

# Mätning av bränsleförbrukning på asfalt- och betongbeläggning norr om Uppsala

Mätningar med personbil och lastbil

Bengt-Åke Hultqvist



## Förord

Under hösten 2007 gav Vägverket ut skriften ”Råd för val av beläggning med hänsyn till slitage, emission av buller och partiklar samt rullmotstånd”. Skriftens syfte är att större hänsyn ska tas till miljön vid val av beläggning i samband med nybyggnad, förstärkning och underhåll. I skriften redovisas miljöegenskaper för olika typer av asfaltbeläggningar medan endast bulleregenskaper redovisas för betongbeläggningar. För att skriften ska bli komplett bör även resultat införas för slitage, partikelemission och rullmotstånd för betongbeläggningar. Innan detta kan göras behöver dock kunskapen förbättras om partikelemission och rullmotstånd för betongvägar.

I avvaktan på detta har VTI fått i uppdrag av Cementa AB att mäta bränsleförbrukning för personbil på asfalt- och betongbeläggning. Trafikverket har gett VTI i uppdrag att mäta bränsleförbrukningen för tung lastbil på motsvarande beläggningar. Bränsleförbrukningen är ett indirekt mått för både rullmotstånd och emissioner av koldioxid. Mätningarna har utförts på väg E4 vid Uppsala under några sommardagar åren 2008, 2009 och 2010. En rapport om de första personbilmätningarna gavs ut i mars 2009.

Föreliggande rapport redovisar resultat från både personbilmätningarna och lastbilmätningarna. Undersökningarna har utförts av Bengt-Åke Hultqvist vid VTI och Per Jonsson tidigare vid VTI, numera Tyréns i Göteborg. Uppdragsgivare har varit Trafikverket i Borlänge och Cementa AB i Stockholm.

Författaren vill tacka Erik Simonsen och Stig Jansson vid Cementa samt Christer Hagert vid Trafikverket som alla har deltagit med goda råd och synpunkter. Ett särskilt tack riktas till Ulf Hammarström vid VTI som har granskat rapporten.

Linköping i april 2013

*Bengt-Åke Hultqvist*  
*projektledare*

## Kvalitetsgranskning

Intern peer review har genomförts 11 mars 2013 av Ulf Hammarström. Bengt-Åke Hultqvist har genomfört justeringar av slutligt rapportmanus 19 april 2013. Projektledarens närmaste chef, Björn Kalman, har därefter granskat och godkänt publikationen för publicering 25 april 2013.

## Quality review

Internal peer review was performed on 11 March 2013 by Ulf Hammarström. Bengt-Åke Hultqvist has made alterations to the final manuscript of the report. The research director of the project manager, Björn Kalman, examined and approved the report for publication on 25 April 2013.

## Innehållsförteckning

Sammanfattning .....	5
Summary .....	7
1 Bakgrund och syfte .....	9
2 Bränslemätning med personbil .....	10
2.1 Metod.....	10
2.2 Mätbilen .....	10
2.3 Pilotförsök april 2008 .....	11
2.4 Upplägg av mätningarna.....	11
2.5 Beskrivning av mätsträckorna.....	13
2.6 Analys av data .....	15
2.7 Mätningar juni 2008 .....	15
2.8 Mätningar juni 2010 .....	18
3 Beräkning av bränsleförbrukning enligt VETO Bränslemodell .....	21
3.1 Väg E4 vid Uppsala .....	21
4 Bränslemätning med lastbil.....	22
4.1 Bakgrund .....	22
4.2 Metod.....	22
4.3 Lastbilen .....	22
4.4 Upplägg av mätningarna.....	23
4.5 Beskrivning av mätsträckorna.....	24
4.6 Mätningar juli 2009 .....	25
4.7 Mätningar juni 2010 .....	28
5 Diskussion och slutsatser .....	31
Referenser.....	32



## Mätning av bränsleförbrukning på asfalt- och betongbeläggning norr om Uppsala. Mätningar med personbil och lastbil

av Bengt-Åke Hultqvist  
VTI  
581 95 Linköping

### Sammanfattning

För att öka kunskapen om hur olika typer av vägbeläggningar påverkar bränsleförbrukning har VTI fått i uppdrag att undersöka detta längs väg E4 utanför Uppsala. Motorvägen är där belagd med två olika beläggningstyper som slitlager, asfalt och betong. Undersökningen omfattar mätningar med både personbil och tung lastbil. Resultaten av de första personbilmätningarna under juni 2008 visade på en signifikant skillnad mellan bränsleförbrukning på asfalt- respektive betongbeläggning där förbrukningen var 1,1 procent lägre på betongbeläggningen (Jonsson och Hultqvist, 2008).

Föreliggande undersökning syftar till att utröna om skillnaden fortfarande kvarstod i juni 2010 efter ytterligare två års trafik på exakt samma sträckor. Undersökningen har också utökats med bränslemätningar för tung lastbil. Om det finns en mätbar skillnad i bränsleförbrukning mellan de två beläggningstyperna bör detta ingå när man gör kalkyler av olika beläggningars livscykelkostnader, exempelvis vid val av beläggningstyp för olika vägobjekt.

Bränslemätningar på olika asfaltslitlager har utförts av VTI sedan 1970-talet. I en tidigare VTI-studie har det utvecklats en metod för att med precision mäta bränsleförbrukning för personbil (Jonsson, 2007). Metoden som bygger på upprepade mätningar på en kort sträcka (1 km) har visat sig vara tillförlitlig. En liknande metod har använts för att mäta bränsleförbrukningen för tung lastbil. Vid dessa mätningar har mätsträckorna varit längre (4,2 km).

Mätsträckor på asfalt och betong valdes så att linjeföring och backighet skulle vara så lika som möjligt. För att med säkerhet veta orsak till eventuella skillnader mellan asfalt- och betongbeläggningarna undersöktes respektive mätsträckors ytegenskaper. Sträckornas geometri och ytegenskaper dokumenterades med mätbil, *Road Surface Tester* (RST).

RST-mätningen visade att asfaltsträckorna och betongsträckorna hade ungefär samma längdprofil. Jämnheten i längsled var något sämre på betongsträckorna, medan spår-djupet var något större på asfaltsträckorna. En annan skillnad var sträckornas makrotextur som var betydligt grövre på asfaltsträckorna.

Resultaten från personbilmätningarna 2010 visade att bränsleförbrukningen fortfarande var 1,1 procent lägre på betongbeläggningen jämfört med asfaltbeläggningen. Denna skillnad fastställdes vara statistisk signifikant genom analysmetoden T-test. Den lägre bränsleförbrukningen på betongbeläggningen beror i första hand på lägre rullmotstånd jämfört med asfaltbeläggningen vilket i sin tur kan kopplas till uppmätta skillnader i beläggningarnas jämnhet och makrotextur.

Beräkningar med bränslemodellen VETO, som tar hänsyn till beläggningens tillstånd, ger även denna en skillnad i bränsleförbrukning på cirka 1 procent mellan beläggningarna. Detta stämmer bra med utförda bränslemätningar på vägen. Denna

studie bekräftar därmed att VETO modellen kan användas till att ta fram prognoser av bränsleförbrukning för andra sträckor med asfalt- och betongbeläggning där ytegenskaperna är kända.

Resultaten från lastbilmätningarna visade att bränsleförbrukningen en varm sommar-dag var 5-7 procent lägre på betongbeläggnings jämfört med asfaltbeläggnings. Denna skillnad fastställdes vara statistiskt signifikant genom analysmetoden T-test. Den lägre bränsleförbrukningen på betongbeläggnings beror på lägre rullmotstånd jämfört med asfaltbeläggnings vilket kan förklaras med skillnader i beläggnings jämnhet, makrotextur och styvhet.

Undersökningens resultat gäller för asfalt- och betongbeläggningsarna vid Uppsala. För att kunna använda dessa resultat i större sammanhang, exempelvis för att kunna fastställa om betongbeläggnings generellt ger lägre bränsleförbrukning, krävs analys av fler betongbeläggnings. Fortsatta studier bör göras på andra vägavsnitt med betongbeläggnings för att säkerställa resultatens allmängiltighet.



## **Measurement of fuel consumption on asphalt and concrete pavements north of Uppsala. Measurements with light and heavy goods vehicle**

by Bengt-Åke Hultqvist

VTI (Swedish National Road and Transport Research Institute)

SE-581 95 Linköping, Sweden

### **Summary**

In order to increase knowledge of how fuel consumption corresponds to pavement type, the Swedish Road and Transport Research Institute was consulted to investigate the difference between an asphalt and a concrete pavement. Measurements were made north of Uppsala, Sweden, where a highway stretch includes both of the pavements. The study involved both light and heavy goods vehicles. In June 2008, results from a previous study showed a significant fuel consumption difference for light vehicles driven on bituminous and concrete road surfaces. Fuel consumption was 1.1 per cent lower on the concrete surfacing (Jonsson och Hultqvist, 2008).

The aim of the current study was to determine if this difference remained, in June 2010, after two more years of traffic and operation. The investigation was also expanded to determine any effect on heavy goods vehicle fuel consumption. If there is noticeable difference in vehicle fuel consumption on the two pavement types, the difference can be used during life cycle cost calculations and help determine the choice of pavement material.

In a previous study a method was developed to measure fuel consumption of a light vehicle with high precision (Jonsson, 2007). The method is based on repeated measurements over a short distance (1 km) and has been shown to be reliable. A similar method was used to measure fuel consumption of heavy goods vehicles. Measurements were carried out over a longer distance (4.2 km).

The bituminous and concrete surfaced test sections were chosen so that alignment and gradient were as similar as possible. To be able to know with certainty the cause of any difference between the surfaces, the surface properties of each section were investigated. The sections geometry and surface characteristics were surveyed using a Road Surface Tester vehicle (RST).

The RST surveys showed that the bituminous and concrete sections had similar long section profiles. Surface evenness was slightly worse on the concrete sections while rutting was more apparent on the bituminous sections. Another difference was with macro texture which was considerably rougher on the bituminous sections.

The light vehicle measurements in June 2010 still showed 1.1 per cent less fuel consumption on the concrete pavement compared to the asphalt pavement. These results were statistically significant according to a T-test. The difference is mainly attributed to less rolling resistance which corresponds to macro texture differences.

A theoretical model (VETO) developed at the Swedish Road and Transport Research Institute was used in order to calculate fuel consumption. VETO includes surface characteristics as input, and the calculated difference between the pavements were strikingly similar as the observed (1%). VETO can therefore be used to estimate fuel

consumption on other asphalt- and concrete pavements where the surface characteristics are known.

The heavy goods vehicle results showed that, on a warm summer day, fuel consumption on the concrete sections was 5-7 per cent lower than consumption on the bituminous sections. This difference was determined to be statistically significant by T-test analysis. The reason for the lower fuel consumption is due to the concrete surfacing's lower rolling resistance value. This can be attributed to differences associated with macro texture and pavement stiffness.

## 1 Bakgrund och syfte

Det finns ett allmänt intresse i samhället att minska vägtrafikens bränsleförbrukning med syftet att minska emissioner av CO<sub>2</sub> och andra växthusgaser inom transportsektorn. För att öka kunskapen om hur olika typer av vägbeläggningar påverkar bränsleförbrukning har VTI fått i uppdrag att undersöka denna frågeställning längs väg E4 utanför Uppsala. Motorvägen är där belagd med två olika beläggningstyper som slitlager, asfalt och betong. Undersökningen omfattar mätningar med både personbil och tung lastbil. Resultaten av de första personbilmätningarna under juni 2008 visade på en signifikant skillnad mellan bränsleförbrukning på asfalt- respektive betongbeläggning där förbrukningen var 1,1 % lägre på betongbeläggningen (Jonsson och Hultqvist, 2008).

Föreliggande undersökning syftar till att utröna om skillnaden fortfarande kvarstod i juni 2010 efter ytterligare två års trafik på exakt samma sträckor. Undersökningen har också utökats med bränslemätningar för tung lastbil. Resultatet av undersökningen gäller för asfalt- och betongbeläggningarna vid Uppsala. För att kunna fastställa om betongbeläggningar generellt ger lägre bränsleförbrukning krävs analys av fler betongbeläggningar. Om det finns en mätbar skillnad i bränsleförbrukning mellan de två beläggningstyperna bör detta ingå när man gör kalkyler av olika beläggningars livscykelkostnader, exempelvis vid val av beläggningstyp för olika vägobjekt.

Bränslemätningar på olika asfaltslitlager har utförts av VTI sedan 1970-talet. I en tidigare VTI-studie har det utvecklats en metod för att med precision mäta bränsleförbrukning för personbil (Jonsson, 2007). Metoden som bygger på upprepade mätningar på en kort sträcka (1 km) har visat sig vara tillförlitlig. Från början var syftet att utröna bränslebrukning vid olika ringtryck. Andra användningsområden är också av intresse, exempelvis att undersöka skillnad i bränsleförbrukning mellan dubb- respektive friktionsdäck, eller mellan beläggningar med olika egenskaper. Det senare är vad som behandlas i föreliggande rapport.

En liknande metod har använts för att mäta bränsleförbrukningen för tung lastbil. Upprepade mätningar har gjorts med en tung lastbil (60 ton) på asfalt- respektive betongbeläggning. Vid dessa mätningar har mätsträckorna varit längre (4,2 km).

## 2 Bränslemätning med personbil

### 2.1 Metod

I en tidigare VTI-studie har det utvecklats en metod för att med precision mäta bränsleförbrukning för personbil (Jonsson, 2007). Metoden bygger på upprepade mätningar med en personbil längs en känd inmätt vägsträcka då tid, hastighet och bränsleförbrukning registreras. I ett inledningsskede gjordes pilotförsök för att utarbeta mätrutin och för att undersöka om det var möjligt att uppmäta någon skillnad mellan betong- och asfaltbeläggning. Detta följdes av utökade mätningar under mer kontrollerade förhållanden. Resultat från dessa mätningar som utfördes i början av juni 2008 och 2010 redovisas i föreliggande rapport.

### 2.2 Mätbilen

Mätningarna utfördes med en Volvo 940 av 1992 års modell (Figur 1). Mätutrustningen i mätbilen registrerade tid, vägsträcka, hastighet, bränsleförbrukning och bensintemperatur med frekvens 5 Hz. Hur mätbilen är konfigurerad under mätningarna är av största vikt för att jämföra bränsleförbrukning på olika beläggningar. Alla parametrar som påverkar bränsleförbrukning hölls i största möjliga mån konstanta mellan mätningarna 2008 och 2010. Nedan följer en genomgång av de rutiner som genomfördes inför mätningarna.

Vilken elektrisk apparatur som används under mätningar är ett exempel och bilens vikt ett annat. När det gäller den elektriska apparaturen beslöts att effektuttaget från generator skulle hållas så konstant som möjligt. Detta gäller apparatur som manövreras från kupén (kupéfläkt, inre och yttre belysning, radio etc.) och även automatisk extern utrustning. Här avses kylarfläkten som låstes fast för att alltid vara påslagen. Samtliga fönster var stängda under mätningarna.

Bilens vikt bör också hållas konstant för att möjliggöra jämförelse mellan olika försök. Eftersom mätbilen har extra mätutrustning är dess vikt högre än en motsvarande bil i originalskick. Normalt är tjänstevikten 1430 kg (körklar bil plus förare). Mätbilens verkliga vikt med förare, full tank och utrustning (dator, mätutrustning) uppgick till 1640 kg.



*Figur 1. Mätbilen, en Volvo 940 av årsmodell 1992. Ombord finns utrustning för mätning av bl.a. bränsleförbrukning och avgasemission.*

Det bestämdes att bränsleförbrukningsmätningarna skulle utföras i landsväghastighet (90 km/h). Grunden för detta är att 65 % av allt trafikarbete i Sverige utförs i 90 km/h eller högre hastighet samt att tidigare mätningar (Jonsson, 2007) utförts i denna hastighet.

Mätutrustningen i mätbilen registrerade tid, vägsträcka, hastighet, bränsleförbrukning (ml sedan mätningens start) och bensintemperatur med frekvensen 5 Hz. Infart och utfart på respektive mätsträcka markerades i dataserien genom manuell knapptryckning.

### 2.3 Pilotförsök april 2008

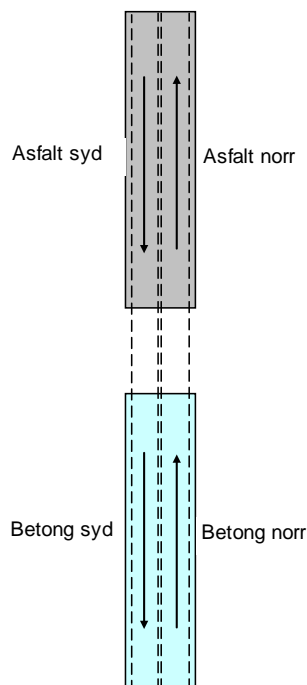
Pilotförsök utfördes dels för att få en första uppfattning om storleken av eventuella skillnader mellan beläggningarna, dels för att inarbeta en mätrutin. Mätningarna gjordes både över längre sträckor (ca 20 km) och kortare sträckor (ca 1 km). Det konstaterades att mätningar över långa sträckor påverkades för mycket av övrig trafik. På korta sträckor kunde påverkan av trafik helt undvikas. Det bestämdes därför att de fortsatta mätningarna endast skulle göras på korta sträckor om 1 km och nattetid då både vind och trafikintensitet var som lägst. Resultaten av pilotförsöken gav indikation på att det fanns skillnad i bränsleförbrukning mellan de båda beläggningarna.

### 2.4 Upplägg av mätningarna

Betongsträckorna och asfaltsträckorna ligger på väg E4 vid Björklinge norr om Uppsala. Varje sträcka är 1 km lång och avståndet mellan sträckorna är ca 4 km. De norr- och södergående sträckorna ligger mitt emot varandra.

Pilotförsöket från 2008 gav indikation på skillnad i bränsleförbrukning mellan de två beläggningarna, och att 50 mätningar på respektive beläggning skulle vara tillräckligt för att avgöra om uppmätta skillnader var statistiskt signifikanta. De utökade mätning-

arna under 2008 och 2010 gjordes på följande sätt. Vid färd norrut passerades både betong och asfalt på förutbestämda avsnitt. På tillbakavägen passerades sträckorna i omvänd ordning och lutningsgradienterna antas på så sätt ta ut varandra på respektive beläggningstyp (se Figur 2).



Figur 2. Mätupplägget där sträckorna med betong- och asfaltbeläggningarna är markerade. Respektive mätomgång gjordes först på betong norr, fortsatte sedan på asfalt norr och efter vändning vid trafikplats asfalt syd och betong syd.

Mätmetodiken var identisk för mätningarna 2008 och 2010:

- För det första lades vikt vid att samma bränsle inköpt vid samma tillfälle användes vid alla mätningar under samma år, detta beroende på att bränslekvalitet (t.ex. etanolhalt och därmed energiinnehåll) kan variera mellan olika leveranser (en leverans för 2008 och en leverans för 2010).
- För att ytterligare undkomma effekter av vind och trafik gjordes mätningarna senare under natten (ca 22:30-02:30).
- Samma däck användes för samtliga mätningar. Ringtrycket justerades till 0,25 MPa för kalla däck.
- Mätningarna skulle utföras på 1 km långa mätsträckor på betong- respektive asfaltbeläggningen i en hastighet av 90 km/h.
- Sträckornas läge valdes så att vägens profillutning i både längsled och tvärled skulle vara så lika som möjligt för mätsträckorna.
- För att öka dataunderlaget beslöts att så många mätningar som möjligt skulle göras under två nätter.

Med dessa förutsättningar gjordes mätningar under två nätter 2008 och två nätter 2010 då väderförhållandena var gynnsamma. Ett högtryck var placerat över större delen av södra Sverige vilket gav lugnt och klart väder.

## 2.5 Beskrivning av mätsträckorna

Beläggningarna och mätsträckorna är desamma som tidigare. Både asfalt- och betongbeläggningen är utförda under sommaren 2006 men betongbeläggningen har trafikerats ett år längre. Betongbeläggningen har trafikerats sedan hösten 2006 medan trafiken på asfaltbeläggningen släpptes på hösten 2007.

Betydligt fler fordon trafikerar betongbeläggningen jämfört med asfaltbeläggningen (Tabell 1). Totalt sett har alltså betydligt fler fordon trafikerat betongbeläggningen. Den skyltade hastigheten på sträckan Uppsala-Fullerö är 110 km/h och därefter 120 km/h. På asfaltbeläggningen är hastigheten 120 km/h.

Asfaltbeläggningen är av typen ABS medan betongbeläggningen har frilagd yta vilket innebär att det grova stenmaterialet har tvättats fram i ytan.

Tabell 1. Beskrivning av beläggningarna och trafikmängd på mätsträckorna

Parameter	Betongbeläggning	Asfaltbeläggning
Maximal stenstorlek	16 mm	16 mm
Kulkvarnsvärde	8,2	5,8
Trafikpåsläpp (År)	2006	2007
Trafikmängd (ÅDT)	Uppsala-Fullerö: 23 000 Fullerö-Björklinge: 16 000	Björklinge- Månkarbo: 12 000

Läget för betong- och asfaltsträckorna valdes så att linjeföring och backighet skulle vara så lika som möjligt. Båda sträckorna ligger i svag kurva med svag uppförslutning mot söder. För att med säkerhet veta orsak till eventuella skillnader mellan asfalt- och betongbeläggningarna undersöktes respektive beläggnings ytegenskaper. Sträckornas geometri och ytegenskaper mättes med RST-bil i Vägverkets regi.

Betongsträckorna ligger på delen Fullerö-Björklinge norr om rastplatsen *Tre Ängar* mellan längdsektion 4/800 – 5/800. Asfaltsträckorna ligger norr om Björklinge trafikplats mellan längdsektion 10/460 – 11/460. De norrgående och södergående sträckorna ligger mitt emot varandra.

Figur 3 och 4 visar sträckorna på betong- respektive asfaltbeläggning där mätningarna gjordes.



*Figur 3. Platsen för mätsträckorna på betongbeläggnigen.*



*Figur 4. Platsen för mätsträckorna på asfaltbeläggnigen.*

Uppmätt bränsleförbrukning på respektive beläggning antogs vara relaterad till sträckornas geometri och ytegenskaper. För att beskriva sträckorna användes fyra mått från vägverkets RST-mätningar: *International Roughness Index (IRI)*, *Mean Profile Depth (MPD)*, spårighet och backighet. IRI beskriver vägens jämnhet längs dess sträckning (mm ojämnheter per längdmeter väg) och MPD dess genomsnittliga råhet (makrotextur i mm). Spårighet beskriver spår djup i vägbanan (mm) och backighet vägytans lutning i längsled (%).



## 2.6 Analys av data

Då bränslets volym är temperaturberoende beräknades istället förbrukad mängd bensin om till massa (g) vid en fixtemperatur (15 °C). För varje mätning dividerades denna mängd bränsle med körd sträcka vilket ger ett mått på bränsleförbrukningen i enheten g/m. Hastigheten bestämdes till 90 km/h för att representera landsvägskörning. Eftersom inte farthållare användes (beroende på osäkerhet om hur sådan utrustning påverkar bränsleförbrukning) fanns en viss variation i uppmätt hastighet. Bränsleförbrukningen korrigerades därför till att motsvara exakt 90 km/h enligt ekvationer som togs fram med regressionsanalys från alla de mätningar som gjordes i samma riktning på vardera beläggning.

För varje beläggningstyp erhöles 24 värden i vardera körriktningen för de utökade mätningarna. Statistisk analys gjordes av datamängden som korrigerats till rätt bränsletemperatur och hastighet. T-test användes för att påvisa eventuella skillnader mellan bränsleförbrukning på asfalt respektive betong.

Varje mätrunda bildade två par. Bränsleförbrukningsmätningar i norrgående riktning, först på betong och sedan på asfalt, utgör en av rundans par och mätningar i södergående riktning, först på asfalt och sedan på betong, det andra. Eftersom totalt 24 rundor genomfördes under de två nätterna ingår 48 par i analysen. För varje par beräknas logaritmen för bränsleförbrukning på betong respektive asfalt och sedan beräknas skillnaden mellan dessa, vilket innebär att den beräknade skillnaden är logaritmen för kvoten av bränsleförbrukning. Dessa skillnader antas tillhöra en normalfördelad population. Om denna populations medelvärde är noll svarar det mot samma bränsleförbrukning på betong- och asfaltbeläggningen och om det är skiljt från noll mot att bränsleförbrukningen på betong- och asfaltbeläggningen är olika.

Vid VTI har det utvecklats en bränsleberäkningsmodell, VETO, som tar hänsyn till beläggningens geometri och ytegenskaper. Med VETO-modellen går det således att beräkna bränsleförbrukningen för betong- och asfaltbeläggningarna norr om Uppsala och jämföra med uppmätta värden. På så sätt kan också data om andra beläggningars ytegenskaper användas för att prognostisera vad bränsleförbrukningsmätningar kan tänkas resultera i.

## 2.7 Mätningar juni 2008

Mätningarna 2008 gjordes under natten 3/6–4/6 och natten 4/6–5/6 då ett stabilt högtryck var placerat över större delen av södra Sverige. Totalt gjordes 24 mätrundor, dvs. 24 mätningar i vardera riktning. Hälften av dessa utfördes första natten och andra hälften under den andra natten.

### 2.7.1 Mätsträckornas ytegenskaper och väder under mätdagarna

I Tabell 2 visas resultat från RST-mätningar som gjordes 2008-06-14 efter trafik 2 år på betongen och 1 år på asfalten och avser mätsträckornas spårighet, backighet, jämnhet (IRI) och makrotextur (MPD).

Tabell 2. Resultat av RST-mätningar som gjordes på aktuella beläggningar och sträckor 2008-06-14.

<b>Parameter</b>	<b>Betong Norr</b>	<b>Betong Söder</b>	<b>Asfalt Norr</b>	<b>Asfalt Söder</b>
Spår (mm)	2,4	2,6	3,2	3,1
IRI (mm/m)	1,22	1,17	0,79	0,67
MPD (mm)	0,48	0,51	0,99	0,86
Backighet (%)	-0,27	+ 0,43	- 0,28	+ 0,44

Resultaten visar att asfaltsträckorna och betongsträckorna har ungefär samma lutning i längdled. Jämnheten i längdled är sämre på betongsträckorna medan spårdjupet är något större på asfaltsträckorna. En annan skillnad är sträckornas yttextur som är betydligt grövre på asfaltsträckorna. På betongsträckorna uppmättes ett genomsnittligt MPD på 0,50 mm medan asfaltsträckorna hade ett genomsnittligt MPD på 0,92 mm.

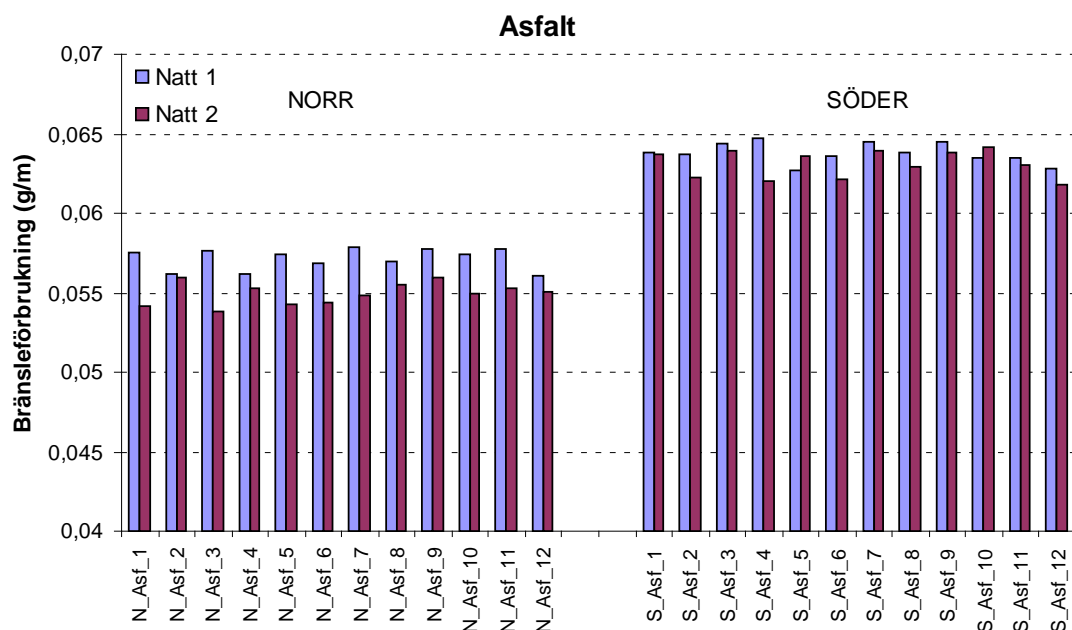
I Tabell 3 visas väderdata för tiden när mätningarna utfördes. Vid mätningarna var vindhastigheten mycket låg vilket gör att vindriktning i princip är ovidkommande i dessa låga vindhastigheter. Under den senare av de två nätterna (4/6–5/6) var både luft- och ytemperatur något högre än under den första natten.

Tabell 3. Väderdata för de båda nätterna då mätningarna på de korta sträckorna utfördes (medelvärden för perioden 00:00–04:30 för respektive dygn). Data avser VViS-station 327 som är belägen vid Björklinge mellan betongsträckan och asfaltsträckan.

<b>Tidpunkt</b>	<b>3/6–4/6</b>	<b>4/6–5/6</b>
Lufttemperatur (°C)	4,6	9,0
Beläggningstemperatur (°C)	13,0	16,0
Vindriktning	N-V-S	NV-NO-SO
Vindhastighet (m/s)	0,1	0,4

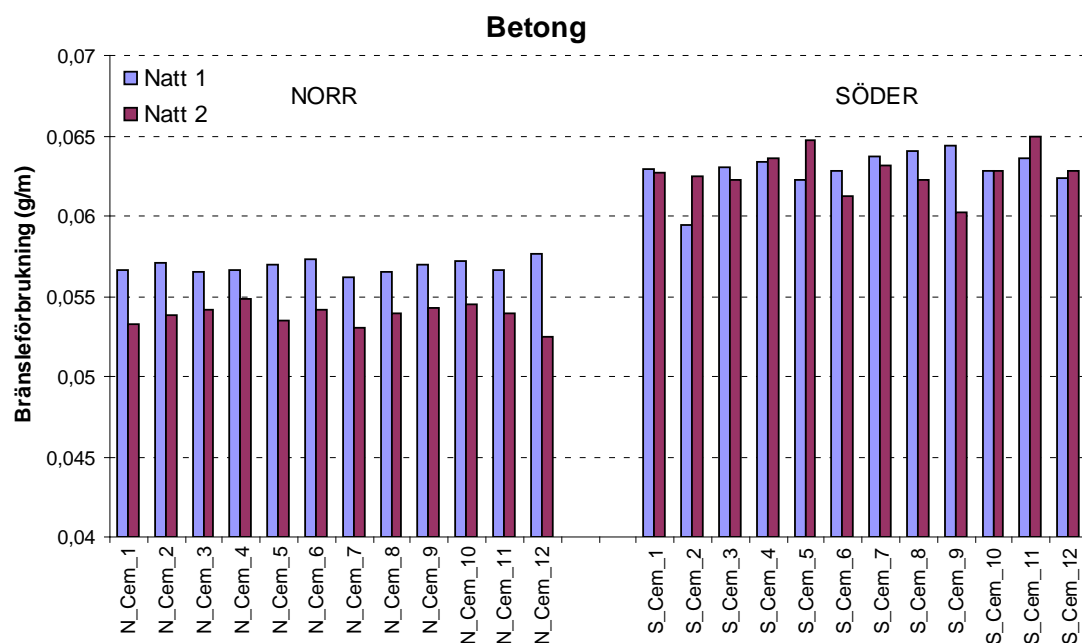
### 2.7.2 Bränsleförbrukning asfalt kontra betong

Figur 5 visar resultatet av bränsleförbrukningsmätningarna på asfaltbeläggningen i norr- respektive södergående riktning för de två nätterna. Under den andra natten var förbrukningen generellt lägre vilket sannolikt kan tillskrivas högre temperaturer i jämförelse med första natten. Högre temperatur innebär i teorin att ringtrycket blir högre vilket minskar rullmotståndet och bränsleförbrukningen.



Figur 5. Bränsleförbrukning på asfaltbeläggningen i norr- och södergående riktning under de utökade mätningarna.

Förbrukningen är dessutom högre i södergående riktning vilket kan tillskrivas uppförslut i den riktningen i jämförelse med norrgående riktning. Samma mönster går igenom i redovisningen av betongbeläggningen (Figur 6).



Figur 6. Bränsleförbrukning på betongbeläggningen i norr- och södergående riktning under de utökade mätningarna.

Ett s.k. parat t-test mellan bränsleförbrukning på betong- respektive asfaltbeläggning utfördes och visade på en statistisk signifikant skillnad mellan beläggningarna ( $p < 0,001$ ; se avsnitt 2.6 för vidare metodbeskrivning).

Den skattade relativa skillnaden var -1,1 %, dvs. lägre bränsleförbrukning på betongbeläggningen än på asfaltbeläggningen (Tabell 4). Osäkerhetsintervallet för den relativa skillnaden beräknades till -1,7 % – -0,5 % (risknivå 95 %), dvs. den verkliga skillnaden i bränsleförbrukning ligger inom detta intervall med 95 % sannolikhet.

*Tabell 4. Medeltal och standardavvikelse av mätningarna på betong- respektive asfaltbeläggningarna för de utökade mätningarna.*

	<b>Asfalt</b>	<b>Betong</b>
Medel (g/m)	0,0597	0,0591
Standardavvikelse (g/m)	0,0039	0,0041
Medel (l/mil)	0,807	0,798
<b>Skillnad i förbrukning:</b>	<b>1,1 % lägre bränsleförbrukning på betongbeläggningen</b>	

## 2.8 Mätningar juni 2010

Mätningarna 2010 gjordes under natten 31/5-1/6 och natten 1/6-2/6 då ett stabilt högttryck var placerat över södra delen av Sverige vilket gav lugnt och klart väder. Totalt gjordes 24 mätrundor, dvs 24 mätningar i vardera körriktningen. Hälften av dessa utfördes första natten och andra hälften under andra natten.

### 2.8.1 Mätsträckornas ytegenskaper och väder under mätningarna

För att med säkerhet veta orsak till eventuella skillnader mellan asfalt- och betongbeläggningarna undersöktes respektive beläggnings ytegenskaper.

Sträckornas geometri och ytegenskaper har mätts med RST-bil. I Tabell 5 visas resultat från RST-mätningar som gjordes 2010-09-27 efter trafik 4 år på betongen och 3 år på asfalten.

*Tabell 5. Resultat av RST-mätningar som gjordes på aktuella beläggningar och sträckor 2010-09-27.*

<i>Parameter</i>	<i>Betong Norr</i>	<i>Betong Söder</i>	<i>Asfalt Norr</i>	<i>Asfalt Söder</i>
Spår (mm)	3,8	4,0	4,4	6,2
IRI (mm/m)	1,20	1,20	0,76	0,66
MPD (mm)	0,54	0,57	0,80	0,77
Backighet (%)	- 0,27	+ 0,43	- 0,28	+ 0,44

Resultaten visar att asfaltsträckorna och betongsträckorna har ungefär samma lutning i längdled. Jämnheten i längdled är sämre på betongsträckorna medan spårdjupet ökar fortare på asfaltsträckorna. En annan skillnad är sträckornas yttextur som är betydligt grövre på asfaltsträckorna. På betongsträckorna uppmättes MPD på ungefär 0,55 mm medan asfaltsträckorna hade MPD omkring 0,79 mm. Jämförelse med 2008 års mätningar visar att spårdjupet har ökat på båda beläggningarna men i snabbare takt på asfalten. Jämnheten i längdled har ej förändrats utan är fortfarande bättre på

asfaltbeläggningen. Yttexturen har blivit något grövre på betongbeläggningen och något slätare på asfaltbeläggningen men fortfarande finns en klar skillnad i yttextur mellan de båda beläggningarna.

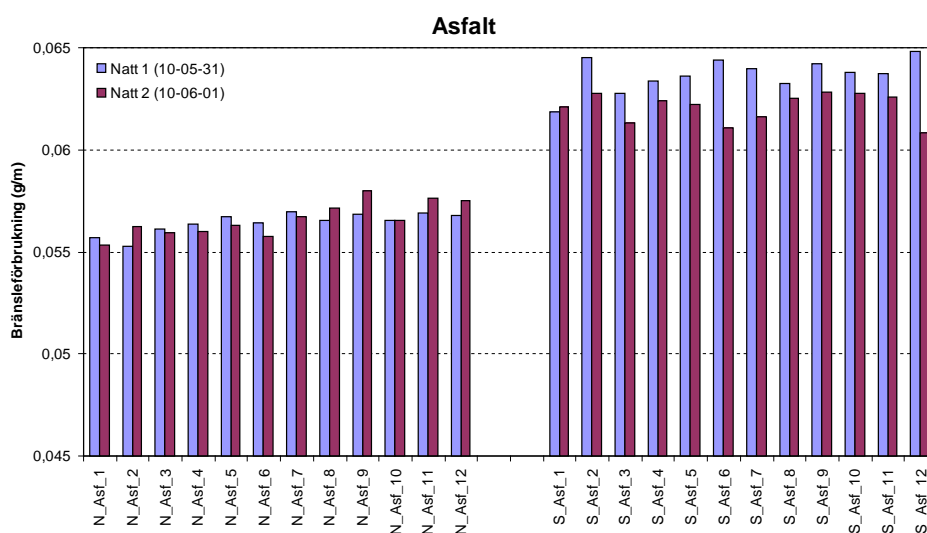
I Tabell 6 visas väderdata för de tidsperioder som mätningar gjordes i början av juni 2010. Vindhastigheten var mycket låg under den första av de två nätterna vilket gör att vindriktning i princip är ovidkommande i dess låga vindhastigheter, men kan även anses vara låg under andra natten. Temperaturförhållandena var dock likartade under de två nätterna.

Tabell 6. Väderdata för perioden då mätningarna på de korta sträckorna utfördes (medelvärden för perioden 00:00–04:30 för respektive dygn). Data avser VViS-station 327 som är belägen vid Björklinge mellan betongsträckan och asfaltsträckan.

Tidpunkt	31/5–1/6	1/6–2/6
Lufttemperatur (°C)	6,8	6,8
Beläggningstemperatur (°C)	13,7	13,2
Vindriktning	-	N
Vindhastighet (m/s)	0,3	1,4

## 2.8.2 Bränsleförbrukning asfalt kontra betong

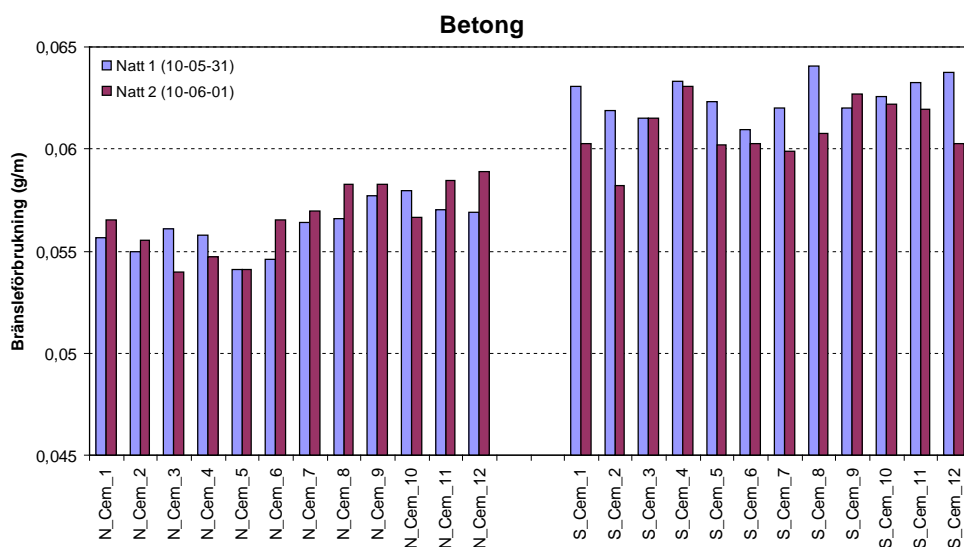
Figur 7 visar resultatet av bränsleförbrukningsmätningarna på asfaltbeläggningen i norr- respektive södergående riktning för de två nätterna 2010. Under den andra natten var förbrukningen generellt lägre i södergående riktning vilket sannolikt kan tillskrivas den högre nordliga vinden i jämförelse med första natten, dvs. medvind.



Figur 7. Bränsleförbrukning på asfaltbeläggningen i norr- och södergående riktning under de utökade mätningarna.

Förbrukningen är dessutom högre i södergående riktning vilket kan tillskrivas uppförslut i den riktningen i jämförelse med nerförslut i norrgående riktning.

Samma mönster går igenom i redovisningen av betongbeläggningen (Figur 8). Det är dock svårt att visuellt avgöra på vilken beläggning som lägst förbrukning uppmättes.



Figur 8. Bränsleförbrukning på betongbeläggningen i norr- och södergående riktning under de utökade mätningarna.

Därför gjordes ett s.k. parat t-test mellan bränsleförbrukning på betong- respektive asfaltbeläggning. Det visade på en statistisk signifikant skillnad ( $p < 0,002$ ).

Den skattade relativa skillnaden var -1,1 %, dvs. lägre bränsleförbrukning på betongbeläggning än på asfaltbeläggning (Tabell 7). Osäkerhetsintervallet för den relativa skillnaden beräknades till -1,7 % – -0,4 % (risknivå 95 %), dvs. den verkliga skillnaden i bränsleförbrukning ligger inom detta intervall med 95 % säkerhet.

Tabell 7. Medeltal och standardavvikelse av mätningarna på betong- respektive asfaltbeläggningen för de utökade mätningarna.

	Asfalt	Betong
Medel (g/m)	0,0597	0,0591
Standardavvikelse (g/m)	0,0033	0,0031
Medel (l/mil)	0,807	0,798
<b>Skillnad i förbrukning</b>	<b>1,1 % lägre förbrukning på betongbeläggning</b>	

### 3 Beräkning av bränsleförbrukning enligt VETO Bränslemodell

#### 3.1 Väg E4 vid Uppsala

Ett försök har gjorts att beräkna bränsleförbrukningen med hjälp av VETO Bränslemodell som har tagits fram av VTI i ett nordiskt samarbete. I modellen ingår data för mätfordonet samt parametrar för bl.a. vägytans egenskaper och geometri.

I Tabell 8 visas resultat från uppmätt bränsleförbrukning med VTIs mätbil och beräknad bränsleförbrukning enligt VETO-modellen (liter/10 km).

*Tabell 8. Uppmätt respektive beräknad bränsleförbrukning (VETO) vid betong- och asfaltbeläggning i vardera riktning.*

	<i>Betong Norr</i>	<i>Betong Söder</i>	<i>Asfalt Norr</i>	<i>Asfalt Söder</i>
Bränsleförbrukning uppmätt (l/mil)	0,747	0,849	0,757	0,857
Bränsleförbrukning beräknad VETO (l/mil)	0,758	0,852	0,772	0,862

Tabellen visar att den beräknade bränsleförbrukningen enligt modellen genomgående är något högre än den uppmätta bränsleförbrukningen. Den relativa skillnaden mellan sträckorna är dock ungefär lika för uppmätt och beräknad bränsleförbrukning. *Enligt modellen är bränsleförbrukningen ca 1 % lägre på betongsträckorna än på asfaltsträckorna.*

Detta är samma resultat som erhöles vid de verkliga mätningarna med personbil. Enligt beräkningsmodellen kan skillnaden till största delen förklaras med skillnader mellan ytornas yttextur.

## 4 Bränslemätning med lastbil

### 4.1 Bakgrund

Utländska undersökningar visar att bränsleförbrukningen hos tunga fordon påverkas av beläggningens styvhet. En mjukare beläggning ökar fordonets rullmotstånd och därmed också bränsleförbrukningen. Betongbeläggningen är styv och har en hög E-modul (ca 30 000 MPa) medan asfaltbeläggningens styvhet är lägre och temperaturberoende (ca 3 000 MPa vid + 30 C och ca 10 000 MPa vid + 5 C). Rullmotståndet på en asfaltbeläggning ökar således vid hög temperatur. För att undersöka denna effekt har mätningar utförts med tung lastbil på asfalt- och betongbeläggningarna vid Uppsala. Mätningarna gjordes med tung lastbil (60 ton) under en varm sommardag 2009 och en varm sommardag 2010 då asfaltbeläggningen hade en låg E-modul.

### 4.2 Metod

En lastbil har körts upprepade gånger i norr- och södergående körriktning på väg E4 norr om Uppsala. På vägsträckan finns avsnitt med både betong- och asfaltbeläggning. Lastbilens bränsleförbrukning (l/mil) har registrerats liksom vind, lufttemperatur och asfaltbeläggningens temperatur. Vind och temperatur har lästs av från en av Vägverkets väderstationer som ligger vid vägsträckan. Vid varje körning har man kört på båda beläggningstyperna. Detta har i varje körriktning gett ett värde för bränsleförbrukningen på betongbeläggningen och ett värde på asfaltbeläggningen. Dessa båda mätvärden betraktas som ett sammanhängande par. Vindförhållandena har antagits vara konstanta under varje enskild körning.



*Figur 9. Bränslemätning med lastbil på väg E4 vid Uppsala*

### 4.3 Lastbilen

Vid mätningarna användes en 4-axlad lastbil av typ Scania R500 årsmodell 2008 som hade gått 12 200 mil. Till lastbilen var kopplat ett 3-axlat släp (se figur 9). Fordonet var



lastat med grus så att totalvikten blev ca 60 ton. Lastbilen hade en V8 motor på 500 hk. Växellådan var manuell med 3 växlar. Varje växel hade hög och låg utväxling som också kunde klyvas (12 växlar)

Mätningarna gjordes med farthållare vid en hastighet av 80 km/tim. Varvtalet var 1400 v/min på högsta växeln, 12:e växeln. Lastbilen var utrustad med ett datasystem som kunde samla in ett antal olika parametrar såsom hastighet, väglängd, varvtal, bränsleförbrukning mm.

Fordonet hade en totalvikt av 60 590 kg som fördelades på 7 axlar enligt nedan.

Lufttrycket i bilens däck var 0,7 MPa och i släpets däck 0,9 MPa.

*Tabell 9. Axellastfördelning för lastbil och släp*

<b>Lastbil</b>		<b>Släp</b>	
Axel 1	6 780 kg	Axel 5	10 060 kg
Axel 2	6 330 kg	Axel 6	8 740 kg
Axel 3	8 820 kg	Axel 7	10 500 kg
Axel 4	9 360 kg		
Boggi (Axel 3+4)	18 180 kg	Boggi (Axel 6+7)	19 240 kg
	31 290 kg		29 300 kg

#### 4.4 Upplägg av mätningarna

Betongsträckorna och asfaltsträckorna ligger på väg E4 vid Björklinge norr om Uppsala. Sträckorna som är ca 4,2 km långa ligger i närheten av de kortare sträckor som användes vid personbilmätningarna. Eftersom lastbilens mätsystem inte var lika stabilt som personbilens måste mätsträckorna vara längre. De norr- och södergående sträckorna ligger mitt emot varandra.

Lastbilmätningarna gjordes på liknande sätt som vid personbilmätningarna. Vid färd norrut passerades både betong och asfalt på förutbestämda avsnitt. På tillbakavägen söderut passerades sträckorna i omvänd ordning och lutningsgradienterna antas på så sätt ta ut varandra på respektive beläggningstyp.

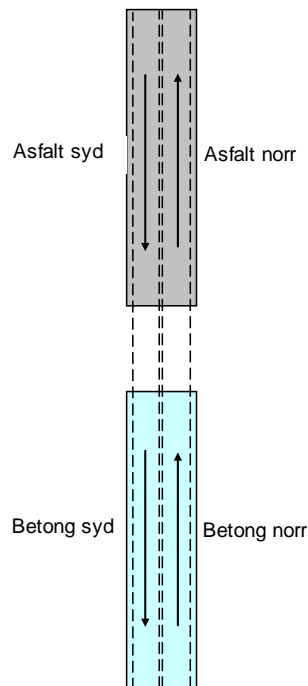


Fig 10. Mätupplägget där sträckorna med betong- och asfaltbeläggningarna är markerade. Respektive mätomgång gjordes först på betong norr, fortsatte sedan på asfalt norr och efter vändning vid trafikplats asfalt syd och betong syd.

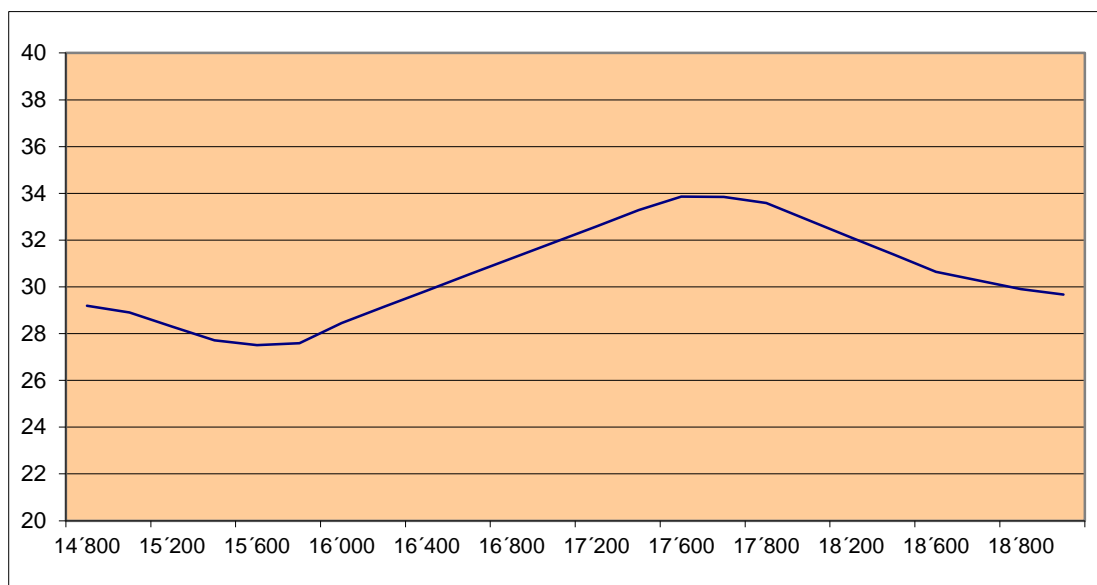
Mätmetodikerna för lastbilmätningarna liknade den som användes för personbilmätningarna:

- mätningarna skulle utföras på 4,2 km långa mätsträckor på betong- respektive asfaltbeläggning i en hastighet av 80 km/h,
- sträckornas läge valdes så att vägens profillutning i både längsled och tvärlängd skulle vara så lika som möjligt för mätsträckorna,
- mätningarna gjordes sommartid under dagtid (kl 09-15) då solinstrålningen var hög vilket medförde en hög beläggningstemperatur,
- målet var att 6 mättrönder skulle hinnas med under mättdagen, dvs. 6 mätningar i vardera köriktningen.

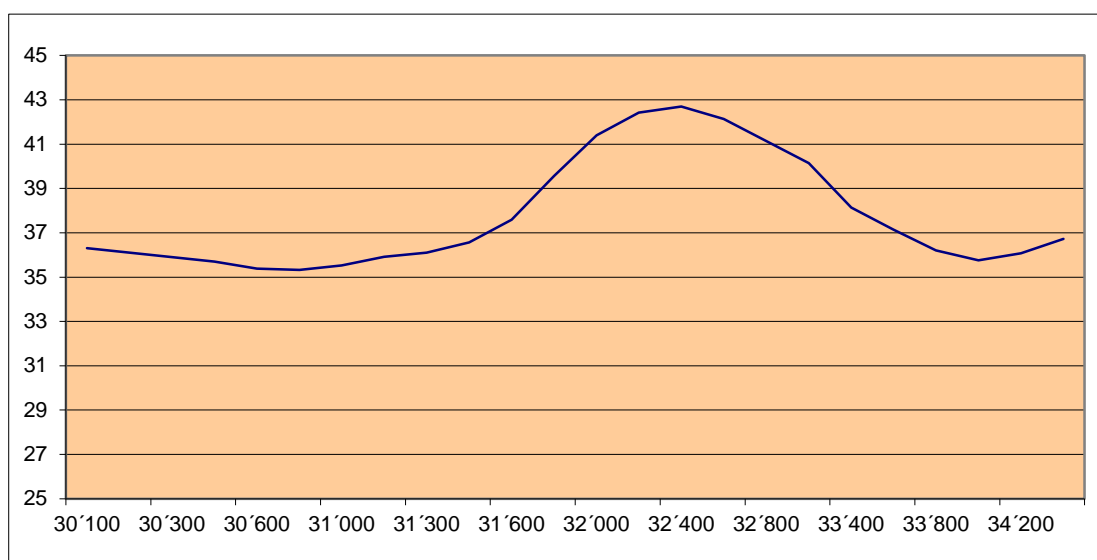
Med dessa förutsättningar gjordes mätningar under en varm sommardag 2009 och en varm sommardag 2010 då väderförhållandena var gynnsamma. Ett högt tryck var placerat över större delen av södra Sverige vilket gav lugnt och klart väder.

#### 4.5 Beskrivning av mätsträckorna

Två mätsträckor valdes ut på motorvägen E4 norr om Uppsala, den ena på betongbeläggning och den andra på asfaltbeläggning. Båda sträckorna var 4,2 km långa och avståndet mellan sträckorna var ca 11 km. Sträckorna lades i närheten av de kortare sträckorna som tidigare hade använts vid bränslemätningarna med personbil. Sträckorna valdes så att den vertikala längdprofilen blev så lika som möjligt för de båda sträckorna. Betongsträckan hade en största höjdskillnad på 6,5 m och asfaltsträckan 7,5 m. Sträckornas start- och slutpunkter låg ungefär på samma nivå. Betongsträckan hade en största lutning på 0,4 % och asfaltsträckan 0,8 %.



Figur 11. Betongsträckans längdprofil (längdmätning från Kumla trafikplats vid Uppsala 14/800-19/000)



Figur 12. Asfaltsträckans längdprofil (längdmätning från Kumla trafikplats vid Uppsala 30/100-34/300)

## 4.6 Mätningar juli 2009

Lastbilmätningarna 2009 gjordes under dagtid den 2 juli då ett stabilt högtryck var placerat över större delen av södra Sverige. Totalt gjordes 6 mättrundor dvs. 6 mätningar i vardera körriktningen.

### 4.6.1 Beläggningarnas ytegenskaper och väder under mätdagen

I tabell 10 visas resultat från RST-mätningar som gjordes 2009-08-01 och avser beläggningarnas spårighet, jämnhet i längdled (IRI) och makrotextur (MPD). Redovisade värden är medelvärden i hjulspår i högra körfältet.

Tabell 10. Resultat av RST-mätningar som gjordes på belägningarna 2009-08-01

Parameter	Betong norr	Betong söder	Asfalt norr	Asfalt söder
Spår (mm)	3,4	3,2	5,2	4,6
IRI (mm/m)	1,23	1,30	0,74	0,75
MPD (mm)	0,56	0,57	0,84	0,82

Mätningarna visar att spårdjupet är mindre på betongbelägningen än på asfaltbelägningen medan jämnheten i längdled är sämre på betongbelägningen. En annan skillnad är belägningarnas yttextur som är grövre på asfaltbelägningen. På asfaltbelägningen uppmättes ett genomsnittligt MPD på 0,83 mm medan betongbelägningen hade ett genomsnittligt MPD på 0,56 mm.

Tabell 11. Väderdata för Uppsala den 2 juli 2009. Data avser VVis-station 327 som är belägen vid Björklinge mellan betongsträckan och asfaltsträckan.

Tid	Temp bel.yta (C)	Temp luft (C)	Vindriktning	Medelvind (m/s)
09.00	33,3	24,7	SV	1,7
10.00	37,8	25,6	NV	2,2
11.00	40,8	26,7	N	3,0
12.00				
13.00	46,0	28,1	N	3,6
14.00	46,7	28,1	N	3,1
15.00	46,8	28,4	N	3,0

#### 4.6.2 Bränsleförbrukning asfalt kontra betong

Tabell 12 visar resultatet av bränsleförbrukningsmätningarna på asfalt- och betongbelägningarna i norrgående körriktning. Vid mätning i norrgående körriktning rådde motvind.

Tabell 12. Bränsleförbrukning (l/mil) i norrgående körriktning (motvind)

Mätning	Vind (m/s)	Bel. Temp (C)	Asfalt (l/mil)	Betong (l/mil)	Differens (l/mil)	Diff %
1	SV 1,6	33	Störning	3,95	-	-
2	V 1,9	36	4,00	3,91	+0,09	2,3
3	N 2,4	39	4,17	Störning	-	-
4	N 2,9	41	4,15	3,90	+0,25	6,0
5	N 3,5	46	4,38	4,22	+0,16	3,7
6	N 3,3	47	4,23	4,19	+0,04	1,0
<b>Medel</b>			<b>4,19</b>	<b>4,05</b>	<b>+0,14</b>	<b>3,3</b>

Tabell 13 visar resultatet av bränsleförbrukningsmätningarna på asfalt- och betongbeläggningarna i södergående körriktningen. Vid mätning i södergående körriktning rådde medvind.

Tabell 13. Bränsleförbrukning (l/mil) i södergående körriktning (medvind)

Mätning	Vind (m/s)	Bel.temp (C)	Asfalt (l/mil)	Betong (l/mil)	Differens (l/mil)	Diff %
1	SV 1,7	33	3,98	3,76	+0,22	5,5
2	NV 2,1	36	3,96	3,62	+0,34	8,6
3	N 2,6	39	3,93	3,62	+0,31	7,9
4	N 3,1	41	3,91	3,52	+0,39	10,0
5	N 3,5	46	3,99	3,48	+0,51	12,8
6	N 3,1	47	4,05	3,46	+0,59	14,5
<b>Medel</b>			<b>3,97</b>	<b>3,57</b>	<b>+0,40</b>	<b>10,0</b>

Resultatet från bränslemätningarna visar att bränsleförbrukningen var lägre på betongbeläggningen än på asfaltbeläggningen. Detta gäller för båda körriktningarna. Medel skillnaden i bränsleförbrukning mellan asfalt- och betongbeläggning skattades till 0,290 l/mil. Skillnaden var signifikant större än noll med konfidensintervall 0,216 – 0,364 och 95 % säkerhet.

Vid mätningarna rådde i de flesta fall motvind i den norrgående körriktningen och medvind i den södergående körriktningen. Detta kan bland annat förklara att större bränsleförbrukning mäts upp i den norrgående körriktningen. Bränsleförbrukningen verkar som väntat minska när medvinden ökar. Den verkar också minska mer på betongbeläggningen än på asfaltbeläggningen. Däremot så ökar bränsleförbrukningen när motvinden ökar. Som väntat verkar det också som om bränsleförbrukningen på asfaltbeläggningen ökar när beläggningens temperatur ökar.

Tabell 14. Medelvärden av bränsleförbrukningen i norrgående och södergående körriktning

Bränsleförbrukning	Asfalt	Betong	Differens	Differens %
Norr medel (l/mil)	4,19	4,05	+0,14	3,3
Söder medel (l/mil)	3,97	3,57	+0,40	10,0

Skillnad i bränsleförbrukning mellan asfalt- och betongbeläggning:

- 3,3 % lägre bränsleförbrukning på betongbeläggningen i norrgående körriktningen
- 10,0 % lägre bränsleförbrukning på betongbeläggningen i södergående körriktning
- Genomsnittligt värde: 6,7 % lägre bränsleförbrukning på betongbeläggningen

Den större bränsleförbrukningen i norrgående körriktningen kan förklaras av att motvind rådde vid körningarna i norrgående riktningen. Motvinden påverkade luftmotståndet som blev betydligt större i norrgående än i södergående körriktningen. Luftmotståndet har därför en större inverkan på bränsleförbrukningen i norrgående körriktningen än i södergående körriktningen. Å andra sidan får beläggningsens egenskaper en mindre inverkan på bränsleförbrukningen i norrgående körriktningen än i södergående körriktningen. Detta kan vara en förklaring till att skillnaden i bränsleförbrukning är mindre i norrgående än i södergående körriktningen.

## 4.7 Mätningar juni 2010

Lastbilmätningarna 2010 gjordes dagtid den 29 juni då ett stabilt högtryck var placerat över större delen av södra Sverige. Totalt gjordes 6 mätrundor dvs. 6 mätningar i vardera körriktningen.

### 4.7.1 Beläggningsarnas ytegenskaper och väder under mätdagen

I tabell 15 visas resultat från RST-mätningar som gjordes 2010-09-27 och avser beläggningsarnas spårighet, jämnhet i längdled (IRI) och makrotextur (MPD). Redovisade värden är medelvärden i hjulspår i högra körfältet.

Tabell 15. Resultat av RST-mätningar som gjordes på beläggningsarna 2010-09-27

Parameter	Betong norr	Betong söder	Asfalt norr	Asfalt söder
Spår (mm)	4,2	4,1	6,7	6,3
IRI (mm/m)	1,22	1,26	0,76	0,75
MPD (mm)	0,55	0,56	0,86	0,83

Mätningarna visar att spårjupet har ökat på båda beläggningsarna sedan mätningen 2009. Spårjupet har ökat mer på asfaltbeläggningsarna vilket innebär att skillnaden i spårjup har ökat. Beläggningsarnas yttextur och jämnhet i längdled är dock oförändrade sedan mätningarna 2009. Den uppmätta skillnaden mellan beläggningsarnas IRI-värde och MPD-värde kvarstår.

Tabell 16. Väderdata för Uppsala den 29 juni 2010. Data avser VVis-stationen 327 som är belägen vid Björklinge mellan betongsträckan och asfaltsträckan.

Tid	Temp bel.yta (C)	Temp luft (C)	Vindriktning	Medelvind (m/s)
09.00	31	22	S	1,2
10.00	35	23	S	2,0
11.00	39	24	S	2,7
12.00	42	26	S	3,3
13.00	45	26	SV	3,3
14.00	45	26	S	3,2
15.00	46	27	S	3,4

#### 4.7.2 Bränsleförbrukning asfalt kontra betong

Tabell 17 visar resultatet av bränsleförbrukningsmätningarna på asfalt- och betongbeläggningarna i norrgående körriktning. Vid mätningarna i norrgående körriktning rådde medvind.

Tabell 17. *Bränsleförbrukning (l/mil) i norrgående körriktning (medvind)*

Mätning	Vind (m/s)	Bel.temp (C)	Asfalt (l/mil)	Betong (l/mil)	Differens (l/mil)	Diff %
1	S 1,5	28	4,12	4,07	+0,05	1,2
2	S 1,4	32	4,08	4,03	+0,05	1,2
3	S 2,0	35	4,05	4,06	-0,01	0
4	S 3,3	42	4,17	3,91	+0,26	6,2
5	S 3,3	44	4,13	3,90	+0,23	5,6
6	S 3,2	45	3,91	3,87	+0,04	1,0
<b>Medel</b>			<b>4,08</b>	<b>3,97</b>	<b>+0,11</b>	<b>2,7</b>

Tabell 18 visar resultatet av bränsleförbrukningsmätningarna på asfalt- och betongbeläggningarna i södergående körriktningen. Vid mätningarna i södergående körriktning rådde motvind.

Tabell 18. *Bränsleförbrukning (l/mil) i södergående körriktning (motvind)*

Mätning	Vind (m/s)	Bel.temp (C)	Asfalt (l/mil)	Betong (l/mil)	Differens (l/mil)	Diff %
1	S 1,2	30	4,53	4,20	+0,33	7,3
2	S 1,7	33	4,50	4,06	+0,44	9,8
3	S 2,2	36	4,49	4,23	+0,26	5,8
4	S 3,3	42	4,65	4,39	+0,26	5,6
5	SV 3,3	45	4,49	4,17	+0,32	7,1
6	S 3,2	45	4,67	4,31	+0,36	7,7
<b>Medel</b>			<b>4,56</b>	<b>4,23</b>	<b>+0,33</b>	<b>7,2</b>

Resultatet från bränslemätningarna visar att bränsleförbrukningen var lägre på betongbeläggningen än på asfaltbeläggningen. Detta gäller för båda körriktningarna. Medelskillnaden i bränsleförbrukning mellan asfalt- och betongbeläggning skattades till 0,216 l/mil. Skillnaden var signifikant större än noll med konfidensintervall 0,138 – 0,294 och 95 % säkerhet.

Vid mätningarna rådde i de flesta fall medvind i den norrgående körriktningen och motvind i den södergående körriktningen. Detta kan bland annat förklara att större bränsleförbrukning mäts upp i den södergående körriktningen. Bränsleförbrukningen verkar som väntat öka när motvinden ökar. Tvärt emot så minskar bränsleförbrukningen när

medvinden ökar. Som väntat verkar det också som om bränsleförbrukningen på asfaltbeläggningen ökar när beläggningens temperatur ökar.

*Tabell 19. Medelvärden av bränsleförbrukning i norrgående och södergående körriktning*

<b>Bränsleförbrukning</b>	<b>Asfalt</b>	<b>Betong</b>	<b>Differens</b>	<b>Differens %</b>
Norr medel (l/mil)	4,08	3,97	+0,11	2,7
Söder medel (l/mil)	4,56	4,23	+0,33	7,2

*Skillnad i bränsleförbrukning mellan asfalt- och betongbeläggning:*

- 2,7 % lägre bränsleförbrukning på betongbeläggningen i norrgående körriktningen
- 7,2 % lägre bränsleförbrukning på betongbeläggningen i södergående körriktningen
- Genomsnittligt värde: 5,0 % lägre bränsleförbrukning på betongbeläggningen

Den större bränsleförbrukningen i södergående körriktningen kan förklaras av att motvind rådde vid körningarna i södergående körriktningen. Motvinden påverkade luftmotståndet som blev betydligt större i södergående än i norrgående körriktningen. Luftmotståndet har därför en större inverkan på bränsleförbrukningen i södergående körriktningen än i den norrgående körriktningen.



## 5 Diskussion och slutsatser

Vid pilotförsöken med personbil som utfördes våren 2008 kunde det skönjas en tendens till att betongbeläggnings gav en lägre bränsleförbrukning än asfaltbeläggnings. Detta ledde till att utökade mätningar genomfördes sommaren 2008 och 2010.

Vid undersökningen med de utökade mätningarna ändrades metoden till att vara mer noggrann i jämförelse med de som gjordes under pilotförsöken. De viktigaste parametrarna som ändrades, förutom att fler mättrundor gjordes, var att samma bränsle användes till alla mätningar och lugnare vindförhållanden inväntades. Vid mätningarna sommaren 2008 kunde en statistiskt signifikant skillnad fastställas mellan de två beläggningsarna där den av betong ledde till 1,1 % lägre bränsleförbrukning i jämförelse med den av asfalt. Anledningen till att den uppmätta bränsleförbrukningen på betongbeläggnings var lägre beror på att rullmotståndet där var lägre än på asfaltbeläggnings. Detta har visats bero på skillnad i beläggningsarnas yttextur.

Syftet med mätningarna sommaren 2010 var att följa upp de ursprungliga mätningarna från 2008 (Jonsson och Hultqvist, 2008). Mätningar efter ytterligare två år resulterade i exakt samma skillnad som de tidigare mätningarna, nämligen att bränsleförbrukningen var 1,1 % lägre på betongbeläggnings. Även skillnadens signifikans och osäkerhetsintervall var av samma storlek som tidigare. Att resultaten upprepas påvisar metodens robusthet och lämplighet att spåra små skillnader i bränsleförbrukning.

Resultatet från mätningarna med personbil stämmer bra överens med de beräkningar som har utförts med VETO bränslemodell. I modellen ingår data för mätfordonet samt parametrar för vägytans egenskaper och geometri. Vid modellkörningar av de två beläggningsarnas egenskaper blev resultatet ungefär detsamma som för mätningarna, 1 % lägre bränsleförbrukning på betongbeläggnings. Detta resultat visar att det råder god överensstämmelse mellan modellen och den uppmätta bränsleförbrukningen. Ett annat resultat som kan fastställas är att skillnaden mellan bränsleförbrukningen på beläggningsarna beror på olika MPD, dvs. makrotexturen eller ytans råhet. Detta kan sägas eftersom de andra indata-parametrarna hölls konstanta.

Utländska studier visar att rullmotståndet för tunga fordon också påverkas av beläggnings styvhet. Vid varm väderlek är betongbeläggnings betydligt styvare än asfaltbeläggnings vilket innebär att rullmotståndet på betongbeläggnings är lägre och därmed också bränsleförbrukningen.

Mätningarna med tung lastbil visade att bränsleförbrukningen en varm sommardag var 5-7 % lägre på betongbeläggnings än på asfaltbeläggnings. Skillnaden beror på att rullmotståndet var lägre på betongbeläggnings. Detta kan delvis förklaras av att yttexturen var olika på de båda beläggningsarna. En annan förklaring är att beläggningsarna har olika styvhet särskilt vid varm väderlek. Som väntat verkar bränsleförbrukningen på asfaltbeläggnings öka när beläggningsens temperatur ökar. Mätningarna med tung lastbil gjordes under en varm sommardag 2009 och en varm sommardag 2010. Mätningar vid lägre temperatur skulle troligen visa på mindre skillnad mellan asfalt- och betongbeläggnings.

Resultatet av undersökningen gäller för asfalt- och betongbeläggningsarna vid Uppsala. För att kunna använda dessa resultat i större sammanhang, exempelvis för att kunna fastställa om betongbeläggnings generellt ger lägre bränsleförbrukning, krävs analys av fler betongbeläggnings. Fortsatta studier bör göras på andra avsnitt med betongbeläggnings för att säkerställa resultatens allmängiltighet.

## Referenser

- Hammarström U, Karlsson B (1987): VETO: Ett datorprogram för beräkning av transportkostnader som funktion av vägstandard. VTI meddelande 501, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping. 151 pp.
- Hammarström U, Karlsson R and Sörensen H. Road surface effects on rolling resistance – coastdown measurements with uncertainty analysis in focus. Deliverable D5(a). The Swedish Road and Transport Research Institute/EIE/06/039/S12.448265\_ECRPD. Linköping 2008.
- Hammarström U, Karlsson R, Sörensen H and Yahya M-R. Coast down measurements with 60 tonnes articulated truck – estimation of transmission, rolling and air resistance. PM 2010. The Swedish National Road and Transport Research Institute. Linköping 2010.
- Hammarström U, Eriksson J, Karlsson R and Yahya M-R. Rolling resistance model, fuel consumption model and the traffic energy saving potential from changed road surface condition. VTI rapport 748A-2012.
- Jonsson P (2007): Effekt av ringtryck på bränsleförbrukning: metodbeskrivning och resultat. VTI rapport 564, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping. 33 pp.
- Jonsson P, Hultqvist B-Å (2008): Mätning av bränsleförbrukning på asfalt och betongbeläggning norr om Uppsala. VTI notat N31-2008, Statens Väg- och Transportforskningsinstitut. Linköping 20 pp.
- Karlsson R, Hammarström U, Sörensen H and Eriksson O. Road surface influence on rolling resistance. Coast down measurements for a car and an HGV. VTI notat 24A. The Swedish Road and Transport Research Institute. Linköping 2011.
- Taylor G.W, Patten J.D (2006): Effects of Pavement Structure on Vehicle Fuel Consumption – Phase III, Technical Report CSTT-HVC-TR—068, NRC Center for Surface Transportation Technology, Canada.



VTI är ett oberoende och internationellt framstående forskningsinstitut som arbetar med forskning och utveckling inom transportsektorn. Vi arbetar med samtliga trafikslag och kärnkompetensen finns inom områdena säkerhet, ekonomi, miljö, trafik- och transportanalys, beteende och samspel mellan människa-fordon-transportssystem samt inom vägkonstruktion, drift och underhåll. VTI är världsledande inom ett flertal områden, till exempel simulatorteknik. VTI har tjänster som sträcker sig från förstudier, oberoende kvalificerade utredningar och expertutlåtanden till projektledning samt forskning och utveckling. Vår tekniska utrustning består bland annat av körsimulatorer för väg- och järnvägstrafik, väglaboratorium, däckprovsningsanläggning, krockbanor och mycket mer. Vi kan även erbjuda ett brett utbud av kurser och seminarier inom transportområdet.

VTI is an independent, internationally outstanding research institute which is engaged on research and development in the transport sector. Our work covers all modes, and our core competence is in the fields of safety, economy, environment, traffic and transport analysis, behaviour and the man-vehicle-transport system interaction, and in road design, operation and maintenance. VTI is a world leader in several areas, for instance in simulator technology. VTI provides services ranging from preliminary studies, highlevel independent investigations and expert statements to project management, research and development. Our technical equipment includes driving simulators for road and rail traffic, a road laboratory, a tyre testing facility, crash tracks and a lot more. We can also offer a broad selection of courses and seminars in the field of transport.

