



# Dynamisk prognosstyrd vintervägdrift

## Summering av Fas 1

Anna K. Arvidsson  
Mats Wärme  
Olle Eriksson  
Andreas Bäckström



# Dynamisk prognosstyrd vintervägdrift

## Summering av Fas 1

Anna K. Arvidsson

Mats Wärme

Olle Eriksson

Andreas Bäckström



Diarienummer: 2016/0439-9.1  
Omslagsbilder: Mostphotos  
Tryck: VTI, Linköping 2017

---

## Förord

---

Utvecklingen går ständigt framåt och ny teknik är ett bra sätt att förenkla vardagen. Eller som i detta projekt där vi har använt sträckvisa väderprognoser för att ytterligare förenkla vinterväghållningen. Genom att kunna säga till fordonet som ska utföra en förebyggande saltning hur den mest effektiva rutten är utifrån den senaste väderprognosen, kör bilen kortast möjliga väg för att salta på de sträckor där det befaras bli halt några timmar senare.

Jag skulle vilja tacka Mats Wärme, Andreas Bäckström och Anita Ihs för att ni lämnade in denna ansökan när jag inte kunde göra det själv. Jag vill även tacka Olle Eriksson för tålmodig hjälp med mina frågor om statistik samt Esben Almkvist, Klimator AB för svar på mina frågor om RSI och hjälp med data samt Johan Casselgren, LTU.

Projektet är finansierat av Trafikverket och VTI via BVFF samt SBUF, B&M Systemutveckling AB och Svevia.

Göteborg, november 2017

*Anna Arvidsson*  
*Projektledare*

---

## Kvalitetsgranskning

---

Intern peer review har genomförts 15 november 2017 av Anita Ihs. Anna Arvidsson har genomfört justeringar av slutligt rapportmanus. Forskningschef Leif Sjögren har därefter granskat och godkänt publikationen för publicering 16 november 2017. De slutsatser och rekommendationer som uttrycks är författarnas egna och speglar inte nödvändigtvis myndigheten VTI:s uppfattning.

---

## Quality review

---

Internal peer review was performed on 15 November 2017 by Anita Ihs. Anna Arvidsson has made alterations to the final manuscript of the report. The research director Leif Sjögren examined and approved the report for publication on 16 November 2017. The conclusions and recommendations expressed are the authors and do not necessarily reflect VTI's opinion as an authority.

---

## Innehållsförteckning

---

<b>Sammanfattning .....</b>	<b>7</b>
<b>Summary .....</b>	<b>9</b>
<b>1. Bakgrund .....</b>	<b>11</b>
<b>2. Syfte .....</b>	<b>13</b>
<b>3. Metod.....</b>	<b>14</b>
3.1. Validering och känslighetsanalys av dynamiska väglagsprognoser.....	14
3.1.1. Insamling av data .....	14
3.1.2. Metod för jämförelse av prognoser och utfall.....	15
3.2. Import av dynamiska prognoser.....	16
3.3. Applicering av ruttoptimeringsalgoritmer.....	17
3.4. Applicering av fordonsattribut och åtgärd .....	17
3.5. Resultat validering på historiska data .....	17
<b>4. Resultat.....</b>	<b>18</b>
4.1. Stickprovskontroller av väglag och ytemperatur .....	18
4.2. Validering och känslighetsanalys av dynamiska väglagsprognoser.....	20
4.2.1. Vägytans temperatur – Jämförelse av prognoser och utfall .....	20
4.2.2. Väglag – Jämförelse av prognoser och utfall.....	31
4.3. Import av dynamiska prognoser.....	36
4.4. Applicering av ruttoptimeringsalgoritmer.....	37
4.5. Applicering av fordonsattribut och åtgärd .....	38
4.6. Resultat validering på historiska data .....	39
4.6.1. Stickprovskontroll.....	39
4.6.2. Längre validering .....	39
4.6.3. Ruttoptimering .....	41
<b>5. Diskussion och slutsatser .....</b>	<b>45</b>
5.1. Fortsatta studier.....	47
<b>Referenser .....</b>	<b>49</b>





---

## Sammanfattning

---

### **Dynamisk prognosstyrd vintervägdrift. Summering av Fas 1**

av Anna K. Arvidsson (VTI), Mats Wärme (B&M system AB), Olle Eriksson (VTI) och Andreas Bäckström (Svevia)

Vinterväghållningens uppgift är att se till att vägar är tillräckligt framkomliga och säkra att åka på. Rent praktiskt innebär detta att med hjälp av plogning, sand- och saltspridning hålla vägarna tillräckligt snö- och isfria enligt de gällande reglerna. Inom operativ vinterväghållning är erfarenhet ofta en bristvara, det beror bland annat på den allt rörligare arbetsmarknaden med korta kontraktperioder men även på de stora pensionsavgångarna som varit de senaste åren. För att beredskapshavaren ska bibehålla och samtidigt kunna öka produktiviteten är det väsentligt att beslutsstöd utvecklas.

Det finns idag ett antal vägväderprognostjänster som kan leverera kvalificerat stöd till beslutstagare inom vinterväghållning. Som underlag används bland annat aktuell väderinformation från Trafikverkets VViS stationer (VägväderinformationsSystem) som är utplacerade längs de statliga vägarna. Vissa tjänster använder även data från sensorer i bilar. Tjänsterna levererar dynamiska väglagsprognoser och i vissa fall även förslag på åtgärd för olika vägvagnsnitt. De levererar geografisk och tidsmässigt detaljerade beslutsunderlag som möjliggör högkvalitativa beslut för att göra rätt åtgärd i rätt tid på rätt plats. Den kanske främsta fördelen med prognoserna är att de tydligt påvisar att endast delar av vägnätet behöver åtgärdas samt att yttemperaturprognosen utöver väglagsprognosen är viktig information för att bestämma hur mycket salt som behövs för att vägen inte ska bli hal.

Dagens ruttoptimeringsprogram genomför tidsoptimering (kortaste tid) på det vägnät som ska åtgärdas utifrån väghållarens väglagsindelning som baseras på mängden trafik (årsdygnsmedeltrafik). Väglaget kan dock variera kraftigt inom ett driftområde och det finns behov av att justera för dessa variationer för att kunna uppnå ökad resurseffektivitet. I dagsläget görs dessa korrigeringar manuellt för resursplanering och görs normalt inför varje vintersäsong.

Syftet med projektet är att med dynamisk väglagsinformation skapa förutsättningar för dynamiska åtgärder för en mer produktiv vinterväghållning. Att integrera data från en vägväderprognostjänst i redan befintliga system, såsom ett förarstödssystem med ruttvisning skulle ge arbetsledningen möjlighet att arbeta betydligt mer detaljerat samt dynamiskt, vilket ger möjlighet för signifikanta effektivitetsökningar. I projektet har även en utvärdering av en vädertjänst gjorts med avseende på vilket prognosfönster som är lämpligt att använda i optimeringen. Projektet i denna första fas kan beskrivas som ett första försök att bygga ihop systemen samt validera att det är genomförbart och att resultatet blir pålitliga ruttor för vinterväghållarna.

Projektet har visat att en dynamisk prognosstyrd ruttplanering för preventiv saltning kan förbättra miljön genom en minskning av emissioner från väghållningsfordonen på grund av kortare körsträckor samt en minskad saltanvändning. Arbetsmiljön för saltbilsförarna förbättras genom en högre automatiseringsgrad vilket betyder att det är mindre att hålla reda på, detta leder till minskad stress vid höga utförandekrav. Bättre kvalitet på vinterväghållningen gynnar även framkomligheten för trafikanterna.



---

## Summary

---

### **Dynamic Forecast-Controlled Winter Road Maintenance – Summary of Phase 1**

by Anna K. Arvidsson (VTI), Mats Wärme (B&M system AB), Olle Eriksson (VTI) and Andreas Bäckström (Svevia)

The task of the winter maintenance operations is to ensure that the roads are accessible and safe to use. In practice, by means of ploughing, sand and salt spreading, keeping the roads free of snow and ice in accordance with the current requirements. Experience in operational winter management is a shortcoming, which is partly due to the more flexible labour market with short contract periods, but also due to the major retirements that have been in recent years. In order for the winter maintenance contractor to maintain and at the same time increase the productivity, it is essential to develop decision support systems.

There are today several road weather forecast services that can provide qualified support to decisionmakers in winter road maintenance. As a basis, current weather information from the Swedish RWIS-outstations (Road Weather Information System), which is deployed along the state roads, is used. Some services also use data from sensors in cars. The services provide dynamic road conditions forecasts and in some cases even proposals for actions needed for different road sections. They deliver detailed decision-making prognosis that enable high quality decisions for the correct action in the right time at the right place. Perhaps the main advantage of the forecasts is that they clearly show that only parts of the road network need to be addressed and that the surface temperature forecast, in addition to the forecast of the road surface condition, is important input for determining the needed amount of salt.

Today's route optimisation program performs optimisations for the shortest time based on the road owner's road classification, that is based on annual average daily traffic. However, road climate may vary considerably within an operating area, and the need to adjust for these variations in order to achieve an increased resource efficiency, can currently only be corrected manually for resource planning, and usually before the winter season starts.

The purpose of the project is to provide a more dynamic information to create a more productive winter road maintenance with dynamic road conditions information. Integrating data from a road weather forecast service into existing systems, such as a route guidance driver system, would allow the workforce to work significantly more detailed and dynamically, allowing for significant efficiency gains. In the project, an evaluation of a weather service has also been made with regards to which forecast window is suitable to use in the optimization. The project in this first phase can be described as a first attempt to make the systems working together, validate that it is feasible and that results will be reliable routes for the decisionmakers in winter road maintenance.

The project has shown that a dynamic forecasting route optimisation for preventative salting can improve the environment by reducing emissions from lorries due to shorter driving distances and reduction of salt usage. The work environment for the maintenance vehicle drivers is enhanced by a higher degree of automation, which means it is less to keep track of, resulting in reduced stress at high performance requirements. Better quality in the winter road maintenance also benefits accessibility for the road users.



# 1. Bakgrund

Erfarenhet i operativ vinterväghållning tenderar vara en bristvara på grund av den allt rörligare arbetsmarknaden med korta kontraktperioder och under senare år stora pensionsavgångar. För att beredskapshavaren ska bibehålla och samtidigt kunna öka produktiviteten är det väsentligt att beslutsstöd utvecklas.

Även rörligheten bland vinteråkare har ökat då vinterväghållning inte längre anses vara ett attraktivt uppdrag på grund av snöfattiga vintrar, korta kontraktstider och pressade priser. Därför kan det vara svårt att hitta erfarna och engagerade chaufförer med lokalkännedom om halkbenägna partier som ytterligare kan justera saltgiva efter lokala behov och anpassa rutterna till de vägar som brukar bli hala.

Det finns idag ett antal vägväderprognostjänster som kan leverera kvalificerat stöd till beslutstagare inom vägunderhåll. Tjänsterna levererar dynamiska vägbeskaffenhetsprognoser och i vissa fall även förslag på åtgärd för olika vägvägnitt. Med vägbeskaffenhet avses bland annat yttemperatur och väglag. Exempelvis finns Forecas MDSS (Foreca, 2017), MeteoGroups RoadMaster (MeteoGroup, 2017) och Klimators Road Status Information (RSI) (Klimator, 2017). Där den senare testats och utvecklats i ett demonstratorprojekt under de senaste tre vintrarna och nu är tillgänglig som en kommersiell produkt. Dessa tjänster levererar geografiskt och tidsmässigt detaljerade beslutsunderlag som möjliggör högkvalitativa beslut för att göra rätt åtgärd i rätt tid på rätt plats. Den kanske främsta fördelen med prognoserna är att de tydligt påvisar att endast delar av vägnätet behöver åtgärdas samt att yttemperaturprognosen utöver väglagsprognosen är viktig indata för att bestämma saltgivans storlek.

Dagens ruttoptimeringsprogram genomför tidsoptimering (kortaste tid) på aktuellt vägnät som skall åtgärdas utifrån väghållarens vägklassindelning som baseras på ÅDT dvs trafikflöden. Vägklimat kan dock som nämnts variera kraftigt inom ett driftområde och behov att justera för dessa variationer för att kunna uppnå ökad resurseffektivitet får i dagsläget korrigeras grovt manuellt vid resursplanering normalt inför vintersäsong.



Figur 1. Exempel på information från olika vägväderprognostjänster.

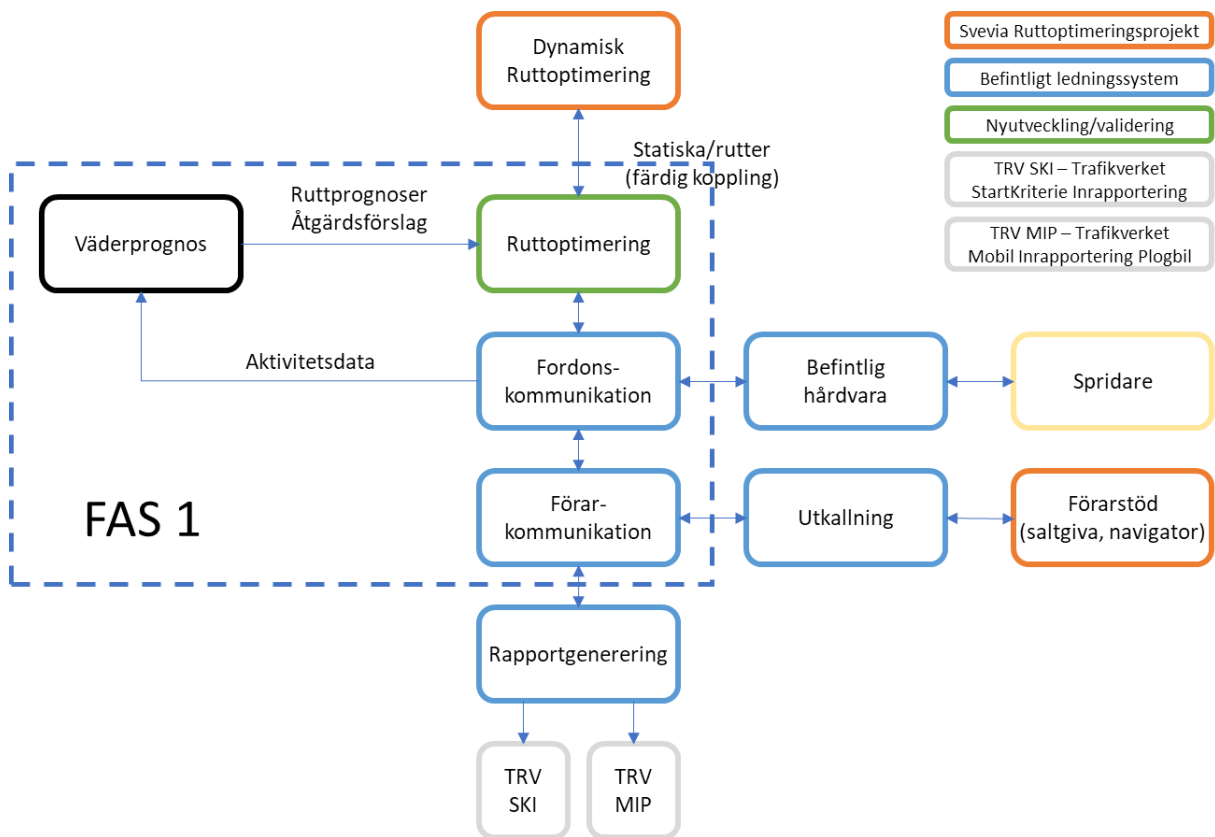
Import av data från vägväderprognostjänster ger förutsättningar att automatisera genom att vidareutveckla systemlösningar med ihopkopplade dataflöden. Kedjan kan innefatta allt från beslut om

åtgärd (sker baserat på vägväderprognostjänst), ruttoptimering, utkallning av väghållningsfordon, automatisk saltdosering utgående ifrån vägväderprognos till återrapportering av åtgärdsdata som blir indata till restsaltsberäkning i kommande prognos. På det sättet integreras befintlig teknik samt datakommunikation och mer robusta system skapas. Behov av administration mellan separata system för entreprenör och väghållare försvinner, dessutom minskas fördröjningar vid integrerade systemlösningar.

## 2. Syfte

Slutmålet för hela projektet är att utveckla ett dynamiskt prognosstyrt system för vinterväghållningen enligt den schematiska bilden i Figur 2. Syftet med denna första fasen av projektet är att integrera data från en vägväderprognostjänst i redan befintliga GPS-baserade lednings- och uppföljningssystem.

Ett förarstödssystem med ruttvisning skulle ge beredskapshavaren möjlighet att arbeta betydligt mer detaljerat samt dynamiskt, vilket ger möjlighet för signifikanta effektivitetsökningar.



Figur 2. Översikt av de ingående delarna i Fas 1 av projektet.

---

## 3. Metod

---

Projektet har varit uppdelat i olika aktiviteter som beskrivs i nedanstående delkapitel.

### 3.1. Validering och känslighetsanalys av dynamiska väglagsprognoser

Utförare: VTI

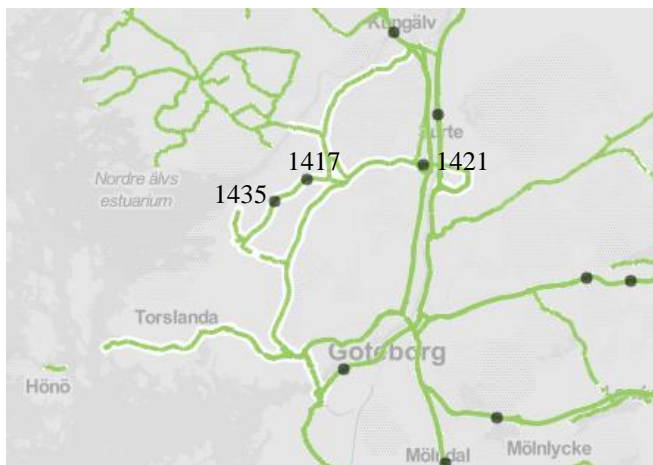
Statistisk analys av väglagsprognos levererad från RSI vs. VViS-utfall samt stickprovskontroll mellan VViS-stationer gällande prognostillförlitlighet vid olika tidsfönster (exempelvis 6h, 4h och 2h innan utfall) jämfört med observerat utfall. Detta används som input till hur ruttoptimeringsalgoritmer bör utformas baserat på osäkerheten på väglagsprognoserna.

#### 3.1.1. Insamling av data

I RSIs webbtjänst ges enbart medelvärden för yttemperaturer för valt driftområde (bildexempel på detta finns i Figur 8). Därför har RSI-prognoserna för yttemperaturer och väglag erhållits direkt från Klimator AB för tiden mellan 2016-11-01 00:00 och 2017-03-03 20:00 och består av temperaturvärden och väglagsklassificering för varje timme och prognoser för timme 0, 1, 2 ... 14, 15 och 16 framåt i tiden. VViS-utfall har laddats ner från databasen hos Trafikverket för samma tidsperiod.

För att begränsa mängden data har bara prognoser för 0, 2, 4, 6 och 8 timmar använts. Eftersom VViS-stationerna är placerade på punkter längs vägarna där risken för halka är som störst har bara de sträckor som ligger inom en radie av 2500 meter från en VViS-station använts.

Studierandet av prognoser har koncentrerats till RSI-prognoser i Göteborgsområdet och Borås. Det aktuella området i Göteborg är sträckan med vit markering i Figur 3. På denna sträcka finns det tre VViS-stationer 1417, 1421 och 1435. De aktuella prognoserna från RSI har därefter kopplats ihop och jämförts med väderutfallet från de tre stationerna. I detta området ingår information om utförda åtgärder i prognoserna.

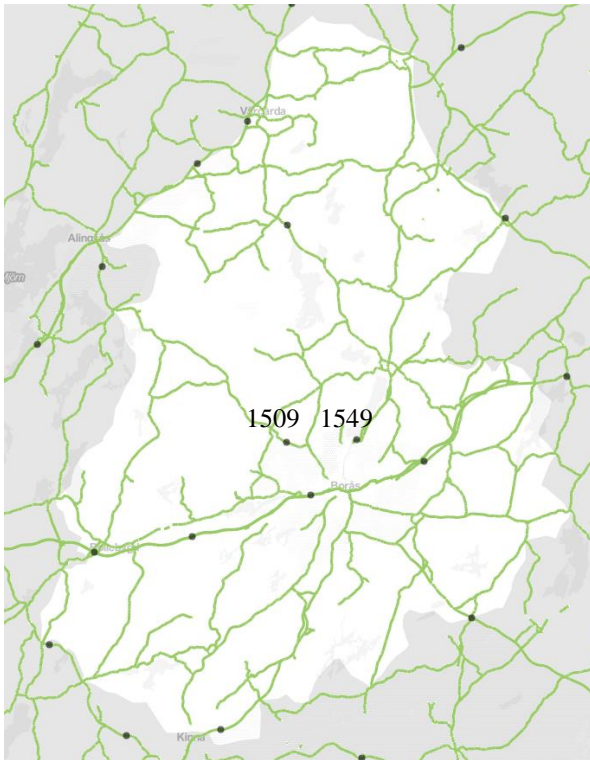


Figur 3. Prognossträcka i Göteborgsområdet markerat i vitt.

Driftområde Borås (Figur 4) är ett område där RSI inte får någon information om åtgärder i dagsläget. Därför valdes ett område runt en VViS-station i detta område ut som komplement till sträckorna i Göteborg, för att se hur dessa sträckor stämmer överens med prognoserna jämfört med det verkliga



utfallet. Den utvalda VViS-stationen är nummer 1509 med reservstation 1549 och från RSI valdes de 11 sektionerna<sup>1</sup> som ligger närmast väderstation 1509 på väg 180 mellan Borås och Alingsås.



Figur 4. Driftområde Borås

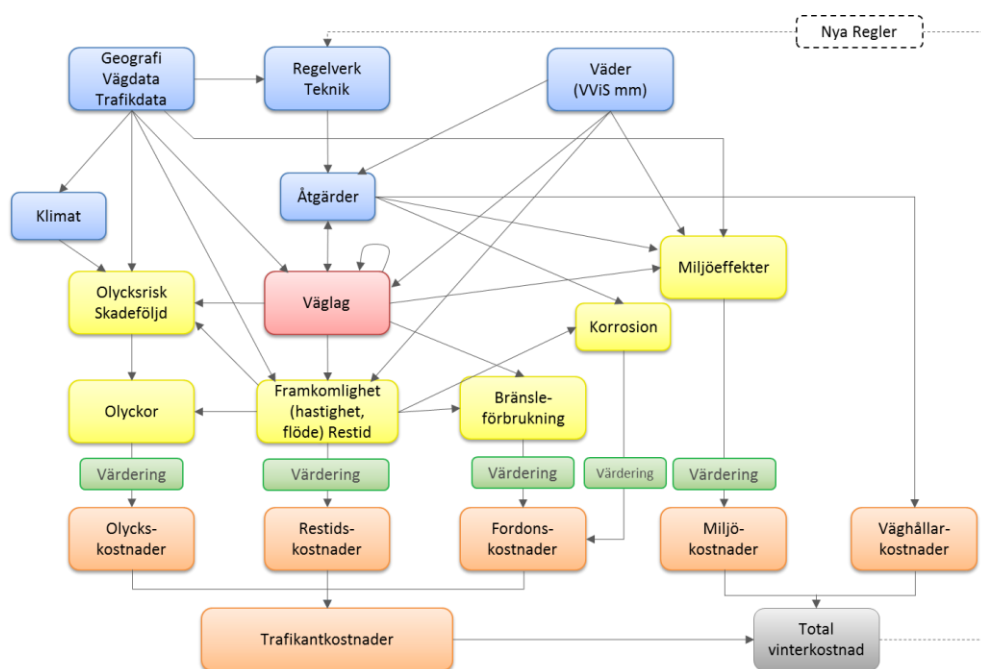
### 3.1.2. Metod för jämförelse av prognoser och utfall

Jämförelser mellan prognoser av vägens yttemperatur och utfallet på temperaturen har gjorts genom att prognosdata från 8, 6, 4, 2 och 0 timmar innan utfall jämförts med utfallet från den närmsta VViS stationen. Medelprognosfelen beräknas för prognoser och utfall. Även en baklängesprediktion med ett 95 procentigt prognosintervall för yttemperaturen om prognosen är 0°C ska beräknas för att se hur stora felmarginalerna är för respektive prognosintervall. Som en avslutande test av förhållandena mellan prognoser och utfall beräknades autokorrelationsfunktionen (ACF) hos prognosfelen. Autokorrelationsfunktionen är ett mått på hur ett värde i en tidsserie tenderar att följa efter ett tidigare värde.

Prognoserna för väglag är jämförda med Vintermodellens modellering av vägytans väglag. Vintermodellen (Wallman et al., 2005, Wallman et al., 2006, Möller, 2014) är en modell utvecklad av VTI för Trafikverket och är en modell där de samhällsekonomiska kostnaderna kan beräknas utifrån vilka vinterväghållningsstrategier som används. I Figur 5 visas flödesschemat för Vintermodellen.

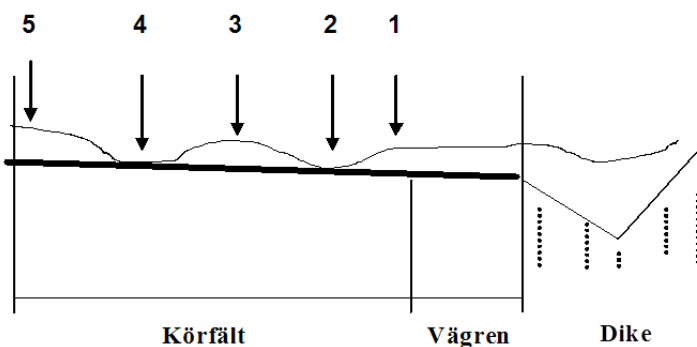
---

<sup>1</sup> varje väg är uppdelad i korta sektioner där väglaget anses vara lika.



Figur 5. Flödesdiagram över Vintermodellen.

Att jämföra det prognostiserade väglaget och det verkliga utfallet är svårare att göra och för att kunna göra en uppskattning av hur ofta detta stämmer överens har en beräkningsmodell använts. Väglagsmodellen (Möller, 2006) är en delmodell i Vintermodellen (Wallman et al., 2005, Wallman et al., 2006, Möller, 2014) som har utvecklats av VTI för Trafikverket. RSI använder en generell uppskattning av det kommande väglaget för hela vägytan medans Väglagsmodellen räknar ut väglaget på fem olika vägytor, körfältskanten, höger och vänster hjulspår, mellan hjulspåren samt i mitten på vägen (Figur 6).



Figur 6. Beskrivning av vägbanans fem observationsytor. 1 – Körfältskant, 2 – Höger hjulspår, 3 – Mellan hjulspår, 4 – Vänster hjulspår, 5 – Vägmitt. Bild från (Wallman et al., 2006).

### 3.2. Import av dynamiska prognoser

Utförare: B&M

Syftet med denna aktivitet är att ta fram vilken typ av data/information som behövs för att kunna importera prognoserna samt en gränssnittsdefinition.

### 3.3. Applicering av ruttoptimeringsalgoritmer

Utförare: B&M

I denna aktivitet görs en anpassning av de befintliga algoritmerna för att kunna hantera vägdataattribut och definiera hur variablerna skall hanteras i algoritmerna.

### 3.4. Applicering av fordonsattribut och åtgärd

Utförare: B&M, Svevia

Relevanta fordonsattribut (lastkapacitet, spridnings bredd osv) ska definieras och kopplas till attributen till optimeringsalgoritmen i denna aktivitet.

### 3.5. Resultat validering på historiska data

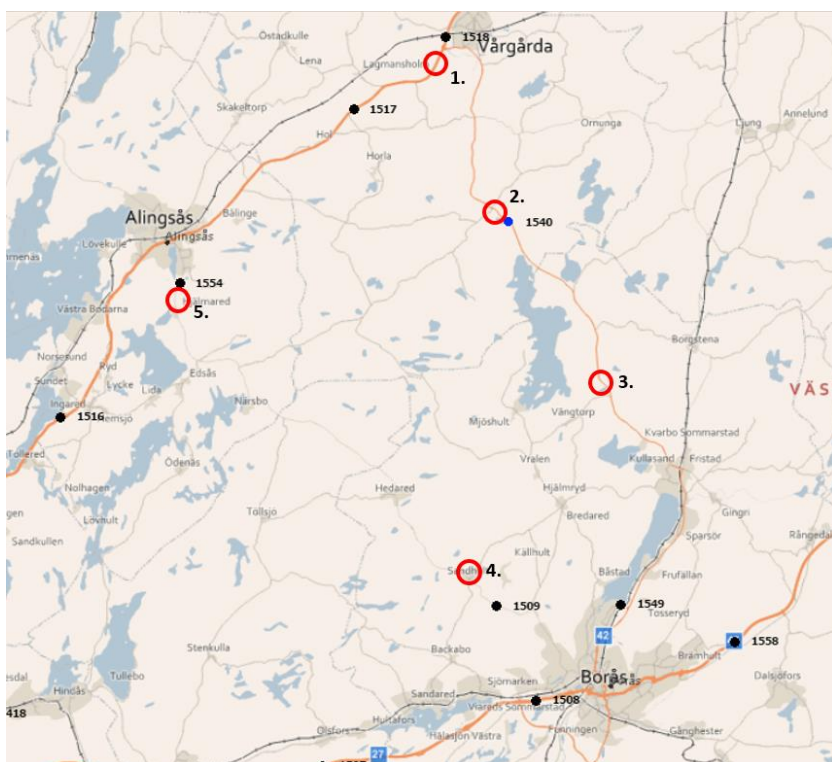
Utförare: B&M, Svevia, VTI

I denna aktivitet testkörs optimeringsalgoritmen med historiska väglagsprognoser. Jämförelse görs med faktiskt utförda åtgärder (statistik). Därefter beräknas skillnaden gällande saltåtgång och resursbehov mellan dynamisk och statisk ruttoptimering. Dessutom utvecklas en metod för känslighetsanalys av osäkerheten i prognosdata.

## 4. Resultat

### 4.1. Stickprovskontroller av väglag och yttemperatur

Av många anledningar gick det inte att utföra stickprovskontroller i Göteborgsområdet under vintern 2016/17. Men en temperaturmätning (IR-termometer) och väglagsobservationsrunda genomfördes den 17 februari 2017 som en test. Vägbanan var fuktig och mellan mätplats 4 och 5 var det dimma. På plats nummer tre, där den lägsta temperaturen uppmättes, var det ett tunt lager is på rastplatsen bredvid vägen. Terrängen här är relativt öppen och det finns en å som rinner nära vägen och leder till en mindre sjö bredvid rastplatsen. I detta område sa prognosen 8 timmar innan att det skulle vara 3,7°C (max 4,1°C, min 3,2°C) som medelvärde klockan 13 (Tabell 2). Den prognostiserade temperaturen vid 13-tiden ökade allteftersom tiden gick och 2 timmar innan sa den att det skulle vara 4,6°C och enligt senare prognoser visade RSI att utfallet av medelyttemperaturen var 4,7°C kl. 13. Prognosvärdena nämnda här är i Tabell 2 markerade med en röd ram runt värdena.



Figur 7. Observationsplatser för mätning av yttemperatur 2017-02-17.

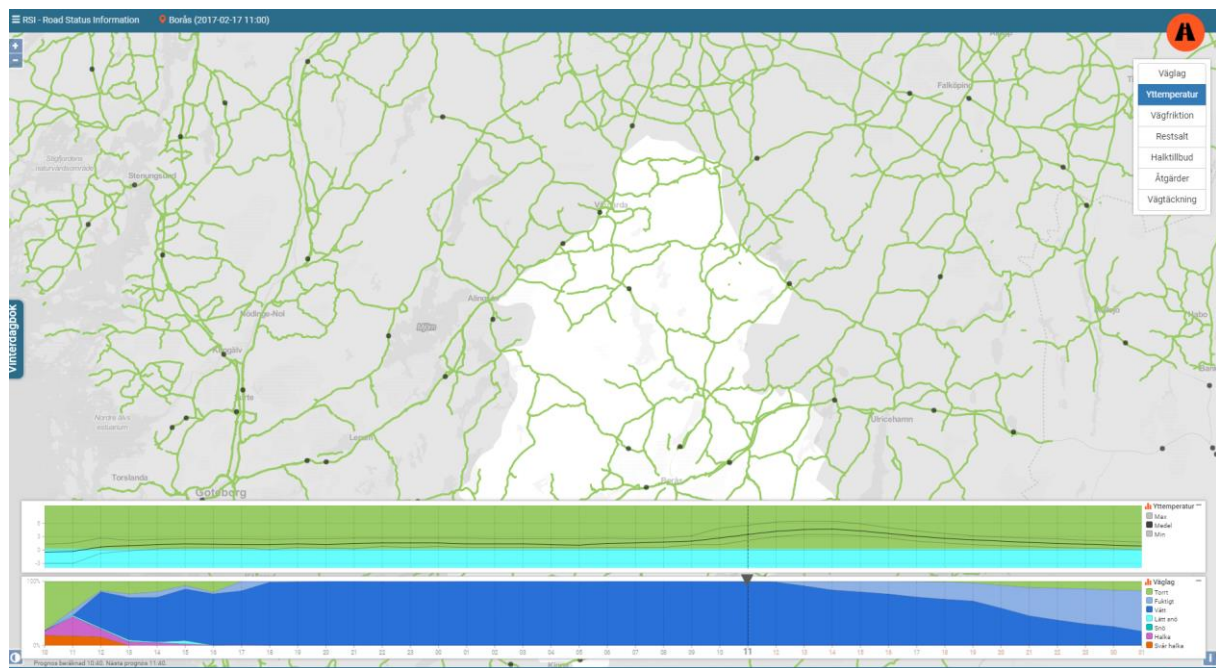
Vid mätningen (i hjulspår) vid denna tidpunkt var det 5 grader på två av mätplatserna, medan de övriga tre platserna hade betydligt lägre temperaturer (Tabell 1).

Tabell 1. Uppmätta yttemperaturer från testrunda inkl. närmsta VViS-station.

Plats	Mättid	Ts	VViS	Tid	Ts
1	12:39	5	1518	12:30	4,9
2	13:05	5	1540	13:00	3
3	13:35	-1			
4	14:27	2	1509	14:30	4,3
5	14:48	3	1554	15:00	4,2

Tabell 2. RSI yttemperaturprognoser för 2, 4, 6 och 8 timmar för driftområde Borås samt utfallsprognoser.

	≤0h	2h	4h	6h	8h						
RSI prognos											
Beräknad klockan	07:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	19:00	21:00	23:00	01:00	
05:00 (04:40)	1,1	1,1	2,6	3,7							
07:00 (06:41)	1,4	1,5	2,9	3,9	3,6						
09:00 (08:39)	1,6	2	3,4	4,3	3,9	2,5					
11:00 (10:40)		2	3,5	4,6	4,3	3,1	2,3				
13:00 (12:39)			3,6	4,7	4,4	2,9	2,1	1,5			
15:00 (14:39)				4,7	4,4	3,1	2,3	1,7	1,2		
17:00 (16:40)					4,5	3,1	2,3	1,6	1,1	0,9	



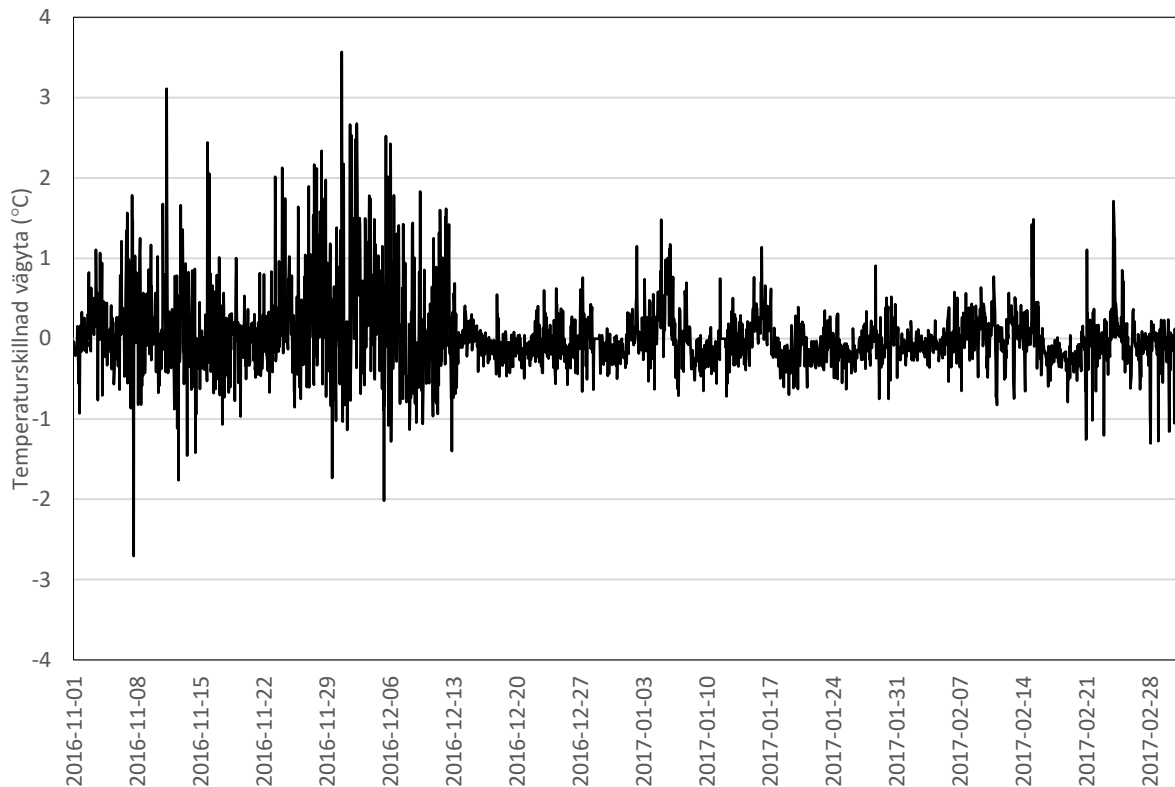
Figur 8. Exempel på RSI-prognos 2017-02-17 i Driftområde Borås.

## 4.2. Validering och känslighetsanalys av dynamiska väglagsprognoser

I detta delkapitel redovisas resultaten separat för områdena Göteborg och Borås.

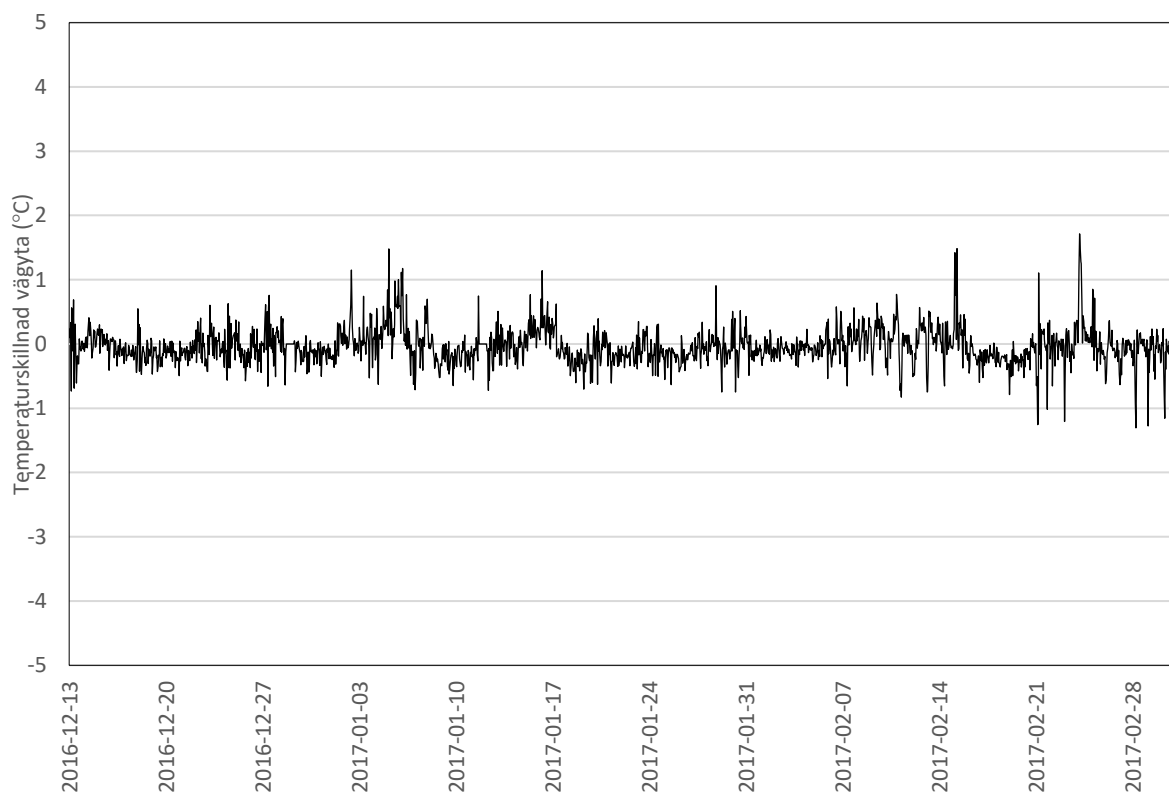
### 4.2.1. Vägytans temperatur – Jämförelse av prognoser och utfall

#### Göteborg

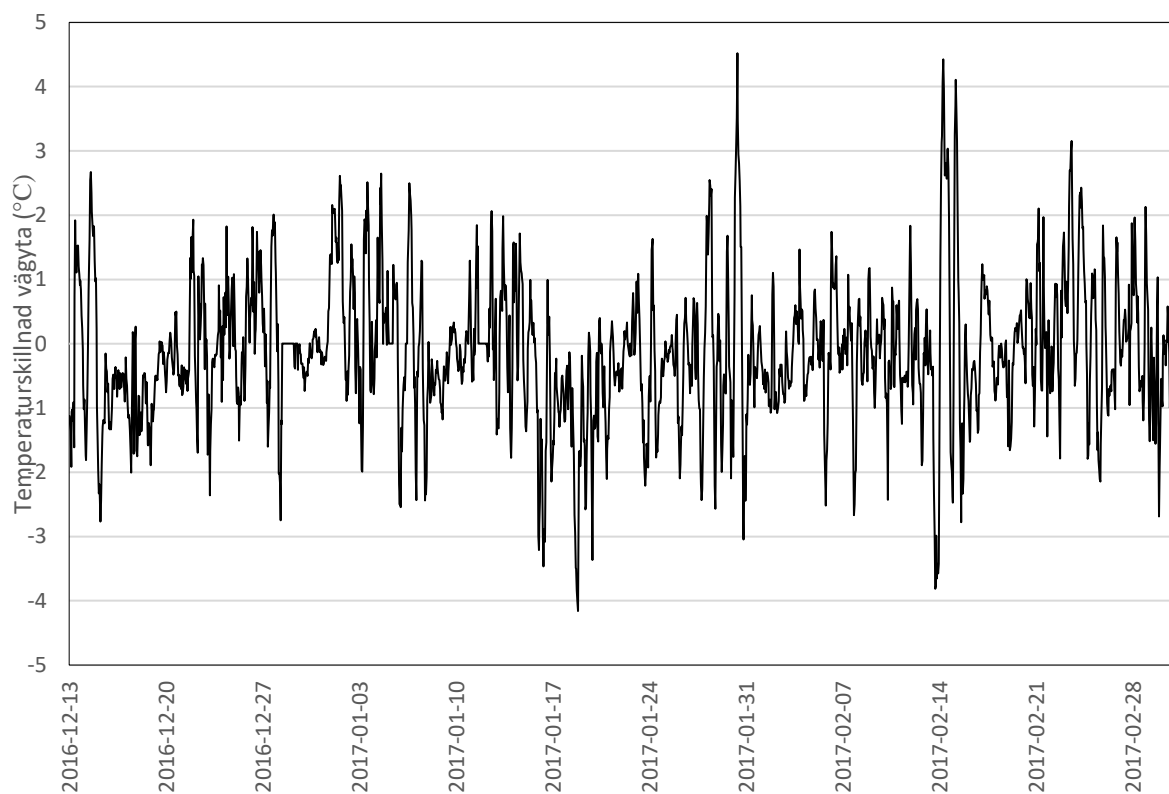


Figur 9. Vägytans temperaturskillnad för timme 0. Prognos-utfall 1 nov 2016 till 3 mars 2017 Göteborg.

Grafen i Figur 9 tydde på att det var något som hade hänt med RSI-prognosen runt den 13 december. Detta visade sig vara rätt, då information erhöles om att det gjordes en programuppdatering denna dag. Därför har analyserna enbart gjorts på material från den 13 december och framåt. I Figur 10 visas temperaturskillnaderna mellan RSI-prognosen och VViS-utfallet för vintern 2016–2017 för timme 0 och i Figur 11 visas motsvarande prognos för timme 8.

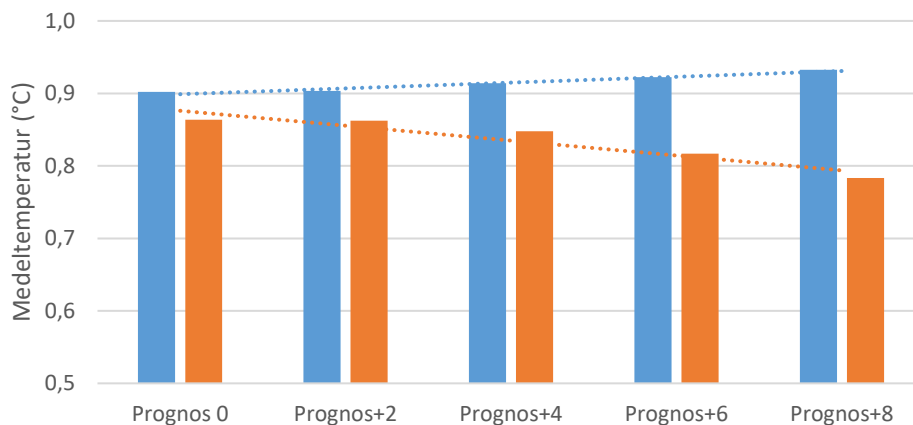


Figur 10. Vägytans temperaturskillnad för timme 0. Prognos-utfall. 13 dec 2016 till 3 mars 2017 Göteborg.



Figur 11. Vägytans temperaturskillnad för timme 8 dvs prognos 8 timmar innan utfall. Prognos-utfall. 13 dec 2016 till 3 mars 2017 Göteborg.

Ett sätt att uttrycka hur bra en prognos är att uttrycka det som uppmätt värde tillsammans med ett prognosfel. Här definierar vi prognosfel som en avvikelse om det uppmätta värdet en given tidpunkt subtraheras från prognosen för motsvarande tidpunkt. Prognosen kan ha utfärdats vid samma tidpunkt eller tidigare. För 0 timmar framåt har prognosfelet medelvärdet -0,038 och standardavvikelsen 0,295. Prognosfel kan bara beräknas på timmar där det finns både utfall och prognos. Medelprognosfel är alltså det genomsnittliga prognosfelet om man redovisar medeltemperatur och medelprognos-temperatur för de tidpunkter där båda värdena finns (datapar). I detta fall blir den uppmätta medeltemperaturen 0,902 och medelprognostemperaturen 0,864 baserat på 1903 datapar. I Figur 12 kan de övriga medeltemperaturerna ses. Antalet datapar minskar till 1882 i prognosen +8 timmar (innan utfall).

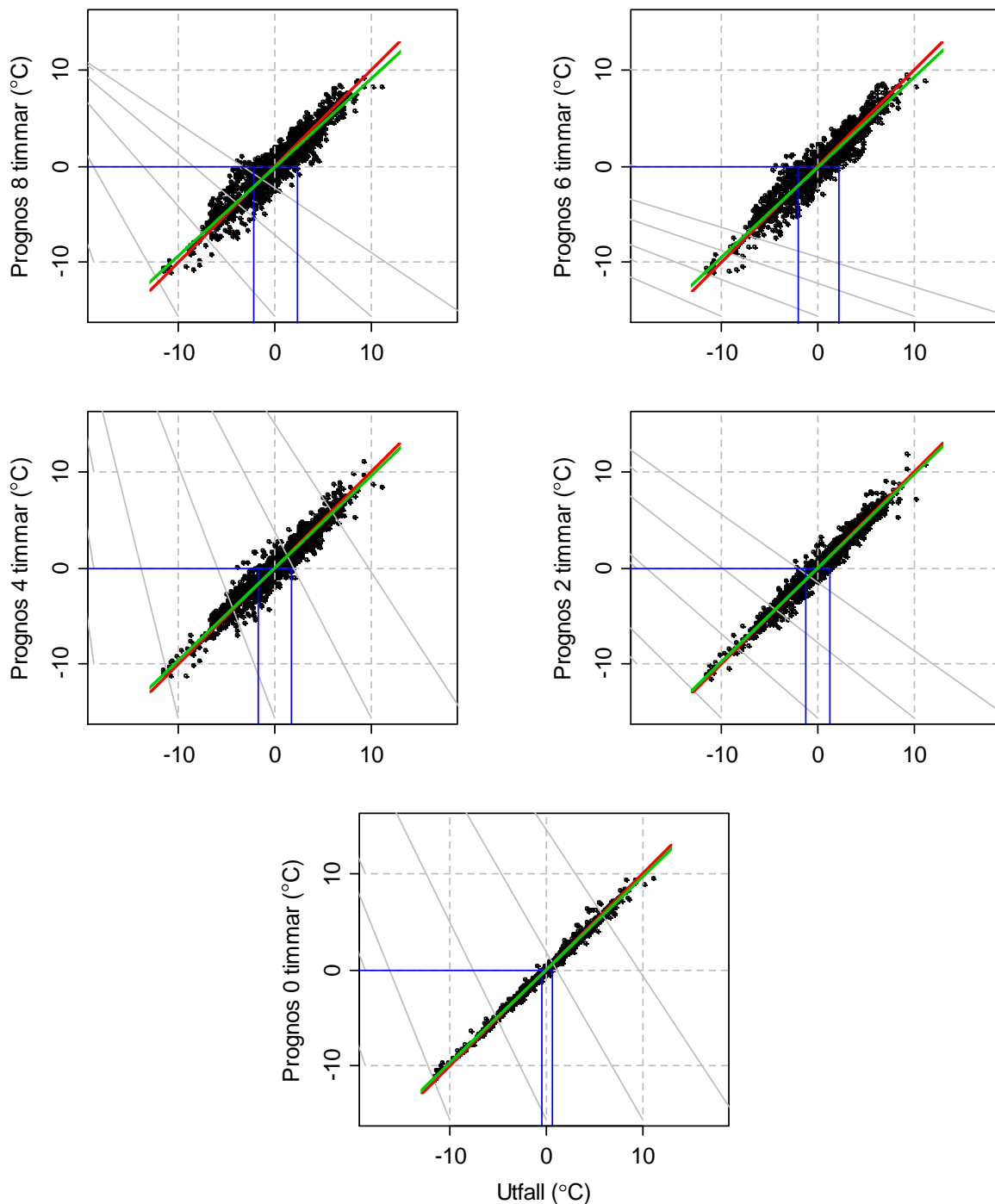


Figur 12. Medeltemperaturer (°C) för VViS-utfall (blå) och RSI-prognoser Göteborg (orange), med respektive trendlinje för serierna som prickade linjer.

I Figur 13 är det fem prognoser plottade mot respektive utfall och det kan då utläsas att prognoserna blir mer och mer säkra ju närmare i tid de är.

När prognosen säger att det ska bli noll grader, vilken temperatur blev utfallet för den predikterade timmen? Genom att använda en invers prediktion ("baklängesprediktion") med ett 95 procentigt prognosintervall för yttemperaturen om prognosen är 0°C ger de utfallsintervall som visas som blå linjer i Figur 13. I Figur 14 är de utritade för de intervall som utfallet hamnar inom.



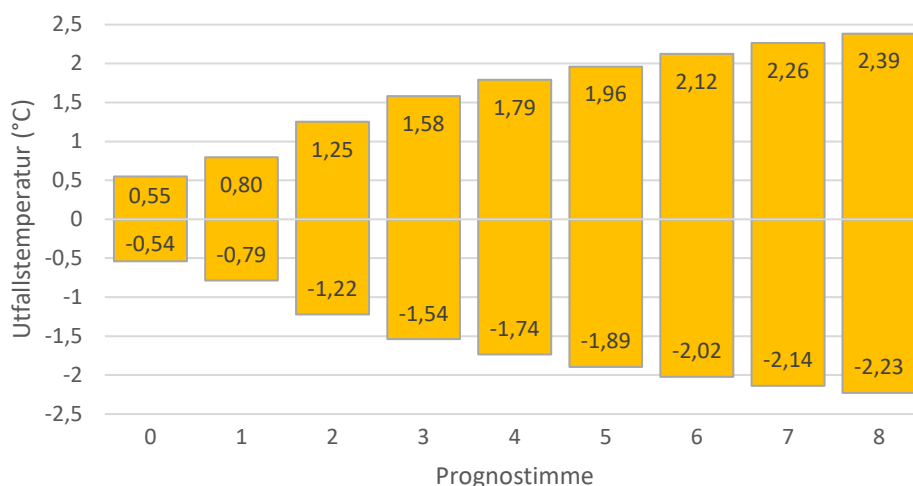


Figur 13. Prognos och utfall för Göteborg plottade mot varandra för timme 8, 6, 4, 2 och 0. Blå linje: prediktionsintervall vid invers prediktion då prognosen är 0°C, Röd linje: ideala linjen, Grön linje: linjär regressionslinje.

Tabell 3 visar förklaringsgraden när data enligt Figur 13 analyseras med enkel linjär regression.

Tabell 3. Förklaringsgraden för data prognos och utfall i Figur 13.

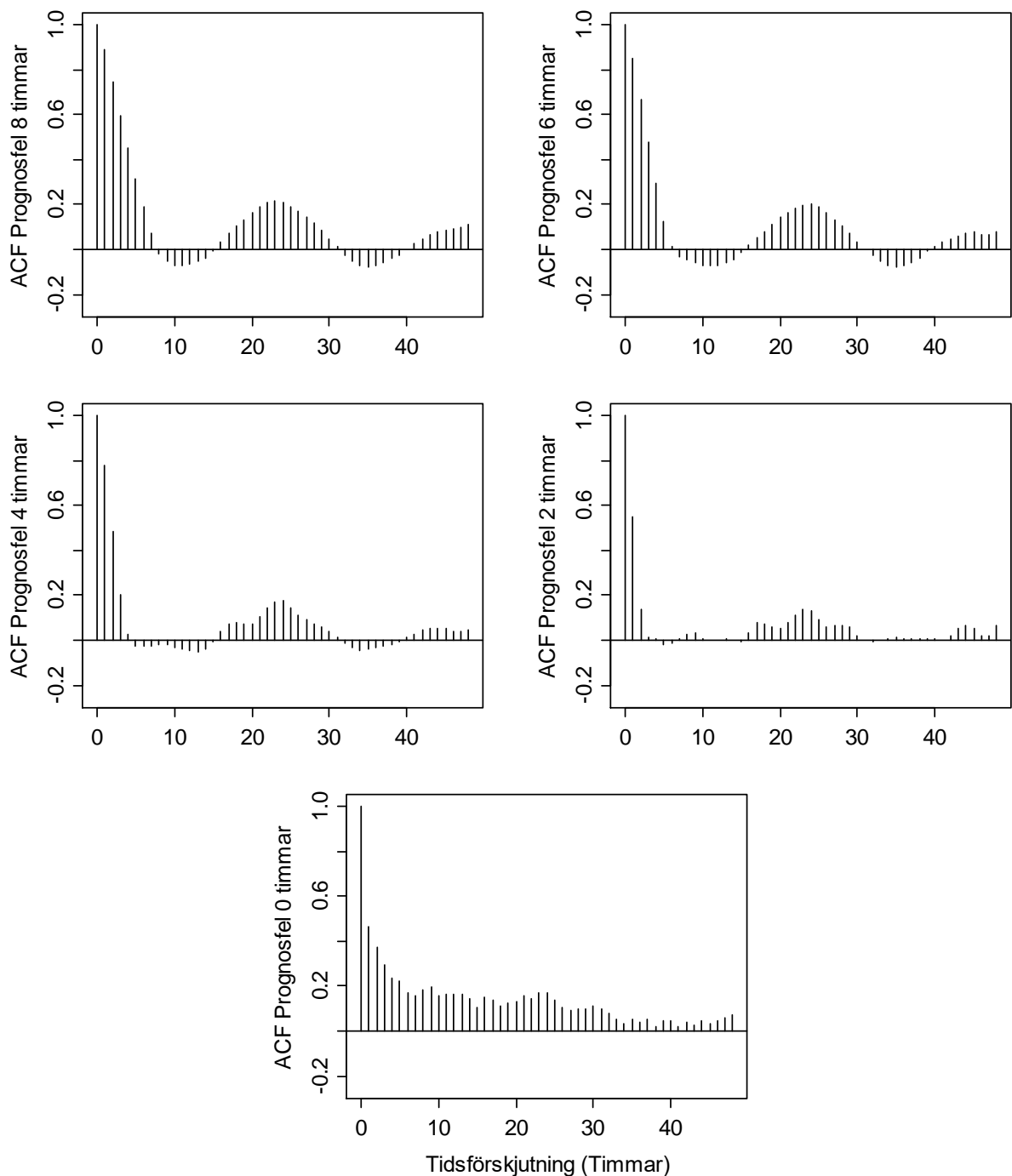
Prognostimme	Multipel R <sup>2</sup>
0	0,99
1	0,99
2	0,97
3	0,95
4	0,94
5	0,93
6	0,92
7	0,91
8	0,90



Figur 14. Prognosticerad temperatur på 0 grader ger följande temperaturintervall på utfallet.

Autokorrelationsfunktionen (ACF) visar hur ett värde i en tidsserie tenderar att följa efter ett tidigare värde. Om värdet vid en tidpunkt i stor utsträckning innehåller samma information som vid tidpunkten innan så blir autokorrelationen hög vid tidsförskjutning 1 och klingar av vid längre tidsförskjutningar. Även autokorrelation av mer komplicerad struktur kan förekomma. Negativ autokorrelation kan också förekomma men diskuteras ej här.

Det finns ett prognosfel det vill säga en skillnad mellan prognos och uppmätt temperatur för motsvarande tidpunkt. Om ett prognosfel vid en tidpunkt följs av ett liknande prognosfel vid nästa tidpunkt så kan det vara en egenskap hos prognosmetoden som är intressant att känna till. Prognosfelens autokorrelation kan därför vara ett intressant mått i sig. I Figur 15 är autokorrelationsfunktionen uppritad för prognostimmarna 0, 2, 4, 6 och 8.



Figur 15. Autokorrelationsfunktionen (AFC) för prognosfel vid timme 0, 2, 4, 6 och 8.

Om man betraktar de långa prognoserna (8 timmar) och anger tiden i timmar så ser man två egenskaper.

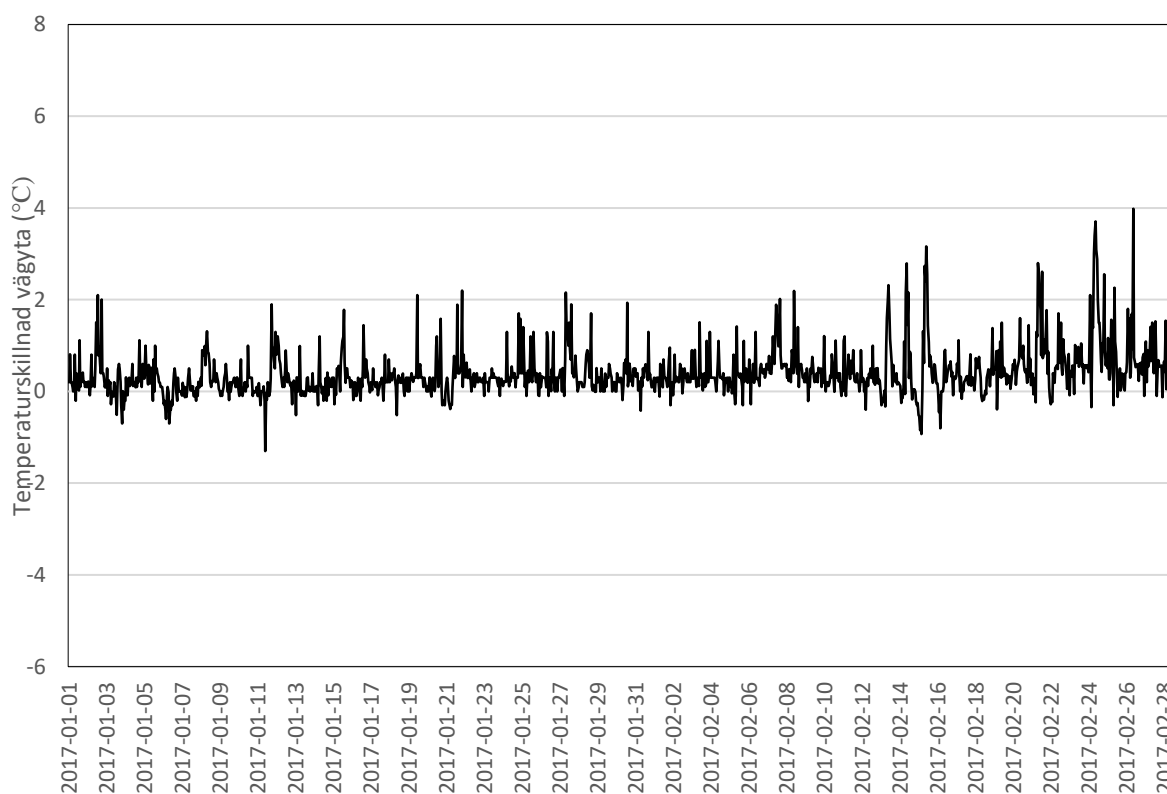
1. Autokorrelationen med tidsförskjutning 1 är hög. Det antyder att prognosfelet en timma, har en tendens att följas av liknande prognosfel nästa timma. Om prognosen som ställs vid tidpunkt  $t$  och avser tidpunkt  $t+8$ , avviker från det man mäter upp vid tidpunkt  $t+8$ , så finns det en tendens att prognosen som ställs vid tidpunkt  $t+1$  och avser tidpunkt  $t+9$  avviker från det uppmätta vid tidpunkt  $t+9$  på liknande sätt som den som ställdes vid tidpunkt  $t$ .

- Autokorrelationen med tidsförskjutning 24 är inte så hög, men den är synlig. Det antyder att prognosfelet en timma har en tendens att följas av liknande prognosfel motsvarande timma nästa dygn. Om prognosen som ställs vid tidpunkt  $t$  och avser tidpunkt  $t+8$  avviker från vad man mäter upp vid tidpunkt  $t+8$  så finns en tendens att prognosen som ställs dagen efter vid tidpunkt  $t+24$  och då avser tidpunkt  $t+32$  avviker från vad man mäter upp vid tidpunkt  $t+32$  på svagt liknande sätt.

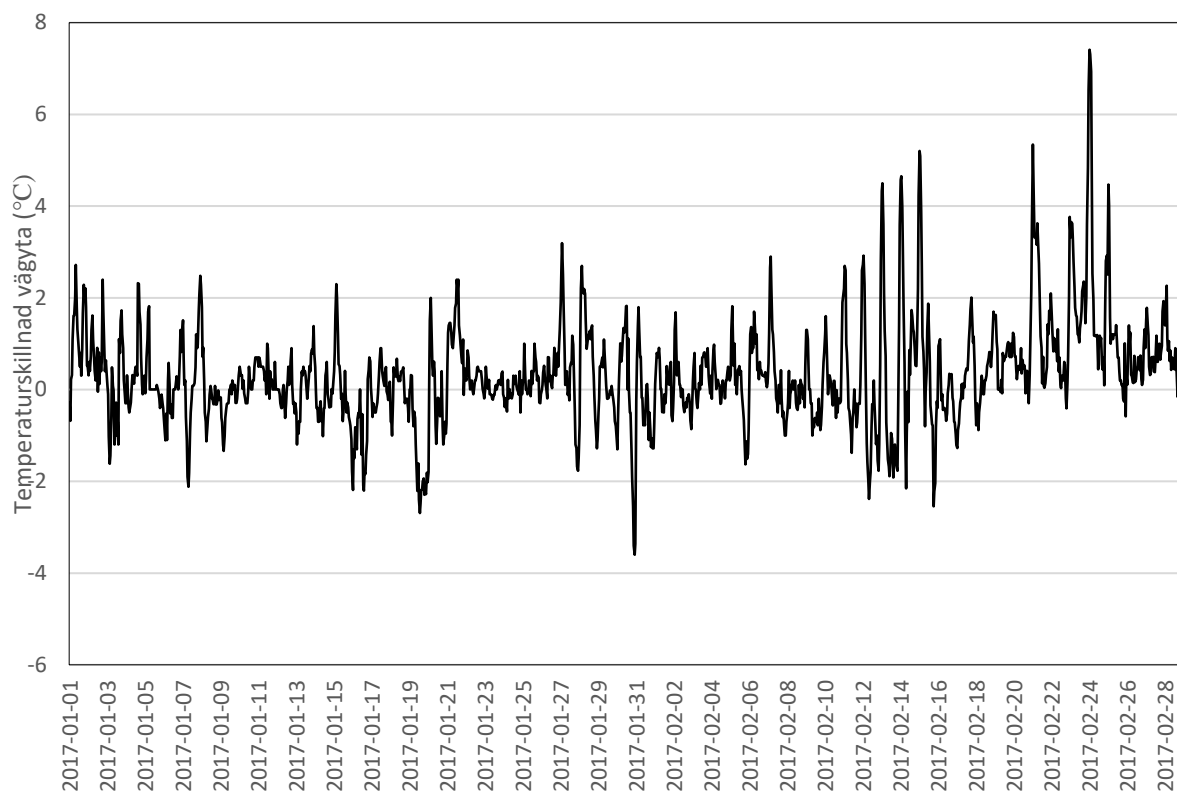
Om man betraktar kortare prognoser ned till 2 timmar i förväg så blir mönstret detsamma, men storleken på autokorrelationen blir lägre. För prognosfel 0 timmar i förväg bryts mönstret något och autokorrelationsfunktionen klingar inte av ordentligt. Strukturen är i stort sett att man ser en autokorrelation med tidsförskjutningen ett, men dessutom att den innehåller många små komponenter med svårbestämd struktur.

## Borås

I Figur 16 visas temperaturskillnaderna mellan RSI-prognosen och VViS-utfallet för vintermånaderna januari och februari 2017 för timme 0, medan i Figur 17 gäller grafen för timme 8.

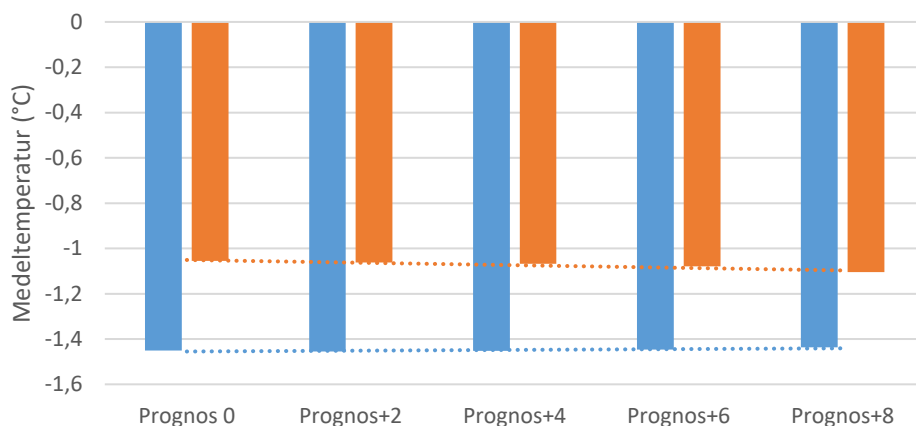


Figur 16. Vägytans temperaturskillnad för timme 0. Prognos-utfall 1 jan till 1 mars 2017 Borås.

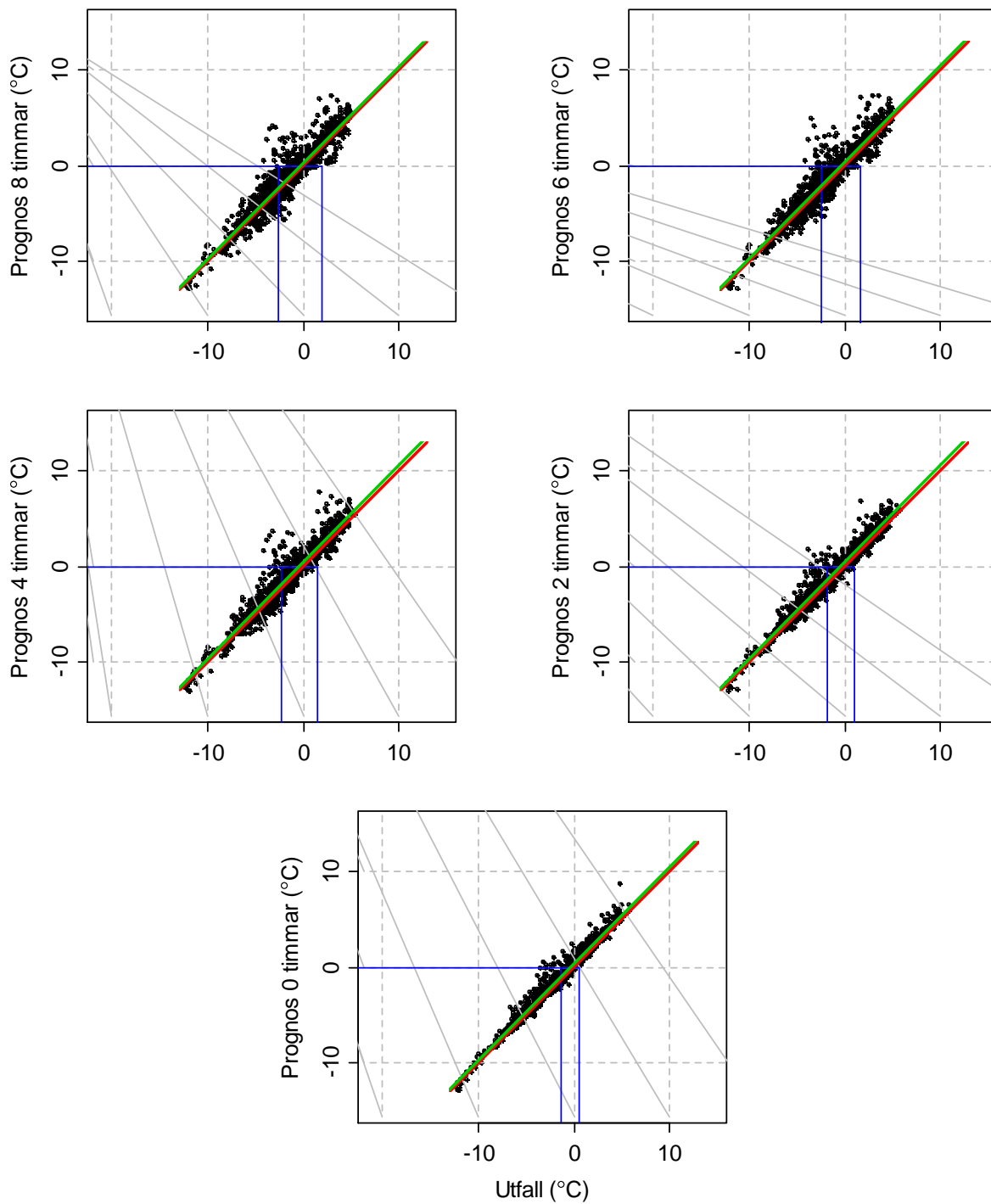


Figur 17. Vägytans temperaturskillnad för timme 8 dvs prognos 8 timmar innan utfall. Prognos-utfall. 1 jan till 1 mars 2017 Borås.

För att fastställa det genomsnittliga prognosfelet för Borås är den uppmätta medeltemperaturen -1,450 och medelprognostemperaturen -1,056. Det är baserat på 1398 datapar. I Figur 18 kan även de övriga medeltemperaturerna ses. Antalet datapar minskar till 1374 i prognosen för 8 timmar innan utfall.



Figur 18. Medeltemperaturer (°C) för VViS-utfall (blå) och RSI-prognoser Borås (orange), med respektive trendlinje för serierna som prickade linjer.



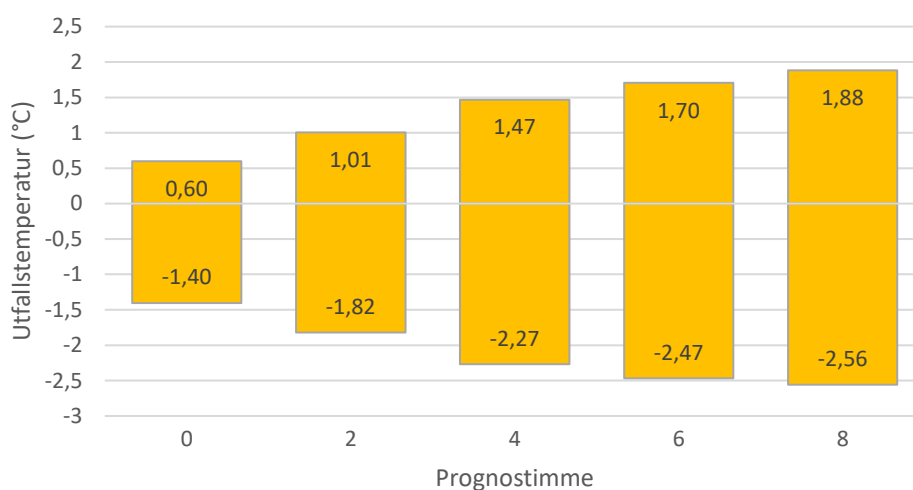
Figur 19. Prognos och utfall för Borås plottade mot varandra för timme 8, 6, 4, 2 och 0. Blå linje: prediktionsintervall vid invers prediktion då prognosen är 0°C, Röd linje: ideala linjen, Grön linje: linjär regressionslinje.

Förklaringsgraden för prognos och utfall i Figur 19 finns summerade i Tabell 4 och är beräknade med en enkel linjär regression med temperatur som förklaring och prognos som respons.

Tabell 4. Förklaringsgraden för data prognos och utfall i Figur 19

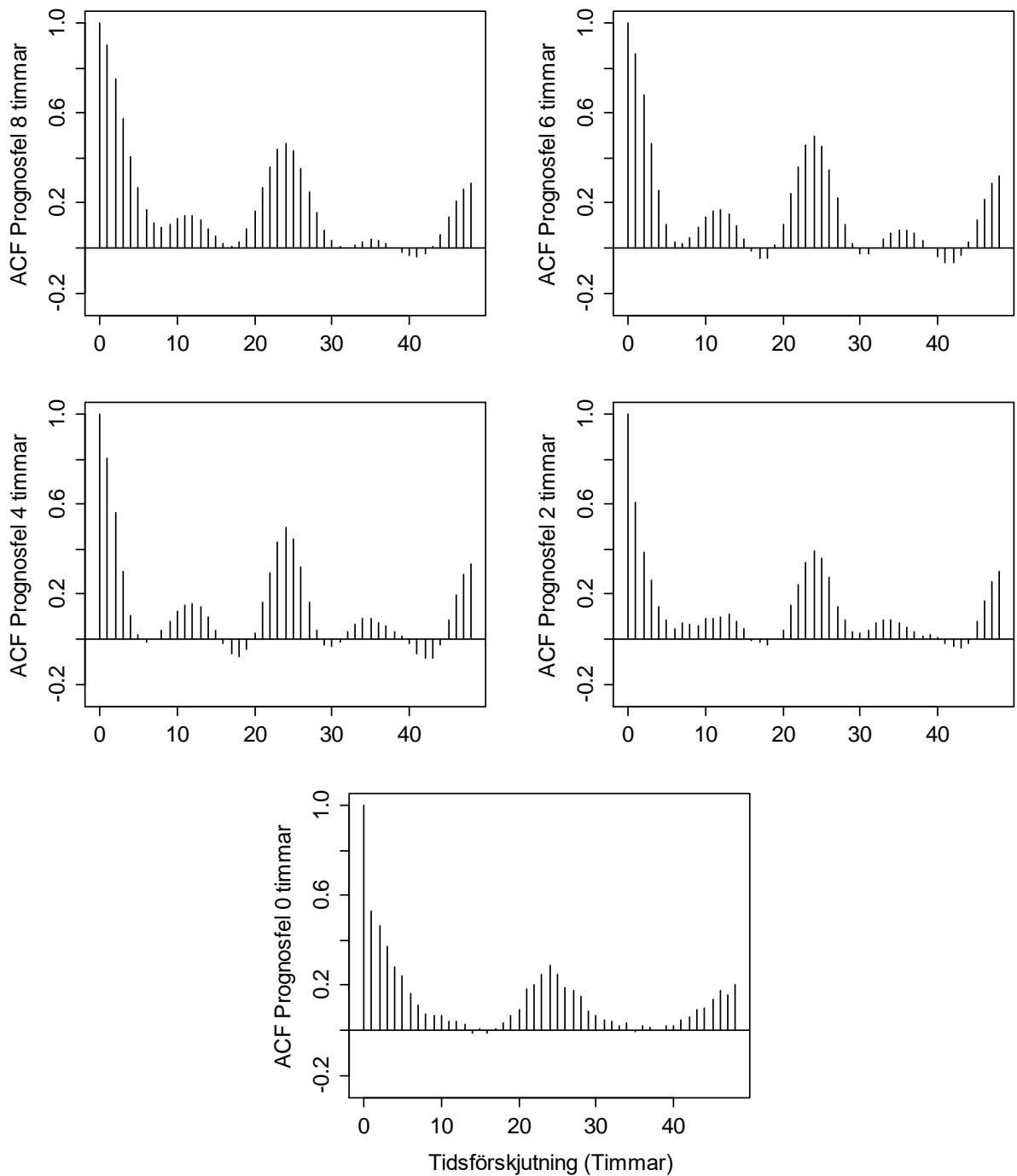
Prognostimme	R <sup>2</sup>
0	0,97
2	0,95
4	0,91
6	0,89
8	0,88

Även för detta område gjordes en baklängesprediktion för noll grader med ett 95 procentigt prognosintervall för ytttemperaturen om prognosen är 0°C grader. Det gav de utfallsintervall som visas som blå linjer i Figur 19. I Figur 20 är intervallen som utfallet hamnar inom utritade.



Figur 20. Prognosticerad temperatur på 0 grader ger följande temperaturintervall på utfallet.

I Figur 21 är autokorrelationsfunktionen uppritad för prognostimmarna 0, 2, 4, 6 och 8.



Figur 21. Autokorrelationsfunktionen (AFC) för prognosfel vid timme 0, 2, 4, 6 och 8.

Autokorrelationen för prognoserna i Borås följer samma mönster som prognoserna för Göteborg. Den största skillnaden är vid tidsförskjutningen 24 timmar där det i Borås-fallet är något högre autokorrelation dvs. det är en tydligare trend att felet återkommer även dygnet efter. Och storleken på autokorrelationen avtar inte lika mycket som i fallet för Göteborg. För prognosfelet vid 0 timmar innan prognos är autokorrelationen svagare men av samma mönster som för de tidigare prognoserna med en viss tendens att felet återkommer efter 1 och 24 timmar.



## Slutsats temperatur

Även om RSI inte alltid prognostiserar rätt temperaturer är korrelationen relativt hög under de närmaste timmarna innan utfallet. Detta var ganska väntat eftersom det alltid är enklare att förutse väder en kort tid innan utfallet. Dock upptäcktes det att prognoserna ibland ger helt slumpmässiga felvärden. För några närliggande segment kan det ibland skilja mer än förväntat. Det visade sig även att det är troligt att ett prognosfel återkommer på ett liknande sätt ett dygn senare.

## Anmärkning angående korrelerade prognosfel

I rapporten används även enkel linjär regression bland annat som underlag för invers prediktion. En förutsättning för analysen är att de slumpmässiga felen är oberoende vilket betyder att de inte ska ha någon autokorrelation. De slumpmässiga felen i regressionsanalysen är inte egentligen samma som prognosfelen, men de uppträder på ungefär samma sätt som prognosfelen i det här avseendet. Framför allt metoden att sätta ett prediktionsintervall för uppmätt temperatur utifrån en given prognos bör granskas utifrån den brutna förutsättningen om oberoende slumpfel. Genom simulering av data med snarlik struktur och omfattning som de data som används här har det visat sig att prediktionsintervallen inte får några avgörande systematiska fel av att kravet på oberoende är brutet.

### 4.2.2. Vägslag – Jämförelse av prognoser och utfall

I Vintermodellen (Wallman et al., 2005, Wallman et al., 2006, Möller, 2014) finns det upp till 21 olika typer av vägslag, men de vanligast förekommande är följande (Tabell 5):

Tabell 5. Vägslagsindelning i Vintermodellen (Möller, 2006).

Torr barmark (TB): Torr barmark med mittsträng av snö/is	Torr barmark
Fuktig barmark (FB): Fuktig barmark med mittsträng av snö/is Våt barmark (VB): Våt barmark med mittsträng av snö/is	Blöt barmark
Tillfälliga vägslag: Rimfrost (RIM) eller Tunn is (TUI) Stabila vägslag: Packad snö (PS) eller Tjock is (TJI) Lösa vägslag: Lös snö (LS) eller Snömodd (SM)	Snö/is

I RSI finns det sju olika vägslag, Dry, Moist, Wet, Slipperiness, LightSnow, Snow och Hazardous. För att kunna jämföra dessa olika vägslagsbenämningar har följande hopslagningar av de olika vägslagen gjorts (Tabell 6):

Tabell 6. Väglagsöversättning mellan Vintermodellen och RSI.

Torr barmark	Dry
Blöt barmark	Moist Wet
Snö/is	Slipperiness LightSnow Snow Hazardous

## Göteborg

Vädret som använts är från VViS-stationerna 1417, 1421 och 1435 och för samma tidsperiod som för prognoserna. Övriga indata i modellen är ÅDT 4000, vägstandardklass 3 med startkriterier för åtgärder på 1 cm snö med en åtgärds tid på maximalt 4 timmar.

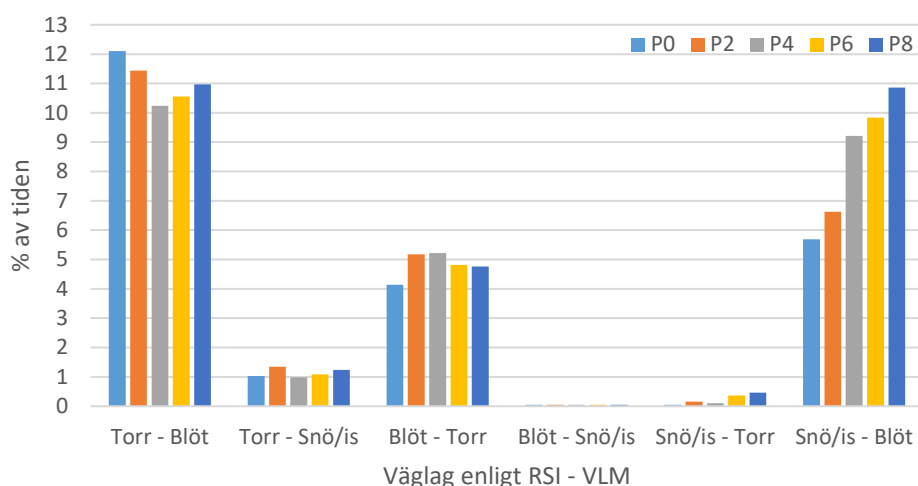
I RSI-materialet finns det 1933 timmar mellan den 13 december 00:00 och 3 mars 20:00. Eftersom det inte är en speciell yta på vägbanan som prognosen görs för, har RSI-prognoserna jämförts med alla vägytor i Vintermodellens beräkningar. Det vanligaste väglaget i området för RSI-prognosen är sen det väglag som jämförts med de fem från Väglagsmodellen.

Hur ofta säger prognosen att det är torrt, blött eller snö/is på vägbanan samtidigt som Väglagsmodellen har beräknat väglaget till detsamma? Det första som syns är att prognosen blir något mer säker ju närmare utfallet det är. 8 timmar innan är det 69 procent av utfallet i RSI och Väglagsmodellen som är samma om väglaget delas in i tre kategorier. Två timmar innan utfall stämmer prognosen och modellen överens i 74 procent av vinterns timmar (Tabell 7).

Tabell 7. Andel väglag som skiljer sig respektive stämmer överens mellan RSI-prognoser och Vintermodellens väglagsmodell (VLM).

RSI	VLM	Prognos 0	prognos+2	prognos+4	prognos+6	prognos+8
Torr	Blöt	12,1	11,4	10,2	10,6	11,0
Torr	Snö/is	1,0	1,3	1,0	1,1	1,2
Blöt	Torr	4,1	5,2	5,2	4,8	4,8
Blöt	Snö/is	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Snö/is	Torr	0,1	0,2	0,1	0,4	0,5
Snö/is	Blöt	5,7	6,6	9,2	9,8	10,9
Stämmer överens		75,4	73,6	72,3	71,0	69,0

Det är lyckligtvis inte så ofta som RSI-prognosen säger att vägbanan är täckt av snö/is när Väglagsmodellen säger att det är torrt på vägen eller tvärt om, det inträffar något oftare för prognoserna långt innan, men det infaller bara som mest i 1,3 procent av vinterns timmar. Däremot är det oftare som RSI säger att det är torrt när Väglagsmodellen visar på en blöt (fuktig eller våt) yta. Detta infaller mellan 10,2 och 12,1 procent av timmarna. Det inträffar även mellan 5,7 och 10,9 procent av tiden att RSI prognoserna förutspår att vägen kommer vara täckt av snö eller is och det enligt Väglagsmodellen är blött på vägen.



Figur 22. Procentuella skillnader mellan RSI:s väglagsprognos och utfallet från Vintermodellens väglagsmodell i Göteborg.

## Borås

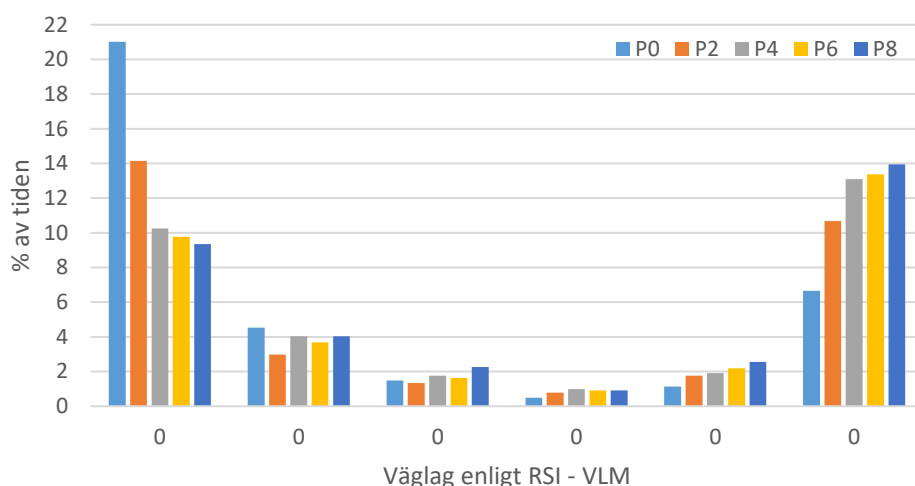
I analysen för Boråsområdet var det VViS-stationen 1509 som användes med backup från 1549 för 1 januari till 1 mars 2017. Även denna väg är av vägstandardklass 3 med startkriterier för åtgärder på 1 cm snö med en åtgärdstid på maximalt 4 timmar och har ÅDT 4000. Det är 1413 timmar i RSI-materialet. Och även här är det inte någon speciell yta på vägbanan som prognosen görs för. Den största skillnaden här är att RSI inte får åtgärder inrapporterade i detta driftområde och eftersom Vintermodellen inte går att köra helt utan åtgärder har körningar gjorts med vägens tillhörande driftstandard, men utöver det har även en körning med färre åtgärder gjorts med startkriteriet 10 cm snö och åtgärdstid på 10 timmar.

Tabell 8. Andel väglag som skiljer sig respektive stämmer överens mellan RSI-prognoser och Vintermodellens väglagsmodell (VLM) i Borås. Startkriterie: 1 cm snö, åtgärdstid: 4 timmar

RSI	VLM	Prognos 0	prognos+ 2	prognos+ 4	prognos+ 6	prognos+ 8
Torr	Blöt	21,0	14,2	10,3	9,8	9,3
Torr	Snö/is	4,5	3,0	4,0	3,7	4,0
Blöt	Torr	1,5	1,3	1,8	1,6	2,3
Blöt	Snö/is	0,5	0,8	1,0	0,9	0,9
Snö/is	Torr	1,1	1,8	1,9	2,2	2,5
Snö/is	Blöt	6,7	10,7	13,1	13,4	13,9
Stämmer överens		63,6	67,1	66,6	66,8	65,0

I detta området stämmer inte väglaget överens lika bra. Prognosen två timmar innan har samma väglag 67 procent av tiden, och för 8 timmar innan är 65 procent samma. När RSI räknar ut att det ska vara torrt i prognosen två timmar innan utfall är det 14 procent som av tiden i beräkningarna från Vintermodellens väglagsmodell som säger att vägen är blöt. Andelen för när en av modellerna säger att det är snö/is på vägen och den andra säger att det är torrt är betydligt högre för detta område, med som högst 4,5 procent.

När RSI säger snö/is och väglagsmodellen förutspår blött sker oftare på långtidsprognoserna.



Figur 23. Procentuella skillnader mellan RSI:s väglagsprognos och utfallet från Vintermodellens väglagsmodell i Borås.

Eftersom åtgärdsdata inte återrapporteras till RSI i Boråsområdet testades även Väglagsmodellen med att färre åtgärder görs med startkriteriet 10 cm snö och åtgärdstid på 10 timmar. Då blev resultatet enligt följande Tabell 9. Den största skillnaden blir i 8 timmarsprognosen, där överensstämmelsen blev 1,3 procent högre.

Tabell 9. Andel väglag som skiljer sig respektive stämmer överens mellan RSI-prognoser och Vintermodellens väglagsmodell (VLM) i Borås. Startkriterie: 10 cm snö, åtgärdstid: 10 timmar.

RSI	VLM	Prognos 0	prognos+2	prognos+4	prognos+6	prognos+8
Torr	Blöt	20,8	14,0	10,2	9,6	9,0
Torr	Snö/is	4,7	3,1	4,1	3,8	4,4
Blöt	Torr	1,5	1,3	1,7	1,6	2,2
Blöt	Snö/is	0,6	1,0	1,1	1,0	1,1
Snö/is	Torr	0,9	1,5	1,5	1,7	2,2
Snö/is	Blöt	5,9	9,8	12,5	12,7	13,0
Stämmer överens		64,4	68,2	67,5	68,0	66,3

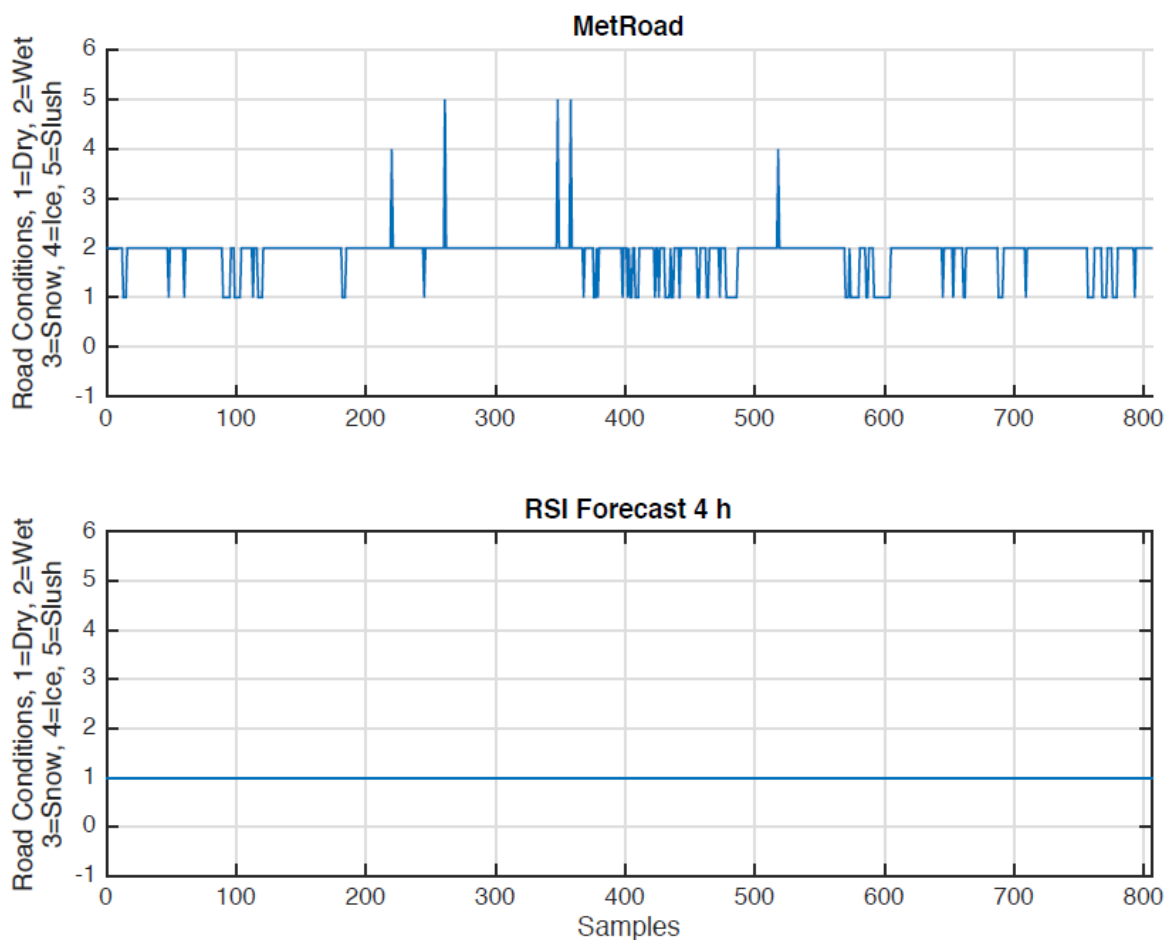
### Slutsats väglag

Varför båda beräkningsmodellerna skiljer sig åt så pass mycket är svårt att säga, det kan bero på många parametrar. T.ex. att det är ett område som har sammanfattats för prognoserna och Vintermodellens gör beräkningar för en väg med en bestämd ÅDT och använder väder från en punkt.

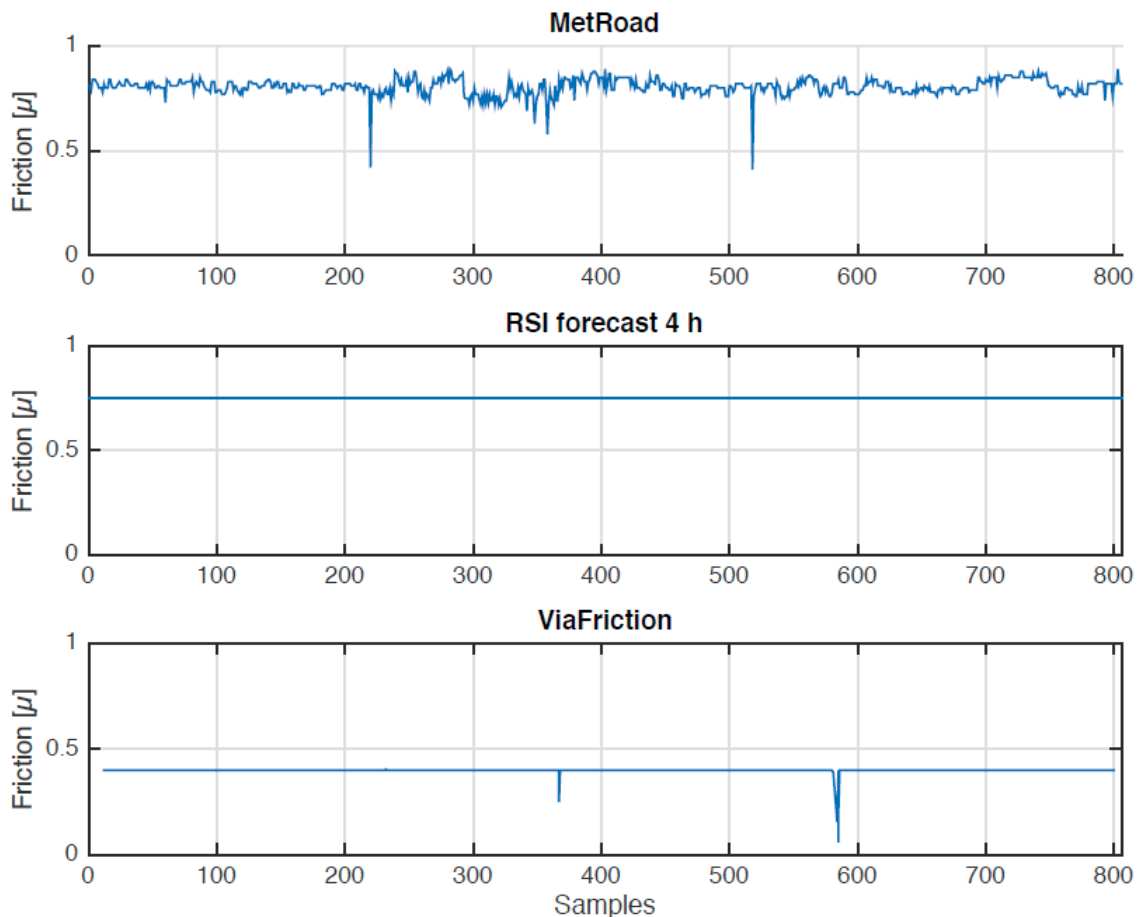
Restsalt är en annan problematik eftersom RSI beräknar mängden is/snö och vatten på vägen och vid tillgång till åtgärdsdata sänks fryspunkten till den nivå som andelen salt på vägen ger. Detta innebär att beräknad is smälter till vatten om fryspunkten sänks. Utifrån mängden is/snö/vatten bestäms sedan väglaget.

Inom BVFF har projektet "RSI för Robust och tillförlitlig infrastruktur" utförts av LTU (Luleå Tekniska Universitetet). Där gjordes det bland annat en validering av RSI med avseende på friktion och väglag. Bland annat användes friktionsmätarna ViaFriction (ViaTech AS, Norge) och MetRoad (MetSense AB, Sverige). De gjorde friktionsmätningar mellan 2017-03-06 och 2017-03-09. Ett av

resultaten från det projektet var de som visas i figuren nedan. I detta exempel från den 9 mars (Göteborg) bedömdes det som att vägen torkade upp efter några dagar med snö/slask. Prognosen fyra timmar innan sa att vägen skulle vara torr (Figur 24) och friktionskoefficienten på vägen skulle vara ungefär 0,75 (Figur 25 mellersta diagrammet). Vägslagsobservationerna visade mestadels en våt vägyta med inslag av torrt och på några ställen även is eller modd/slask (Figur 24). Friktionsmätning med MetRoad mätte upp ca 0,8 samtidigt som ViaFriction mätte ca 0,4 (Figur 25 översta resp. nedersta diagrammet).



Figur 24. Resultat av vägslagsmätning med MetRoad (överst) jämfört med RSI:s prognos 4 timmar innan (Casselgren, 2017).



Figur 25. Resultat av friktionsmätning med MetRoad och ViaFriction jämfört med RSI:s prognos 4 timmar innan (Casselgren, 2017).

Från mätningen gjordes sen en beräkning av felvärdet mellan RSI:s friktionsprognos och ytstatusgivarens (MetRoad) friktionsuppskattning för prognoslängderna 4 och 1 timme innan mätning. Felet beräknades genom att beräkna skillnaden på de två värdena. Resultatet var då att ”80 % av värdena ligger inom en osäkerhet på 0,15  $\mu$  jämfört med referensen” (Casselgren, 2017).

Kravet på friktion definieras i Trafikverkets krav: ”För vägbana, gångbana och cykelbana med bundet slitlager ska medelvärdet av friktionstalet på en 20 m sträcka vara  $\geq 0,50$ .” (Trafikverket, 2011) och för en väg med vinterväghållning ska vägen vara snö/isfri (standardklass 1–3) och är det mellan -6 och -12 grader ska friktionen överstiga 0,35 (Vägverket, 2002). Det är dock värt att notera att det inte finns någon gällande metodbeskrivning för att mäta friktion på vinterväglag. Med tanke på att olika friktionsmätare kan ge olika resultat så är det svårt att avgöra om friktionskravet är uppfyllt eller ej.

### 4.3. Import av dynamiska prognoser

För att effektivt kunna hantera prognosdata definierades att endast de vägsträckor som behöver åtgärdas ska importeras för ruttoptimering. RSI skickar start-, center- och stoppkoordinater utifrån de segment som behöver åtgärdas. Koordinaterna och åtgärdsförslagen matchas av ledningssystemet MobiWin mot NVDB (nationell vägdata) och åtgärdssträckor skapas. Prognosdata som importeras omfattar parametrarna i Tabell 10.

Tabell 10. Importerade prognosdata för ruttoptimering.

Prognosdata	Förklaring	Används för optimering
forecastTime	Tid när utfall prognostiseras	X
shape_length	Längd på segment	X
startlong	Koordinat	X
startlat	Koordinat	X
stoplong	Koordinat	X
stoplat	Koordinat	X
centerlong	Koordinat	X
centerlat	Koordinat	X
area_id	Driftområde	X
roadcondition		
rsi_roadcondition	Väglag	
roadsurfacetemperature	RST	
nrofcars	Car data	
nroflipperevents	Car data	
friction_value	Car data	
treatmentsalt	Åtgärdsförslag	X
treatmentbrine	Åtgärdsförslag	X
treatmentplough	Åtgärdsförslag	X
airtemperature	AT	
dewpointtemperature	Daggpunkt	
rainprecipitation	Nederbörd regn	
snowprecipitation	Nederbörd snö	
metroadstatus	Sensor data	
metroadfriction	Sensor data	

#### 4.4. Applicering av ruttoptimeringsalgoritmer

##### Teoretisk beskrivning av det aktuella problemet

- Variant av Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW)
- Klassiskt benchmarkproblem som räknas som "NP-svårt", det vill säga det är inte tekniskt möjligt att testa alla alternativ.
- Omöjligt att testa alla kombinationer för lite större problem
- 20 platser kan besökas på 20! olika sätt (dvs. 2 432 902 008 176 640 000 olika sätt)
- Exempel Driftområde Göteborg innehåller ca 5 000 väglänkar.
- Löses istället med hjälp av en heuristisk algoritm (en slags "smart gissning" utan garantier kring kvalitén).

##### Problemets karaktär

- Ny prognos varje timme – därför måste optimeringen vara snabb
- Optimeringen är länkbaserad och inte punktbaserad
- Verksamhetsrelaterade sidovillkor (Ex: begränsad saltmängd, vägbredd/spridningsbredd, trafiksituationen varierar över dygnet, olika åtgärds hastigheter för olika spridare...)

Fokus har varit att få fram ett "Proof of concept" och inte en färdig kommersiell lösning.

Grundalgoritmerna är anpassade för hantering av åtgärdssträckor. Algoritmen föreslår en eller flera rutter vilka täcker in samtliga sträckor innan det prognostiserade utfallet sker. Konfigurering av

parametrar exempelvis väglklasser, önskad åtgärds tid samt snitthastigheter för åtgärd respektive transport utförs av arbetsledaren.

Algoritmen hanterar vägbredd samt önskad täckningsgrad av vägbredd. Täckningsgraden beskriver hur mycket av vägytan som skall behandlas, dock varierar detta beroende av vilken entreprenör det är samt vilken typ av åtgärd som skall genomföras. Exempel vid åtgärd i form av befuktat salt läggs X procent av vägbredden och vid lösning läggs Y procent av vägbredden.

Variationer mellan hur olika entreprenörer väljer att behandla vägytan har tydliggjort behovet av en ”entreprenörs”-matris. I matrisen (som är under utveckling) kan entreprenörer lägga in olika parametrar vilka sedan hanteras av optimeringsalgoritmen.

Optimeringen sker automatiskt när en ny prognos med åtgärdsbehov har kommit. Grundkonfigurering av vilka tillgängliga resurser som skall tas med i optimeringen genomförs av arbetsledare. Optimeringen kopplar en rutt till respektive fordon. De dynamiskt optimerade rutterna hanteras separat av MobiWin i ruttplaneringsfunktionen.

När rутten är genererad skapas även ett ”utkallningsscenario” med rutter kopplade till fordon för enkel resursutkallning. När utkallningen är genomförd och föraren som har jour på fordonet bekräftar uppdraget blir rутten med aktivitetsinformation tillgänglig för distribution till fordonet.

## 4.5. Applicering av fordonsattribut och åtgärd

Definition av vilka fordonsattribut som behövs läggas in är transport och åtgärdshastighet, spridningsbredd vid olika materialtyper samt vilka volymer av respektive material spridaren kan lastas med. En tanke är att även titta på automatisering av åtgärdshastigheter baserat på historiska data.

Fordonsattributen används av optimeringen för att säkerställa att rutterna blir körbara samt att kostnaden kan beräknas korrekt för respektive typ av åkarupphandling.

Definition av vilka fordonsattribut som behöver läggas in är:

- Spridarkapacitet fastmaterial (ton)
- Spridarkapacitet lösning (m<sup>3</sup>)
- Fast startkostnad (kr)
- Rörlig kostnad (kr/h)
- Rörlig kostnad (kr/km)
- Transporthastighet (km/h)
- Åtgärdshastighet plogning (km/h)
- Åtgärdshastighet halkbekämpning fastmaterial (km/h)
- Åtgärdshastighet halkbekämpning befuktat (km/h)
- Åtgärdshastighet halkbekämpning lösning (km/h)
- Maximal spridningsbredd (m)
- Fordonshöjd (m)
- Fordonsvikt (ton)
- Startposition
- Stopposition

Olika materialtyper och vilka volymer av respektive material spridaren kan lastas med är information som behövs för att kunna optimera rутten så bra som möjligt.

Utöver dessa parametrar anges även spridningsbredd i form av en kvot. Detta anges för respektive materialtyp samt vid optimeringstillfället. Orsaken till detta är att optimeringsprogrammet arbetar med vägbredd och beroende av vilken typ av åtgärd man väljer att utföra, appliceras olika mycket av vägbredden.

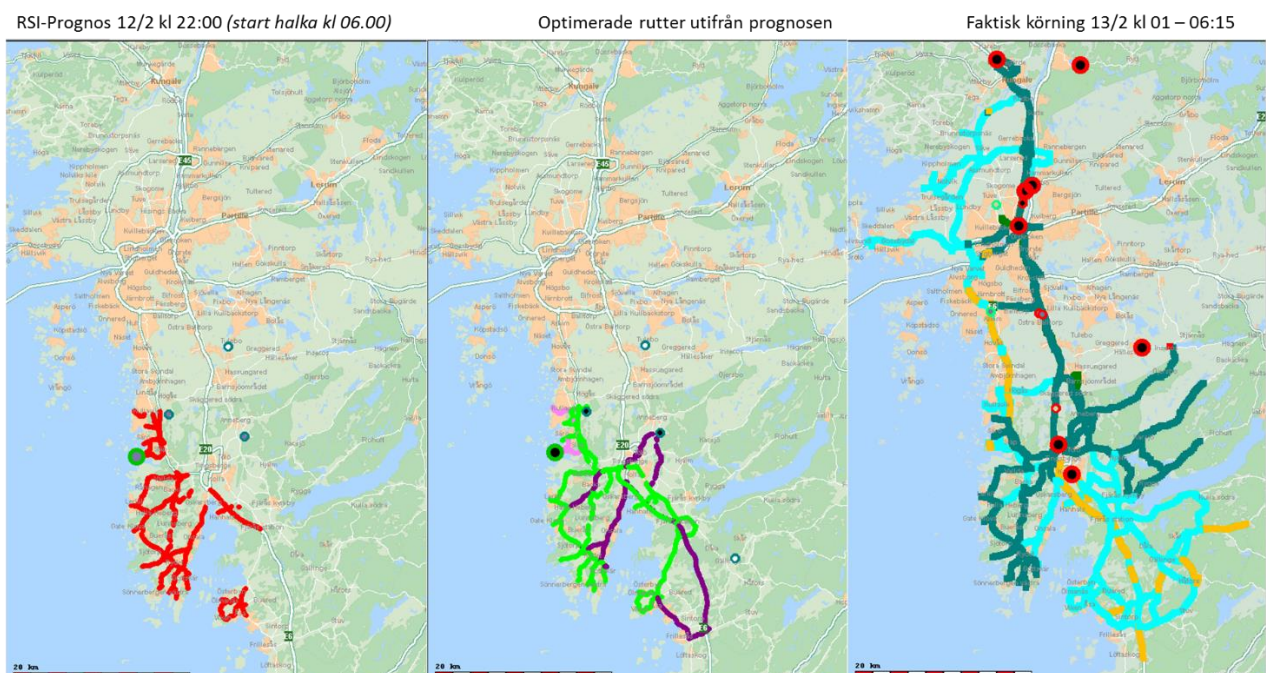


Exempel: vid behandling med befuktat salt appliceras normalt hälften av vägbredden. Detta motsvarar då en behandlingskvot på 0,5. Med hjälp av detta så kan optimeringen räkna ut korrekt materialförbrukning.

## 4.6. Resultat validering på historiska data

### 4.6.1. Stickprovskontroll

Stickprov har genomförts på ett antal åtgärdsstillfällen. Skillnaden mellan vad RSI har föreslagit och den faktiska åtgärden som utfördes är av naturliga skäl varierande. Stickproven har visat att vid vissa situationer behövs hela vägnätet åtgärdas. Vid andra tillfällen har ända upp till 70 procent reduktion av åtgärdsbehovet påvisats. En betydande anledning till att beslut fattas att åtgärda hela vägnätet är att VViS påvisar risk för halka medan RSI på vissa sträckor har en restsaltsberäkning. I Figur 26 visas ett exempel från en RSI-prognos och den därefter optimerade ruten för åtgärder till den faktiska körningen som gjordes.



Figur 26. RSI-prognos (vänster), Optimerad rutt (mitten) och den faktiska körningen (höger).

Exemplet ovan är en av tre körningar som utfördes vid denna period. RSI gjorde en bedömning, inklusive restsaltsalgoritmen, att upptorkning hade skett och att återfrysningsrisken inte fanns i stora delar av området. VViS varnade för återfrysning över hela området vilket ledde till att jourhavande beslutade om en komplett åtgärd.

Sammanfattningsvis så är bedömningen att om man arbetar enligt en dynamisk modell gällande förebyggande halkbekämpning estimeras en reduktion på ca 15–25 procent sett över en hel säsong. Estimaten är baserat primärt på kustnära områden där validering genomförts och kommer ha större eller mindre påverkan beroende av driftområdets geografiska läge.

### 4.6.2. Längre validering

Den validering som är genomförd med hjälp av historiska data är baserat på perioden mellan 2017-02-08 och 2017-03-05.

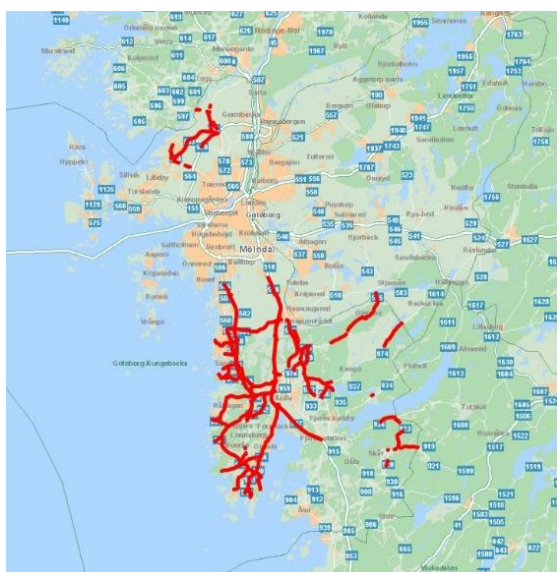
Inläsning av prognos har genomförts baserat på när i tiden halkbekämpningsåtgärder har påbörjats. Genomgång av prognosen har gjorts och den tidsperiod i prognosen där flest vägsegment med varning på används i importen. Tiden från prognosgenerering till påbörjad aktivitet varierar mellan 3 och 5 timmar beroende på prognosutfall.

Projektet har avgränsats till att fokusera på förebyggande halkbekämpning. För att filtrera fram vilka prognostillfällena som skall användas, har en genomgång av aktiviteter genomförts för varje datum. Aktiviteten kopplas till ”typ” av åtgärdstillfälle. Om det under åtgärdstillfället har utförts plogning så bedöms hela åtgärdstillfället som en avhjälpande åtgärd. För att beaktas som en förebyggande åtgärd så krävs att samtliga åtgärder är halkbekämpning. För att genomföra kopplingen så har definitionerna i Tabell 11 använts.

Tabell 11. Lista över vilka aktiviteter som används i valideringen.

Aktivitet	Bedömd typ av åtgärdstillfälle	Används i validering
Halkbekämpning	Förebyggande	Ja
Kemisk halkbekämpning	Förebyggande	Ja
Mekanisk halkbekämpning	Förebyggande	Ja
Plogning	Avhjälpande	Nej
Snöröjning	Avhjälpande	Nej
Kombi (plogning & halkbekämpning)	Avhjälpande	Nej
Mekanisk Kombi (plogning & halkbekämpning)	Avhjälpande	Nej
Kemisk Kombi (plogning & halkbekämpning)	Avhjälpande	Nej
Övrig körning	Transport i samband med åtgärd	Ja
Transport	Transport i samband med åtgärd	Ja

Med hjälp av kopplingen till åtgärdstyp identifierades 21 åtgärdstillfällena som förebyggande under den aktuella perioden. Dessa prognoser lästes in i ledningssystemet ”MobiWin” och definierades i systemet som en ”prognosrutt” med datum och klockslag när prognosen genererades (Figur 27). Varje inläst prognosrutt granskades för att säkerställa att inläsningen såg korrekt ut innan optimering genomfördes.



Figur 27. Exempel på prognosrutt.

### 4.6.3. Ruttoptimering

Ruttoptimering genomförs därefter på prognosrutten. Indata som behöver anges för hantering av algoritmen är följande.

**Åtgärds tid** i samband med ruttoptimering av förebyggande halkbekämpning hanteras av systemet som en in-parameter för att beräkna kostnaden för rutten vilket är en del i optimeringen och skall ej blandas ihop med åtgärds tid för en ”avhjälpande åtgärd” exempelvis snöröjning där en maximal åtgärds tid kopplas mot startkriteriet.

**Optimeringskvalitet:** är kopplat till hur länge optimeringen skall köra för att hitta bästa lösningen.

**Åtgärds hastighet:** In-parameter baserad på historisk data (manuellt sammanställd)

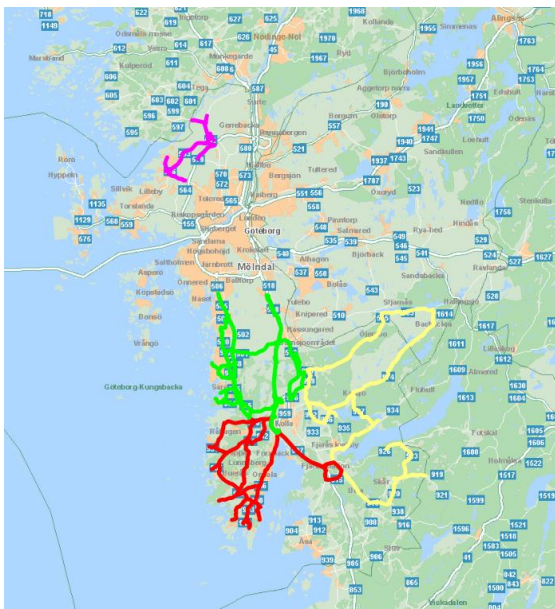
**Transporthastighet:** In-parameter baserad på historisk data (manuellt sammanställd)

**Val av antal fordon** som skall ingå i optimeringen. I detta exempel har fyra fordon angetts.

Optimeringen skapar då fyra olika rutten. Rutternas längd (km) summeras och har använts som underlag i jämförelsen mot de aktiviteter (km) som utfördes vid åtgärdsstillfället. Längden på de optimerade rutterna saknar framkörningssträcka samt eventuell sträcka till depå för lastning av spridare. Då startpunkt och depålokalisering saknas i historiken, har detta hanterats med hjälp av ett påslag på 12 procent av föreslagen rutt. Kvoten är beräknad utifrån startkostnad på fordonen och motsvarar en medelsträcka av ca 9 km per fordon för framkörning till ruttstart samt lastning i depå. Denna sträcka är framtagen i samråd med Svevia.

#### 4.6.3.1. Exempel på optimerade rutten

I Figur 28 visas ett exempel på en optimerad rutt. De olika färgerna visar rutterna för respektive fordon.



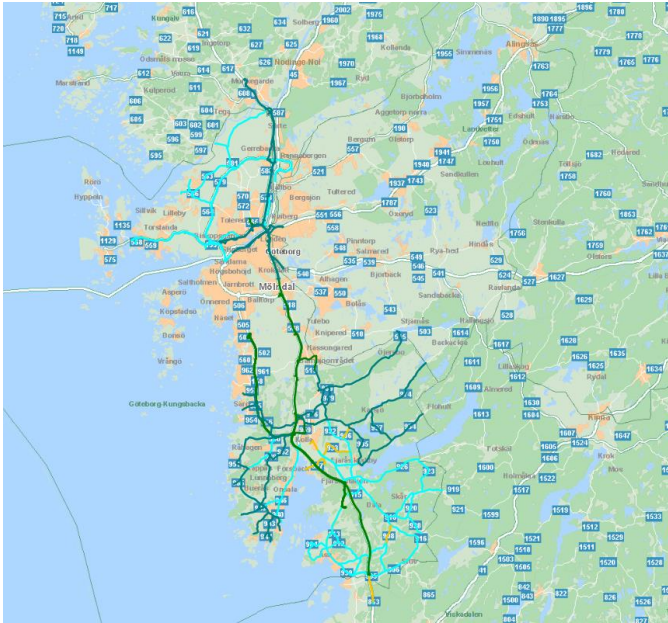
Figur 28. Exempel på en optimerad rutt.

För att få fram längdskillnaden mellan de genomförda åtgärderna och de dynamiskt optimerade rutterna används historisk data filtrerad enligt de tidigare angivna typerna. Dels en visuell kontroll av hur fordonen täckt av området samt med uppföljning via aktivitetsrapport.

Ett av de mest frekvent använda fordonen har under perioden även varit testfordon i ett annat projekt och har därför inte automatisk rapporterat in saltspridningsdata. Detta specifika fordon har rapporterat

antingen halkbekämpning via en knapptryckning eller så har körningen hamnat som övrig körning. Detta medför att om föraren inte har tryckt på knappen så blir det en förhållandevis hög andel övrig körning i sammanställningen. Vi bedömer dock att efter granskning av körningarna, att hastighet och körnämster överensstämmer med motsvarande halkbekämpning och transport vid åtgärd.

I Figur 29 visas ett exempel på en faktisk körning och i Figur 30 visas ett exempel på en aktivitetsrapport.



*Figur 29. Exempel på den faktiska körningen.*

Data från aktivitetsrapporten har använts som underlag för summeringen av de utförda aktiviteternas längder under åtgärdfallet.

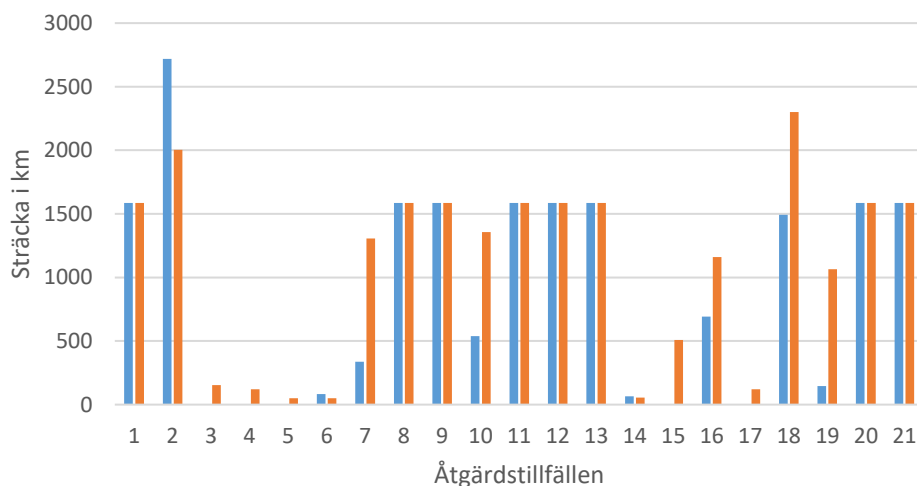


		<b>Upprättad av:</b>	<b>Rapportdatum:</b>
		bmsys	2017-08-24
<b>Rapportintervall:</b>			
	Från:	2017-02-14 23:59	
	Till:	2017-02-15 12:00	
<b>Fordon:</b>	T2a JH Transport , # ,M10/Åregren/ XEH414, #, (T)R1/ Lingårdsson/ CJJ589/ GLC500, #, M10/ Åregren / XEH414 , #, M4/ HP-bilen/ Lingårdsson/ SZD988, #, M8 (Nav)/ GTG i Gbg/ BCL636/ , #...		
<b>Status:</b>	-		
<b>Rutter:</b>	-		
<b>Zoner:</b>	-, -		

Aktiviteter								
Aktivitet	Storhet	1	2	3	4	5	Övriga	Totalt
Btx_av	Antal	1		1			3	5
Btx_på	Antal						5	5
Halkbekämpning	Sträcka (km)	152,0	1,3	38,8	81,2	52,8	31,5	357,6
	Tid (h)	2,89	0,03	0,69	1,58	1,23	1,97	8,39
Kem halkbek	Sträcka (km)	41,5		14,2	3,4	9,6	6,5	75,1
	Tid (h)	0,58		0,23	0,22	0,31	1,10	2,44
Kem halkbek_aktiv	Sträcka (km)	174,9	6,5	168,4	63,8	61,2	34,1	509,0
	Tid (h)	2,80	0,11	2,85	1,57	1,76	1,40	10,48
	Salt (ton)			0,02	0,74	0,86	0,01	1,63
	Saltlösning (m <sup>2</sup> )	8,58	0,20	6,01	0,69	0,23	1,03	16,73
Övrig Körning	Sträcka (km)	339,0		24,7	0,3		30,0	394,0
	Tid (h)	6,29		0,40	0,01		3,58	10,28
<b>Totalt</b>	Sträcka (km)	707,4	7,8	246,1	148,7	123,6	102,1	1335,6
	Tid (h)	12,56	0,14	4,16	3,37	3,31	8,05	31,59
	Salt (ton)			0,02	0,74	0,86	0,01	1,63
	Saltlösning (m <sup>2</sup> )	8,58	0,20	6,01	0,69	0,23	1,03	16,73

Figur 30. Exempel på aktivitetsrapport.

Figur 31 är en sammanställning av de optimerade rutternas åtgärder tillsammans med de faktiskt utförda åtgärderna.



Figur 31. Optimerat förslag (blå) och utförda åtgärder (orange).

I Tabell 12 visas en sammanställning av de 21 åtgärdstillfällena som var under den studerade perioden och de optimeringarna som har gjorts har jämförts med de faktiska körningarna.

Sammanställningen ger en minskning med ca 18 procent av åtgärdsbehovet vid optimerade rutter. En intressant notering är att optimeringen vid några tillfällen föreslår en större insats än vad entreprenören valt att utföra. Speciellt intressant är detta vid det andra åtgärdsstillfället, då det blev en stor skillnad mellan optimeringen och de utförda aktiviteterna. Vid detta tillfälle gav prognosen information om att det krävdes en betydligt mer omfattande insats (bland annat flera besök på samma vägsegment) än vad som utfördes.

Brytgränsen för när optimering ger bäst resultat är när utfallet är mindre än 65 procent av vägnätet. Om utfallet är större blir optimeringsförslaget väldigt nära samma längd som den statistiska körningen. En skillnad är dock att saltförbrukningen kan minskas med hjälp av optimeringen genom att göra selektiva åtgärder.

Tabell 12. Sammanställning av optimeringsförslag och faktiskt körda rutter. (Körda km (halkbekämpning samt transport) 2\* Utfall över större delen av området 6\* Samma körning som nr.5 på eftermiddagen

Åtgärd Nr	Opt.-förslag	Opt. + framkörning	Körda km	Kommentar	Differens
1	1 585	1 585	1 585	Körning enl. statistiska rutter utfall över hela omr.	0
2*	2 426	2 718	2 004	Optimering föreslår större insats än utförd	713
3	0	0	154	Inget behov enligt prognos, kort körning norr	-154
4	0	0	121	Inget behov enligt prognos, kort körning norr	-121
5	0	0	50	Inget behov enligt prognos, kort körning norr	-50
6*	74	83	50	Optimering föreslår något större insats än utförd	33
7	302	338	1 306	Optimerat förslag mer effektivt	-968
8	1 585	1 585	1 585	Körning enl. statistiska rutter utfall över hela omr.	0
9	1 585	1 585	1 585	Körning enl. statistiska rutter utfall över hela omr.	0
10	481	538	1 357	Optimerat förslag mer effektivt	-818
11	1 585	1 585	1 585	Körning enl. statistiska rutter utfall över hela omr.	0
12	1 585	1 585	1 585	Körning enl. statistiska rutter utfall över hela omr.	0
13	1 585	1 585	1 585	Körning enl. statistiska rutter utfall över hela omr.	0
14	57	64	54	Optimering föreslår något större insats än utförd	11
15	0	0	509	Inget behov enligt prognos	-509
16	619	693	1 160	Optimerat förslag mer effektivt	-467
17	0	0	120	Inget behov enligt prognos	-120
18	1 332	1 492	2 300	Optimerat förslag mer effektivt	-808
19	131	147	1 064	Optimerat förslag mer effektivt	-918
20	1 585	1 585	1 585	Körning enl. statistiska rutter utfall över hela omr.	0
21	1 585	1 585	1 585	Körning enl. statistiska rutter utfall över hela omr.	0
Σ	18 102	18 753	22 929		-4 176

---

## 5. Diskussion och slutsatser

---

Syftet med projektet är att med dynamisk vägbeskaffenhetsinformation skapa förutsättningar för dynamiska åtgärder för en mer produktiv vinterväghållning. Detta genom att integrera data från en vädertjänst i befintliga lednings- och uppföljningssystem samt att utvärdera den vädertjänst (RSI) som används i projektet med avseende på vilket prognosfönster som är lämpligt att använda i optimeringen. Projektet är i en första fas, som kan beskrivas som ett första försök för att bygga ihop systemen samt validera att det är genomförbart och att resultatet blir pålitliga rutter för vinterväghållarna.

Det är alltid svårt att göra exakta väderprognoser. Studien av RSI:s prognostillförlitlighet visade ungefär det väntade resultatet, där det är större sannolikhet att få en tillförlitlig prognos kort före utfallet än åtta timmar innan, som var den tidigaste prognosen som studerades. Även om prognoserna visar relativt god överensstämmelse med utfallet, skulle en högre noggrannhet vara önskvärd. Det känns som att det är något för hög säkerhetsmarginal inprogrammerad. Som exempel kan den prognosticerade temperaturen för 0 grader avvika från det verkliga utfallet med mer än 2 grader både upp och ner, vilket har stor betydelse för halkbildningen på vägarna. Om man gör en prognos som visar på att det ska bli nollgradigt om sex timmar samtidigt som vägen är fuktig bör en preventiv åtgärd utföras, men efter sex timmar kan då vägytan vara två grader och åtgärden var inte nödvändig. Yttertemperaturen skulle även kunna vara lägre än två minusgrader och då riskerar den utlagda saltmängden vara för svag. Det har också konstaterats att det finns en viss autokorrelation avseende prognosvärdena vid längre prognosintervall. Det betyder att prognosfelet för en timma, har en tendens att följas av liknande prognosfel nästa timma. Mönstret finns även, om än mindre uttalat, om man jämför med motsvarande timma ett dygn senare.

När det gäller väglagsprognoserna är dessa svårare att jämföra i efterhand, men jämförelsen med Vintermodellens beräknade väglag som gjordes visade på en överensstämmelse för väglaget mellan 69 och 74 procent i Göteborg beroende på hur långt i förväg prognosen görs. I området vid Borås där RSI inte har restsaltsberäkningar blev siffran något lägre. I de friktionsmätningar som LTU genomförde i början av mars i Göteborg visade att *”80 % av värdena ligger inom en osäkerhet på 0,15  $\mu$  jämfört med referensen”* (Casselgren, 2017). Referensen i detta fallet är troligen MetRoad, eftersom ViaFriction visade på betydligt lägre värden. Men även en osäkerhet på 0,15 kan vara skillnaden på en säker väg och en hal väg.

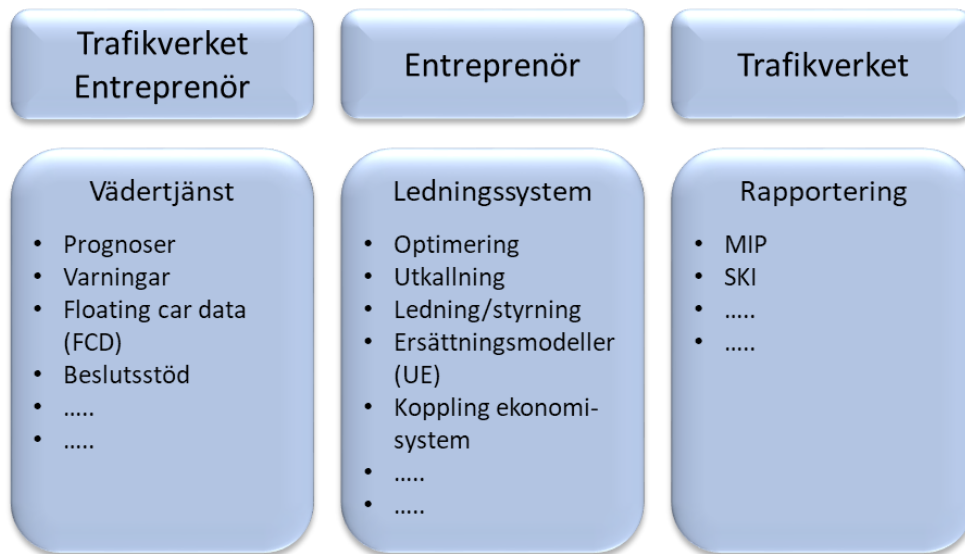
Dagens vädertjänster innehåller beslutsstöd som bygger på detaljerade sträckprognoser för temperaturer och väglag. Frågor som när, hur länge och var blir det halt samt saltbehov kan besvaras. Detta är av speciellt värde då beslut ska kunna tas snabbt och ibland även av mindre erfarna beredskapshavare. Problematiken har varit hur man praktiskt kan utnyttja denna information för att tillgodogöra verksamheten fördelarna med modern prognosteknik.

Projektet har visat att med hjälp av dynamisk ruttoptimering kan man realisera beslutsstödsystemens fulla potential genom automatisering och på så sätt ytterligare utveckla vinterväghållningsverksamheten. Främst sker detta genom att de detaljerade väglagsprognoserna integreras med ruttoptimering, som via mobilnät sänder den skapade ruten till ett navigeringssystem i saltbilen. Som i sin tur ger föraren körinstruktioner. Detta leder till att åtgärder kan ske mycket detaljerat och en ökad produktivitet erhålls genom att endast de vägar som prognostiserats som hala vägar behöver åtgärdas.

Systemet är dock avhängigt av att navigeringssystemen är robusta, då det vid varje åtgärdstillfälle är en ny rutt som skall köras. Navigeringssystemet behöver dels kunna hantera körning utanför mobilnätets täckning. Men även att det finns möjlighet vid behov kunna hämta ner ruten inklusive vad som redan är utfört om det skulle uppstå ett problem under tiden fordonet är ute och kör. Ett förslag kan vara att navigeringssystemets ordinarie plattform baseras på en uppkopplad surfplatta och att som backup kan systemet även användas på en smartphone.

Med en integration mot befintliga system minskar även totalkostnaden för systemlösningen samt underlättar implementering. Då behöver användarna endast lära sig de nya funktionerna i den vidareutvecklade programvaran de redan använder. Projektet skapar även ett underlag för att möjliggöra avgränsade upphandlingar av delsystem. Med upphandling av delsystem så kan entreprenören på samma sätt som idag fortsätta att välja vilket ledningssystem som de vill använda och Trafikverket kan välja att handla upp vädertjänsten separat. Alternativt låta entreprenören införskaffa den tjänst som anses passa entreprenörens behovsbild bäst.

Rapportering kan utökas mot befintliga Trafikverkssystem. Detta minskar kravet på Trafikverket att tillhandahålla komplexa system och fokus kan läggas på innovation, vidareutveckling och kvalitet på vädertjänsten.



Figur 32. Delsystem i systemlösning.

Avgränsningen ger förutsättning för en sund konkurrensutsatt marknad med flexibilitet för både uppdragsgivare och entreprenörer. Med en fungerande marknad stimuleras innovationer och ger intresse för fler aktörer.

Det bedömdes i RSI-projektet att dynamiska rutter kunde reducera kostnaderna med ytterligare 5–10 procent med bibehållen kvalitet vilket motsvarar 15–30 Mkr sett över hela landet beroende av vägnätstyp och lokalklimat. Detta är att jämföra med de 18 procent som erhållits vid validering i detta projekt, dock ska det tas hänsyn till att valideringen utfördes på data (majoriteten) under februari månad, då vägnätet är förhållandevis stabilt i jämförelse med exempelvis oktober/november, sett i ett energiackumuleringsperspektiv. Bedömningen är att ett dynamiskt arbetssätt kan generera större besparingar än beräkningarna som är gjorda här.

Testområdet för ruttoptimering har även ett väldigt komplext vägnät vilket skapar ytterligare möjligheter för optimering. Vägnäten i norra Sverige är betydligt glesare med färre möjligheter till optimering, men har samtidigt lägre vägklassning det vill säga de körs inte lika ofta och blir därigenom inte avgörande produktionsekonomiskt. Förbättringspotential med upp till 18 procent bedöms sammantaget rimlig med hänsyn till vägnätets genomsnittliga utseende i landet och väderförutsättningarnas variationer sett över hela säsongen.

Effektivisering förväntas inom följande områden.



**Ekonomi:** Minskning av antal maskintimmar, inläringstid för plogrutter- och saltningsmanövrering, samt lägre saltförbrukning. Även potentiellt färre plogskador på vägutrustning till följd av att mer fokus kan läggas på fordonsmanövrering när saltningen blir automatisk.

**Miljö:** Minskning av luftföroreningar och saltanvändande.

**Framkomlighet:** Bättre kvalitet gynnar framkomlighet för trafikanterna

**Trafiksäkerhet:** Fokus kan läggas på omgivande trafikanter istället för manövrering av utrustning och navigering efter karta.

**Arbetsmiljö:** Vid högre automatiseringsgrad är det mindre att hålla reda på, detta leder till minskad stress vid höga utförandekrav.

**Kvalitet:** Optimalt handhavande av plogar och saltspridare.

## 5.1. Fortsatta studier

Det hade varit intressant att detaljstudera andra väderprognosleverantörer för att jämföra deras träffsäkerhet, men det har det inte funnits plats för inom detta projekt. Fler observationsstudier behövs för att verifiera hur pålitliga prognoserna är. Den senaste vintern var mild och snöfattig i södra Sverige. Hur prognostillförlitligheten ser ut en kallare vinter med mer nederbörd är även det något som borde undersökas. Fortsatt utveckling av dynamisk ruttoptimering och test i verklig miljö är nödvändigt.



---

## Referenser

---

- Casselgren, J. 2017. Hur väl stämmer verkligheten överens med ambitionerna, vilken data kan vi dra mest nytta av? Föredrag på RSI dagen 15 juni 2017, Scandic Crown, Göteborg.
- Foreca. 2017. 'Winter Maintenance Decision Support System', [Online] <https://corporate.foreca.com/en/weather-services/winter-maintenance>, [Tillgänglig 15 november 2017].
- Klimator. 2017. 'RSI-Road Status Information', [Online] <http://www.roadstatus.info/app/>, [Tillgänglig 15 november 2017].
- MeteoGroup. 2017. 'VinterHalka', [Online] <http://www.vinterhalka.se/meteoconsult.products.vinterhalka/login.jsp>, [Tillgänglig 15 november 2017].
- Möller, S. 2006. Vägslagsmodellen. VTI Rapport 529. VTI. Linköping, Sverige.
- Möller, S. 2014. Tema Vintermodell. Etapp 3. Förbättring, uppdatering och känslighetsanalys. VTI Rapport 834. Linköping, Sverige.
- Vägverket. 2002. ATB Vinter 2003. VV Publikation 2002:149. Vägverket. Borlänge, Sweden.
- Trafikverket. 2011. TRVKB 10 Bitumenbundna lager - Trafikverkets Krav Beskrivningstexter för Bitumenbundna lager i vägkonstruktioner TDOK 2011:266 (fd. Publ. 2011:082). Trafikverket. Borlänge, Sverige.
- Wallman, C.-G., Möller, S., Blomqvist, G., Bergström, A. och Gaunt, H. 2005. Tema Vintermodell: Etapp 1. VTI meddelande 958. Linköping, Sverige.
- 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, Sverige.



VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut, är ett oberoende och internationellt framstående forskningsinstitut inom transportsektorn. Huvuduppgiften är att bedriva forskning och utveckling kring infrastruktur, trafik och transporter. Kvalitetssystemet och miljöledningssystemet är ISO-certifierat enligt ISO 9001 respektive 14001. Vissa provningsmetoder är dessutom ackrediterade av Swedac. VTI har omkring 200 medarbetare och finns i Linköping (huvudkontor), Stockholm, Göteborg, Borlänge och Lund.

The Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI), is an independent and internationally prominent research institute in the transport sector. Its principal task is to conduct research and development related to infrastructure, traffic and transport. The institute holds the quality management systems certificate ISO 9001 and the environmental management systems certificate ISO 14001. Some of its test methods are also certified by Swedac. VTI has about 200 employees and is located in Linköping (head office), Stockholm, Gothenburg, Borlänge and Lund.

HEAD OFFICE  
LINKÖPING  
SE-581 95 LINKÖPING  
PHONE +46 (0)13-20 40 00

STOCKHOLM  
Box 55685  
SE-102 15 STOCKHOLM  
PHONE +46 (0)8-555 770 20

GOTHENBURG  
Box 8072  
SE-402 78 GOTHENBURG  
PHONE +46 (0)31-750 26 00

BORLÄNGE  
Box 920  
SE-781 29 BORLÄNGE  
PHONE +46 (0)243-44 68 60

LUND  
Medicon Village AB  
SE-223 81 LUND  
PHONE +46 (0)46-540 75 00

