

# FFI

FORDONSSTRATEGISK  
FORSKNING OCH INNOVATION

# 2011

## Slutrappport BiFi del 1



 TRAFIKVERKET

**SEMCON**

 Klimator

 VÄRMLANDSÅKARNA

VINNOVA

# BiFi

Publik projektrapport

Bärlighetsinformation genom  
Fordonsintelligens

Slutrappport BiFi del 1

2011-08-26

## Innehåll

Förord.....	3
Förord - Trafikverket.....	4
Sammanfattning.....	5
Resultatet efter BiFi del 1 visar följande:.....	5
Summery.....	6
Conclusions from the BiFi part 1 shows:.....	7
Bakgrund.....	8
Syfte.....	9
Målsättning med BiFi del 1.....	10
Förväntade resultat.....	10
Mål för delområde 1-4.....	11
Mål för delområde 5-8.....	12
Genomförande.....	13
Övergripande projektbeskrivning.....	13
Projektorganisationen.....	14
Beskrivning av BiFi projektet.....	15
Mätteknik.....	15
Vädermodell.....	23
Referensmätning.....	30
Resultat & Slutsats.....	40
Bidrag till FFI-mål.....	42
Produkt / affärsmodell.....	45
Användning av projektresultat.....	45
Kommunikation.....	46
Konferenser.....	46
Publikationer.....	46
Referensgruppen.....	46
Fortsatt forskning i BiFi del 2.....	47
Bilaga A - Deltagande parter.....	48



Utfärdare, telefon  
Anders S Johansson, 031-761 13 91

Dokumentnamn  
Slutrapport BiFi del 1 – publik rapport

Datum  
2011-08-26

Sida  
2

Utgåva  
1

### Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings-, innovations- och utvecklingsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Säkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör hälften.

För närvarande finns fem delprogram Energi & miljö, Fordons- och trafiksäkerhet, Fordonsutveckling, Hållbar produktionsteknik och Transporteffektivitet. Läs mer på [www.vinnova.se/ffi](http://www.vinnova.se/ffi)

### **Publik projektrapport**

Några avsnitt i denna rapport är av sekretessskäl borttagna.  
Kontakt projektledaren via hemsidan ifall intresse finns av mer information om projektet, [www.bifi.nu](http://www.bifi.nu)

## Förord

BiFi är en förkortning av namnet Bärighetsinformation genom Fordonsintelligens och är ett initiativ av Semcon och Klimator till att utveckla ett nytt verktyg för att bedöma vägars bärighet i realtid. Det kan låta som science fiction men genom att använda vanliga bilar och de sensorer som monteras i fabrik är hypotesen att man kan klassificera bärigheten på vägarna. Tidiga försök har visat att det går att bedöma asfaltens kvalitet och det även finns indikationer på att vi kan bedöma bärigheten för grusvägen.

Statliga Vinnova tog beslutet tidigt 2010 om att anta detta projekt inom ramen för Fordonsstrategisk Forskning och Innovation (FFI). Projektet drivs av Semcon tillsammans med Klimator (Ett kunskapsföretag vid Göteborgs universitet), Trafikverket och Värmlandsåkarna (En lokalavdelning av Sveriges åkeriföretag).

Två lyckade mätsäsonger är genomförda och resultatet av BiFi del 1 presenteras i denna rapport.

Projektgruppen har ansökt om en fortsättning av projektet fram till år 2012 och fått beslut från Vinnova om att detta kommer att beviljas.



Figur 1 Tjälskadad väg

## Förord - Trafikverket

Trafikverket identifierade i ett tidigt skede en stor potential i att förbättra transporteffektiviteten på grusvägnätet om bärighetsinformation på detta vägnät kan levereras objektivt och kostnadseffektivt. Ur Trafikverkets synvinkel skulle BiFi framförallt bidra med en ökad kundnytta som en följd av ökad tillgänglighet under tjällossningsperioder.

Trafikverket anser att resultaten från del 1 i BiFi är mycket lovande. Projektet har visat att det är möjligt att identifiera ytuppmjukade sträckor på grusvägar via analyser av de signaler som samlas in från fordonet eller andra tekniska lösningar. Trafikverkets bedömning är att i kombination med en utvecklad klimatmodell har den metodik som föreslås stor potential att ge kvalitativ information av bärighetsstatusen på vägnätet. Trafikverket ser därför positivt på en fortsatt utveckling av projektet i en del 2 av BiFi. En trimmad kalibrering av signalerna, en utvecklad klimatmodell och en tydligare identifiering av samband mellan signaler och generella bärighetsbrister skulle bidra mycket till effektivare användning av transportsystemet.

## Sammanfattning

Ett entydigt resultat visar att tekniken för att kartlägga ytuppmjukning av grusvägar är möjligt via BiFi tekniken. Under del 1 av BiFi projektet har en algoritm och utrustning för att mäta ytuppmjukning tagits fram. För att kunna prognostisera statusen på vägarna är den modell som har tagits fram helt avgörande.

För att avgöra i vilken grad den nya tekniken är användbar har referensmätningar varit en viktig del av projektet. Referensmätningarna har baserats på tekniken Dynamisk konpenetrometer (DCP). DCP är en vanlig metod internationellt men inte så vanlig i Sverige. Därför genomfördes mätning med fallviktsdeflektometer (FWD) med syftet att jämföra metoderna. Försöket visade att fallvikten inte lämpar sig att mäta vid de förhållanden som råder under tjällossningen då den höga vattenhalten i vägmaterialet orsakade felvärden.

Visuell inspektion av vägytan är det vanligaste sättet att ge en bedömning av vägens tillstånd. Det finns dock svårigheter med att använda visuella medel för att förutse bärighetsproblem. En visuell kartering genomfördes längs sträckan i Sunne som vi senare testade med DCP och FWD. Totalt karterades 5km. Tillståndet på vägen delades upp i fyra klasser: Frusen väg (is på vägbanan), barmark (väg utan is och utan spårighet), uppmjukad väg och mycket uppmjukad väg. Resultatet från jämförelsen mellan DCP och visuell kartering visar på brister i den visuella metoden. Den visuella karteringen missar på flera ställen längs den 1km långa sträckan områden med låg bärighet och klassas som antingen torra eller lätt spåriga. Medan platser som har en hög bärighet klassas som hög spårighet. Detta synliggör bristerna som finns i en visuell metod. Det är svårt att se om vägen är mjuk eller hård, en frusen väg kan se spårig ut och en mjuk väg kan se hård ut.

Till dessa problem skall läggas att det kan vara stor skillnad beroende på vem som karterar, vilket leder till stora osäkerheter i informationen som samlas in.

### **Resultatet efter BiFi del 1 visar följande:**

Slutsatser från den preliminära analysen

- BiFi-systemet ger en bild av bärighetsläget som stämmer väl överens med de referensmätningar som gjorts.
- Visuell kartering säger lite om bärighet – otillräckligt som beslutsunderlag.
- Det finns inga raka grusvägar – Även en på kartan, till synes, rak grusväg ger BiFi-indikationer.
- BiFi-mätningarna är en bättre metod än visuell kartering då metoden är snabbare, kostnadseffektivare och mer objektiv.
- DCPn visar att det förekommer stora spatiala variationer i bärighet som inte detekteras vid visuell inspektion.
- För framtida referensmätningar är DCP att föredra framför FWD vid nedsatt bärighet/tjällossning.

## Summery

The BiFi project “Bearing information through vehicle intelligence” has proven that the technology to map the load –bearing strength of roads by a vehicle-based method is possible. Combining the vehicle data with weather observations and forecasted weather data it is possible to model and forecast the road status according to bearing strength. The results are based on field tests in a rough and real environment for determining the load-bearing strength of the roads.

Roads with a high load-bearing capacity are essential for harvesting natural resources

in Sweden and to help keep the countryside open and prosperous. During periods in the spring when the ground frost thaws the load bearing capacity of the forest roads is greatly reduced, leading to road closure. Subsequently it is not possible to use the roads for transporting heavy goods such as lumber. In order to decrease the costly consequences of road closure the lumber industry needs to build up large stocks and to plan their transport in such a way that secondary stocks can be used. It has been calculated by SkogForsk that these measures cost the industry an extra 650 million a year. A tool for judging the load-bearing capacity of the road network in a detailed and dynamic way would considerably help to change the current strategy and possibly save the industry significant amounts. The aim of the present project is to develop a vehicle-based method for determining the load-bearing strength of the roads.

The results from the BiFi 1 were shown to be very successful. The technology to use vehicles to detect the bearing strength of gravel roads is useful. In part 1 of the BiFi an algorithm has been developed based on collected real-time data from a vehicle’s standard sensors.

Through data analysis, a method of determining the load bearing capacity of the roads that were driven on with cars was established. To test the algorithm and model - extensive field trials have been carried out together with reference measurements. Using the well proven method based on DCP- Dynamic Cone Penetrometer a comprehensive set of reference data was established. This method was also complemented by measurements using a FWD - falling weight deflectometer. A conclusion from this was that the FWD as a method is not very useful during the thawing period since a high water content in the road bed gives rise to errors for the FWD.

To ensure the quality from the cars additional sensors were used by reference accelerometers that were fitted to the vehicle in order to give an indication of the quality of the vehicle’s own accelerometer data.



Utfärdare, telefon  
Anders S Johansson, 031-761 13 91

Dokumentnamn  
Slutrapport BiFi del 1 – publik rapport

Datum  
2011-08-26

Sida  
7

Utgåva  
1

### ***Conclusions from the BiFi part 1 shows:***

- The BiFi-system detects the bearing strength in a way that is in accordance with reference measurements.
- In situ manual observations of the roads are insufficient as a method for decision about bearing strength.
- There is no such thing as a straight stretch when it comes to gravel roads – this means that a road stretch that looks straight on a map in reality has the potential to give BiFi indications.
- Measurements by the DCP shows that there are a lot of spatial variations that are not possible to detect by manual inspections.
- For future reference measurements the DCP is recommended in favor of the FWD



## Bakgrund

Miljöbelastningen och samhällskostnaderna är i dagsläget onödigt höga för transporter beroende på driftstörningar i transportsystemet. Vägar med god bärighet är en förutsättning för att skörda Svenska naturresurser. Vid till exempel tjällossning tinar marken och vägar stängs av för tunga transporter under flera veckor och därmed lamslås hela landskapet. För att mildra effekterna av avstängningarna bygger industrin upp lager och planerar sina transporter med extra omlastningar. Industrin arbetar med allt mera "just in time" lösningar av ekonomiska och miljömässiga skäl. Lager och extra omlastningar motverkar dessa strävanden. Förändrat klimat kommer att öka denna problematik. I dagsläget saknas metodik för att objektivt bedöma bärigheten i hela vägnätet i realtid. En modell för detta skulle väsentligt kunna ändra avstängningsstrategin och därmed öka tillgängligheten.

I ett EU projekt (Roadidea) om Semcon och Klimator deltog i gjordes inledande försök med behandling av signaler från fabriksmonterade fordonssensorer. Dessa försök har varit mycket lyckade och avsikten var att utveckla denna metodik så att de fungerar generellt och genomföra en implementering.

Att vägvästängningar leder till stora kostnader för transportnäringen har tydligt visats i en studie av Skogforsk/Trafikverket. Merkostnaden för skogsindustrin till följd av bristande bärighet i det allmänna vägnätet uppgår till 650 miljoner<sup>1</sup>. Vägvästängningar påverkar bland annat möjlighet till rundvirkestransporter, behov av stora lager hållning etc. Genom att öka kunskapen om aktuell bärighet kan framkomligheten ökas och kostnaderna som orsakas av detta minskas. Samtidigt erhålls även stora miljövinster, genom att kostsamma och miljömässigt dåliga längre transportsträckor undviks. Skogsindustrin undviker dessutom processer av typen blekning som kan behövas om virke ligger länge på lager.

Att rätt kunna bedöma en vägs bärighet är av stort värde för att kunna optimera transporter. Vid nedsatt bärighet är det lätt att tunga transporter orsakar skador och att framkomlighetsproblem uppstår. Av denna anledning är det väsentligt att kunna bedöma en vägs status och också få en prognos på hur utvecklingen av bärigheten kommer att se ut under de närmaste dagarna. Omvänt gäller vid perioder med bra bärighet då information om aktuell status och prognos kan vara ett hjälpmedel för att dimensionera de laster som vägen klarar.

Klimator, Semcon och Trafikverket har aktivt arbetat med ett projekt "SRIS" i vilket standardutrustningen i moderna bilar utnyttjas som informationskällor för väder och

---

<sup>1</sup> Skogforsk Nr 663 2008: Vägstandardens inverkan på skogsnäringens transportarbete.

väglag, (för vidare information se [www.sris.nu](http://www.sris.nu)). Via kombination med fasta mätstationer kan en avsevärd förbättring erhållas vad det gäller väglagsbestämning och halka. En liknande teknik skulle kunna användas för att bestämma bärighet liksom olika vägars framkomlighet och beläggningsstatus. Bilar trafikerar vägnätet och via insamling av information från dessa fordon kan via kombination med befintliga klimatstationer en ny typ av information skapas – "aktuell bärighet". Informationen är tänkt att användas för att optimera transporter, dels genom att ge rätt information om aktuellt status vilket kan påverka lastvolym och via prognos på den kommande utvecklingen av bärigheten vara vägledande för att minska skaderisker på bland annat det lågtrafikerade vägnätet.

## Syfte

Syftet med BiFi-projektet är att utveckla ett verktyg för att utnyttja befintligt vägnät på ett mer optimalt sätt och därmed öka transporteffektiviteten och minska miljöbelastningen. Inom projektet utvecklas en fordonsbaserad modell för att bedöma bärigheten och speciellt identifiera vägavsnitt som har bristande bärighet på grund av t ex tjällossning, kraftiga regn eller liknande. Nyttan av denna modell är att informationen gällande bärighet kan hanteras mer dynamiskt och rationellt. Hypotesen i projektet är att nyttjande av ny information kommer att resultera i att vägvängningar kan minimeras och därmed kan vägnätet och fordon utnyttjas mer optimalt.



Figur 2 Skyltning vid tjällossning



Utfärdare, telefon  
Anders S Johansson, 031-761 13 91

Dokumentnamn  
Slutrapport BiFi del 1 – publik rapport

Datum  
2011-08-26

Sida  
10

Utgåva  
1

## Målsättning med BiFi del 1

### *Förväntade resultat*

Projektets avsikt är att utveckla ett verktyg för att kunna bestämma vägars bärighet på ett objektivet och detaljerat sätt. Detta kan möjlig göra att vägstängningar på grund av bärighetsrestriktioner kan minskas med 25 % och dagar då vägar på grund av detta är helt avstängda kan minskas med 50 %.

Styrgruppen som leder och beslutar i projektet har tagit fram mål för varje delområde vilket har gett alla en tydlig målbild att arbeta med. Viktigt i forskningsprojekt är att göra tydliga avgränsningar för att fokusera på att nå fram till ett resultat som går att utveckla vidare.

## Mål för delområde 1-4

### Hårdvara

En hårdvara för att samla in mätdata lokalt i fordonen kommer att utvecklas för att samla in data som efter säsongen analyseras off-line.

### Provflotta

Projektet behövde identifiera en provflotta som rör sig ute i det finmaskiga vägnätet där vi är intresserade av att fånga upp mätsignalerna. I del 1 fokuserade vi på att mäta med lätta fordon.

### Klimatmodell

För att kunna prognostisera tjällossning så är väderprognos en viktig parameter, men även hur området geografiskt är utformat (nord- eller syd sluttning). För att ta om hand dessa delar så skall en klimatmodell utvecklas.

### Referensmätningar

För att kunna avgöra var gränsen för tjällossning går och för att kunna trimma mät hårdvaran så är det viktigt att utveckla en referens metod som är effektiv och där man har högt förtroende för resultatet.



Figur 3 Mål för delområde 1-4

## Mål för delområde 5-8

### Databas

I del 1 av projektet är målet att data samlas in lokalt i hårdvaran och processas efter att säsongen är över.

### Webbgränssnitt

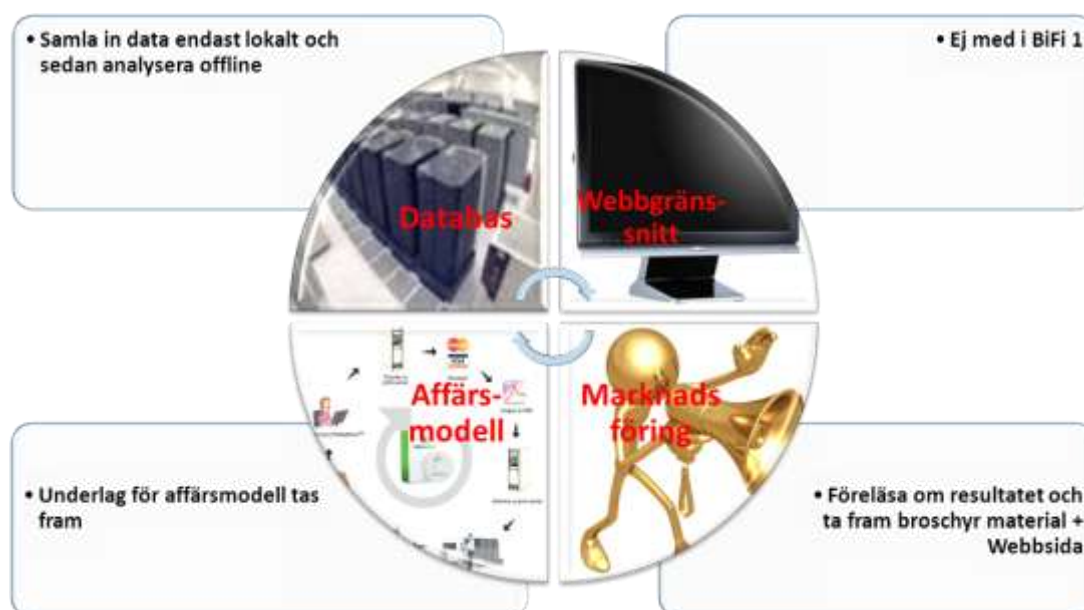
Ej med i del 1 av projektet.

### Affärsmodell

Arbetet med affärsmodell är viktigt för projektet och kommer att pågå under hela genomförandet.

### Marknadsföring

Genom att föreläsa om projektet på seminarier och att skicka information om projektet till intressenter er skall projektet marknadsföras.



Figur 4 Mål för delområde 5-8

## Genomförande

### *Övergripande projektbeskrivning*

Projektet har som mål att via integrering av mätdata från fordon och befintliga vägväderdata möjliggöra minskning av tiden för vägvästängningar och därmed öka transporteffektiviteten. Dynamisk reglering kan i väsentlig grad öka användningen av fordonsflottan.

Att använda information från fordon och komplettera med data från fasta mätstationer har utvecklats och testats i projekt - SRIS. Huvudsyftet inom det projektet var att öka kunskapen gällande aktuellt väglag och projektresultatet visar tydligt att kombination av data på detta sätt kan bidra till en förbättrad bild både vad det gäller utbredning av ett visst väglag men också för en bedömning av hur allvarligt det är sett ur ett trafiksäkerhetsperspektiv.

Vägvästängningar på grund av nedsatt bärighet sker idag grundat på värden erhållna från tjäldjupsmätare och erfarenhet. Eftersom stora variationer förekommer i bärighetsnedsättningar, beroende på vägtekniska egenskaper liksom klimatvariationer, är vägvästängningar svårt att hantera på ett dynamiskt sätt. Till detta kommer att informationen från tjäldjupsmätare är mycket gles och enbart täcker in en specifik faktor som kan ge upphov till nedsatt bärighet. Bristande information gör att stora marginaler måste utnyttjas för att undvika skador på vägar och kraftigt reducerad framkomlighet. I rapporten från SkogForsk redovisas att avstängningen i en region kan ha en varaktig på upp till 10 veckor. Detta medför att transportmöjligheten blir kraftigt nedsatt och stora lager måste byggas upp för att säkerställa tillgång till t ex timmer.

Scenarier gällande klimatutvecklingen i Sverige visar tydligt att vi kan förvänta oss större variation i klimatet, mer varierande vintrar med snabba svängningar från plus till minusgrader samt att tillfällena med kraftiga regn kommer att öka i frekvens. Dessa faktorer gör att problematiken med nedsatt bärighet på vägnätet kommer att öka i omfattning och därmed kommer påverkan på transporteffektiviteten att bli än större än vad den är idag.

Inom projektet utvecklas en prognosmodell. Modellen bygger på att den integrerade informationen från mätstationer och bilar ger nödvändig input för att kunna beräkna hur bärighetsstatusen kommer att utvecklas under de kommande dagarna. Detta gör att möjligheten att ge transportörer detaljerad och tillförlitlig data för planering ökar vilket i sin tur leder till effektivare utnyttjande av både fordonsflotta och vägnät.

Tre försöksområden har använts under säsongen 2010/2011. Skepplanda har använts som testområde för att utveckla tekniken och metoderna både för mätutrustningen samt referensmätningarna. För att samla in en större mängd data så fick vi kontakt med Posten i Sunne och Arvika via en central kontakt på Posten. Värmland har stora problem med tjällossning och detta ämne intresserar posten som var väldigt intresserade av att delta i projektet. Givare placerades på 4 st postbilar, 2 st i Sunne och 2 st i Arvika där data har samlats in lokalt i mätutrustningen men det har även gjorts försök med att skicka in data till en Webbserver. I projektet har vi sedan följt upp de slingor som postbilarna kör med att mäta med projektets egen mätbil och med att göra referensmätningar.

### Projektorganisationen

Part	Roll och ansvarsområde	Personella och andra resurser
Semcon	Semcon ar varit ansvariga för framtagande och installation av mätutrustning och kommunikation. Vidare har Semcon utvecklat signalbehandling och dataanalys delen i projektet.	Projektleddning, ingenjörer, informatör och mättekniker
Klimator	Klimators ansvarsområde har varit att utgöras av koppling av insamlade mätdata mot bärighetsrestriktioner. Vidare har Klimator att ansvarat för en stor del av dataanalysen och modellering	Två docenter inom vägklimatologi Tre FD inom klimatmodellering Mättekniker och dataspecialister Mätpersonal och mätutrustning
Trafikverket	Expertkunskap inom ämnet både beträffande fenomen, utbredning och problematik kring vägavstängningar. Ansvarat för anpassning mot operativ verksamhet och för möjliggörande av implementering	Experter inom väg/drift- och transportfrågor Personal med lokal-känedom
Värmlandsåkarna	Via Värmlandsåkarna har projektet fått koppling mot transportörer, Skogsnäring och fordon. Vidare har Värmlandsåkarna varit en viktig projektdeltagare genom att de kan fungera som länk mot användare och utvärdera av de framkomna resultaten och modeller.	Fordonsflotta Informatörer och kontaktpersoner

## Beskrivning av BiFi projektet

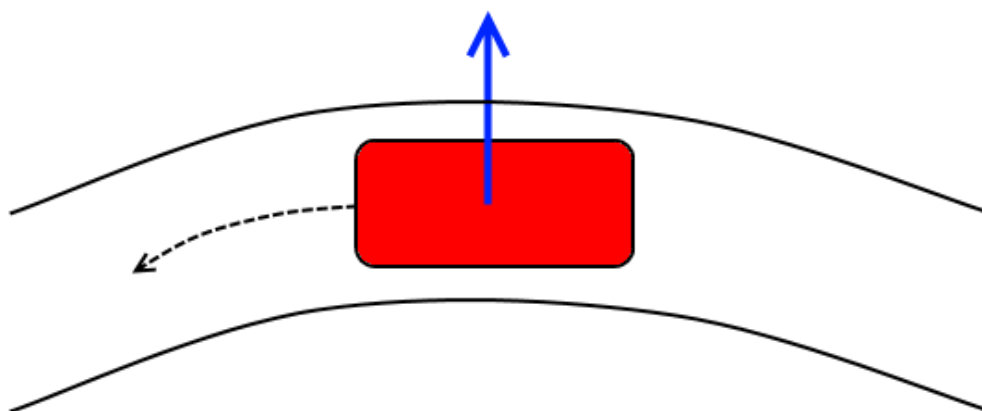
I följande kapitel presenteras delarna i projektet

### Mätteknik

För att kunna dra nytta av de mätningar som utförs av fordonet behövs flera delar. Först behövs sensorer som gör mätningarna. Därefter behövs hårdvara och mjukvara för att behandla mätningarna och extrahera information ut mätsignalerna.

### Algoritmen

Algoritmen som används för att detektera ytuppmjukning fungerar genom att analysera laterala vibrationer då bilen kör i en kurva. När fordonet svänger med en tillräckligt hög hastighet vill centrifugalaccelerationen pressa bilen utåt i kurvan.



Figur 5 Sidokrafter i kurva

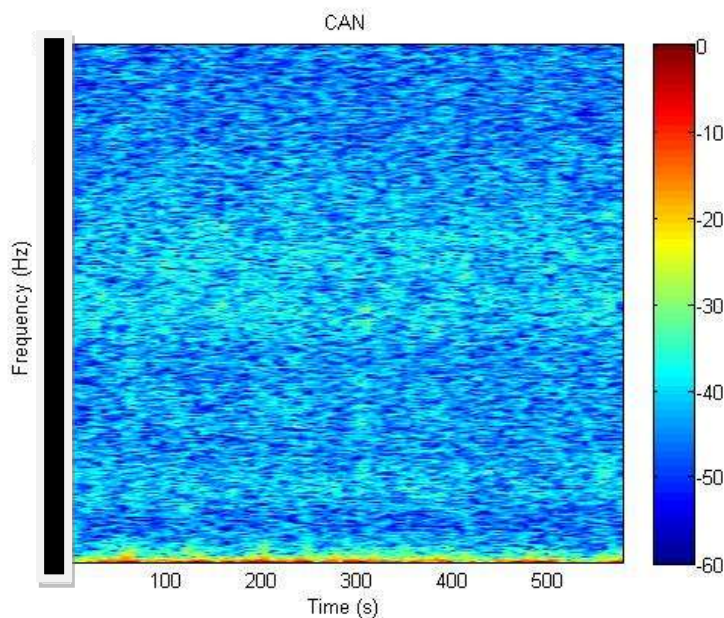
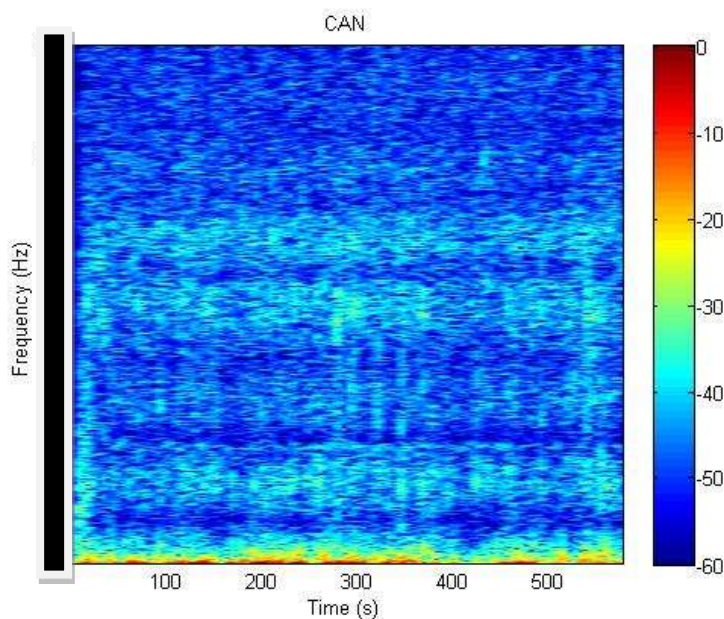
Detta ger upphov till en dämpning inom vissa frekvensband av dessa vibrationer som skiljer sig mellan underlag med och utan ytuppmjukning. Tester har visat att det behövs relativt lite sidokrafter för att detta ska ske därför kan en väg med endast mindre svängar ge flera detektioner.

Systemet kräver att följande är uppfyllt för att definiera det som en sväng.

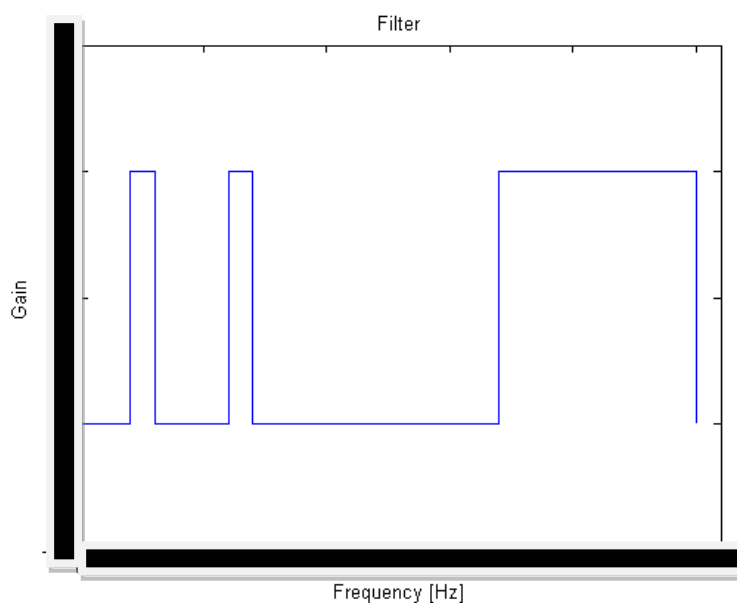
- Den laterala accelerationen är över  $\blacksquare \text{ m/s}^2$
- Svängen varar minst  $\blacksquare$  sekunder
- Någon gång under svängen uppnås en lateral acceleration på över  $\blacksquare \text{ m/s}^2$

Spektrogrammen nedan visar hur mycket energi som finns inom ett visst frekvensband för två olika fall och för tydlighets skull ett längre tidsintervall.



**Figur 6 Spektrogram av vibrationer på väg utan uppmjukning****Figur 7 Spektrogram av vibrationer på uppmjukad väg**

Det finns en tydlig skillnad mellan de två spektrogrammen ovan, speciellt i frekvensintervallet  $0$  Hz,  $0$  Hz och över  $0$  Hz. Genom att isolera dessa frekvensband med ett filter liknande det i figur nedan kan man använda den återstående energin i signalen som beslutsunderlag för att detektera ytuppmjukning.

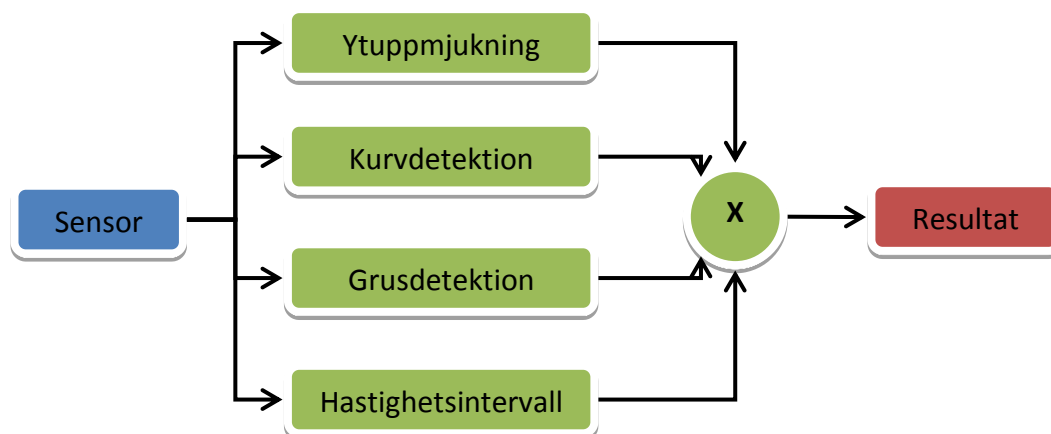


**Figur 8 Idealt frekvenssvar från filter**

Figur 8 visar hur frekvenssvaret för ett optimalt filter för att isolera dessa skulle kunna se ut.

Vibrationerna mäts med hjälp av en accelerationssensor som kan mäta vibrationsfrekvenser från 0 Hz till ■ Hz. Det lägre frekvensintervallet ca 0 Hz till ■ Hz går att använda för att upptäcka när fordonet svänger om det inte finns andra möjligheter att göra detta. Frekvenser över ■ Hz går att använda för att detektera om bilen kör på en grusväg med hjälp av en algoritm som togs fram genom ett tidigare projekt på Semcon.

Systemet består i huvudsak av 4 olika delar som var och en har veto då en signal om uppmjukning genereras. Dessa använder olika delar av frekvensspektrat för vibrationerna samt fordonets hastighet.



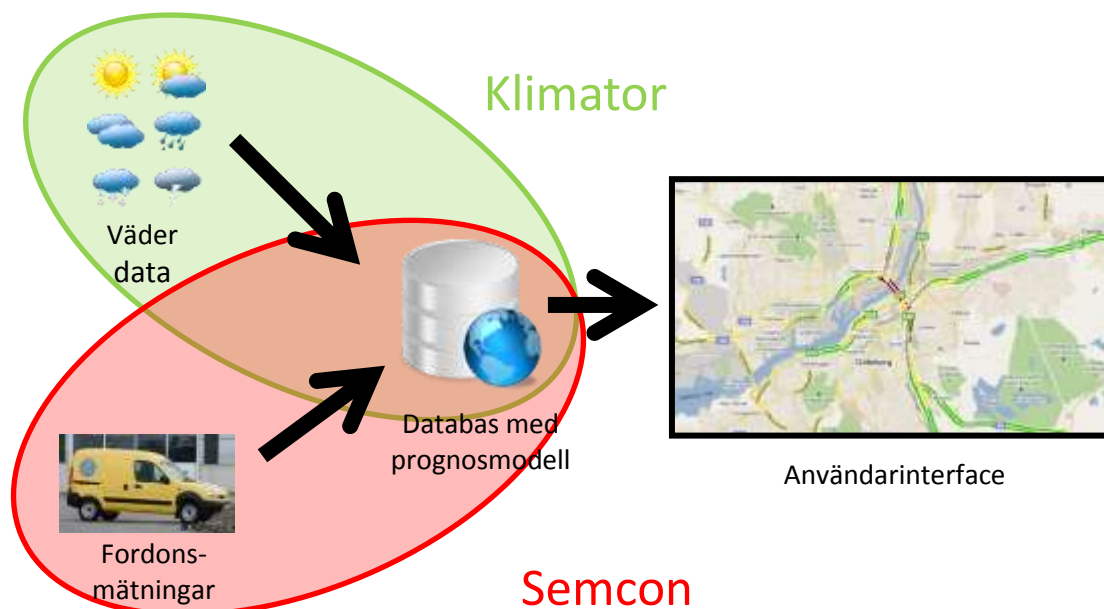
Figur 9 Systemskiss. Blå - Hårdvara, Grön - Mjukvara, Röd – information

Del ett analyserar hur stor energi som finns kvar i vibrationssignalen efter filtret som visas i Figur 8, del två aktiveras vid kurvor enligt villkor ovan, del tre verifierar att fordonet kör på en grusväg och del fyra att fordonets hastighet är rimlig.

Resultatet består i en indikation efter varje kurva om den anses som uppmjukad eller ej.

### Hårdvara

Denna algoritm behöver en hårdvara dels för att samla in de mätningar som genomförs men också för att utföra beräkningar. Resultatet av beräkningarna måste också föras över till en central databas för att de ska kunna sammanställas och presenteras på ett bra sätt. Figur 10 visar hur dataflödet i BiFi-systemet ser ut och vilken del Semcon respektive Klimator hanterar.



**Figur 10** Schematisk bild över dataflöde i BiFi-systemet. Fordonsmätningar och väderdata skickas in i en databas med prognosmodell. Resultatet presenteras sedan som gröna, gula och röda vägar på en karta.

I BiFi valde vi att utföra en stor del av beräkningsjobbet i fordonet för att minimera mängden data som behöver föras över till den centrala databasen. Det som förs över är enbart indikationer på uppmjukade kurvor samt temperaturmätningar var hundra meter.

För denna datainsamling och test av algoritmen har tre olika hårdvaror tagits fram, alla tre med olika syften och funktion.

### **CAN-logger**

I Semcons Volvo V70 som användes vid mätexpeditioner används ett CAN-interface för att logga all trafik på bilens CAN-buss. Där finns bland annat lateral acceleration, yttemperatur, och hastighet. För att underlätta analysen av data senare har det även loggats data från en CAN-ansluten GPS tillsammans med fordonsdata.

### Specialiserad hårdvara

För de fältmätningar som skulle utföras våren 2011 byggdes en specialiserad mätthårdvara innehållande:

- Accelerometer
- GPS
- GPRS-modem
- SD-kort för datalagring
- Mikroprocessor för signalbehandling

Denna kopplas in i bilens cigarettändaruttag och aktiveras när bilen startar. Den samlar in mätningar och sparar dessa på minneskortet. När bilen står stilla skickas data in till databasen med hjälp av GPRS-modemet.

Fördelen med denna hårdvara är att den är mycket lik det som skulle kunna bli en färdig produkt i form av en BiFi-sensor och den är mycket lämpad för att massproduceras. Denna kommer även användas som bas för eventuell vidareutveckling.

### Smartphone

Ytterligare en hårdvara baserat på en Android smartphone har tagits fram. Fördelen med denna är att det går mycket snabbare att ta fram en testplattform eftersom mycket av funktionerna som behövde implementeras i den specialiserade hårdvaran redan finns lättåtkomliga med ett enkelt API. En smartphone har redan färdigt

- Batteribackup
- Minneskort
- Kraftfull processor för tunga beräkningar
- GPS
- Snabb datauppkoppling
- Möjlighet till automatisk uppdatering av program

Den modell av smartphone som använts har också en Accelerometer som teoretiskt sett skulle kunna användas för vibrationsmätningarna. Försök visade dock att samplingsfrekvensen på denna inte gick att få tillräckligt stabil. Dessutom är det svårt att montera fast den tillräckligt stabilt för att inte få någon dämpning i infästningen.

För att lösa detta samt för att kunna mäta yttertemperaturen med hundrametersintervall konstruerades ett sensor kort som mäter vibrationer och temperatur för att vidarebefordra dessa över bluetooth till telefonen. Denna är i sig mycket enklare än den specialiserade BiFi-hårdvaran.

## Mätningar

Mätvärden lagras hela tiden all rådata från sensorerna på ett minneskort. Dessa data har två syften, dels kan den användas för att detaljstudera tillfällen då algoritmen har gjort fel. Mätfordonen kommer under våren också samla in en stor mängd data som kan användas för framtida analyser och förbättring av algoritmen.

Utöver detta mellanlagras också de indikationer och temperaturmätningar som ska skickas in till den centrala databasen. Detta för att inte gå förlorade om fordonet befinner sig på en plats där det saknas uppkoppling för 3G/GPRS.

## Mätflotta

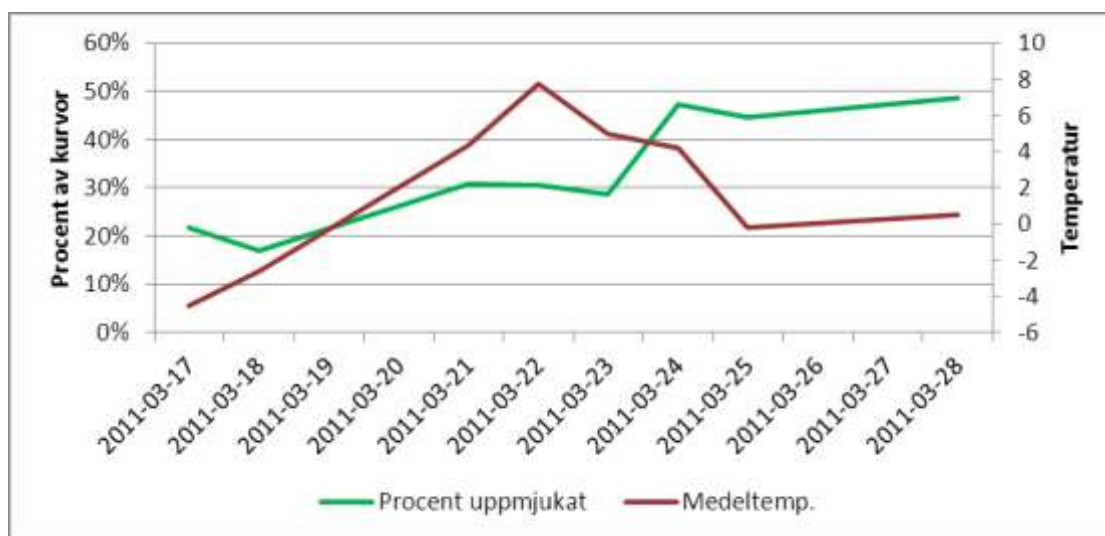
Våren 2011 utrustades 6 st bilar med totalt 11 mätutrustningar enligt Tabell 1. Dessa har varit aktiva från mitten på mars till mitten på maj. Postbilarna har under denna period loggat samma utdelningsrunda varje vardag.

**Tabell 1 – Mätflotta våren 2011**

Plats	Bilmodell	Mätutrustning
Posten Sunne	1 st Renault Kango 1 st Fiat Fiorino	1 st Android och 1 st Specialiserad i varje bil
Posten Arvika	2 st Renault Kango	1 st Android och 1 st Specialiserad i varje bil
Semcon	Volvo V70	1 st Android och 1 st CAN- logger
Klimator	Volvo V70	1 st Specialiserad

## Signal – Bärighet - Modell 1

I ett litet utsnitt av data som samlats in kan vi visa att andelen av de detekterade kurvorna som uppfattas som mjuka, under upptiningsfasen av våren, ökar med en medeltemperatur över 0° C och håller sig konstant då medeltemperaturen håller sig kring 0° C.



Figur 11 – Figur som visar förhållandet mellan medeltemperaturen under dygnet (röd linje) och andelen av detekterade kurvor som anses uppmjukade (grön linje) uppmätt över en postutdelningsrunda öster om Sunne. Figuren visar tydligt att andelen uppmjukade kurvor ökar då temperaturen är över 0 grader och hålls konstant när medeltemperaturen är kring noll.

## Vädermodell

Vädret har stor inverkan på när en vägs bärighet blir nedsatt. Bärigheten bestäms till stor del av vatteninnehållet i vägen som i sin tur är kopplat till väderförhållandena. Det finns många faktorer som påverkar vatteninnehållet i vägen, t ex vägens temperatur, avrinningsmöjligheter, vattentillgång, jordarter, omgivningens karaktär, etc. Dessa faktorer kan läggas in i en vädermodell för att få en hög rumslig och tidlig upplösning på bärighetsinformationen. Genom kombinera vädermodellen med bärighetsinformationen i form av signalerna från fordonen kan man få fram värdefull information om bärigheten i ett område och se vilka typer av vägavsnitt som har nedsatt bärighet. Därmed kan man i vädermodellen sprida informationen geografiskt till fler vägavsnitt än de som trafikerats av fordonen och även göra prognoser för bärighetsnedsättning framåt i tiden.

Klimator har utvecklat en modell för vinterväglag (SSWM) som används som ramverk för vädermodellen.

Mätningar under två säsonger inom BiFi-programmet ligger till grund för valet av följande in-data:

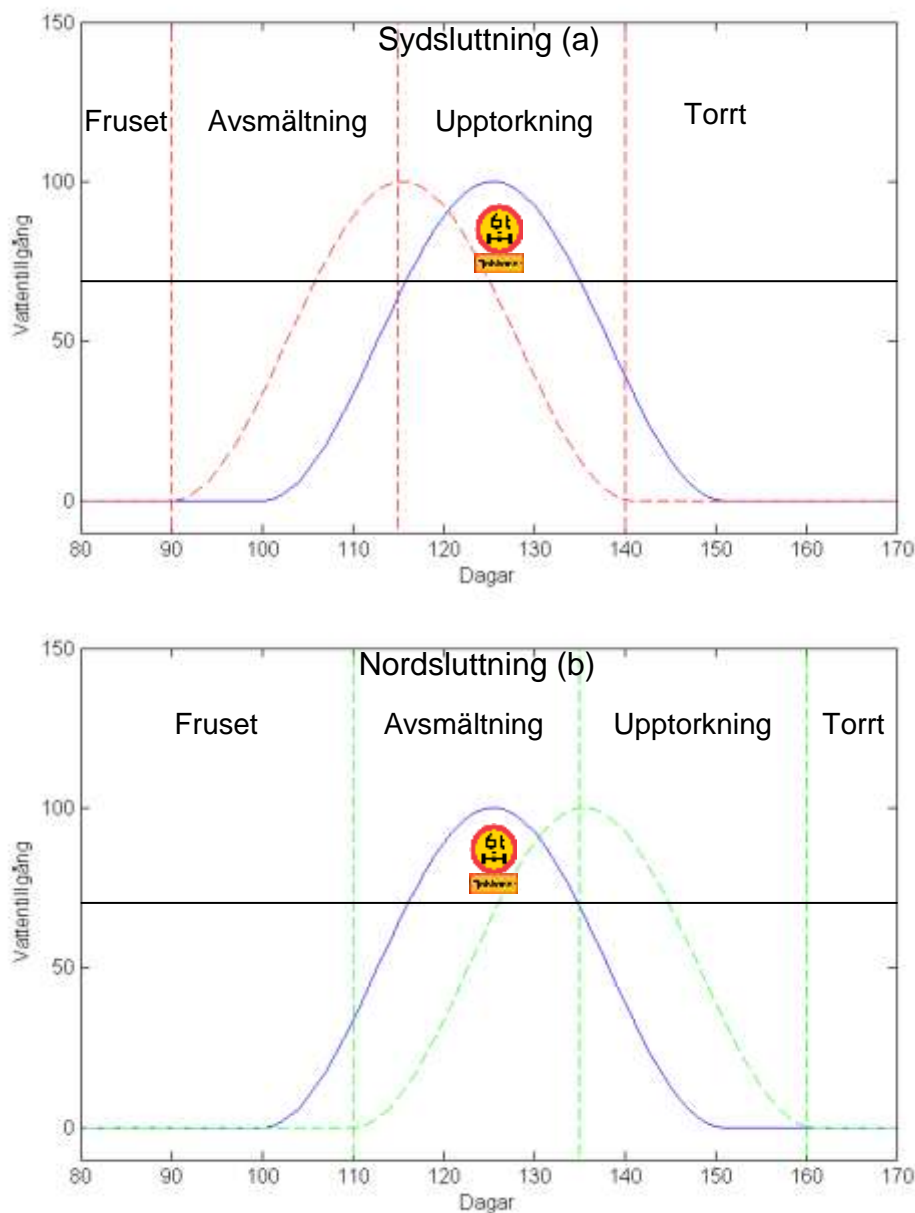
- GIS-data (Geografiska Informations System) ger egenskaperna för vägavsnitten i området.
- Observationsdata från VVIS-stationer (Väg Väder Informations System)
- Prognosdata en numerisk vädermodell från t ex Met.no, SMHI eller Foreca.
- Live-data från BiFi-bilarna, t ex från Posten.

Modellen tar in observationsdata från VVIS-stationerna och har som utgångspunkt när den sedan gör en prognos m h a prognosdata från en numerisk vädermodell. Egenskaperna för vägavsnitten i området läggs i en databas som kopplas till modellen.

## Modellstadier

Figur 12 a-b visar en schematisk bild av tjällossningsförloppet under en säsong. Bärighetsnedsättningen är som störst när innehållet av smält vatten i vägen är högst. Till att börja med är alla vägpartier frusna. Vid nästa steg (Avsmältning) är det fruset vid kalla vägpartier och uppmjukat vid varmare vägpartier. Därefter är det uppmjukat vid kalla vägpartier och upptorkat vid varmare vägpartier (Upptorkning). Slutligen torkar alla vägpartier upp och tjälproblematiken upphör. Dessa förlopp varierar i tid och inträffar tidigare för vägpartier som typiskt är varma, t ex sydsluttningar (Figur 12a) och senare för sådana som är typiskt kalla, t ex nordsluttningar (Figur 12b).





Figur 12 a-b En schematisk bild av vattentillgången och de förlopp som förekommer under en tjällossningsäsong. Den blå linjen motsvarar förloppet vid en normal vägsträckning. De röda (a) och gröna (b) linjerna visar hur förloppen tidigareläggs respektive senare

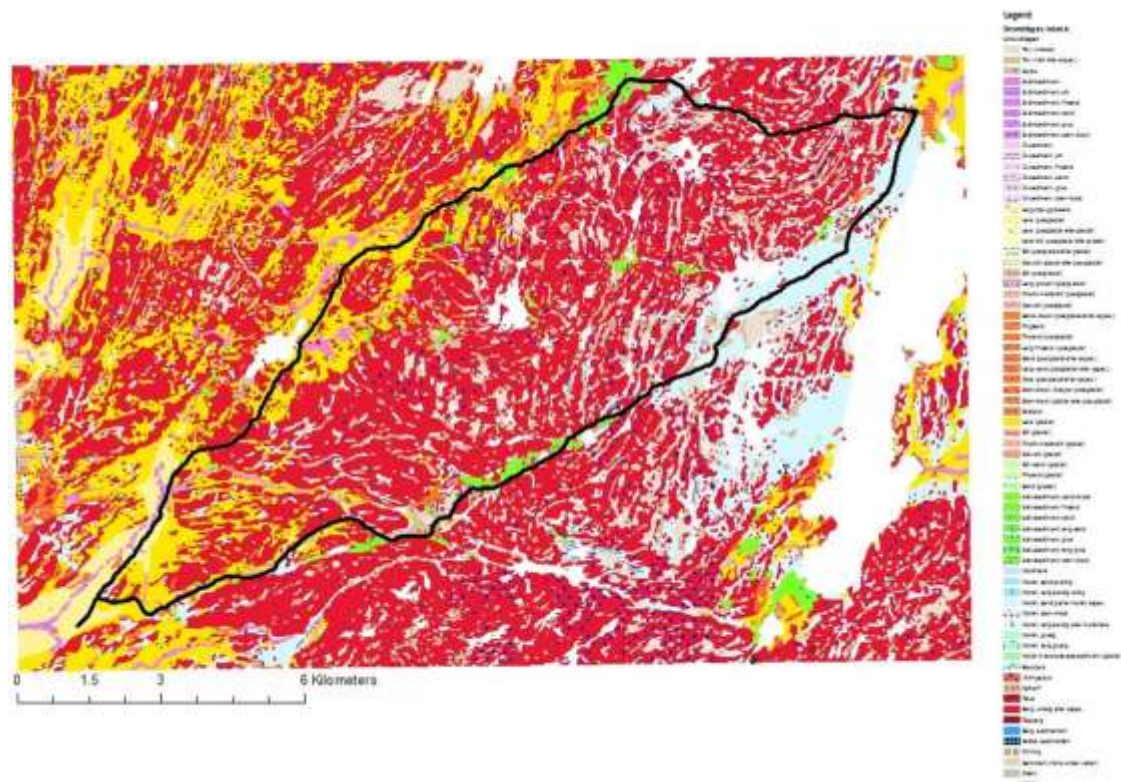
### Modelleringsparametrar från GIS-data

Det finns ett stort antal parametrar som kan antas spela roll i tjällossningsprocessen. Många av dessa parametrar kan extraheras från GIS-data. Vissa parametrar som jordarter och lutning, påverkar svårigheten av tjällossningen medan andra som skuggning, höjd över havet och topografi, påverkar temperaturen och därför tidpunkten för tjällossningen. Nedan visas en sammanställning av parametrarna för Skepplandaslingen, som är ett av tre testområden.

## Jordarter

Jordarter är intressant ur tjälfarlighetsperspektiv; jordarter påverkas olika av tjäle framförallt beroende på den kornstorleksfördelning som jordarten har. Jordarter med hög permeabilitet som sand och grus, påverkas lite av tjälen, medan siltiga jordarter som siltig morän och siltig lera påverkas mycket. Kombinationen av permeabilitet och kapilaritet kan orsaka uppkomsten av islinser i marken, vilket leder till en ansamling av vatten i de tjälpåverkade marklagren. När tjälen sedan släpper och tjällossningen initieras leder den extra vattenansamlingen till en minskad hållfasthet i ytlagren.

Jordartsparmeten baseras på digitala jordartskartor från Statens Geologiska Undersökning (SGU) med en skala på 1:50 000 till 1:100 000 och kan ses i Figur 13



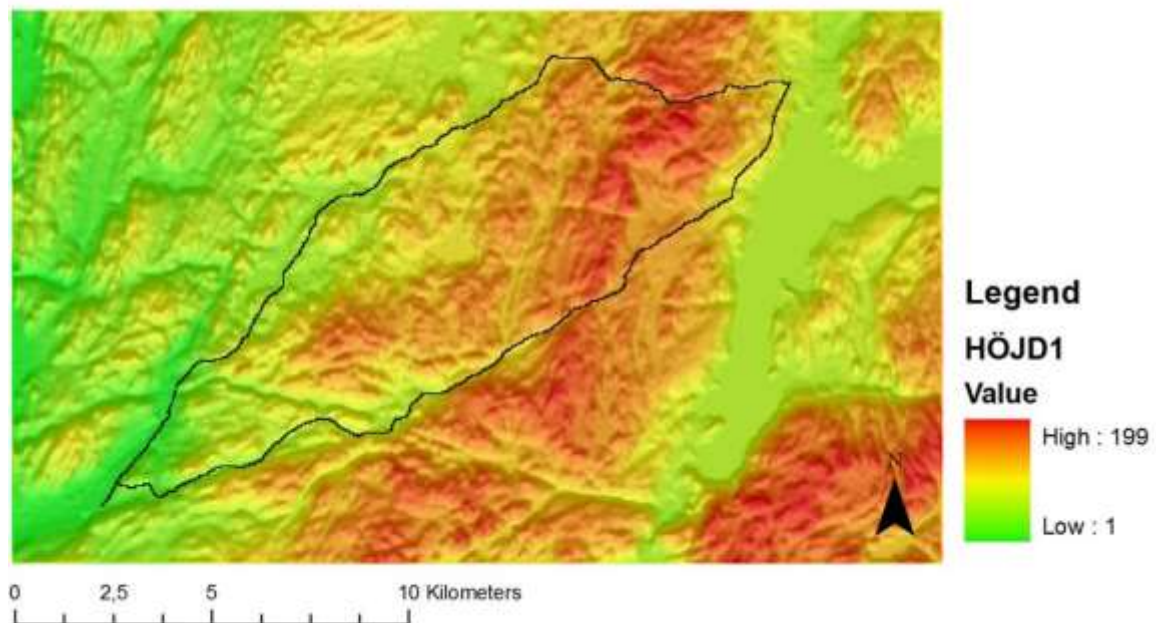
Figur 13 Jordartskarta över Skeplandaslingen.

### Topografi

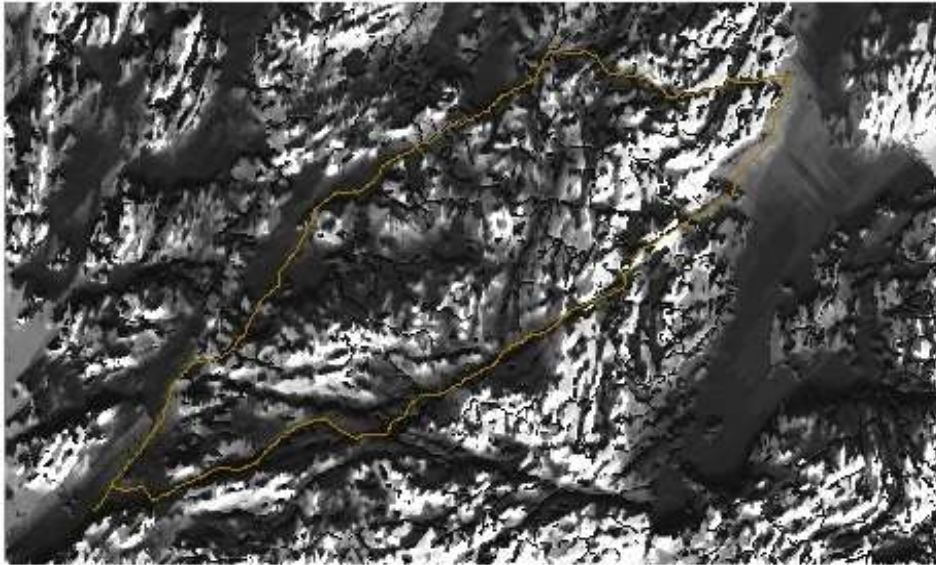
Topografisk data har flera användningsområden inom denna modellering. Temperatur varierar med höjd över havet. Topografin påverkar skuggbildning, köldhålor och även dräneringsförhållanden. Skuggnings effekter på vägytan är en viktig parameter i tjälförloppet. Sträckor som utsätts för mycket solljus kommer att tina tidigare än vägpartier som utsätts för lite. Hög solinstrålning påskyndar också upptorkning av vägytan.

Lutningen och dess riktning bestämmer mängden solinstrålning ytan kan ta emot. En sydsluttning får således mer solinstrålning och därmed en högre temperatur än en nordsluttning.

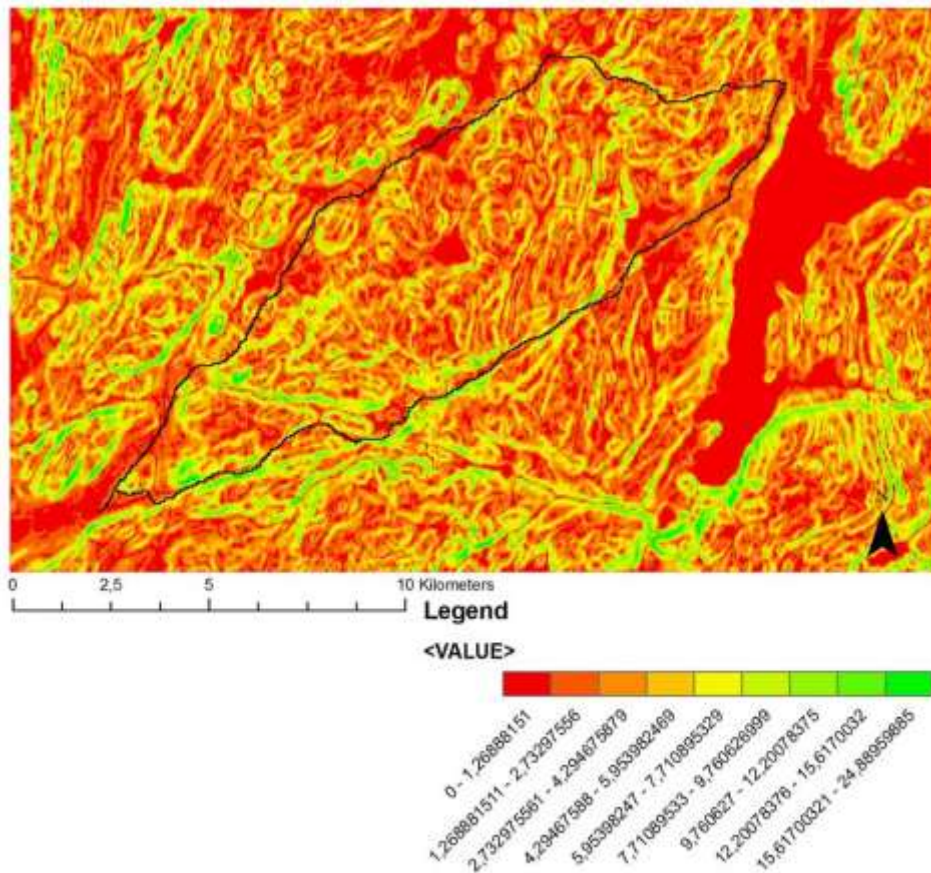
Lutningen påverkar också ytavrinning och grundvattenytan; vägpartier som löper genom flacka partier kan påverkas av dålig avrinning och vattensjuk mark medan vägar som löper längsmed branta lutningar kan påverkas av ytlig grundvattenyta.



Figur 14 Topografisk karta över Skepplandaslingan, höjd över havet.



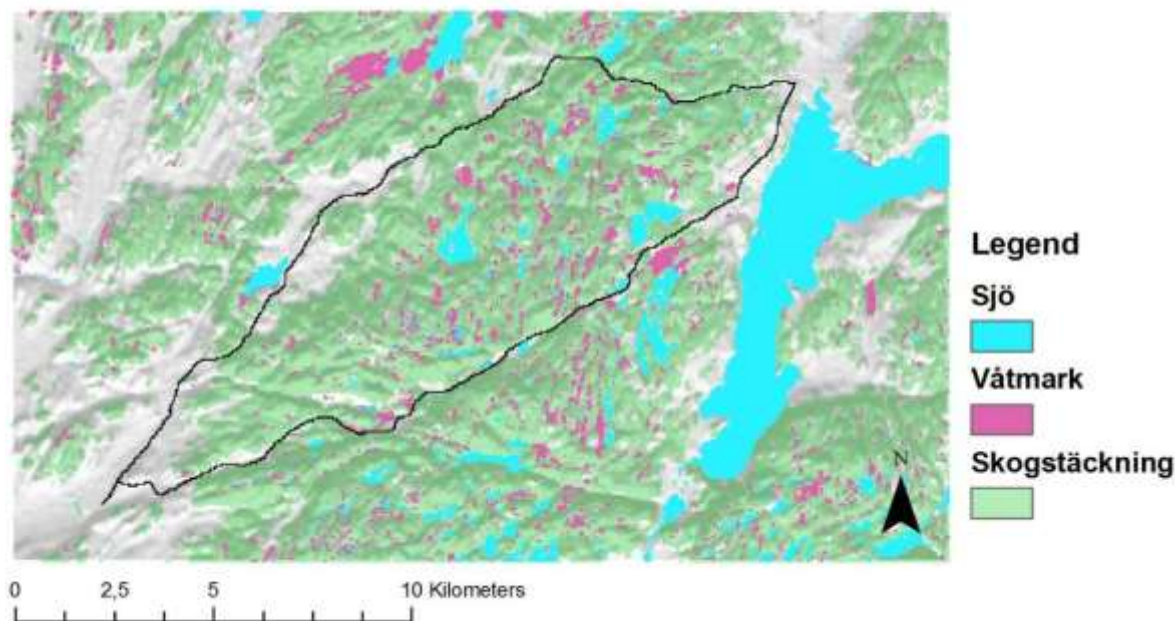
Figur 15 Skuggbildning orsakad av topografi och skog.



Figur 16 Lutning i grader för Skepplandaslingen.

## Marktäckning

Marktäckningsdata i form av skogstäckning är viktigt då skog effektivt skuggar, och till en mindre grad också dämpar effekterna av upptorkning orsakad av vind. Även information om vattendrag och våtmarker som myrar är av intresse då sanka områden ofta ger dräneringsproblem. Ett exempel på denna typ av information ses i Figur 17.



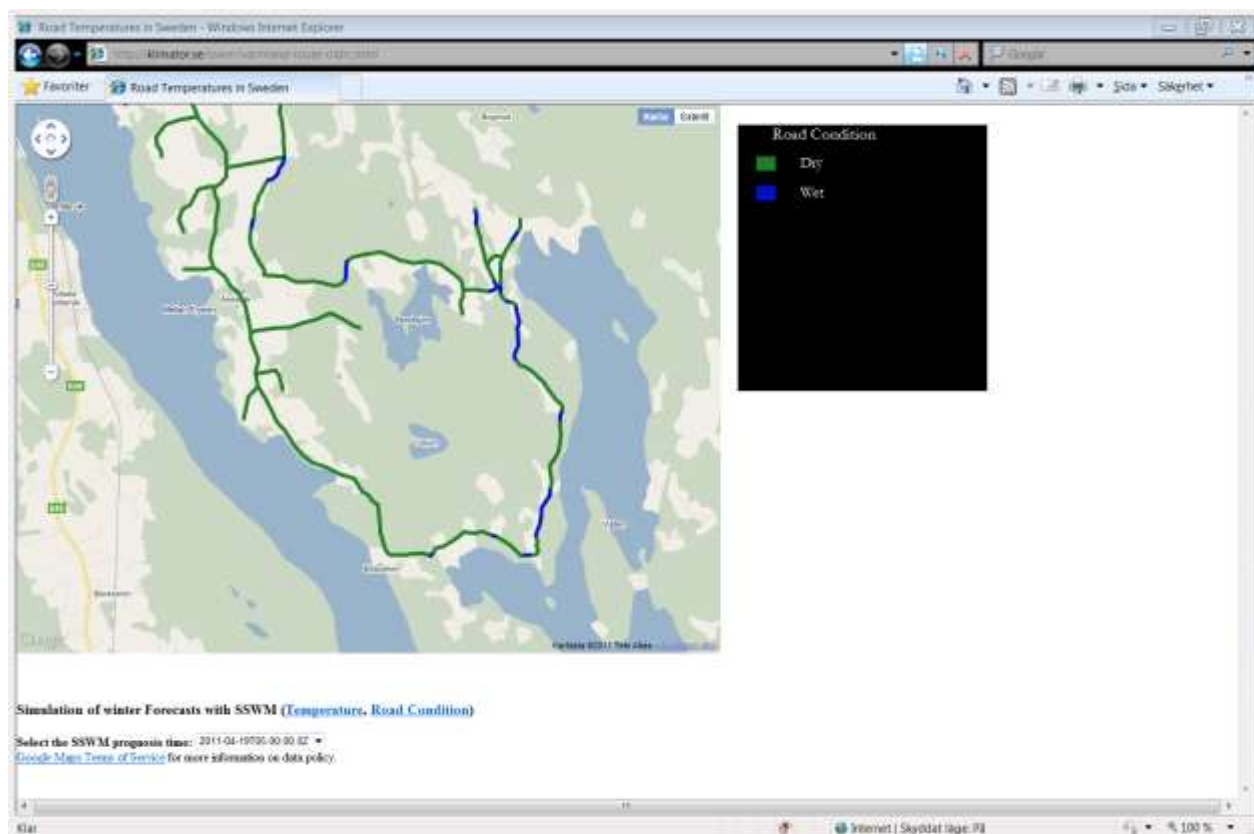
Figur 17 Marktäckning, Skog, Våtmark och Sjöar.

### Spridning i landskapet

För att sprida informationen i landskapet behövs information om vägnas egenskaper i området. Denna information fås från GIS-data. Bärighetsinformationen från fordonen används sedan som utgångspunkt för modellen när den körs. Man kan således få fram information i modellen om vägnas tillstånd i områden där de BiFi-utrustade fordonen inte kört. Man kan då täcka in ett större område och därmed fler vägar. Det kan vara viktigt för vägar där tunga timmerfordon behöver köra, men som inte trafikeras regelbundet av postbilar.

## Prognos för tjallossning

Vädermodellen tar sin utgångspunkt i observationsdata som temperatur, vindhastighet, luftfuktighet och nederbörd. Bärighetsinformationen från fordonen används också för att veta statusen på vägarna då modellen den körs. För att driva modellen framåt i tiden används prognosdata från en storskalig numerisk vädermodell av den typ som körs hos SMHI. Figur 18 visar ett exempel på hur prognosen kan visualiseras genom en web-lösning. I första versionen visas endast vått och torrt. Tanken är att det i nästa version ska visas tre nivåer av bärighetsnedsättning, där t ex grönt indikerar att vägen är farbar, gult viss nedsatt bärighet och rött starkt nedsatt bärighet.



Figur 18 Preliminär web-lösning för visualisering av resultat.

## Referensmätning

### Inledning

Referensmätningar fyller ett viktigt syfte inom BiFi projektet; vilket är att ge direkt information om vägbanans hållfasthet vid en given plats och tidpunkt, och med hjälp av den informationen ge en uppfattning om vägens tillstånd. Denna information används sedan för att utvärdera den data som samlas in via BiFi systemet.

Referensmätningar i samband med tester av BiFi systemet har pågått under vintern och våren 2011 i två testområden: Skepplanda och Sunne.

Referensmätningar har utförts i Skepplanda vid 8 tillfällen på vinterväg och uppmjukad väg. Under sommaren 2011 kommer även referensmätningar genomföras på torr och blöt väg. I Sunne har referensmätningar utförts vid 4 tillfällen, varav ett i samband med fallviktsmätning.

Två metoder användes för referensmätning; Dynamisk konpenetrometer (DCP) och fallviktsdeflektometer (FWD). Som huvudmetod för referensmätning valdes DCP framför fallvikt. I Sverige är fallvikt den vanligaste metoden för att bedöma vägars bärighet och finns mycket erfarenhet med att använda denna metod på belagda och icke belagda vägar. Dock används metoden traditionellt inte på vägar under tjällossningsperioden, därför utfördes en testmätning och jämförelse med DCP.

### DCP

Dynamisk konpenetrometer (DCP) Figur 19, är en low-tech mätmetod där en kon drivs ned i vägytan med hjälp av en handdriven hejarvikt. Hastigheten med vilken konen drivs ned (mm penetration per slag) ger ett mått på lagertjocklek och hållfasthet i lagren (VV, 2008). DCPn kan hanteras av en person och metoden kan användas som mätmetod för att bestämma uppmjukningsgrad för tjällossningspåverkade vägbanor (Saarenketo, p.13, 2005) och rekommenderas som sådan av ROADDEX II. Från penetrationshastigheten beräknas ett bärighetsmått: California Bearing Ratio (CBR) vilken är ett mått på bärigheten jämfört med ett standardmaterial (krossad kalksten).



Figur 19 Dynamisk konpenetrometer (DCP) vid mätning i Sunne.

$$CBR = \frac{P}{P_s} \cdot 100$$

Ekvation 1:  $p$  = tryck uppmätt för in-situ material [ $N/mm^2$ ].

$p_s$  = trycket för att uppnå samma penetration i standardmaterial [ $N/mm^2$ ].

## CBR Jämförvärden

Det kan vara svårt att förhålla sig till CBR % värden utan att ha en referens, därför följer en tabell med uppmätta värden på olika typer av underlag: torr grusväg, blötgrusväg, frusen grusväg, opackad sand, opackat vägmateriäl, lera. Värdena avser medelvärde på de översta 5-10cm av materialet. Alla värden är insamlade med DCP utav Klimator AB.

**Tabell 2: CBR värden för olika typer av material. Värden insamlade under 2010-2011 med DCP för referens.**

<b>Materialtyp</b>	<b>CBR %</b>
Lera	0-10%
Opackad sand	10-20%
Vattenmättad grusväg	10-40%
Opackat vägmateriäl	20-50%
Blöt packad grusväg (hjulspår)	60-100%
Torr packad grusväg (hjulspår)	90-170%
Frusen grusväg	150-600%

## Metod

På mätslingan utanför Skepplanda valdes sju punkter ut som referenspunkter. Dessa mätpunkter valdes för att avspegla så stor del av variationen på sträckan som möjligt. Vägen i Skepplanda löper genom terräng som varierar från öppen och flack till kuperad och skogsbelagd. De viktigaste faktorerna för val av mätpunkter är solinstrålning och terrängform. Figur 20 visar mätpunkternas placering i förhållande till marktäckning.

Vid 6 tillfällen med start från december 2010 och slut i april 2011 mättes sträckan med BiFi systemet och med referensmätningen. Vid varje punkt genomfördes minst ett representativt test med DCP, och alla mätningar har skett i hjulspåret på vägen, förutom vid ett tillfälle: den 9 mars då punkt 4-6 fortfarande var täckt av tjock is och DCP test inte ansågs nödvändig.





Figur 20 Mätområdet utanför Skepplanda, beskrivning av punkterna finns i tabell 1.

Tabell 3: Beskrivning av mätpunkter för Skepplandaslingan.

- 
- |         |  |
|---------|--|
| Punkt 1 | Öppet fält från nordost till syd, i väster finns tjock barrskog. Underliggande jordart är glacial lera. Flackt landskap.   |
| Punkt 2 | Det är öppet fält i norr och nordväst. Från sydväst till nordost ligger tjock barrskog. Vägen är större delen av dagen i skugga. Underliggande jordart är glacial lera. Flackt landskap.   |
| Punkt 3 | Det är öppet från öst, väst och norr, men skog i söder. Sol på morgonen. Underliggande jordart är postglacial sand. Området är lätt sluttande åt söder.  |
| Punkt 4 | Väg löper här i öst-västlig riktning genom granskog. I söder är dock skogen gles och en hel del solstrålning släpps igenom. Underliggande jordart är torv. Flackt landskap.  |
| Punkt 5 | Punkten ligger i en uppförsbacke med skog runt om. Skogen åt öster är gles och låg. En del instrålning på morgonen under vinter och vår. Mätpunkten ligger i ett område med morän, oklart vilken karaktär moränen har. Kuperat område. |
| Punkt 6 | Punkten ligger i en relativt kuperad del av mätsträckan, med tjock granskog i alla riktningar. Inte mycket solinstrålning. Underliggande jordart är ett tunt moränlager som överlagrar berg. Kuperad terräng.                          |
| Punkt 7 | Öppet ifrån sydväst till sydost, skog i norr. Denna del får mycket sol. Underliggande jordart är morän. Flack terräng.   |
-



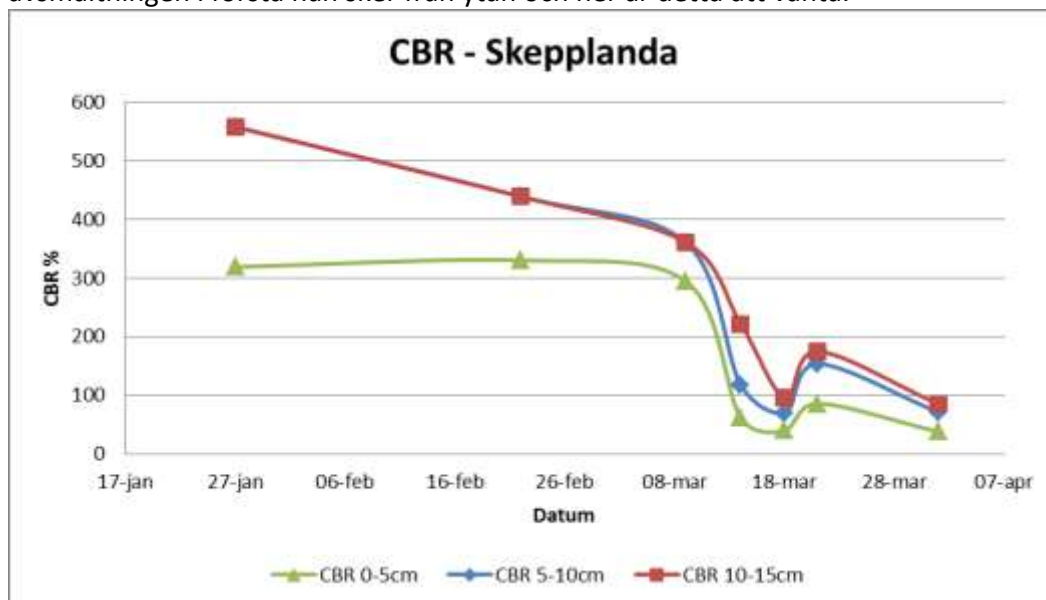
Figur 21 Mätpunkt 3 på Skeplandaslingan

## Resultat & Slutsats

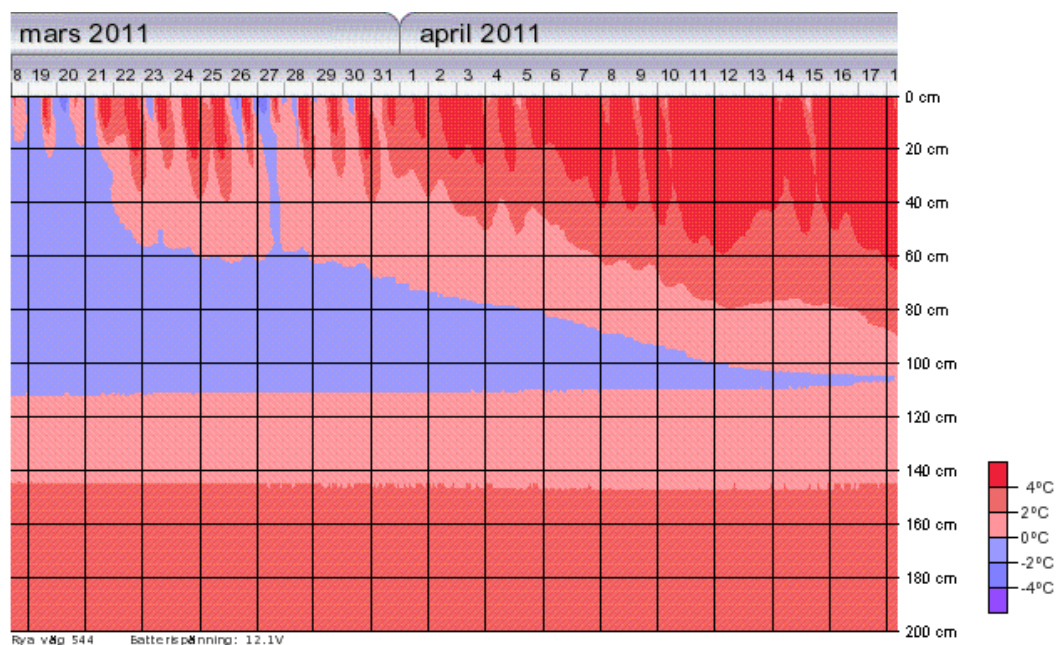
DCP mätningarna från december till april återspeglar den kalla vintern. Vid de första tre mättillfällena var hela sträckan täckt med mellan 2-5cm is och under isen var materialet fruset med en mycket hög hållfasthet. Mellan den 9e och den 14e mars ökade temperaturen snabbt och en upptining i ytan skedde, dock var delar av sträckan fortfarande täckt med is. Runt den 21e mars sjönk temperaturen och en ökning av hållfastheten skedde på några platser. Vid det sista mättillfället den 1e april, hade återigen temperaturen stigit och hela sträckan var vid tillfället isfritt. Delar av sträckan, framförallt på partier med hög solinstrålning visade täcken på upptorkning medan partier som varit skuggade till stora delar var under uppmjukning.

Under den kalla perioden då marken var frusen har vägbanan en mycket hög bärighet, med CBR värden på mellan 130-600%. När upptiningen börjar runt mätningen den 14 mars sjunker medel CBR i ytan till ca 61% med minimum på 35% och maximum på 95%. Mellan den 14 och den 21 mars genomfördes bara ett DCP test då mätningen avbröts på grund av kraftigt snöfall, denna mätning indikerar dock en sänkning av bärigheten vid punkt 1 från ett CBR på 60% till 40%. Under perioden 18-27 mars ser man också en tydlig skillnad mellan dag och natt (Figur 23 & Figur 24), med tillfrysning under natten och upptining under dagen. Detta är tydligt under natten till den 21 mars sjunker temperaturen något och en del av vägen fryser i ytan och CBR ökar då till 85%. Efter den temporära temperaturnedgången ökade temperaturen och avsmältningen och uppmjukningen fortsatte och den 1 april hade medel CBR sjunkit till 37%. CBR varierar mellan 20 till 75% för den 1 april.

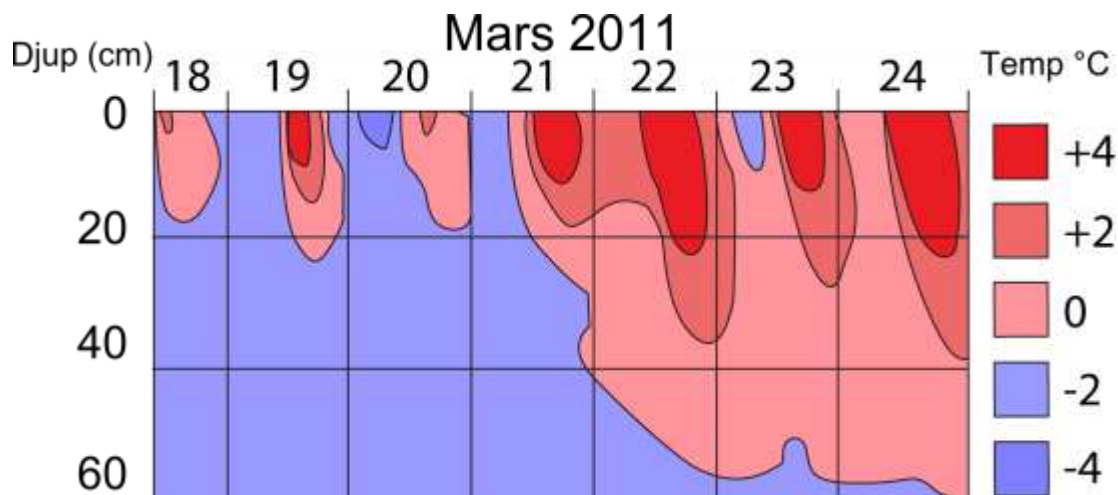
Desto djupare man mäter desto högre är CBR, konsekvent genom hela mätserien är CBR värdena för 5-10 cm och 10-15 cm något högre vilket är tydligt i Figur 22, då avsmältningen i första hand sker från ytan och ner är detta att vänta.



Figur 22 Medelvärden CBR. 0-5cm, 5-10cm och 10-15cm djup. För Skepplanda, perioden 27 jan - 1 apr 2011. Mätperioden börjar med frusen mark täckt med is. I början på mars ökar temperaturen och avsmältningen börjar. Detta leder till en signifikant minskning av CBR



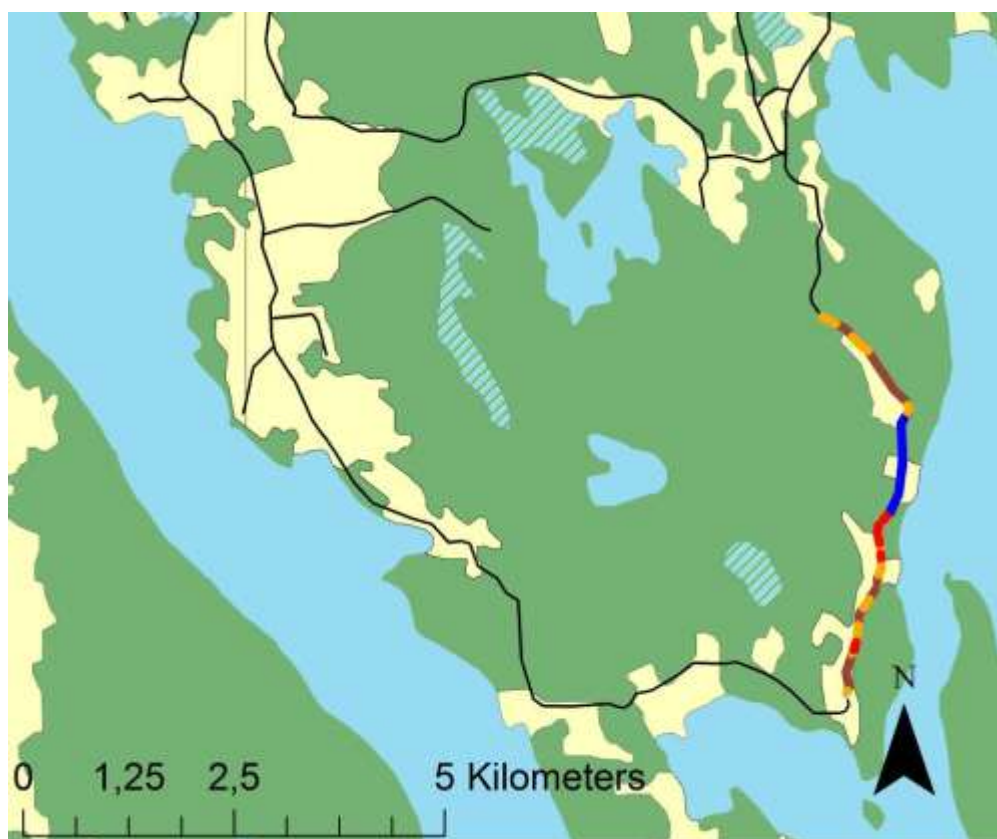
Figur 23 Tjälldjupsmätare, Rya väg 544. Visar tjälldjupet under perioden 18 mars till 18 april. Uppthiningen uppifrån är tydlig och det går även att urskillja nattfrysning i ytan under början på perioden (<http://www3.vv.se/tjaldjup/vti/rya.html>).



Figur 24 Temperatur för de översta 60cm från tjäldjupsmätaren vid RYA Väg 544. Perioden avser den 18 till den 24 mars 2011. Man kan tydligt urskilja upptining under dagen och frysning under natten. Upptiningen sker succesivt under perioden.

### DCP-FWD

DCP är som tidigare beskrivits inte en metod som är vanlig i Sverige, därför genomfördes på referensgruppens önskan ett jämförande fältförsök mellan DCP och FWD. Fallviktsmätningen utfördes av Vectura AB och DCP mätning av Klimator AB. En sträcka på 1100 meter valdes ut på den södra mätslingan utanför Sunne som mätområde (Figur 25). Då fallvikten har en högre provtagningshastighet, testades var tionde meter med FWD medan DCP skulle testa var 50:e meter. Således testades 25 punkter längs den 1100 meter långa sträckan med både DCP och FWD. Då bärigheten varierar beroende på var på vägbanan man mäter så testades konsekvent bärigheten i hjulspåret.



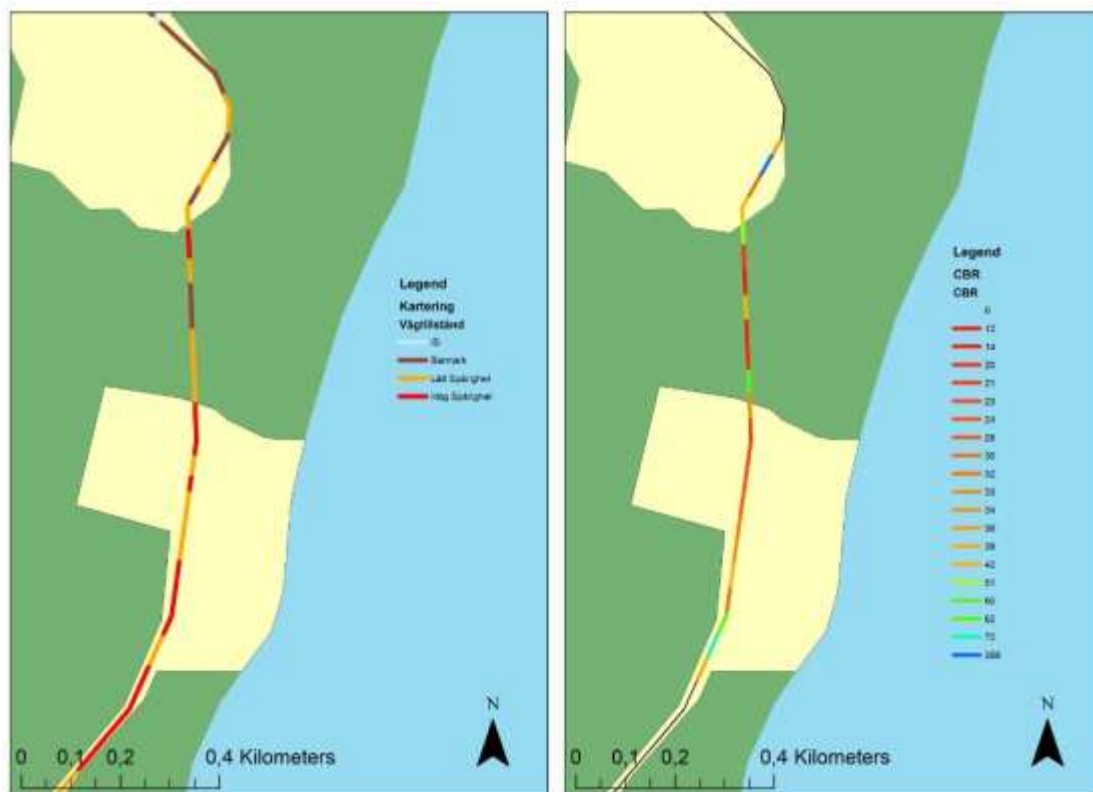
Figur 25 Mätsträcka söder om Sunne. Blå markering avser mätsträckan.

### DCP – Visuell kartering

Visuell inspektion av vägytan är det vanligaste sättet att ge en bedömning av vägens tillstånd. I Frizon Värmland förväntas lastbilschaufförerna göra detta under färd för att ta egna beslut om vägen de kör är i tillräckligt skick för att ta sig fram på och även rapportera problemområden till driftsentreprenören. Det finns dock svårigheter med att använda visuella medel för att förutse bärighetsproblem.

En visuell kartering genomfördes längs sträckan i Sunne som vi senare testade med DCP och FWD. Totalt karterades 5km. Tillståndet på vägen delades upp i fyra klasser: Frusen väg (is på vägbanan), barmark (väg utan is och utan spårighet), uppmjukad väg och mycket uppmjukad väg.

Resultatet från jämförelsen mellan DCP och visuell kartering visar på brister i den visuella metoden. Den visuella karteringen missar på flera ställen längs den 1km långa sträckan områden med låg bärighet och klassas som antingen torra eller lätt spåriga. Medan platser som har en hög bärighet klassas som hög spårighet. Detta synliggör bristerna som finns i en visuell metod. Det är svårt att se om vägen är mjuk eller hård, en frusen väg kan se spårig ut och en mjuk väg kan se hård ut. Till dessa problem skall läggas att kan vara stor skillnad beroende på vem som karterar, vilket leder till stora osäkerheter i informationen som samlas in.

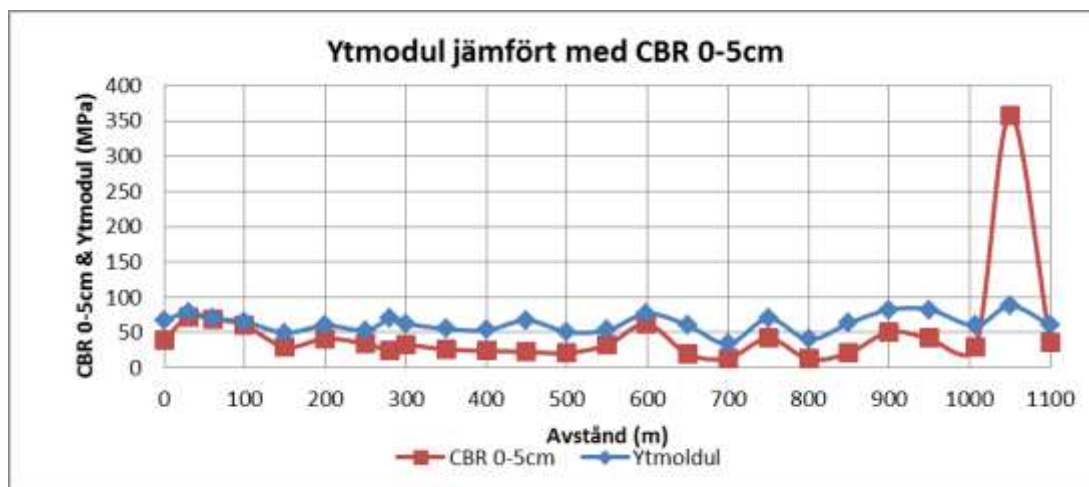


Figur 26 Resultat från visuell kartering vid sidan om resultatet från DCP mätningar. DCP mätningarna visar på en större variation än vad den visuella karteringen indikerar.

## Resultat

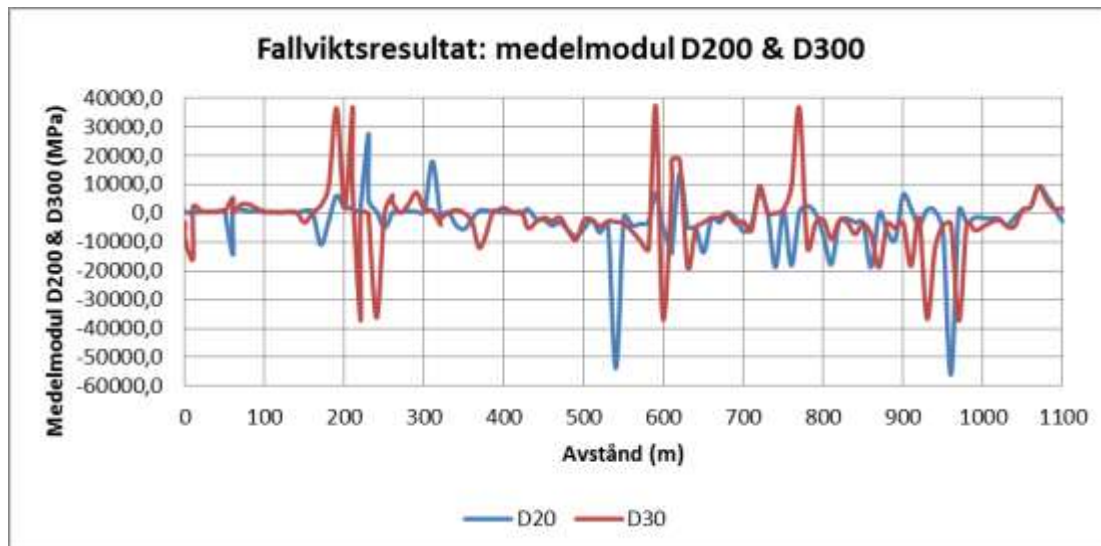
Vid bedömning av bärighet med syftet att använda resultaten till utvärdering av BiFi systemet är det framförallt de översta 30 cm av vägbanan som är av intresse. För fallvikten är tre värden av intressanta: ytmodul, medelmodul-D200 och medelmodul-D300.

Vid test av korrelation mellan ytmodul och CBR 0-5 cm finns det en mycket svag korrelation med ett  $r=0,7$  och ett  $r^2=0,49$ . Detta resultat gäller dock bara om man plockar bort extremvärdet för CBR vid 1050meter. Med extremvärdet inräknat försvinner korrelationen helt med ett  $r^2=0.25$ .



Figur 27 Visar jämförelse mellan ytmodul och CBR 0-5cm djup längs teststräcka söder om Sunne.

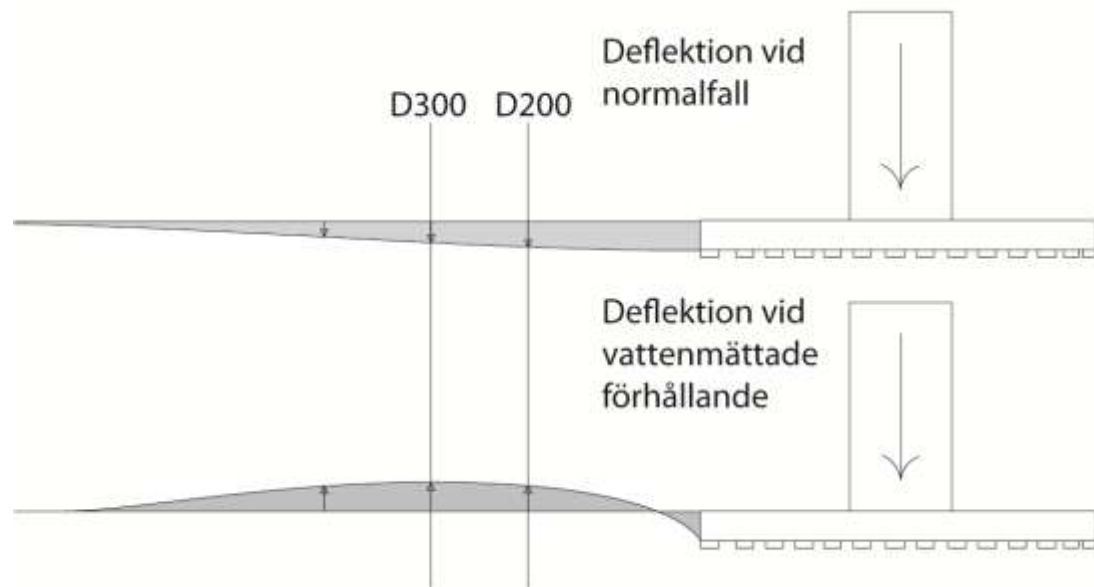
Resultatet för D200 och D300 medelmodulerna visar 73 av 111 mätningar negativa och missvisande värden. Figur 25 visar fördelningen av medelmodulvärden D200 & D300 längs hela mätsträckan söder om Sunne. Felvärdena sammanfaller i stor utsträckning med kraftig ytuppmjukning och vattenmättad vägmateriäl.



Figur 28 Visar medelmodul D200 och D300 för teststräckan söder om Sunne. De negativa resultaten sammanfaller med kraftig ytuppmjukade väg. De negativa värdena är att betrakta som felvärden.

Orsak till fallviktens felvärden har troligtvis med den mycket höga vattenhalten i det översta skiktet av vägbanan. När vikten släpps på foten pressas vatten ut ur gruset direkt under foten och höjer då porvattentrycket i den omkringliggande vägytan. Det ökade porvattentrycket pressar upp givarna på D200 och D300 vilket ger negativa värden istället för positiva (se Figur 28). När vägytan är helt vattenmättad och samtidigt varit utsatt för vibrationer eller någon form av mekanisk störning, kan

materialet sluta bete sig elastiskt och övergår till att bete sig plastiskt eller till och med som en vätska.



**Figur 29 Schematisk bild av deflektion vid normala mätförhållanden och vid mätning av mättat material.**

Slutsatsen av försöket är att på grund av den höga andelen felaktiga värden som genereras lämpar sig fallvikt ej för bestämning av bärighet på ytuppmjukade grusvägar där materialet är vattenmättat.



## Resultat & Slutsats

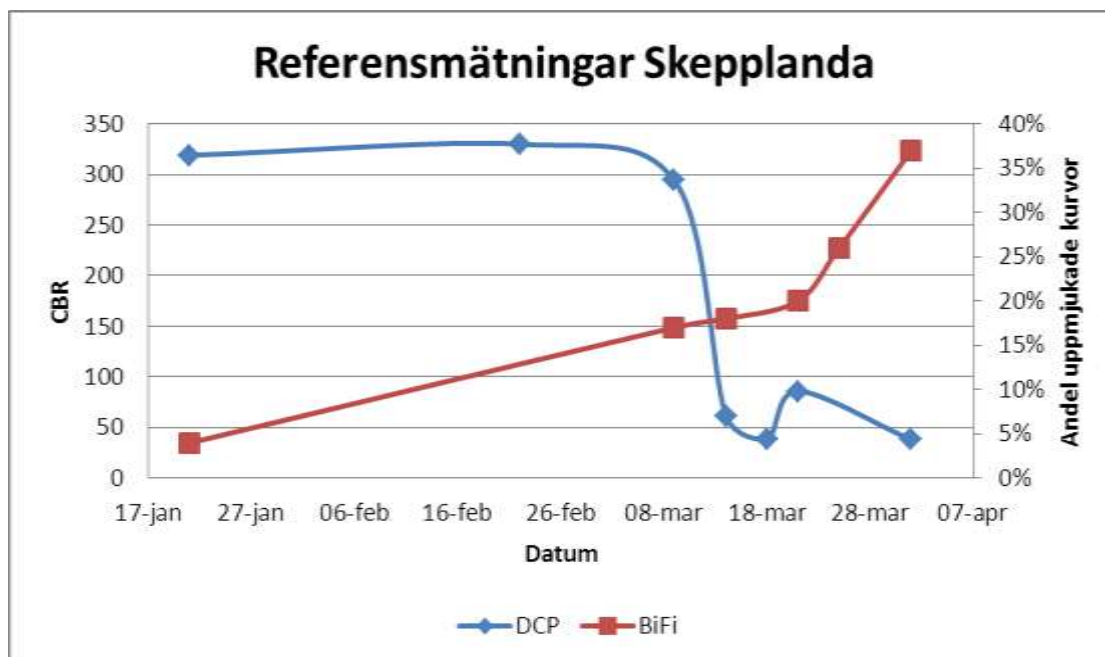
Under projektet har en signalbehandlingsalgoritm som estimerar bärighet tagits fram tillsammans med två olika hårdvarulösningar för datainsamling baserat på denna signalbehandlingsalgoritm. Denna hårdvara har installerats i 4 st postbilar och samlat in data från postbilarnas dagliga rundor utanför Sunne och Arvika under drygt 3 månader, våren 2011. Utöver detta har data från Skepplanda, norr om Göteborg, samlats in med två bilar från Klimator och Semcon tillsammans med referensmätningar med en DCP.

Det genomfördes ca 100 referensmätningar under projektets gång med DCP i både Skepplanda och Sunne. Mätningarna har givit värdefull data för att utvärdera fordonsmätningarna. Mätningarna har också givit en större förståelse för de spatiala variationer som kan förekomma längs en sträcka och vilka parametrar som kan vara styrande för variation i bärighet.

Ett försök med fallviktsdeflektometer (FWD) som i Sverige är en vanligare metod för bestämning av bärighet på belagda vägar, visade att fallvikten inte lämpar sig för mätning på grusväg under tjällossning.

Utöver mätningar som referens till BiFi-utrustningen och jämförelsen med fallvikt, genomfördes en enklare jämförelse mellan DCP/BiFi-utrustning och visuell kartering. Resultaten från denna jämförelse visar att det finns stora svårigheter att bedöma vägens tillstånd med enbart visuella medel.

Ur de mätningar som under våren gjorts i Skepplanda har andelen av kurvorna som BiFi-systemet anser vara uppmjukade tagits fram. Detta avser vi är ett bra mått på uppmjukning av vägarna. I Figur 30 visas detta tal tillsammans med CBR som uppmäts med DCP.



Figur 30 Bärighetsvärden i CBR jämfört med antal uppmjukade kurvor enligt BiFi-mätutrustning.

CBR värdet är baserat på mätningar i 7 punkter längs sträckan medan BiFi-värdet är uträknat baserat på 2 körningar i varje riktning med ca 25 kurvor per körning dvs 100 mätningar per tillfälle. Även om DCP-punkterna är valda för att representera en så stor del utav sträckan som möjligt, kan man bara med säkerhet säga någonting om de punkter som uppmätts. Men vi kan ändå se en samstämmighet mellan resultatet av de två mätmetoderna.

Slutsatser och uppnådda mål från analysen av BiFi del 1



- BiFi-systemet ger en bild av bärighetsläget som stämmer väl överens med de referensmätningar som gjorts.
- Visuellt kartering säger lite om bärighet – otillräckligt som beslutsunderlag.
- Det finns inga raka grusvägar – Även en på kartan, till synes, rak grusväg ger BiFi-indikationer.
- BiFi-mätningarna är en bättre metod än visuell kartering då metoden är snabbare, kostnadseffektivare och mer objektiv.
- DCPn visar att det förekommer stora spatiala variationer i bärighet som inte detekteras vid visuell inspektion.
- För framtida referensmätningar är DCP att föredra framför FWD vid nedsatt bärighet/tjällossning.

### ***Bidrag till FFI-mål***





Nedan redovisas hur föreliggande projekt bidrar till att uppfylla de mål som är uppsatta inom programmet "Transporteffektivitet":

- Resultatet från projektet kommer att kunna leda till minskade CO<sub>2</sub>-utsläpp genom att transporter kan optimeras och effektiviseras.
- Den dynamiska modellen kommer att kunna användas till att optimera godstransporter speciellt gällande bärighetsrestriktioner som idag utgör ett kostsamt problem. Detta kommer att bidra till en stor effekt på samhälls- och närings ekonomi.
- Metoden kan utvecklas till en exportprodukt till områden med likartade förhållanden.

## Resultat för delområde 1-4

<p><b>Hårdvara</b></p> <p><b>Målsättning BiFi 1:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• BiFi 1 hade målsättningen att ta fram 6 st system i drift – beslutad på styrgruppsmöte 22/11 -2010.</li></ul> <p><b>Resultat:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• BiFi 1 har tagit fram 15 st system där vi installerar dubblasystem i 4 st postbilar + Semcon och Klimator bil.</li></ul>	
<p>För att utveckla hårdvaran har vi använt oss av 2 olika spår, Smartphone och en extern hårdvara. Smartphonen har fördelen att den är lätt att använda under utvecklingen av algoritmer. För en större provflotta kommer vi att satsa på den externa hårdvaran och utveckla den vidare.</p>	
<p><b>Provflotta</b></p> <p><b>Målsättning BiFi 1:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Utrusta post, hemtjänst bilar eller likande i ett distrikt med utrustning</li></ul> <p><b>Resultat:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• 4 st postbilar Sunne + Arvika</li></ul>	
<p>Projektet har fått en bra kontakt med Posten i Sunne och Arvika. Vi har fått ett löfte om att fortsätta samarbetet under kommande säsong. I framtiden får detta vara en del i affärsmodellen att skapa kontakter med en fordonsflotta som kan leverera signaler från det finmaskiga vägnätet.</p>	
<p><b>Referensmätningar</b></p> <p><b>Målsättning BiFi 1:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Jämförande mätningar – fordon, DCP, Fallvikt</li></ul> <p><b>Resultat:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Resultat: DCP lämpar sig väl för referensmätningar i tjällossningssituationer</li></ul>	
<p>Dynamisk konpenetrometer (DCP) har visat sig vara en effektiv och bra referensmätningss metod.</p>	
<p><b>Klimatmodell</b></p> <p><b>Målsättning BiFi 1:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Analysera bildata ihop med klimatdata off-line efter säsongen är över</li></ul> <p><b>Resultat:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Resultat: Klimatmodell för tjällossning framtagen</li></ul>	
<p>Första versionen av en klimatmodell anpassad för tjällossning är framtagen och den kommer att vidareutvecklas i del 2 av projektet.</p>	

## Resultat för delområde 5-8

<b>Marknadsföring/PR</b> <b>Målsättning BiFi 1:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Föreläsa om resultatet och ta fram broschyr material + Webbsida</li></ul> <b>Resultat:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Föredrag har hållits (Värmlandsåkarna, VTI dagarna, Vegvaer) Broschyr är ej framtagen, Webbsida har för dålig status – arbetas med.</li></ul>	
Projektet har uppmärksamats i media och material kommer att tas fram under hösten 2011 för att kunna nå ut till fler intressenter i del 2 av projektet.	
<b>Webbgränssnitt</b> <b>Målsättning BiFi 1:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Ej med i BiFi 1</li></ul> <b>Resultat:</b> <p>En prototyp finns – exjobb påbörjas i april.</p> <ul style="list-style-type: none"><li></li></ul>	
Ett arbete har påbörjats för att skapa ett bra gränssnitt till slutanvändaren.	
<b>Försäljning/Affärsmodell</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Underlag för affärsmodell tas fram</li></ul> <b>Resultat:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Svårt att få fram ett bra underlag men arbete pågår</li></ul>	
Mer fokus kommer att läggas på detta område i samband med presentationen av rapporten för BiFi del 1, en workshop är inbokad.	
<b>Datainsamling/Databas</b> <b>Målsättning BiFi 1:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Samla in data endast lokalt och sedan analysera off-line</li></ul> <b>Resultat:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>En första prototyp av on-line insamling finns</li></ul>	
En stor mängd data har samlats in under mätsåsongen och den kommer att bearbetas under sommaren för att ligga till grund för del 2 av projektet.	

## Produkt / affärsmodell

Affärsmodellen är något som arbetas med under hela projektet och kommer att fortsätta utvecklas i del 2 av projektet. Några av frågorna som bearbetas inom affärsmodellens arbetet är:

- Vem tjänar på BiFi? Väghållaren (Trafikverket, Vägföreningar..), Skogsnäringen eller finns det andra intressenter som har intresse i att vägarna inte blir sönder körda eller veta om statusen är dålig så att man skall köra en alternativ väg. Skogsforsk har ju tydligt visat att skogsnäringen har möjlighet att effektivisera virkes hantering <sup>2</sup>.
- Hur paketerar man BiFi tjänsterna, abonnemang, logistik eller??
- Vem är leverantör av data till BiFi projektet och hur ser den affärsmodellen ut? Posten, hemtjänsten, vägföreningar eller??

### Användning av projektresultat

Resultatet från projektet möjliggör för transportindustrin att minska transporttider genom färre störningar och en ökad framkomlighet. Vidare kommer användningen av resultaten att användas för att förebygga stillestånd under transportuppdrag och därmed öka utnyttjandegraden av fordon genom prediktion av bärighetsstatus. Väghållaren ges möjlighet att på ett dynamiskt sätt hantera vägvägningsproblematiken i förhållande till hur detta sker idag då stora marginaler måste användas för att undvika skador.

Deltagande företag har för avsikt att produktifiera framkomna resultat för att möjliggöra försäljning till åkerier, transportorganisationer, fordonstillverkare samt nationella och internationella väghållare.



Figur 31 Översikt BiFi systemet

<sup>2</sup> Skogforsk Nr 663 2008: Vägstandardens inverkan på skogsnäringens transportarbete.

## Kommunikation

Projektet har blivit spritt via media i radioinslag och SVT värmlandsnytt. Reportaget i Värmlandsnytt.

[http://svtplay.se/v/2390936/matverktyg\\_tas\\_fram\\_med\\_lantbrevbarare](http://svtplay.se/v/2390936/matverktyg_tas_fram_med_lantbrevbarare)

Inslag i P4 Värmland:

<http://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?programid=93&artikel=4442785>

Artikel i Värmlandsåkarna nummer 2 2011 - finns på länken:

[http://www.akeri.se/files/bilder/varmland/va\\_211.pdf](http://www.akeri.se/files/bilder/varmland/va_211.pdf)

## Konferenser

Projektet har presenterats på Transportforum i Linköping 2011.

Värmlandsåkarnans 75 års jubileum hösten 2010

Vegvaer, Trondheim 1-2 nov 2010

Inspiration till uppkopplade smarta produkter 2011-06-01, Semcon Göteborg

## Publikationer

Rapport: Förslag till metod för referensmätningar i vägbana. 2010-06-29

Rapport: Klimatologisk och Geologisk karaktär hos mätsträckorna. Esben Almkvist och Eric Zachrisson

Rapport: GIS modellering – Spridning i landskapet, BiFi. 2010-09-15

## Referensgruppen

Referensgruppen har samlats i Karlstad den 2010-04-26.

Referensgruppen har samlats i Stockholm den 2010-11-22.

Referensgruppen har samlats i Karlstad den 2011-04-28.

Slutrapporten kommer att presenteras för referensgruppen i augusti/september.

## Fortsatt forskning i BiFi del 2

Den första delen av BiFi har varit framgångsrik med resultat som visar att tekniken fungerar. Ansökan om fortsättning med den andra delen av BiFi - projektet, BiFi 2, fokuserar på att på landskapsnivå utvärdera algoritmen i operativa tester både på obelagda och belagda vägar för att hitta gränsvärden för tunga transporter. Andra viktiga områden är samverkan med akademien, studier på landskapsnivå och användargränssnitt vilka kommer att genomföras i denna del av projektet. BiFi 2 kommer även att användas för att sprida resultatet från BiFi 1, inom myndighet, fordonsindustrin och akademi.

Stort fokus kommer läggas på att hitta en nivå för klassificering av när det är för mjukt för att kunna köra ut en skogsbil på en viss grusväg. Visionen är att skapa en skala rött, gult, grönt för att på en karta indikera ytuppmjukning.

I huvudprojektet ingår Semcon (leder och är ansvarig för ansökan), Klimator, Trafikverket, Värmlandsåkarna, Högskolan Dalarna, Luleå tekniska universitet och Göteborgs universitet. Till projektet kommer också en referensgrupp att knytas med deltagare från transportnäringen och representanter från Skogs- och fordonsindustrin.



## Bilaga A - Deltagande parter

### Deltagare i projektet:

Semcon <a href="http://www.semcon.com">www.semcon.com</a>	
Klimator (Ett kunskapsföretag vid Göteborgs universitet) <a href="http://www.klimator.se">www.klimator.se</a>	
Trafikverket <a href="http://www.trafikverket.se">www.trafikverket.se</a>	
Värmlandsåkarna (En lokalavdelning av Sveriges åkeriföretag). <a href="http://www.akeri.se/akeriforeningar/varmland/varmlandsakarna">www.akeri.se/akeriforeningar/varmland/varmlandsakarna</a>	