs på väghållare och vinterdriftsentreprenörer att åstadkomma en för trafikanterna acceptabel vintersdriftstandard samtidigt som de ekonomiska resurserna blir alltmer begränsade, ökar behoven av kostnadseffektiva metoder. Prognosstyrd dynamisk vägdrift (BVFF-projekt FAS1 och FAS2) har visat sig kunna leda till en ökad produktivitet då väglagsprognoser integreras med ruttoptimering. Att komplettera det prognostiserade väglaget och väderprognosen med mängden kvarvarande vägsalt (restsalt), skulle ytterligare kunna öka kostnadseffektiviteten. Avgörande för att kunna prognosticera restsalt är dock att kunna beskriva salt/vattenbalansen på vägens tvärsnitt. Salt och fukt kan mätas med fasta och/eller mobila sensorer, men de har alla visat sig ha en del begränsningar. Givet att man har kännedom om sensorernas funktion och begränsningar samt kunskap om processerna som förklarar saltutvecklingen på vägytan, kan restsaltmängderna både mätas och modelleras, tex Trafikverkets Vintermodellen (Wallman et al., 2005, Wallman et al., 2006). Det råder dock brist på välbeprövade restsaltmodeller. Det nordiska samarbetet NordFoU-MORS (Modelling residual salt) ledde fram till en algoritm som för närvarande sannolikt är den bäst underbyggda modellen för prognostisering av restsalt på vägar (Eram et al., 2013). Det som saknas för att uppnå nästa steg i att öka effektiviteten av prognosverktygen är att sätta samman väder- väglag- och restsaltprognoser samt att validera dessa under autentiska vinterförhållande i fält. Slutkunder i form av entreprenörer använder i allt större utsträckning beslutsstödsystem redan idag och har efterfrågat förbättrade restsaltmodeller.

Detta projekt startade som "Dynamisk prognosstyrd vägdrift - FAS 3 - Restsaltmodellering" som startades i augusti 2018 finansierat av BVFF. Under våren 2019 utökades projektet med "FAS 3 & 4, Prognosstyrd dynamisk vintervägdrift" där restsaltmodeller och automatisk saltspridning ingår, projektet är finansierat av InfraSweden2030 via Vinnova, SBUF, VTI, Svevia AB och BM System AB.

2. Syfte

Projektet har varit indelat i två olika delar, FAS 3 och FAS 4.

FAS 3 Restsaltmodeller syftar till att utifrån befintliga restsaltmodellkoncept och från fältmätningar, validera och vidareutveckla en restsaltmodell för implementering i plattformar för datahantering och beslutsstöd som väderprognosleverantörerna (Vaisala (tidigare Foreca), Klimator och SMHI) använder.

Projektet var tänkt att genomföras med följande delmoment i FAS 3:

Moment 1: Litteraturgenomgång: inventering av befintliga restsaltmodeller, vattenbalansmodeller samt salt- och fuktsensorer.

Moment 2: Utvärdering av salt-/fuktsensorer: representativiteten hos de sensorer som är installerade säkerställs genom stickprovsvisa referensmätningar i fält under väderförhållanden som representerar relevanta vinterförhållanden med olika fuktgrad och temperaturer.

Moment 3: Validering av befintliga modeller: Historiska mätserier och nya mätdata från säsongen 2018/19 används för att identifiera i vilken grad befintliga modeller fungerar under olika vinterförhållanden och i vilken mån de behöver kalibreras eller vidareutvecklas.

Moment 4: Vidareutveckling av en restsaltmodell: Utifrån moment 1, 2 och 3

Moment 5: Kunskapsspridning och resultatredovisning

En viktig forskningsfråga som FAS 3 skall besvara är hur representativa (i tid och rum) de utplacerade restsaltsensorerna är när det gäller konduktiviteten (saltkoncentrationen) och vätskemängden på de vägsträckor de ska prediktera. Då det råder brist på välbeprövade restsaltmodeller ingår det i denna fas att vidareutveckla dessa och därefter öka effektiviteten av prognosverktygen genom att sätta samman väder-, väglag- och restsaltprognoser samt att validera dessa under autentiska vinterförhållande i fält. Slutkunder i form av entreprenörer använder i allt större utsträckning beslutsstödsystem redan idag och har efterfrågat förbättrade restsaltsmodeller.

De restsaltmodeller som tas fram i projektet behöver därför integreras i vägväderprognoser som utgör indata till beslutsstödsystemen.

FAS 4 Automatisk saltspridning syftar till utifrån prognosdata och restsaltsberäkningar kunna skapa och föra över styrfiler till saltspridaren. Härigenom kan salt spridas utifrån respektive väglänks behov och inte som idag där saltspridningen baseras på den väglänk som har störst behov. Detta leder till minskad saltförbrukning, ökat resursutnyttjande och ökad trafiksäkerhet då föraren kan fokusera på trafiken i stället för manövrering av saltspridaren. Förväntad jämnare kvalitet på utfört arbete oberoende av förare, samt reduktion av salt som hamnar utanför vägen som enligt uppgift från spridartillverkare ger en saltreduktion i snitt på ca 8–10 procent.

Under FAS 4 skall metodik utvecklas för att generera styrfiler baserat på historiska data samt väginformation avseende körfältsbredder. Vidare skall teknik och protokoll utvecklas för att överföra filer från kontoret hela vägen ut till saltspridare.

Projektet som helhet skapar då förutsättningar att utforma ett system som inkluderar åiterrapportering, referensmätningar och modellering av åtgärdsdata dvs den spridda mängden salt som i sin tur kan fungera som indata till kommande prognos samt generera styrfiler till spridare.

2.1. Projektets avgränsning

FAS 3 i projektet kommer främst att fokusera på att mäta och analysera restsalt. För att kunna prognosticera restsalt är det viktigt att kunna beskriva salt- och vätskemängden på vägytan, därför kommer beräkningsmodeller verifieras mot verkliga salt- och vätskemängder från olika mätplatser.

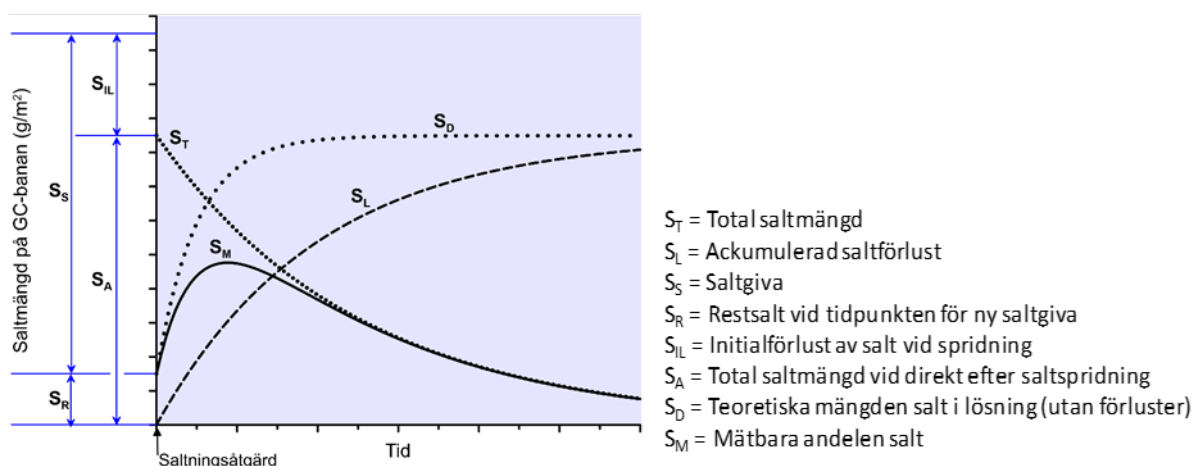
Dock har det varit ett olyckligt sammanfallande av ”fel” väder vid de begränsat antal tillfällen som projektbudgeten tillåtit att kvalificerad personal funnits tillgänglig och antalet mättillfällen av restsalt inte varit möjliga att utföra i den grad som hade önskats under de två vintrarna som projektet har pågått. Detta begränsar generaliserbarheten av resultatet.

3. Litteraturstudie

Denna litteraturstudie publicerades även 2019 i Arvidsson & Blomqvist (2019) och återges här med enstaka språkliga rättningar.

Vatten, snö och slask torkar upp och stänker bort med trafiken, det gör även saltet som sprids för att undvika halka på vägarna. Det är till och med så att fordonens förmåga att mixa snönederbörden med saltet som spridits så att det formar en snömodd som inte kompakteras och fryser fast, utan stänker och sprayar bort det från vägen på grund av fordonshjulens framfart, är en effekt som ingår i vinterväghållningsstrategin och därför är saltets spridning från vägen till omgivningen inbyggt i systemet redan från början. Studiens huvudsyfte är att kunna beräkna saltgivornas varaktighet och hur mycket salt som återstår på vägen vid varje givet ögonblick, och därigenom ge prognosleverantörerna bättre möjlighet att kunna beräkna hur mycket salt som behöver tillföras beroende av den förväntade väderutvecklingen. Syftet är att ta fram ett operationellt verktyg som beskriver utvecklingen av restsalt på vägytan efter ett saltningstillfälle. För att uppnå en mer optimal saltanvändning utgår studien ifrån tillgänglig information om de faktorer som påverkar till exempel bortstänkning och avrinning samt resultaten från ett tidigare NordFoU-projekt. MORS, (Modelling residual salt) var ett nordiskt forskningsprojekt som byggde på bland annat Vintermodellen (Wallman et al., 2005, Wallman et al., 2006). Vintermodellen är en modell för att beräkna samhällsekonomiska kostnader beroende av vinterväghållningen och det ingår även en delmodell för att beskriva vägsaltets varaktighet under olika förhållanden. Inom MORS genomfördes många semikontrollerade fältkampanjer på den 600 meter långa testbanan vid Bygholm, Horsens (Danmark) med empiriska resultat från uppföljande mätningar med olika saltdoser, vätskemängder, antal fordonspassager och -hastigheter. Inför MORS-projektet skapades en första dansk/svensk modell (Blomqvist et al., 2011) utifrån en stor mängd insamlade data över restsaltmätningar, vätskemängdmätningar och trafikdata från ett antal danska vägstationer. Utifrån dessa datamängder kunde en empirisk modell skapas för att simulera restsalt, det vill säga, det salt som finns kvar på vägbanan vid ett visst tillfälle. Utifrån de danska mätningarna och den svenska empiriska restsaltmodellen som låg till grund för Vintermodellens restsaltberäkningar utvecklades sedan en ny modell (MORS-modellen) och en implementeringsguide med förslag på hur man följer upp användningen av vägsalt så att användningen blir optimal. Innevarande studie utgår ifrån de två rapporterna, Modelling Residual Salt – MORS (Eram et al., 2013) samt Implementeringsguide restsaltmodell (Thordarson et al., 2015). Resultat från fältstudier visade att kvalitén på sensorernas installering är avgörande för kvalitén på data samt att avrinningen från vägen är en viktig process som påverkar både ytans fuktighetsgrad och restsaltets mängd.

Blomqvist & Gustafsson (2004) genomförde fältstudier på två olika platser för att undersöka mönster av restsalt på vägytan och de faktorer som bidrar till att saltet lämnar vägen. Saltet mättes på en väg uppdelad i nio segment tvärs över vägen, mätningarna upprepades under två 24 timmars intervall. Resultaten visade att fordon fördelar bort saltet från hjulspåren och att även ett mindre snöfall kunde höja salthalten i hjulspåren, troligen på grund av omfördelning. Man kunde uppskatta restsaltet genom en modell med en exponentiell funktion och en konstant som byggde på att man räknade antal fordon efter saltning. På en våt vägyta, är saltet i hjulspåren nästan borta efter att bara några hundra fordon har passerat. På en fuktig väg bana, behövdes flera tusen fordon för att få samma resultat (Blomqvist & Gustafsson, 2004). Vägens fuktighet relaterade positivt till mängden restsalt, ju våtare ytan är desto snabbare lämnar saltet hjulspåren (Blomqvist et al., 2011). Även i Norge finns en modell i samma ämne (Lysbakken & Norem, 2008, 2011). De utförde fältstudier för att mäta mängden salt efter applicering genom att studera de tre processerna, Initial förlust, upplösning och förlust av salt. De presenterade en ekvationsmodell som visar att graden av upplösning främst beror på mängden vatten på vägytan (se kurvan S_D i Figur 1). Förlusten av salt som orsakas av ”blow-off eller spray-off” följer en exponentiell kurva.



Figur 1. Principen för restsaltutveckling och möjligheten att registrera denna med sensorer (Lysbakken & Norem, 2011).

Det finns olika tekniker och metoder för att bestämma hur mycket salt som finns kvar på vägen. Förutom sensorer finns det flera mätutrustningar, i litteraturen är det främst två som nämns. SOBO 20 (Nygaard, 2003, Lysbakken & Norem, 2008) och Wet Dust Sampler (Jonsson et al., 2008, Lundberg et al., 2019). SOBO 20, har ett munstycke med en gummipackning som omsluter ett litet område på vägbanan. När instrumentet trycks mot ytan, sprutas en känd mängd vätska ut, den innehåller en blandning av aceton och vatten. Instrumentet mäter konduktiviteten (elektrisk ledningsförmåga) i vätskan. Genom att ha ett definierat område för mätning, en känd mängd vätska och den elektriska ledningsförmågan, beräknar instrumentet mängden salt på vägbanan i g/m² (Lysbakken & Norem, 2008).

Wet Dust Sampler (WDS) är ett av VTI framtaget instrument som tvättar en liten yta av vägen med hjälp av en högtryckstvätt och tillvarar det använda vattnet tillsammans med de partiklar som lossnar i en provtagningsflaska, därefter kan mängden salt i vattnet bestämmas. Genom att även fasta saltkorn spolas över i provtagningsflaskan kan även olöst salt kvantifieras med WDS-metoden (Blomqvist & Gustafsson, 2012). Formen på den yta som tvättas av strålen, är en fylld cirkel. Mängden vatten som provtas i varje "skott" påverkas av vattenpumpens tryck, tiden för tvätt och uttryckning av provet i provflaskan, vilket styrs elektroniskt. Då ytan som tvättas är liten, tas prover från flera ytor i samma provflaska för att få ett sammanläggningsprov (Gustafsson et al., 2011). Det senare kan vara viktigt för att öka mängden insamlat material när det gäller vägdamm och på så vis öka resultatens representativitet, men vid provtagning av salt behövs inte lika stora mängder salt och då prioriteras många gånger möjligheten till hög rumslig upplösning över saltets fördelning längs/tvärs en vägyta.

Nordin et al. (2013) studerade vägens fuktighetsvariation för vinterunderhåll, då det är av stor betydelse för uppkomsten av halka. Deras studie testade en ny sensor, monterad på ett vinterväghållningsfordon. Instrumentet som optiskt mätte vattendjupet på vägytan var kopplad till ett GPS system och ett GSM mobilsystem. Beräkningar utfördes för att kalkylera minskade saltmängder som används för att sänka fryspunkten. Resultaten visade variation i vattendjup och saltkoncentration. I slutsatserna konstaterar författarna att vattendjupet varierade stort i deras fallstudier, vilket påverkar salthalten. Studien visar även att man kan styra saltappliceringen med hjälp av GPS-information som redan är tillgänglig.

Hunt et al. (2004) anser att ett effektivt avisningsprogram bör kunna beräkna saltets varaktighet över tid av trafiken. Natriumkloridlösning är det mest använda medlet och de utförde en studie på saltlösningens förändring över tid och trafik på olika typer av underlag. De mätte vägytans saltkoncentration och ledningsförmågan i vätskan både i fält, och i laboratorium. En utvärdering

genomfördes av de olika typerna av vägbeläggning. (Denby et al., 2013) visar effekten av vägytans fuktighet och salthalt genom en modell som kopplar vägdammslag med vägytans fuktighet (NORTRIP). De studerade modellen i Stockholm, Oslo, Helsingfors och Köpenhamn under 18 perioder mellan 3,5 månader och ett år. Modellen kan förutse frekvensen av vägytans fuktighet och bör relativt enkelt kunna utvecklas till att även fungera som en restsaltmodell i de tätorter där den tillämpas.

En annan modell för frusna vägytor som använde värme, vatten och saltbalans, validerades av Fujimoto et al. (2014). De utförde fältstudier för att observera hur vatten och salt avlägsnas på grund av passerande fordon samt genom att kalkylera graden av saltupplösning på vägytan. De utvecklade även en endimensionell tidsbestämd modell för att kunna förutsäga frysning av vägytan. Den tar hänsyn till effekten av salt och passerande fordon och kallas RSF-SV modellen. Baserat på testresultaten, formulerades relationen mellan mängden vatten som avlägsnades på grund av passerande fordon och tjockleken på vattenfilmen på vägytan. Saltets upplösningssgrad förklarades således på den isiga vägen. Med RSF-SV modellen kunde de använda dessa resultat för att reproducera förändringar i tidsserier avseende ytans temperatur, isfilmens tjocklek, vattenfilmens tjocklek, saltkoncentration och mängden restsalt på den istäckta vägytan efter saltning. RoadSurf är en finsk modell för att förutspå vägväder och väglag (Kangas et al., 2015). Det är en simuleringsmodell där man matar in väderprognoser och får ut vägytans temperatur, men även väglag, trafikindex och vägytans friktion.

Sensorer som används för att kvantifiera salthalten i en lösning kan indelas i optiska (refraktometer) eller elektriska (elektrisk ledningsförmåga, även kallat specifik ledningsförmåga), samt olika typer av frensorer). En frensor bygger på att man med hjälp av ett fryselement fryser vätskan och samtidigt registrerar fryspunkten och energiåtgången för att åstadkomma frysningen.

Salt som torkat in på vägytan har kunnat detekteras med hjälp av UV-inducerad fluorescens. Metoden är på försöksstadiet och det kvarstår att utreda hur stora möjligheterna att också kvantifiera saltmängderna kommer att vara (Ruiz-Llata et al., 2014).

Ett alternativ till att kvantifiera saltmängden på plats på vägytan är att ett prov samlas in och analyseras på laboratorium, antingen med hjälp av ovan nämnda optiska eller elektriska metoder, eller genom kemisk analys där innehållet av saltjonerna bestäms.

4. Metod

Alla salt och friktionsmätningar har utförts på Testsite E18, som är beläget mellan Västerås och Enköping. Det aktuella området är bestyckat med sensorer från flertalet tillverkare för både forskning och sensorutveckling. Mer information om vägsträckan är beskrivet i Tabell 1 och sträckans utseende när det är barmark visas i Figur 2.

Tabell 1. Beskrivning av vägsträckan avläst vid löpande längd: 85 710.

Variabler	Värde	Mätår
Vägstandardklass	1	-
Hastighetsgräns	120 km/h	-
Vägbredd	9,5 m	-
ÅDT fordon	10 542	2015
ÅDT tung	1 264	2015
Beläggning	ABS	Höger 2016-05-24, Vänster 2010-10-25
Spår djup höger	7,70 / 11,00	2019-06-06 / 2020-06-25
Tvärfall	-2,76% / -2,84%	2019-06-06 / 2020-06-25
Backighet	-0,60% / -0,40%	2019-06-06 / 2020-06-25



Figur 2. E18 vid Testsite E18 Sagån. Vänster bild från vägytemätningstillfället 2019-06-06 (Trafikverket, 2020) och höger bild från 2020-06-25 (Trafikverket, 2021).

4.1. Friktionsmätning

Friktionen kan mätas med en portabel friktionstestare (PFT) på gång/cykelvägar och mindre ytor, men är inte lämplig för längre sträckor. PFT:n är handdragen och kan ses i Figur 3. Tyvärr kan inte PFT:n effektivt mäta längre sträckor än ca 100 meter i taget, därav de kortare mätlängderna i studien. Med PFT:n gör man en kontinuerlig mätning i gånghastighet genom att manuellt skjuta vagnen framför sig, ungefär som en gräsklippare. Ett av mätvagnens tre hjul bromsas i förhållande till de två andra, mätningen innebär att friktionstalet kan beräknas från de krafter som mäts upp. Mätaren har två bärhjul och ett mät hjul, 35 mm brett, med fast slip på 20 procent och en slät däcksyta av gummi. Mätaren registrerar förutom distansen även min-, max-, och medelfriktion på uppmätt sträcka. När mätningen görs ska ytan vara ren från löst material och den ska vara blöt. Därefter görs två mätningar som inte får skilja mer än 0,05 enheter. PFT:n samplar kontinuerligt friktionspulser, som beroende på hjulets omkrets, motsvarar ett samplingsavstånd på 1,96 cm mellan friktionspulserna.



Figur 3. VTI:s portabla friktionstestare (PFT). Foto: Hejdlösa bilder

De friktionsmätta sträckorna har varierat lite i längd mellan de olika mätningarna (Tabell 2). Vid den första mätningen började mätningarna ungefär vid siffrorna i Figur 5 och österut i bildens riktning. Vid mätningarna under vintern 2019/2020 och hösten 2020 började de vid det röda krysset i Figur 6 och mot siffrorna och tillbaka till krysset.

Tabell 2. Medellängd för de friktionsmätta ytorna.

Mätdatum	Medellängd (m)
31 januari 2019	22,0
28 november 2019	19,0
19 december 2019	23,4
9 januari 2020	9,8
30 januari 2020	12,5
20 februari 2020	16,8
12 mars 2020	Ingen mätning
10 november 2020	20,8
8 december 2020	14,8

4.2. Valideringsmätning av restsalt

Valideringsmätningar av restsaltmängderna genomfördes vid Testsite E18 med den vid VTI utvecklade elektroniska restsaltmätaren VTI-Wet Salt Sampler (WSS).

WSS bygger på principen att en tillsatt känd mängd destillerat vatten ska lösa upp det salt som finns inom en innesluten cirkulär area. Genom att den elektriska konduktiviteten hos vätskan mäts kontinuerligt och utvecklingen presenteras på en liten display i form av en graf kan operatören avgöra när allt salt är löst i vätskan, då kurvan som visar den elektriska ledningsförmågan inte längre stiger på displayen. Som hjälp för att lösa saltet används en rentvättad pensel som agiterar vätskan på vägytan. Efter att saltet är löst avläses den elektriska ledningsförmågan ($\mu\text{S}/\text{cm}$) och provet förs med hjälp av en spruta från den inneslutna vägytan till en provburk. 3–6 provburkar har därefter lämnats in till SYNLAB Analytics & Services Sweden AB för vidare analyser av innehåll med avseende på natrium och klorid.



Figur 4. Prototypen till saltmätinstrumentet WSS (Wet Salt Sampler). Bild: Göran Blomqvist/Marie Junling. Bild till höger restsaltmätning från december 2020. Bild: Anna Arvidsson.

4.3. Automatisk saltspridning

FAS 4 Automatisk saltspridning syftar till att utifrån prognosdata och restsaltsberäkningar skapa och föra över styrfiler till saltspridaren. Härigenom kan salt spridas utifrån respektive väglänks behov och inte som idag där saltspridningen baseras på den väglänk som har störst behov. Detta leder till minskad saltförbrukning, ökat resursutnyttjande och ökad trafiksäkerhet då föraren kan fokusera på trafiken i stället för manövrering av saltspridaren.

Under FAS 4 skall metodik utvecklas för att generera styrfiler baserat på historiska data samt väginformation avseende körfältsbredder. Vidare skall teknik och protokoll utvecklas för att överföra filer från kontoret hela vägen ut till saltspridare.

Fas 4 delas upp i två steg, där det första är att ta fram metodik och de protokoll som behövs för att överföra styrfiler från kontoret till spridaren. Denna del verifieras via FAT (Factory Acceptance Test) samt i fält i skarp miljö via SAT (System Acceptance Test) genom att skarpt testa lösningen på en fastslagen rutt och i skarpa förhållanden.

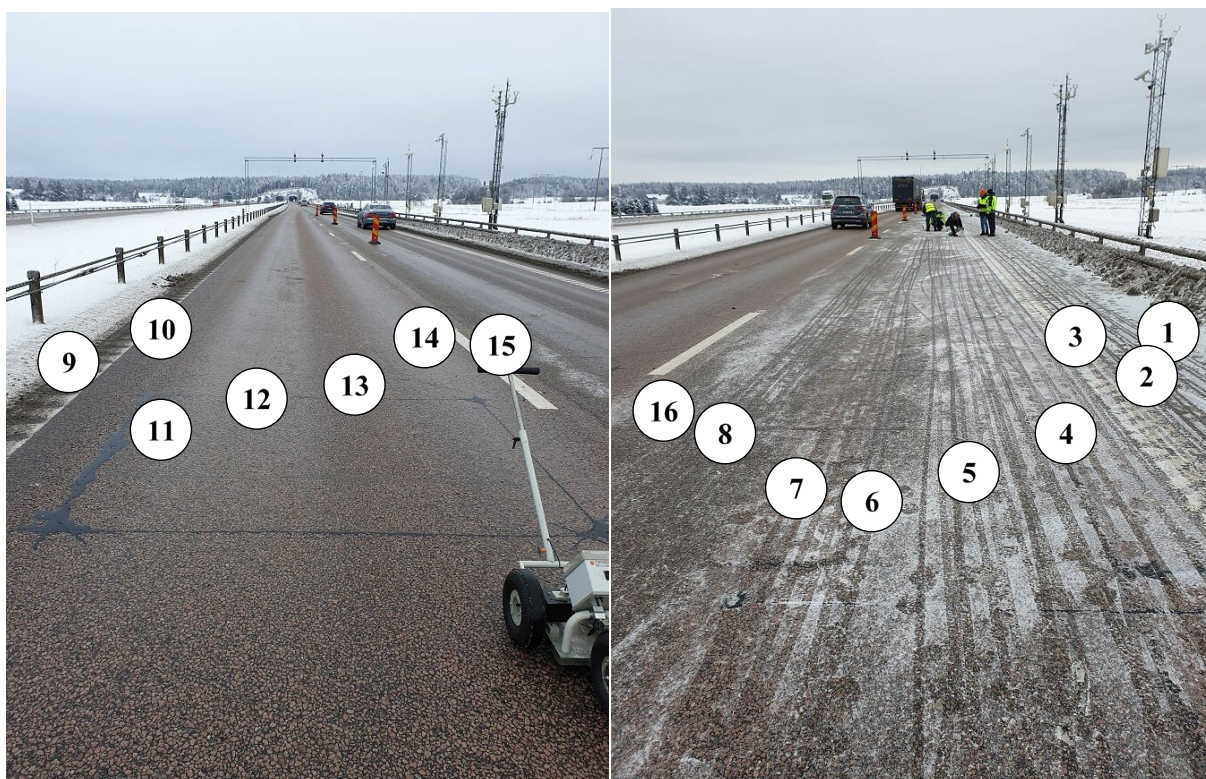
När det är klart tar nästa steg vid och då kommer föreslagen saltgiva från prognosleverantör att kopplas till respektive väglänk och integrera saltförslagen i styrfilen för att möjliggöra selektiv saltgiva baserat på prognostiserad vägtyta och väglagsprognos.

5. Resultat FAS 3 Restsalt

Den 31 januari 2019 fanns det möjlighet att genomföra den första fältmätningen utanför Enköping vid Testplats E18 Sagån. Det genomfördes friktionsmätningar och samtidigt mättes saltkoncentrationen tvärs vägen.

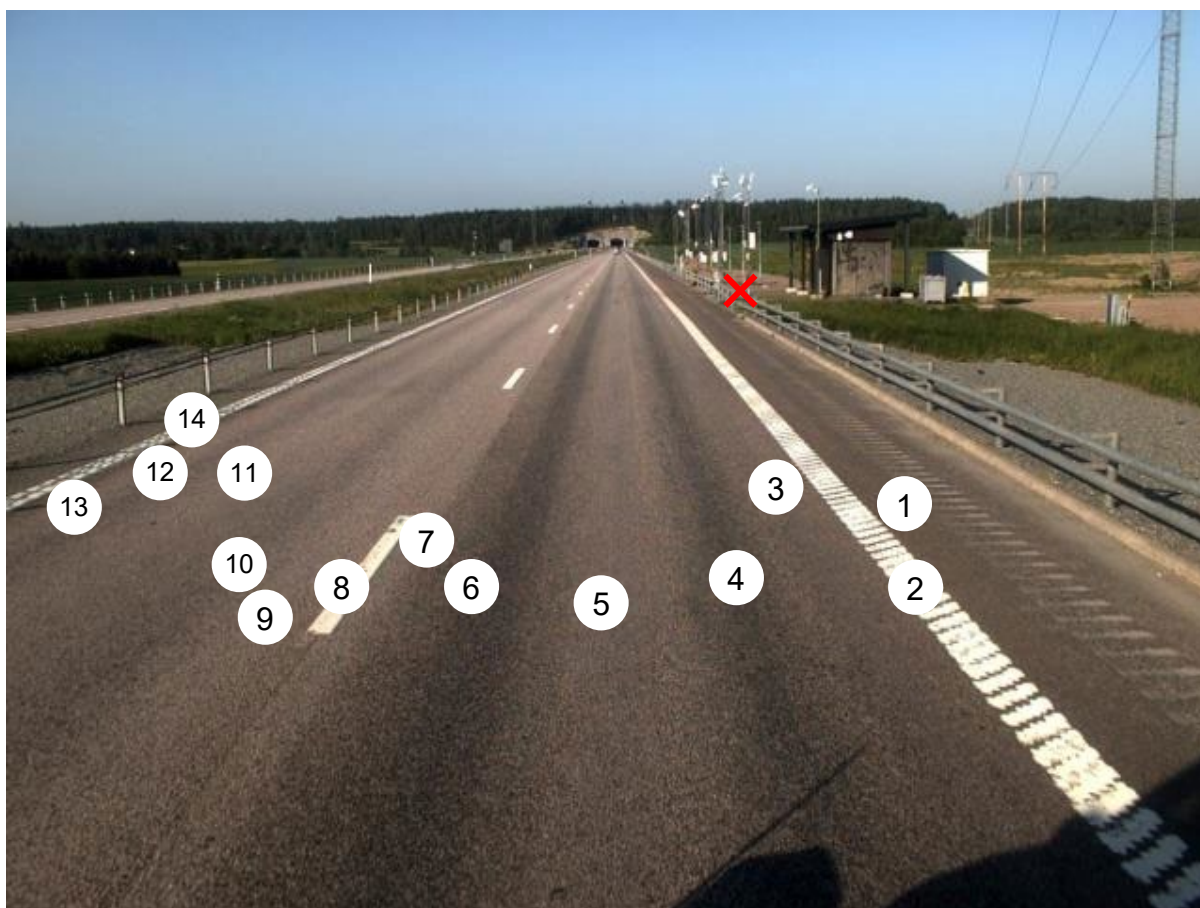
Friktionsmätningarna utfördes i körfält 1 och körfält 2 i vägens östliga riktning mot Stockholm. Trafiken stängdes av i körfält 1 medan mätningarna utfördes, därefter skiftades avstängningen till körfält 2 så mätningarna kunde slutföras.

Sträckan saltades strax efter tre på morgonen. Det hade då varit ett mindre snöfall och temperaturen var på väg att sjunka. Timmarna närmast före det att mätningarna startade, var det ett mindre snöfall. Detta syns även i Figur 5 där snön blev liggande eftersom trafiken stängdes av innan snöfallet var slut. Den första saltningen bestod av både torrt salt och saltlösning. Sträckan saltades en andra gång den aktuella dagen, då med saltlösning efter att alla mätningarna var klara. Entreprenören var även ute och saltade strax innan klockan ett på natten dagen innan mätningarna.



Figur 5. Friktionsmätningsträckor på E18 vid Sagån 31 januari 2019. Foto: Anna Arvidsson.

Mätningarna som genomfördes under vintern 2019/2020 utgick från ungefär samma ställe, men västerut, mot Västerås. Avstängningen av körfält var i samma ordning, det vill säga körfält 1 först därefter körfält 2.



- | | | | |
|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| 1. Kant | 4. Höger hjulspår | 8. Mittlinje | 11. Mellan hjulspår |
| 2. Räfflad linje | 5. Mellan hjulspår | 9. Innanför mittlinjen | 12. Vänster hjulspår |
| 3. Innanför kantlinjen | 6. Vänster hjulspår | 10. Höger hjulspår | 13. Innanför mittlinjen |
| 4. Höger hjulspår | 7. Innanför mittlinjen | 11. Mellan hjulspår | 14. Räfflad linje |

Figur 6. Friktionsmätningsträckor på E18 vid Sagån vintern 2019/2020. Foto från sträckans löpande längd 85 710 meter från 2019-06-06 (Trafikverket, 2020).

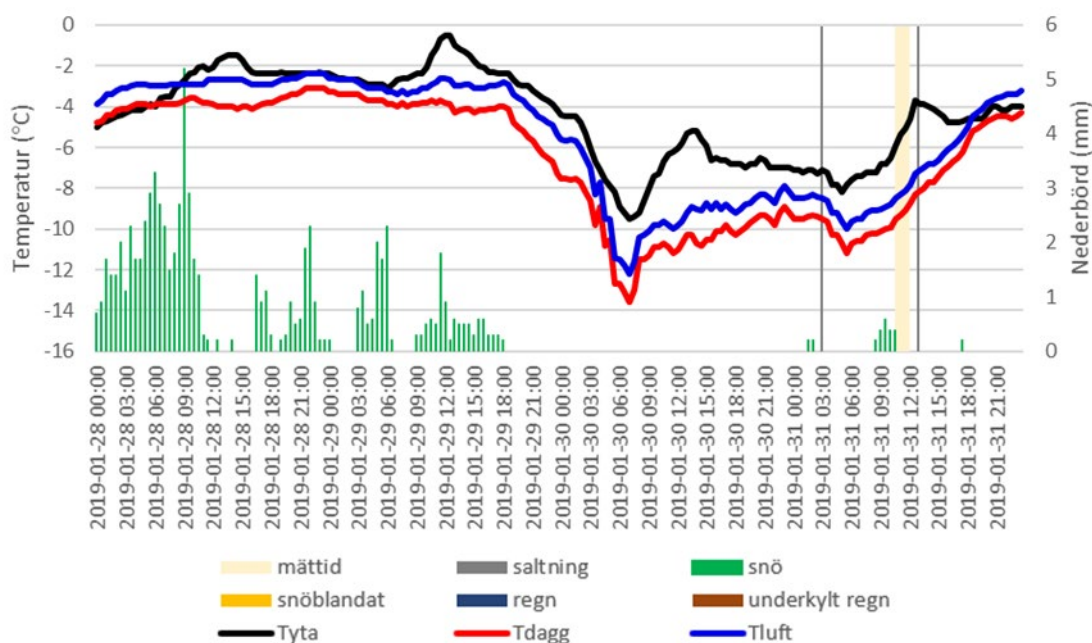
Planeringen för mätningar av salt och friktion under vintern 2019/2020 var att genomföra 6 mätningar, var tredje vecka med start den 28 november. Fem mätningar genomfördes och dagen innan den sista mätningen beslutade vi att inte genomföra den, för det hade varit flera plusgrader både i luften och på vägytan de senaste dagarna det vill säga det fanns inget restsalt att mäta.

För vintersäsongen 2020/2021 fanns det utrymme i budgeten att göra två stycken valideringsmätningar före årsskiftet. De planerades in för den 10 november och 8 december och för att det säkert skulle finnas salt att mäta utvecklingen av, avtalades att en ordinarie giva skulle läggas längs teststräckan oavsett om det var påkallat eller ej.

5.1. Väder och saltningar

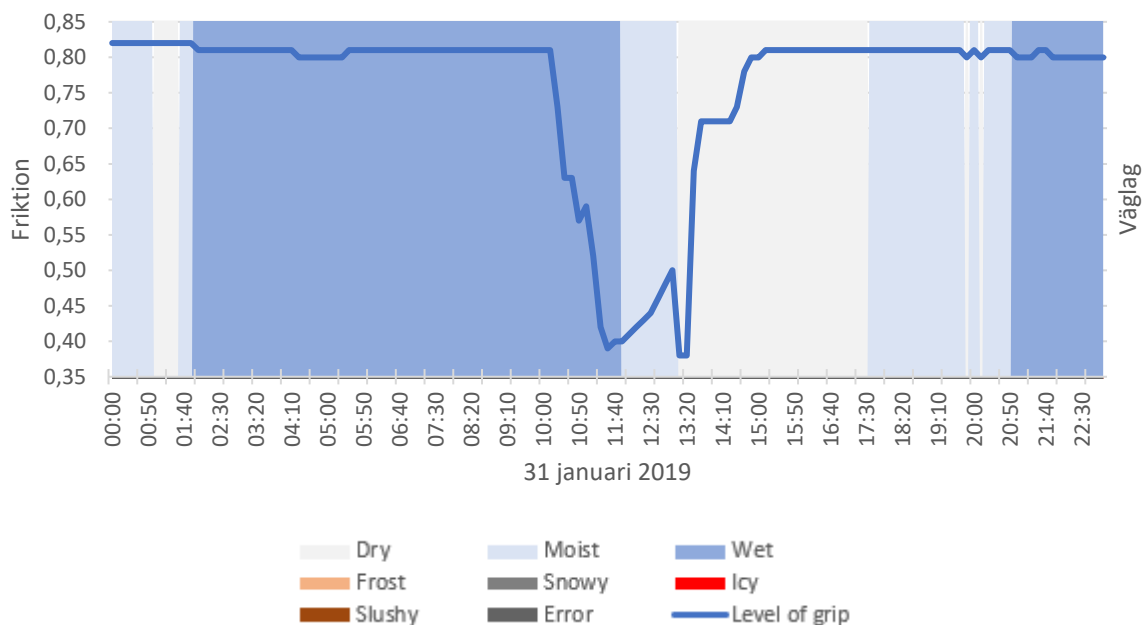
Vädret de aktuella mätningarna redovisas under nedanstående delkapitel. I graferna är även tidpunkter för saltningar inritade tillsammans med tiden vi gjorde mätningar. Vid de tillfällen där det funnits tillgång till trafikräkning finns även information om det.

5.1.1. 31 januari 2019



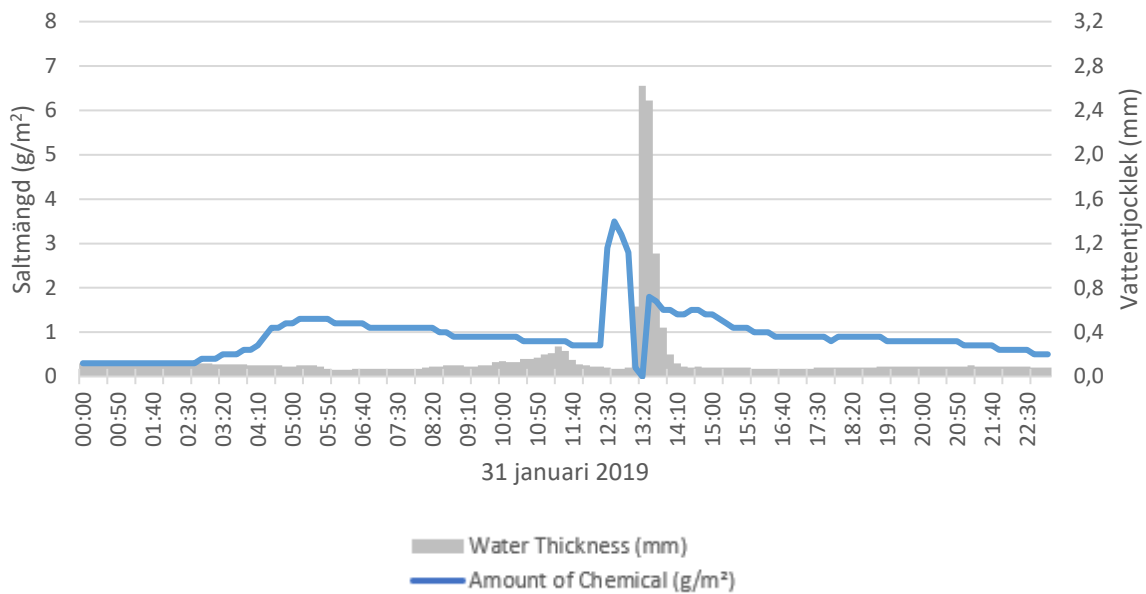
Figur 7. Väder och saltningar 28–31 januari 2019. Fältmätningar 31 januari 2019.

Optiska sensorer finns placerade lite längre österut från där friktion och saltmätningarna genomfördes. Alla sensorer är placerade i det högra körfältet. Ytan där sensorerna är placerade var även den avspärrad för trafik under tiden mätningarna genomfördes och de sensorerna användes i en annan studie, där det bland annat hälldes vatten och saltlösning på dem samt att de skottades över med snö. Detta syns tydligt i Figur 8.

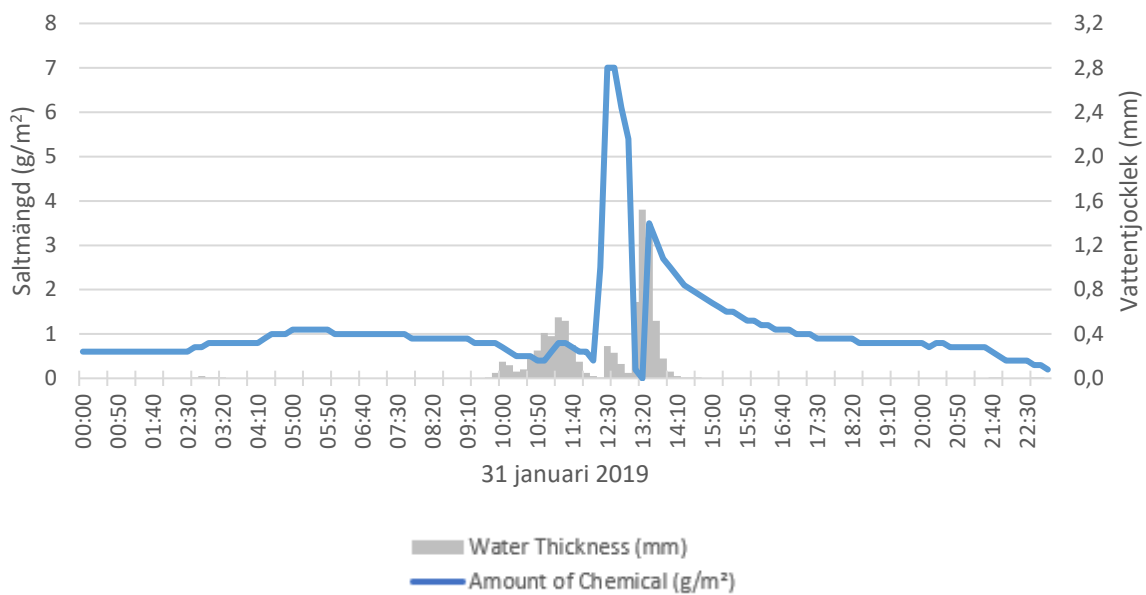


Figur 8. Friktionsvärden och väglag från optisk sensor (Vaisala DSC/DST) på Testsite E18, 31 januari 2019. OBS. Tidszon: Europa/Helsingfors.

I Figur 9 och Figur 10 är sensorns vattentjocklek och saltmängd uppritad och även där kan man se den andra studiens påverkan både i och mellan hjulspåren. Det går även att se att det saltades vid 3-tiden på morgonen.

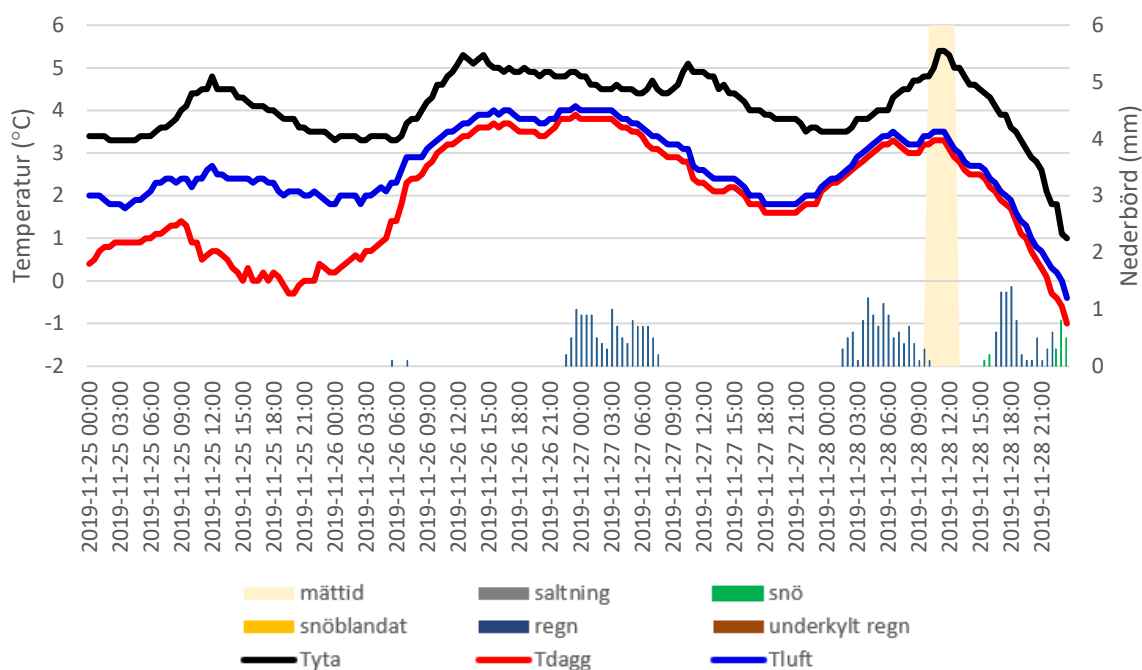


Figur 9. Saltmängd (blå linje) och vattentjocklek (grå staplar) från optisk sensor (Vaisala DRS511) på Testsite E18, Mellan hjulspår. 31 januari 2019. OBS. Tidszon: Europa/Helsingfors (GMT+1).



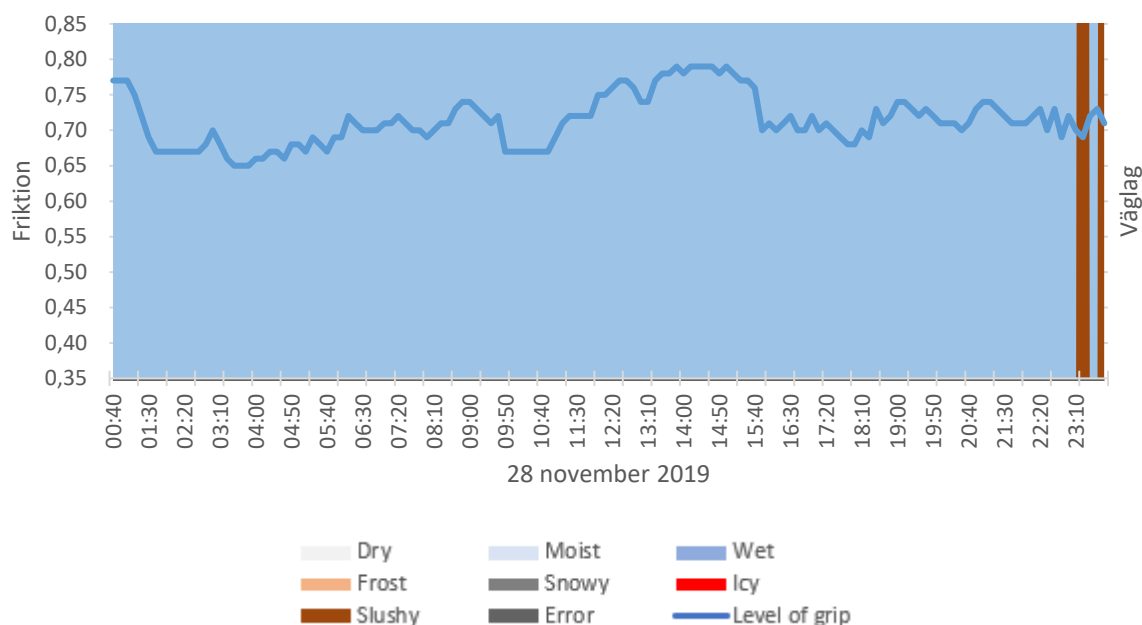
Figur 10. Saltmängd (blå linje) och vattentjocklek (grå staplar) från optisk sensor (Vaisala DRS511) på Testsite E18, Hjulspår. 31 januari 2019. OBS. Tidszon: Europa/Helsingfors.

5.1.2. 28 november 2019

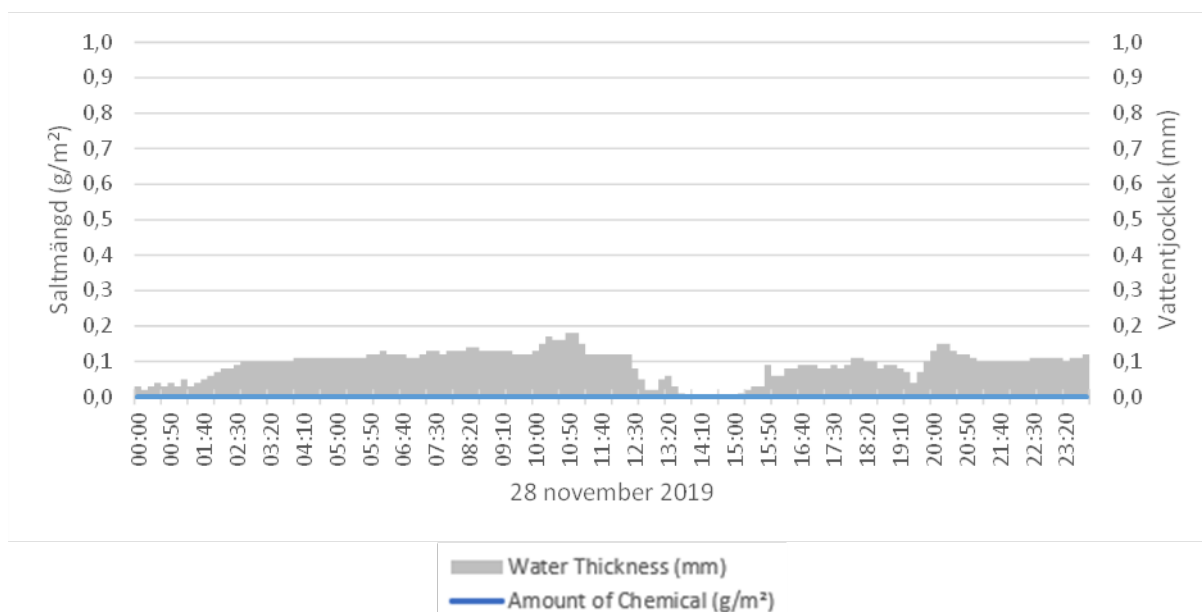


Figur 11. Väder och saltningar 25–28 november 2019. Fältmätningar 28 november 2019.

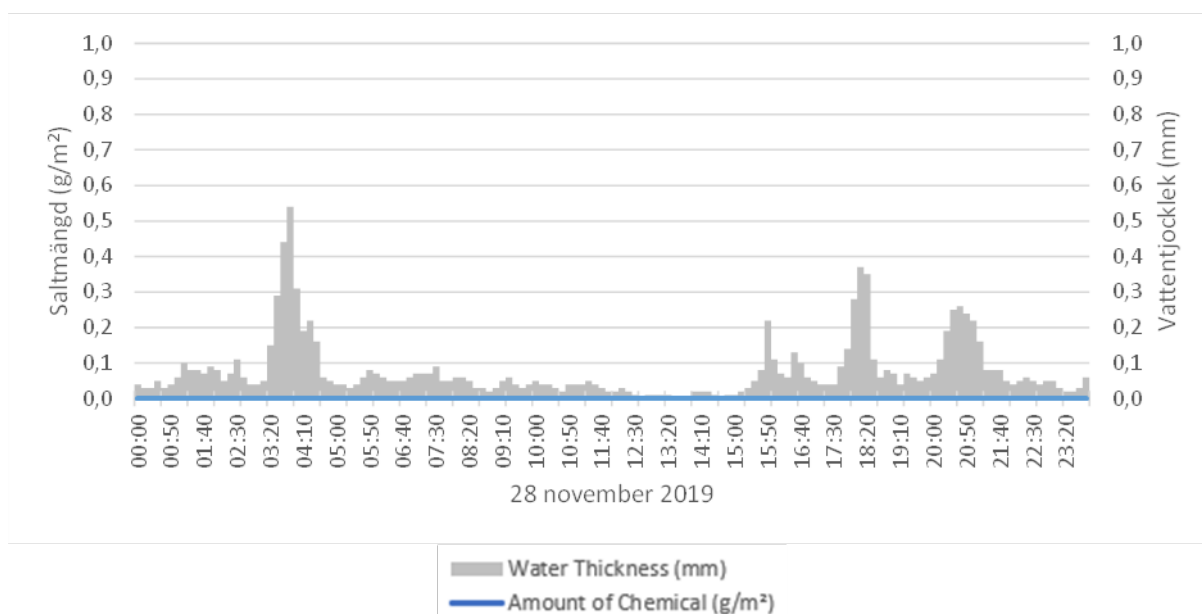
Den 28 november var det enligt sensorerna hög friktion och mestadels vått på vägen (Figur 12). Saltmängden var noll både i (Figur 14) och mellan hjulspåren (Figur 13). Vattenfilmen var ganska konstant mellan hjulspåren medan hjulspåren påverkades mer av den nederbörd som föll.



Figur 12. Friktionsvärden och väglag från optisk sensor (Vaisala DSC/DST) på Testsite E18, 28 november 2019.

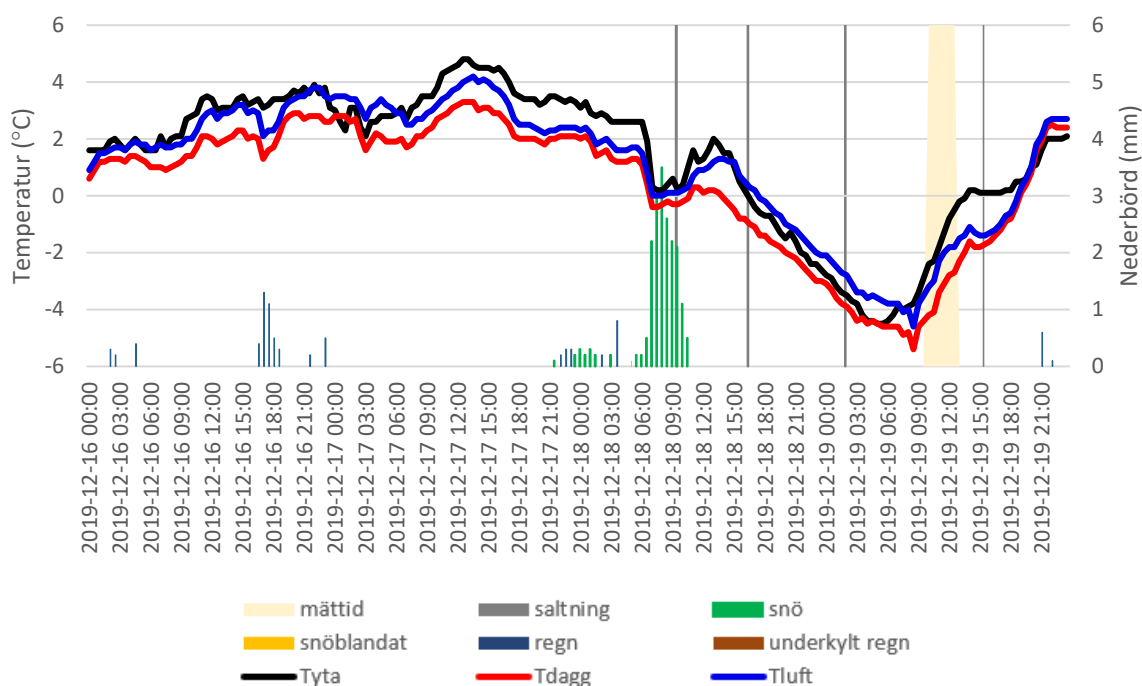


Figur 13. Saltmängd (blå linje) och vattentjocklek (grå staplar) från optisk sensor (Vaisala DRS511) på Testsite E18, Mellan hjulspår. 28 november 2019.



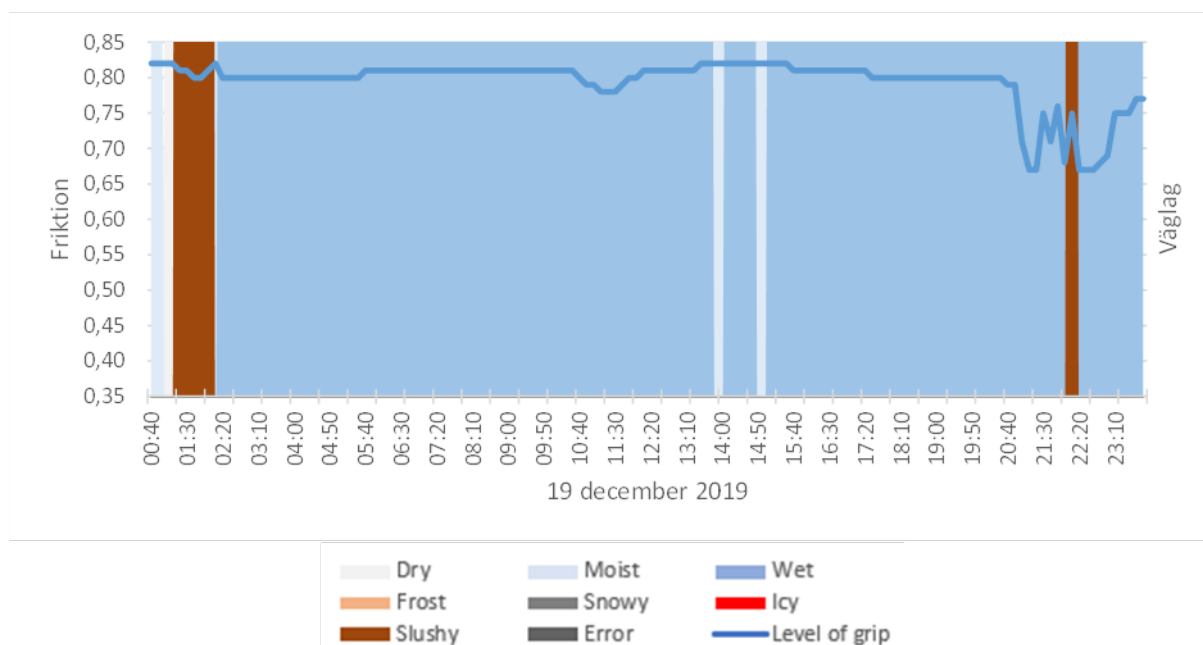
Figur 14. Saltmängd (blå linje) och vattentjocklek (grå staplar) från optisk sensor (Vaisala DRS511) på Testsite E18, Hjulspår. 28 november 2019.

5.1.3. 19 december 2019

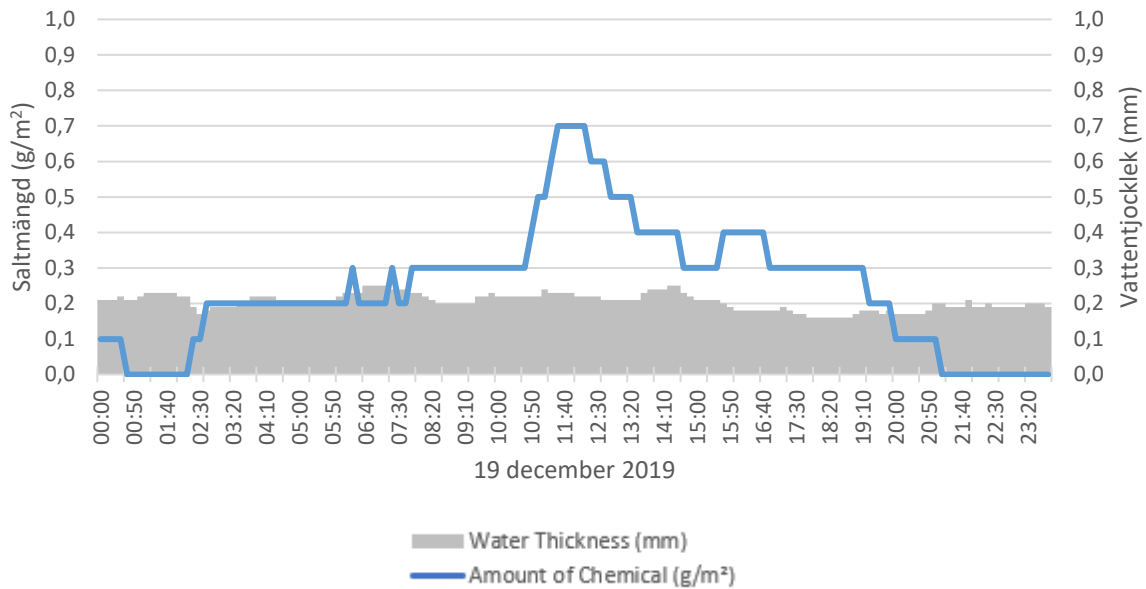


Figur 15. Väder och saltningar 15–19 december 2019. Fältmätningar 19 december 2019.

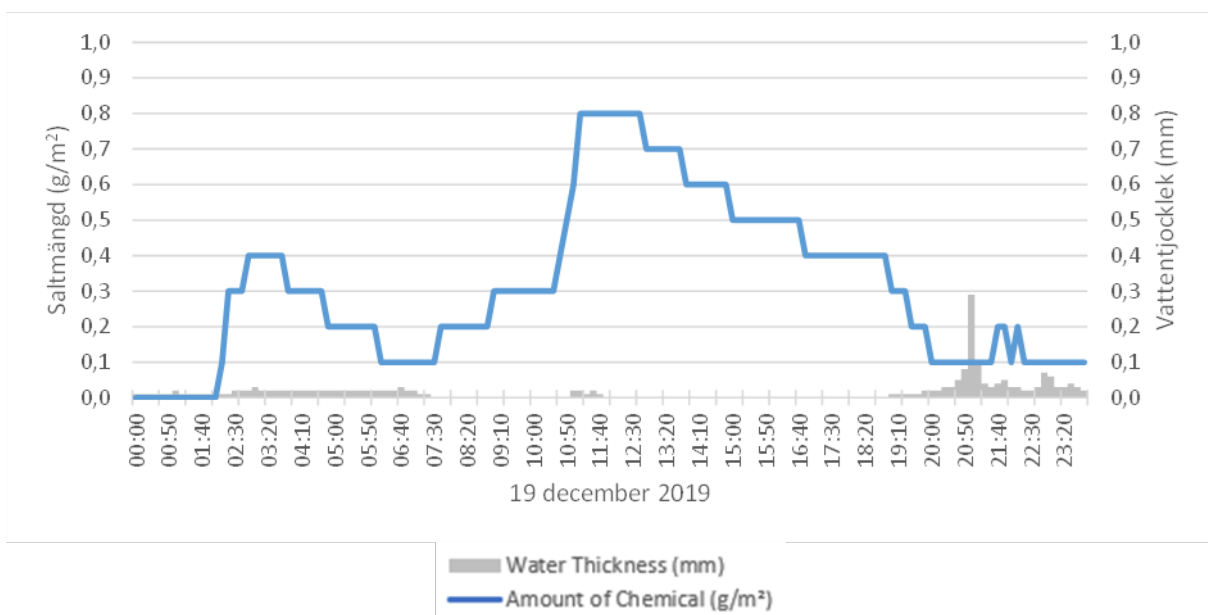
Även om dygnet började med moddiga förhållanden som sen övergick till en blöt vägbana efter att det saltades vid 2-tiden var friktionen hög hela tiden (Figur 16) enligt sensorn. Dock reagerade inte sensorerna på salt mellan (Figur 17) eller i hjulspåren (Figur 18) förrän fram på förmiddagen när vägen var avstängd.



Figur 16. Friktionsvärden och väglag från optisk sensor (Vaisala DSC/DST) på Testsite E18, 19 december 2019.

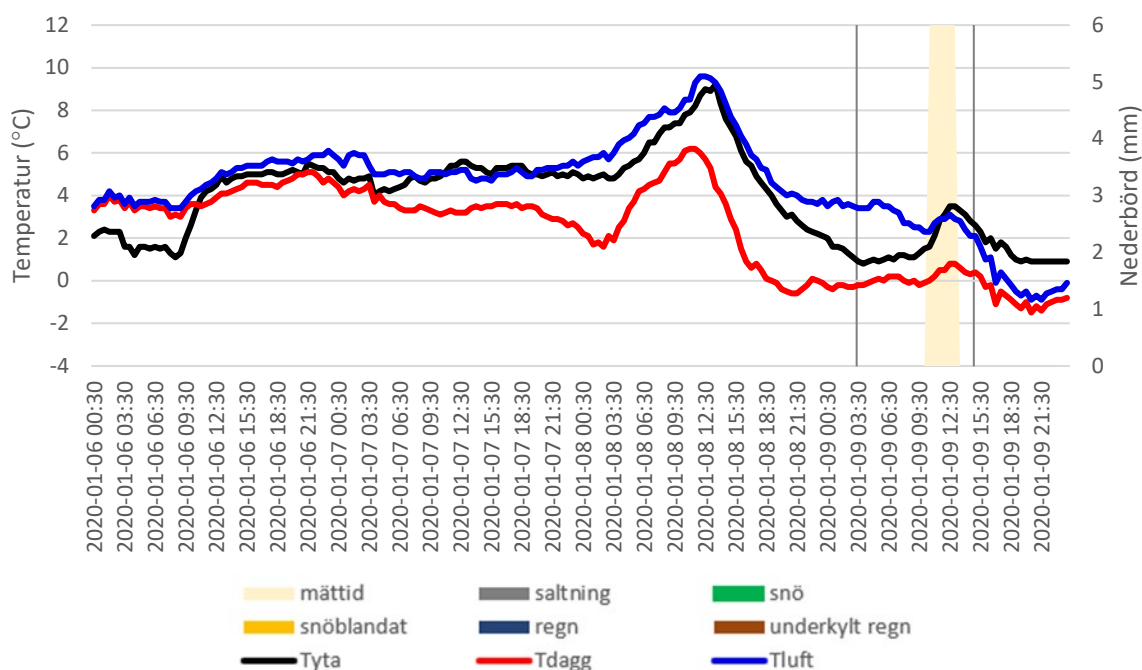


Figur 17. Saltmängd och vattentjocklek från optisk sensor (Vaisala DRS511) på Testsite E18, Mellan hjulspår. 19 december 2019.



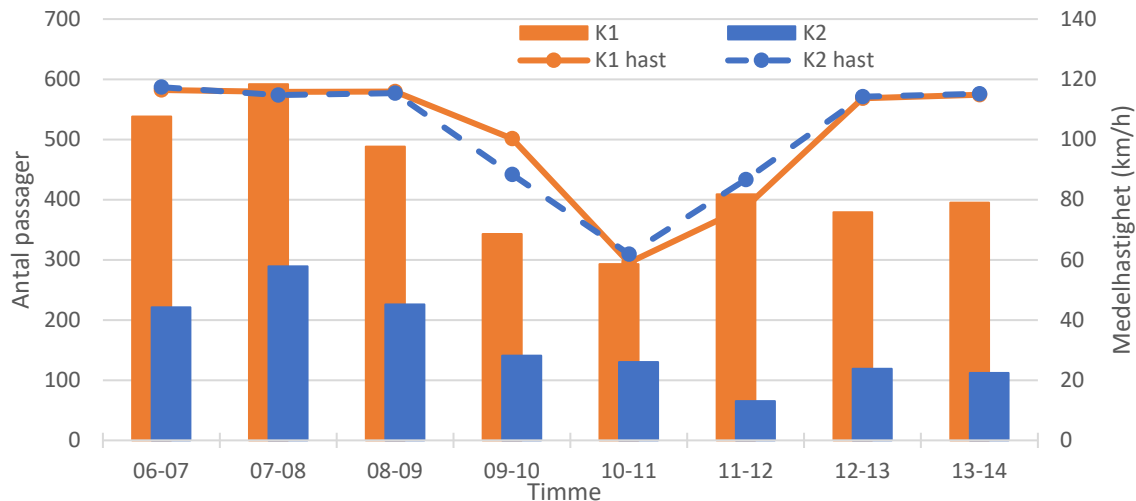
Figur 18. Saltmängd och vattentjocklek från optisk sensor (Vaisala DRS511) på Testsite E18, Hjulspår. 19 december 2019.

5.1.4. 9 januari 2020



Figur 19. Väder och saltningar 6–9 januari 2020. Fältmätningar 9 januari 2020.

Trafikmängden och medelhastigheten per timme den 9 januari förbi Testsite E18, i riktning mot Enköping, varierade enligt Figur 20.



Figur 20. Trafikflöde och medelhastighet 9 januari 2020 mellan 06:00 och 14:00. Skyltad hastighet 120 km/h.

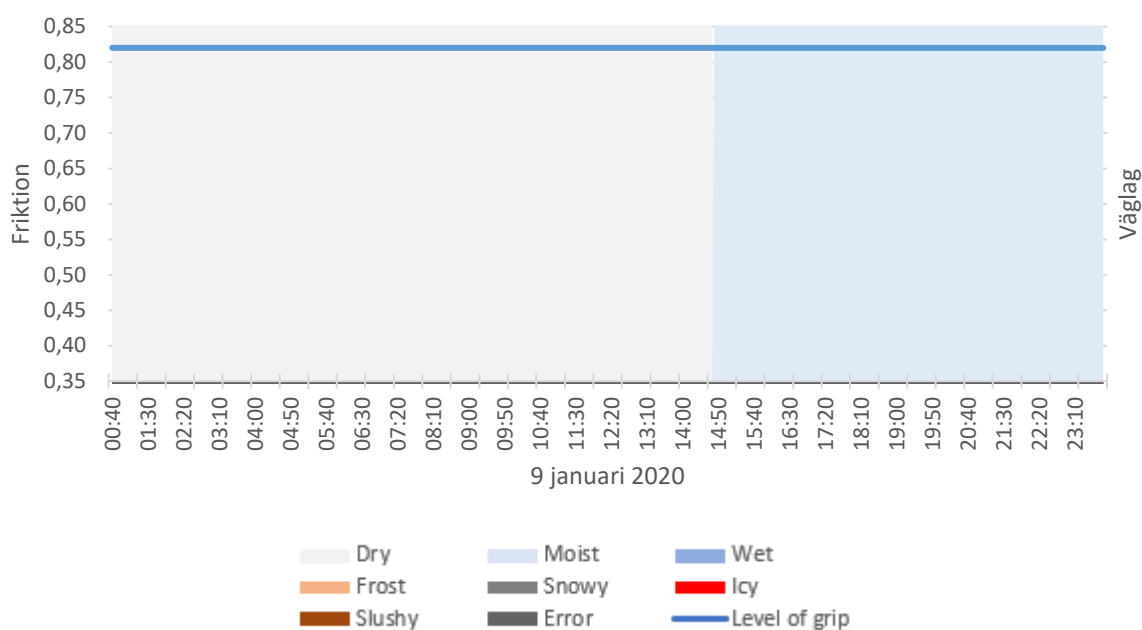
I figuren visas trafiken grupperad per timme på x-axeln. Timme 10–11 visar antalet fordon som passerade mellan klockan 10:00 och 11:00.

Trafikens uppdelning i de båda körfälten K1 (höger körfält) och K2 (vänster körfält) och i de olika fordonsklasserna personbil (Pb), lastbil utan släp (LBU), lastbil med släp (LBS) och motorcyklar (MC), bussar torde sorteras som lastbil utan släp visas i Tabell 3.

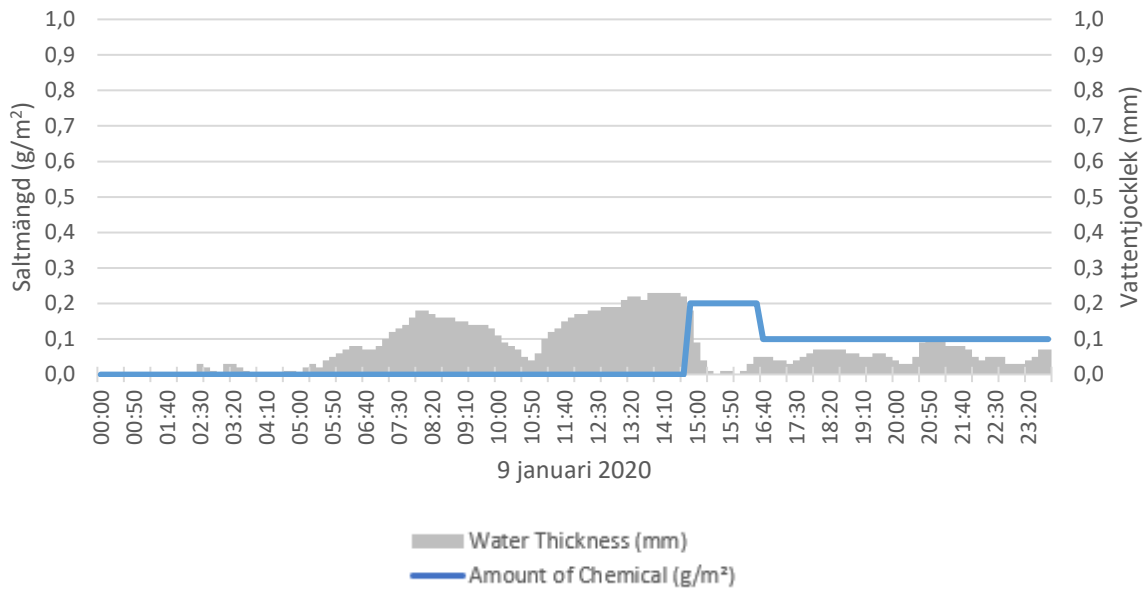
Tabell 3. Antal fordonspassager per timme 9 januari 2020 förbi Testsite E18 Pb=personbil, LBU=lastbil utan släp och LBS= lastbil med släp.

timme	Summa	K1 Pb	K1 LBU	K1 LBS	K1 MC/NN	K2 Pb	K2 LBU	K2 LBS	K2 MC/NN
00-01	36	21	4	11	0	0	0	0	0
01-02	36	12	1	23	0	0	0	0	0
02-03	46	15	3	28	0	0	0	0	0
03-04	66	31	5	26	0	1	1	1	1
04-05	118	84	1	24	0	8	0	1	0
05-06	423	295	8	31	1	84	2	2	0
06-07	759	459	31	43	5	209	8	2	2
07-08	881	523	29	39	1	274	13	1	1
08-09	714	405	29	52	2	210	14	1	1
09-10	484	250	38	55	0	129	8	2	2
10-11	423	207	31	53	2	118	4	4	4
11-12	474	326	38	43	2	59	3	1	2
12-13	498	290	33	55	1	111	6	2	0
13-14	507	311	33	50	1	95	8	5	4
14-15	612	377	23	54	1	141	9	7	0
15-16	672	400	36	48	2	180	5	1	0
16-17	851	481	34	52	1	265	11	5	2
17-18	625	397	24	51	3	143	5	1	1
18-19	409	273	13	38	0	76	5	2	2
19-20	294	193	12	35	1	50	2	0	1
20-21	209	138	7	35	0	27	0	1	1
21-22	158	104	10	24	0	19	0	1	0
22-23	102	66	10	16	1	8	0	1	0
23-00	64	43	5	13	0	1	0	1	1

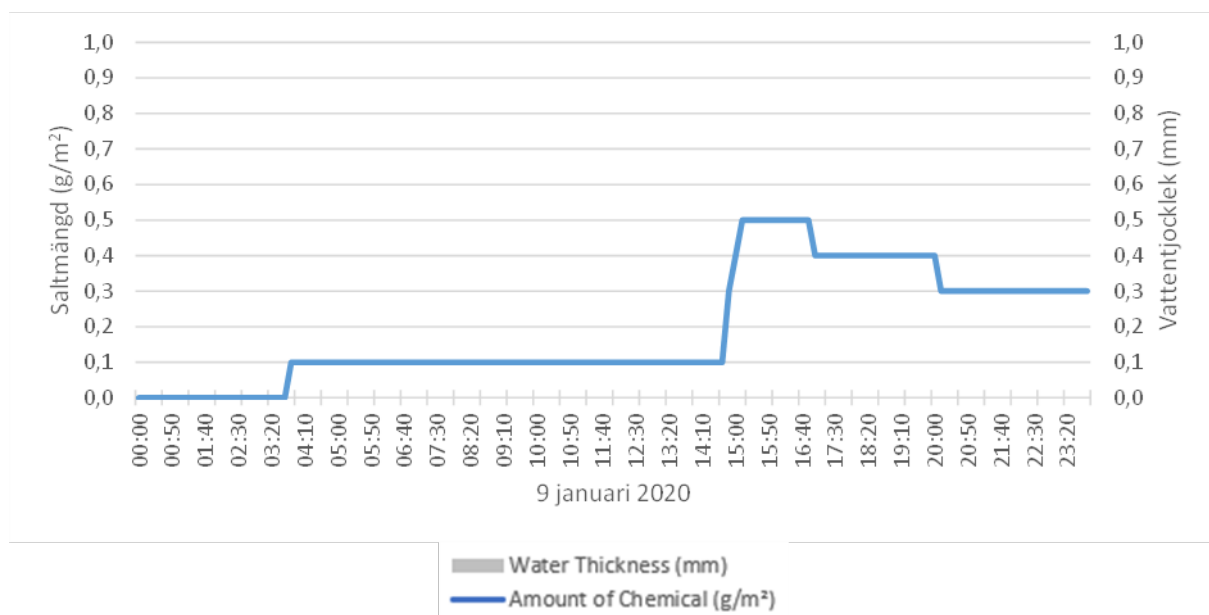
Torr vägbanan med hög friktion enligt sensorer (Figur 21). Saltet som lades ut vid 3-tiden noteras bara i hjulspåren (Figur 23) medan både hjulspår och mellan hjulspår (Figur 22) får en ökning när den andra saltgivan läggs på eftermiddagen.



Figur 21. Friktionsvärden och väglag från optisk sensor (Vaisala DSC/DST) på Testsite E18, 9 januari 2020.

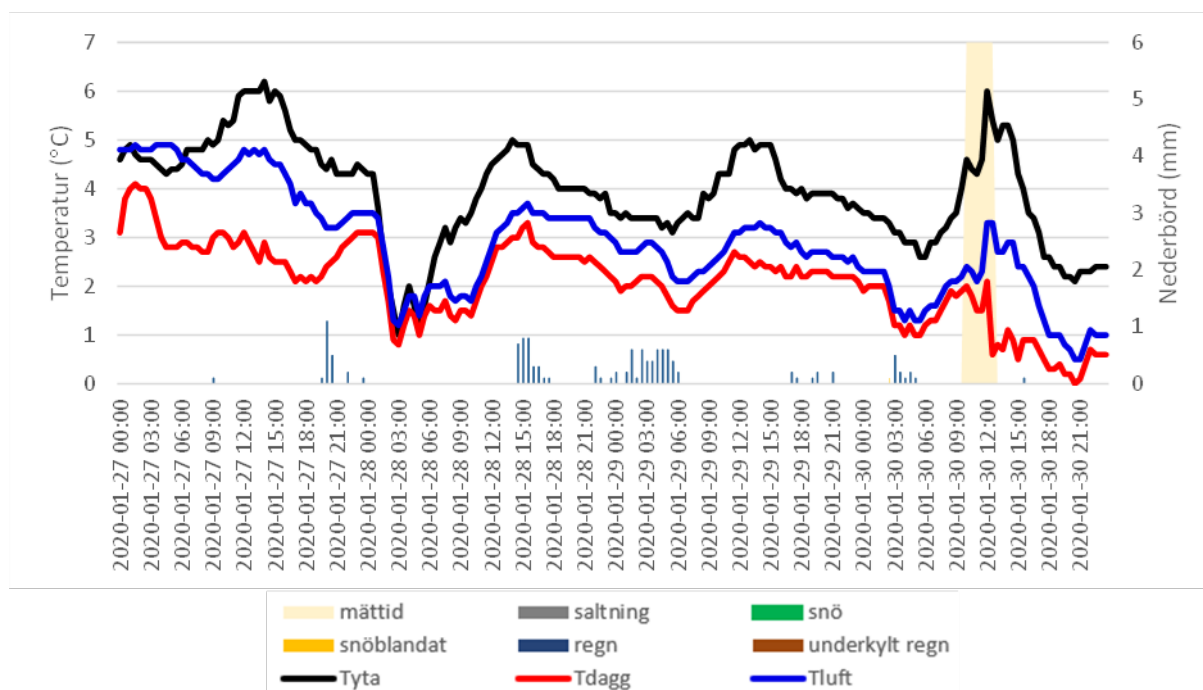


Figur 22. Saltmängd och vattentjocklek från optisk sensor (Vaisala DRS511) på Testsite E18, Mellan hjulspår. 9 januari 2020.



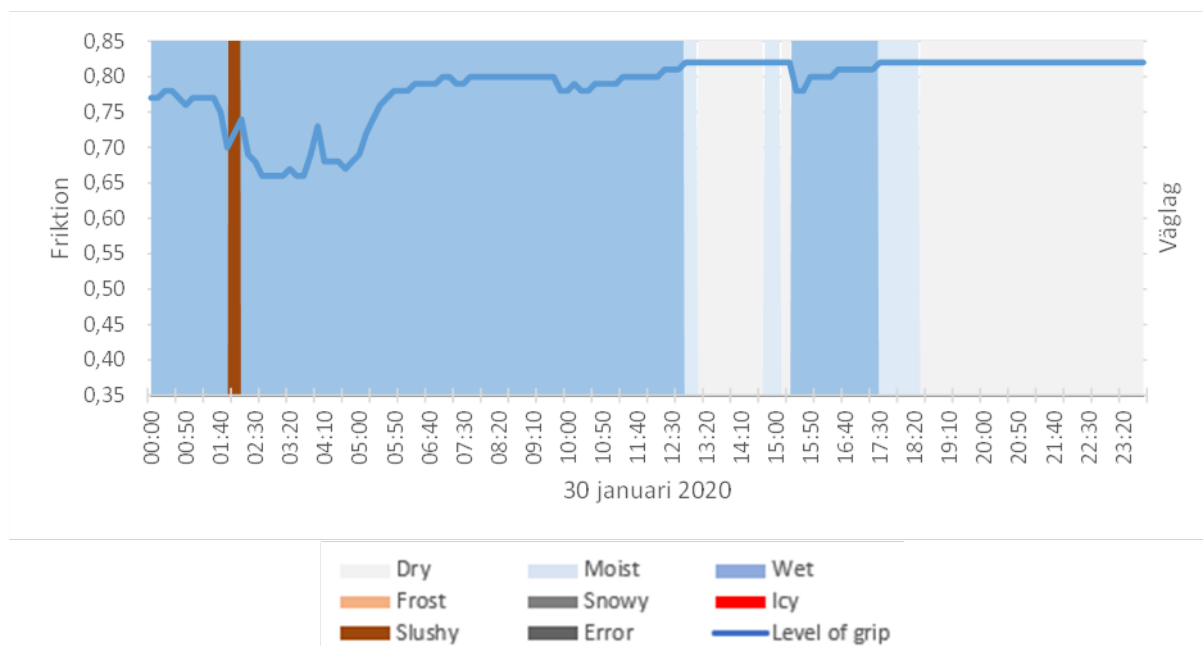
Figur 23. Saltmängd och vattentjocklek från optisk sensor (Vaisala DRS511) på Testsite E18, Hjulspår. 9 januari 2020.

5.1.5. 30 januari 2020'

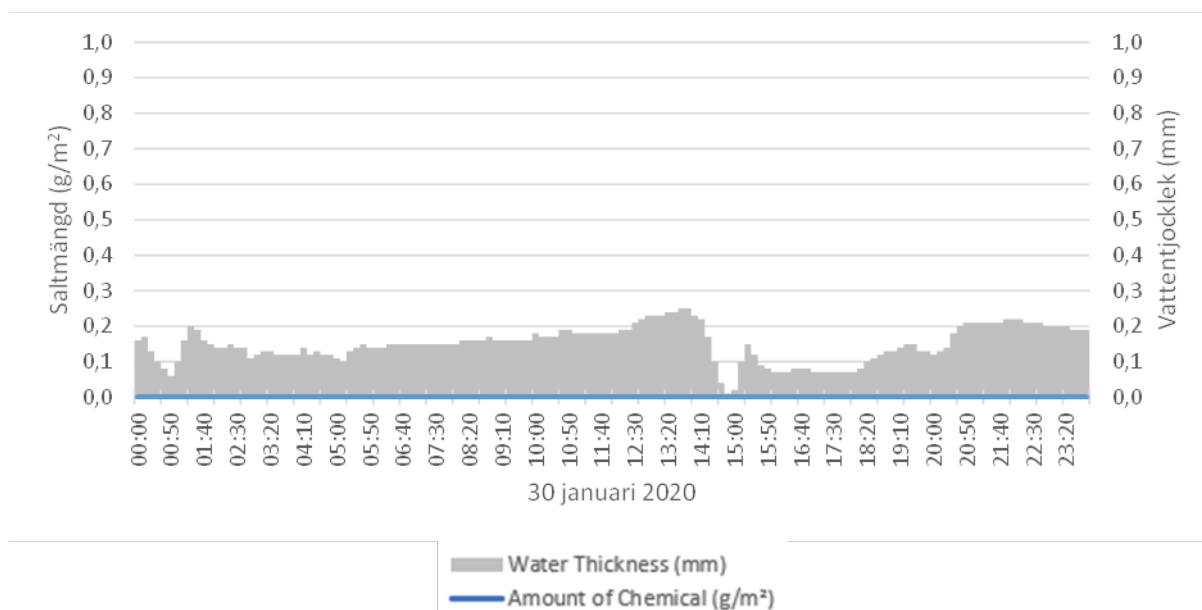


Figur 24. Väder och saltningar 27–30 januari 2020. Fältmätningar 30 januari 2020.

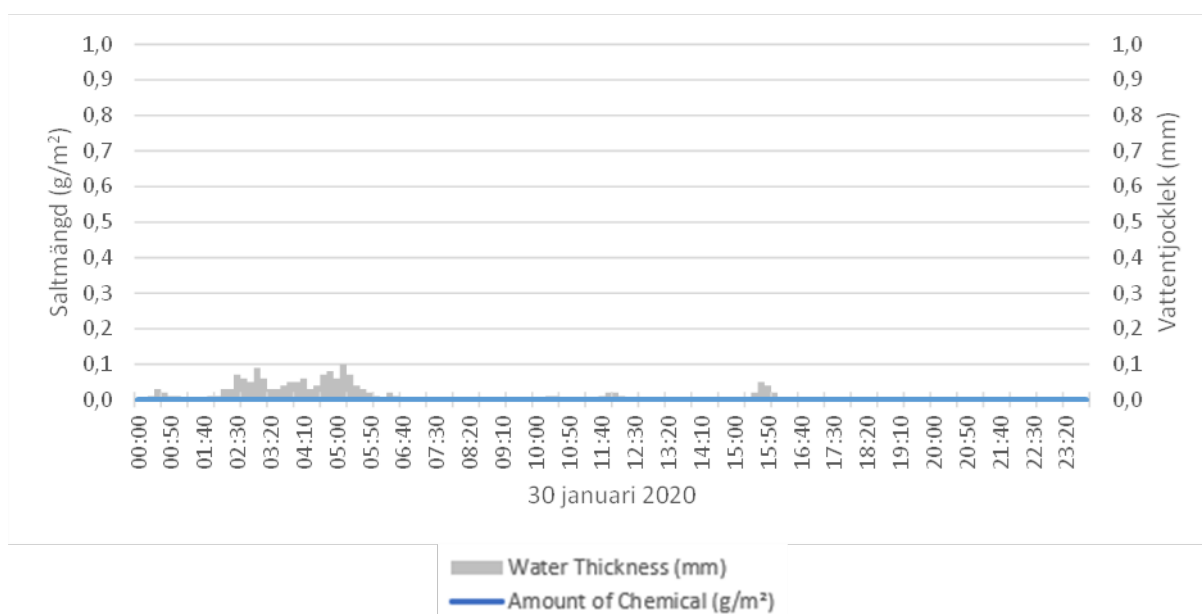
Under morgontimmarna går friktionen ner i samband med att den våta vägen övergår i slask. Den enda troliga anledningen om man jämför med hur vädret var är att temperaturen sjunker (Figur 24) på den våta vägbanan, men det finns ingen risk för att det skulle bli halt. Det blev aldrig lägre än 2,6°C på vägytan den morgonen. I Figur 26 och Figur 27 kan man även se att inga saltåtgärder gjordes och att det fanns en tunn vattenfilm mellan hjulspåren, medan det torkade upp i hjulspåren på morgonen.



Figur 25. Friktionsvärden och väglag från optisk sensor (Vaisala DSC/DST) på Testsite E18, 30 januari 2020.

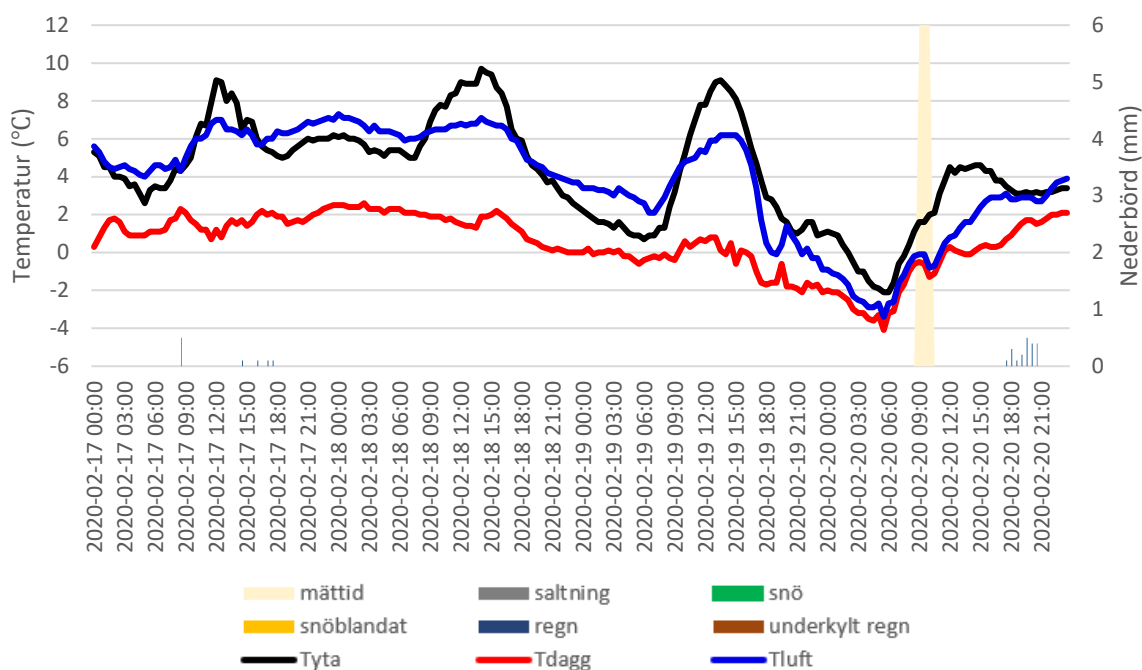


Figur 26. Saltmängd och vattentjocklek från optisk sensor (Vaisala DRS511) på Testsite E18, Mellan hjulspår. 30 januari 2020.



Figur 27. Saltmängd och vattentjocklek från optisk sensor (Vaisala DRS511) på Testsite E18, Hjulspår. 30 januari 2020.

5.1.6. 20 februari 2020



Figur 28. Väder och saltningar 17–20 februari 2020. Fältmätningar 20 februari 2020.

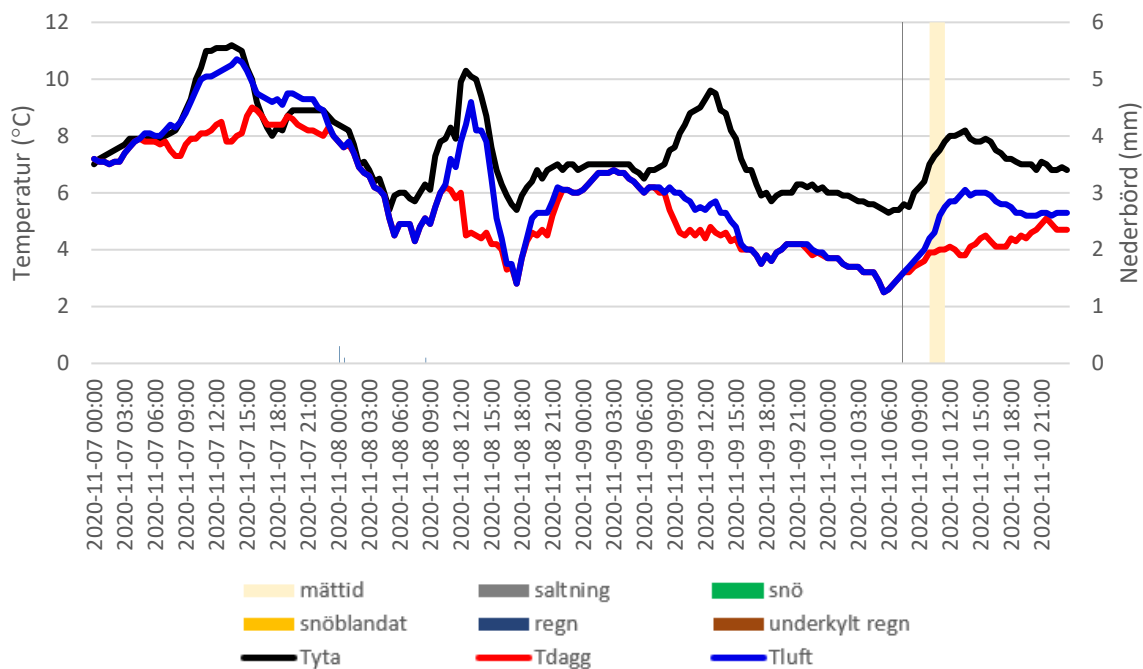
Eftersom vägen var torr och inte riskerade att frysa även om temperaturen gick under noll grader hade ingen saltning gjorts. Det uppmättes inte heller något restsalt vid mätningarna.

5.1.7. 12 mars 2020

Detta mättillfälle var planerat, men ställdes in på grund av att vädret var varmt och därmed brist på saltningsåtgärder.

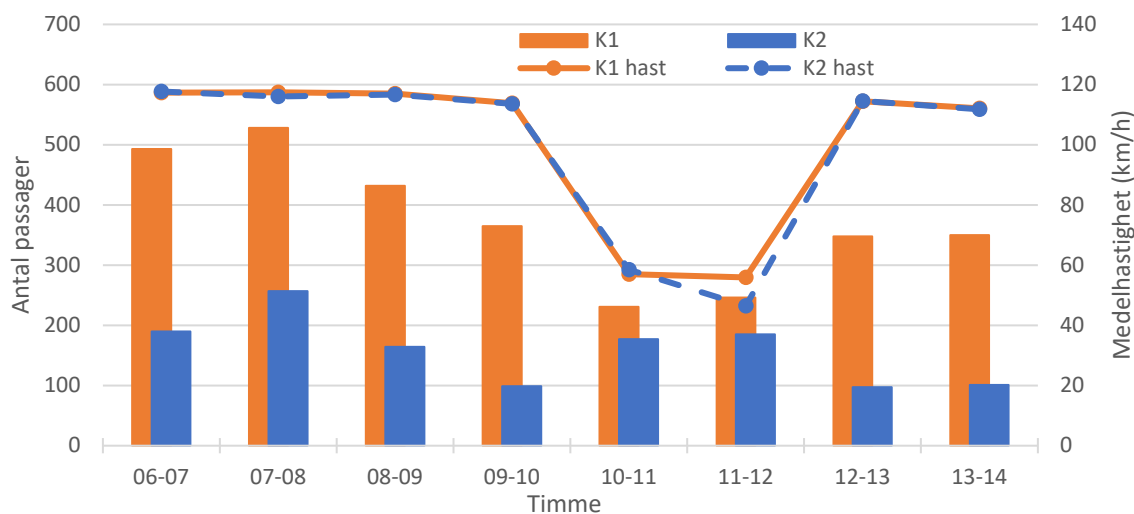
5.1.8. 10 november 2020

Den första av extramätningarna vintern 2020–2021 gjordes när det enligt prognosen skulle varit en kall natt, dock ändrades väderförhållandena och det behövdes ingen saltning. Temperaturen var som lägst strax innan 6 på morgonen med 5,1°C på Testsitens VViS-station (MS7) och bortsett från värmen var det bra förhållanden med en torr vägyta. För att få värden att mäta saltades vägen en kort sträcka förbi Testområdet klockan 07:15 med 12 g/m² saltlösning.



Figur 29. Väder och saltningar 7–10 november 2020. Fältmätningar 10 november 2020.

Trafikmängden och medelhastigheten per timme den 10 november förbi Testsite E18, i riktning mot Enköping, varierade enligt Figur 30.



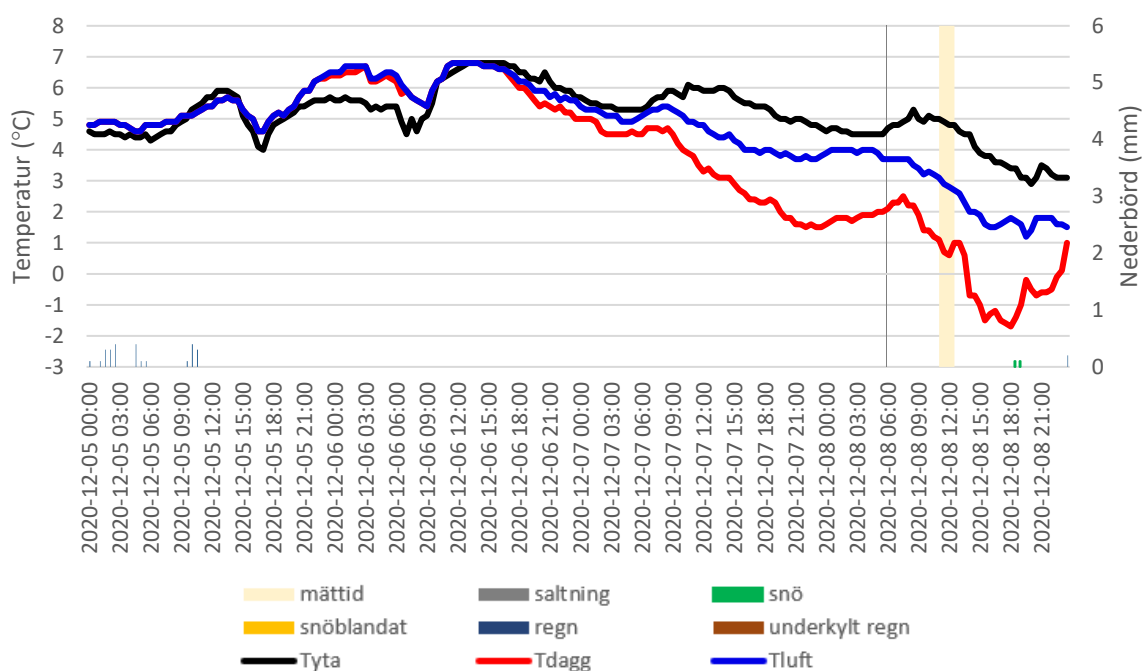
Figur 30. Trafikflöde och medelhastighet 10 november 2020 mellan 06:00 och 14:00. Skyltad hastighet 120 km/h.

I figuren visas trafiken grupperad per timme på x-axeln. Timme 10–11 och 11–12 visar hur antalet fordon tydligt förändrades mellan klockan 10:00 och 12:00 när vägen var avstängd. Fördelningen mellan olika fordonstyper i de två körfälten visas i Tabell 4. Det syns även att hastigheten sänktes under tiden de respektive körfälten var avstängda.

Tabell 4. Antal fordonspassager per timme 10 november 2020 förbi Testsite E18.

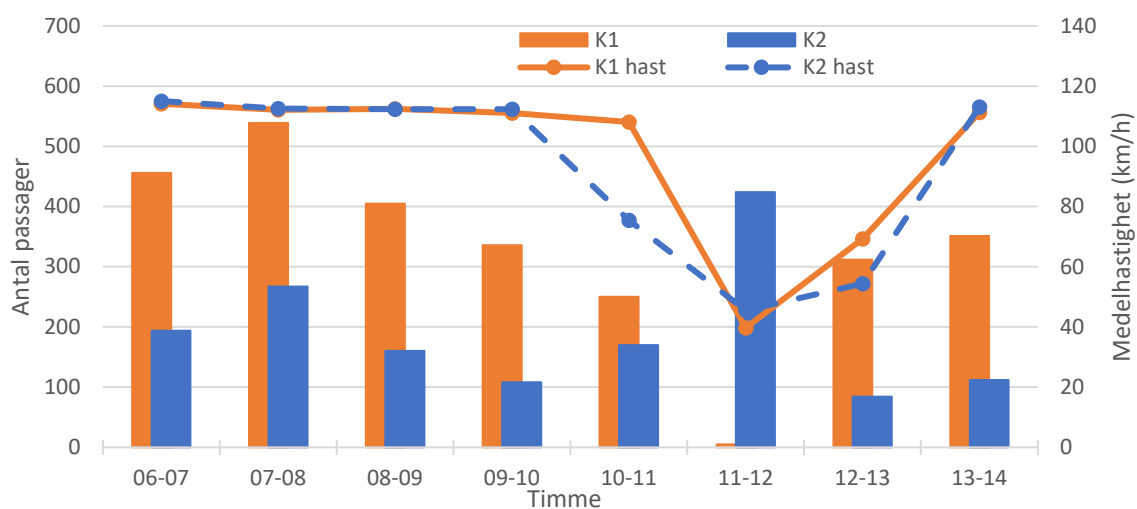
timme	Summa	K1 Pb	K1 LBU	K1 LBS	K1 MC/NN	K2 Pb	K2 LBU	K2 LBS	K2 MC/NN
00-01	33	16	2	14	0	0	0	1	0
01-02	25	8	3	14	0	0	0	0	0
02-03	51	12	6	30	0	2	1	0	0
03-04	31	14	4	13	0	0	0	0	0
04-05	101	75	2	19	0	5	0	0	0
05-06	380	246	16	40	0	69	4	4	1
06-07	683	406	24	62	1	175	12	1	2
07-08	785	437	40	50	1	237	14	6	0
08-09	596	320	51	59	2	151	9	3	1
09-10	464	255	44	66	0	90	4	3	2
10-11	408	139	34	54	4	157	6	11	3
11-12	431	176	22	43	5	151	9	24	1
12-13	445	262	35	51	0	87	7	3	0
13-14	451	252	38	60	0	95	4	2	0
14-15	545	302	42	68	1	123	9	0	0
15-16	614	350	40	63	3	147	7	3	1
16-17	703	411	31	58	2	187	8	5	1
17-18	496	286	28	53	0	119	5	3	2
18-19	387	231	19	58	1	70	4	3	1
19-20	286	162	16	52	0	49	5	1	1
20-21	211	137	9	39	0	25	1	0	0
21-22	143	98	7	22	0	14	0	1	1
22-23	82	46	2	25	0	6	1	2	0
23-00	51	34	1	15	0	1	0	0	0

5.1.9. 8 december 2020



Figur 31. Väder och saltningar 5–8 december 2020. Fältmätningar 8 december 2020.

Trafikmängden och medelhastigheten per timme den 8 december varierade enligt Figur 32 och fördelningen mellan olika fordonstyper och de två körfälten visas i Tabell 5.



Figur 32. Trafikflöde och medelhastighet 8 december 2020 mellan 06:00 och 14:00. Skyltad hastighet 120 km/h.

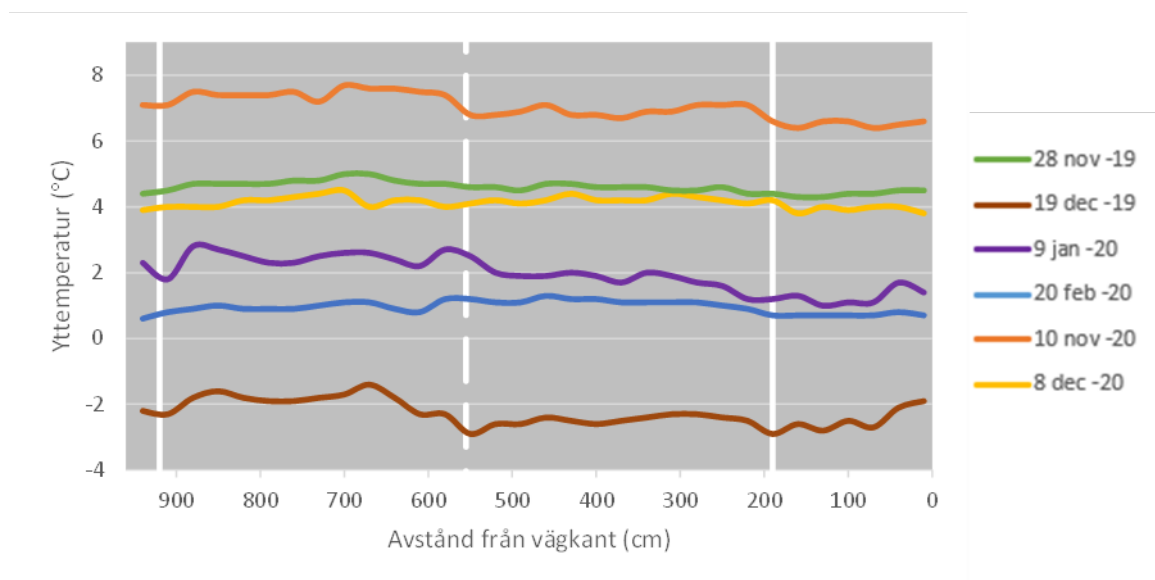
Tabell 5. Antal fordonspassager per timme 8 december 2020 förbi Testsite E18.

timme	Summa	K1 Pb	K1 LBU	K1 LBS	K1 MC/NN	K2 Pb	K2 LBU	K2 LBS	K2 MC/NN
00-01	43	15	6	19	0	3	0	0	0
01-02	30	7	3	19	0	1	0	0	0
02-03	28	6	2	16	0	1	0	2	1
03-04	48	11	4	29	0	3	0	0	1
04-05	98	66	4	21	0	6	1	0	0
05-06	372	247	17	32	1	70	2	2	1
06-07	650	374	20	61	1	182	6	3	3
07-08	806	442	40	55	2	245	15	6	1
08-09	565	305	30	69	1	140	6	14	0
09-10	444	235	44	56	1	94	4	8	2
10-11	420	167	32	50	1	142	12	16	0
11-12	429	4	0	1	0	338	23	61	2
12-13	396	231	38	40	3	67	10	6	1
13-14	463	262	36	53	0	105	7	0	0
14-15	480	274	26	53	0	117	7	3	0
15-16	608	333	32	62	0	166	8	5	2
16-17	665	384	26	61	0	178	12	3	1
17-18	473	294	20	56	0	92	5	4	2
18-19	372	224	21	52	1	66	4	3	1
19-20	289	173	15	44	0	51	2	4	0
20-21	214	126	12	39	0	33	4	0	0
21-22	145	97	11	18	0	18	0	0	1
22-23	93	56	3	27	0	6	1	0	0
23-00	64	46	4	12	0	1	0	1	0

5.1.10. Manuella temperaturmätningar

Samtidigt som saltmätningarna utfördes togs även ytttemperaturen tvärs vägen. I Figur 33 visas sex av tillfällena. Det man kan se är att temperaturen varierar något tvärs vägen, men skillnaderna minskar desto längre tid som vägen är avstängd. Temperaturerna är mätta samtidigt som saltproven togs, dvs hela temperaturprofilen tog över 1 timme i de flesta fallen. För att få en mer tydlig bild av ytttemperaturen bör man mäta en tvärprofil direkt när vägen stängs av för att fånga skillnaderna bättre. Vid de flesta tillfällena är det kallare i det högra körfältet, det kan förklaras av att det mättes först och

under tiden värmdes trafiken upp det vänstra körfältet samt att även temperaturen kan ha ökat något under tiden som mätningarna pågick.



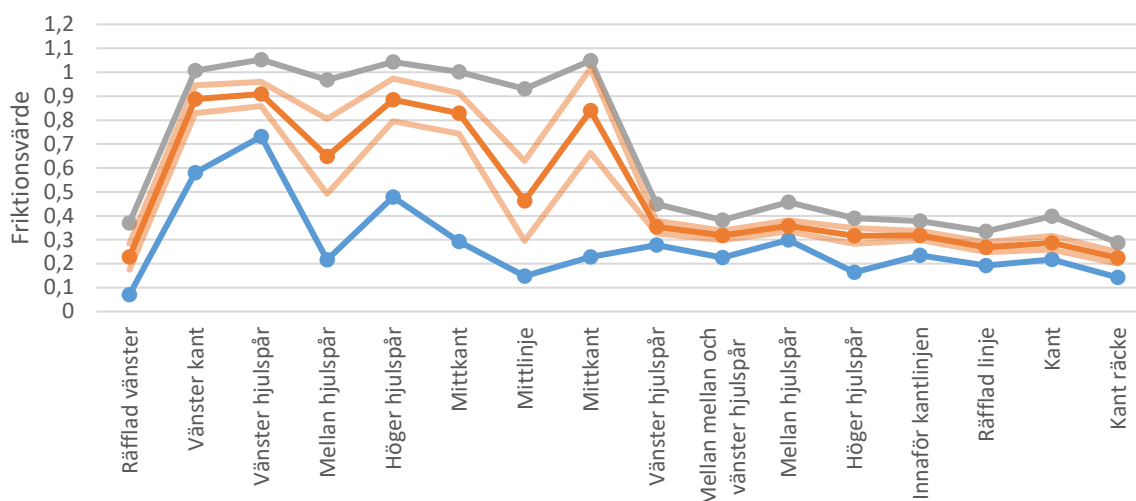
Figur 33. Yttemperatur tvärs vägen vid sex av mättillfällena.

5.2. Friktion

Detta delkapitel redovisar de med PFT uppmätta friktionsvärdena vid de 8 mättillfällena.

5.2.1. Friktion 31 januari 2019

Vid denna mätning snöade det lätt när vägen stängdes av och ett tunt snötäcke låg över det högra körfältet när friktionsmätningarna genomfördes. Denna snö gjorde att ytan blev halare än vid den något senare mätningen i vänstra körfältet där snön inte låg kvar på grund av trafiken och det hade slutat snöa.

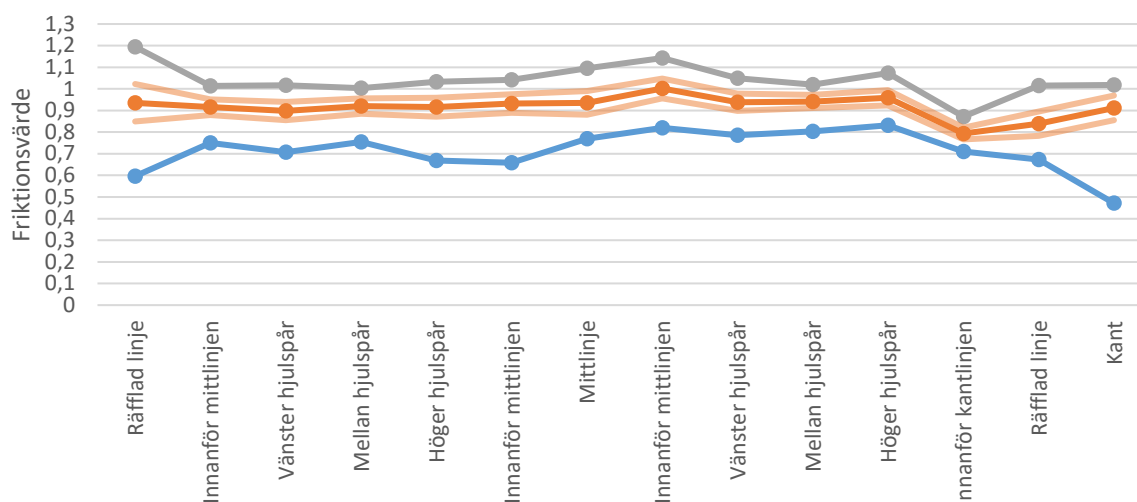


Figur 34. Uppmätta friktionsvärden med PFT på Testsite E18, 31 januari 2019.

Linjefärger: blå=minvärde, grå=maxvärde, orange=medelvärde, ljusorange=standardavvikelse.

5.2.2. Friktion 28 november 2019

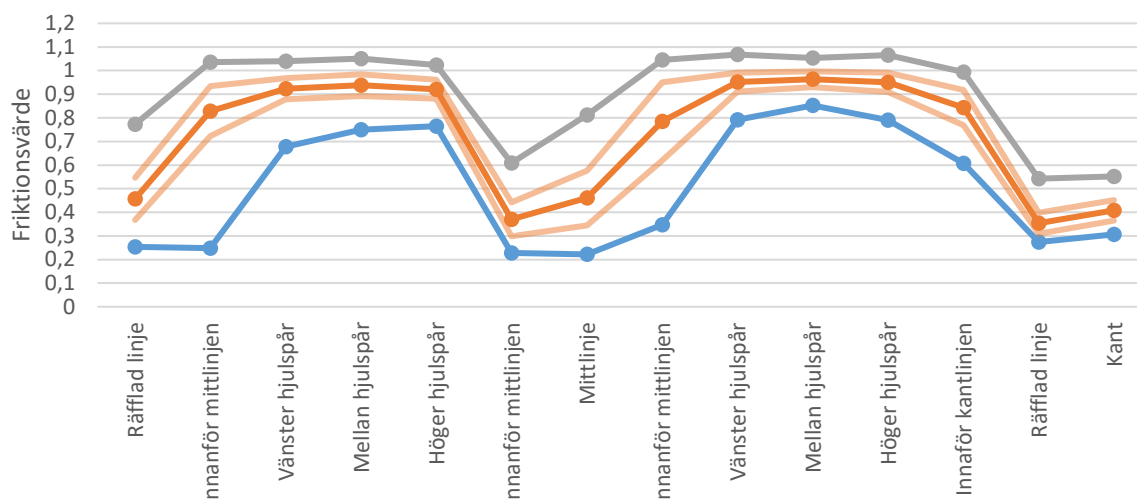
Fem plusgrader på vägytan och lite regn innan mätningarna gjorde att friktionen var hög tvärs över hela vägen.



Figur 35. Uppmätta friktionsvärden med PFT på Testsite E18, 28 november 2019. Linjefärger: blå=minvärde, grå=maxvärde, orange=medelvärde, ljusorange=standardavvikelse.

5.2.3. Friktion 19 december 2019

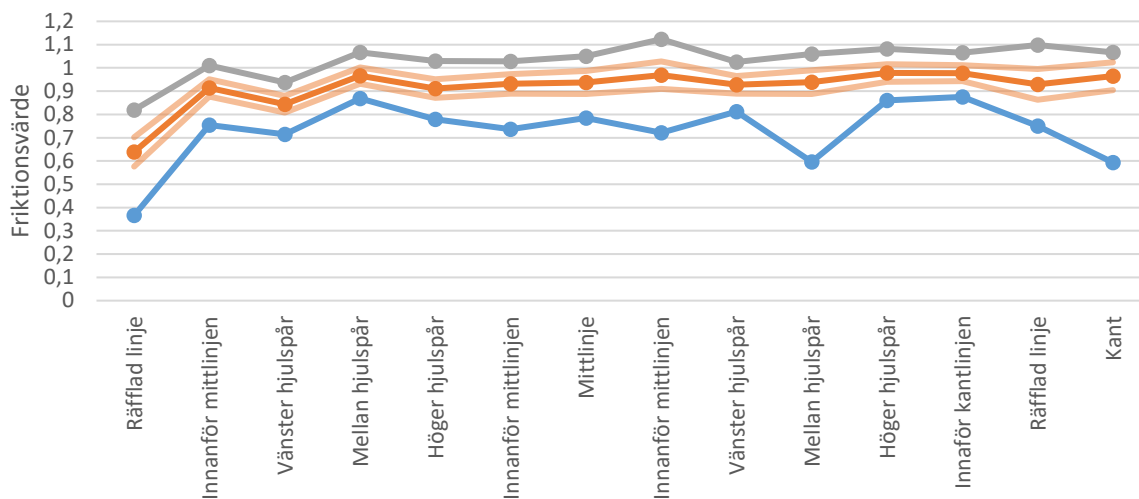
En kall dag med ca -3,5°C när mätningarna startade och sen steg ytttemperaturen upp mot noll under mätningarna. Den senaste nederbörden var regn som övergick i snöfall ett dygn tidigare. Friktionen var hög på vägbanorna, medan ute på kanterna och mellan körfälten var det lägre. Det var på gränsen till för halt mellan körfälten. För en väg med standardklass 1 med temperaturer som denna dag ska det vara snö/isfritt på körfälten och vägrenen och sidoområdena ha en friktion på 0,25.



Figur 36. Uppmätta friktionsvärden med PFT på Testsite E18, 19 december 2019. Linjefärger: blå=minvärde, grå=maxvärde, orange=medelvärde, ljusorange=standardavvikelse.

5.2.4. Friktion 9 januari 2020

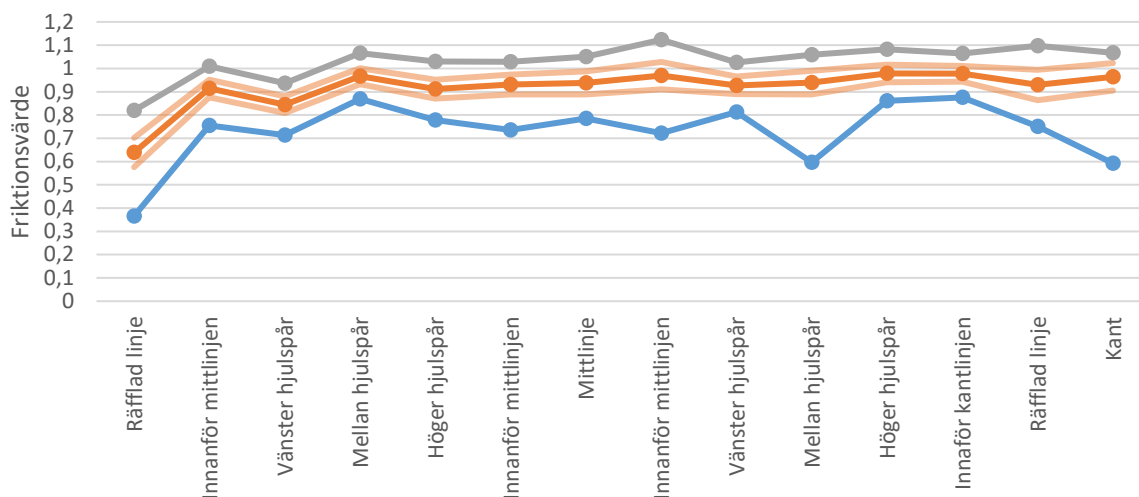
Under mätningen steg ytttemperaturen från 1,5 till 3 grader och det hade inte förekommit någon nederbörd innan mätningarna, vilket ledde till en jämn och hög friktion.



Figur 37. Uppmätta friktionsvärden med PFT på Testsite E18, 9 januari 2020.
Linjefärger: blå=minvärde, grå=maxvärde, orange=medelvärde, ljusorange=standardavvikelse.

5.2.5. Friktion 30 januari 2020

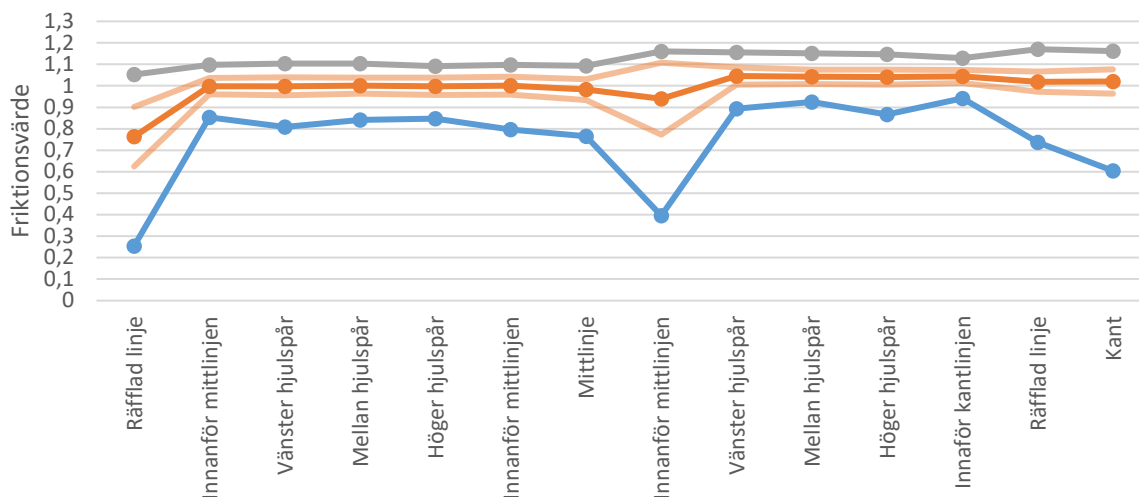
Även om det regnat tidig morgon påverkade det inte friktionen när mätningen gjordes.



Figur 38. Uppmätta friktionsvärden med PFT på Testsite E18, 30 januari 2020.
Linjefärger: blå=minvärde, grå=maxvärde, orange=medelvärde, ljusorange=standardavvikelse.

5.2.6. Friktion 20 februari 2020

Hög friktion tvärs vägen, enda avvikelserna var vid kantlinjer och precis till höger om mittlinjen.



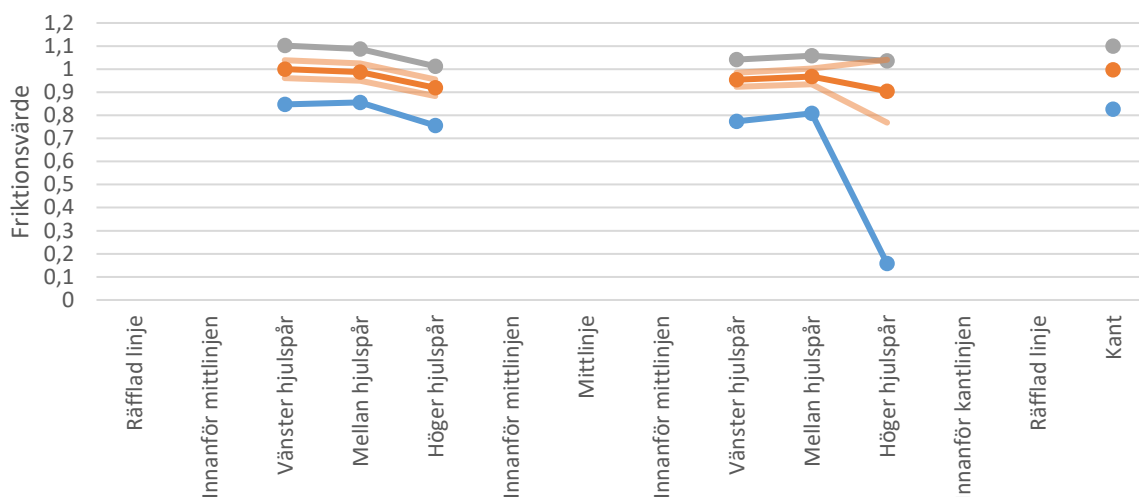
Figur 39. Uppmätta friktionsvärden med PFT på Testsite E18, 20 februari 2020.
Linjefärger: blå=minvärde, grå=maxvärde, orange=medelvärde, ljusorange=standardavvikelse.

5.2.7. Friktion 12 mars 2020

Detta mätillfälle var planerat, men ställdes in på grund av att vädret var varmt och därmed brist på saltningsåtgärder.

5.2.8. Friktion 10 november 2020

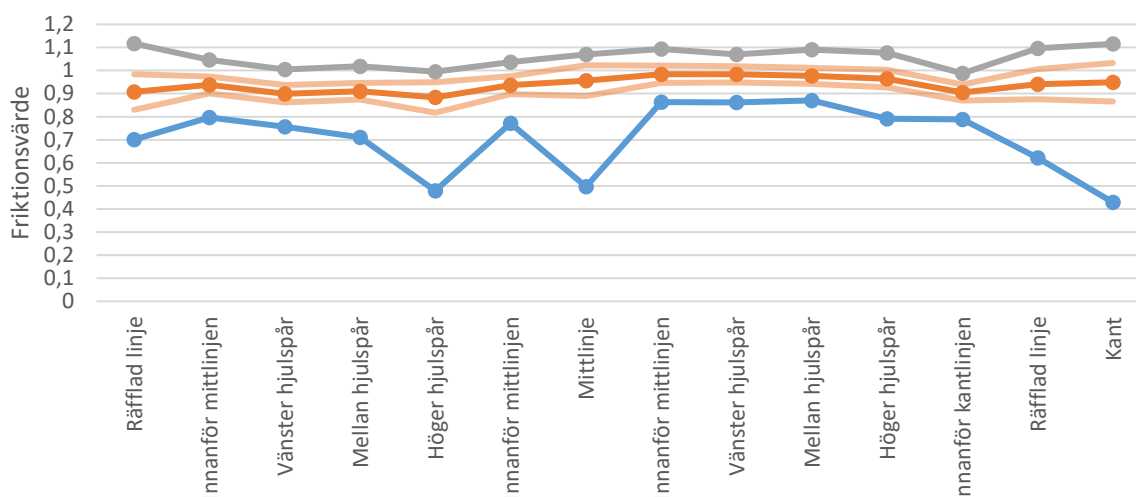
Eftersom lufttemperaturen var 4,5°C och vägytan var över 7°C antogs friktionen vara hög över bägge körfälten och därför mättes inte alla mätpunkterna vid detta tillfälle.



Figur 40. Uppmätta friktionsvärden med PFT på Testsite E18, 10 november 2020.
Linjefärger: blå=minvärde, grå=maxvärde, orange=medelvärde, ljusorange=standardavvikelse.

5.2.9. Friktion 8 december 2020

Även denna sista mätomgång var det flertal plusgrader både i luften och på marken. Det var ett högt friktionsmedelvärde på alla mätpunkter.



Figur 41. Uppmätta friktionsvärden med PFT på Testsite E18, 8 december 2020.
 Linjefärger: blå=minvärde, grå=maxvärde, orange=medelvärde, ljusorange=standardavvikelse.

5.2.10. Sammanfattning

Alla mätningar hade bra friktion med undantag för den 31 januari 2019 då det precis hade snöat när vägen stängdes av. Den snön hade arbetats bort med hjälp av trafiken och den preventiva saltningen. Den 19 december 2019 var det minusgrader och friktionen mellan körfälten var lägre, men fortfarande godkänd.

5.3. Salt

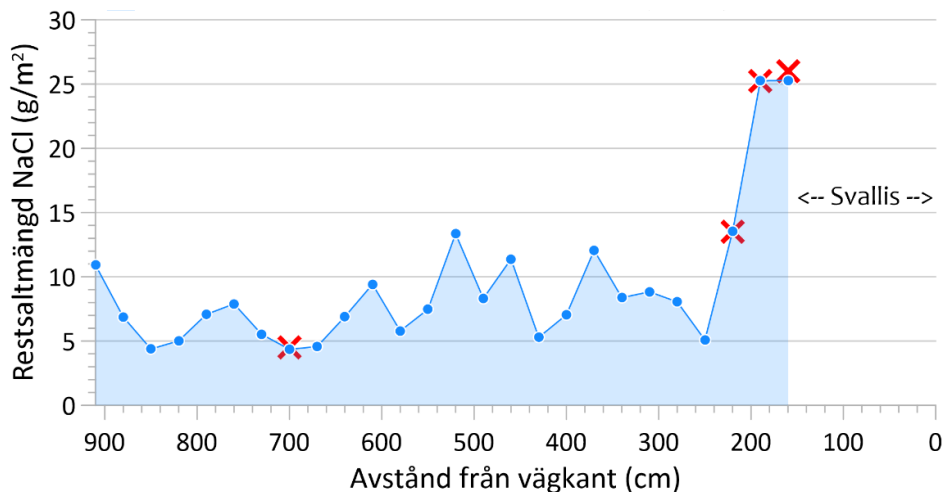
I syfte att validera de prognosticerade restsaltmängderna mättes saltmängderna i en tvärprofil tvärs vägen vid ett antal tillfällen. Då mätningarna, som även innefattar provtagning, är manuella stängdes körfälten av, ett i taget. Varje mätprofil innehåller mätpunkter med trettio centimeters avstånd mellan dem. Första mätpunkten är tio centimeter in på beläggningen från asfaltskanten räknat.

5.3.1. Salt 31 januari 2019

Vid det här valideringstillfället samlades provvätskan från samtliga valideringspunkter in och fyra valdes ut för kemanalys avseende natrium, klorid och kalcium hos SynLab AB. Urvalet av de prov som skickades till analys gjordes utifrån principen: högsta värdet, lägsta värdet och ekvidistant fördelning av de kvarvarande två provflaskorna. Resultatet från kemanalysen används sedan för att justera de saltvärden som beräknats utifrån den elektriska ledningsförmågan och därigenom kunna ta hänsyn till en eventuellt felkalibrerad konduktivitetmätare. Detta visas med röda kryss i Figur 42.

Manuell mätning

De uppmätta saltmängderna tvärs över vägen visas i Figur 42. Saltmätningarna startade strax efter 10 och pågick till ungefär 12. I körfält 2 syns det tydliga hjulspår, men på grund av att snön låg i körfält 1 när mätningarna började syns det inte lika tydligt var hjulspåren är i den körbanan. Det är även möjligt att saltprofilen från vägkanten fram till ca 600 cm är störd av att annan personal av misstag gått inom försöksområdet och på så vis till viss del omfördelat saltet inom körfältet.



Figur 42. Restsaltmängd (g/m^2) uppmätt i vägens tvärprofil. De röda kryssen återfinns även i Tabell 6.

Analys av salt

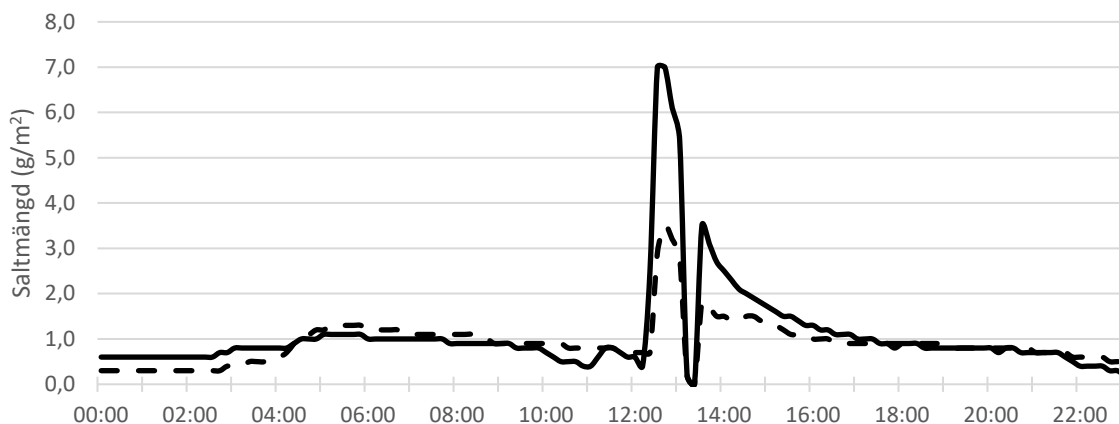
Saltet som samlades in skickades för kemisk analys med avseende på främst innehållet av natrium (Na) och klorid (Cl^-). I Tabell 6 kan de olika provernas resultat ses. I tabellen syns det tydligt att den största koncentrationen finns i väggkanten där ingen trafik kör. Resultatet av den kemiska analysen har använts för att justera de uppmätta saltvärdena, beräknade från den elektriska ledningsförmågan, för på så sätt ta hänsyn till en eventuellt felkalibrerad konduktivitetmätare.

Tabell 6. Resultat av den kemiska analysen av de insamlade WSS-proverna 31 januari 2019. För positionering på vägbanan se röda kryss i Figur 42.

Prov	Kemiskt innehåll		
	Cl^- (mg/l)	Na (mg/l)	NaCl (g/m^2)
160 cm	660	380	26,0
190 cm	630	380	25,3
220 cm	340	200	13,5
700 cm	110	71	4,5

Salt uppmätt med sensorer

I Figur 43 visas vad en av sensorerna på Testsite E18 registrerade denna dag. Mellan ca 11 och 13 (12–14 i figuren) förekom det tester med sensorerna i ett annat projekt.



Figur 43. Saltmängd (DRS511) Testsite E18, 31 januari 2019. Hjulspår (heldragen) och mellan hjulspår (streckad). Tidszon: Helsingfors.

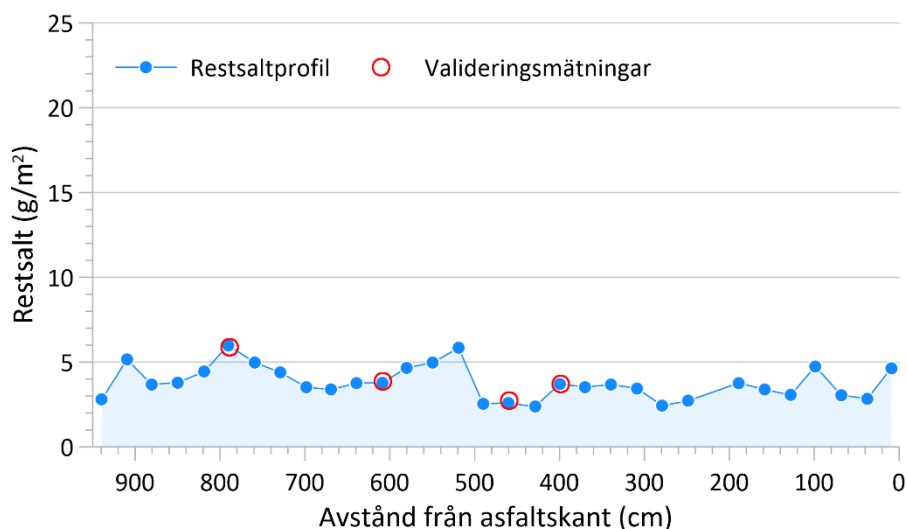
5.3.2. Salt 28 november 2019

Inget salt.

5.3.3. Salt 19 december 2019

Manuell mätning

Mätresultaten av restsaltmängderna på vägytan från den 19 december visar att saltmängderna låg mellan två och sex gram per kvadratmeter tvärs de båda körfälten, med de lägsta värdena i hjulspåren som ganska tydligt framträder i Figur 44. Generellt låg körfält K2 ungefär ett gram högre i saltmängd än körfält K1 vid mättillfället.



Figur 44. Restsaltmängd (g/m^2) uppmätt i vägens tvärprofil. De röda ringarna återfinns även i Tabell 7.

Analys av salt

Den kemiska analysen som genomfördes av SynLab AB med avseende på innehåll av natrium (Na) och klorid (Cl^-) visas i Tabell 7. De utvalda proven som skickats till laboratoriet för jonanalys var valda för att representera såväl båda körfälten som mätvärdenas fulla spannvidd. I Figur 44 är laboratorievärdenas sammanlagda natrium- och kloridmängd, omräknad från laboratoriets jonkoncentration till vad det motsvarar i form av saltmängd på vägytan, presenterad som röda ringar vid de avstånd tvärs vägen som de är insamlade på. Som synes ansluter de mycket väl till de saltmängder som är beräknade utifrån på platsen uppmätta konduktivitetsvärden, varför hela mätprofilen klassas som tillförlitlig.

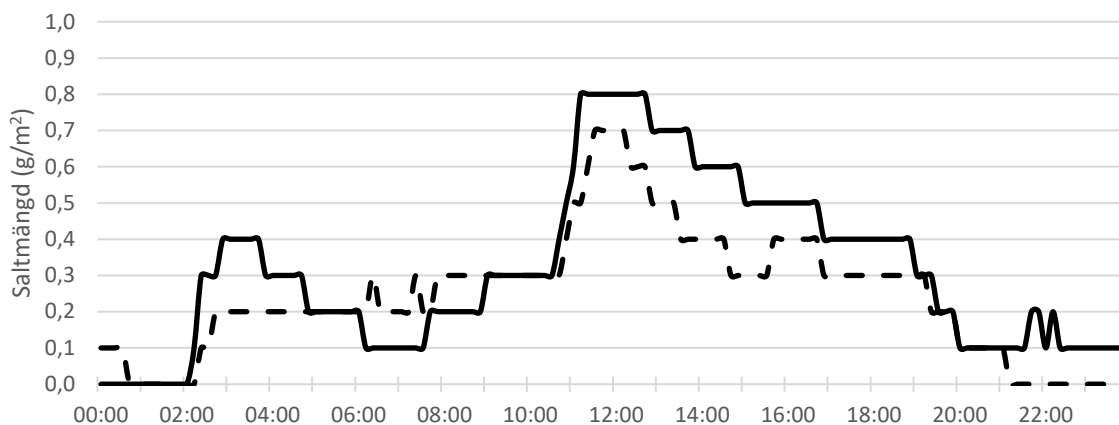
Tabell 7. Resultat av den kemiska analysen av de insamlade WSS-proverna 19 december 2019.

Prov	Kemiskt innehåll		
	Cl^- (mg/l)	Na (mg/l)	NaCl (g/m^2)
400 cm	91	55	3,72
460 cm	66	41	2,73
610 cm	94	58	3,87
790 cm	140	91	5,89

Salt uppmätt med sensorer

Den 19 december saltades det klockan 02:00, det syns tydligt i Figur 45. Vad som påverkar saltmängden vid 10:30 framgår inte i entreprenörens loggning. Dock sker nästa saltning klockan 15:30, det kan eventuellt antydmas mellan hjulspåren.

Det är väldigt låga saltnivåer som sensorn har noterats jämfört med de manuella mätningarna.

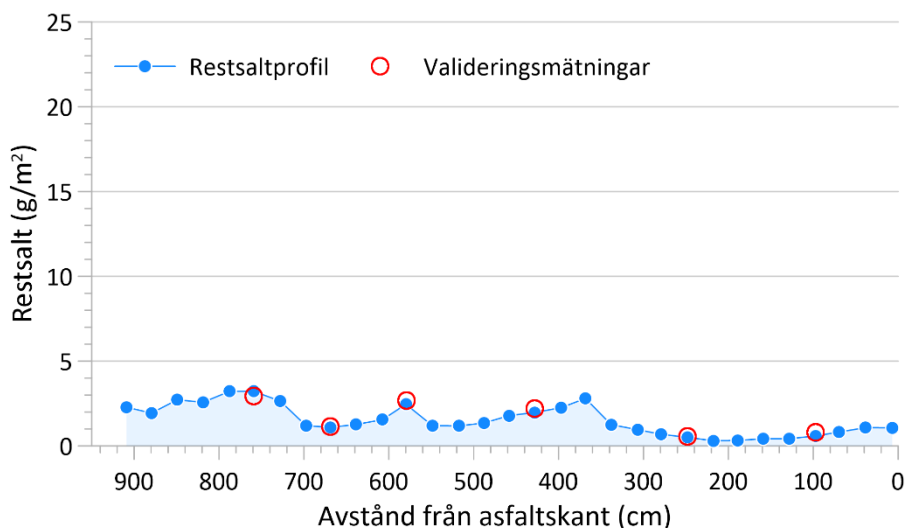


Figur 45. Saltmängd (DRS511) Testsite E18, 19 december 2019. Hjulspår (heldragen) och mellan hjulspår (streckad). Tidszon: Berlin.

5.3.4. Salt 9 januari 2020

Manuell mätning

Vid restsaltmätningen den 9 januari 2020 låg restsaltmängderna på endast några få gram per kvadratmeter. Liksom vid föregående mätning (19 december 2019) var saltmängden något högre i körfält K2 än i körfält K1. Även denna gång framträder hjulspåren med lägre saltmängder än i stråken mellan hjulspåren, även om det inte är helt tydligt.



Figur 46. Restsaltmängd (g/m^2) uppmätt i vägens tvärprofil. De röda ringarnas värden återfinns i Tabell 8.

Analys av salt

Den kemiska analysen som genomfördes av SynLab AB med avseende på innehåll av natrium (Na) och klorid (Cl^-) visas i Tabell 8. De analyserade proven är utvalda med tanke på att de ska

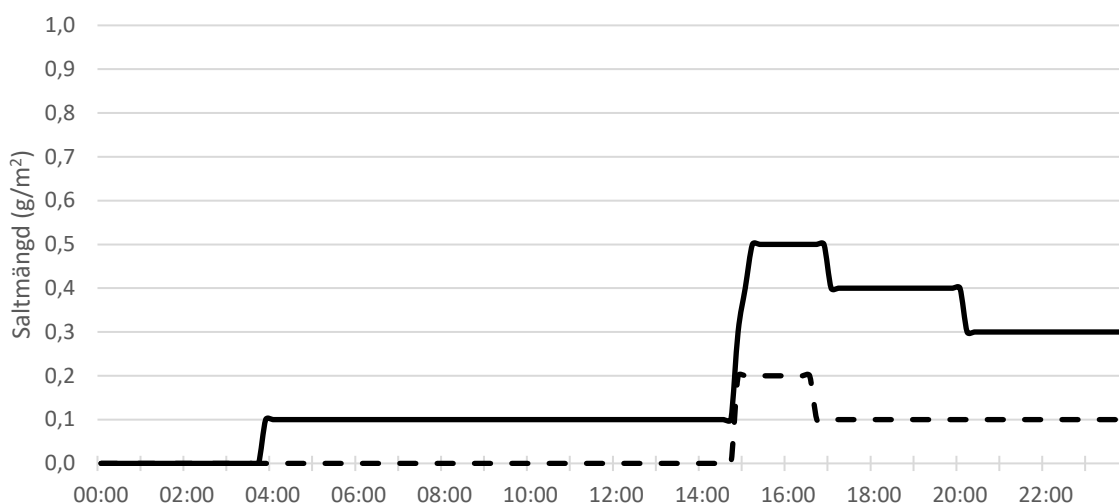
representera båda körfälten och såväl låga som höga halter och är presenterade som röda ringar i Figur 46. Som framgår ur figuren ansluter ringarna mycket väl till de utifrån den elektriska ledningsförmågan beräknade saltmängderna (den blå profilen i Figur 46) vilket stärker kvaliteten på hela restsaltmätningen.

Tabell 8. Resultat av den kemiska analysen av de insamlade WSS-proverna 9 januari 2020.

Prov	Kemiskt innehåll		
	Cl ⁻ (mg/l)	Na (mg/l)	NaCl (g/m ²)
100 cm	14	17	0,79
250 cm	13	8,4	0,55
430 cm	54	32	2,19
580 cm	63	42	2,68
670 cm	28	17	1,15
760 cm	68	47	2,93

Salt uppmätt med sensorer

Saltat klockan 03:00 och 14:30. Saltningen klockan tre märktes aldrig på sensorn mellan hjulspåren och tog en stund innan den i hjulspåren noterade, det kan bero på trafikmängden. Saltningen som sen gjordes på eftermiddagen kände sensorerna av redan efter cirka en kvart. Den spridda saltlösningen var nästan lika stora vid båda tillfällena.



Figur 47. Saltmängd (DRS511) Testsite E18, 9 januari 2020. Hjulspår (heldragen) och mellan hjulspår (streckad). Tidszon: Berlin.

5.3.5. Salt 30 januari 2020

Inget salt.

5.3.6. Salt 20 februari 2020

Inget salt.

5.3.7. Salt 12 mars 2020

Detta mätillfälle var planerat, men ställdes in på grund av rådande väder och brist på saltningsåtgärder.

5.3.8. Salt 10 november 2020

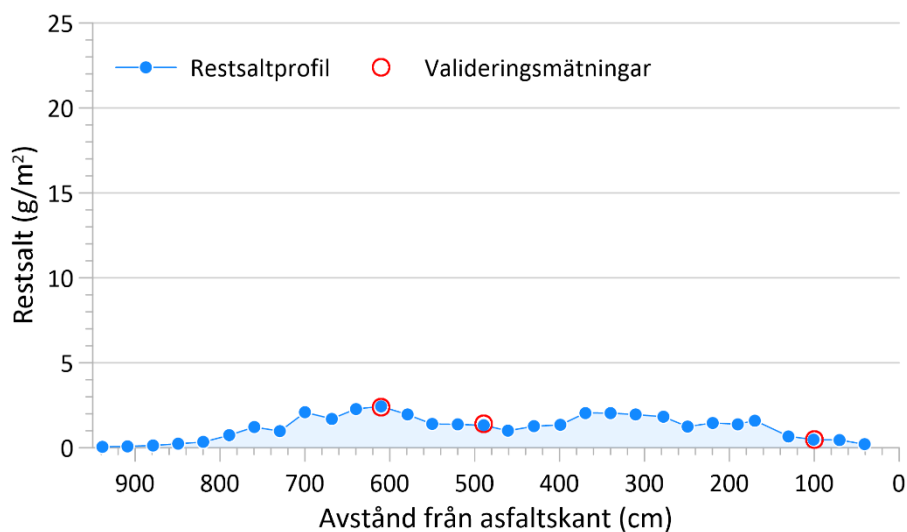
Manuell mätning och analys av salt

Den första av de två extra mätningarna kunde genomföras den 10 november 2020. Restsaltmängden låg vid det här tillfället under $2,5 \text{ g/m}^2$ på vägytan och det framgick ur saltmönstret (Figur 49) att saltspridningen täckt in hela körfält K1, men bara ungefär halva körfält K2 (Figur 48).



Figur 48. Saltningsmönster 10 november 2020, Testsite E18. Foto: A. Arvidsson.

Valideringsmätningar där jonanalys med avseende på natrium- och kloridjoner genomfördes vid tre av mätpunkterna, representerande höga, låga och mellanhöga värden. De analyserna presenteras som röda ringar i Figur 49 och visar väldigt god överensstämmelse med de uppmätta konduktivitetensvärdena. Hjulspåren framträder tydligast i körfält K1 (omkring 250 cm och 460 cm).



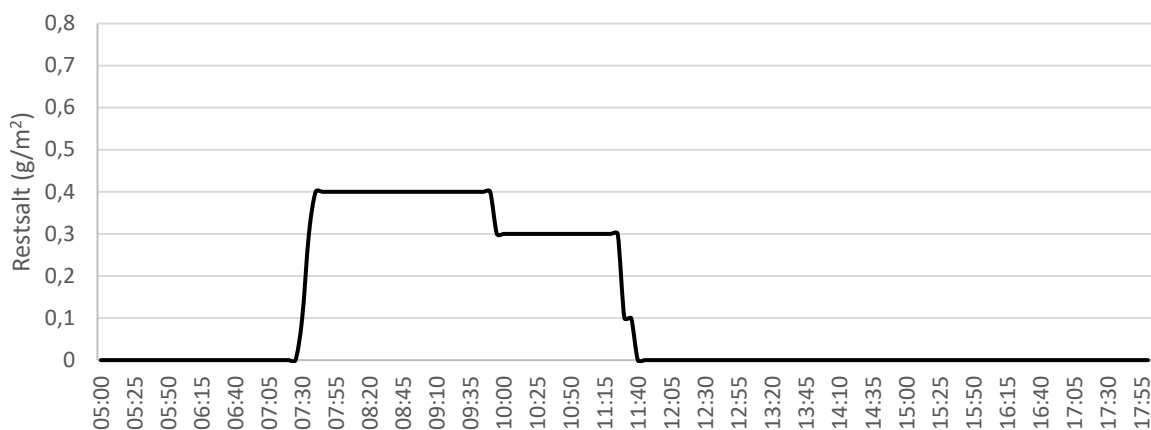
Figur 49. Restsaltmängd (g/m^2) uppmätt i vägens tvärprofil. De röda ringarna representerar valideringsmätningarna.

Salt uppmätt med sensorer

Vid detta tillfälle gjordes även några manuella mätningar i direkt anslutning till några av sensorerna för att se hur den uppmätta mängden stämmer med vad sensorerna mäter upp. En av skillnaderna är att vid de manuella mätningarna löses allt salt upp som finns på vägen, dvs det har ingen betydelse om vägen har torkat upp. Sensorerna kan bara mäta saltet som ligger löst på sensorn.

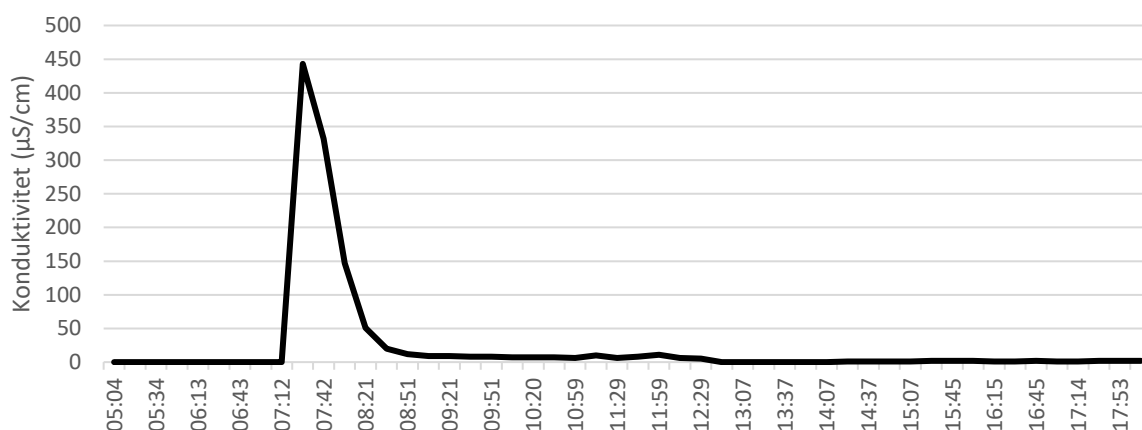
Tabell 9. Manuellt uppmätt salt (WSS) jämfört sensorer och sensorernas uppmätta värden 10 november 2020.

Sensor	Uppmätt Salt (WSS) (g/m ²)	Salt enligt sensor (g/m ²)	Tyta (°C)
Vaisala (MS7)	1,5	0,3	7,8
MetSense (MetSalt)	1,4	Fungerade ej	7,9



Figur 50. Saltvärden uppmätta av Vaisalas MS7 sensorer på testsite E18.

Det finns även sensorer utplacerade från Mowic. De mäter konduktiviteten och den 10 november registrerade den att det saltades vid halv åtta, därefter sjönk konduktiviteten fort. Vi mätte inte jämfört sensorer och redovisar därför bara mätvärdena i $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ledningsförmågan är något förhöjd fram till halv ett då vägen troligen hade torkat upp helt. Klockan 13:30 var vägens temperatur som högst för att därefter sakta sjunka (Figur 29), dagpunktstemperaturen steg något och troligtvis blev det en liten utfällning som aktiverade ledningsförmågan från saltet igen som kan ses som små variationer i diagrammet.



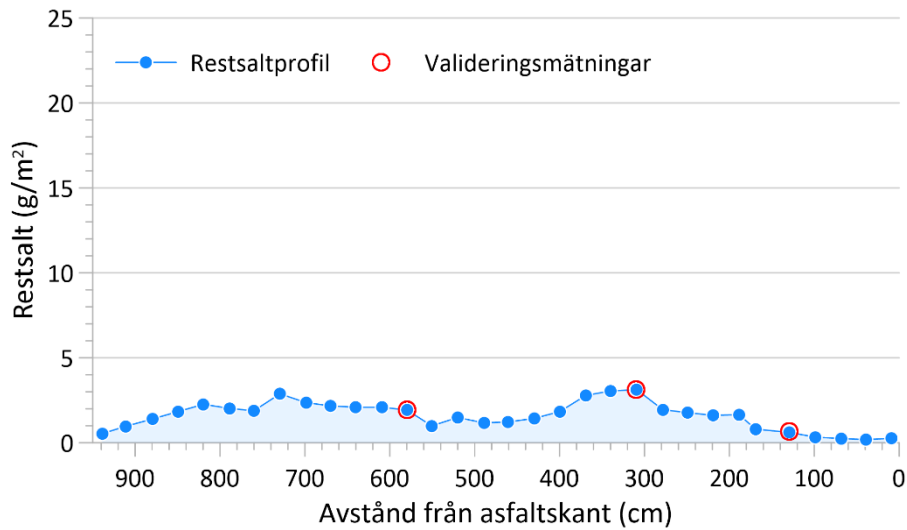
Figur 51. Konduktivitet uppmätt med Mowics sensor på testsite E18.

5.3.9. Salt 8 december 2020

Manuell mätning och analys av salt

Den andra av de två extra mätningarna 2020 kunde genomföras den 8 december. Restsaltmängden låg vid det tillfället under ca $3 \text{ g}/\text{m}^2$ på vägytan och det framgick ur saltmönstret att saltspridningen täckt in både körfält K1 och K2, men inte vägrenen (se Figur 52). De tre inlämnade saltproverna presenteras som röda ringar i figuren och visar väldigt god överensstämmelse med de uppmätta konduktivitets-

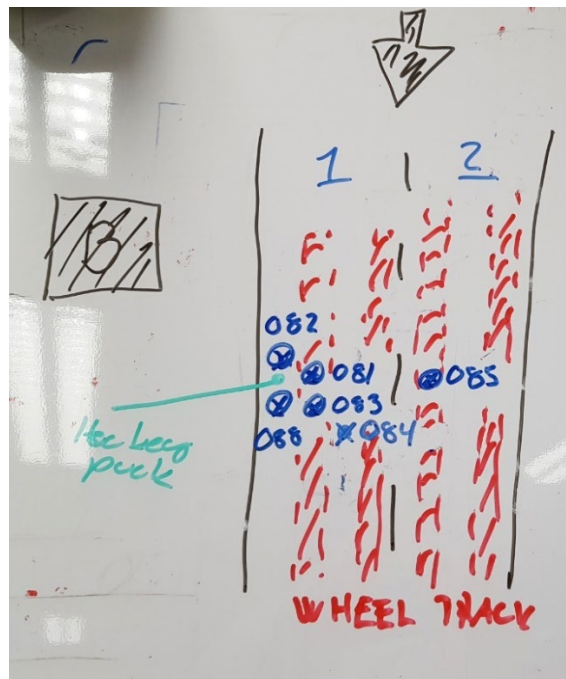
värdena. I detta fall är det en tydligare markering mellan hjulspåren med något större saltmängd än på övriga vägbanan.



Figur 52. Restsaltmängd (g/m^2) uppmätt i vägens tvärprofil. De röda ringarna representerar valideringsmätningarna.

Salt uppmätt med sensorer

Vid detta tillfälle hade precis 8 trådlösa givare (DRS611) installerats och vi mätte på några av dem. Vår dokumentation av mätningen vid dessa sensorer har lite mer att önska och var inte lätt att i efterhand koppla ihop med skissen över sensorernas placering som Trafikverket hade gjort (Figur 53). Därför redovisas våra mätningar bara som sensor 1–7.

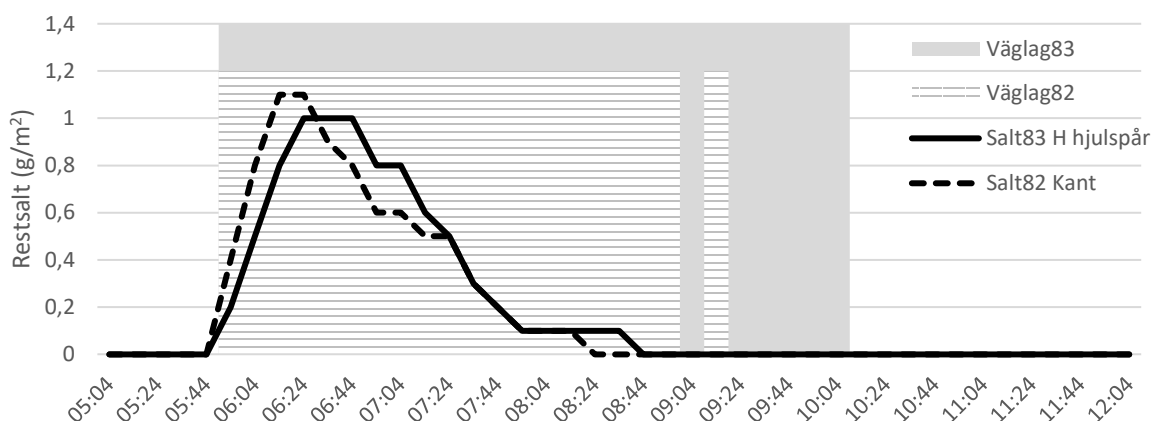


Figur 53. Körfält 1 med nedfrästa trådlösa sensorer DRS611 och skiss från Trafikverket över placeringen. Bild: A. Arvidsson respektive Trafikverket.

Tabell 10. Manuellt uppmätt salt (WSS) jämfte 7 av sensorerna IOT DRS611 samt sensorernas uppmätta värden 8 december 2020.

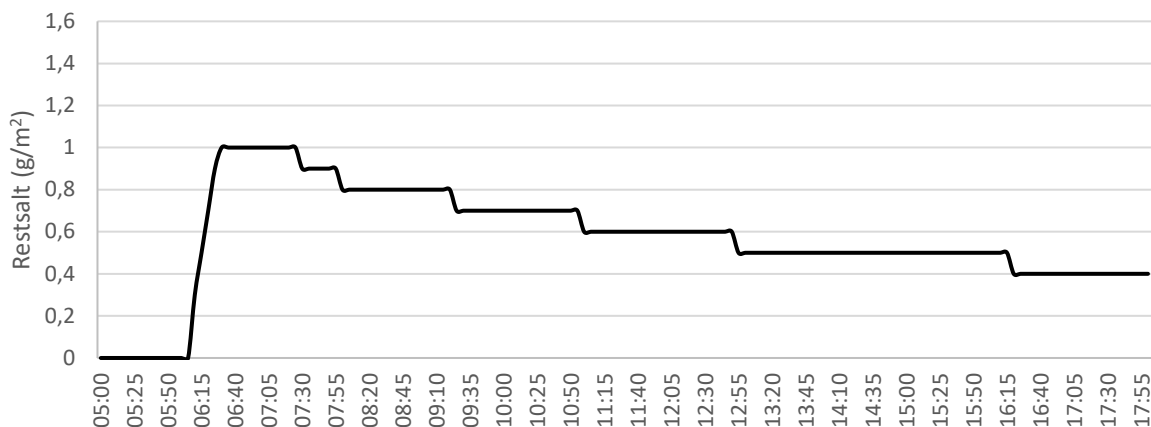
Sensor (DRS611)	Uppmätt Salt (WSS) (g/m ²)	Salt enligt sensor (g/m ²)	Tyta (°C)
1	0,9	0	4,6
2	1,2	0	4,4
3	1,8	0	4,4
4	2,5	0	4,4
5	2,4	0	4,4
6	1,4	0	4,2
7	1,7	0	4,4

För att se hur fort saltet försvinner enligt sensorerna har 082 och 083 valts ut för en närmare kontroll. Enligt den högra bilden i Figur 53 är de placerade mellan hjulspår och kant respektive i höger hjulspår. När dessa två sensorer jämförs med varandra ser det ut som att saltet och fukten från spridningen träffade hjulspåret 10 minuter innan den andra sensorn som sitter snett bakom i färdriktningen. Detta är troligtvis bara en tidsinställning. Det är dock intressant att se att saltet och fukten är kvar längre i hjulspåren om även att det bara är marginell skillnad. Väglaget noterades även av de sensorerna, som antingen torrt eller okänt. Samtidigt som sensorerna noterar att saltet placeras går väglaget från torrt till okänt och väglaget förblir okänt i högra hjulspåret 1,5 timmar efter att sensorn slutade notera saltet. Okänt antas här vara att sensorn detekterar torrt eller något av väglagen fuktigt, vått, snö eller is. På kanten torkade ytan upp fortare och övergick till torr (ofärgat i diagrammet). I figuren är ytan markerad med grå respektive randigt under den tiden som beläggningen vid respektive sensor inte är torr.



Figur 54. Uppmätt salt och väglag från IOT sensor 082 (mellan höger hjulspår och vägkant) och sensor 083 (höger hjulspår). Väglag betyder här att vägytan inte är torr.

Vaisalas sensorer från MS7:an på Testsite E18 visade under dagen ett sjunkande värde från att saltet lades ut klockan 6 på morgonen. Värdet vid tiden för mätningarna var något mindre än vad mätningarna visade. Vid tiden för mätningarna var det 0,6 g/m².

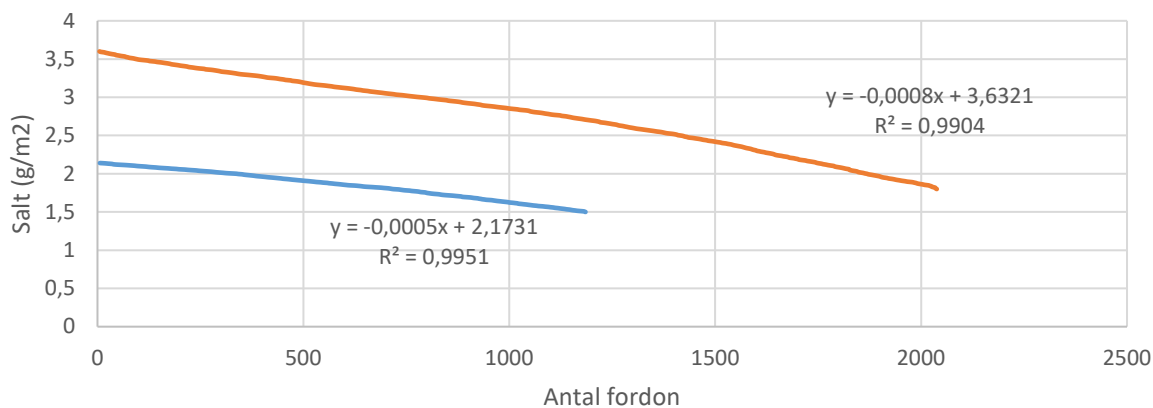


Figur 55. Saltvärden uppmätta av Vaisalas MS7 sensorer på testsite E18.

5.3.10. Sammanfattning

Eftersom mätmetoden med WSS (VTI-Wet Salt Sampler), som använts som referensinstrument för valideringsmätningar, utnyttjar destillerat vatten vilket löser upp eventuellt intorkat salt på vägytan svarar de mätningarna på hur mycket salt som faktiskt finns där till skillnad från de sensorer som finns nedfrästa i vägbanan som förutsätter att det finns fukt på vägen som löser upp saltet från sina saltkristaller i fast form till saltjoner i flytande form för att kunna mäta. När vägen torkar upp innebär det att sensorerna inte kan fortsätta att mäta och därför kan det i vissa fall se ut som att valideringsmätningarna visar på större saltmängder än saltsensorerna. Men om fukt tillförs borde sensorerna detektera salt igen utan att det har genomförts någon ny saltning.

Under de två sista mättillfällena har vi trafikräkning av alla fordon och i Figur 56 är saltets avklingande mot antal fordon plottade från att saltet spreds till att körfält 1 stängdes av och gjorde mätningarna.



Figur 56. Saltmängdens avtagande med trafik från utlägg till avstängning. 10 november (blå) och 8 december (röd). Båda mätningarnas regressionslinje för saltavklingning visas vid respektive mätning.

Den 10 november minskade saltet med 0,54 mg/m²/fordon och den 8 december var minskningen 0,84 mg. Trafikens fördelning av personbilar, lastbilar med och utan släp var likadana med 77 respektive 78 procent personbilar och 14 respektive 15 procent lastbilar med släp. Vägens ytemperatur under samma tid var något varmare i november 6,5°C mot 4,9°C i december. Det hade inte fallit någon nederbörd de 2 respektive 3 dagarna, därför borde vägen varit torr innan saltningen utfördes. Vinden var västlig 1,9 m/s mot 4,1m/s sydost. Vinden är den mest troliga skillnaden till att bortforslandet av salt var snabbare i decembermätningen. Den västliga vinden bidrar till att saltet som

virvlar upp från däcken i större utsträckning landar på körbanan igen eftersom vägen är belägen i väst till östlig riktning.

Generellt väldigt låga värden från sensorerna jämfört med de manuella mätningarna.

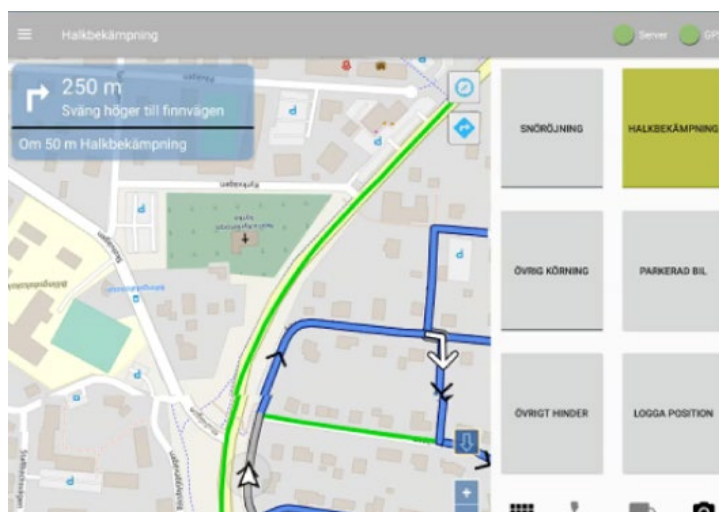
6. Resultat FAS 4 Automatisk saltspridning

Parallellt med Fas 3 har Fas 4 utvecklat metoder för automatisk saltspridning.

6.1. Framtagande av metodik och protokoll

För att ta fram metodik och de tekniska lösningar som behövs för att kunna genomföra denna första del genomförde BM System och Falköpings verkstäder en förstudie. Förstudien definierade de tekniska förutsättningarna för att kunna genomföra metodiken samt att utvecklingsspecifikationer togs fram.

Saltspridaren kopplas till en box i fordonet (BM SmartBox) med 2-vägs kommunikation. Boxen är ansluten till en surfplatta med applikationen BM Combo som hanterar kommunikation mellan BM RoadService (webbaserat ledningssystem) och spridaren. BM Combo hanterar även navigering med både röststyrning och tydligt kartstöd samt återrapportering av åtgärdsdata, det vill säga hur mycket salt som lagts ut och vilken aktivitet som utförts, exempelvis halkbekämpning eller plogning. Figur 57 visar ett exempel på navigeringsstöd.



Figur 57. Exempel på navigeringsstöd. Bild: BM System

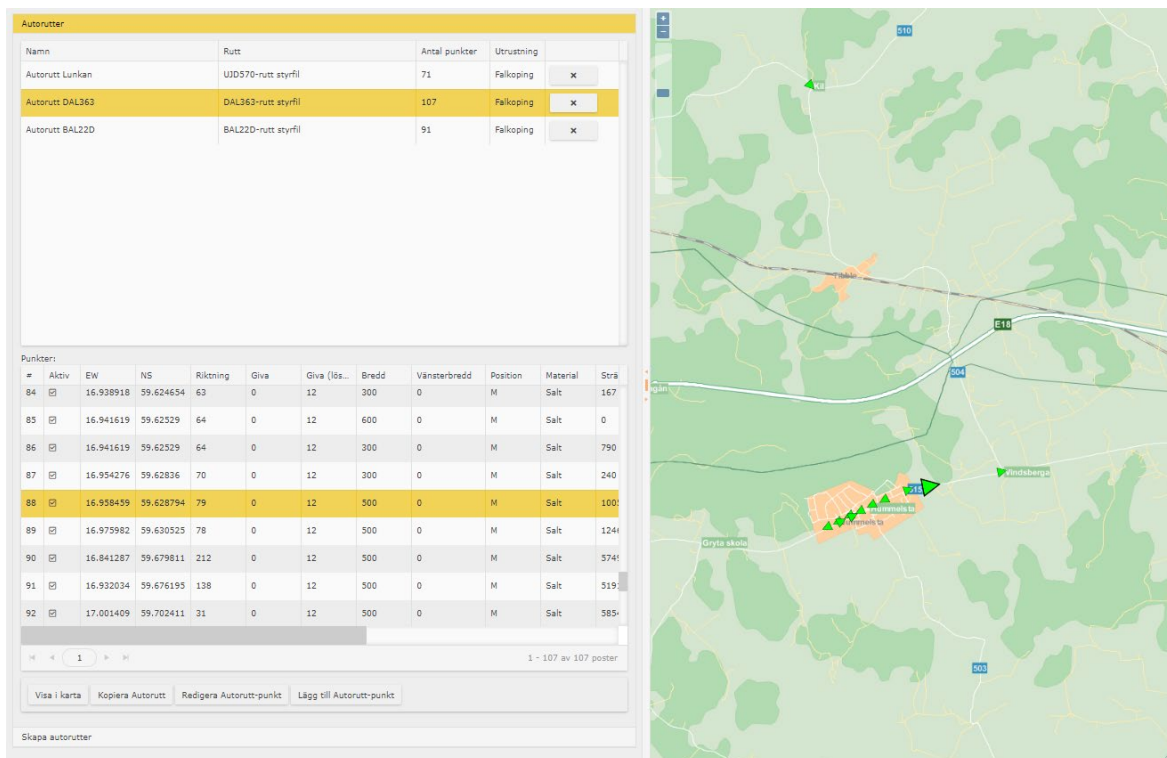
Lösningen bygger på att man med historiska inspelade data kan generera de spridarinställningar som behövs för GPS-styrd spridning. Filerna kan även editeras vid behov från kontoret.

Exempel på parametrar som används:

- spridningsbredd
- position på ”tallriken”
- koordinater för justering av inställning
- sträcka.

Utveckling genomfördes under hösten och vintern 2019/2020 och FAT 1 (Factory Acceptance Test) genomfördes i mars 2020. Efter genomförd FAT 1 gjordes justeringar i algoritmen och FAT 2 genomfördes med godkänt resultat.

I april 2020 genomfördes SAT (System Acceptance Test) i Enköping med ett fordon med godkänt resultat. Under SAT uppkom behov av justeringar i vissa funktioner vilket genomfördes. Justeringarna omfattade metodik för överföring av styrfiler för att korta ner överföringstiden. Exempel på gränssnittet där styrfiler genereras samt kan editeras kan ses i Figur 58.



Figur 58. Exempelbild på gränssnittet där styrfiler genereras samt kan editeras. Bild: BM System

I det första steget bygger algoritmerna på att jourhavande anger sin grundgiva med salt (materialtyp samt mängder) manuellt vid utkallningstillfället. Algoritmen fördelar då givan (bredd och mängd) olika efter hur variationen av saltgivan såg ut vid inspelningstillfället av den historiska data som styrfilen är baserad på. Vid utkallningstillfället bestämmer jourhavande vilken styrfil som ska användas för det specifika tillfället. Här nedan ges några exempel på olika styrfiler.

- styrfil för ren lösningskörning med höghastighetspridare
- styrfil för körning med befuktat salt
- styrfil för kombispridare.

Behovet av styrfiler varierar beroende på vilka spridarutrustningar som finns att tillgå, samt hur många olika saltningsstrategier man använder. Behovet varierar stort över landet och programmet är byggt för att respektive användare själv kan generera de styrfiler som behövs för respektive verksamhet.

Exempel:

Om grundgivan vid inspelningstillfället var 10 gram saltlösning och vid en specifik vägsträcka ökar föraren givan till 12 gram saltlösning. Detta hanterar systemet i de framtagna algoritmerna och räknar upp saltmängden för den specifika vägsträckan till en giva motsvarande skillnaden.

Inför en preventiv saltningsrunda beslutar jourhavande att grundgivan skall vara 8 gram saltlösning. Systemet lägger in det i styrfilen, samt beräknar justeringar så för de vägsträckor som avviker. Spridaren lägger då ut 8 gram överallt utom för de specifika vägsträckor som räknas om till motsvarande procentuell skillnad baserat på den historiska inspelningens mängd.

När föraren accepterat utkallningen och startar upp appen i fordonet laddas automatiskt rutt och styrfil ner. Föraren startar upp spridaren och godkänner inläsning av dagens styrfil och kan börja sin runda.

6.2. Saltgiva från prognos

När metod och teknik var klart gick projektet vidare med att koppla föreslagen saltgiva från prognosleverantör till respektive väglänk och integrera saltförslagen i styrfilen för att möjliggöra selektiv saltgiva baserat på prognos.

Förberedelser och specifikationer för genomförande är framtagna. Under projektets gång har det utförts en mängd utvärderingar av prognoskvalitet dels via veckovisa avstämningar, dels via utvärderingar av respektive prognosleverantör.

Det har vid dessa utvärderingar tydligt framkommit att prognosleverantörerna inte har uppnått den prognoskvalitet som krävs för att slutanvändaren skall kunna känna förtroende för en automatiserad hantering av saltgiva baserat på prognos. De vill tills vidare fortsätta med lösningen där jourhavande bestämmer vilka mängder som skall användas.

Beslut fattades i projektgruppen att avvakta med starten av utvecklingen av prognosstyrd saltgiva, då detta ej kommer att kunna slutföras under den projekttid som återstod.

7. Modellberäkning MORS

I MORS-modellen kan man göra beräkningar som tar hänsyn till vindhastighet, vindriktning, nederbörd, trafikmängd och saltgivor. Saltgivan är beräknad utifrån om det är torrsalt och/eller lösning, men även med antagandet att 15% av saltet initialt inte landar på vägen.

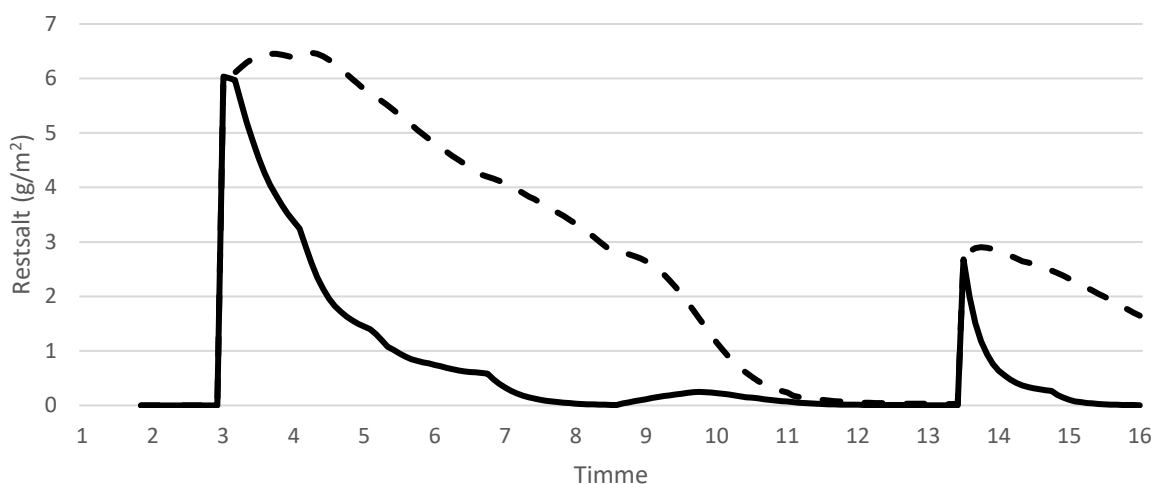
MORS-modellen kördes med aktuella data för väder, saltåtgärdstillfällena och åtgärdsmängder för mätkampanjen vintern 2019/2020, men även för den första mätningen den 31 januari 2019 och de två extrainsatta saltningstillfällena hösten 2020.

Av de saltningstillfällena vid Testsite E18 som gjordes under främst vintern 2019/2020 var det vanligast med en giva med 12 g/m^2 lösning vilket då motsvarar $2,1 \text{ g/m}^2$ när det landar på vägen, förutsatt att det var 21 procentig saltlösning med 15 procent initialtapp.

7.1.1. Modellberäkning 31 januari 2019

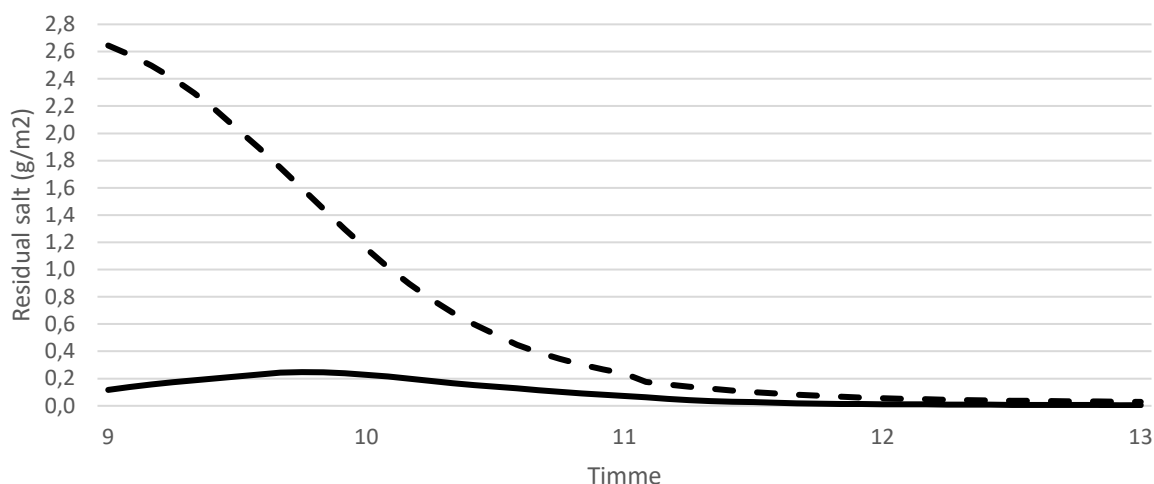
När modellen körs med väderdata den 31 januari 2019 blev mängden restsalt enligt Figur 59. Saltet lades ut vid klockan tre på morgonen och i hjulspåren avtar saltmängden ganska fort även om givan hade varit stor från början. Mellan hjulspåren ökar det något initialt på grund av att saltet omfördelas när trafiken skvätter bort salt från hjulspåren och det landar mellan hjulspåren.

Efter ca 5 timmar eller 2000 fordon är saltet borta enligt modellen.



Figur 59. Saltmängd enligt MORS-algoritmer Testsite E18, 31 januari 2019. Hjulspår (heldragen) och mellan hjulspår (streckad).

Om man tittar lite närmare på den tiden som saltmätningarna utfördes (Figur 60) ser man att det är ungefär $0,1 \text{ g/m}^2$ salt kvar i hjulspåren och mellan hjulspåren sjunker det under våra mätningar från ungefär $0,60$ till $0,04 \text{ g/m}^2$.

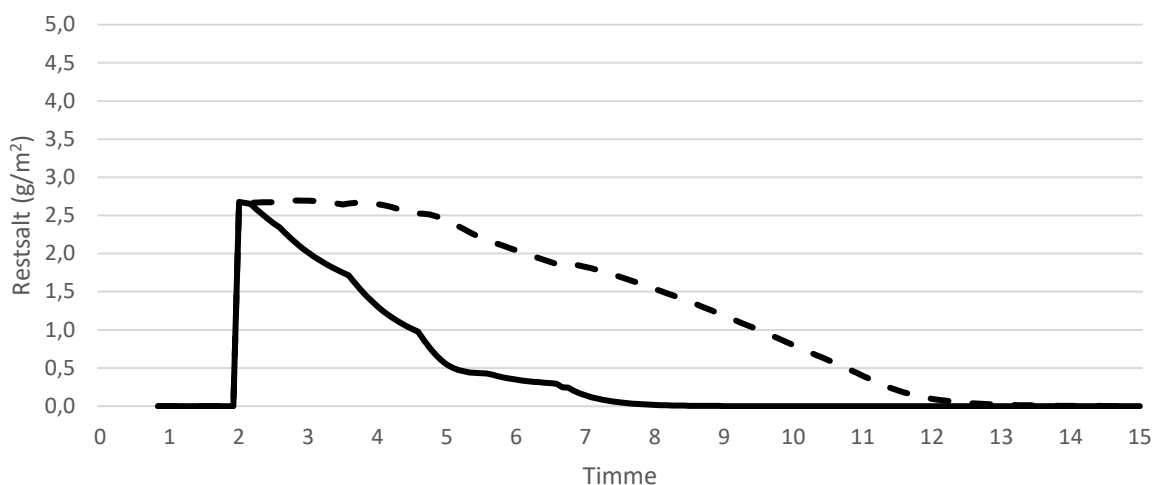


Figur 60. Restsalt enligt MORS vid tiden för mätning på Testsite E18 inzoomad från Figur 59. Hjulspår (heldragen) och mellan hjulspår (streckad).

Jämförs MORS-modellens resultat med mätningarna som gjordes den sista januari (Figur 42) är de mycket lägre. De uppmätta värdena i körfält 2 (valdes eftersom körfält 1 var snötäckt vid mätningarna) var ca 4,5 g/m² i hjulspår och ca 7,5 g/m² mellan hjulspåren. MORS-modellen räknar ut motsvarande till ca 0,06 g/m² och 0,18 g/m² vid tiden för mätning.

7.1.2. Modellberäkning 19 december 2019

Efter ca 6 timmar eller 1800 fordon är saltet borta i hjulspåren enligt modellen (Figur 61).



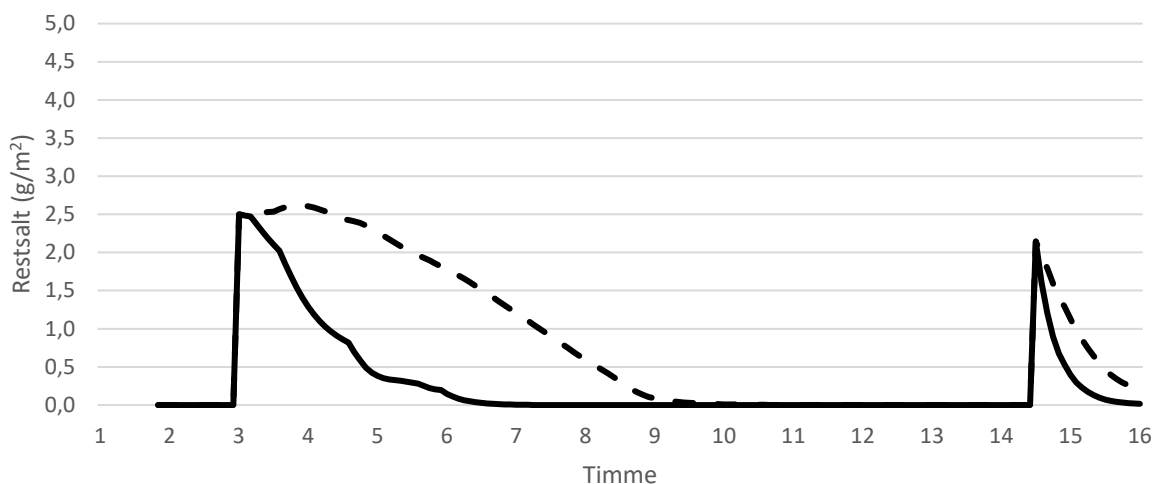
Figur 61. Saltmängd enligt MORS-algoritmer Testsite E18, 19 december 2019. Hjulspår (heldragen) och mellan hjulspår (streckad).

När modellen räknar är det inget salt kvar i hjulspår och bara ytterst lite salt kvar mellan hjulspåren vid den tiden som fältmätningarna utfördes. Mätningarna började vid 9:30 och då var det ungefär 1 g/m² och sjunkande med ca 0,4 g/m² per timme. Detta kan jämföras med ca 2,5 g/m² som var det lägsta uppmätta värdet i hjulspåren under mätningen den dagen.

7.1.3. Modellberäkning 9 januari 2020

Enligt modellen är det inget salt kvar varken i hjulspår eller mellan hjulspår vid tiden för mätningarna.

Efter ca 4 timmar eller 1200 fordon är saltet borta i hjulspåren enligt modellen (Figur 62). Det tar något längre tid mellan hjulspåren och det sista försvinner under tiden för mätningarna som började vid 9:30.

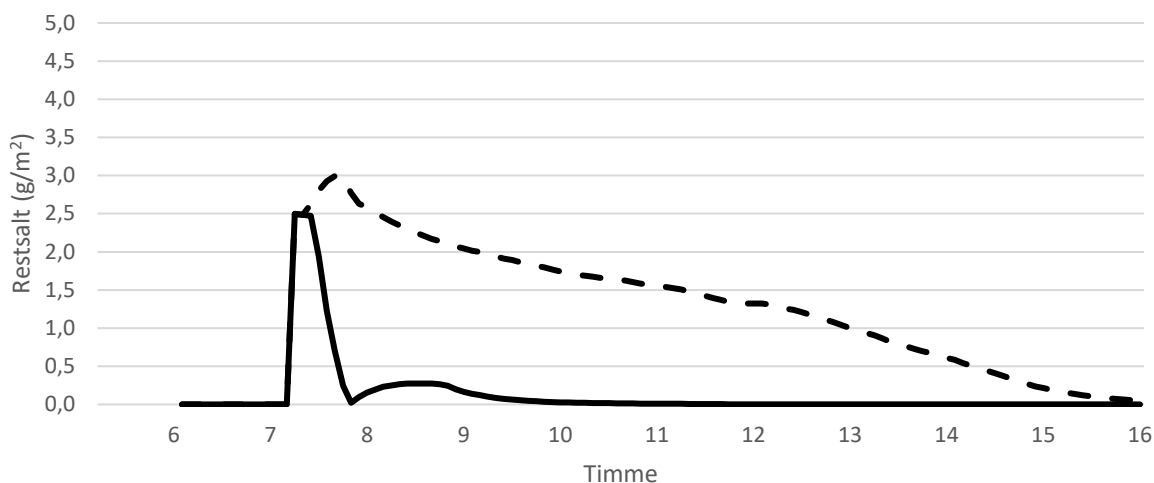


Figur 62. Saltmängd enligt MORS-algoritmer Testsite E18, 9 januari 2020. Hjulspår (heldragen) och mellan hjulspår (streckad).

7.1.4. Modellberäkning 10 november 2020

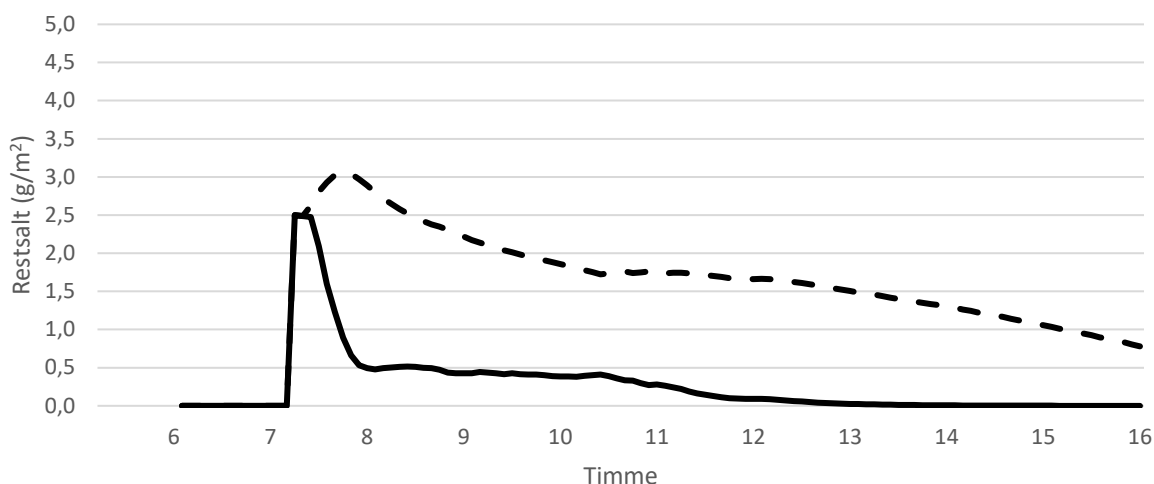
Enligt modellen är saltet borta från hjulspåren efter nästan 3 timmar eller 1200 fordon (Figur 63). Dvs ungefär när våra mätningar startade.

Vid just detta tillfälle påverkar vinden mängden kvarvarande salt väldigt mycket och om modellen körs som att det var vindstilla stannar saltet kvar mycket längre i hjulspåren, även om det är en mindre mängd än vad mätningarna visade, $0,5 \text{ g/m}^2$ mot 1 g/m^2 .



Figur 63. Saltmängd enligt MORS-algoritmer Testsite E18, 10 november 2020. Hjulspår (heldragen) och mellan hjulspår (streckad).

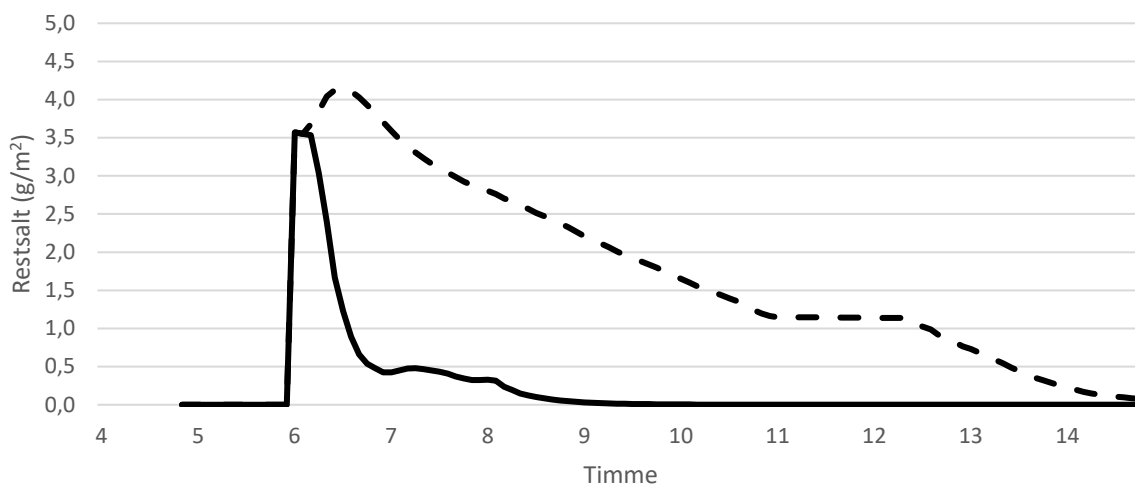
Hade det varit vindstilla hade det krävts 2000 fordon eller ca 6 timmar innan saltet varit borta från hjulspåren (Figur 64).



Figur 64. Saltmängd enligt MORS-algoritmer Testsite E18, 10 november 2020 om det hade varit vindstilla. Hjulsår (heldragen) och mellan hjulsår (streckad).

7.1.5. Modellberäkning 8 december 2020

Vid denna sista modellering var saltet borta efter 1600 fordon eller 3,5 timme (). Om modellen körs som att det var vindstilla stannade saltet under de sedvanliga 2000 fordonen. Det syns ganska tydligt när trafiken stängdes av och restsaltmätningar genomfördes. Det är när saltet mellan hjulsåren inte förändras mellan 11:00 och 12:20.



Figur 65. Saltmängd enligt MORS-algoritmer Testsite E18, 8 december 2020. Hjulsår (heldragen) och mellan hjulsår (streckad).

Om dessa värden jämförs med de på platsen uppmätta i Figur 52 ligger modellens värden klart lägre än de uppmätta för främst hjulsåren där det mättes upp ca 1,5 g/m². Mellan hjulsåren mättes det toppar på 3 g/m², vilket är ca dubbelt jämfört med modellen.

7.1.6. Modelljustering

I samband med analyserna gjordes en del anpassningar i MORS-modellen för att stämma med teststräckan. Det gjordes även en hel del justeringar och tester för att få modellen att stämma bättre överens med de verkligt uppmätta saltmängderna.

Eftersom det blev så pass få saltmätningar när det var verkligt vintriga förhållanden kändes dessa tester inte relevanta att redovisa. Resultatet hade kunnat stämma bättre om modellen justerats, men beslutet togs att de ändå hade blivit för osäkra eftersom de inte hade kunnat verifierats tillräckligt mycket för att bedömas modellera verkligheten på ett bättre sätt med andra förhållanden. De testade ändringarna kan vara en bra grund när det finns fler mätningar att jämföra med.

7.1.7. Sammanfattning

Modellen verkar transportera bort saltet fortare och med färre fordonspassager än vad som sker i verkligheten. Vinden verkar även påverka borttransporteringen mer i modellen. I de modellerade fallen där det har funnits kvar salt i och mellan hjulspåren är det klart mindre mängder än de som mättes.

8. Slutsatser

8.1. FAS 3

Projektet var ursprungligen tänkt att inledningsvis genomföras med en litteraturgenomgång av befintliga restsaltmodeller, vattenbalansmodeller samt beskrivningar av salt- och fuktsensorer, vilket gjordes mestadels under 2019. Sedan dess har nya sensorer utvecklats, men denna del har inte innefattat olika modeller utan är mer koncentrerad på de olika teknikerna.

Som steg två i projektet skulle en utvärdering av salt-/fuktsensorer göras för att undersöka om de sensorer som är installerade kan mäta tillfredsställande mängden salt på vägytan. Detta har gjorts genom stickprovsvisa referensmätningar i fält. Förhoppningarna innan projektet startade var att kunna mäta under olika väderförhållanden med olika fuktgrad och temperaturer för att kunna representera relevanta vinterförhållanden. Detta var svårare än vi trott beroende av de gångna vintrarnas väder. Det har även varit problem med vissa sensorer som inte fungerat vid de tillfällen när mätningarna har genomförts.

MORS-modellen är en restsaltsmodell och togs fram i ett NordFoU-projekt som genomfördes på Bygholm i Horsens (Danmark). Det genomfördes en lång serie försök och testkörningar. Effekten av olika parametrar som påverkar restsaltprocessen har undersökts och analysen av dessa experiment ligger till grund för modellen. Alla de dagar som mätningar har gjorts har även modellerats med aktuellt väder, saltgiva och trafikmängd. Dock krävs det fler mätningar för att verkligen kunna justera modellen för att beräkna takten av saltets försvinnande från vägen. Generellt verkar saltet klinga av fortare i modellen än i verkligheten. Modellen är byggd på mätningar gjorda under kontrollerade former i Danmark och en motorväg i Sverige med kanske främst högre hastigheter och mer trafik, men troligtvis även en annan beläggning på vägen kan påverka hur modellen beräknar saltets försvinnande.

Av de 9 genomförda mätningarna har det bara varit 5 tillfällen med salt och två av dem saltades enbart för våra mätningar. Kvar var tre mätningar under vinterförhållanden varav två var med temperaturer under noll grader. Det fanns bara exakt trafikräkning vid de två sista mättillfällena, när vädret egentligen inte krävde saltning. Dock visar dessa två mätningar och modellkörningarna på att saltets borttransport från vägen påverkas mest av antalet fordon och de rådande vindförhållandena.

8.2. FAS 4

Projektet har skapat förutsättningar och lett till utvecklingen av funktioner för automatisk saltspridning. Med de nyutvecklade funktionerna kan man idag säkerställa att salt distribueras på rätt sätt över vägytan utan att vara beroende av kompetensen hos enskilda förare.

Detta medför en ökad trafiksäkerhet då föraren kan fokusera på framförandet av fordonet och inte behöver justera inställningar av spridaren under tiden som hen kör. Det innebär även en minskad miljöpåverkan då saltförbrukningen minskas då mindre salt hamnar utanför vägytan. Funktionen har mottagits mycket positivt av både beredskapshavare och de testpiloter som kört detta skarpt. Lösningen är under införande på flera driftområden samt även på kommuner och beräknas få en stor spridning till vintern 2021–2022. Intresse har även inkommit från fler spridartillverkare och lösningen kommer över tid omfatta ytterligare fabrikat och beräknas få en stor spridning på både trafikverkskontrakt och inom kommuner.

8.3. Sammanfattning och fortsatt forskning

Ett ämne som detta kommer troligen aldrig att få slut på forskningsidéer, det går alltid att göra utredningar om hur väl modeller och sensorer stämmer överens med verkligheten.

Möjligheterna med dynamisk drift i form av att utifrån prognoser av väder, väglag och kvarvarande saltmängder (restsalt) dynamiskt välja och anpassa vinterväghållningsåtgärder, eller till och med till viss del automatisera dem, är uppenbarligen stora. Kritiskt är dock att inte göra fel val, manuellt eller automatiserat, på grund av att prognoserna eller deras underlag är felaktiga. Då prognoserna bygger på förenklade modeller som i bästa fall kontinuerligt kan stämmas av mot uppkopplade sensorer gäller det att modellerna och sensorerna är så bra som möjligt; modellerna ska klara alla relevanta vädersituationer och sensorerna ska ge korrekta mätvärden av relevanta parametrar.

Det räcker alltså inte att validera prognosmodellerna mot sensorer, det gäller också att man har full kunskap om vad sensorernas mätvärden representerar. En sensor kan vara fullt fungerande och mäta helt korrekt det den utsätts för (i form av salt, vatten/snö/is och temperatur), men om det inte representerar annat än just ytan av sensorn medan förhållandena i hjulspåren och på vägbanan i övrigt råkar vara helt annorlunda, så är den sensorn av ringa värde.

Därför kan det sammanfattas att möjligheterna är stora, men utmaningarna är också relativt stora.

Prioriteringen för framtida forskning landar i ett insatsbehov av att genomföra manuella valideringsmätningar som syftar till att säkra att modellerna fungerar vid utvalda relevanta vädersituationer, och inte bara de som rått när modellerna togs fram, samt att sensorerna mäter korrekt och representerar de ytor de ska.

Testsite E18, Sagån, är som klippt och skuren för att genomföra sådana forskningsmässiga valideringsmätningar som prioriteras, särskilt när det kommer till att jämföra hur snabbt en saltningsåtgärd har verkan. Upprepade mätningar med och utan trafik kan ge bättre förståelse för hur länge saltet finns kvar på vägen vid olika väderförhållanden.

Fokusera på ett körfält. Då avstängningen av ett körfält i taget gör att trafiken bryter sina förväntade positioner i körfälten och kör på andra avstånd i tvärprofilen, försvåras tolkningen av mätresultaten. Ett attraktivt alternativ vore att framgent fokusera på att endast beskriva körfält K1 som då antingen är ordinarie trafikerat eller helt avstängt utan något mellanting där trafiken kör vid sidan om sina vanliga hjulspår.

Hela saltbudgeten med saltgivor, avrinning, bortstänkning och restsalt hade även varit bra att kunna dokumentera.

Mätningar bör även planeras bättre, så om möjligt bättre fånga när det är vintriga förhållanden.

Referenser

- Arvidsson, A. K. och Blomqvist, G. 2019. Restsaltmodeller för beslutsstödsystem. PM. VTI Diarienummer: 2018/0550-9.1.
- Blomqvist, G. och Gustafsson, M. 2004. Patterns of Residual Salt on Road Surface: Case Study. Transportation Research Circular E-C063, Transportation Research Board, National Research Council. pp. 602–608. Washington, D.C., US.
- Blomqvist, G. och Gustafsson, M. 2012. Residual salt and road surface wetness – comparison of field techniques. In *Proceedings of the International Conference on Winter Maintenance and Surface Transportation Weather, Coralville, Iowa, USA, 30 April - 3 May 2012*. 443-449.
- Blomqvist, G., Gustafsson, M., Eram, M. och Ünver, K. 2011. Prediction of salt on road surface: tool to minimize use of salt. In *Proceedings of the Transportation Research Record, Washington D.C., US, 2011*. 131-138.
- Denby, B. R., Sundvor, I., Johansson, C., Pirjola, L., Ketzler, M., Norman, M., Kupiainen, K., Gustafsson, M., Blomqvist, G. och Kauhaniemi, M. 2013. A coupled road dust and surface moisture model to predict non-exhaust road traffic induced particle emissions (NORTRIP). Part 2: Surface moisture and salt impact modelling. *Atmospheric Environment*, 81. 485-503.
- Eram, M. M., Blomqvist, G., Thordarson, S. och Lysbakken, K. R. 2013. Modelling Residual Salt – MORS. <http://vti.diva-portal.org/smash/get/diva2:674222/FULLTEXT02.pdf>, [Tillgänglig 30 augusti 2021].
- Fujimoto, A., Tokunaga, R. A., Kiriishi, M., Kawabata, Y., Takahashi, N., Ishida, T. och Fukuhara, T. 2014. A road surface freezing model using heat, water and salt balance and its validation by field experiments. *Cold Regions Science and Technology*, 106. 1-10.
- Gustafsson, M., Bennet, C., Blomqvist, G., Johansson, C., Norman, M. och Sjövall, B. 2011. Utvärdering av städmaskinens förmåga att minska PM10-halter. VTI Rapport 707. VTI. Linköping, Sweden.
- Hunt, C. L., Mitchell, G. F. och Richardson, W. 2004. Field persistence of anti-icing sodium chloride residuals. In *Proceedings of the Transportation Research Circular E-C063: Sixth International Symposium on Snow Removal and Ice Control Technology, Spokane, Washington, US, 7-9 June 2004*. 609-622.
- Jonsson, P., Blomqvist, G. och Gustafsson, M. 2008. Wet dust sampler: technological innovation for sampling particles and salt on road surface. In *Proceedings of the Fourth National Conference on Surface Transportation Weather and Seventh International Symposium on Snow Removal and Ice Control Technology June 16–19, 2008 Indianapolis, Indiana, 2008*. Transportation Research Board, TRB. 102-111.
- Kangas, M., Heikinheimo, M. och Hippel, M. 2015. RoadSurf: a modelling system for predicting road weather and road surface conditions. *Meteorological Applications*, 22: 3. 544-553.
- Lundberg, J., Blomqvist, G., Gustafsson, M., Janhäll, S. och Järleskog, I. 2019. Wet Dust Sampler—a Sampling Method for Road Dust Quantification and Analyses. *Water, Air, & Soil Pollution*, 230: 8. 180.
- Lysbakken, K. R. och Norem, H. 2008. The Amount of Salt on Road Surfaces after Salt Application. A Discussion of Mechanisms and Parameters. In *Proceedings of the Transportation Research Circular E-C126: Surface Transportation Weather; Snow and Ice Control, Indianapolis, Indiana, US, 16-19 June 2008*. pp. 85-101.
- Lysbakken, K. R. och Norem, H. 2011. Processes that control development of quantity of salt on road surfaces after salt application. *Transportation Research Record*, 2258: 1. 139-146.

- Nordin, L., Riehm, M., Gustavsson, T. och Bogren, J. 2013. Road Surface Wetness Variations: Measurements and Effects for Winter Road Maintenance. *Journal of transportation engineering*, 139: 8. 787-796.
- Nygaard, H. 2003. Rapport Restsaltmåleren SOBO 20. Vinterudvalget, Denmark.
- Ruiz-Llata, M., Martín-Mateos, P., López, J. R. och Acedo, P. 2014. Remote optical sensor for real-time residual salt monitoring on road surfaces. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 191. 371-376.
- SMHI. 2020, 'Vintern 2020', [Online] (Uppdaterad 4 april 2020). <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/arets-vader/vintern-2020-ovanligt-rekordrik-vinter-1.155690>, [Tillgänglig 6 april 2020].
- Thordarson, S., Blomqvist, G., Eram, M. M. och Lysbakken, K. R. 2015. Implementeringsguide restsaltmodell. http://www.nordfou.org/Documents/MORS/MORS_Implementeringsguide.pdf, [Tillgänglig 15 april 2019].
- Trafikverket. 2020, 'PMSV3 - information om belagda vägar (website in Swedish)', [Online] <https://pmsv3.trafikverket.se/>, [Tillgänglig 18 februari 2020].
- Trafikverket. 2021, 'PMSV3 - information om belagda vägar (website in Swedish)', [Online] <https://pmsv3.trafikverket.se/>, [Tillgänglig 31 maj 2021].
- Wallman, C.-G., Möller, S., Blomqvist, G., Bergström, A. och Gaunt, H. 2005. Tema Vintermodell: Etapp 1. VTI meddelande 958. Linköping, Sweden.
- Wallman, C.-G., Möller, S., Blomqvist, G., Gustafsson, M., Niska, A., Öberg, G., Berglund, C. M. och Karlsson, B. O. 2006. Tema Vintermodell: Etapp 2 Huvudrapport. VTI Rapport 531. Linköping, Sweden.

OM VTI

VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut, är ett oberoende och internationellt framstående forskningsinstitut inom transportsektorn. Vår huvuduppgift är att bedriva forskning och utveckling kring infrastruktur, trafik och transporter. Vi arbetar för att kunskapen om transportsektorn kontinuerligt ska förbättras och är på så sätt med och bidrar till att uppnå Sveriges transportpolitiska mål.

Verksamheten omfattar samtliga transportslag och områdena väg- och banteknik, drift och underhåll, fordonsteknik, trafiksäkerhet, trafikanalys, människan i transportsystemet, miljö, planerings- och beslutsprocesser, transportekonomi samt transportsystem. Kunskapen från institutet ger beslutsunderlag till aktörer inom transportsektorn och får i många fall direkta tillämpningar i såväl nationell som internationell transportpolitik.

VTI utför forskning på uppdrag i en tvärvetenskaplig organisation. Medarbetarna arbetar också med utredning, rådgivning och utför olika typer av tjänster inom mätning och provning. På institutet finns tekniskt avancerad forskningsutrustning av olika slag och körsimulatorer i världsklass. Dessutom finns ett laboratorium för vägmateriell och ett krocksäkerhetslaboratorium.

I Sverige samverkar VTI med universitet och högskolor som bedriver närliggande forskning och utbildning. Vi medverkar även kontinuerligt i internationella forskningsprojekt, framförallt i Europa, och deltar aktivt i internationella nätverk och allianser.

VTI är en uppdragsmyndighet som lyder under regeringen och hör till Infrastrukturdepartementets verksamhets-/ansvarsområde. Vårt kvalitetsledningssystem är certifierat enligt ISO 9001 och vårt miljöledningssystem är certifierat enligt ISO 14001. Vissa provningsmetoder vid våra laboratorier för krocksäkerhetsprovning och vägmateriellprovning är dessutom ackrediterade av Swedac.

vti

Statens väg- och transportforskningsinstitut • www.vti.se • vti@vti.se • +46 (0)13-20 40 00
