

ENERGIEFFEKTIVISERING INOM VINTERVÄGHÅLLNING

ETT VÄGKLIMATOLOGISKT PERSPEKTIV

Lina Nordin

2016-01-07

SBUF stödjer
forskning & utveckling

som leder till
praktisk handling

FÖRORD

Detta är en sammanfattning av avhandlingen *Energy Efficiency in Winter Road Maintenance, A Road Climatological Perspective* (https://gupea.ub.gu.se/bitstream/2077/38654/1/gupea_2077_38654_1.pdf)
Avhandlingen behandlar vinterdriften i Sverige med avseende på energianvändningen. Syftet var att identifiera potentialer till energibesparingar eller effektiviseringar. För att detta skulle vara möjligt var det viktigt att först få en förståelse för hur driften fungerar och vad som påverkar energianvändningen i olika aspekter av vägdriften.

Avhandlingen är skriven som en sammanläggningsavhandling dvs. med en sammanfattande kapp av de fem inkluderade artiklarna. Denna svenska sammanfattning utgår från den engelska kappan i avhandlingen och kommer i vissa fall att hänvisa vidare till någon av de inkluderade artiklarna.

Avhandlingen är skriven av Lina Nordin och arbetet har handletts av Torbjörn Gustavsson och Jörgen Bogren vid Institutionen för Geovetenskaper, Göteborgs universitet, Jonas Flodén vid Handelshögskolan, Göteborgs universitet samt av Niclas Odermatt, Skanska.

Doktorandprojektet är finansierat av Trafikverket och SBUF.

Göteborg, januari 2016

SAMMANFATTNING

Vinterväghållningen i Sverige beror å ena sidan av klimatet och hur olika väderparametrar påverkar väglaget och å andra sidan av väganvändarnas behov av säkra och framkomliga vägar. Liksom inom många andra transportområden har det blivit viktigt att undersöka bränsleeffektivitetspotentialer även på vägunderhållssidan. Det huvudsakliga syftet med avhandlingen var att undersöka vinterväghållningens energianvändning i södra Sverige. För att överhuvudtaget kunna resonera i termer om effektiviseringar är det viktigt att veta hur mycket energi som går åt till att börja med. Inom vinterväghållningen har det varit svårt att få kontroll över just bränsleanvändningen på grund av att driftområdena sköts av entreprenörer och underentreprenörer via upphandling. Olika förutsättningar gäller för olika områden både i fråga om geografi och klimatologiska skillnader men också vad gäller olika typer av ersättningssystem. Att börja kontrollera bränsleförbrukningen hos plogbilar och saltbilar i områdena kan ses som integritetskränkande och har därför varit svårt att implementera eller ens testa. Ett alternativ hade varit att skapa index för att räkna ut något slags schablonvärde för energianvändningen. Risken finns då att samma schabloner används för samma typ av fordon som används inom vinterväghållning men utan att ta hänsyn till de varierande förutsättningarna, vilket i värsta fall skulle kunna leda till underestimerade bränslevärden. Vilket i sin tur skulle kunna medföra att det i princip vore omöjligt att följa de uppsatta bränslevärdena.

Det var därför viktigt att särskilja olika parametrar som skulle kunna ha påverkan på vinterdriftens energianvändning. För att reda ut om befintliga bränsleförbrukningsmodeller för tunga lastbilar skulle kunna användas även för plog och saltbilar, användes en befintlig modell som inkluderade lutning, lastningsparametrar och hastighet för att beräkna bränsleåtgången vid salt respektive plogrundor i några driftområden i södra Sverige. Dessa beräkningar jämfördes mot bränsledata som loggats kontinuerligt i fordonen för tillverkarens räkning kopplat mot information från loggböcker om åtgärder samt mot väderinformation från SMHIs MESAN data. Slutligen användes ett ruttoptimeringssystem för att beräkna olika typer av effektivitets potentialer.

Klimatanalyser av VVIS-data (VägVäderInformationsSystem) visade att frostvarningar var den vanligaste typen av halka i de södra delarna av Sverige. Om sådana varningar över- eller underskattas skulle det kunna påverka energianvändningen markant eftersom det kan medföra onödiga halkbekämpningsåtgärder. Genom att mäta vattendjupet med hjälp av en sensor som monterats på en saltbil var det möjligt att registrera vattendjupsskillnader längsmed vägen. Resultaten visade att det kan vara av intresse att ändra sättet att behandla avfartsramper på eftersom vattendjupet på dessa visade sig vara större än på motorvägen. Det är troligt att detta beror på den mindre mängd trafik som trafikerar ramperna, vilket också gör dessa mer utsatta i fråga om risker för halka.

Genom att använda delar av VTIs (Statens väg och transportforskningsinstitut) Vintermodell drogs slutsatsen att preventiv halkbekämpning inte verkar vara energieffektivt på grund av att förarna tenderar att köra med högre hastigheter på saltade vägar än om vägen är osaltad. Snömängd och densitet påverkar dock energiförbrukningen, vilket gör att plogning kan spara energi.

Det finns redan system för fordonsdata som registreras av lastbilstillverkare, såsom Scania och Volvo, vilka kan användas av åkerier för att få koll på sina fordonsflottor. Information om bränsleförbrukning, hastighet, antal inbromsningar, antal accelerationer, position, distans etc. loggas automatiskt in i ett system och kan för den som vill prenumerera på det laddas ned och i vissa applikationer även hjälpa till att tipsa om bränslesnålare körning direkt till föraren. För det här projektet laddades rådata från fordonen ner för att jämföras mot väderdata från SMHI och åtgärdsloggar från entreprenören. På det sättet kunde bränsleförbrukning kopplas mot snömängder. Dessa data jämfördes mot modellberäkningar för samma

vägsträckor genom användning av en bränsleförbrukningsmodell med hänseende på väglutning, hastighet och lastningsgrad. De modellerade bränsleförbrukningsvärdena underskattade bränsleförbrukningen, vilket indikerar att bränsleförbrukningen inom vinterdriften beror av andra saker än för vanlig transport av samma typ av fordon. Sådana saker verkar delvis handla om väder t.ex. typ av snö, eftersom tyngre snö visade sig dra mer bränsle, men även hastigheten har stor betydelse för bränsleförbrukningen hos vinterdriften. Just hastigheten sågs som en stor potential till minskad energianvändning eftersom mycket av vinterdriften kördes vid lägre hastighet än vad som är optimalt i förbränningssynpunkt.

Det ruttoptimeringssystem som används av Svevia användes för att uppskatta olika potentialer till effektivare energianvändning. Det visade sig att om markvärme eller automatiska saltspridare skulle monteras i asfalten på strategiska platser såsom på avfartsramper skulle bränsle kunna sparas. Även en förändring av åtgärd från sandning till saltning, liksom att lägga till sanddepåer på strategiska platser i ett driftområde, skulle kunna spara bränsle. Vidare visade analyserna att ytterligare materialdepåer för salt inte hade någon större effekt med hänsyn på energianvändningsbesparingar.

Den här avhandlingen har bidragit till att hitta sätt att utvärdera energianvändningen och effektiviseringspotentialer inom vinterväghållning. De huvudsakliga punkterna att tänka på är hur mycket bränsle som vinterväghållningsfordon använder och hur man planerar åtgärderna. Med den vetskapen blir det lättare att hitta potentialer till förbättringar. Användningen av fordon och bränsle kan också minskas till följd av ny mätteknik och förbättrad mätnoggrannhet inom VVIS. Avhandlingen har visat på olika besparingspotentialer men det är också viktigt att tänka på säkerheten och genomförbarheten. De potentialer som visats behöver undersökas ytterligare för att ge en större förståelse för hur energianvändningen fungerar och vad den påverkas av inom vinterdriften. Det fortsatta arbetet borde vara att ytterligare undersöka varför hastigheterna är så låga som de är samt att testa olika potentialer i mindre och större skala.

INNEHÅLL

BAKGRUNDEN	5
ENERGI I VINTERDRIFTENS SYSTEM	6
DEL I, ATT FÖRSTÅ VÄG VÄDER INFORMATION SYSTEMET (VVIS).....	6
<i>FUKTIGHET I SYSTEMET</i>	7
DEL II – ENERGIANVÄNDNINGEN INOM VINTERVÄGUNDERHÅLLNINGSSYSTEMET	8
<i>ENERGIANVÄNDNINGEN INOM VINTER VÄGHÅLLNING – ATT MÄTA ELLER</i> <i>MODELLERA</i>	8
DEL III – ATT IDENTIFIERA ENERGIEFFEKTIVISERINGS POTENTIALER	10
DISKUSSION	12
<i>ENERGIEFFEKTIVISERING INOM ETT VINTERDRIFTOMRÅDE – GENERELLT</i>	12
REFERENSER	13

BAKGRUNDEN

Trafikverket har det yttersta ansvaret för att de statliga vägarna är säkra och framkomliga i alla väder. Som myndighet arbetar Trafikverket efter rådande politiska strukturer eftersom Sveriges regering sätter upp de mål som trafikverket ska följa. Många av dessa mål grundar sig i policys och direktiv från internationella koalitioner som EU och FN. Ett sådant mål är att minska transportsektorns påverkan på miljön där det främst handlar om växthusgaser, luftkvalitet, buller och vattenskydd (Trafikverket, 2012). Ur detta kommer behovet av att se över energianvändningen i alla delar av transportsektorn, så även den egna driften av vägarna.

De statliga vägarna har delats in i olika driftområden som i sin tur sköts av entreprenörer via upphandling. Ett driftområde består av omkring 1000 km väg i olika klasser med olika årsdygnstrafik (ÅDT, dvs. antalet fordonspassager per dygn). I varje driftområdeskontrakt finns ett speciellt kapitel som handlar om vinterdrift. Det också viktigt att inkludera miljöperspektivet i kontrakten eftersom mycket kemikalier så som NaCl sprids på vägarna i och med vinterdriftens halkbekämpning. Alla vinterdriftfordon måste dessutom vara utrustade med GPS-teknik som regelbundet skickar information om aktivitet, saltspridning, hastigheter etc.

Vinterdriften varierar beroende på vägklass och årsdygnstrafik. De mest trafikerade vägarna har högst standardklass; 1. Dessa ska i princip vara snö- och halkfria året om, därför driftas vägarna under vintern preventivt med saltlösning innan det fryser till. Saltlösningen gör att fryspunkten på vägen sänks några grader vilket bidrar till att fukten på vägen fryser först när temperaturen sjunker under t.ex. $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Beroende på saltkoncentrationen i lösningen kan fryspunktstemperaturen varieras. Det kostar mindre energi att sänka fryspunkten än att smälta redan befintlig is (Boselly, 2001), vilket gör att detta preventiva halkbekämpningsförfarande är standard på de större vägarna i Sverige idag. Mer om detta finns att läsa i artikel 1 och 2 i avhandlingen.

ENERGI I VINTERDRIFTENS SYSTEM

Den energianvändning som beskrivits i denna avhandling var begränsad till att bara ta hänsyn till de fordon som används i vinterdriften. Viss hänsyn har dock tagits till den vanliga trafikens påverkan på systemet eftersom det är den som bestämmer att driften behövs.

DEL I, ATT FÖRSTÅ VÄG VÄDER INFORMATIONENS SYSTEMET

(VVIS) Væghalka beror av temperaturer och fuktighet på vägen. Följande del av sammanfattningen beskriver olika sätt att observera dessa parametrar på samt diskuterar hur de verktyg som används kan påverka vinterdriften i fråga om bränsleförbrukning.

VVIS systemet observerar väderparametrar så som temperaturer och luftfuktighet, nederbörd och vindar i området kring och på vägen. Om systemet upptäcker att vägytans temperatur är under $+1^{\circ}\text{C}$ och minst 0.5°C mindre än daggpunktstemperaturen generas automatiskt en frostvarning. I *Artikel I* analyserades frostinformation från 166 VVIS stationer i Västra Götalandsregionen, för vintrarna mellan oktober 2007 till april 2010, med avseende på hur felaktig mätning av temperaturer och fuktighet kunde påverka systemets förmåga att beräkna tillförlitliga frostvarningar. Utöver att antalet frostvarningar per vinter i området analyserades gjordes även en ytterligare analys baserad på frostvarningar som generats vid stationer som varit utrustade med en extra temperatursensor, ofta belägen i ett annat körfält, på en intilliggande bro eller i ett närbeläget skuggparti. Effekterna av missade varningar samt falska varningar utvärderades därefter.

Resultaten av frostanalysen visade en anmärkningsvärd skillnad i antal frostvarningar per station inom regionen. Antalet frostvarningar per station och vinter varierade från 10 till närmare 3000 per station där medelvärdet var ca 600 frostvarningar på en vinter. Resultaten visade att informationen från stationerna bör beaktas varsamt eftersom det låga antalet frostvarningar på en station kan innebära att det inte är mycket frost i området, men mest troligt att det faktiskt finns felaktigheter i mätningarna som gör att stationen missar att varna. För de stationer där extra många varningar gavs råder troligtvis det omvända förhållandet, dvs. falska varningar. Det fanns ingen möjlighet att gå ut och undersöka dessa stationer men ytterligare analyser visade att 42 av de 166 stationerna hade en extra sensor. När frostvarningar beräknas används data från den av de båda sensorerna som visar lägst temperatur men fuktighetsvärdet som används kommer alltid från samma sensor. Det gör att frostberäkningarna kan använda en yttemperatur från en sensor som är installerad i vägytan på en bro, men räknas mot en daggpunktstemperatur på en station 200 m bort. De flesta av dessa stationer visade olika frostvärden om man använde den ordinarie yttemperatursensor vid stationen jämfört med den extra sensorn. Skillnaderna mellan daggpunkttemperaturen och yttemperaturen, dvs. det som avgör hur stor frostpotentialen är varierade stort om man använde den extra sensorn mot för den vanliga. Skillnaderna var både positiva och negativa vilket indikerar att temperaturerna kan variera stort på korta avstånd. Två av stationerna med extra sensorer visade mer än 1000 gånger fler varningar än övriga om den extra sensorn användes, vilket indikerar någon typ av felaktighet vid dessa stationer. Att basera sina underhållsåtgärder på VVIS-data kan i det fallet leda till onödiga åtgärder.

Frostvarningar i VVIS beräknas genom att skillnaden mellan vägytans temperatur och daggpunktstemperaturen ska vara minst 0.5°C . I studien visades att skillnader större än 4°C var ovanligt och att nästan alla varningar beräknades med en skillnad mellan 0.5°C och 1°C . Skulle hänsyn tas till det faktum att flera tidigare studier visat att det kan vara upp till 2°C skillnad i daggpunktstemperaturen från 10 cm jämfört med 2.5 m ovanför vägytan, skulle många av frostvarningarna ha varit överestimerade. Om gränserna mellan daggpunktstemperatur och vägytans

temperatur skulle ändrats från 0.5°C till 0.6°C så skulle ca 10.3% färre varningar ges och lika så omkring 78 % färre varningar om skillnaden skulle ha varit överdriven med 1.5°C.

FUKTIGHET I SYSTEMET

Det har blivit allt vanligare att mäta vägytans tillstånd mobilt, via mätutrustningar som monterats på fordon, men även att inkludera information som redan registreras kontinuerligt i fordonet. Studien i *Artikel II* baserades på mätningar av fuktighet som gjordes med hjälp av en Infralytic GmbH, från Marburg, Tyskland. Sensorn monterades under ett vinterdrift fordon och var utrustad med GPS och GSM modem så att data skickades kontinuerligt medan fordonet körde. Fordonet halkbekämpade i huvudsak två vägar i driftområde Västerås. Den ena sträckan var längs E18, i öst-västlig riktning och den andra längs Riksväg 66, en lite mindre väg som sträcker sig mot nordväst från Västerås mot Surahammar. Syftet med den studien var att undersöka om vattendjupets variation längs med vägen var stort nog för att mätas.

De mobila mätningarna i *Artikel II* visade att det är fullt möjligt att mäta fuktighetsvariationer längs med vägen och att sådana mätningar kan optimera saltanvändningen. Mätningarna visade att det var tydliga skillnader vid olika skalor längs med vägen men också mellan olika körfält. Fuktigheten varierade med olika vägtyper; den stora vägen med mer trafik hade en mer uniform fuktighet medan den mindre vägen hade mer fläckvis fuktighet.

Avfartsramperna visade sig vara de allra fuktigaste och skulle alltså behöva mer salt vid åtgärd. Ramperna är ju extra frostkänsliga då de inte är lika fullt trafikerade och alltså utsätts för mindre mängd värmeenergi från fordonens friktion och motorvärme. Ramperna kräver också ofta snabb inbromsning på korta sträckor och i kurvor vilket möjligen ökar risken för olyckor. Om saltmängden skulle anpassas till den fuktighet som fanns på vägen i studien skulle variationer av vattendjup på 1.4 mm spara omkring 42 % av saltanvändningen på mindre vägar. Även om vattendjupet på den större vägen var mer jämnt fördelat skulle en anpassad saltspridning kunna spara upp till 22 %.

DEL II – ENERGIANVÄNDNINGEN INOM VINTERVÄGUNDERHÅLLNINGSSYSTEMET

Del II av avhandlingen hanterade hur energin används i systemet. Det var viktigt att försöka förstå var energin används för att sedan bygga vidare på hur användningen skulle kunna effektiviseras.

I *Artikel III* användes Statens Väg och Transportforsknings Institut, VTIs bränsleförbrukningsmodell i Vintermodellen för att analysera effekterna av hur snödensitet och mängd kan påverka trafik och särskilt då dess energianvändning. Modellen är baserad på data från faktiska trafikflödesmätningar som gjorts parallellt med väderobservationer av olika väglag. För mer information om modellen och metoderna som användes se *Artikel III* i avhandlingen. Snömängd och densitet varierades i modellen mellan 0.2 till 1.2 cm för de olika densiteterna 100 kg/m³ och 400 kg/m³. Modellen kördes för ett fiktivt område på 100 km beräknat för 1 dag på torr vägbana respektive för moddig/snöig med olika densiteter och snömängder. Sedan jämfördes energianvändningen för de olika scenariorna.

Resultaten visade att energiförbrukningen beror av snömängd och densitet. Att köra på en väg i 70 km/h i snö skulle generera mer energianvändning än om du kör på en bar väg. Om man istället ökar hastigheten så kräver motorn mer energi för att hålla den ökade hastigheten än att köra genom snön, om det inte kommer mer än 1 cm snö på vägen. Ökas hastigheten till mer än 90 km/h behövs minst 2.5 cm snö för att det ska vara energieffektivt att ta bort snön. För tung snö är gränserna lägre. Det krävs i princip bara 0.5 cm snö för att det ska vara energieffektivt att ta bort den för hastigheter upp till 115 km/h.

Bränsleförbrukningen på torra bara vägbanor var alltid högre än för körning på våta fuktiga och isiga vägbanor. Vilket skulle indikera att det aldrig vore energieffektivt att salta vägarna eftersom förare då verkar tendera att hålla högre hastigheter än om risken för halka vore uppenbar. Dock är sådana spekulationer givetvis en fråga om säkerheten på vägen och inget annat. Att minska ner på saltning eller till och med ta bort den skulle med säkerhet öka antalet dödliga olyckor i trafiken.

ENERGIANVÄNDNINGEN INOM VINTER VÄGHÅLLNING – ATT MÄTA ELLER MODELLERA

För att kunna tala i termer om energieffektivisering är det bra att först veta hur mycket energi som faktiskt används i ett driftområde. Det finns olika sätt att göra detta på. Antingen mäts energin eller så används någon av otaliga modeller för att beräkna energiförbrukning. Den ena bättre och mer avancerad än den andra. De tar hänsyn till hastigheter, vägens topografi, fordonets last mm. Ofta används sådana modeller i ruttoptimeringsprogram för tunga fordon såsom för sophämtning och frakt (Delorme et al., 2010; Tavares et al., 2009).

Att använda modeller är ett sätt att få kunskap om energi och att uppskatta energianvändningen. Ett annat sätt är att använda data som redan loggas i fordonen och som kan fås via fordonstillverkaren. Några av de största lastbilstillverkarna i världen har kommit överens om ett standardanvändargränssnitt som kallas för Fleet Management System standard interface (FMS-Standard, 2014). Systemet är tänkt att assistera fraktbolag att få en bättre översikt av sina fordonsflottor. Det kopplar ihop all data som loggas i ett fordon, exempelvis hastigheter, bränsleförbrukning, riktning, position, motorns drivmoment mm. Den informationen kan också användas för att kartlägga bränsleförbrukningen inom vinterdriften. Studien i *Artikel IV* handlade om att testa två koncept för att uppskatta energianvändning i driftområdena. Det första handlade om att använda redan utvecklade modeller för att beräkna bränsleförbrukning baserad på de ekvationer som gick att hitta i Ntziachristos and Samaras (2000) and Tavares et al. (2009). Dessa innehöll hastighet, vägens lutning och lastningsgraden.

Det andra konceptet var att använda uppmätta värden från Scantias Fleet management data för fordon som används inom vinterdriften. Det datat jämfördes sedan mot loggar för när vägarna driftats samt mot väderdata för att få snömängder och temperaturer. De två olika koncepten jämfördes sedan med avseende

på ecodriving och påverkan utifrån vilken typ av driftaktivitet som utförts. Mer utförliga beskrivningar om metoderna finns i avhandlingen.

Resultaten visade att bränsleförbrukningen hos fordonen i studien var högre vid låga hastigheter. Den lägsta förbrukningen låg kring 60 km/h, det borde alltså vara den optimala hastigheten för att göra av med så lite bränsle som möjligt. Preventiv halkbekämpning utfördes i medeltal omkring 10 km/h snabbare än vad plogning gjorde. I modellberäkningarna användes lutningar med 3-6%, därför att den brantaste delen på sträckan i studien varierade mellan dessa tal. Det fanns alltså ingen större lutning än så i området. Modellberäkningarna jämfördes mot de uppmätta värdena och det visade sig att modellvärdena under- eller överestimerade bränsleförbrukningen trots att lutning och lastning användes. Inte ens när energianvändningen beräknades för särskilda vägsegment blev förbrukningen samma som den uppmätta. Den uppmätta förbrukningen av ”halkbekämpning” och ”alla inkluderade aktiviteter” (dvs den totala körningen) var liknande vid högre hastigheter som för modellen men skiljde sig vid låga hastigheter. Detta indikerade att annat än vägens lutning och lastningen påverkade bränsleförbrukningen hos driftfordonen. Det visade sig också att varm, tyngre snö använde mer bränsle än kall lättare snö.

DEL III – ATT IDENTIFIERA ENERGIEFFEKTIVISERINGS POTENTIALER

Avhandlingens tredje och sista del tar upp aspekter kring energieffektivisering. Först genom att diskutera potentialer till besparing genom ett förbättrat VVIS system samt hur förändringar i startkriterier vid snöbekämpning påverkar trafikens bränsleanvändning och sedan vidare till förarbeteende. Ett ruttoptimeringsprogram användes i en fallstudie för att undersöka vissa potentiella effektiviseringsåtgärder.

Frostvarningar används för att bestämma när det är dags att påbörja en preventiv halkbekämpningsåtgärd. De justerar också den finansiella kompensationen till entreprenörerna. Det är därför viktigt att denna information är så rättvisande som möjligt. Om någon del av systemet fallerar eller skickar för många varningar kan det resultera i onödiga åtgärder. I *Artikel I* visades att olika typer av fel som kan påverka daggpunktstemperaturen och/eller vägytans temperaturmätningar kan leda till falska varningar.

Ett fel på 0.1°C i skillnaden mellan daggpunktstemperaturen och vägytans temperatur visades kunna generera 10.3% onödiga varningar. Osäkerhetsfaktorn i den yttemperatursensor som vanligtvis används vid VVIS stationer, är $\pm 0.3^\circ\text{C}$ vilket i detta fall skulle kunna indikera att systemet antingen överreagerar eller missar frostillfällen.

Studier av bla. Baad and Brodersen (2010) har visat att höjden för var man installerar en sensor spelar roll för vilken temperatur som mäts. De visade att det kan skilja så mycket som 2°C beroende på om man mäter 10 cm ovanför markytan jämfört med 2 m ovanför markytan. Om skillnaden mellan daggpunktstemperaturen och markytans temperatur hade blivit fel uppmätt med 1.5 °C skulle 78 % av frostvarningarna i studien varit missvisande.

Bränsleförbrukningsstudien som gjordes i *Artikel IV* visade att den mest optimala hastigheten i hänsyn till låg energianvändning, låg på 60 km/h. Den visade också att förarna ofta körde med hastigheter som låg under 60 km/h. För att se om det fanns potentialer till att spara energi genom att höja hastigheterna var det nödvändigt att undersöka om de faktiska hastigheterna var i samma storleksordning som uppsatta hastighetsbegränsningar. Varje vägsegment som i den nationella vägdatan hade en hastighetsbegränsning kopplades mot den medelhastighet som segmentet fått utifrån fordonsdatan. Om hastighetsbegränsningen var över 60 km/h beräknades skillnaden från den körda hastigheten mot 60 km/h. Var hastighetsbegränsningen under 60 km/h jämfördes istället den körda hastigheten mot den satta hastighetsbegränsningen på segmentet. Detta gav att medelhastigheten per segment som det var möjligt att öka hastigheten med var 35.2 km/h för det ena fordonet och 31.2 km/h för fordon 2. En ökning i hastighet skulle minska medelförbrukningen från 0.5 l/km vid 30 km/h till 0.3 l/km för 60 km/h. Per vägsegment skulle minskningen i bränsleförbrukning bli upp till 40 %.

I verkligheten kanske det inte alltid är möjligt att öka hastigheterna eftersom underhållsfordonen också måste täcka alla avfartsramper, busshållplatser och rastplatser längs vägarna. Genom att installera fasta saltspridare i vägytan som automatiskt sprider saltlösning på vägen vid frostrisk, eller genom att använda markvärme skulle sådana avbrott i saltrutten kunna reduceras. Läs vidare i *Artikel V* i avhandlingen om ni vill veta mer om sådana tekniker.

I Artikel V användes ett ruttoptimeringsprogram för att testa olika scenarion. Syftet var att förstå en metod för att utvärdera olika potentialer för effektivisering inom ett driftområde. Från övriga studier i avhandlingen fanns indikationer på att ökad bränsleförbrukning var en konsekvens av minskad hastighet för att kunna täcka alla avfarter, busshållplatser och rastplatser och att detta skapat ett oflyt i körningen. Genom att använda ruttoptimeringssystemet gick det att jämföra den kortaste längden väg som krävdes för att täcka hela området förutsatt att alla avfartsramper etc. inkluderades i rutten med längden väg om de inte inkluderades.

En bro i området visade sig ha en extra temperatursensor installerad ca 15 meter bort från originalstationen. Fyra år av klimatdata jämfördes för att beräkna hur ofta halkbekämpning behövdes om den vanliga vägsensorn användes jämfört med sensor på bron. Varje varning som följdes av minst två till varningar (en varning per halvtimme, gav alltså att det varnade i 1.5 timme), och där det efter den halkperioden inte varnade under de kommande 6 timmarna bestämdes representera en driftåtgärd. Detta resulterade i att 40 % av de antagna åtgärderna bara gav frost på bron men inte på originalstationen 15 meter bort. Sådana typer av beräkningar beror givetvis på det lokala klimatet och varierar från fall till fall. Det är alltså svårt att generalisera.

Att ändra vägstandarklassen inom vinterdrift handlar ofta om att höja eller sänka gränser för när åtgärder behöver utföras. VTIs vintermodell är utvecklad för att beräkna vad som skulle hända om gränser och tidskrav på olika vägar ändrades. Det handlar ofta om att sänka standardklassen. De högst prioriterade vägarna saltas i dagsläget för att få snö- och isfria vägbanor året om. Vägar med lägre standard sandas istället när det blir halt. En sandningsrunda kräver ofta att fordonet måste fyllas på med mer sand två till tre gånger för samma väglängd som en saltrutt bara kräver en påfyllning. Oftast måste vägar med högre standard och som saltas åtgärdas oftare än de vägar som sandas, enligt de föreskrifter som gäller för respektive standardklass. I den här studien var det istället intressant att testa vad resultatet skulle bli om sandningen endast byttes ut mot saltspridning vid just exakt det antal tillfällen som annars hade sandats. Ett annat vanligt scenario som ofta testas inom ruttoptimering är att lägga till ytterligare material depoter. Detta testades också i den här studien.

Resultaten av *Artikel V* visade att ett system med automatiska saltspridare installerade i vägytan eller alternativa system på avfartsramper etc. skulle kunna spara upp till ett saltspridningsfordon (ca 100 km) per åtgärd i driftområdet. Samma typ av installation på en bro i området kunde spara ytterligare ett fordon. Denna typ av scenario beror givetvis av driftområdet i fråga och hur långt från depån som bron ligger. Att ändra från sandning till saltning visade sig spara upp till två enheter per driftåtgärd och minska åtgärdstiden med 8 %. Att anlägga ytterligare två materialdepåer skulle också ge upphov till en reducering av två enheter. Tillsammans skulle detta kunna minska antalet körda km i driftområdet på en vinter med 17 gånger den totala väglängden. Ett bättre flöde i rutterna som reducerar avbrott för avfartsramper etc. skulle förmodligen också kunna generera lägre bränsleförbrukning, pga. höjda hastigheter och färre inbromsningar och stopp.

DISKUSSION

Sökandet efter att hitta energieffektiviseringspotentialer som beskrivits i denna avhandling gav ytterligare en ny dimension till forskningsfältet inom vinterväghållning. De metoder som användes var inte definierade från början och det var därför också intressant att testa metoder som redan var etablerade inom andra ämnesområden. Allt eftersom projektet fortskred blev vikten av att veta var och hur mycket energi som går åt i ett driftområde, mer och mer uppenbar för att ta reda på var potentialer för besparingar fanns.

Det visade sig också att för att kunna vara mer energieffektiv var det viktigt med mer detaljerad information som motiverande faktor. Mobila mätningar blir allt mer vanligt eftersom att även om VVIS ger bra indikation om tidig halka visar det fortfarande bara punktvis data. Allteftersom nya projekt involverar väganvändarna för att ge information längs med vägsträckor så ökar också möjligheterna till att hitta ytterligare sätt för att bli mer effektiva och åtgärda exakt när det behövs.

De mobila mätningar som gjordes i *Artikel II* visade att det är möjligt att mäta vägytans fuktighet med en mobil sensor. Studien visade också att mest vatten ligger på avfartsramperna. Dessa i sin tur är väldigt viktiga delar i systemet eftersom de inte är lika trafikerade som resten av vägen. Det gör att färre bilar bidrar till friktion, tillförsel av värme från motor och bortskvättning av vatten. Hastigheterna är också lägre vilket i sin tur kan påverka fordonens förmåga att skvätta bort vattnet från vägen. Det fanns alltså mer mängd vatten på avfarten än på vägen vilket gjorde att skulle samma koncentration av saltlösning spridas på avfarten så skulle det inte gå att sänka fryspunkten till samma temperatur som på resten av vägen. Det här stärker ytterligare vikten av att installera någon typ av permanent halkbekämpning i vägbanan på särskilt utsatta platser.

ENERGIEFFEKTIVISERING INOM ETT VINTERDRIFTOMRÅDE – GENERELLT

Metoderna och resultaten från den här avhandlingen kan generaliseras till att gälla tre koncept. Först är det viktigt att få en överblick av var energin går åt och det fås genom att använda någon typ av fordonsdata. Var är hastigheterna för låga och varför? Finns möjligheter för att installera markvärme eller likanande permanenta lösningar på strategiska platser för att minska inbromsningar och höja medelhastigheterna.

För det andra vore det bra att få en överblick av VVIS-informationen. Analysera riskerna för att de data som ges är felaktiga. Som del i en sådan överblick kan det vara intressant att överväga att inkludera trafikinformation eller mobilamätningar för att optimera saltanvändning. När bränsleförbrukningen per aktivitetstyp och fordon är uppskattad kan den informationen inkluderas i ett energi-index, som jämför den totala längden körda kilometer av halkbekämpning i relation till väglklassens längd och antalet halktillfällen. Om indexet beräknas för varje år går det lättare att jämföra mellan olika år och också att kvantifiera olika förändringar som görs från år till år inom ett område.

Den tredje aspekten handlar om att använda ett ruttoptimeringsprogram för att uppskatta effekten av olika scenarion. Genom att undersöka olika varningar från VVIS är det möjligt att hitta anomalier som kan undersökas ytterligare. När föreslagna effektiviseringsåtgärder har beräknats i ruttoptimeringsprogrammet är det dags för att implementera sina idéer. Här kan fordonsdata om bränsleanvändning användas ytterligare för att jämföra mellan olika förändringar i hastigheter och väglängder.

REFERENSER

- ARVIDSSON, A. K. 2014. Calibration and Further Developments of the Swedish Winter Model. *VTI Rapport 826*, 61.
- BAAD, H. & BRODERSEN, S. Relevance of measuring the humidity immediately above the road. Standing International Road Weather Commission 2010, 2010 Quebec, Canada.
- BOSELLY, E. S. 2001. Benefit/Cost Study of RWIS and Anti-icing Technologies.
- DELORME, A., KARBOWSKI, D., VIJAYAGOPAL, R. & ROUSSEAU, A. Fuel consumption potential of Medium- and heavy-duty applications. EVS-25, the 25th World Battery and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium and Exhibition, 2010 Shenzhen, China Nov. 5-9, 2010.
- FMS-STANDARD. 2014. *FMS-standard* [Online]. Available: <http://www.fms-standard.com/Truck/index.htm> [Accessed feb, 2015].
- NTZIACHRISTOS, L. & SAMARAS, Z. 2000. *COPERT III Computer programme to calculate emissions from road transport: methodology and emission factors (version 2.1)*, European Environment Agency.
- RIEHM, M. & NORDIN, L. 2012. Optimization of winter road maintenance energy costs in Sweden: a critique of site specific frost warning techniques. *meteorological applications*, 19, 443-453.
- STA 2012. *Gemensamma miljökrav för entreprenader - Göteborgs stad, Malmö stad, Stockholms Stad och Trafikverket*.
- TAVARES, G., ZSIGRAIOVA, Z., SEMIAO, V. & CARVALHO, M. G. 2009. Optimisation of MSW collection routes for minimum fuel consumption using 3D GIS modelling. *Waste Management*, 29, 1176-1185.