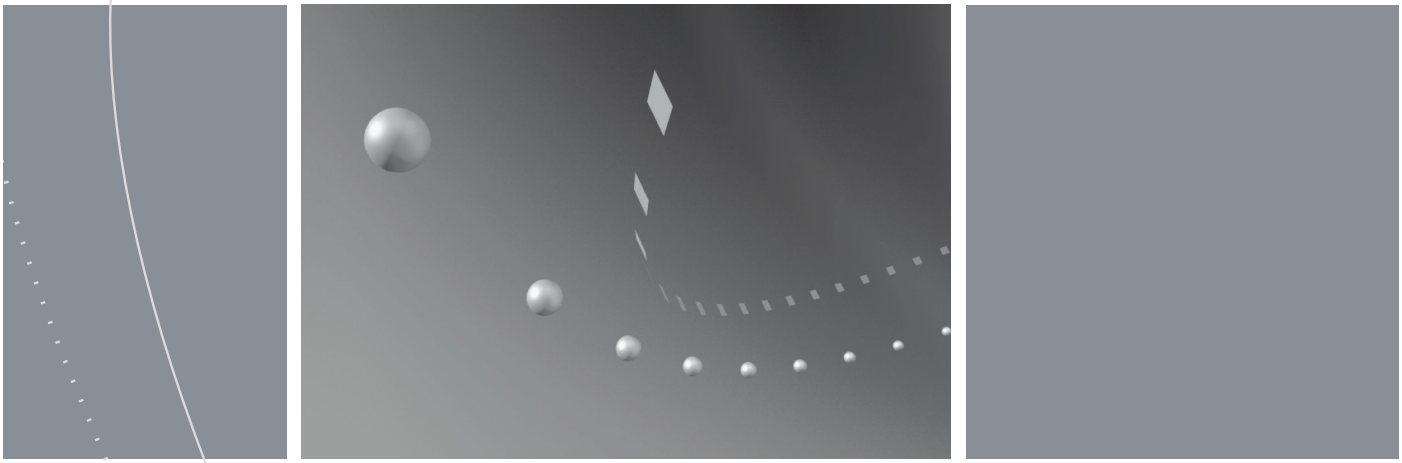
VTI notat 22–2014
Utgivningsår 2014

www.vti.se/publikationer



Ekonomisk och energieffektiv användning av motorvärmare

Utvärdering av effekten på bränsleförbrukning vid värmning av smörjolja jämfört med värmning av kylvatten

Annelie Carlson
Ulf Hammarström
Mikael Bladlund

vti
FINDING A BETTER WAY

Förord

Notatet är en delrapportering i projektet Ekonomisk och energieffektiv användning av motorvärmare, som är finansierat av Energimyndigheten inom forskningsprogrammet Energieffektivare transporter. Kontaktpersoner på Energimyndigheten har varit Kenneth Asp och Catarina Norberg.

Annelie Carlson har varit projektledare och ansvarat för att genomföra testerna samt sammanställa resultaten i notatet. Mikael Bladlund har ansvarat för den mätutrustning som använts vid testerna samt även varit med och genomfört testerna och samlat in de data som registrerats. Ulf Hammarström har varit aktiv i projektförslag, försöks-uppläggning och utvärdering. Ett tack riktas till VTI:s verkstad och i synnerhet Roland Jacobsson som sett till att mätbilen utrustats med en värmare för smörjoljan samt Stefan Svensson som gjort efterkontrollen av oljan och oljetrågets kondition efter testerna.

Linköping maj 2014

Annelie Carlson
Projektledare

Kvalitetsgranskning

Extern peer review har genomförts 16 maj 2014 av Johan Hedbrant, Linköpings Universitet. Annelie Carlson har genomfört justeringar av slutligt rapportmanus . Projektledarens närmaste chef Kerstin Robertson har därefter granskat och godkänt publikationen för publicering 26 maj 2014. De slutsatser och rekommendationer som uttrycks är författarens/författarnas egna och speglar inte nödvändigtvis myndigheten VTI:s uppfattning.

Quality review

External peer review was performed on 16 May 2014 by Johan Hedbrant, Linköping University. Annelie Carlson has made alterations to the final manuscript of the report. The research director Kerstin Robertson examined and approved the report for publication on 26 May 2014. The conclusions and recommendations expressed are the author’s/authors’ and do not necessarily reflect VTI’s opinion as an authority.

Tryckt på VTI i Linköping 2014

Innehållsförteckning

Sammanfattning 5

Summary 7

1 Inledning 9
1.1 Syfte och avgränsningar 10

2 Metod 11
2.1 Mätutrustning 11
2.2 Plan och genomförande av tester 14
2.3 Utetemperaturen under tidsperioden. 16

3 Resultat 17
3.1 Temperaturutveckling vid värmning av respektive media. 17
3.2 Motorvärmarnas eleffekt och elförbrukning 18
3.3 Bränsleförbrukning, motorvarvtal och temperaturutveckling efter motorstart 19
3.4 Total energianvändning 29

4 Diskussion och slutsatser 30

Referenser 34

Energieffektiv användning av motorvärmare – Utvärdering av effekten på bränsleförbrukning vid värmning av smörjolja jämfört med värmning av kylvatten

av Annelie Carlson, Ulf Hammarström och Mikael Bladlund
VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut
581 95 Linköping

Sammanfattning

Kallstart ger upphov till högre bränsleförbrukning och emissioner eftersom en kall motor innebär att en större friktion behöver övervinnas och att förbränningen inte är optimal. Att i förväg värma motorn ger till resultat att kallstartseffekterna minskar. Traditionellt sett har denna motorvärmning skett genom att kylvattnet värmts, vilket i sin tur värmt motorblocket. Syftet med denna studie var att undersöka om det skulle vara mer energieffektivt att värma smörjoljan i stället för kylvattnet. Hypotesen var att en varmare smörjolja leder till mindre friktion i motorn, vilket i sig skulle innebära att det behövs mindre bränsle för att överkomma friktionsmotståndet. Sannolikt kan det finnas skillnader i nyttan med motorvärmare mellan bilar med växellådan integrerad med motorn och utan sådan integrering. Mätbilen, som var bakhjulsdriven, hade motorn och växellådan separerade. Totalt genomfördes 23 tester; 2 utan motorvärmning; 10 med värmning av smörjoljan; 9 med värmning av kylvattnet samt 2 med samtidig värmning av smörjolja och kylvatten.

Resultaten av testerna visar att kallstartseffekten med en ökad bränsleförbrukning minskar mest genom att värma kylvattnet. Ju varmare kylvattnet är vid motorstart desto mindre bränsleförbrukning. När de totala energibehoven för kallstarter beräknas, det vill säga bränsleförbrukning plus el för motorvärmning, är resultaten inte lika tydliga beträffande vilket alternativ som är energieffektivast. Den minskade bränsleförbrukningen som resulterar av förvärmning tas till viss del ut av den elförbrukning som behövs för själva motorvärmningen. En fördel i sammanhanget är att de lokala utsläppen minskar och om man ser till att den svenska elproduktionen till stor del består av vattenkraft samt kärnkraft så ger motorvärmning lägre utsläpp totalt sett.

Energy efficient use of engine heaters – Evaluating the effect of heating lubricating oil compared to heating cooling water

by Annelie Carlson, Ulf Hammarström and Mikael Bladlund
The Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI)
SE-581 95 Linköping

Summary

Starting an engine when it is cold gives rise to higher fuel consumption and emissions as a cold engine means that a larger friction needs to be overcome and that the combustion is not optimal. To warm the engine in beforehand leads to lesser cold start effect. Traditionally, engine heating has been made by heating the cooling water, which in turn heat the engine block. The purpose of this study is to examine whether it would be more energy efficient to heat the lubricating oil instead of the cooling water. The hypothesis is that a warmer lubricating oil leads to less friction in the engine, which in itself would mean that less fuel to overcome the frictional resistance is needed. Likely, there may be differences in the usefulness of engine heater between cars with gearbox integrated with motor and without such integration. The test vehicle, with rear-wheel drive, has the engine and gearbox separated. A total of 23 tests were carried out; 2 without engine heating; 10 with heating of lubricating oil; 9 with the heating of cooling water and 2 with simultaneous heating of lubricating oil and cooling water.

The results of the tests show that the cold-start effect with increased fuel consumption is reduced most by heating the cooling water. The warmer the cooling water is at engine start, the less fuel consumption by the engine start. When the total energy needs for cold starts is calculated, i.e. fuel consumption plus electric use due to engine heating, the results are not as clear regarding which option is the most energy efficient. The reduced fuel consumption as result of pre-heating is overcome by the electricity consumption needed for the actual motor heating. One advantage is that the local emissions will decrease. Since the Swedish electricity production to a large extent is based on emission free production technology, it is most likely that the total emissions are reduced.

1 Inledning

Kallstart ger upphov till högre bränsleförbrukning och emissioner eftersom en kall motor leder till en ökad friktion som måste övervinnas samt en sämre förbränning. Ju kallare utetemperatur desto större är kallstartseffekten (Ludykar et al. 1999, Weilenmann et al. 2009). Med motorvärmare är det möjligt att öka motortemperaturen vid start vilket minskar kallstartstilläggen. Ju lägre den initiala motortemperaturen är desto större är reduktionsmöjligheten. Studier visar på att betydande avgasreduktioner inklusive bränsle och CO_2 kan uppnås genom att förvärma bilmotorer före start (Ahlvik et al. 1997). Enligt Ahlvik et al. (1997) minskade emissionerna av kolmonoxid (CO) och kolväten (HC) med upp till 60 respektive 65 % för en FTP-75 körcykel[1] vid en utetemperatur på -15˚C. Utsläppen av partiklar (PM) minskade med 55 % i den genomförda testcykelns första del vid samma utetemperatur. Däremot påverkades inte utsläppen av kväveoxider (NOx) i någon större utsträckning, vilket också visats i senare studier (Weilenmann et al. 2009; Gusum 2009). Weilenmann et al. (2009) visade även att i en genomsnittlig "vardaglig" körcykel sker större delen av de totala utsläppen av CO och HC vid kallstarter. Den extra bränsleförbrukningen som behövdes vid kallstarter uppmättes till 0,18 l per start vid en utetemperatur av -20˚C och 0.039 l vid +23 ˚C.

Med nyare fordon som har senare teknik installerad, som betydligt förbättrade katalysatorer och effektivare styrsystem för motorer, är effekterna av kallstarterna inte lika stora som för äldre fordon (Wielenmann et al. 2009). Sett till emissioner och bränsleförbrukning totalt för en start- och körsträcka kan de dock utgöra en betydande andel, speciellt för korta resor eftersom katalysatorer behöver komma upp i arbetstemperatur innan de fungerar optimalt (Favez et al. 2009).

Den vanligaste formen av motoruppvärmning är att värma motorns kylvatten. Parallella mätningar av motortemperatur och avgaser har påvisat att korrelationen mellan oljetemperatur och kallstartseffekter är större än vad som gäller mellan kylvattentemperatur och kallstarteffekter (Hammarström, 2002)[2]. Detta gäller speciellt för bilar utan katalysator. Beträffande bränsleförbrukning och CO_2 är korrelationerna ungefär likvärdiga. En rimlig hypotes är då att oljevärmare skulle kunna ge större nytta per inkopplad tidsenhet än vattenvärmare. Därav följer också att det lönsamma användningsområdet sannolikt ökar.

Att värma själva oljan är ett förfarande som förekommer idag och det finns olika typer av kommersiellt tillgängliga system för detta, exempelvis doppvärmare, värmeplattor och värmefiltar. Tekniken används i skogs-, lantbruks- och gruvmaskiner, fartyg, elverk etc. och kan installeras i till exempel tankar, växellådor, pumpar, axlar och motorer. Fördelarna med värmning är att oljans egenskaper förbättras vid låga temperaturer i och med att slitaget minskar på ingående komponenter. Det finns även studier som undersöker effekten av att under körning återföra en del av överskottsvärmen i till exempel avgaser till att värma smörjoljan för att minska friktionen. Resultaten visar att med en varmare olja så minskar bränsleförbrukningen under kallstartsförloppet i en körcykel (Andrews et al. 2007; Janowski et al. 2011).

[1] FTP-75 är en fördefinierad körcykel för stadstrafik som består av tre delar och som tagits fram av US Environmental Protection Agency.

[2] Med kallstarteffekter avses den totala mängden utsläpp under en körcykel utan föregående motorvärmning jämfört med samma körcykel med föregående motorvärmning (Hammarström, 2002).

1.1 Syfte och avgränsningar

Syftet med denna studie är att undersöka vilket uppvärmningsalternativ som kan ge störst bränslereduktion vid kallstart: värmning av kylvattnet eller av smörjoljan. Dessutom undersöks energieffektiviteten med motorvärmare genom att jämföra hur mycket el som används med därav följande bränslebesparing.

Projektet är en pilotstudie där en med färdig instrumentering används. Endast en befintlig testbil med färdig instrumentering används och det är en enkel installation av en doppvärmare i oljetråget som genomförts och som lätt ska kunna genomföras på befintliga fordon. Fordonet har stått parkerat på en parkeringsplats i Linköping och på VTI:s innegård. Motorvärmning har som grundfall varit under 60 minuter och den efterföljande motorstarten har varit tomgångskörning under 30 minuter. Testerna har genomförts under en begränsad period på 15 dagar vintertid då temperaturen varit lägre än 0˚C.

2 Metod

För att genomföra utvärderingen användes ett fordon som utrustat med en värmare i kylvattnet och en i oljetråget. Fordonet var också utrustat med ett flertal temperaturgivare, en bränslemätare och en dator som loggar värden. Testerna genomfördes under dagar då temperaturen var under 0˚C. Olika alternativ för motorvärmning genomfördes och därefter startades motorn för att gå på tomgång. Under testerna loggades ett flertal mätvärden. En närmare beskrivning finns nedan.

2.1 Mätutrustning

Undersökningar av kallstarteffekter genomförs normalt i avgaslaboratorium med tillgång till chassidynamometer och klimatreglering. Eftersom detta handlade om en pilotstudie, att få en uppfattning om vilket alternativ som har störst sparpotential och en ungefärlig uppfattning om storleksordning, valdes ett mindre kostnadskrävande alternativ. Följande utrustning användes:

- Mätfordon, bensindrivet fordon utrustat med motorvärmare för kylvatten och för smörjolja.
- Temperaturgivare för kylvatten, smörjolja i motor och slutväxel, bränsle och motorrum.
- Bränslemätare.
- Varvtalsregistrering
- Utrustning för registrering av meteorologiska förhållanden (lufttemperatur och vindstyrka).
- Utrustning för loggning av uppräknade variabler.

Beträffande uppvärmning av smörjolja kan någon på marknaden förekommande uppvärmningsanordning användas alternativt annat specialarrangemang. En vanlig kvalitet av smörjolja och för aktuell fordonsmodell användes i försöken.

Mätfordonet var en bensindriven Volvo 940 årsmodell 1992 utrustad med katalysator. Den har tidigare använts för olika typer av mätningar och då varit utvald för att motsvara en vanligen förekommande bilmodell. Slagvolymen är på 2,32 liter, motoreffekten är 96 kW och mängden smörjolja och kylarvatten är 3,85 respektive 8,50 liter. I samband med installationen av smörjoljevärmaren fylldes en ny motorolja, Semisynt 10W/40, samt att ett nytt oljefilter installerades. Figur 1 visar testfordonet på dess uppställningsplats där alla mätningar genomfördes. I figuren syns även de två elkablar som går till respektive värmare.

Figur 1 Testfordonet, Volvo 940 årsmodell 1992.

Fordonet var sedan tidigare utrustat med en motorvärmare för kylvattnet, med en effekt på 550 W. För uppvärmning av oljan monterades ett eldrivet värmeelement i oljetråget. I Figur 2 ses värmeelementets placering i den övre delen av bilden. Värmeelementet är från Calix AB, modell MO649, med en eleffekt på 150 W. Ett alternativ var att i samband med installationen av doppvärmaren även installera en cirkulationspump för användning under uppvärmningsfasen. Detta valdes dock bort eftersom det inte ansågs vara ett realistiskt alternativ.

Figur 2 Oljetråg och placering av värmeelement för smörjolja.

Provbilen (Volvo 940) var sedan tidigare utrustad med en del mätutrustning. Denna omfattar en centralenhet i form av en PC för avläsning och lagring av data (Figur 3) en bränslemätare, en temperaturgivare i bränslesystemet direkt före motorn, tre temperaturgivare i kylvattnet, en givare i smörjoljan, en givare i motorrummet, tre givare i katalysatorn (en i höljet, en i framkant och en i bakkant av innanmätet), en givare för omgivningsluften placerad på den yttre backspegeln på fordonets högra sida. Vid en genomgång av temperaturgivarna visade det sig att givaren i motorrummet och i katalysatorns framkant visade felaktig temperatur, varför de inte användes i studien. Mätaren för bränsleflödet är en Pierburg PLU 116H och instrumentet har en automatisk korrektion för bränslereturflöden, ångfickor och temperaturdifferenser. Mätområden från 0,4 l per timme upp till 60 l per timme finns att tillgå.

Figur 3 Centralenhet för att logga mätvärden placerad på passagerarsätet fram i testfordonet.

En meteorologisk station ställdes upp inom 10 meter från fordonet, se Figur 4. Den omfattar följande enheter:

- en givare för vindstyrka
- en givare för in- och utstrålning (pyrometer)
- givare för lufttemperatur.

En separat registrering av data från den meteorologiska stationen gjordes och data från stationen fanns tillgänglig för hela perioden då mätningar genomfördes. För beskrivning av lufttemperatur ($^{\circ}C_{ute}$) har generellt mätbilens givare använts.

Figur 4 Väderstationen placerad fritt och ca 10 meter från testfordonet.

Även elförbrukningen för respektive motorvärmare uppmättes vid några tillfällen. Detta gjordes med en strömtång med kloöppning som kopplades runt strömkabeln till

motorvärmaren, Figur 5. Till strömtången fanns en logger som lagrade värden på spänning, ström och effekt enligt ett angivet tidsintervall, i detta fall 15 sek. Utifrån dessa data räknades elförbrukningen fram.

Figur 5 Strömtång som använts till att mäta elförbrukning för motorvärmarna.

2.2 Plan och genomförande av tester

Inför testerna sammanställdes en plan för genomförandet som specificerade hur testerna av motorvärmare skulle utföras. Mätbilen parkerades utomhus och motorstart föregicks av följande tre huvudalternativ:

1. Utan föregående motorvärmning.
2. Med föregående motorvärmning via kylvattnet i 60 min.
3. Med föregående motorvärmning via smörjoljan i 60 min.

Till dessa tre huvudalternativ genomfördes också följande tester; Uppvärmning av kylvatten respektive smörjolja i 30 min; Samtidig uppvärmning av både kylvatten och smörjolja i 30 samt 60 minuter. Mätserien drevs under tillräckligt många dagar för att lufttemperaturintervallet per startalternativ skulle överlappa intervallen för övriga alternativ. Testresultaten sammanställdes och analyserades och en uppskattning av energieffektiviteten för de olika alternativen beräknades.

Loggning av mätvärden delades in i två omgångar. Den första omgången startade samtidigt som motorvärmning startade. Då loggades följande parametrar var 15 sekund:

- Temperatur utomhus [˚C]
- Temperatur på kylvattnet i motorblocket [˚C]
- Temperatur på smörjoljan i oljetråget [˚C]
- Temperatur på bränsle [˚C]
- Vindförhållanden [m/s]

Även effektförbrukningen för respektive motorvärmare loggades vid 5 tillfällen.

Den andra omgången mätvärden avser själva körcykeln dvs. tomgångskörningen från det motorn startades. Då loggades följande parametrar varje sekund:

- Bränsleförbrukning [ml]
- Motorns varvtal [rpm]
- Temperatur utomhus [˚C]
- Temperatur på kylvattnet i motorblocket [˚C]
- Temperatur på smörjoljan i oljetråget [˚C]
- Temperatur på katalysatorns bakkant [˚C]
- Temperatur på smörjoljan i oljetråget [˚C]
- Temperatur på avgaserna [˚C]

- Temperatur på bränsle [˚C]
- Vindförhållanden [m/s]

I det fall då ingen värmning av kylvatten eller smörjoljor gjordes loggades mätvärden från motorstart.

Under försöksperioden då det var lämpliga väderförhållanden startades fordonet två gånger per dag, kl. 08:00 och kl. 16:00. De olika testfallen växlades från dag till dag och på ett sådant sätt att alternativen skulle bli så jämförbara som möjligt. Efter att uppvärmning avslutats sparades mätvärdena. Mätintervallet ändrades till 1 sek, en ny mätning påbörjades, motorn startades och var igång i 30 minuter med fritt tomgångsvarvtal. När 30 minuter gått avslutades mätningen och motorn stängdes av.

Mätutrustningen drevs av en egen strömkälla. Kylfläkten och alla inställningar som har med temperatur att göra var i ett fixerat läge, all utrustning som radio och uppvärmning av bakruta var avstängda. En kupéfläkt med en egen strömkälla fanns i syfte att hålla datorn tillräckligt uppvärmd så att den skulle fungera även om det skulle bli kallt. Innan mätningarna genomfördes fylldes tanken med bensin. Denna mängd var tillräcklig för att räcka till samtliga prov.

De mätserier som loggades är sammanställda i Tabell 1 nedan där test, utetemperatur, datum och tid på dygnet (förmiddag, fm, eller eftermiddag, em) redovisas. Totalt genomfördes 23 tester under perioden 14/1 till den 25/1 2013. Analysen av mätningarna delades sedan in i tre delar:

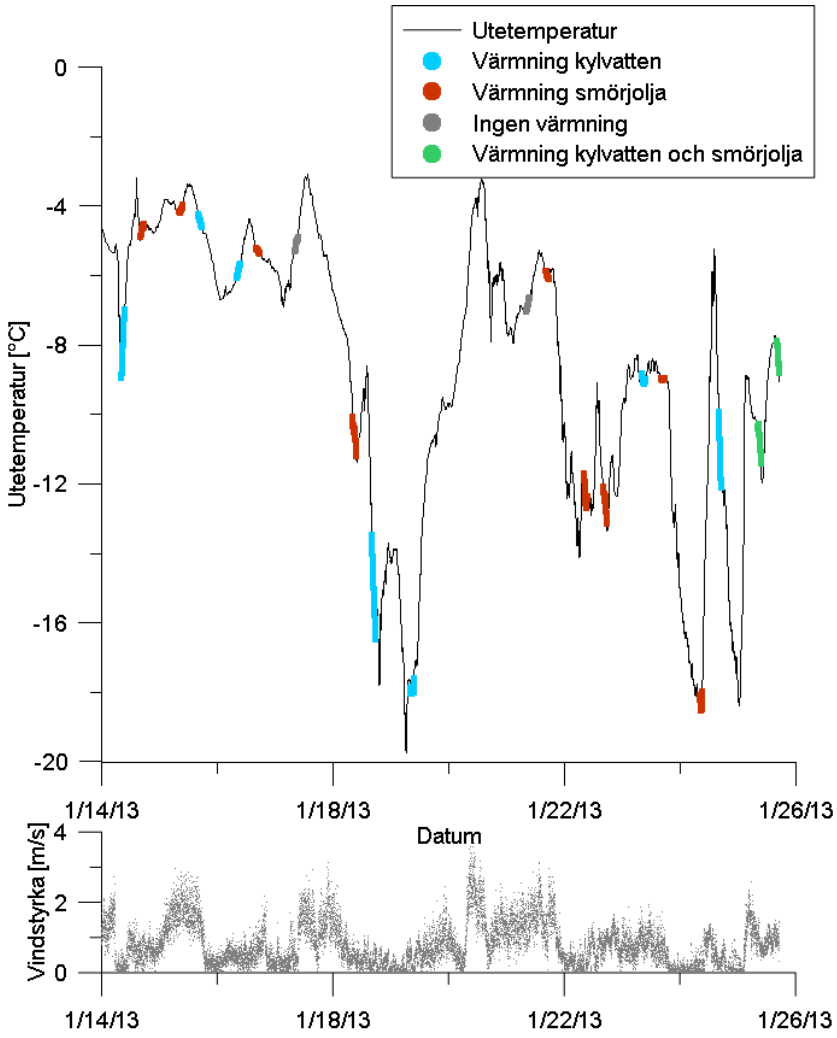
- Temperaturutveckling vid motorvärmning.
- El- och effektbehov hos respektive motorvärmare.
- Bränsleförbrukning då motorn går på tomgång.

Tabell 1 Sammanställning av genomförda tester.

	Typ av prov						
Utetemperatur vid start [C˚]	**Utan uppvärmning**	**Kylatten**	**Smörjolja**	**Kylvatten och smörjolja**		**Kylvatten**	**Smörjolja**
		60 min	**60 min**	**30 min**	**60 min**	**30 min**	**30 min**
-10 till -5	21/1 fm	14/1, fm 18/1, em 19/1, fm 23/1, fm	18/1, fm 22/1, em 22/1, em 23/1, em	25/1, em	25/1, fm	24/1 em	24/1 fm
-5 till 0	17/1 fm	11/1, em 15/1, em 16/1, fm 17/1, em	11/1, fm 14/1, em 15/1, fm 16/1, em 21/1, em				

2.3 Utetemperaturen under tidsperioden.

I Figur 6 ses utetemperatur och vindstyrka enligt väderstationens loggning under en del av den period då mätningarna genomfördes. I figuren finns även tidpunkten då de olika testerna genomfördes. Detta ger en översiktlig bild av hur temperatur- och vindförhållanden varit under mätperioden, både innan och under testernas genomförande. Variationen i temperatur ligger mellan ca -20 till ca - 2˚C. Vissa tester har föregåtts av ett relativt kraftigt temperaturfall, vilket gör att fordonet har blivit mer nedkylt vid dessa tillfällen. Vindstyrkan ligger mellan 0 till 3,9 m/s med ett medelvärde på 0,85 m/s. Vindens betydelse är därför måttlig.



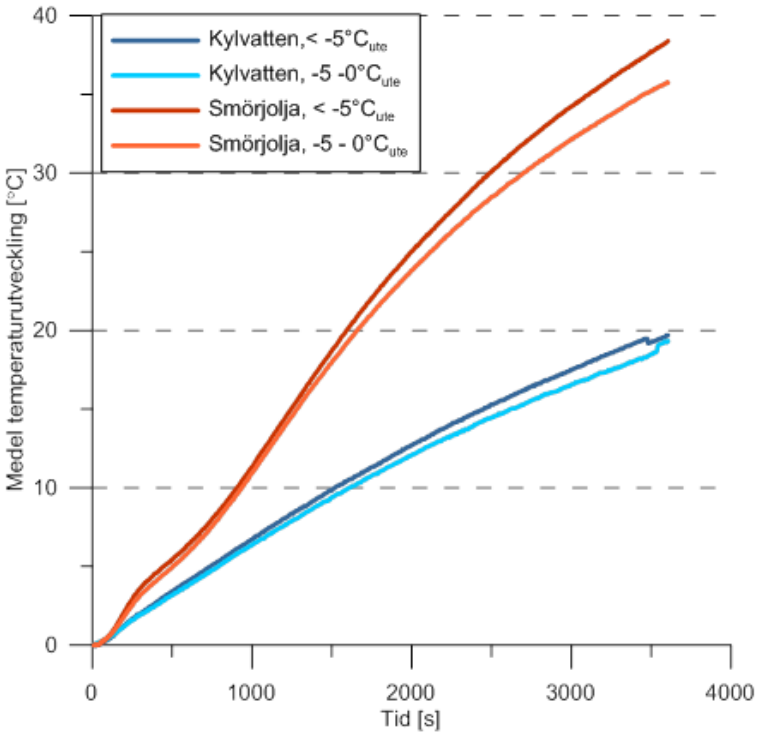
Figur 6 Utetemperatur och vindstyrka under mätperioden samt tidpunkter då tester genomfördes.

3 Resultat

3.1 Temperaturutveckling vid värmning av respektive media.

I Figur 7 redovisas uppvärmningsförloppet för smörjolja och kylvatten som ett medelvärde för respektive media och i de två temperaturintervallen, <-5˚C och -5 till 0˚C, som användes för att kategorisera testerna. Det är själva temperaturutvecklingen i det media som värmts under 60 minuter som visas där starttemperaturen på respektive media är satt lika med 0. Med detta går det att se hur snabbt och till vilken temperatur som kylvattnet och smörjoljan värms. Diskontinuiteten i slutet av den annars jämna kurvan för temperaturutveckling av kylvattnet beror på att det vid två tester saknas mätvärden, totalt 42 st, för att nå en uppvärmningstid på 60 minuter. En lägre utetemperatur gör att respektive media värms mer jämfört med en något högre utetemperatur. Temperaturstegringen är störst i smörjoljan, som i medeltal ökar med 32 respektive 39˚C för de olika intervallen för utetemperatur. Temperaturutvecklingen för kylvattnet har en flackare temperaturkurva och värms i medeltal med 16 respektive 23˚C. Temperaturstegringen är fortfarande positiv efter 60 minuter men avtagande.

För att se den absoluta temperaturutvecklingen för varje test hänvisas till Bilaga 1. Där visas även uppvärmningsförloppet för tester med motorvärmning under kortare tid, 30 minuter, samt med både värmning av kylvattnet och smörjoljan. Loggningen av data fungerade dock inte för uppvärmning under 60 minuter med båda media varför detta alternativ inte kommer med i redovisningen av uppvärmningsförloppet.

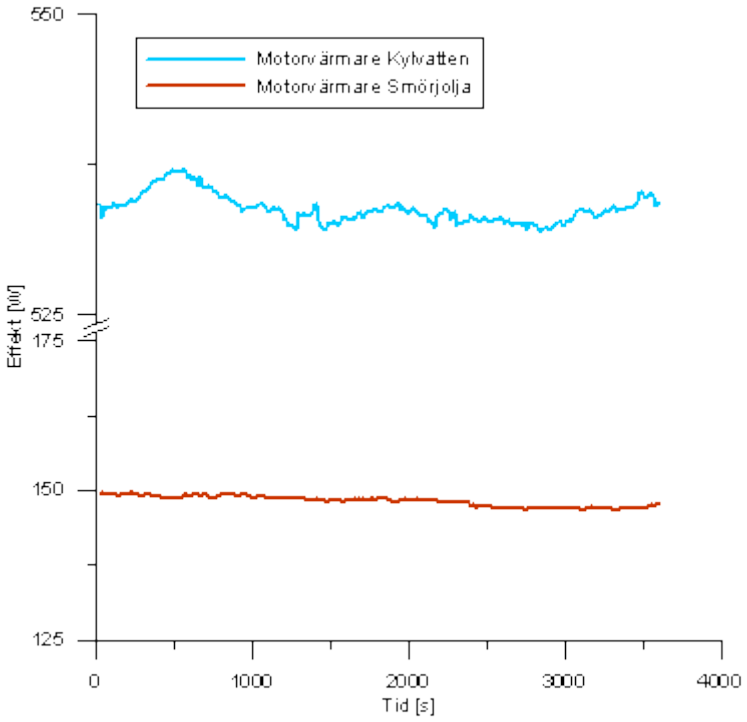


Figur 7 Medelvärde på temperaturutveckling för uppvärmning i 60 min och relativt en normerad starttemperatur = 0.

3.2 Motorvärmarnas eleffekt och elförbrukning

Effektuttaget på värmarna ligger relativt konstant och i närheten av den angivna märkeffekten. Vissa små variationer kan dock ses i Figur 8, vilket speciellt gäller för värmaren av kylvattnet. För värmaren av smörjoljan kan en svag negativ lutning skönjas. Men variationerna är relativt små och ligger på ca. ±1 % av medelvärdet

Elförbrukningen för respektive värmare under 1 timme blev i medeltal ca 0,51 kWh för kylvattenvärmaren och ca 0,14 kWh för smörjoljevärmaren. Med detta energitillskott värmdes kylvattnet med 19,3˚C i medeltal, medan smörjoljan i oljetråget värmdes 35,9˚C, jämför med Figur 9. Omräknat till Wh/˚C blir detta 26,6 Wh/˚C för kylvattnet och 3,6 Wh/˚C för smörjoljan. I sammanhanget kan noteras att det är en delmängd av smörjoljan som värmts, nämligen den som finns i oljetråget, medan kylvattnet värmts i sin helhet. Dessutom är värmekapaciteten (massan multiplicerad med specifik värmekapacitet) för kylvattnet i motorn avsevärt större än för oljan i motorn. Sett till tillförd energi per liter media blir det 36 Wh/l smörjolja och 60 Wh/l kylvatten.



Figur 8 Medelvärde på eleffekt för de olika motorvärmarna och under uppvärmning.

3.3 Bränsleförbrukning, motorvarvtal och temperaturutveckling efter motorstart

En sammanfattning av motorkörning för de olika testfallen redovisas nedan i Tabell 2 till Tabell 5 nedan. I tabellerna redovisas utelufttemperatur vid motorstart, uppvärmningstid för motorvärmning, medelvärde för motorvarvtal, bränsleförbrukning under motorkörning, bränsleförbrukning per motorvarvtal samt medeltemperatur på katalysatorn. Efter tabellerna redovisas mätresultaten med ett antal figurer för att belysa olika aspekter i utvärderingen.

Tabell 2 Utan motoruppvärmning.

Datum	Lufttemp. vid motorstart [˚C]	Smörjolje-temp. vid motorstart [˚C]	Kylvatten-temp. vid motorstart [˚C]	Varvtal Medel-värde	Bränsle-förbruk. [ml]	Bränsleförbruk. per varvtal [ml]	Katalysator Medeltemp. [˚C]
130117	-4,13	-2,65	-1,99	802,43	836,28	1,042	156,19
130121	-5,97	-2,41	-4,81	799,47	846,50	1,059	150,67

Tabell 3 Med uppvärmning av smörjolja.

Datum	Lufttemp. vid motorstart [˚C]	Uppvärm-ningstid [min]	Smörjolje-temp. vid motorstart [˚C]	Kylvatten-temp. vid motorstart [˚C]	Varvtal Medel-värde	Bränsle-förbruk. [ml]	Bränsleförbruk. per varvtal [ml]	Katalysator Medeltemp. [˚C]
130111	-2,79	60	31,29	-2,23	799,05	833,40	1,043	141,71
130114	-2,67	60	37,52	4,40	799,01	809,40	1,013	148,54
130115	-3,40	60	32,51	-1,25	801,91	832,11	1,038	146,41
130116	-3,89	60	38,25	3,91	800,14	798,64	0,998	147,54
130118	-9,39	60	33,00	-4,32	802,59	842,00	1,049	153,94
130121	-5,11	60	36,30	1,08	800,56	811,25	1,013	152,02
130122	-10,37	60	32,39	-7,15	804,50	856,68	1,065	163,11
130122	-10,37	60	33,73	-2,48	802,72	841,49	1,048	153,81
130123	-6,58	60	39,47	0,59	801,20	812,93	1,015	154,20
Medel	***-6,06***	***60***	***34,94***	***-0,83***	***801,30***	***826,43***	***1,031***	***153,43***
130124	-16,36*	30	13,46	-11,45	805,81	866,15	1,075	188,26

*Helt avvikande från de starttemperaturer som gällt för uppvärmning i 60 min.

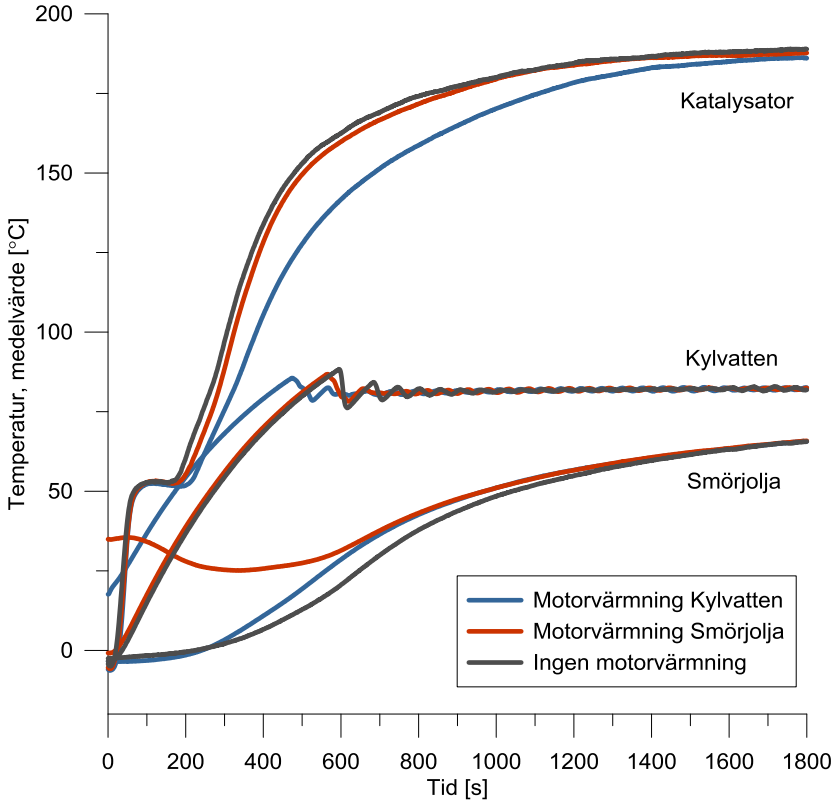
Tabell 4 Med uppvärmning av kylvattnet.

Datum	Lufttemp. vid motorstart [˚C]	Uppvärm-ningstid [min]	Smörjolje-temp. vid motorstart [˚C]	Kylvatten-temp. vid motorstart [˚C]	Varvtal Medel-värde	Bränsle-förbruk. [ml]	Bränsleförbruk. per varvtal [ml]	Katalysator Medeltemp. [˚C]
130111	-3,77	60	-0,33	17,91	793,50	778,05	0,981	136,50
130114	-5,23	60	-4,36	16,07	795,11	792,21	0,996	146,87
130115	-3,16	60	1,01	23,44	793,00	762,63	0,962	138,51
130116	-2,42	60	-2,04	18,90	794,99	780,50	0,982	147,04
130117	-3,65	60	1,13	22,83	793,81	768,74	0,968	141,28
130118	-12,94	60	-4,36	17,42	795,98	788,04	0,990	138,99
130119	-16,73	60	-12,79	8,33	795,23	808,20	1,016	144,99
130123	-6,21	60	-5,71	16,07	792,79	785,53	0,987	145,61
Medel	***-6,76***	***60***	***-3,43***	***17,62***	***794,68***	***782,99***	***0,985***	***142,47***
130124	-9,39	30	-3,02	11,53	797,64	794,33	0,996	145,74

Tabell 5 Med samtidig uppvärmning av smörjolja och kylvatten.

Datum	Lufttemp. vid motorstart [˚C]	Uppvärm-ningstid [min]	Temp. vid motorstart [˚C]		Varvtal Medel-värde	Bränsle-förbruk. [ml]	Bränsleförbruk. per varvtal [ml]	Katalysator Medeltemp. [˚C]
			Kylv	Olja				
130125	-4,79	60	11,89	28,48	797,15	771,42	0,968	144,90
130125	-1,47	30	12,51	22,01	795,55	798,89	1,004	132,21

I Figur 9 visas temperaturutvecklingen för kylvatten, smörjolja och katalysator under de 30 minuter som motorn går på tomgång. Kylvattnets temperatur stabiliseras efter ca 800 sekunder på en temperatur av drygt 80˚C, vilket beror på att termostaten öppnar till kylaren. Snabbast stabiliseras temperaturen i fallet då motorvärmning skett via kylvattnet. Längst insvängningstid har alternativet utan motorvärmning.



Figur 9 Temperaturutveckling vid mätning då motorn är igång. Medelvärden för respektive kategori och efter 60 min motorvärmning av kylvatten respektive smörjolja.

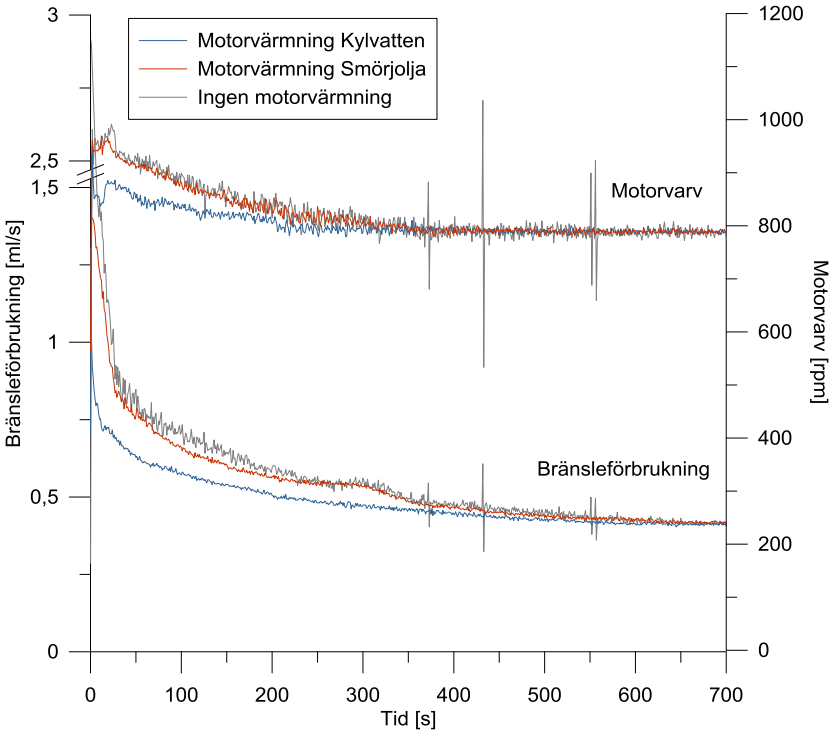
I Bilaga 2 visas figurer över hur temperaturutvecklingen efter motorstart skiljer sig åt mellan de olika temperaturintervallen <-5˚C och -5 till 0˚C för motorvärmning med kylvatten respektive smörjolja.

Efter start sjunker oljetemperaturen med ca. 10˚C i fallet med förvärmning av smörjoljan. Detta beror på att cirkulationen av motorolja kommer igång och kall ouppvärmd smörjolja blandas med den som värmdes i oljetråget samt att den pumpas runt i ett kallt motorblock. För katalysatorn ses att dess temperatur är lägre för alternativet då motorvärmning skett via kylvattnet, även om utgångstemperaturen varit relativt lika. Det ses också att det finns en tydlig platå i temperaturnivån som sker vid ca 50˚C och vid de olika alternativa testerna.

I Figur 10 redovisas registrerat motorvarvtal och bränsleförbrukning som ett medelvärde för respektive alternativ och under mätningens första 700 sekunder. Efter den tiden var förändringen av bränsleförbrukning och motorvarvtal inte så betydande och de hade också mellan de olika alternativa testerna hamnat på ungefär samma nivå. Som kan ses följer de båda variablerna liknande mönster där ett lägre motorvarvtal korresponderas av en lägre bränsleförbrukning. Generellt sett ligger också motorvarvtal och bränsleförbrukning högre för alternativen med motorvärmning av smörjoljan samt ingen motorvärmning relativt motorvärmning av kylvattnet. En figur för hela mätperioden

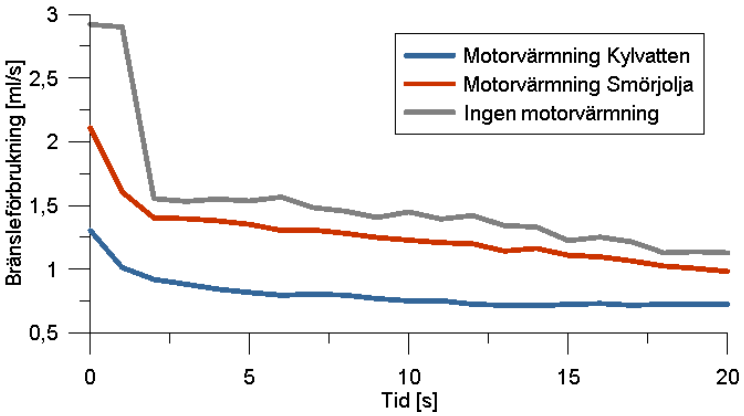
finns i Bilaga 3. I den bilagan finns även en figur över medelvärdet per minut för temperaturutveckling av smörjolja och kylvatten samt bränsleförbrukning.

Skillnaden i bränsleförbrukningen de första 100 sekunderna är 43 % högre då motorn inte värmdes jämfört med uppvärmning via kylvattnet. För uppvärmning via smörjoljan är denna skillnad 29 % högre jämfört med kylvattenuppvärmning. Vid 500 sekunder har den relativa skillnaden minskat till 20 % respektive 14 %.



Figur 10 Bränsleförbrukning och motorvarvtal under de 700 första sekunderna av mätning. Medelvärden för alla tester i respektive grupp.

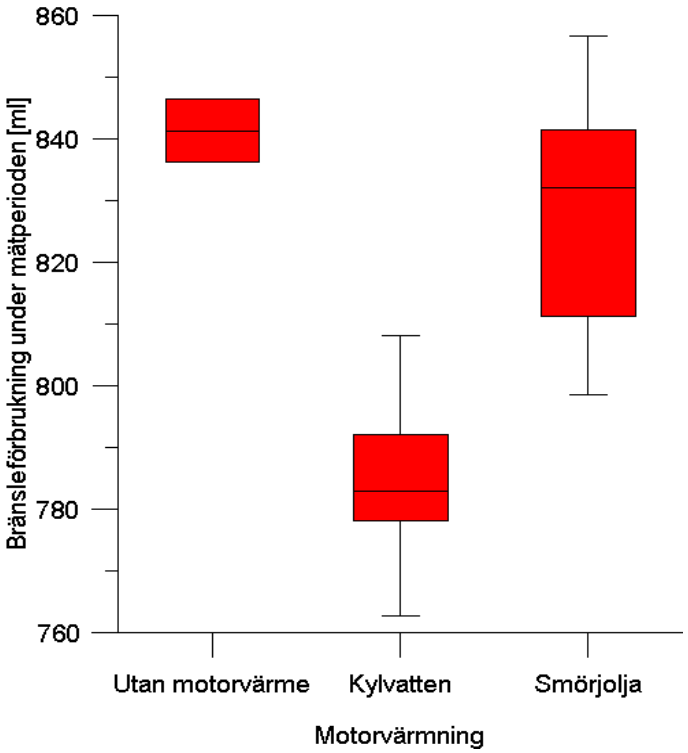
Det är med andra ord framförallt vid startögonblicket och strax efter som de största skillnaderna är. Detta visas i Figur 11 där de första 20 sekunderna är utvalda. Där ses också att bränsleförbrukningen i ml/s minskar markant för alternativen motorvärmning av smörjoljan samt ingen motorvärmning. Alternativet med motorvärmning av kylvattnet minskar också mest under de första sekunderna efter motorstart relativt senare i mätperioden, men har inte samma negativa lutning som de andra alternativen. Att värma kylvattnet leder dock till en lägre bränsleförbrukning relativt de andra alternativen under större delen av mätningen.



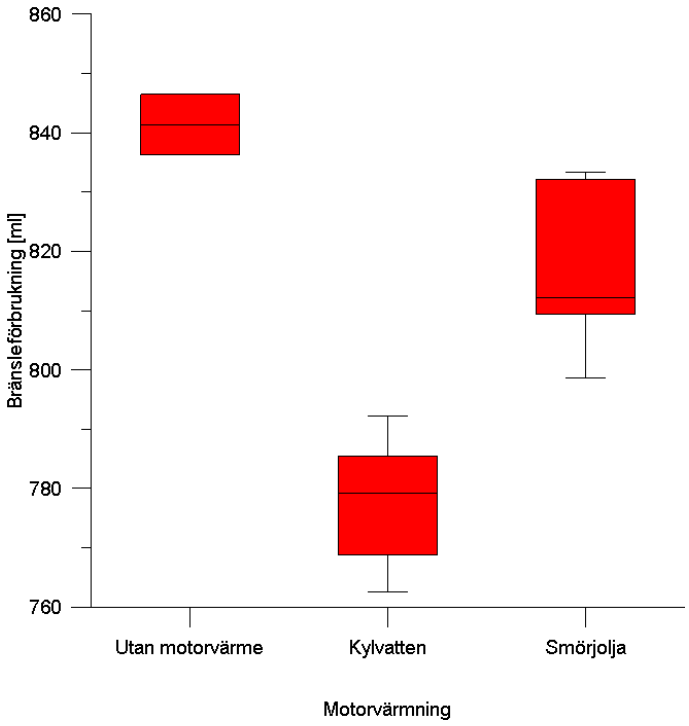
Figur 11 Bränsleförbrukning under de första 20 sekunderna. Medelvärden för tester med motorvärmning i 60 min för respektive media samt ingen motorvärmning.

I Figur 12 visas en sammanställning av resultaten för mängden bränsle som förbrukas under en period av 30 minuter och för olika alternativ för motorvärmning. Den övre och under gränsen på respektive box visar 10 och 90 percentilen av mätvärden för de olika mätningarna. Strecket i boxen representerar medianvärdet medan min- och maxvärdena visas av ”whiskers”. Som kan ses i figuren så är spridningen av bränsleförbrukningen störst för värmning av smörjoljan.

Genom att sortera ut de testvärden där utetemperaturen legat mellan -6 och -2˚C fås följande, se Figur 13. Som ses blir variationen i bränsleförbrukning mindre, speciellt för min och maxvärdena.

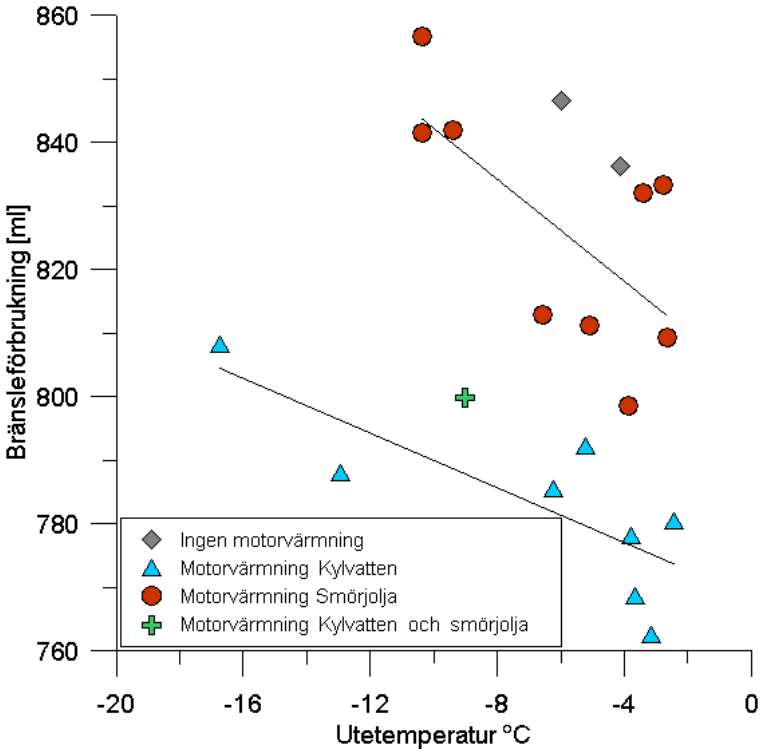


Figur 12 Bränsleförbrukning vid huvudalternativen för motorvärmning.



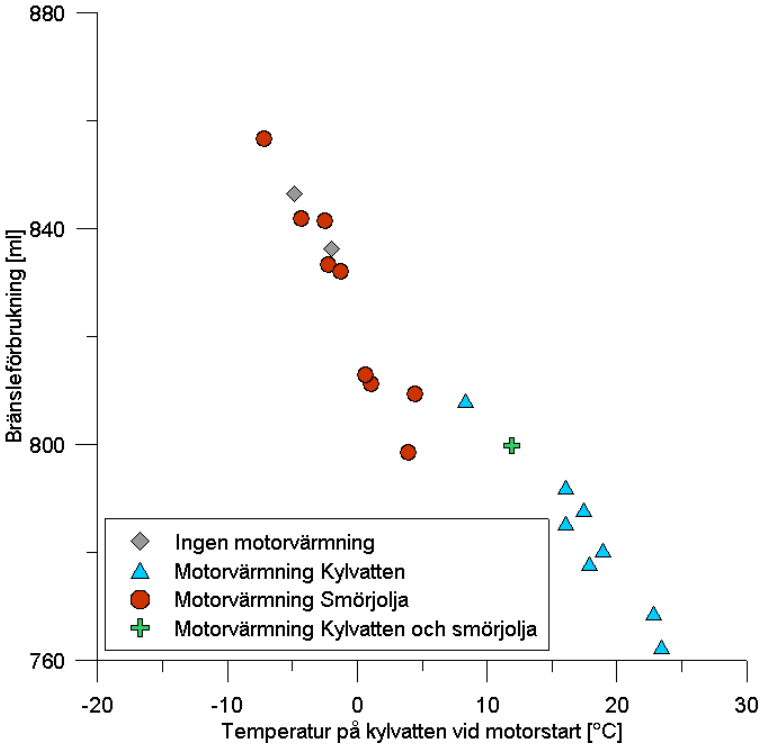
Figur 13 Bränsleförbrukning vid olika huvudalternativ för motorvärmning och med en utetemperatur vid motorstart mellan -6 till -2˚C.

För att undersöka temperaturens betydelse för bränsleförbrukningen har bränsleförbrukningen plottats dels mot utetemperaturen (Figur 14), dels mot temperaturen på det media som värmts (Figur 15 och Figur 16). Som ses i Figur 14 ligger bränsleförbrukningen generellt sett lägre när motorvärmning sker via kylvattnet vid ungefär lika utetemperatur. De angivna utetemperaturerna är de som registrerades vid tidpunkten då motorn startades. Det har betydelse om testet genomfördes på förmiddagen eller eftermiddagen. Motorblock, kylvatten och smörjoljor har längre tid att svalna mellan test på eftermiddagen till förmiddagen, 14,5 timmar jämfört med 6,5 timmar. Om motorn inte svalnar lika mycket kan det innebära att kallstartseffekten i form av ökad bränsleförbrukning inte kommer att vara lika stor vid samma utetemperatur. En genomgång av datamaterialet visade på en sådan tendens då bränsleförbrukningen för tester på förmiddagen låg generellt sett något högre vid samma utetemperatur då motorn startades.

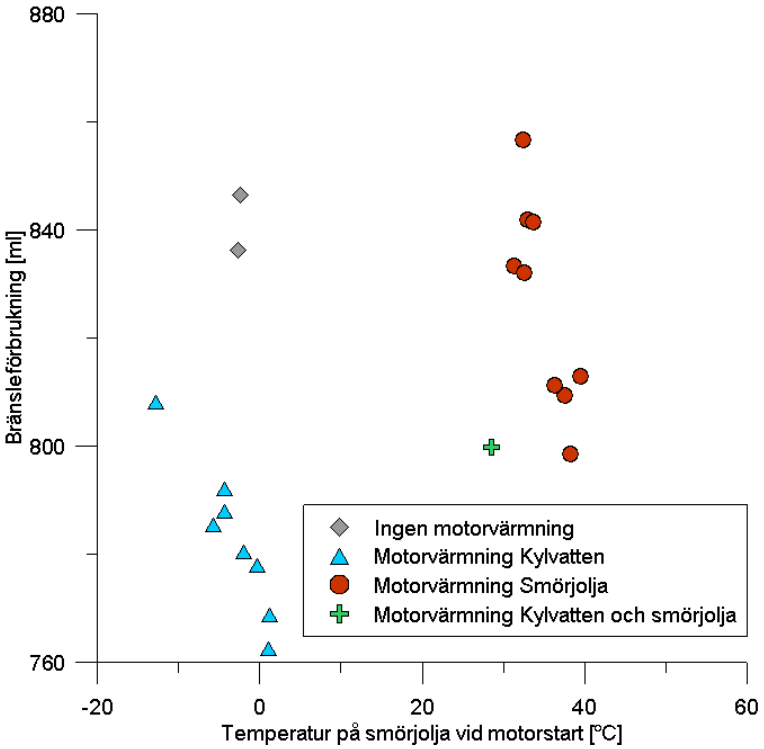


Figur 14 Bränsleförbrukning under 30 min och utetemperatur vid motorstart.

Att istället se till hur bränsleförbrukningen varierar med avseende starttemperaturen på de olika media kan möjligen vara mer rättvisande. I Figur 15 och Figur 16 visas bränsleförbrukning med avseende på temperaturen på kylvattnet respektive smörjoljan. I Figur 15 ses ett tydligt samband att bränsleförbrukningen minskar ju varmare kylvattnet är och att det är ett relativt linjärt samband oavsett vilket alternativ på motorvärmning som undersökts. Att bränsleförbrukningen är lägre ju högre temperatur det är på smörjoljan verkar också stämma, men där finns det linjära sambandet för respektive test medan det inte alls föreligger något sådan mellan de olika alternativen.

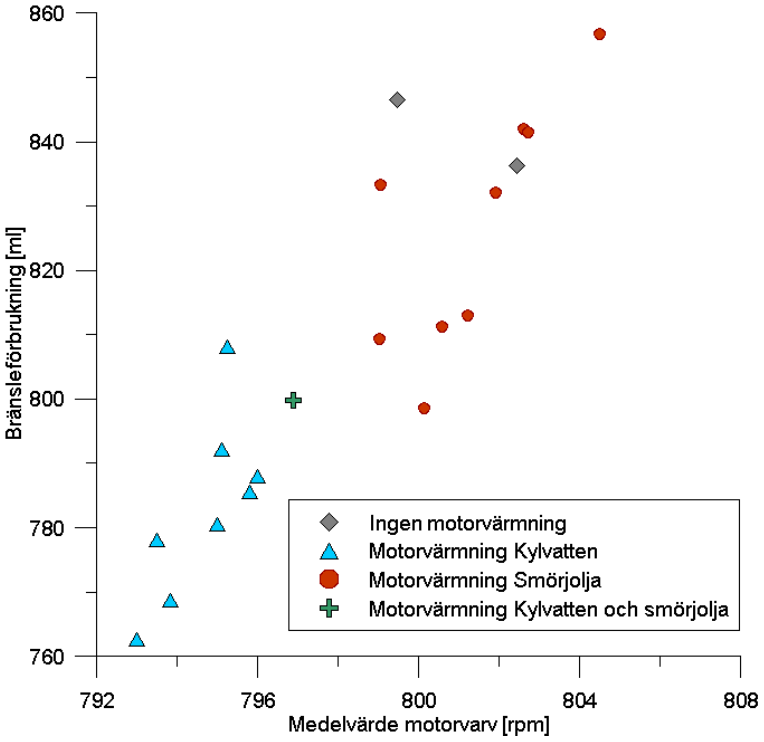


Figur 15 Bränsleförbrukning under 30 min med avseende på temperatur på kylvattnet.



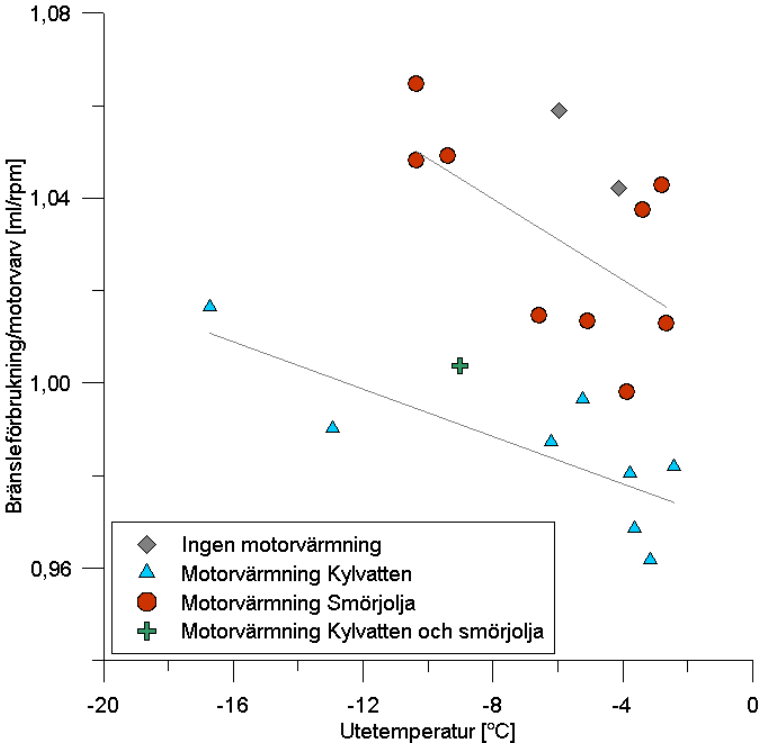
Figur 16 Bränsleförbrukning under 30 min med avseende på temperatur på smörjoljan.

För att studera vidare vari denna tydliga skillnad ligger, tittade vi närmare även på motorvarvtalets betydelse för bränsleförbrukningen. I Figur 17 redovisas detta med avseende på medelvärdet av motorvarvtalet under testerna. Som ses finns ett tydligt samband där motorvarvtalet genomgående har varit lägre för motorstarter som föregåtts av motorvärmning via kylvattnet. För att avlägsna den effekt som motorvarvtalet har på bränsleförbrukningen har den normerats mot det lägsta medelvärdet på motorvarvtal som uppmätts i de olika testerna. Resultatet av detta visas i Figur 18.



Figur 17 Bränsleförbrukning under 30 min med avseende på medelvärde av motorvarvtalet.

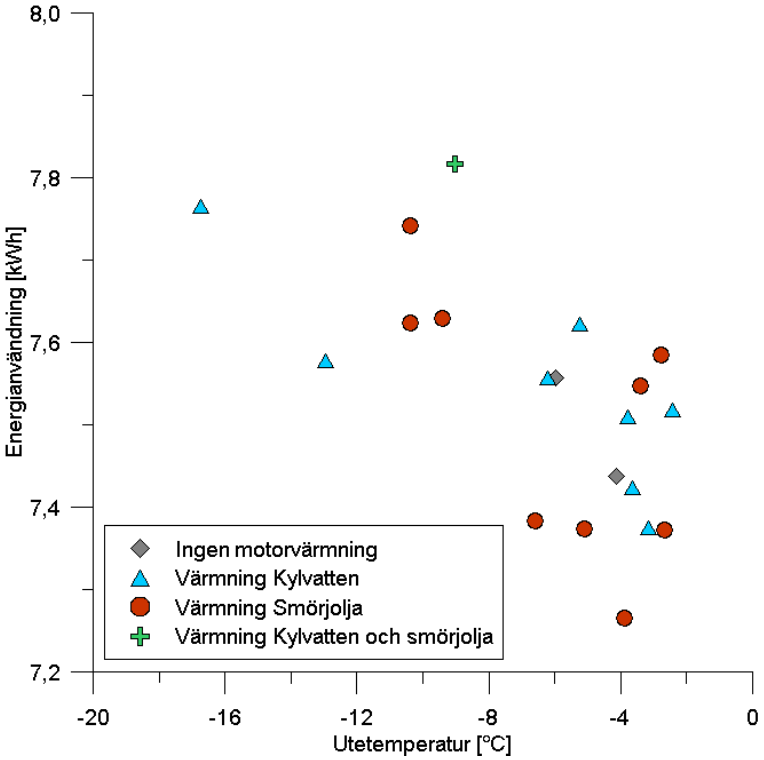
Då motorvarvtalet har en betydelse för hur stor bränsleförbrukningen är har den räknats om till bränsleförbrukning per motorvarv där motorvarvtalet är medelvärdet under tomgångskörningen. Genom detta förfarande går det att se om det finns en skillnad i bränsleförbrukning mellan de olika huvudalternativen när inverkan av motorvarvtalet har tagits bort. Resultaten ses i Figur 18 och med att jämföra denna figur med Figur 14 går det att se om det skett några förändringar. Men som ses är det fortfarande mest bränsleeffektivt att förvärma kylvattnet där flertalet av testerna resulterar i en bränsle-förbrukning per motorvarv som ligger under 1.0 medan att värma smörjoljan ger ett värde större än 1.0.



Figur 18 Bränsleförbrukning under tomgångskörning i 30 minuter per motorvarvtal (medelvärde under testperiod).

3.4 Total energianvändning

Som ett slutligt steg i utvärderingen beräknas den totala energianvändningen genom att addera bränsleförbrukningen i respektive test med elförbrukningen för motorvärmningen. Bränsleförbrukningen räknas om till kWh enligt 1 liter bensin = 9,0 kWh (Energimyndigheten 2013). För motorvärmning används ett medelvärde av de mätningar som genomfördes under några av testerna. För värmning av kylvattnet läggs 0,512 kWh till bränsleförbrukningen och för smörjolja 0,142 kWh. I fallet med samtidig värmning blir tillägget 0,654 kWh. Den totala energianvändningen för 1 timmes motorvärmning och 30 minuters motorkörning ses i Figur 19. I detta fall blir det inte lika tydligt vilket alternativ som är mest energieffektivt. Här ligger alternativet med ingen motorvärmning i ett mellanskikt, vilket skulle tyda på att det skulle kunna vara lika bra ur total energisynpunkt att inte förvärma motorn.



Figur 19 Total direkt energianvändning i kWh, el för motorvärmning i 60 min och bränsleförbrukning i 30 min då motorn gått på tomgång.

I Figur 19 har energianvändningen inte normaliserats mot motorvarvtalet. Sett till motorvarvtalets betydelse för bränsleförbrukningen, (Figur 17 och Figur 18), skulle energibehoven ändras något men den inbördes ordningen av testen påverkas inte nämnvärt.

4 Diskussion och slutsatser

Kallstart ger upphov till högre bränsleförbrukning och emissioner, med undantag för NO_x, pga.:

- Själva starten.
- Icke-stökiometriskt blandningsförhållande under uppvärmning efter start.
- Ökad inre friktion.
- Lägre katalysatortemp än för fullt uppvärmd motor.

Genom att i förväg värma motorn så resulterar det i att kallstartseffekterna minskar. Traditionellt sett har denna motorvärmning skett genom att primärt kylvattnet värmts. Syftet med denna studie var att undersöka om det skulle vara mer bränsleeffektivt att värma smörjoljan i stället för kylvattnet.

En redan instrumenterad personbil användes för att genomföra ett pilotförsök där motorvärmning alternerades mellan att värma smörjoljan, kylvattnet, samtidig värmning av de två media samt ingen motorvärmning. För värmning av smörjoljan följer temperaturutvecklingen inte en jämn kurva under de första ca 500 sekunderna av uppvärmningsfasen. En förklaring kan vara att det initialt blir en självcirkulation av oljan i och med uppvärmningen som gör att kallare olja kommer i kontakt med temperaturgivaren. En liknande temperaturutveckling kan skönjas för kylvattnet. Möjliga förklaringar till att det inte är lika tydligt som för smörjoljan är att eleffekten på kylvattenvärmaren är högre samt att det kan vara en följd av olika viskositet för olja och vatten.

Under motorvärmningen steg temperaturen mest för smörjolja som ökade med 39˚C i medeltal under det kallaste utetemperaturintervallet. Motsvarande siffra för värmning av kylvattnet var 23˚C. Man kan ha i åtanke att effekten på motorvärmarna skiljer sig åt, 150 W för smörjoljan och 550 W för kylvattnet, samt att mängden smörjolja är mindre än mängden kylvatten. Båda aspekterna har en effekt på temperaturutvecklingen. Samtidigt går det att konstatera att en stor del av den tillförda värmeeffekten inte kommer till godo. Den teoretiskt temperaturökningen[3] för smörjoljan borde bli ca 87˚C i medeltemperatur för hela volymen och för kylvattnet ca 56 ˚C. För oljan kan detta till exempel bero på att en del av värmen försvann genom den tunna plåt som fanns i närheten av doppvärmaren i oljetråget, att det kan ha blivit en ojämn uppvärmning där tempgivaren satt på ett ställe där oljan inte värmdes lika mycket eller att tempgivaren visade för lite.

---

[3] Följande antaganden har gjorts. Tillförd värme till oljan är $Q = 150 \times 3600 = 540\ kJ$ och till kylvattnet är det $Q = 550 \times 3600 = 1980\ kJ$

Q kan också beräknas enligt: $Q = m \times Cp \times \Delta Temp$

Där:
m: Massa [kg/m^3]
Cp: Värmekapaciteten [kJ/kgK]
ΔTemp: Temperaturskillnad före och efter värmning [˚C]

Detta kan skrivas som: $\Delta Temp = Q/(m \times Cp)$

För smörjolja blir det: $\Delta Temp = 540/(3.465 \times 1.8) = 86.6℃$

För kylvattnet blir det: $\Delta Temp = 1980/(8.5 \times 4.18) = 55.7℃$

I en tidigare studie av motorvärmning via kylvattnet visades att det maximala temperaturlyftet var ca 40˚C och att det tar ca 40 min att värma 50 % av max (Hammarström, Edwards 2000). I den studien användes även längre uppvärmningstider, upp till 5,5 timmar, och detta fick smörjoljan att värmas något, upp till ca 10˚C, även om denna primärt inte värmdes. Detta resultat med samtidig värmning av smörjoljan när kylvattnet värmts, eller vice versa, har dock inte kunnat uttydas i mätmaterialet för denna studie.

En möjlig effekt av att värma smörjoljan är att det kommer att bildas koksbeläggningar i oljetråget. Därför kontrollerades både smörjolja och oljetråg efter att testerna genomförts. Ingen koksbildning kunde påvisas och oljan var även den opåverkad utifrån vad som kunde ses och kännas.

För att undersöka bränsleförbrukning och temperaturutveckling efter motorstart valdes den enklast tänkbara körcykeln, tomgång. Motivet för detta val var att alternativet skulle vara körning utomhus på allmän väg. Ett sådant alternativ bedömdes medföra en större spridning i uppmätt förbrukning jämfört med att ha motorn på tomgång. Med en större spridning skulle möjligheten att påvisa en motorvärmareffekt minska.

Ett problem är om motorn går på olika varvtal för olika uppvärmningsalternativ. Vad som egentligen eftersträvades i försöken var en ”körcykel” med samma motorvarvtal för samtliga prov. Samma varvtal och samma provtider skulle innebära identiska körcykler. Detta skulle kunnat ha uppnåtts genom att med gaspedalen reglera varvtalet till en nivå som var minst lika hög som det högsta tomgångsvarvtalet i de olika proven. En sådan manuell reglering skulle dock kunna innebära en ny felkälla som följd av den mänskliga faktorn vid hantering av gaspedalen. Alternativet var att i stället låta motorn välja varvtal fritt och att i efterhand normera uppmätt bränsleförbrukning mot antal motorvarv. Detta motsvarar i princip en normering av förbrukning mot körsträcka om fordonet skulle ha körts på väg. Att låta motorn gå på tomgång ger en mindre spridning i mätdata och därmed en bättre möjlighet att avgöra vilket alternativ som är bäst. Nackdelen med detta alternativ skulle vara mindre representativa kallstarttillägg ifråga om storlek, däremot inte ifråga om tecken.

Temperaturutveckling efter motorstart för smörjoljan visar att temperaturen initialt sjunker något i alternativet då det mediet har värmts. Det beror sannolikt på att smörjoljan inte har cirkulerat under uppvärmningen och i början av motorkörningen kommer kallare olja att blandas med den uppvärmda. Generellt visar temperaturutvecklingen att alternativen med motorvärmning snabbare hamnar på samma temperatur, efter drygt 600 sekunder. Alternativet utan motorvärmning ligger relativt länge på en lägre temperatur

Katalysatorns temperatur har betydelse för rening av avgaser. Den katalytiska reningen når full effekt först när den uppnått en arbetstemperatur som normalt brukar vara ca 300˚C (Weilenmann et al 2009). Den temperaturen uppnåddes inte i testfallen av den anledningen att motorn inte fick jobba tillräckligt då fordonet stod stilla och gick på tomgång. För katalysatorn finns en trend att ju högre temperaturen är i motorblocket vid start desto långsammare blir uppvärmning av katalysatorn, vilket inte är fördelaktigt för avgasreningen.

Detta beror på att mängden oförbränt bränsle minskar med ökande kylvattentemperatur. Katalysatorn utnyttjar det oförbrända bränslet för temperaturökning[4]. Men eftersom temperaturen i katalysatorn inte kom upp i arbetstemperatur går det inte att säga något om avgasreningen i respektive alternativ. Vatten- eller oljeuppvärmning behöver inte innebära att katalysatorn snabbare kommer upp i arbetstemperatur. Katalysatorn utnyttjar överskottsbränslet i avgaserna. Här finns då två motriktade effekter av kallstart utan uppvärmning:

- Snabbare uppvärmning
- Mera att rena.

För katalysatorn inträffar även en tydlig temperaturplatå vid ca 50˚C och vid de olika alternativa testerna och vad den beror på är något osäkert. En tanke är att det kan bero på att styrsystemet gör något för att få upp katalysatorn till den temperatur som behövs för den att tända för att sedan göra lagom mycket av detta för att hålla den där.

Sett till bränsleförbrukningen så återfinns de största skillnaderna i startögonblicket och under de följande första minuterna. Skillnaden i bränsleförbrukningen de första 100 sekunderna är 43 % högre då motorn inte värmdes respektive 29 % högre då smörjoljan värmde och relativt uppvärmning via kylvattnet. En skillnad som blev mindre ju längre tid motorn var igång.

Genom testerna har det visats att kallstartseffekter i form av bränsleförbrukning kan minskas genom att förvärma motorn. Hypotesen att oljevärmare skulle kunna ge större nytta per inkopplad tidsenhet än vattenvärmare är därmed inte bekräftad. Resultaten går också emot andra studier som visat att en varmare olja leder till minskad bränsleförbrukning under kallstartsförloppet i en körcykel (Andrews et al. 2007; Janowski et al. 2011).

För att undersöka möjliga förklaringar till detta resultat har samtal förts med en person (Rolf Johansson) med kunskap i motorteknik och som tidigare arbetet med på Volvo. Vid detta samtal framkom att en förklaring till resultatet är att insprutningen av bränsle styrs av vattentemperaturen. Att värma smörjoljan ger i detta fall ingen effekt på bränsleinsprutningen då styrsystemet är inställt på att det behövs mer bränsle eftersom kylvattnet fortfarande är kallt. Effekten av att en varmare smörjolja eventuellt minskar friktionsförlusterna i motorn kommer inte systemet fullt till godo. I samtalet framkom också att det i modernare motorer finns oljekylare som innebär att det blir en viss uppvärmning av oljan då kylvattnet värms upp. Dessutom skulle förmodligen en minskad friktion i smörjoljan ha en större effekt för framhjulsdrivna bilar genom att det då också går att få en uppvärmning av transmissionen.

Om hela energianvändningen tas i beaktande där elförbrukning för motorvärmningen och bränsleförbrukningen för motorkörning räknas tillsammans, så kunde det uttydas att motorvärmning av kylvattnet inte nödvändigtvis är det mest energieffektiva. Sett till den totala energianvändningen kunde till och med alternativet med att inte förvärma motorn vara en lämplig valmöjlighet. Men det kan betonas att en motorvärmning kommer att leda till lägre emissioner på lokal nivå. Dessutom sett till genomsnittlig elproduktion i Sverige så sker ca 52 % med vattenkraft och vindkraft, och ca 38 % med kärnkraft, vilka kan räknas som emissionsfria produktionsalternativ (Energimyndigheten 2013). Sett till fördelarna med en lägre bränsleförbrukning och därmed lägre lokala emissioner

[4] Det är av denna anledning som katalysatorbilar inte bör startas genom bogsering. Mängden oförbränt bränsle i katalysatorn kan bli så stor att denna överhettas.

från transporter skulle det kunna vara acceptabelt att godta en lägre total energieffektivitet.

Slutsatsen av pilotstudien, såsom den genomfördes, är att det inte är mer bränsle-effektivt att förvärma motorn genom smörjoljan istället för att förvärma kylvattnet. Att förvärma smörjoljan ger dock något lägre bränsleförbrukning relativt att inte ha någon motorvärmning. Eventuellt finns ingen energivinst med kylvattenvärmning i och med värmarens elbehov, men däremot en vinst beträffande lägre lokala emissioner med lägre kallstartseffekter.

Referenser

Ahlvik, P., Almén, J., Westerholm, R., Ludykar, D. (1997) Impact of a Block Heater on Regulated and Some Unregulated Emissions from a Gasoline Fueled Car at Low Ambient Temperatures, SAE Technical Paper 972908.

Andrews, G., Ounzain, A., Li, H., Bell, M., Tate, J., Ropkins.K. (2007) The Use of a Water/Lube Oil Heat Exchanger and Enhanced Cooling Water Heating to Increase Water and Lube Oil Heating Rates in Passenger Cars for Reduced Fuel Consumption and CO2 Emissions During Cold Start., SAE Technical Paper 2007-01-2067.

Energimyndigheten (2013) Energiläget 2013, Statens Energimyndighet, ET 2013:22

Favez, J-Y., Weilenmann, M. Stilli, J. (2009) Cold start extra emissions as a function of engine stop time: Evolution over the last 10 years, Atmospheric Environment 43 (2009) 996–1007

Gumus, M. (2009) Reducing cold-start emission from internal combustion engines by means of thermal energy storage system, Applied Thermal Engineering 29 (2009) 652–660

Hammarström, U., Edwards, H. (2000) Funktionssamband för temperaturutveckling i bilmotorer, VTI, M896

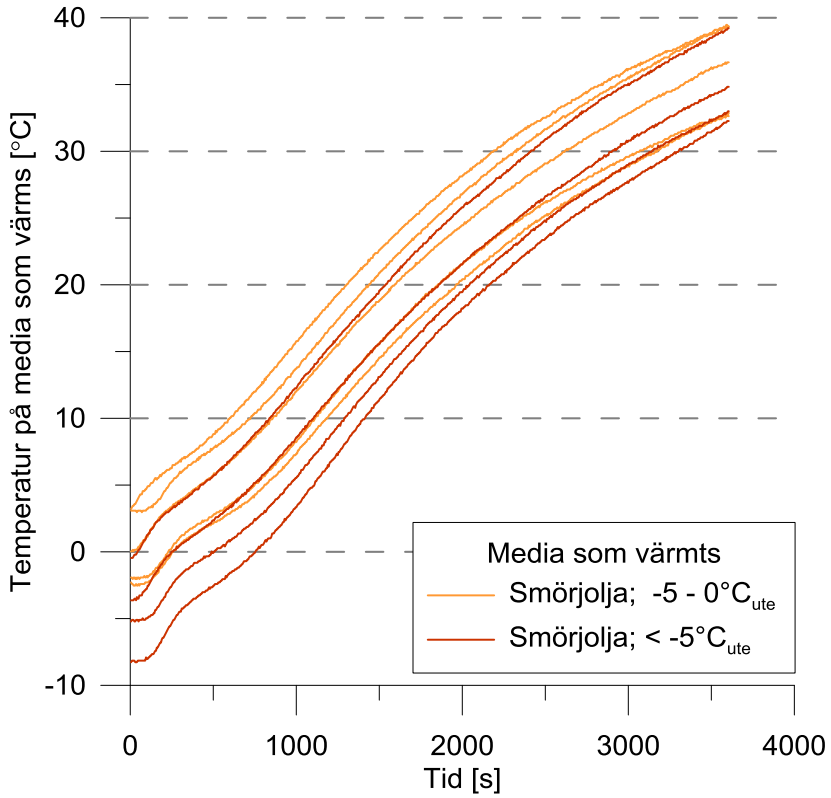
Hammarström, U. (2002) Betydelsen av korta motoravstängningar och körtid för avgasemissioner från bensindrivna bilar med och utan katalysator, VTI meddelande 931

Janowski, P., Shayler, P.J., Robinson, S. Goodman, M. (2011) The effectiveness of heating parts of the powertrain to improve vehicle fuel economy during warm-up, Vehicle Thermal Management Systems Conference and Exhibition (VTMS10) 2011, Pages 211–221

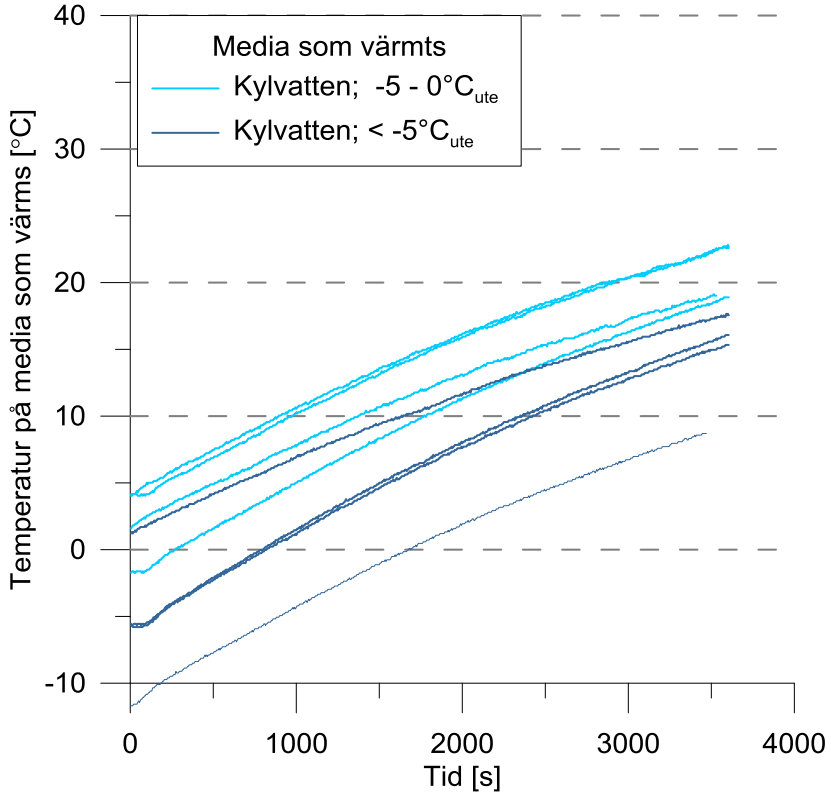
Ludykar, D., Westerholm, R., Almén, J. (1999) Cold start emissions at +22, -7 and - 20˚C ambient temperatures from a three-way catalyst (TWC) car: regulated and unregulated exhaust components, The Science of the Total Environment 235 (1999) 65-69.

Weilenmann, M., Favez, J-Y., Alvarez, R. (2009) Cold-start emissions of modern passenger cars at different low ambient temperatures and their evolution over vehicle legislation categories, Atmospheric Environment 43(2009) 2419-2429

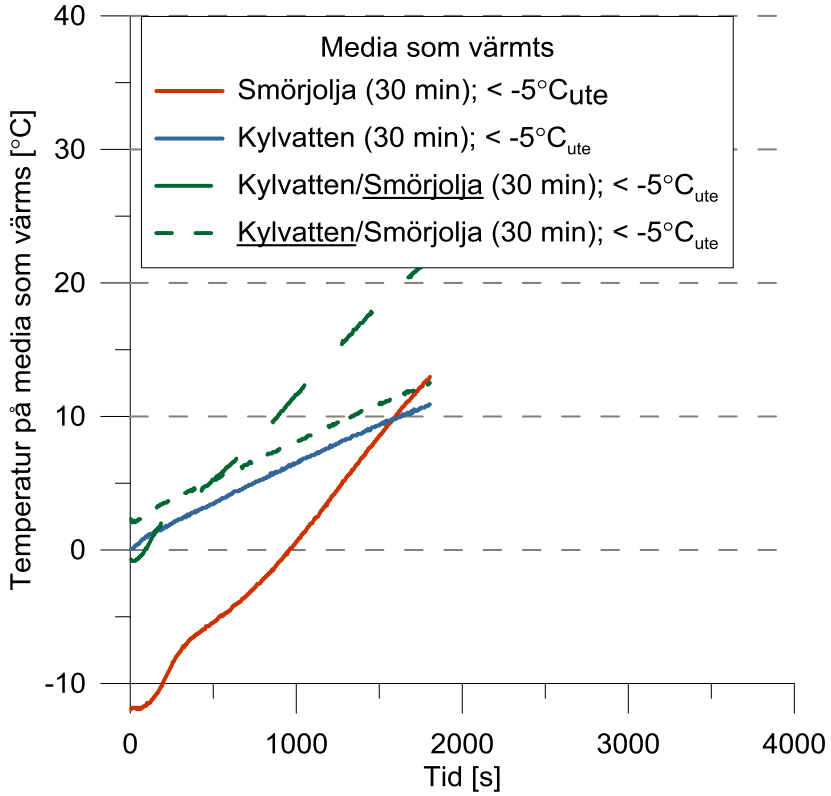
BILAGA 1. Absolut temperaturutveckling vid motorvärmning och för de olika testerna.



Figur I Absolut temperaturutveckling av smörjolja vid uppvärmning i 60 min.

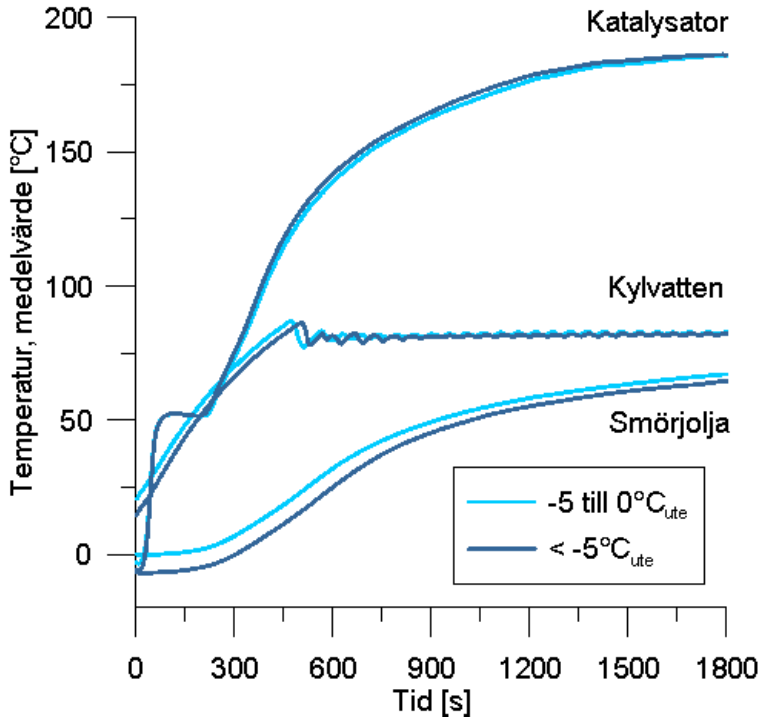


Figur II Absolut temperaturutveckling av kylvatten vid uppvärmning i 60 min .

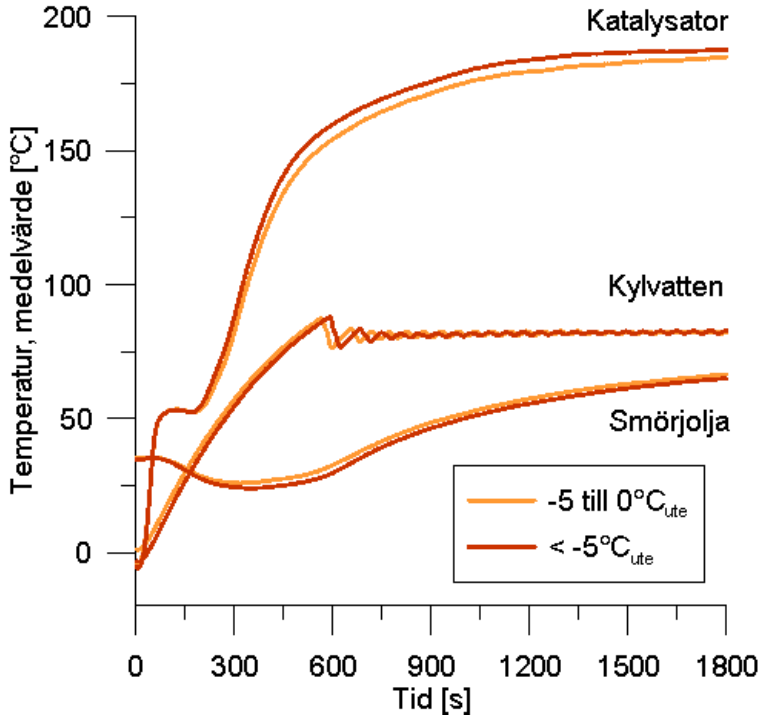


Figur III Absolut temperaturutveckling vid uppvärmning i 30 min av kylvatten, smörjolja samt samtidig uppvärmning av kylvatten och smörjolja.

BILAGA 2 Medelvärde av temperaturutveckling vid olika intervall av utetemperaturen av smörjolja, kylvatten och katalysator vid 30 min tomgångskörning.

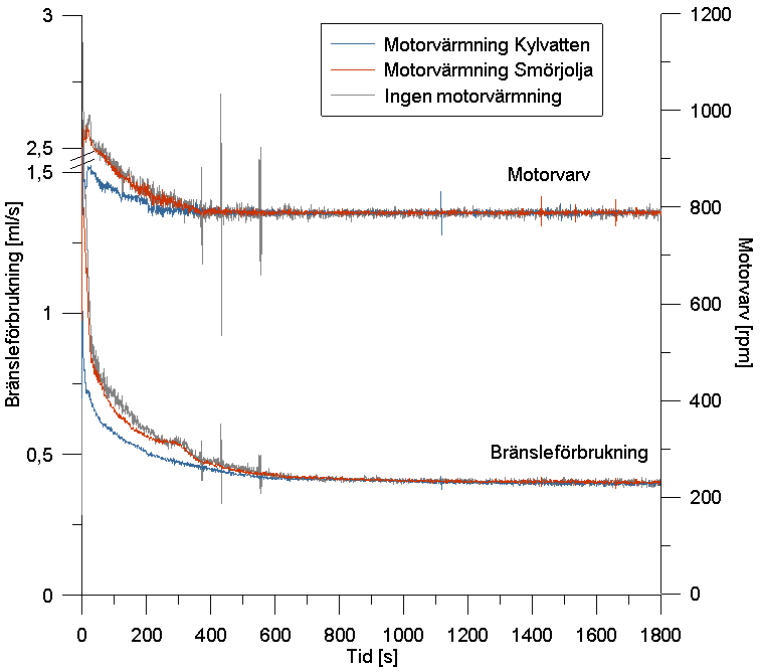


Figur IV Medelvärde temperaturutveckling vid 30 minuters tomgångskörning med föregående uppvärmning av kylvattnet.

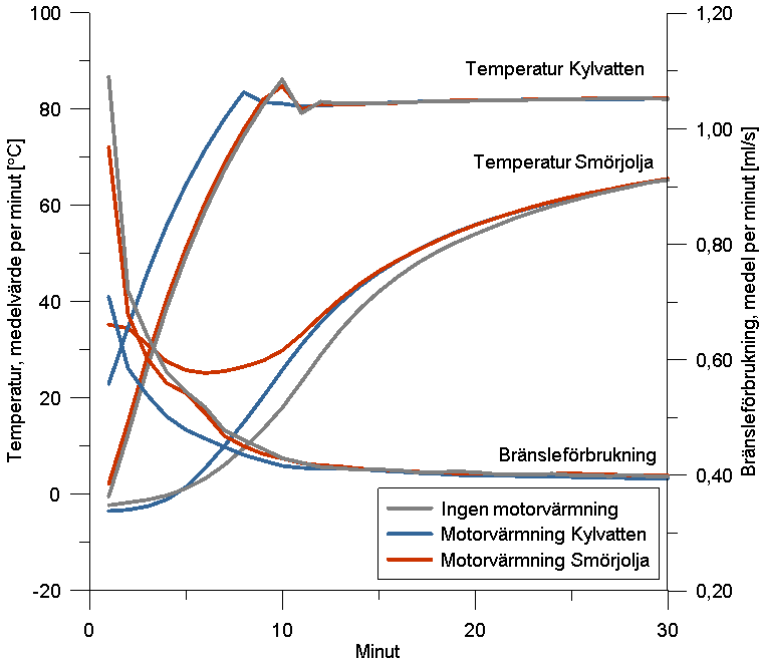


Figur V Medelvärde temperaturutveckling vid 30 minuters tomgångskörning med föregående uppvärmning av smörjolja.

BILAGA 3 Medelvärden bränsleförbrukning och motorvarvtal vid motorkörning efter motorvärmning med kylvatten respektive smörjolja samt utan föregående motorvärmning.



Figur VI Motorvarvtal och bränsleförbrukning. Medelvärden för 30 minuters tomgångskörning med föregående uppvärmning av kylvatten respektive smörjolja samt utan föregående motorvärmning.



Figur VII Temperaturutveckling i kylvatten och smörjolja samt bränsleförbrukning. Medelvärden per minut för 30 minuters tomgångskörning med föregående uppvärmning av kylvatten respektive smörjolja samt utan föregående motorvärmning.

www.vti.se
vti@vti.se

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

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

vti

HUVUDKONTOR/HEAD OFFICE
LINKÖPING
POST/MAIL SE-581 95 LINKÖPING
TEL +46(0)13 20 40 00
www.vti.se

BORLÄNGE
POST/MAIL BOX 92
SE-721 29 BORLÄNGE
TEL +46(0)243 446 860
www.vti.se

STOCKHOLM
POST/MAIL BOX 55685
SE-102 15 STOCKHOLM
TEL +46(0)8 555 770 20
www.vti.se

GÖTEBORG
POST/MAIL BOX 8072
SE-402 78 GÖTEBORG
TEL +46(0)31 750 26 00
www.vti.se

LUND
POST/MAIL Medicon Village
SE-223 81 LUND
TEL +46(0)46 540 75 00
www.vti.se