JTI-rapport
Lantbruk & Industri
309

Utveckling av relevanta arbetscykler och emissionsfaktorer samt reducering av bränsleförbrukning för arbetsmaskiner (EMMA)

Development of relevant work cycles, emission factors and reduction of fuel consumption for working machines

Per-Anders Hansson
Dan Haupt
Kjell Holmgren
Bengt Johansson
Magnus Lindgren
Björn Löfgren
Kent Nord
Olle Norén
Ola Pettersson
Christian Wetterberg

© JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik 2002
Enligt lagen om upphovsrätt är det förbjudet
att utan skriftligt tillstånd från copyrightinnehavaren
helt eller delvis mångfaldiga detta arbete.

ISSN 1401-4963

Innehåll

Förord ... 5

Sammanfattning ... 7

Summary ... 8

Bakgrund ... 9

Mål ... 13

Projektet har bestått av följande delprojekt ... 13

Delrapport från arbetsgrupperna ... 13
- Kartläggning av antal arbetsmaskiner och deras användning ... 15
- Jordbruks- och Anläggningsmaskiners motorbelastning och avgas-emissioner ... 18
- Skogsmaskiners motorbelastning och avgasutsläpp ... 28
- Mätning av emissioner vid dynamiska förlopp ... 39
- Mätning av reglerade och icke-reglerade emissioner från fyra arbets-motorer ... 42

Artiklar och papers ... 50
- Development of Relevant Work Cycles and Emission Factors for Off-Road Machines ... 50
- A system for onboard determination of engine power by measuring fuel consumption at 1 Hz ... 52
- Utrustning för kontinuerlig effektmätning på lantbrukstraktor ... 53
- A methodology for measuring the effects of dynamic loads on the fuel efficiency of agricultural tractors ... 55
- Effects of Engine Control Strategies and Transmission Characteristics on the Exhaust Gas Emissions from an Agricultural Tractor ... 57
- A Comparison between Different Methods of Calculating Average Engine Emissions for Agricultural Tractors ... 58
- Particles and emissions from a diesel engine equipped with a humid air motor system ... 60
- Evaluating a fischer-tropsch fuel, ECO-PAR™, in a Valmet diesel engine .. 61
- Framtida utveckling av emissionskrav för arbetsmaskiner ... 63

Sammanfattande diskussion ... 65

Slutsatser ... 71

Referenser ... 72

Förord

Arbetsmaskiner förbrukar en mycket stor del av det dieselbränsle som används i landet. En stor del av avgasemissionerna härrör följaktligen från dessa maskiner. Det är därför viktigt att ta fram kunskap om vilka emissioner som avges och på vilka olika sätt emissionerna kan minskas. Som ett led i detta arbete har projektet ”Utveckling av relevanta arbetscykler och emissionsfaktorer samt reducering av bränsleförbrukningen för arbetsmaskiner genomförts. Projektet slutredovisas i denna rapport.

Projektet har finansierats av Kommunikationsforskningsberedningen (numera en del av VINNOVA), Energimyndigheten, Vägverket och LRF. Dessutom har Volvo Construction Equipment ställt motorer och Valtra Traktor AB traktorer och motorer till projektets förfogande. Vidare har JTI disponerat en större traktor från Lantmännens Maskin Import AB. Partek Forest AB har välvilligt ställt motor, maskiner, mark och arbetstid till projektets förfogande.

Hägglunds Maskiner AB; AB KJ Maskiner; Vägverket Produktion, Täby; Vägverket Produktion, Gnista Uppsala, och Rolf Lernskog har välvilligt ställt maskiner och förare till förfogande. Dessutom har Ove Eriksson, Väsby Alunda; Gunnar Forsberg, Norrby Österbybruk; Hans Fürster, Funbo Prästgård; Karl-Gunnar Andersson, Funbo Åkerby; Lars Mattsson, Nyvla Bälinge, och Sätuna AB, Björklinge, ställt redskap, mark och arbetstid till projektets förfogande.

Projektet har genomförts av ett konsortium bestående av:

JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik	(JTI)
Institutionen för lantbruksteknik	(LT, SLU)
SkogForsk	(Skog)
Svensk Maskinprovning AB	(SMP)
Luleå Tekniska Universitet	(LTU)
Vägverket Produktion	(VägvP)

Projektet har letts av JTI.

I JTI:s del av projektet har Jan Bergström utfört en stor del av fältarbetet. Han har i de flesta fall svarat för kontakter med maskinförare och försöksvärdar, fungerat som maskinförare vid specialstudier och medverkat vid utrustning av de olika maskinerna med instrumentering etc. I det senare arbetet har Torbjörn Morén deltagit. Anders Ringmar och Marianne Tersmeden har medverkat i vissa fältstudier

Till alla som på ett eller annat sätt bidragit till projektets genomförande framföres härmed ett hjärtligt tack.

Uppsala i december 2002

Lennart Nelson
Chef för JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik

Sammanfattning

Arbetsmaskiner förbrukar en mycket stor del av dieselbränslet i Sverige. Enligt en utredning som gjorts för Naturvårdsverkets räkning utgöra emissionerna från arbetsmaskinernas motorer ca 23 % av den totala emissionsmängden (SCB, 1999). Syftet med föreliggande projekt har varit att ta fram kunskap om vilka emissioner som avges och på vilket sätt bränsleförbrukning och emissioner kan minskas.

Projektet har finansierats av Kommunikationsforskningsberedningen (numera en del av VINNOVA), Energimyndigheten, Vägverket och LRF.

Vidare har Volvo Construction Equipment ställt motorer och Valtra Traktor AB traktorer och motorer till projektets förfogande. JTI har även disponerat en större traktor från Lantmännens Maskin Import AB. Partek Forest AB har välvilligt ställt motor, maskiner, mark och arbetstid till SkogForsks disposition.

Hägglunds Maskiner AB; AB KJ Maskiner; Vägverket Produktion, Täby; Vägverket Produktion, Gnista Uppsala, och Rolf Lernskog har välvilligt ställt maskiner och förare till förfogande. Dessutom har Ove Eriksson, Väsby Alunda; Gunnar Forsberg, Norrby Österbybruk; Hans Fürster, Funbo Prästgård; Karl-Gunnar Andersson, Funbo Åkerby; Lars Mattsson, Nyvla Bälinge, och Sätuna AB, Björklinge, ställt redskap, mark och arbetstid till projektets förfogande.

Projektet har genomförts av ett konsortium bestående av: JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik (JTI), Institutionen för lantbruksteknik (LT, SLU), SkogForsk (Skog), Svensk Maskinprovning AB (SMP), Luleå Tekniska Universitet (LTU) samt Vägverket Produktion (VägvP). Projektet har letts av JTI.

Resultaten av projektet kan sammanfattas i följande punkter:

Operationsspecifika vägningsfaktorer
Dieselmotorn visar för varierande belastning och varvtal generellt mycket stora variationer i mängden alstrade emissioner i relation till den producerade mekaniska effekten. Studierna visar att det föreligger stora skillnader i belastande moment och motorvarvtal för olika arbetsoperationer. Det är därför nödvändigt att man använder operationsspecifika vägningsfaktorer vid beräkning av emissioner från arbetsmaskiner. Detta gäller såväl reglerade som icke-reglerade emissioner.

Effekter av transienta belastningar
Förekomsten av transienta belastningar är starkt operationsspecifik. Vid många arbetsoperationer är transienterna små, vid andra mycket betydande. Studierna visar att ökningen av bränsleförbrukning och emissioner vid starkt transienta arbetsoperationer är så stora att hänsyn bör tas till dem vid beräkning av emissionsmängder.

Hur kan bränsleförbrukning och emissionsmängder reduceras?
En grundläggande faktor när det gäller att reducera bränsleförbrukning och emissioner är att hela maskinsystemens verkningsgrad beaktas. Avsevärda reduceringar bör kunna uppnås genom ännu bättre transmissioner och hydraulsystem. Viktigt är att söka minska transienta motorbelastningar och att utveckla system för återvinning av läges- och bromsenergi. En annan viktig faktor är att inom

jordbruket välja rätt maskin- och redskapsstorlek i förhållande till den tillgängliga motoreffekten.

Summary

Off-road machines consume a considerable amount of the diesel fuel used in Sweden. According to an investigation made on behalf of the Swedish Environmental Protection Agency, the emissions from off-road machines are 23% of the total amount of emissions. The objective of the project presented in this report was to generate knowledge about which emissions are produced and how the fuel consumption and emissions may be reduced.

The project has been financed by the Swedish Transport & Communications Research Board (today part of VINNOVA, Swedish Agency for Innovation Systems), the Swedish Energy Agency, the National Highway Authority and the Federation of Swedish Farmers.

Furthermore, the project has had engines from Volvo Construction Equipment and tractors and engines from Valtra Tractor AB to its disposal. JTI has also had a large tractor from Lantmännens Maskin Import AB to its disposal. SkogForsk has had an engine, machines, forest and labour-time from Partek Forest AB.

Other people and companies that in one way or another has contributed to the project are: Hägglunds Maskiner AB; AB KJ Maskiner; Vägverket Produktion, Täby; Vägverket Produktion, Gnista, Uppsala; Rolf Lernskog; Ove Eriksson, Väsby Alunda; Gunnar Forsberg, Norrby Österbybruk; Hans Fürster, Funbo Prästgård; Karl-Gunnar Andersson, Funbo Åkerby; Lars Mattsson, Nyvla Bälinge, and Sätuna AB, Björklinge.

The project has been conducted by JTI – Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineerging; Department of Agricultural Engineering, SLU; SkogForsk, the Forestry Research Institute of Sweden; SMP, the Swedish Machinery Testing Institute; Luleå University of Technology and the Swedish National Road Administration, Construction and Maintenance.

The project has been co-ordinated by JTI.

The results are summarised in the following:

Operation specific weighing factors

For varied load and varied engine speed, the diesel engine shows in general very large variation in the amount of emissions produced in relation to the mechanical power produced. The studies show that there are considerable differences in loading torque and engine speed for different work operations. Consequently, it is necessary to use operational specific weighing factors when calculating emissions from working machines. This applies for regulated as well as non-regulated emissions.

Effects of transient loading

The presence of transients is strongly specific for the work operation in question. In many operations, the transients are small while in other they are very signi-

ficant. The studies show that fuel consumption and emissions increase considerably at operations that are very transient. This must be regarded when calculating the amount of emissions.

Reduction of fuel consumption and emissions
A fundamental factor in the reduction of fuel consumption and emission is that the whole machine system has high efficiency. Considerable reduction may be obtained through even better transmissions and hydraulic systems. It is important to try to decrease the transient load of the engines and to develop systems that regain potential energy and brake energy. An important factor in agriculture is to select an adequate size of the machines and implements in relation to available engine power.

Bakgrund

Idag betraktar vi emissioner från förbränningsmotorer som ett mycket allvarligt miljöproblem. Växthuseffekten, försurning, bildning av marknära ozon, partiklar och kväveoxider har gjort intresset, och också oron, för avgasemissioner mycket stort.

Många av dessa problem är särskilt uttalade för arbetsmaskiner som inte varit underställda lagfästa avgaskrav. Först år 1999 infördes en lag om åtgärder mot buller och avgaser från mobila maskiner, föranledd av nya regler i det s.k. arbetsmaskindirektivet (97/68/EG). Eftersom arbetsmaskiner dessutom står för en mycket stor del av utsläppen, enligt SCB:s statistik år 1995 uppgick arbetsmaskinernas sammanlagda dieselförbrukning till 1 450 000 m^3 medan totalförbrukningen var 3 000 000 m^3, är det extra viktigt att studera denna grupp av maskiner.

Genomförda kartläggningar av utsläppen från arbetsmaskiner påvisar också ett stort behov av åtgärder, idag avger alltför många äldre arbetsmaskiner höga nivåer av partiklar och kväveoxider. Olyckligtvis används dessutom många av dessa maskiner i tätorter där den lokala hälso- och miljöbelastningen är stor.

Hos de stora motortillverkarna pågår ett kontinuerligt utvecklingsarbete som tar sikte på att förbättra verkningsgraden och därmed minska bränsleförbrukningen samt att minska emissionerna. På sikt sett kan man därför räkna med såväl lägre bränsleförbrukning som lägre emissioner i takt med att nya motorer och maskiner sätts i drift. Under lång tid framöver kommer vi emellertid att få räkna med att en stor del av maskinparken drivs av redan befintliga motorer.

Det är därför viktigt att studera vad man genom olika åtgärder kan åstadkomma ifråga om bränslebesparing och minskning av emissioner på den befintliga maskinparken. Införandet av alternativa arbetsoperationer och förändrade körmönster kan här betyda väsentliga besparingar. Det kan för jordbrukets del exempelvis gälla nya jordbearbetningsmetoder. I Johansson, 1998 visas exempelvis att en övergång från konventionella bearbetningssystem till andra alternativ kan innebära en besparing av 15-20 % bränsle. Maskinernas konstruktion är också betydelsefull. Som exempel kan nämnas att man genom användning av en ackumulator under lyftarmen på en grävmaskin kan återvinna en del av den lägesenergi som frigörs när lasten sänks.

Stora resurser satsas sedan åtskilliga år på att bestämma miljöbelastningen vid framställning av olika produkter. Biobränslen är en sådan produkt. En form av analys som i detta sammanhang används är s.k. livscykelanalyser (LCA). En huvudanvändning för LCA är att vara ett hjälpmedel vid val av material eller processmetod för att framställa en produkt med så låg miljöbelastning som möjligt. Det är naturligtvis oerhört viktigt att de indata som används vid LCA stämmer överens med verkligheten. Hela metodiken har emellertid i en del fall ifrågasatts beroende på osäkerheten i de indata som använts. En väsentlig del av miljöbelastningen utgörs av emissioner från arbetsmaskiner. *Mycket tyder på att just de emissionsdata som härvid används är behäftade med mycket stora fel*. En annan mycket viktig faktor är bränsleförbrukningen. Tillgång på relevanta data saknas i stor utsträckning även i detta fall.

Emissionsdata baseras i regel på laboratorieprov där motorn körts på en chassidynamometer eller i en motortestbänk. Testerna utförs efter någon standardiserad körcykel. Vanliga körcykler är ECE R49 som är en 13-mode test och ISO 8178 som är en 8-mode test. De emissionsvärden som sedan anges beräknas med användande av vägningsfaktorer för varje mode.

De vägningsfaktorer som används stämmer av allt att döma inte överens med de körprofiler som gäller för olika arbetsoperationer med arbetsmaskiner. Det har i en pilotstudie (Hansson et al., 1998) visats att det för jordbrukstraktorer föreligger mycket stora skillnader i emissioner vid olika arbetsoperationer. När det gäller NO_x var emissionerna exempelvis drygt 1,6 ggr större vid lastning än vid stubbbearbetning. *Att använda ett enda värde för allt traktorarbete leder därför till stora fel*. Den nämnda studien visar också att nu vanligen använda LCA-indata, som anges i SOU 1992:17, ger emissionsvärden som för HC är 7-8 ggr för höga och för CO i extremfall 8 ggr för höga vid tunga arbeten som harvning. LCA-siffrorna för NO_x-emissioner stämmer bättre, men även här ligger de i genomsnitt 50 % högre än vad studien visar. Felen kan alltså bli mycket stora och risken för att felaktiga slutsatser dras är avsevärd.

Även när det gäller andra arbetsmaskiner kan man misstänka att emissionsvärden baserade på de tidigare nämnda körcyklerna inte är representativa för verkliga emissioner. Vid transportarbete med exempelvis skotare och dumprar ligger effektuttaget sannolikt högt under större delen av körningen, vilket starkt avviker från viktningsvärdena i körcyklerna. I andra fall handlar det om transienta förlopp, exempelvis för skogsskördare, medan körcyklerna tas fram vid statisk belastning för varje körpunkt.

Motorfabrikanterna optimerar naturligtvis sina motorer efter de gällande provmetoderna, vilket innebär att arbetsmaskinernas motorer kan vara optimerade för fel belastningsområde med onödigt höga emissioner som följd. Det kan även finnas stora skillnader mellan emissionerna vid arbetsoperationer där effektuttag och motorvarv är relativt konstant och sådana där belastningen är dynamisk.

Anledningen till intresset för reglerade och några icke-reglerade utsläpp

Fordonsavgaser är en mycket komplex blandning av kemiska föreningar. Man har uppskattat det totala antalet ämnen i avgaserna till mellan 10 000 och 15 000. En mindre del av dessa är identifierade. Fullständig förbränning av drivmedel ska i

det ideala fallet endast ge upphov till koldioxid (CO_2) och vatten men eftersom förbränningen sker vid höga temperaturer kommer också luftens kväve att reagera med syre och bilda kväveoxider (NO_X). Då en vanlig fordonsmotor dessutom arbetar under olika driftsbetingelser, dvs. med olika varvtal och last, är det mycket svårt att erhålla fullständig förbränning och oförbränt och ofullständigt förbränt drivmedel i form av olika kolväteföreningar och kolmonoxid kommer att emitteras.

Utsläppsskillnaderna är också väldigt stora; CO_2 och vatten mäts i kg, CO, HC och NO_X i g, aldehyder och lätta aromater i mg och PAH och Nitro-PAH i mängderna ug.

Vid all förbränning i förbränningsmotorer bildas koldioxid och vatten. Även om koldioxid inte är direkt giftigt i de koncentrationer som bildas vid förbränning ifrån motorer är ändå utsläppen idag ansett som ett stort problem. Halten av koldioxid ökar hela tiden i atmosfären och eftersom koldioxid är en växthusgas befarar många forskare konsekvenser i form av stora och dramatiska klimatförändringar över hela jorden. En del forskare förutsäger en global temperaturökning på mellan 1,4-5,8 ºC och att havsnivån stiger med mellan 9 och 88 cm under de närmaste hundra åren. Internationellt finns därför en strävan efter att minska utsläppen av koldioxid. Idag används t ex flitigt uttrycket ”hållbar utveckling” när ansvariga politiker talar om den framtida energiförsörjningen på transportområdet. Med hållbar utveckling menar man oftast att nettotillskottet av koldioxid till atmosfären är omkring noll procent från den energikälla man för stunden pratar om. Oftast syftar man på biobaserade drivmedel vilka ger ett litet eller inget tillskott av koldioxid. Även en bränslebesparande åtgärd eller ökad verkningsgrad på en motor ger fördelar i form av mindre utsläpp av koldioxid.

Den dominerande bildningsmekanismen för kväveoxider är reaktionen mellan luftens syre och kväve. Initialt bildas i huvudsak NO men genom oxidation i avgasrör och i atmosfären oxideras den så småningom vidare till NO_2. Kväveoxider (NO_X) betraktas i huvudsak som ett miljöproblem eftersom de bidrar till försurning av mark och vatten och övergödning av sjöar och hav. Kväveoxiderna har också effekter på hälsan genom påverkan på lungfunktion med sammandragning av luftrören och besvär och symtom från övre luftvägarna. Astmatiker är en speciellt utsatt grupp och kvävedioxid har nyligen visats öka den astmareaktion som orsakas av allergen. Under inverkan av solljus bildar dessutom NO_X tillsammans med s.k. lättflyktiga organiska föreningar marknära ozon. Ozon är livsnödvändig i stratosfären eftersom den bl. a. effektivt hindrar skadlig ultraviolett strålning att nå marken men är direkt skadlig på låg höjd. Ozonet är en mycket stark oxidant och skadar växter och ger upphov till retningssymtom och inflammationer från luftvägarna hos människor. Cancerriskerna med ozon är ej ännu utvärderade. Tyvärr når det bildade ozonet aldrig stratosfären där det skulle göra mera nytta.

Kolmonoxid (CO) eller koloxid bildas vid ofullständig förbränning av organiska föreningar. Vid höga halter i små dåligt ventilerade utrymmen har många dödsolyckor inträffat. Orsaken är att koloxid som tas upp via lungorna binder väldigt starkt till det syretransporterande hemoglobinet i blodet. Eftersom den binder så starkt kan den förhindra att syre tas upp. Den mängd CO som emitteras från fordon (utomhus) bedöms dock inte vara något stort problem i Sverige. CO

påverkar bl. a. blodets syreupptagande förmåga och kan vid högre halter vara ett problem för personer med hjärt- och kärlsjukdomar.

Kolväten (HC) är ett samlingsnamn för kolväteföreningar. Det som emitteras från avgasröret som kolväten är som regel oförbrända eller delvis förbrända bränslekolväten. Under det här samlingsnamnet döljer sig både kolväten som anses relativt ogiftiga (t.ex. metan, etan och propan) men här finns också flera undergrupper av kolväten, bland annat de s.k. polycykliska aromatiska kolvätena (PAH) varav vissa betraktas som mycket cancerogena anses som ”värstingar” ur hälsosynpunkt. En grupp av de s. k. omättade kolvätena, t.ex. eten, propen och butadien, har visat sig vara cancerogena på försöksdjur eller människa. En annan grupp – PAH – innehåller många kända cancerframkallande ämnen, t.ex. bens(a)pyren. Då PAH består av stora molekyler förekommer dessa i omgivningsluften till största delen som partikelbundna. Utsläppen av PAH är som regel större från dieseldrivna fordon än från bensinbilar per fordonskilometer. Bland övriga kolväten av intresse märks t.ex. xylen, toluen och bensen från bensindrivna bilar. Xylen och toluen påverkar centrala nervsystemet och kan ge effekter som huvudvärk, koncentrationssvårigheter, trötthet m.m. vid högre doser. Bensen är klassat som cancerframkallande för människa. Bland aldehyderna kan man nämna formaldehyd som är klassad som cancerogent och sensibiliserande och acetaldehyd som klassas som cancerogen.

Forskningen har också alltmer börjat intressera sig för partiklar. Sedan tidigare är det känt att bensinfordon, men framförallt dieselfordon, emitterar partiklar. Partiklarna är små fasta eller vätskeformiga föroreningar i avgaserna. Man kan förenklat säga att ”ju mindre partikel desto farligare”. Små partiklar (<10 µm) förs nämligen ned i lungorna och om de är mindre än 1 µm når de ända ner till alveolerna. Förut trodde man att hälsorisken med inandning av dessa partiklar i huvudsak var relaterad till hälsofarliga ämnen som fanns på partikeln. Vissa, nyare, studier indikerar dock att inandning av partiklar kan ge tumörer i lungan hos råttor även om de inte innehåller kända cancerframkallande ämnen. Sedan tidigare vet man också att partiklar påverkar lungfunktionen och därför ger extra mycket symtom hos känsliga grupper som barn, astmatiker och hjärt/kärlsjuka.

Olika drivmedel ger också upphov till olika utsläpp. Bränslets kemiska sammansättning avspeglas till stor del i fordonets emissioner till luften. Diesel ger t.ex. förhållandevis stora utsläpp av partiklar och polycykliska aromatiska kolväten (PAH). Ibland säger man att dieseln släpper ut 10-15 gånger mer partiklar än bensinbilarna. Alkoholhaltiga bränslen i sin tur kan ge större utsläpp av aldehyder och ättiksyra. I avgaserna från bensin, innehållande bensen, toluen och xylen finner man följdriktigt också bensen, toluen och xylen.

Svavelhalten i dagens drivmedel är oftast låg. Vid förbränning med svavelhaltiga bränslen bildas svaveloxider (SO_X) som förutom sin försurningseffekt på mark och vatten och korrosion på byggnader också har en negativ påverkan på hälsan genom förhöjd risk för bronkit och andra luftvägssjukdomar.

Det är mot denna bakgrund som projektet ”Utveckling av relevanta arbetscykler och emissionsfaktorer samt reducering av bränsleförbrukningen för arbetsmaskiner” (projekt EMMA) genomförts.

Mål

Målet med projektet har varit att:

1. undersöka kör/belastningsmönster vid olika fältarbeten och transporter med aktuella arbetsmaskiner
2. generera emissionsdata som underlag för beräkning av emissioner vid olika fältarbeten och transporter med arbetsmaskiner
3. utveckla relevanta statiska och dynamiska belastningscykler
4. genom emissionsmätningar och datasimuleringar fastställa emissionsfaktorer för olika arbetsoperationer
5. föreslå åtgärder för att minska bränsleförbrukning och emissioner. Dessa förslag kan vara ändrade metoder, kör- och belastningsmönster, rutiner, tekniska åtgärder etc.
6. generera data beträffande bränsleförbrukning vid olika arbetsoperationer

Projektet har bestått av följande delprojekt

1. Kartläggning av antal arbetsmaskiner och deras användning
2. Fastställande av kör-/belastningsmönster för ett antal olika arbetsmaskiner med ett antal olika förare
3. Fastställande av kör-/belastningsmönster vid transporter med arbetsmaskiner
4. Fastställande av typiska körcyklers dynamiska karaktär
5. Mätning av reglerade och icke-reglerade emissioner
6. Bestämning av energiåtgång och emissioner vid olika arbetsoperationer
7. Åtgärder för att minska bränsleförbrukning och emissioner genom ändrade metoder, kör-/belastningsmönster och rutiner
8. Tekniska åtgärder och kompletteringar på arbetsmaskiner för att minska bränsleförbrukning och emissioner

Delrapport från arbetsgrupperna

Resultaten från projektet presenteras i detalj i en serie rapporter och papers. I detta avsnitt lämnas emellertid en sammanfattning av varje rapport. Följande rapporter och papers från projektet föreligger:

För hela projektet

- Slutrapport för projektet Utveckling av relevanta arbetscykler och emissionsfaktorer samt reducering av bränsleförbrukningen för arbetsmaskiner.
- Development of Relevant Work Cycles and Emission Factors for Off-Road Machines. Paper 2001-01-3637. Presenterat vid SAE Konferens i Reno, april 2002.

För delprojekten

Tabell 1. Arbeten och rapporter utförda inom projekt EMMA. Markerad sektion avser uppdrag som avrapporteras i föreliggande rapport.

nr	Uppdrag	Utfört av	Rapport nr	Delrapport titel
A	Kartläggning av antal arbets-maskiner och deras arbetstid	**SMP,** JTI	1	Kartläggning av antal arbets-maskiner och deras användning
B	Studera kör- och belastnings-mönster för jordbruks- och anläggningsmaskiner	**JTI, LT**	2	Jordbruks- och anläggnings-maskiners motorbelastning och avgasemissioner samt möjligheter att minska bränsleförbrukning och avgasemissioner
B		**JTI,** LT	3	A system for onboard determina-tion of engine power by measuring fuel consumption at 1 Hz
B		**LT,** JTI	4	Utrustning för kontinuerlig effekt-mätning på jordbrukstraktor – Baserad på trådtöjningsgivare och telemetrisk signalöverföring
B		**LT,** JTI	5	A methodology for measuring the effects of dynamic loads on the fuel efficiency of agricultural tractors
B		**LT**	6	Effects of Engine Control Strategies and Transmission Characteristics on the Exhaust Gas Emissions from an Agricultural Tractor
B		**LT,** JTI	7	A Comparison between Different Methods of Calculating Average Engine Emissions for Agricultural Tractors
C	Kör- och belastningsmönster för skogsmaskiner	SkogForsk	8	Skogsmaskiners motorbelastning och avgasutsläpp
D	Fastställande av typiska kör-cyklers dynamiska karaktär	JTI, LT, SkogForsk	2,3,4,5	Se ovan
E	Bestämning av energiåtgång och emissioner vid olika arbetsoperationer	JTI, LT, SkogForsk, LTU	2,3	Se ovan
F	Åtgärder för att minska bränsleförbrukning och emissioner genom ändrade metoder, körmönster och rutiner	JTI, LT, SkogForsk	2,6	Se ovan
G	Mätningar av emissioner under transienta driftförhållanden	SMP	9	Mätning av reglerade emissioner vid dynamiska förlopp
H	Mätning av reglerade och icke-reglerade emissioner	LTU	10	Mätning av reglerade och icke reglerade emissioner vid statiska förlopp

Kartläggning av antal arbetsmaskiner och deras användning

Författare: Christian Wetterberg/Peter Ståhl, SMP Svensk Maskinprovning AB

Beställs från:
JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Box 7033, 750 07 UPPSALA
Eller via e-mail: office@jti.slu.se

Sammanfattning SMP del I

För att kunna genomföra rättvisande beräkningar av de totala emissionerna från olika grupper av arbetsmaskiner behöver man bland annat kunskap om antalet drifttimmar per tidsenhet samt antalet maskiner i drift, gärna relaterat till maskinålder. Ett av delprojekten inom EMMA-projektet har därför varit att kartlägga antalet maskiner samt antalet drifttimmar för vissa grupper av arbetsmaskiner inom entreprenadsektorn samt inom jord- och skogsbruket. Under åren 1999 t.o.m. 2002 har SMP i samband med uppsökande besiktningar noterat timmätarställningar för 15 olika grupper av arbetsmaskiner samt för jordbrukstraktorer.

Vidare har underlag hämtats från bl.a. Arbetsmiljöverkets besiktningsstatistik, Statistiska Centralbyrån, muntliga kontakter med t ex Maskinentreprenörerna och SkogForsk samt i stor utsträckning från IVL-rapport B1342 från 1999 ”Kartläggning av emissioner från arbetsfordon och arbetsredskap i Sverige”. Drifttider har beräknats för totalt ca 7 000 entreprenadmaskiner samt 1 000 jordbrukstraktorer och för vissa maskingrupper har antalet maskiner i drift uppskattats.

När det gäller entreprenadmaskiner visar tabellen nedan de medeldrifttider som beräknades för olika grupper av arbetsmaskiner.

Driftstimmar per objektslag

	Objektslag	Beteckning	Antal differenser	*Medeldriftstid* tim/år
1	Bandgrävmaskiner	BANDG	1 823	*862*
2	Grävlastare	GRÄVL	2 299	*813*
3	Hjulgrävmaskiner	HJULG	1 402	*958*
4	Lastmaskiner	LASTM	980	*946*
5	Minigrävmaskiner	MINIG	143	*352*
6	Dumprar	DUMP	44	*1 082*
7	Väghyvlar	HYVEL	9	*587*
8	Injekteringsmaskiner	INJEK	2	*1 125*
9	Kompaktlastare	KLAST	7	*515*
10	Mobilkranar	MOBKR	4	*1 770*
11	Motviktstruckar	MOTV	27	*1 058*
12	Teleskoptruckar	TELTR	75	*781*
13	Motorredskap övriga	MRED	35	*949*
14	Schaktmaskiner	SCHAK	6	*870*
15	Traktorer *)	TRAK	20	*439*
16	Pålmaskiner	PÅLMA	21	*809*

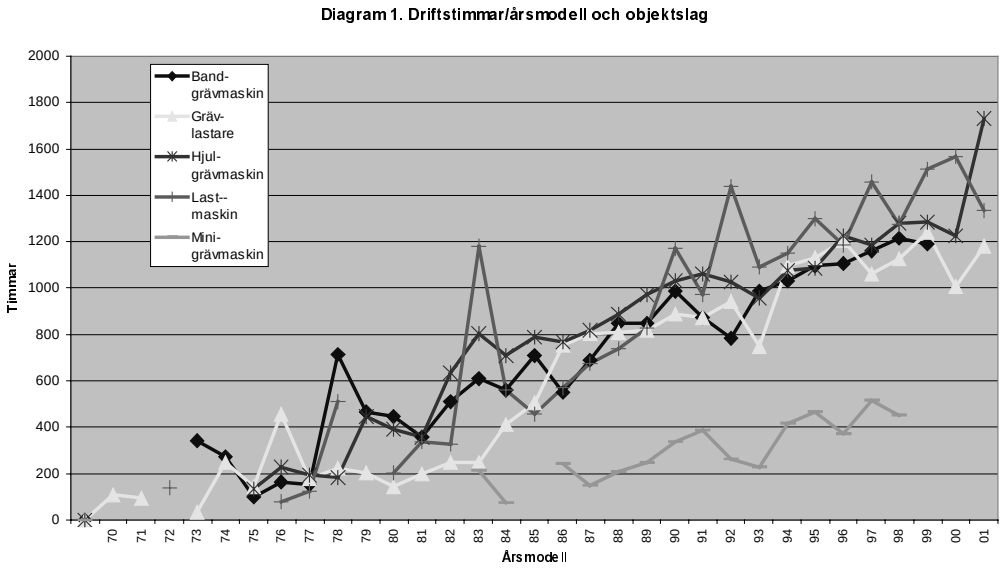
*) Uppgifter endast från traktorer som genomgår någon form av periodisk kontroll

De maskintyper som SMP har haft särskilda möjligheter att analysera (grävmaskiner, grävlastare, lastmaskiner och mobilkranar), visade sig förekomma i större antal än vad som hittills angivits i officiella rapporter. Muntliga uppgifter från Maskinentreprenörerna bekräftar denna bild:

Exempel: Antal arbetsmaskiner inom entreprenadverksamhet, bygg- och anläggning

Objekt	Antal enl. IVL-rapport 1999	EMMA-bedömning 2002	Maskin-entreprenörernas bedömning 2000
Grävmaskiner/grävlastare	8 700	14 000	14 100
Hjullastare	7 700	12 000	10 500
Mobilkranar	800	1 400	1 200

Antal drifttimmar/år för dessa objekt visade sig öka med minskande maskinålder:



När beräkningar gjordes utan hänsyn taget till maskinens tillverkningsår visade det sig att antalet drifttimmar för vissa maskingrupper i genomsnitt var lägre än vad som tidigare antagits. Studerades istället medeldrifttiden på maskiner yngre än 12 år stämde de beräknade drifttiderna väl med vad som antagits i IVL-rapport B1342:

Exempel på drifttimmar för arbetsmaskiner inom entreprenadverksamhet, bygg- och anläggning

Objekt	IVL-rapport	SMP totalt medelvärde	Antal observa-tioner	SMP medelvärde tillverkningsår 1991–2000	Antal observa-tioner
Grävmaskin 1)	1 050	862	5 454	1 047	2 154
Lastmaskin	1 100	946	980	1 296	303
Teleskoptruck	1 000	781	75	1 101	33

1) Avser summa bandgrävmaskiner, hjulgrävmaskiner och grävlastare

För jordbrukstraktorer visar statistik att det vid slutet av 2000 fanns ca 326 000 traktorer totalt i drift i Sverige med följande fördelning:

Näringsgren	Inom jordbruk	Inom skogsbruk	Inom övriga näringsområden	Inom hushållssektorn	Summa traktorer
Antal	140 770	10 804	63 823	110 322	325 719

Det av SMP beräknade antalet drifttimmar varierade mellan dryg 400 timmar per år och knappt 700 timmar per år beroende på effektklass och årsmodell:

Motoreffekt	Antal	Medeleffekt (kW)	Tim/år	Medelålder
37-48 kW	10	43,6	414	7,7
51-59 kW	100	56,3	425	4,4
60-69 kW	158	64,3	429	4,3
70-79 kW	201	73,6	535	4,4
81-88 kW	184	84,8	445	4,2
90-99 kW	141	94,3	533	2,9
101-109 kW	75	103,8	649	3,7
110-119 kW	42	115,0	595	3,8
121-125 kW	12	124,0	690	3,4
132-139 kW	19	136,6	480	3,9
140-147 kW	16	144,4	457	2,3
154-194 kW	20	178,7	588	3,0

Det visade sig vidare att de av SMP beräknade drifttiderna var högre än vad som antagits i IVL-rapport B1342 vilket framgår av tabellen på nästa sida. Noteras bör dock att tyngdpunkten för SMP:s observationer låg på traktorer som togs i drift under mitten av 1990-talet:

Jordbrukstraktorer: drifttid, timmar/år

Motoreffekt	IVL-rapport	SMP:s beräkningar	Antal observationer
< 37 kW	100	–	
37 – 75 kW	350	473	469
> 75 kW		525	509

Beräkningar av det totala antalet drifttimmar, baserat på förbrukad mängd diesel, visade att de 30 000 nyaste traktorerna, som enligt SMP:s mätningar används ca 500 timmar per år, står för 50 % av det totala antalet drifttimmar, medan övriga ca 110 000 traktorer svarar för övriga 50 %.

För skogsmaskiner gjordes inga noteringar av drifttimmar och den enda tillgängliga informationen om skotare och skördare har varit muntlig information från SkogForsk. Denna information antyder att antalet drifttimmar per maskin (uppskattat till ca 3000/år) har ökat sedan IVL-rapport B1342 publicerades och att antalet maskiner möjligen har minskat något (till ca 3 500 som är i intensivt bruk).

	Motoreffekt (kW)	Antal	Drifttimmar /år
Skördare	75 – 130	1 000	2 300
Skördare	130 – 560	1 000	2 300
Skotare	75 – 130	2 400	2 300

Jordbruks- och Anläggningsmaskiners motorbelastning och avgasemissioner

Samt metoder att minska bränsleförbrukning och avgasemissioner

Författare:
Ola Pettersson, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik
Magnus Lindgren, Institutionen för Lantbruksteknik, Sveriges lantbruksuniversitet

Beställ rapport från:
JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Box 7033, 750 07 UPPSALA
Eller via e-mail: office@jti.slu.se

Sammanfattning

Metod
Motorernas belastningsmönster baserar sig på inspelade fältdata under projekttiden. Ett stort antal arbetsoperationer har studerats såväl vid arbete med jordbruksmaskiner och redskap som med anläggningsmaskiner. För studierna utrustades 3 traktorer, 1 skördetröska, 2 hjullastare, 1 dumper och en grävmaskin med instrumentutrustning för bestämning av bland annat bränsleförbrukning och motorvarvtal med frekvensen 1 Hz. För en detaljerad redovisning av mätsystemet se vidare rapport 3 och 4.

Inspelade körmönster analyserades både med avseende på statisk motorbelastning och förekomst av transienter i motorns varvtal och moment. Den statiska motorbelastningen beräknades från fördelningen av varje datapunkt (kombination av moment och varvtal). Bild 1 visar fördelning av motorbelastningen under plöjning med Valtra 6650 HiTech traktor.

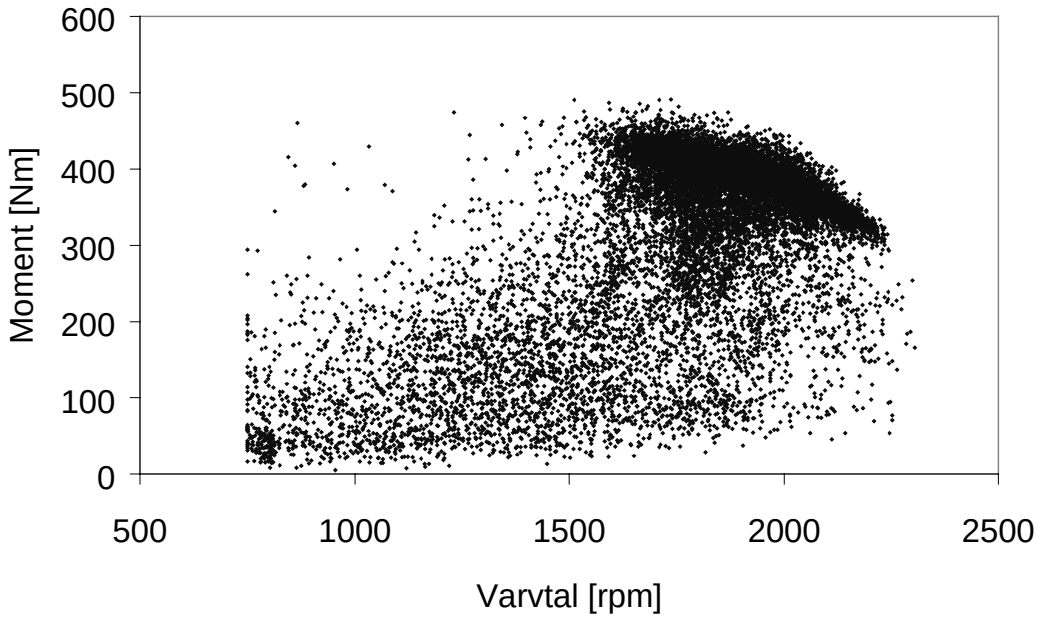


Bild 1. Fördelning av motorbelastningen vid plöjning med Valtra 6650 HiTech traktor.

Vid studier av motorbelastning, emissioner samt förekomst av transienter i motorns varvtal och moment valdes, på statistiska grunder, en mätning per operation. Motorns arbetsområde delades upp i 400 delområden, 20 intervall jämt fördelade över motorns varvtal och 20 över motorns moment. För samtliga mätningar beräknades frekvensen, antal datapunkter av motor varvtal och moment, i de olika delområdena. Resultaten normaliserades för att eliminera effekter av tidsmässigt extremt långa eller korta operationer.

Baserat på ovan beskrivna metodik valdes en individuell mätning per operation som representativ för vidare analys. Urvalet skedde genom att undersöka vilken av de individuella mätningarna som hade en frekvens som bäst representerade den för operationen sammanslagna frekvensen.

Motorernas avgasutsläpp vid olika typer av arbeten beräknas i två steg, dels baserar de sig på uppmätta fältdata över motorernas arbetsmönster, dels baserar de sig på motorernas uppmätta avgashalter i avgaslaboratorier, uppmätta inom detta projekt vid avgaslaboratorier i Luleå och Umeå (se vidare rapport 9 och 10). För de motorer vi ej haft möjlighet att inom projektets ramar analysera, har vi nyttjat tillverkarnas egna provningsdata för de specifika motorerna. Dessa två analyser, fältdata och laboratoriedata, kombineras sedan och beräknas till specifika värden för varje enskilt arbete.

Den i bild 1 beskrivna fördelningen av motorbelastning ger en god visuell bild av hur motorn har belastats, dock är det svårt att kvantifiera belastningen eller att göra objektiva jämförelser mellan olika belastningsmönster eller operationer. En metod att mer objektivt beskriva motorbelastningen är att jämföra hur de olika operationsspecifika motorbelastningarna harmoniserar med nu gällande testcykel för arbetsmaskiner, ISO 8178 C1.

I bild 2 beskrivs samma motorbelastning som i bild 1, men i förhållande till ISO 8178 C1. De olika modernas viktningsfaktorer har beräknats utifrån hur ofta en datapunkt har förekommit i dess närhet. Samtliga datapunkter har allokerats till den närmaste moden.

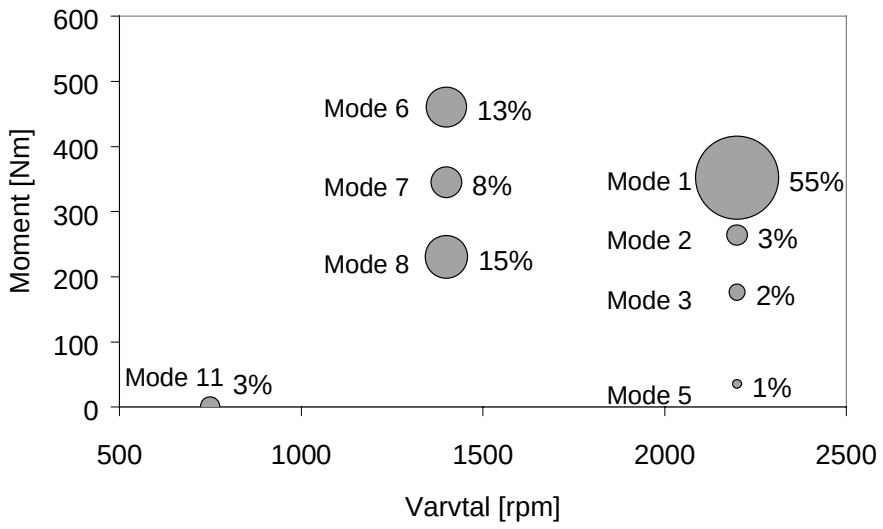


Bild 2. Motorbelastning i procent enligt moderna i ISO 8178 C1, vid plöjning med Valtra 6650 HiTech traktor.

En transient i motorns varvtal eller moment definierades som skillnaden i varvtal eller moment mellan två mätpunkter. För att underlätta jämförelser mellan olika arbetsmaskiner och motorer normaliserades samtliga mätdata. Varvtal normaliserades enligt federal test procedure (FTP) genom att använda motortillverkarnas tomgångs- och fullvarvtal. Moment normaliserades till av tillverkaren specificerat maximalt momentuttag.

$$Normaliserat \quad \text{var}vtal = \frac{Uppmätt \quad \text{var}vtal - Tomgångs\,\text{var}vtal}{Full\,\text{var}vtal - Tomgångs\,\text{var}vtal} \times 100$$

$$Normaliserat \quad moment = \frac{Uppmätt \quad moment}{Maximalt \quad moment} \times 100$$

Förekomsten av transienter i motorns varvtal och moment beräknades som medelvärdet av samtliga under mätningen beräknade skillnader i motorns varvtal eller moment. Transienter i motorns varvtal redovisas med enheten normaliserad varvtalsförändring per sekund samt motsvarande för transienter i moment. För Valtra 6650 HiTech traktor motsvarar en varvtalsförändring av 10 % s^{-1} en faktisk förändring av 145 min^{-1} per sekund eller från tomgång (750 min^{-1}) till fullvarvtal (2200 min^{-1}) på 10 sekunder.

Resultat

Operationsspecifika motorbelastningar

I tabell 1 redovisas exempel på 6 av totalt 49 operationsspecifika motorbelastningarna som framkommit vid studierna. Av resultaten framgår att motorbelastningen i mycket hög grad är beroende av arbetsoperationen. Vid körning med exakthack har motorn under 89% av tiden arbetat i mode 1 vilket innebär utnyttjande av maximalt moment vid fullvarv på motorn medan motorn vid vältning under 72% av tiden arbetat i mode 8 vilket innebär 50% av maximalt moment vid mellanvarv. Samma uppenbara skillnader finns likaledes på anläggningsmaskiner, där tillexempel kantklippning betyder ett låst mellanvarvtal för att driva klippaggregatets hydraulik, vilket hålls konstant under arbetet. Samma maskin kan strax därefter arbeta med lastaggregatet och få ett väldigt varierande motormönster.

Tabell 1. Operationsspecifika motorbelastningar fördelad enligt moderna i ISO 8178 C1. (Delutdrag ur större material omfattande 49 olika arbetsoperationer.)

	Mode 1	**Mode 2**	**Mode 3**	**Mode 5**	**Mode 6**	**Mode 7**	**Mode 8**	**Mode 11**
ISO 8178 C1	**15**	**15**	**15**	**10**	**10**	**10**	**10**	**15**
(Lastmaskin Volvo L70)								
Gruslastning	6	8	2	0	0	6	40	38
(Traktor Valtra 6600)								
Vält	0	0	0	0	0	0	72	28
Exakthack	89	10	0	0	0	0	0	0
Viberg Harv 85 pinnar	27	47	7	0	3	11	5	0
(Grävmaskin EW 150)								
Grävning	0	0	0	0	26	55	17	2
(Dumper Volvo A25)								
Sandtransport	16	12	17	46	1	3	5	0

Motorernas emissionsnivåer under olika arbetsoperationer

För varje studerad operation beräknades emissioner av koldioxid (CO_2), kolmonoxid (CO), kolväten (HC) kväveoxider (NO_X) samt bränsleförbrukning. Beräkningen skedde i princip på samma sätt som i Hansson et al (1998). De största skillnaderna var att motormappen över de statiska emissionsvärdena var baserad på betydligt fler mätpunkter (22 st) samt att motorbelastningen hade registrerats med en avsevärt högre upplösning (1 Hz).

I tabell 2 visas fyra exempel på emissioner av totalt 49 undersökta operationer med jordbruksmaskiner och Anläggningsmaskiner fördelat på redskaps och maskinslag.

Tabell 2. Exempel på operationsspecifika emissionsfaktorer per timme.

Operation	Effekt	Bränsleför-	Emissioner [g/h]			
	kW	brukning, kg/h	CO_2	CO	HC	NO_x
Valtra 6600 traktor						
Exakthack	74	17,3	56 200	30,8	10,6	617,6
Vält	16	4,4	14 300	20,3	5,6	201,1
Lastmaskin VolvoL70						
Gruslastning	29	6,1	19 800	20,3	4,0	264,6
Grävmaskin EW150						
Grävning	49	10,3	33 500	32,5	8,5	432,5

Data presenteras även i form av emissioner per hektar samt per tillförd mängd energi i form av diesel MK1 i enheten MJ, se tabell 3 och 4.

Tabell 3. Exempel på operationsspecifika emissionsfaktorer per hektar för Valtra 6600 traktor.

Operation	Avverkning	Bränsle	Emissioner [g/ha]			
	ha/h	kg/ha	CO_2	CO	HC	NO_x
Direktsådd	2,42	5,0	16 200	10,2	3,8	202,1
Exakthack	0,44	39,7	129 000	70,7	24,3	1417,3

Tabell 4. Exempel på operationsspecifika emissionsfaktorer per MJ förbrukat bränsle.

Operation	Emissioner [g/MJ bränsle]			
	CO_2	CO	HC	NO_x
Valtra 6600 traktor				
Exakthack	75,23	0,041	0,014	0,827
VolvoL70				
Gruslastning	75,17	0,077	0,015	1,004

Emissioner är också mycket operationsspecifika som en följd av de olika motorbelastningarna. När det exempelvis gäller NO_x varierar emissionerna i g/h från 76 vid användning av frontlastare till 716 vid harvning.

Transienter i motorernas arbetsmönster

I tabell 5 redovisas några undersökta operationer med lastmaskin L 70 och traktor 6600. Övriga maskiner som studerats med avseende på transienter är ytterligare en traktor under olika arbetsoperationer samt även en lastmaskin L50.

Tabell 5. Förekomst av transienter i motorns varvtal och moment.

Operation	d(varv)/dt	d(moment)/dt
(Lastmaskin L70)		
Kantklippning	1,1	3,9
Gruslastning	11,9	14,4
Materialsortering	13,1	16,4
(Valtra 6600)		
Exakthack	1,0	3,4
Vält	0,4	3,1

I bild 3 och bild 4 visas spridningen av transienta laständringar i moment och varvtal vid en kraftigt transient operation, sandlastning med Volvo L50, samt en relativt statiskt operation, grävarbete med Volvo EW150.

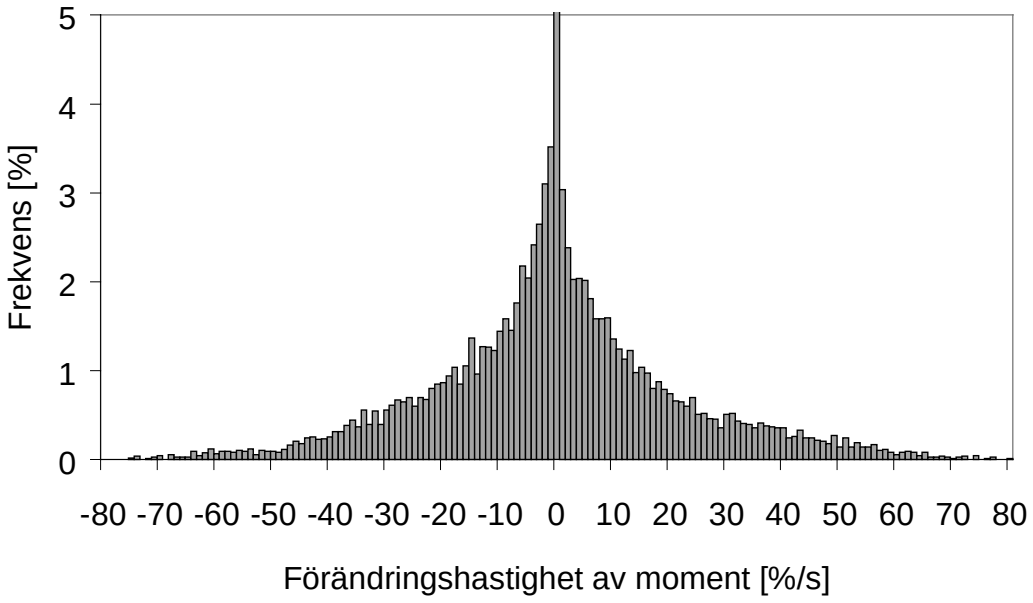


Bild 3. Fördelning av förändringshastighet i moment vid sandlastning med Volvo L50.

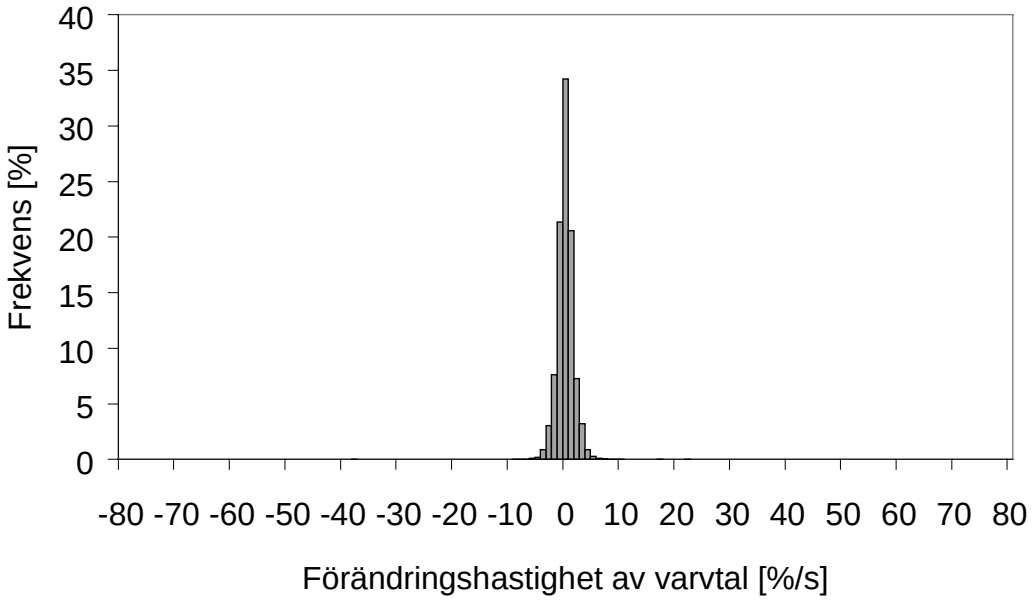


Bild 4. Fördelning av förändringshastighet i varvtal vid grävarbete med Volvo EW150.

Resultaten visar att för de flesta arbetsoperationer i jordbruket är transienterna ganska låga. Undantag utgör frontlastararbete. När det gäller de studerade anläggningsmaskinerna förekom betydande transienter vid gruslastning och materialsortering med hjullastare.

Minskning av bränsleförbrukning och emissioner

Bränsleförbrukning och emissioner från en specifik motor beror främst på belastande motorvarvtal och moment. Motorvarvtal och moment kan förändras genom alternativa körsätt, annan utformning av drivlinan eller användande av redskap med olika kapacitet. Genom att studera effekterna av förändringar i körmönster, drivlina och användandet av redskap med olika kapacitet i en simuleringsmodell kan skillnaderna direkt jämförs. Modellen, vilken efterliknade en Valtra 6650, beräknade momentana värden av motorvarvtal och moment. Utifrån simulerad motorbelastning beräknades bränsleförbrukning och emissioner av kolmonoxid (CO), kolväte (HC), kväveoxider (NO_X) och partiklar (PM) på i princip samma sätt som i Hansson et al (1998). Två olika operationer studerades via simuleringsmodellen, vägtransport och jordbearbetning i form av harvning. Grundutförandet för transport scenariot var transport av 12 000 kg last med en 2 600 kg trailer längs en 10 km lång väg samt tom retur. Körförloppet inkluderade acceleration, deceleration, stigningar, sluttningar, mm. Grundutförandet för jordbearbetningen var att med en 8 meter bred harv bearbeta 1 ha.

Hela transporten, 20 km, tog i grundutförandet 32,7 minuter och med en medelbelastning av 49 kW. Bränsleförbrukning och emissioner finns beskrivna, för absoluta termer i tabell 6 och för specifika i tabell 7.

Bearbetningen tog, för 1 ha, i grundutförandet 8,9 minuter och med en medelbelastning av 59 kW. Bränsleförbrukning och emissioner finns beskrivna, för absoluta termer i tabell 6 och för specifika i tabell 7.

Tabell 6. Absolut bränsleförbrukning och emissioner från grundscenario i g h-1.

Operation	Bränsle, kg h^{-1}	CO, g h^{-1}	NO_x, g h^{-1}	HC, g h^{-1}	PM, g h^{-1}
Vägtransport	12,3	55,3	393,2	22,4	16,7
Jordbearbetning	14,0	40,2	563,8	17,8	14,9

NO_x, kväveoxider; HC, kolväten; PM, partiklar

Tabell 7. Specifik bränsleförbrukning och emissioner från grundscenario i g kWh-1.

Operation	Bränsle, kg kWh^{-1}	CO, g kWh^{-1}	NO_x, g kWh^{-1}	HC, g kWh^{-1}	PM, g kWh^{-1}
Vägtransport	0,25	1,13	8,02	0,46	0,34
Jordbearbetning	0,24	0,68	9,54	0,30	0,25

NO_x, kväveoxider; HC, kolväten; PM, partiklar

Effekter på emissioner och bränsleförbrukning av ändrat körsätt och utväxlingsförhållande beräknades som procentuell skillnad mellan grundscenario och ovan beskrivna förändrade scenario. Resultaten för transport och jordbearbetning finns beskrivna i tabell 8 respektive 9. Ett negativt tecken betyder en reduktion i förhållande till grundscenario.

Tabell 8. Skillnad i bränsleförbrukning och emissioner per sträcka mellan modifierat scenario och grundscenario.

		Skillnad, %					
Förändring		Bränsle	CO	NO_x	HC	PM	Tid
(1)	20% reduktion av slutväxel	-2	-10	12	-19	-4	0
(2)	Begränsad acceleration	0	-3	-2	0	-2	1
(3)	5% förbättring av verkningsgrad	-3	-4	-6	0	-2	-1
(4)	5% försämring av verkningsgrad	4	4	7	0	2	1
(5)	CVT 1400 min^{-1}	-14	-22	13	-37	-9	2
(6)	CVT 1600 min^{-1}	-6	-15	16	-26	-5	1
(7)	CVT 1800 min^{-1}	-2	-10	13	-16	-3	1
(8)	CVT 2000 min^{-1}	0	-3	6	-7	-2	2
(9)	30 km h^{-1}	-1	-3	-6	-4	9	26
(10)	35 km h^{-1}	1	-1	-2	-3	6	10
(11)	Maximalt motorvarvtal på 1800 min^{-1}	0	-10	-4	-2	4	14

NO_x, kväveoxider; HC, kolväte; PM, partiklar; CVT, continuously variable transmission

Tabell 9. Skillnad i bränsleförbrukning och emissioner per hektar mellan modifierat scenario och grundscenario.

		Skillnad, %					
Förändring		**Bränsle**	**CO**	**NO_x**	**HC**	**PM**	**Tid**
(1)	20% reduktion av slutväxel	0	-1	0	-1	-1	0
(2)	Begränsad acceleration	0	-1	-1	0	-1	0
(3)	12 km h^{-1}	-1	35	11	-12	9	-16
(4)	8 km h^{-1}	-3	-24	-11	12	-1	24
(5)	CVT 1400 min^{-1}	-10	14	3	-22	11	-1
(6)	CVT 1600 min^{-1}	-3	-2	3	-7	1	-1
(7)	CVT 1800 min^{-1}	1	4	-4	2	-1	-1
(8)	9 m arbetsbredd	-2	18	6	-10	5	-11
(9)	7 m arbetsbredd	3	-6	-6	12	3	14
(10)	Shift-up, throttle-back	-5	4	4	-12	6	0
(11)	Maximalt motorvarvtal på 1800 min^{-1}	0	-1	0	0	0	2

NO_x, kväveoxider; HC, kolväte; PM, partiklar; CVT, continuously variable transmission

De simulerade förändringarna kan delas upp i två olika kategorier, en som innebär mekaniska förändringar av fordonet samt en som endast innebär förändringar av förarens körsätt. Resultaten visar att förändringar i drivlinan är ett alternativ för tillverkarna av maskinen att påverka operationsspecifika emissioner utan att förändra motorkarakteristiken. Enligt resultaten är det även för användarna möjligt att, genom förändrat körsätt, påverka operationsspecifika emissioner. Begränsningar i maximal hastighet och motorvarvtal vid transportarbete påverkar endast svagt bränsleförbrukning och emissioner. Dock påverkas tiden för operationen starkt av dessa begränsningar. Resultaten visar att det är viktigt att använda rätt redskap, för stora eller små redskap i förhållande till fordonets kapacitet påverkar kraftigt både bränsleförbrukning och emissioner. Vid jordbearbetning påverkas bränsleförbrukningen endast svagt av förändringar i arbetsbredd medan emissioner av NO_X och framför allt CO ökar kraftigt med ökad arbetsbredd. Vid förändringar av fälthastigheten påverkas emissioner på motsvarande sätt som vid förändringar i arbetsbredd. Resultaten visar att det, genom alternativa körsätt och utväxlingsförhållanden är möjligt att påverka bränsleförbrukning samt emissioner. Resultaten visar även att det, i de flesta fall, inte är möjligt att reducera emissioner av CO och HC samtidigt som NO_X.

Med avsikt att följa effekten av ändrade hastigheter och motorvarvtal gjordes fältförsök med två olika traktorer, dels Valtra 6650 dels CASE IH MX 270.

I tabell 10 visas resultaten från fältmätningar med Valtra 6650 av olika växellägen och hastigheter. Bränsleförbrukningen varierade från 16 till 18,3 l/tim beroende på körsätt samtidigt varierade medeleffektuttaget mellan 65 och 80 kW. En annan viktig parameter var avverkningshastigheten som varierade mellan 1,03 och 1,26 ha/tim.

Tabell 10. Jämförelse av olika tids- och bränslebehov vid olika val av växelläge och hastighet vid jordbearbetning med Valter 6650.

Växel	**M41**	**M33**	**M41**	**M32**
hastighet (km/h)	6,5	8,0	8,0	6,5
varvtal (rpm)	1 716	1 880	2 020	1 960
hastighet hjul (km/h)	6,4	7,7	7,7	6,4
tot bränsleåtgång/slag (l)	1,8	1,9	2	2,1
hastighet radar (km/h)	5,8	7	6,9	5,7
avverkning (ha/tim)	1,04	1,26	1,24	1,03
bränsleeffektivitet (l/ha)	16	16,3	17,2	18,3
medelförbrukning (l/h)	16,6	20,6	21,3	18,9
slirning (%)	9,4	9,1	10,4	10,9
Beräknade data*				
effekt (kW)	65	79	80	70
kolmonoxid (g/h)	62,2	128,8	117,3	79,7
kväveoxider (g/h)	606,2	818,2	788,5	655,0
kolväte (g/h)	10,0	10,9	11,3	11,2

Beräknad data baserad på fältstudier samt beräkningsmetodik beskriven i sektion ”databehandling och emissionsberäkning

Resultaten för motsvarande fältprov, olika växlar vid plöjning, med CASE IH Mx270 visas i tabell 11.

Tabell 11. Jämförelse av bränsleförbrukning vid plöjning på olika växellägen och motorvarvtal.

Växelläge	**7**	**8**	**9**	**10**
rpm	2 014	1 767	1 536	1 362
ml/s	13,1	13,2	12,2	12,2
km/h	6,9	7	6,9	7
l/h	47	48	44	44
km/h teor	7,9	8	7,9	8
slirning	12,7	12,5	12,7	12,5
liter/ha	19,6	19,6	18,4	17,9
Beräknade data*				
effekt (kW)	181	195	180	173
kolmonoxid (g/h)	72,1	134,2	223,9	337,5
kväveoxider (g/h)	1 238,6	1 390,9	1 256,8	1 172,5
kolväte (g/h)	10,7	8,96	8,13	7,7

Beräknad data baserad på fältstudier samt beräkningsmetodik beskriven i sektion ”databehandling och emissionsberäkning

För att åskådliggöra betydelsen av rätt anpassad redskapsstorlek gjordes en studie där skillnaden i effektivitet mellan tre, fyra och femskärig plog uppmättes, när de var tillkopplade på traktor Valtra 6650. Vid dessa studier har en GPS-mottagare nyttjats för att få korrekt bild av den plöjda arealen. I studien har det även ingått att plöja vändtegar.

Effekterna av en varierad arbetsbredd vid plöjning med Valtra 6650 visas i tabell 12.

Tabell 12. Jämförelse av tids och bränsleåtgång vid plöjning med olika plogstorlekar vid plöjning med Valtra 6650.

	3-skärig plog	**4-skärig plog**	**5-skärig plog**
Plöjd areal (ha)	3,52	4,08	2,10
Tidsåtgång (effektiv tid, tim)	6,0	5,1	3,2
Förbrukat bränsle, liter	107	98	57,9
Avverkning/timme (ha/h)	0,58	0,80	0,65
Liter bränsle/hektar (l/ha)	30	24	28
I slagen: typiskt värde samplat över			
c:a 2 minuter			
Hastighet(hjul) (km/h)	7,0	6,7	6,1
Slirning, %	12	17	30
Bränsleförbrukning (l/ha)	20,3	21,5	21,1
Beräknade data*			
effekt (kW)	77	80	80
kolmonoxid (g/h)	103,0	132,8	126,1
kväveoxider (g/h)	750,0	832,7	809,8
kolväte (g/h)	11,2	11,1	11,0

Beräknad data baserad på fältstudier samt beräkningsmetodik beskriven i sektion ”databehandling och emissionsberäkning

För att optimera utnyttjandegraden av redskap, med avseende på dieselförbrukning och tidsåtgång, skall man sträva efter att välja ett redskap som belastar motoreffekten optimalt, man skall även sträva efter att kunna utnyttja motorns hela effekt utan att slirningen antar för stora mått Man bör vidare kunna hålla en körhastighet som är relevant för arbetet ifråga. Valet kommer alltid att bli en kompromiss, beroende på skiftande yttre omständigheter. Ofta får hastigheten vara den kompenserande parametern.

Skogsmaskiners motorbelastning och avgasutsläpp

Författare: Björn Lövgren, Skogforsk

Beställ rapport från:
SkogForsk Uppsala, Science Park, 751 83 UPPSALA - 018/18 85 00
skogforsk@skogforsk.se

Sammanfattning

För att kunna få fram underlag till att bedöma emissioner från skogsmaskiner har SkogForsk genomfört bränslestudier på olika skotare och skördare. Vidare har emissionsdata tagits fram för både statiska och dynamiska förhållanden på en typ av dieselmotor, dels i provbänk dels på en skogsmaskin. Vidare har också ett alternativt syntetiskt bränsle, Eco-paraffin, studerats och jämförts med MK1 diesel med avseende på reglerade och icke reglerade emissioner. En viktig parameter för att minska emissionerna är att minska energiförlusterna i skogsmaskiner. SkogForsk har lagt tonvikten på projektarbetet med att härleda var förlusterna uppstår.

Denna studie visar att man erhåller högre emissionsvärden vid de dynamiska förhållanden som råder ute i fält i jämförelse med den statiska motorprovningscykeln ISO 8178. För kolmonoxid (CO) erhölls ca 30 % högre värde och för kväveoxider (NO_x) ca 20 % högre värde.

Eco-paraffin har samma energiinnehåll, lika bränsleförbrukning samt lite lägre reglerade och icke reglerade emissioner än MK1 diesel. För kolväten (HC) blev reduktionen drygt 8 % - 15%, för kväveoxider (NO_x) blev reduktionen drygt 6% - 7% samt för kolmonoxid (CO) 3% - 20 %.

På skördare uppstår de största energiförlusterna, ca 45 %, i hydraulsystemet ut till kran och aggregat, och då främst i aggregatet. På aggregatet är det framförallt matningen av stockar och kapningen de främsta anledningarna till förlusterna. På skotare är det främst drivlinan som genererar de största förlusterna. Förlusterna kan härledas till hydrostatpump och hydrostatmotor, friktionsförluster i alla växlar och differentialer samt till viskösa förluster i boggilådor. Att lösa problemen med förlusterna kräver såväl nytänkande som tid och utvecklingsresurser.

Analys av kör-/belastningsmönster vid olika arbetsoperationer för skogsmaskiner

SkogForsk har mätt bränsleförbrukningen på en skotare, Valmet 860, och en skördare, Valmet 911, samtidigt har typiska arbetsmoment identifierats.

Bränsleförbrukning

Som framgår av tabell 1 var den uppmätta bränsleförbrukningen relativt låg vid kranarbetet i förhållande till körningen.

Tabell 1. Bränsleförbrukning per moment enligt studie.

	liter/h
Tomkörning	11,2
Lastning	5,8
Körning under lastning	7,8
Lastkörning	11,6
Lossning	6,5
Avläggskörning	11,4
Störning	2,4

Bränsleförbrukning per m³ fub. I tabell 2 återges tiden som åtgick för skotningsarbetet, denna liksom en beräkning av bränsleförbrukningen uttryckt i liter/m³ fub och grundat på värdena i tabell 1. I medeltal åtgick 0,436 liter per m³ fub.

Tabell 2. Tidsåtgång och bränsleförbrukning per m³ fub.

	Min /m³ fub	Liter/m³ fub
Tomkörning	0,47	0,088
Lastning	1,14	0,110
Körning under lastning	0,37	0,048
Lastkörning	0,58	0,112
Lossning	0,34	0,037
Avläggskörning	0,12	0,023
Störning	0,46	0,018
Summa	**3,48**	**0,436**

Normerad tidsåtgång och bränsleförbrukning. I förhållande till normal skotning var den uppmätta tidsåtgången för körning och störning något hög. I det förra fallet beror det på att köravståndet var ca 390 meter och i det senare på att i den uppmätta störningstiden ingår tid som orsakats av studien.

Korrigeras körningen till ett avstånd om 300 meter och störningstiden till att motsvara 8 procents ökning av G0-tiden erhålls den tidsåtgång och bränsleförbrukning som redovisas i tabell 3.

Tabell 3. Normerad tidsåtgång och bränsleförbrukning.

	Min/m³ fub	Andel, %	Liter/m³ fub	Andel, %
Tomkörning	0,34	11	0,064	17
Lastning	1,14	38	0,110	29
Körning under lastning	0,37	13	0,048	13
Lastkörning	0,44	15	0,085	23
Lossning	0,34	12	0,037	10
Avläggskörning	0,12	4	0,023	6
Störning	0,22	7	0,009	2
Summa	**2,97**	**100**	**0,376**	**100**

Summeras bränsleförbrukningen för kranarbetet och sätts i relation till den totala bränsleförbrukningen utgör denna del 39 %. Utifrån tabell 9 och tabell 10 är det möjligt att beräkna den normerade bränsleförbrukningen vilken blev 0,756 liter/m³ fub eller 7,6 liter/h.

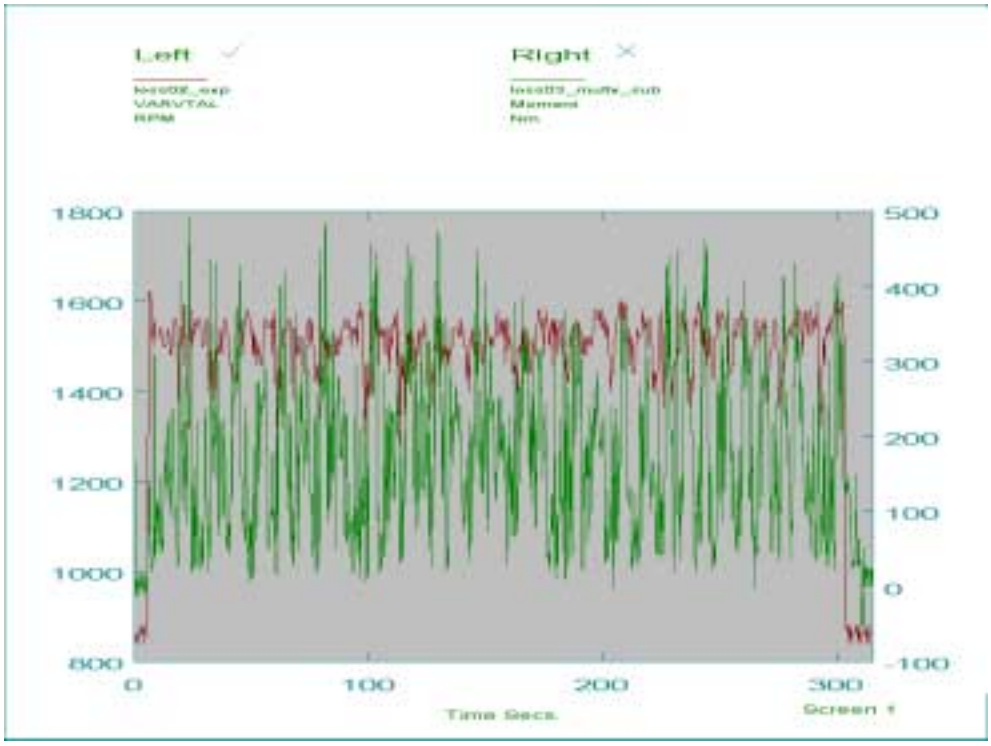
Analys av typiska körcyklers dynamiska karaktär

För att få fram den dynamiska karaktären på de arbetsmoment som finns på en skogsmaskin monterades en momentgivare på motorns svänghjul. Mätningarna i fält delades in i följande arbetsmoment:

- Körning i terräng
- Kranarbete
    - Lastning
    - Lossning
- Aggregatarbete

Nedan ses ett exempel på resultat från en mätning.

Kranarbete



Figur 1. Motorvarv och moment vid lossning.

Från figur 1 kan man se att momentet varierar högst betydligt och varvtalet håller sig relativt konstanta under lossningen. Fluktuationen i momentet beror på att man har både last och icke last i kranens vid rörelser med kranen. Skotaren står still.

Med hjälp av data från de olika arbetsmomenten skapades en dynamisk körcykel som användes vid mätning av emissioner.

Analys av reglerade och icke-reglerade emissioner

De bränslen vi har studerat är en syntetisk diesel, Eco-Par, och MK 1. Mätningarna av de reglerade och icke reglerande emissioner har gjorts vid en stationär motorprovbänk hos SMP i Umeå.

Reglerade emissioner

En sammanvägning av resultaten enligt ISO 8178-4:1996, Test Cycle A, ger följande resultat, se tabell 4.

Tabell 4. Sammanvägning av 13-punkters testcykel, reglerade emissioner.

Bränsle	HC (g/kWh)	NO_x (g/kWh)	CO (g/kWh)
Mk 1	0,12	10,3	3,4
Eco-Par	0,11	9,7	2,7

En sammanvägning av resultaten enligt ISO 8178, gav resultat enligt tabell 5.

Tabell 5. Sammanvägning av 22-punkters testcykel, reglerade emissioner.

Bränsle	HC (g/kWh)	NO_x (g/kWh)	CO (g/kWh)
MK 1	0,13	11.2	2,9
Eco-Par	0,11	10,4	2,8

Det är samma ursprungsdata som ligger till grund för båda resultaten och den skillnad som finns beror på olika viktsfaktorer och ett större antal testpunkter i 22-punkters cykeln.

Som framgår av tabell 4 och 5 minskade utsläppen av reglerade emissionerna med Eco-Par. För kolväten (HC) blev reduktionen drygt 8 % - 15%, för kväveoxider blev reduktionen drygt 6% - 7% samt för kolmonoxid 3% - 20 %.

Avvikelserna mellan de två olika mätningarna skiljer sig relativt markant för kolmonoxid varför man får ta höga värdet med en nypa salt. Eftersom man endast har två decimaler i resultaten är det svårt att säga om avvikelsen i resultaten är stor.

Trots skillnader mellan analysmetoderna förelåg entydigt en reduktion av de reglerade emissionerna för Eco-Par i jämförelse med MK 1.

Icke reglerade emissioner

Ca 15 flyktiga organiska kolväten analyserades i avgaserna, se tabell 6 nedan.

Emissionerna reducerades med ca 20 – 93 % med Eco-Par i jämförelse med MK 1. Även om resultaten visar på att emissionerna av ett flertal föreningar minskade med Eco-Par så finns det fortfarande en hel del komponenter som inte har analyserats.

Tabell 6. Sammanvägning av 13-punkters testcykel, icke reglerade emissioner.

Förening	MK 1 (mg/kWh)	Eco-Par™ (mg/kWh)
Form aldehyd	0,47	0,46
Acet aldehyd	1,4	0,41
Acrolein	0,06	0,01
Benz aldehyd	0,22	0,07
Etan	0,69	0,47
Eten	55,4	33,2
Acetylen	10,4	4,4
Propan	0,57	0,32
Propen	32,3	17,7
Propyne	1,7	0,89
Propadien	1,2	0,43
Isobutane	0,32	0,25
Isobutene	12,7	7,5
1-buten	0,79	0,63
1,3-Butadien	0,35	0,025
Benzen	1,91	0,49
Toluen	1,06	0,36
O-Xylen	0,46	0,08
M- Xylen	0,22	0,10

Analys av emissioner vid olika arbetsoperationer

Följande resultat erhölls för de reglerade emissionerna vid jämförelse mellan statisk och dynamisk körning vid test i motorprovbänk, se tabell 7.

För den dynamiska körningen var medelvarvtalet 1517 rpm.

Tabell 7.

	ISO 8178, 8 stationära punkter (sammanvägda)	Mätning av dynamiska förlopp med utjämnare
Medelvarvtal (rpm)	-	1 517
Medeleffekt (kW)	62,6	46,5
Specifik bränsleförbrukning (kg/kWh)	0,261	0,261
Specifik CO (g/kWh)	2,054	0,823
Specifik NOx (g/kWh)	8,724	7,767
Specifik THC (g/kWh)	0,297	0,142

För att kunna göra en bättre jämförelse redovisas var och en av de 8 punkterna nedan i tabell 8.

Tabell 8.

Mät-punkt nr	Varv-tal rpm	Belastning %	Axel-effekt kW	Specifik bränsle-förbrukning Kg/kWh	Specifik CO g/kWh	Specifik NO g/kWhx	Specifik HC g/kWh
1	2200	100	108,3	0,266	3,359	9,855	0,342
2	2200	75	83,8	0,280	2,341	8,379	0,273
3	2200	50	71,3	0,249	1,898	6,543	0,273
4	2200	10	13,5	0,696	4,344	16,910	1,285
5	1500	100	96,3	0,220	0,886	10,032	0,135
6	1500	75	71,5	0,229	0,569	8,233	0,177
7	1500	50	47,9	0,201	0,700	5,876	0,292
8	910	0	0	-	-	-	-

Man finner att den punkt i 8-punkterstesten som närmast motsvarar det dynamiska förloppet när det gäller varvtal och effekt är punkt nr 7. Jämförs dessa fås, tabell 9.

Tabell 9.

	ISO 8178 mätpunkt nr7	Mätning av dynamiska förlopp med utjämnare
Medelvarvtal (rpm)	1 500	1 517
Medeleffekt (kW)	47,9	46,5
Specifik bränsleförbrukning (kg/kWh)	0,201	0,261
Specifik CO (g/kWh)	0,700	0,823
Specifik NOx (g/kWh)	5,876	7,767
Specifik THC (g/kWh)	0,292	0,142

Analys av förluster i skogsmaskiner

Det bästa sättet att minska emissionerna, förutom att ha renare bränslen och effektivare motorer, är att minska förlusterna på dagens skogsmaskiner. Det innebär att man behöver öka verkningsgraden hos de olika delsystem som finns på skogsmaskiner som hydraulsystem, luftkonditionering, lampor och drivlina. För att kartlägga hur stora förlusterna är har vi mätt på en skotare och en skördare. Rent generellt gäller det att minska motorvarvtalet under olika arbetsoperationer för att ju lägre varvtal man har på motorn desto lägre blir bränsleförbrukningen och därmed minskas emissionerna.

För att kartlägga hur stora olika typer av förluster är har vi mätt på en skotare och en skördare.

Terrängkörning, Vid terrängkörningen mättes den tidsåtgång som krävdes för att köra hela testbanan. Här har emellertid även beaktats hur lång sträcka som kördes genom att uttrycka resultaten som hastighet.

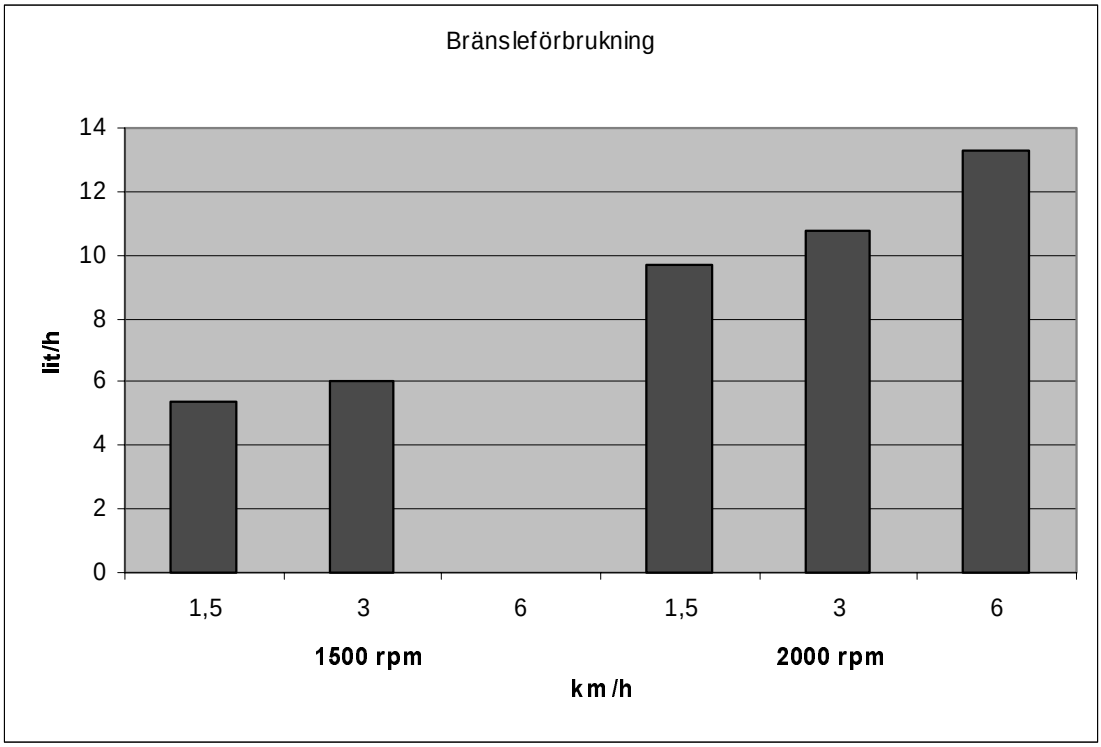
Vid terrängkörningen mättes bränsleförbrukningen vilken återges i tabell 10.

Tabell 10. Uppmätt bränsleförbrukning vid terrängkörning.

	Valmet 890	
	Lastad	**Olastad**
Bränsleförbrukning, l/h	12,3	8,9

Drivlina. Förlusterna i skotarens drivlina provades genom att palla upp skotaren, på bockar, så att hjulen kunde rotera fritt. Bränsleförbrukningen mättes vid olika motorvarvtal.

Resultaten visar på att vi får en relativt hög bränsleförbrukning enbart genom att snurra på hjulen. Det visar också på att förlusterna är mycket varvtalsberoende. Skotaren kom inte upp i 6 km/h vid motorvarvtalet 1 500 rpm. Skotaren använde lågväxeln vid alla hastigheter och motorvarvtal.



Figur 2. Bränsleförbrukning med uppallad skotare.

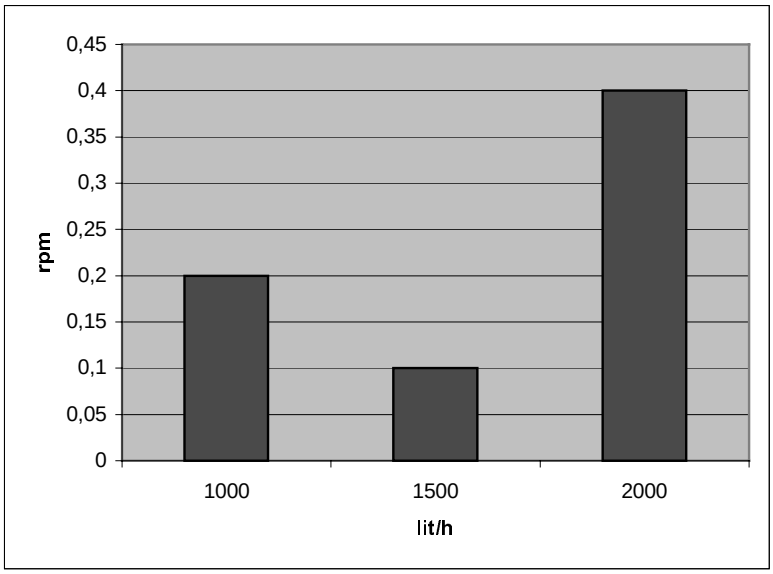
Ovanstående resultat kan jämföras med de resultat som erhölls vid körning i terräng. Skotaren körde med ett medelvarvtal på 1470 rpm vid körning i terräng och vid olastat förhållande ca 3 km/h.

Tabell 11. Jämförelse mellan terrängkörning och uppallad.

	1 500 rpm	
	Uppallad	**Terräng**
Bränsleförbrukning, l/h	6	8,9

Detta prov visar att förlusterna i drivlinan är mycket höga utan att något nyttigt arbete uträttas. I och med att skotarna är uppallade uppstår inga inspänningar i drivlinan. Troligtvis skulle bränsleförbrukningen vara högre om ett liknande prov utfördes på en plan, torr asfalt. Förlusterna kan härledas till hydrostatpump och hydrostatmotor, friktionsförluster i alla växlar och differentialer samt till viskösa förluster i boggilådor.

Belysning. Belysningen är en förlustkälla, om ändock liten, som ökar belastningen på motorn och därmed ökad bränsleförbrukning. Vi har jämfört bränsleförbrukningen vid olika tomgångsvarvtal med och utan belysning. Belysningen bestod av vanliga halogenlampor.



Figur 3. Differens i bränsleförbrukning vid olika tomgångsvarvtal med och utan belysning.

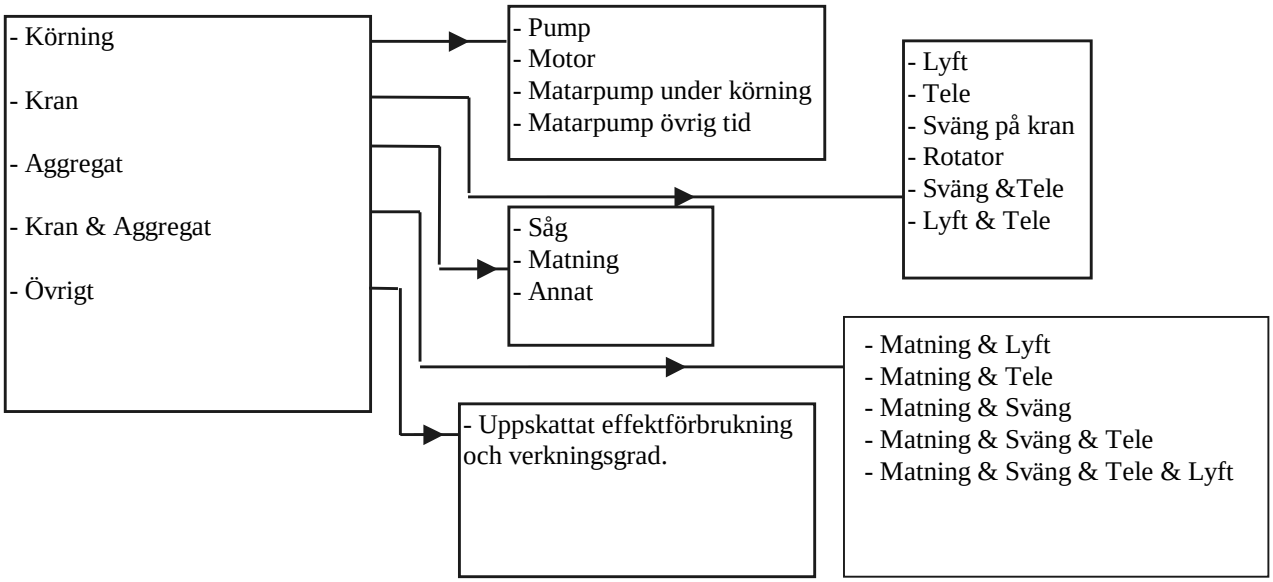
Genom att minska antal lampor och samtidigt utnyttja lampor, gasurladdningslampor, med lägre effektbehov kan man reducera bränsleförbrukningen.

Hydraulförluster. Från mätningarna under praktiskt arbete erhöll vi följande tidsåtgång för skördarens olika arbetsmoment, tabell 12.

Tabell 12. Tidsåtgång för respektive arbetsmoment.

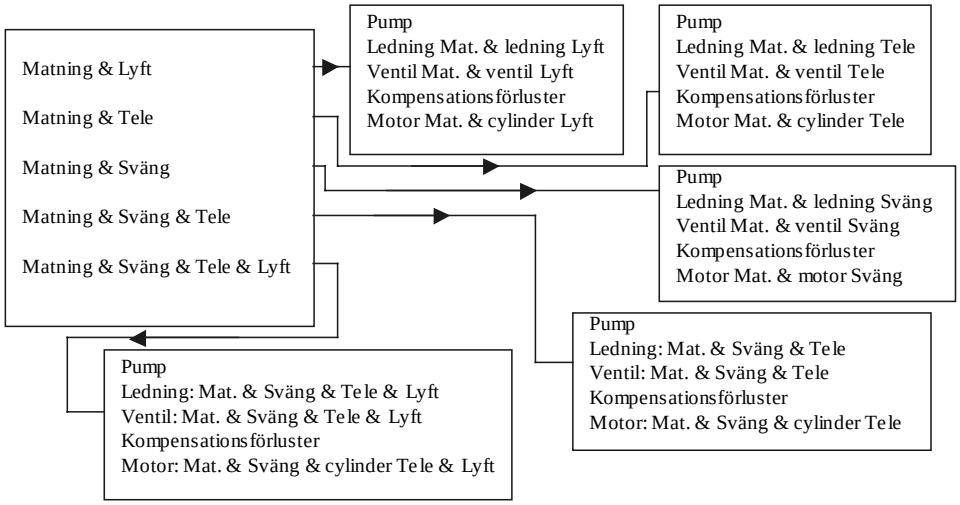
Moment	Andel i %	Tid [s]
Körning	14	5
Kran	26	10
Aggregat	39	14
Kran + Aggregat	18	7
Övrigt	3	1
Totalt	100	37

Varje huvudmoment utgör en förlustgrupp med olika funktioner. Funktionerna inom momenten Körning och Övrigt är mer eller mindre oberoende av typ av skördare. Däremot inverkar systemlösningen innehållet för momenten Kran, Kran & Aggregat samt Aggregat. Figur 4 åskådliggör antagna modellen för de förlustgrupper som är relevanta för en skördare.



Figur 4. Modell för uppdelning arbetscykeln i förlustgrupper.

På en engreppsskördare är förlusterna för kran och aggregat angelägnast att analysera. Man kan på liknande sätt dela upp förlusterna för kran och aggregat enligt figur 5.



Figur 5. Uppdelning av kran- och aggregatförluster.

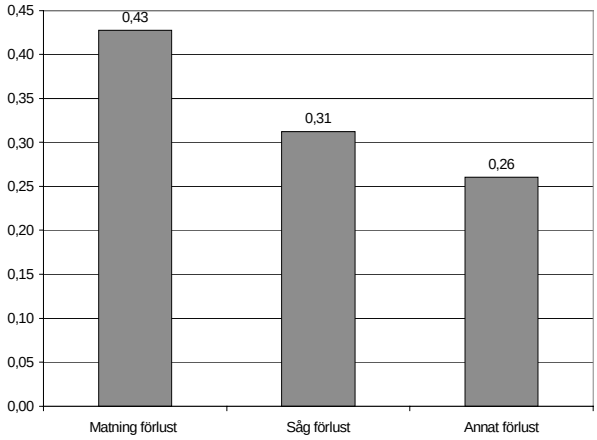
Den hydrauliska komponent som bidrar mest till förlusterna är pumpen. Vid stora effekter är verkningsgraden ca 0,9, men vid låga effekter kan verkningsgraden sjunka under 0,4.

Delsystemens förluster indelas i grupper enligt tabell 12. Delsystemet som bidrar mest till förlusterna är aggregatet.

Tabell 12. Andel och energimängd av förluster/avgiven energi.

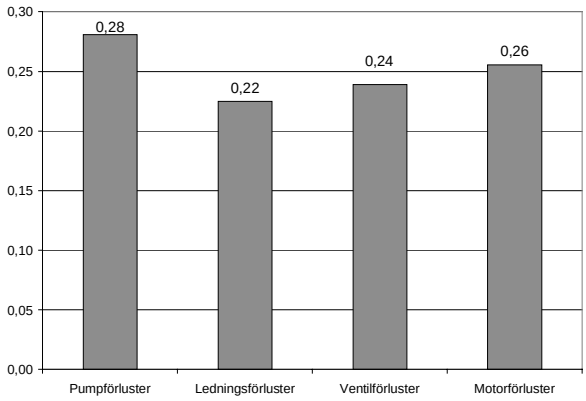
Grupp	Andel av tillförd energi i %	Energimängd (kJ)
Aggregatförluster	26	572
Kranförluster	14	303
Transmissionsförluster	6	128
Kylningsförluster	-	-
Övriga förluster	1	16
Avgiven energi	53	1148

På aggregatet är det matningen som står för större delen av förlusterna, se figur 6 och figur 7.



Figur 6. Fördelningen av skördaraggregatets förluster.

Verkningsgraden för matningen är ca 66 % för båda systemen. Tillförd medeleffekt är 78 kW respektive 100 kW för tvåkretssystemet respektive trekretssystemet. Effekterna baserar sig på arbete i ett slutavverkningsbestånd.



Figur 7. Fördelningen av matningens förluster på komponenter.

En annan förlust som förekommer vid matning som inte har tagits hänsyn till här är den energi som avges från hydraulsystemet och kan hänföras till slirning. Aggregatet har upp till 30 % slirning av matarvalsarna vid maximal matningskraft.

Lednings- och ventilförluster är för aggregatet en stor del av förlusten. Ett sätt att reducera de är att minska flödet och samtidigt öka trycket för att bibehålla produktiviteten. Detta låter sig göras genom att införa en separat högtryckkrets för matning och såg.

Verkningsgrad. Tillförd energi är den energi som hydraulpump(-arna) erhåller från dieselmotorn eller via en växellåda. Avgiven energi är den energi som hydraulmotorer och hydraulcylindrar avger till t.ex. sågkedja och matningsvalsar. Totalverkningsgraden är den totala verkningsgraden för hydraulsystemet.

Effekt som tillförs hydraulsystemet och dess delar finns i tabell 23. Totalverkningsgraden är ca 53 %.

*Tabell 23. Effekt till hydraulsystemet. *) avser tid som transmissionen är i drift.*

System del	Effekt [kW]
Medeleffekt totalt	58
Medeleffekt till aggregatet	59
Medeleffekt till kran	37
Medeleffekt till transmission *)	39
Avgiven effekt	31

Mätning av emissioner vid dynamiska förlopp

Författare: Kjell Holmgren, SMP Svensk Maskinprovning AB

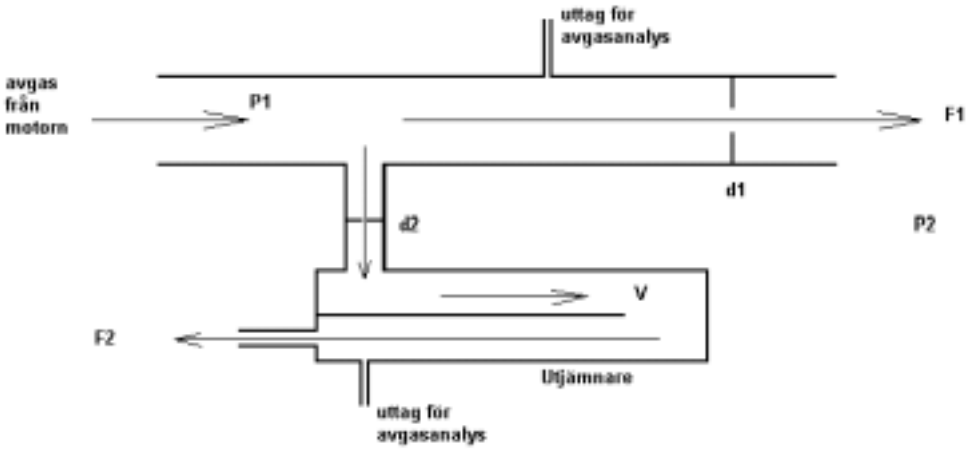
Beställs från:
JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Box 7033, 750 07 UPPSALA
Eller via e-mail: office@jti.slu.se

Sammanfattning

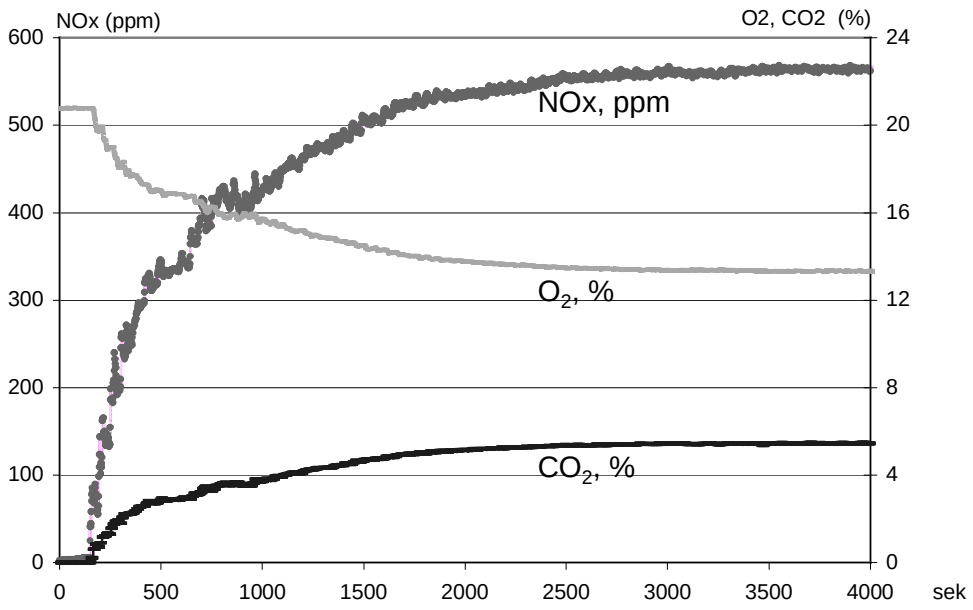
I delprojektet ”Mätning av emissioner vid dynamiska förlopp” inom huvudprojektet ”Utveckling av relevanta arbetscykler och emissionsfaktorer samt reducering av bränsleförbrukning för arbetsmaskiner” (EMMA) gjorde SMP Svensk Maskinprovning AB (SMP) jämförande mätningar av utsläppen av vissa reglerade avgasemissioner från motorer som körs dels i statiska körcykler, dels dynamiska. De statiska körcyklerna följde ISO 8178 medan de dynamiska körcyklerna följde förlopp som registrerats av Inst. för Lantbruksteknik vid Sveriges Lantbruksuniversitet under praktisk körning.

Mätningarna genomfördes vid SMPs motorlaboratorium i Umeå på tre olika motorer. Motorerna bromsades i en vattenkyld, elektriskt styrd virvelströmsbroms. Styrsystemet som möjliggjorde simulering av dynamiska förlopp utvecklades av SMP inom projektet. De reglerade emissioner som mättes i enlighet med kravspecifikationerna i ISO 8178 var totala kolväten (THC), kväveoxider (Nox) och kolmonoxid (CO). Dessutom mättes koldioxid (CO_2).

SMP utvecklade även ett system med en ”avgasutjämnare” som möjliggjorde att avgasanalyser kunde göras på ett enkelt sätt även vid dynamiska körcykler under hänsynstagande till både gaskoncentrationen och gasflödets storlek.



Utjämningssystemet beaktar såväl gassammansättningens som avgasflödets tidsförlopp genom ”medelvärdesbildning” av variationerna i gaskoncentrationen. Nedan illustreras utjämningen av emissionsnivåerna vid transienta körningar.



De tre turboöverladdade dieselmotorerna hade följande huvuddata:

Motor	**Volvo TD63KDE**	**Sisu-Diesel 420 DWRE**	**Sisu-Diesel 620 DWRE**
Arbetsmaskin	Hjullastare Volvo L70	Jordbrukstraktor Valmet 6650	Skogsmaskin Valmet
Antal cylindrar	6	4	6
Cylindervolym, liter	5,5	4,4	6,6
Max. motoreffekt kW	93	82	108
Varvtal för max. effekt, r/m	2000	2000	2200

I de följande tabellerna redovisas sammanfattande resultat från mätningarna.

Volvo TD63KDE	**ISO 8178, 8 stationära punkter (sammanvägda)**	**Mätpunkt nr 7 från 8-punktsprogrammet**	**Dynamiska förlopp med utjämnare**
Medelvarvtal (rpm)	-	1200	1195
Medeleffekt (kW)	48,3	36,3	31,0
Spec. bränsleförbr. (kg/kWh)	0,231	0,214	0,244
Specifik CO (g/kWh)	1,63	0,41	2,19
Specifik NOx (g /kWh)	7,49	8,79	7,29
Specifik THC (g/kWh)	0,14	0,12	0,19

Sisu-Diesel 420 DWRE	**ISO 8178, 8 stationära punkter (sammanvägda)**	**Mätpunkter från 22-punktsprogram**		**Dynamiska förlopp med utjämnare**
		4	**5**	
Medelvarvtal (rpm)	-	1 400	1 400	1 393
Medeleffekt (kW)	44,1	6,640	16,60	11,1
Spec. bränsleförbr.(kg/kWh)	0,232	0,4107	0,2655	0,34
Specifik CO (g/kWh)	0,886	3,65	7,54	2,40
Specifik NOx (g /kWh)	9,93	1,37	5,61	7,97
Specifik THC (g/kWh)	0,213	0,886	0,407	0,37

Sisu-Diesel 620 DWRE	ISO 8178, 8 stationära punkter (sammanvägda)	Mätpunkt nr 7 från 8-punkts-programmet	Dynamiska förlopp med utjämnare
Medelvarvtal (rpm)	-	1 500	1 517
Medeleffekt (kW)	62,6	47,9	46,5
Spec. bränsleförbr. (kg/kWh)	0,261	0,201	0,261
Specifik CO (g/kWh)	2,05	0,70	0,82
Specifik NOx (g /kWh)	8,72	5,88	7,77
Specifik THC (g/kWh)	0,30	0,29	0,14

Ur de ovan redovisade resultaten kan man dra slutsatsen att det föreligger en viss överensstämmelse mellan resultaten från de dynamiska körningarna och de sammanvägda resultaten från 8-punktskörningarna förutsatt att medeleffekten från de dynamiska körningarna överensstämmer med den sammanvägda 8-punktseffekten. Den största skillnaden tycks gälla CO som är klart högre vid de dynamiska körningarna.

Om man i stället väljer ut enstaka punkter från stationär körning som varvtals- och effektmässigt stämmer väl överens med motsvarande medelvärden från dynamiska körningar får man god överensstämmelse i nästan alla avseenden. Vid körningar med motorn TD 63 KDE erhölls dock betydligt högre CO-värden i den dynamiska körningen.

Mätning av reglerade och icke-reglerade emissioner från fyra arbetsmotorer

Författare: Dan Haupt, Kent Nord

Beställs från:
Inst. för kemi och metallurgi, Avd för kemi, Luleå Tekniska Universitet,
981 87 Luleå, Vx 0920-491 000

Publicerad: Teknisk Rapport från Luleå Tekniska Universitet, ht 2002

Sammanfattning

Projektarbetet som har bedrivits vid LTU har varit inriktat på emissionsmätningar av både reglerade och icke-reglerade emissioner. Emissionerna har uppmätts i motorprovbänk enligt en 22-punkters körcykel, som delvis täcker samma punkter som körcyklerna ECE R49 och ISO 8178, men också har kompletterats med ytterligare punkter i avsikt att täcka hela motorns arbetsområde. Mätningarna av de reglerade komponenterna har varit underlag för det arbete som bedrivs av gruppen från Lantbruksteknik som med hjälp av emissionsdata och uppmätta operationsspecifika motorbelastningar tagit fram operationsspecifika emissions-faktorer. Alla mätningar, utförda av LTU, har skett i s.k. ”stedy-state” mode, där både motorvarvtal och belastning hålls konstanta vid mätningarna. Totalt har fyra olika motorer testats; en traktormotor av märket Sisu Diesel 620 DWRE, två Volvomotorer; en Volvo TD63 KDE och en Volvo TD40 GJE samt en Sisu Diesel 420 DWRE.

Fabrikat/Motortyp	Maxeffekt (kW)	Max vridmoment (Nm)
Volvo TD 63KDE	96	615
Sisu Diesel 620DWRE	129	700
Sisu Diesel 420 DWRE	81	460
VolvoTD 40 GJE	74,6	403

Motortesterna har omfattat:

- Fullastkurva (effektkurva) för var och en av motorerna. Under dessa körningar mäts också moment, varvtal, bränsleförbrukning, avgastemperatur, massflödet av inluft, HC, CO, NO_X, CO_2 .
- 22-punkters körningar på varje motor. 22-stegs körcykeln har ungefär följande belastningssteg (*Observera att de exakta valda varvtalen bestäms när effektkurva har upprättats*):

Tomgång: obelastad motor
800 rpm: 10 och 50 % belastning
1000 rpm: 10, 50 och 75 % belastning
1200 rpm: 10, 25, 50, 75 och 100 % belastning
Tomgång : obelastad motor
1600 rpm: 10, 50, 75 och 100 % belastning
Tomgång : obelastad motor
2000 rpm: 10, 25, 50, 75 och 100 % belastning
Tomgång: obelastad motor

De reglerade emissionerna som har mätts är HC, NO_X och CO. Partiklar har också uppmätts men inte enligt den partikelfiltermetod som specificeras för partikelmätningar enligt ETC; ECE R-49 eller ISO 8178 utan med ett s.k. SMPS-instrument. De icke reglerade komponenterna som analyserats är formaldehyd, acetaldehyd, akrolein, bensaldehyd, metan, etan, eten, propan, propen, propyn, isobutan, acetylen, 1-buten, isobuten, pentan, 1,3-butadien, bensen, toluen, M-xylen och O-xylen. Metan har endast analyserats för de två sista motorerna dvs. Sisu 420 DWRE och Volvo TD40 GJE, liksom också Bensen, Toluen, M-xylen och O-xylen.

För två av motorerna, Sisu 420 DWRE och Volvo TD40 GJE, har dessutom partiklarna mätts med hjälp av ett s.k. SMPS instrument. En viss skattning av partikelmängden som emitteras från fordon erhålles därvid genom att anta en viss densitet på partiklarna som uppmäts.

De reglerade emissionsvärdena har sedan vidarebefordrats till gruppen för Lantbruksteknik, Magnus Lindgren och Per-Anders Hansson. Lantbruksteknik har sedan använt emissionsvärdena som indata för beräkning av emissionerna vid olika arbetsoperationer.

En resultatanalys har också utförts av LTU som har använt Lantbrukstekniks uppmätta tidsprocent värden för olika arbetsoperationer och på så sätt räknat ut operationsspecifika emissionsfaktorer för både reglerade och icke-reglerade emissioner.

Resultat

Emissionerna från fyra olika, tunga motorer; Volvo TD 63 KDE, Sisu Diesel 620 DWRE, Sisu Diesel 420 DWRE och Volvo TD 40 GJE har uppmätts i motorprovbänk. Alla motorer har testats enligt en s.k. 22-stegs körcykel innehållande både de steg som omfattar 13 -mode körningar enligt ECE R-49 och ISO 8178. De icke reglerade komponenterna som analyserats är formaldehyd, acetaldehyd, akrolein, bensaldehyd, metan, etan, eten, propan, propen, propyn, isobutan, acetylen, 1-buten, isobuten, pentan, 1,3-butadien, bensen, toluen, M-xylen och O-xylen.

För en Valtra 6650 traktor har motorbelastningen och varvtal vid olika arbetsmoment uppmätts; frontlastare, fastgödselspridning, kletgödselspridning, kletgödseltransport, urinfyllning, urinspridning, harv, plog, slåtterkross, såmaskin, transport och vält. Samtidigt har emissionerna uppmätts för motorn Sisu Diesel 420 DWRE, i motorprovbänk. Genom arbete som utförts i Uppsala av Inst för Lantbruksteknik har därefter de olika uppmätta varvtalen och motorbelastningarna projicerats på de moder som ingår i ISO 8178. Eller med andra ord sagt: de uppmätta varvtalen/belastningarna, som är väldigt många, har gjorts om så att arbetsoperationerna inplanteras i de körsteg som ingår i ISO8178 cykeln och varje körsteg har tilldelats en viktsfaktor som representerar andel ungefärlig tidsåtgång i varje arbetsoperation, se tabell 1.

Tabell 1. Operationsspecifika motorbelastningar fördelade enligt moderna i ISO 8178 för Valtra 6650 traktor. Tabell från "Jordbruks- och anläggningsmaskiners motorbelastning och avgasemissioner" av Magnus Lindgren, Ola Pettersson, Per-Anders Hansson , Olle Norén.

Operation	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 5	Mode 6	Mode 7	Mode 8	Mode 11
ISO 8178	15	15	15	10	10	10	10	15
Frontlastare	0	0	2	8	0	0	73	17
Fastgödselspridning	13	26	26	1	0	18	16	0
Kletgödselspridning	0	36	63	1	0	0	0	0
Kletgödseltransport	44	13	17	4	16	1	4	1
Urinfyllning	0	0	20	47	0	0	31	2
Urinspridning	0	0	1	2	0	0	96	0
Harv	56	0	0	0	23	16	2	2
Plog	55	3	2	1	13	8	15	3

Tabell 1 (forts.). Operationsspecifika motorbelastningar fördelade enligt moderna i ISO 8178 för Valtra 6650 traktor. Tabell från "Jordbruks- och anläggningsmaskiners motorbelastning och avgasemissioner" av Magnus Lindgren, Ola Pettersson, Per-Anders Hansson ,Olle Norén.

Operation	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 5	Mode 6	Mode 7	Mode 8	Mode 11
Slåtterkross	0	0	0	1	0	1	96	3
Såmaskin	0	3	3	0	0	6	79	8
Transport	37	27	14	9	7	3	2	2
Vält	0	0	1	0	0	2	83	14

Tabell 2. Emissionsfaktorer vid arbetsoperationer som ger högre emissionsfaktorer än ISO8178 för Valtra 6650 traktor.

	ISO 8178	Transport	Kletgödsel-transport	Plog	Harv
Motoreffekt kW	43,3	59,8	63,5	65,3	69,8
Bränsleflöde kg/h	10,0	13,5	14,2	14,3	15,1
HC g/h	9,01	10,8	10,4	10,0	9,81
NOx g/h	397	581	631	673	733
CO g/h	51,5	77,6	92,3	98,6	109,9
Formaldehyd mg/h	1 660	2 370	2 530	2 620	2 750
Acetaldehyd mg/h	528	639	649	634	658
Acrolein mg/h	261	286	284	264	270
Benzaldehyd mg/h	63,0	134	159	192	200

För att ha en referens räknades även emissionsfaktorerna för ISO 8178 ut. Emissionsfaktorerna för ISO 8178 uträknas genom att multiplicera ISO 8178 viktsfaktorer, i tabell 1 redovisade som tidprocentvärden, med emissionerna under respektive körsteg. De därigenom erhållna emissionsfaktorerna för ISO 8178 är redovisade i tabell 2. Observera här att de redovisade emissions-

faktorerna blir en kompromiss; motoreffekter och emissioner är uppmätta i motorbromsbänk på laboratorium medan arbetsoperationerna uppmäts i fält. En viss avvikelse mellan de uppskattade emissionsfaktorerna och verkliga emissioner föreligger säkerligen.

Tabell 2 (forts.). Emissionsfaktorer vid arbetsoperationer som ger högre emissions-faktorer än ISO8178 för Valtra 6650 traktor.

	ISO 8178	Transport	Kletgödsel - transport	Plog	Harv
Etan mg/h	21,9	16,0	14,2	13,8	15,1
Eten mg/h	1080	1270	776	415	308
Propan mg/h	25,6	38,6	38,4	44,6	50,2
Propen mg/h	611	818	463	201	120
Isobutan mg/h	4,08	3,74	4,56	5,99	7,17
Propadien mg/h	25,4	31,1	19,7	9,88	8,72
Acetylen mg/h	267	285	186	109	101
1-buten mg/h	338	442	279	132	118
Isobuten mg/h	43,4	64,9	32,4	8,48	0,16
1, 3-Butadien mg/h	59,8	64,8	42,6	26,2	21,0
Propyn mg/h	24,9	28,2	29,5	30,4	21,9
Bensen mg/h	828	1140	1260	1340	1440
Toluene mg/h	210	226	223	231	216
M-xylene mg/h	79,6	105	101	95,4	94,5
O-xylene mg/h	59,7	65,9	61,7	62,4	55,4

För de andra arbetsoperationerna har motorbelastningen i % fördelats enligt ”moderna” i ISO 8178 C1. De därigenom erhållna viktsfaktorerna för de olika arbetsmomenten redovisas i tabell 1. Genom att därefter multiplicera emissionerna vid respektive steg med de olika viktsfaktorerna vid respektive steg och slutligen addera summorna erhålls ”*riktiga*” emissionsfaktorer för de olika arbetsmomenten.

Tabell 3. Emissionsfaktorer vid arbetsoperationer som ger lägre eller likvärdiga emissionsfaktorer som ISO8178. Arbetsoperationerna utfördes med en Valtra 6650 traktor.

	Urin-fyllning	Front-lastare	Vält	Såmaskin	Urin-spridning	Slåtter-kross	Kletgöds elspr.	Fastgöds elspr.
Motoreffekt kW	22,2	25,8	29,0	32,3	32,4	32,5	47,4	51,2
Bränsleflöde kg/h	6,44	6,11	6,57	7,25	7,29	7,28	11,2	11,6
HC g/h	9,62	7,29	7,07	7,40	7,54	7,53	10,8	9,95
NOx g/h	155	184	208	238	229	231	359	443
CO g/h	25,8	16,6	15,0	15,9	15,1	15,2	30,2	40,8
Formaldehyd mg/h	1460	777	621	637	599	599	1270	1400
Acetaldehyd mg/h	606	341	277	276	266	267	454	440
Acrolein mg/h	317	207	184	185	186	187	265	238

Vid denna undersökning fastställdes att de arbetsoperationer som krävde ett högt effektuttag gav höga emissionsfaktorer för de reglerade emissionerna. Arbetsoperationerna transport, kletgödseltransport, plog, och harv gav följaktigen högre emissionsfaktorer för de reglerade komponenterna än skulle erhållits vid användandet av ISO 8178 se tabell 2.

Bilden för de icke-reglerade emissionerna är så komplex att en generell slutsats inte kan dras. En del komponenter minskade kontra ISO 8178 trots ett högre effektuttag från motorn medan andra komponenter ökade kraftigt, se tabell 2. Generella slutsatser är således svårt att dra.

Till gruppen med lägre emissionsfaktorer än de som erhålls vid användandet av ISO 8178 måste räknas frontlastare, urinfyllning, urinspridning, slåtterkross, såmaskin och vält, se tabell 3. Även här följs ett lågt effektuttag av relativt, jmf. med ISO 8178, låga emissionsfaktorer. Intressant är att notera att här är bilden betydligt mer klar – låga emissionsfaktorer för de reglerade emissionerna följs med endast något enstaka undantag också av låga emissionsfaktorer för de icke reglerade emissionerna.

Tabell 3 (forts.). Emissionsfaktorer vid arbetsoperationer som ger lägre eller likvärdiga emissionsfaktorer som ISO8178. Arbetsoperationerna utfördes med en Valtra 6650 traktor.

	Urin-fyllning	Front-lastare	Vält	Såmaskin	Urin-spridning	Slåtter-kross	Kletgödselspr.	Fastgödselspr.
Benzaldehyd mg/h	15,6	6,78	4,02	3,57	2,69	2,87	5,45	48,2
Etan mg/h	12,6	21,7	21,1	19,7	16,3	17,8	16,5	18,1
Eten mg/h	322	706	709	748	576	619	1720	1350
Propan mg/h	16,8	3,80	1,90	4,54	1,24	1,48	10,9	25,5
Propen mg/h	134	296	293	336	230	249	1100	828
Isobutan mg/h	0,21	1,86	1,60	1,29	n.d.	0,39	n.d.	2,41
Propadien mg/h	5,27	12,6	12,5	13,8	9,27	10,2	41,2	31,2
Acetylen mg/h	63,1	164	156	155	100	115	358	284
1-buten mg/h	65,6	142	140	163	109	118	572	426
Isobuten mg/h	59,4	15,5	6,97	12,7	10,4	9,07	79,1	56,3
1, 3-Butadien mg/h	26,9	49,6	53,1	56,4	50,2	52,1	98,6	80,8
Propyn mg/h	31,8	47,9	52,7	51,6	59,6	59,3	38,2	33,5
Bensen mg/h	675	490	454	462	476	477	544	701
Toluene mg/h	239	255	260	258	278	280	202	217
M-xylene mg/h	80,1	56,6	52,6	54,7	56,6	56,3	87,9	80,9
O-xylene mg/h	67,6	76,2	79,1	79,1	85,8	86,2	66,2	68,0

Slutligen återstår då arbetsoperationerna fastgödselspridning och kletgödselspridning som effektmässigt ligger väldigt nära ISO 8178. Som väntat ligger emissionsfaktorerna här nära de som skulle erhållits för beräkning enligt viktsfaktorerna i ISO 8178, se tabell 3.

Även för en Volvo L70 hjullastare har emissionsfaktorer uträknats med hjälp av uppgifter över olika arbetsoperationers fördelning i tidsprocent, se tabell 4. De arbetsoperationer som studerades var kantklippning, gruslastning och materialsortering.

Tabell 4. Arbetsoperationer och emissionsfaktorer för Volvo L70 hjullastare.

	ISO 8178	Kantklippning	Gruslastning	Materialsortering
Motoreffekt kW	48,0	46,5	30,0	24,6
Bränsleflöde kg/h	11,0	9,79	6,58	5,36
HC g/h	33,8	28,1	21,6	19,7
NOx g/h	293	338	225	208
CO g/h	61,3	27,9	22,1	19,3
Formaldehyd mg/h	397	268	215	204
Acetaldehyd mg/h	251	164	139	133
Acrolein mg/h	83,9	66,7	40,8	45,9
Benzaldehyd mg/h	23,8	11,7	7,32	5,46
Etan mg/h	54,8	18,4	16,7	13,4
Eten mg/h	1525	841	572	339
Propan mg/h	94,5	87,3	65,9	62,6
Propen mg/h	2640	996	744	564
Isobutan mg/h	45,8	12,3	12,0	13,5
Propadien mg/h	119,4	37,3	28,6	18,8
Acetylen mg/h	1520	426	384	254
1-buten mg/h	1740	993	686	272
Isobuten mg/h	581	494	400	336
1, 3-Butadien mg/h	121,5	43,7	37,4	25,4
Propyn mg/h	599	106	124	103

Effektuttaget vid de olika arbetsoperationerna var ISO8178 > kantklippning > gruslastning> materialsortering.

Anmärkningsvärt är den goda överensstämmelsen mellan effektuttag och emissionsnivåer. I stort sett alla emissioner minskar med minskande effektuttag, dvs. från höger till vänster vid respektive rad. Antydan till ett rätlinjigt (?) samband syns tydligt om emissionerna plottas mot effektuttag.

En Volvo L50 Hjullastare kartlades i projektet vid arbetsoperationerna. snölastning, sandlastning, kantklippning, terminalarbete och stödkantsutläggning.

Uträkning av emissionsfaktorerna har gjorts på ovan beskrivet sätt och resultaten redovisas i tabell 6. Även här observerades samma trend; med stigande effektuttag ökade i stort sett samtliga emissioner. Ett rätlinjigt samband kunde skönjas.

Tabell 6. Arbetsoperationer och emissionsfaktorer för Volvo L50 hjullastare.

	ISO 8178	Snölastning	Sandlastning	Kantklipp ning	Terminalarbete	Stödkants utläggning
Motoreffekt kW	38,4	23,3	29,7	26,1	16,4	10,9
Bränsleflöde kg/h	9,12	5,10	6,58	5,62	3,74	2,65
HC g/h	4,56	3,49	3,87	3,70	3,21	2,96
NOx g/h	272	156	196	167	116	82,6
CO g/h	26,8	12,3	15,5	12,7	11,0	10,1
Formaldehyd mg/h	950	809	871	871	743	680
Acetaldehyd mg/h	349	253	273	259	248	244
Acrolein mg/h	231	167	184	174	154	143
Benzaldehyd mg/h	12,4	7,9	8,7	7,7	7,7	7,5
Etan mg/h	117,8	82,8	91,6	84,6	70,9	61,9
Eten mg/h	3170	1670	2090	1810	1580	1450
Propan mg/h	222	150	169	155	131	116
Propen mg/h	1125	471	645	500	453	417
Isobutan mg/h	213	216	235	241	172	136
Propadien mg/h	123,3	60,7	78,4	69,6	47,9	38,7
Acetylen mg/h	455	312	356	343	275	247
1-buten mg/h	665	278	380	284	253	227
Isobuten mg/h	114,7	89,2	91,2	95,5	83,8	78,2
1, 3-Butadien mg/h	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Propyn mg/h	52,5	33,9	40,0	38,0	30,0	26,3
Bensen mg/h	873	504	626	559	421	356
Toluene mg/h	1680	1340	1540	1520	1100	898
M-xylene mg/h	843	772	857	862	652	550
O-xylene mg/h	398	134	193	146	116	104

När det gäller de icke –reglerade emissionerna från de studerade motorerna kan en generell slutsats vara att ett högre effekttuttag från motorn resulterar i högre emissioner i g/h eller mg/h räknat. Eftersom samma effekt kan nås vid olika varvtal är en naturlig följdfråga att ställa om det finns vissa kombinationer varvtal/effekt som bör undvikas. Frågan är mycket intressant eftersom den kan hjälpa motorfabrikanterna att identifiera viss områden där vi har stora utsläpp. Problematiken kan kanske därefter kringgås genom förändring av motor eller utväxling. I ett försök att upprätta modeller över varvtal- effekt och utsläpp av respektive komponent har arbetet med att ta fram modeller med programvaran Modde från Umetric nyligen startats. De preliminära resultaten visar att för tre av motorerna; Volvo TD 63 KDE, Sisu Diesel 420 DWRE och Sisu Diesel 620 DWRE kan modeller över varvtal/effekt och utsläpp av vissa icke- reglerade komponenter erhållas. Bäst var den statistiska överensstämmelsen för någon/några av aldehyderna medan modellerna för de flesta studerade kolvätena blev alltför statistiskt osäkra för att redovisas. För den fjärde motorn, Volvo TD40 GJE bedöms samt-

liga modeller i dagsläget vara så osäkra att slutsatser bör undvikas. För de tre studerade motorerna erhölls samma mönster för utsläppen av formaldehyd; de varvtal som bör undvikas är framförallt höga varvtal med lågt effektuttag men även lågt varvtal med mkt högt effektuttag gav höga emissioner för de nämnda komponenterna. Samma effektuttag under andra varvtal minskar således utsläppen. För Volvo TD 63KDE och Sisu Diesel 420 DWRE erhölls ett likartat mönster också för acetaldehyd och acrolein; höga utsläpp vid höga varvtal med lågt effektuttag men även höga utsläpp vid lågt varvtal med mkt högt effektuttag. Några modeller över vissa av kolvätena verkar lovande men är i skrivande stund inte färdiga.

En del partikelmätningar har också gjorts i projektet. Partikelemissionerna analyserades beträffande storlek och distribution med ett SMPS instrument. Partikelemissionerna i gram/kWh skattades med en programvara erhållen från TSI Corp. Resultaten visade att karaktäristiken för partikelemissionerna skiljer sig mellan de två motorerna, Sisu Diesel 420 DWRE och Volvo TD 40GJE. Sisumotorn emitterade större partikelmassa och fler partiklar i de lägre varvtalsområdena, medan Volvomotorn emitterade fler partiklar och större massa vid högre varvtal. Däremot, om partikelmassa beräknades i enlighet med de viktsfaktorer som är aktuella för ISO 8178 standarden så erhölls närmast identiska emissioner i g/kWh. Antalet partiklar var dock ca tio gånger högre för Volvo-motorn jämfört med Sisumotorn i antal/kWh. Följaktligen blir verklig emitterad partikelmassa både beroende på typ av motor och typ av arbetsoperation. Om en arbetsoperation huvudsakligen sker vid högt varvtal är Sisumotorn att föredra medan Volvomotorn är att föredra för arbetsoperationer som sker vid lägre varvtal.

Eftersom transporten av gaspåsar från Umeå till Luleå kan tänkas påverka utfallet av analyserna av kolväten har initiala studier över detta utförts i projektet. En undersökning av provstabiliteten genomfördes på de i påsar provtagna kolvätena. Några avgasprov analyserades så fort som möjligt efter provtagningstillfället och sedan efter tio dagar. De flesta av de analyserade komponenterna visade skillnader på ± några procent medan den största uppmätta skillnaden noterades till 11 %. En viss diffusion från påsarna ska resultera i en ständigt längre koncentration av provkomponenter. Här är inte svaret entydigt; någon säkerställd nedgång i koncentration för alla substanser gick inte att bekräfta.. Detta kan försiktigtvis tolkas som att eventuella provförluster är minimala, i alla fall p g a diffusion, under den korta tidsperiod som är aktuell från provtagningstillfälle till analys. En annan möjlighet till provförlust, adsorption eller absorption av provkomponenter till gaspåsar, eller kan ge en initial förlust som sedan resulterar i ”steady-state” betingelser. I skrivande stund är denna möjlighet inte utredd tillräckligt för att en slutsats ska kunna dras.

Sammanfattningsvis kan konstateras att arbetet med att kartlägga de icke-reglerade emissionerna bör fortsätta för att hjälpa motorfabrikanterna att undvika de punkter med höga utsläpp som verkar finnas på motormappen. Med tanke på den hälsorisk som partikel-utsläppen verkar ge upphov till bör även utsläppen av partiklar i framtiden inkorporeras i modellerna. Metoderna behöver också förfinas och modellerna bli bättre varför en slutsats måste bli att de påbörjade arbetet bör fortsätta.

Artiklar och papers

Nedan följer sammanfattningar av artiklar och papers utförde inom projekt EMMA.

Development of Relevant Work Cycles and Emission Factors for Off-Road Machines

Paper 2001-01-3637.

Copyright © 2000 Society of Automotive Engineers, Inc.

Authors:
Olle Norén, Ola Pettersson
JTI – Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering

Order this paper from:
Society of Automotive Engineers

http://www.sae.org

Ola Pettersson presented this paper at the SAE: conference in RENO, May 2002, as paper number 2001-01-3637.

Abstract

The total amount of exhaust emissions from diesel engines all over the world must be reduced. Off-road machines consume a considerable part of the diesel fuel used in Sweden and much of the exhaust emissions originate from these machines. Consequently, it is urgent to study different methods to reduce fuel consumption and the exhaust emissions from off-road machines. The test-cycles used to calculate exhaust emissions from off-road machines are developed for heavy on-road vehicles, e.g. trucks and busses. A pilot study at JTI indicates that calculation of the amount of emission based on these test-cycles may give completely wrong figures. More relevant test-cycles have to be established.

The objectives of the project presented in this paper are:

- To study driving and load patterns in different field operations and transports using all kinds of off-road vehicles,
- To generate data on emissions as a base for calculations of emissions from different field operations and transports by off-road vehicles,
- To develop relevant static and transient load cycles,
- To establish emission factors for different operations through measurements of emissions and computer simulation,
- To propose methods in order to decrease fuel consumption and emissions,
- To generate data concerning fuel consumption for different operations.

The studies are carried out partly in the field and partly in test stands. The field studies comprise contractor machines such as loaders, excavators, haulers, forest

machines like harvesters and forwarders, tractors with different implements, working machines and vehicles for farm operations. In the field studies, the machines are equipped with sensors and data collecting systems for fuel consumption, engine speed, forward speed slip, temperatures of fuels, etc. The emissions are measured in engine test stands because this requires a laboratory for that type of measurement.

The project has been conducted by:

- JTI – Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering
- Department of Agricultural Engineering, Swedish University of Agricultural Sciences
- SkogForsk, The Forestry Research Institute of Sweden
- The Swedish National Road Administration, Construction and Maintenance
- SMP, The Swedish Machinery Testing Institute
- Luleå University of Technology

A system for onboard determination of engine power by measuring fuel consumption at 1 Hz

Authors:
Ola Pettersson[1], Olle Norén[1], Per-Anders Hansson[2], Magnus Lindgren[2]

[1] JTI – Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering

[2] Swedish University of Agricultural Sciences, Dept. of Agricultural Engineering

Order this paper from:
JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, P.O. Box 7033, S-750 07 Uppsala, Sweden, phone + 46 18 30 33 00, email ola.pettersson@jti.slu.se

This paper was presented at the European AgEng conference in Budapest in July 2002, as paper number 02-PM-024.

Summery

A large project in Sweden is in progress concerning exhaust emissions. It concerns field studies of driving patterns for off-road machines and engines in combination with different equipment. In the field studies, there is a need for reasonably priced measurement systems that could describe how the engines work with adequate sampling rate. The measurement-system is presented in this paper. A method based on known technique of how to measure diesel consumption with a single pipe system together with a volumetric flowmeter with high resolution has been evaluated. The data is stored with a sampling frequency of 1 Hz. Together with the engine speed in question, it is possible to calculate the engine power continuously. It is possible to identify quick changes in torque with this system, but mostly there is a reaction time of one second. In static conditions, there is a correlation coefficient between measured PTO power and calculated PTO power of 0.995. In moderate dynamic conditions, the correlation coefficient between calculated PTO power and measured engine power is calculated to 0.934, if taking into consideration a one-second time delay. The measurement system has been compared with another system installed in the same tractor based on technique for measuring torque at the main shaft between the flywheel and the transmission unit. This measuring system uses strain gauge transducers glued to the axis.

Utrustning för kontinuerlig effektmätning på lantbrukstraktor

– Baserad på trådtöjningsgivare och telemetrisk signalöverföring

Författare: Morgan Nordin

Utfört vid Institutionen för lantbruksteknik, SLU, i samarbete med JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik.

Beställs från:
Institutionen för lantbruksteknik, SLU Box 7032, 750 07 UPPSALA

Detta arbete har utförts som ett examensarbete vid Institutionen för Lantbruksteknik och finansierats med medel ur projekt EMMA. Syftet var bland annat att finna en metod som kan verifiera vilken grad av transienta motorförlopp som går att studera med hjälp av mätsystem baserad på teknik för att mäta bränsleförbrukning.

Sammanfattning

Kunskapen om utsläppen av avgaser från arbetsmaskiner och jordbrukstraktorer är begränsad vilket medfört att man bara kunnat göra grova uppskattningar över dessa fordons andel av den totala miljöbelastningen. För att få bättre kännedom om dessa utsläpp måste man veta hur de används, det vill säga hur motorerna körs med avseende på varvtal och belastning.

Syftet med detta examensarbete har varit att ta fram en exakt och tillförlitlig utrustning för att kontinuerligt mäta en traktormotors effekt under drift. Mätutrustningen består av vridmomentavkännande trådtöjningsgivare applicerade på axeln mellan motor och växellåda samt telemetrisk signalöverföring.

Tekniken att mäta vridmoment med trådtöjningsgivare och telemetrisk signalöverföring är inte ny. Det är möjligheten att använda tekniken på den Valtra-traktor som skall användas för att ta fram underlag till körcykler för jordbrukstraktorer som är av intresse. Just Valtras traktorer med HiTech-transmission har flera konstruktionslösningar som gör det möjligt att använda metoden på ett någorlunda enkelt sätt.

Mätutrustningen har hög upplösning vilket gör det möjligt att registrera transienta förlopp med en upplösning som inte varit möjlig med den tidigare använda mätutrustningen (indirekt effektmätning baserad på motorns bränsleförbrukning). Detta gör det lättare att ta fram realistiska körcykler där transienta förlopp utgör en betydande del som till exempel lastning med frontlastare.

De erhållna mätresultaten stämmer väl överens både med tillverkarens uppgifter och med värden från provkörningar mot en bromsbänk.

Den temperaturberoende nollpunktsdriften är den enda osäkerhetsfaktorn av betydelse. Detta på grund av att mätaxelns temperatur inte mäts. Det rör sig dock om en mycket liten drift och med rätt förutsättningar kan man minimera eller till och med bortse från dess betydelse.

Uppmätt effekt med mätaxeln, max effekt			
Varvtal	Vridmoment	Effekt	(Effekt hk)
1 701	442	79	107
1 304	469	64	87
1 104	448	52	70
Uppgiven effekt (Valtratraktorn)			
Varvtal	Vridmoment	Effekt	(Effekt hk)
1 700	440	78	106
1 300	465	63	85
1 100	455	52	70

Mätutrustning har visat sig fungera utmärkt och kommer att bli en utmärkt metod för att mäta hur en jordbrukstraktor belastas under olika arbetsoperationer. Tack vare den höga upplösningen kommer det bli möjligt att upptäcka transienta belastningar med högre upplösning än med den tidigare använda metoden. Detta är viktigt då varierande belastning på motorn ger en högre bränsleförbrukning och försämrade avgasvärden jämfört med en motor som arbetar med en jämn belastning.

A methodology for measuring the effects of dynamic loads on the fuel efficiency of agricultural tractors

Författare: P-A Hansson, M. Lindgren, M. Nordin & O. Pettersson

E-mail of corresponding author: Per-Anders.Hansson@lt.slu.se

Beställ rapport från:
Denna artikel är insänd för publicering i internationell tidsskrift.

Detta arbete har utförts som en del av Magnus Lindgrens forskarstudier vid Institutionen för Lantbruksteknik SLU och finansierats med medel ur projekt EMMA.

Sammanfattning

Bränsleeffektivitet är en mycket betydelsefull egenskap hos en dieselmotor. Förbättringar i bränsleeffektivitet resulterar både i minskad miljöbelastning och i förbättrad ekonomi. Trots att transienta belastningar är vanligt förekommande under normala driftsförhållanden för traktorer genomförs mätningar av bränsleeffektivitet oftast under statiska betingelser, i.e. konstant motorvarvtal och motormoment. Denna artikel presenterar en metod för att uppskatta effekterna av transienta belastningar på bränsleeffektiviteten för motorer i arbetsmaskiner. Ett användningsområde för den utvecklade metoden är att kvantifiera effekterna av, under normala driftsförhållanden existerande transienta belastningar för att utvärdera tillförlitligheten på bränsleeffektivitet och avgasemissioner uppmätta från statiska testcykler. Ett annat användningsområde för utrustningen är att undersöka motor och transmissions karakteristik för att minska de negativa effekterna av transienta belastningar.

Den utvecklade metoden är uppbyggt av ett mätinstrument bestående av trådtöjningsgivare vilka mäter vridande moment på axeln mellan motor och efterföljande växellåda. Dessutom mäts bränsleförbrukning och motorns varvtal parallellt med vridande moment. Utifrån av mätinstrumenten registrerade tidsserier av motorvarvtal och moment beräknades bränsleförbrukning. Beräkningsmodellen för bränsleförbrukning var kalibrerad med data erhållna från statiska mätningar. Med avsikt att undersöka den utvecklade metoden genomfördes fem mätningar innehållande olika transienta belastningar. De fem undersökta operationerna var:

1. Vägtransport med en 17 000 kg trailer på jämt underlag. Två olika motorvarvtal i kombination med tre olika utväxlingar undersöktes. De registrerade tidsserierna uppvisade endast små variationer i motorvarvtal och moment och kan därav betraktas som statisk.
2. Repeterade accelerationsförlopp med en 17 000 kg trailer från stillastående till ca 35 km h^{-1}.
3. Inomgårdsskörning utan extern belastning på traktorn. Operationen bestod av lugna accelerationer, inbromsningar och riktningsändringar allt enligt normal användning.
4. Operation med frontlastare, omlastning av grushög.
5. Fiktiv operation bestående av kraftiga accelerationer, riktningsändringar och tvingandet av hydrauluttag mot stängda ventiler.

Resultaten från undersökningen visade klart att transienta belastningar påverkar bränsleförbrukningen och därav även bränsleeffektiviteten. För operation ett var skillnaderna försumbara, vilket tyder på att metoden fungerar och genererar tillfredsställande data. Vid operation med frontlastare försämrades bränsleeffektiviteten med drygt 13 % jämfört med statiska belastningsdata. Motsvarande försämring vid inomgårdsskörning utan extern belastning var 8 %. Vid kraftiga accelerationer, operation fem, försämrades bränsleeffektiviteten med knappt 19 % jämfört med 3.5 % vid långsamma accelerationer, operation två. Den undersökta traktorn var utrustad med en turboladdad 4-cylindrig motor. Dessutom var pumpen, fördelarpump, utrustad med bl.a. en rökgasbegränsare.

Effects of Engine Control Strategies and Transmission Characteristics on the Exhaust Gas Emissions from an Agricultural Tractor

Författare:
M. Lindgren; P-A. Hansson, Department of Agricultural Engineering,
P.O. Box 7033, SE 750 07 Uppsala, Sweden

Beställ rapport från: http://www.idealibrary.com

Denna artikel är publicerad i Biosystems Engineering (2002) **83** (1) 55-65 och finns för beställning och nedladdning som Pdf-fil på http://www.idealibrary.com

Detta arbete har utförts som en del av Magnus Lindgrens forskarstudier vid Institutionen för Lantbruksteknik SLU och finansierats med medel ur projekt EMMA.

Sammanfattning

Bränsleförbrukning och emissioner från en specifik motor beror främst på belastande motorvarvtal och moment. Motorbelastning kan påverkas genom alternativa körtekniker, olika utformningar av transmissionen och användandet av redskap med olika avverkningskapacitet. Denna artikel undersöker effekter av varierande motorstyrning och transmissionsutformning på bränsleförbrukning och avgas emissioner från en lantbrukstraktor. Studien använde sig av en dynamisk datamodell som simulerings experiment utfördes på. Datamodellen beräknade momentana data över belastande motorvarvtal och moment som resultat av överföring av kraft och rörelse från traktor med tillhörande redskap. Simulerad motorbelastning nyttjades sedan för att beräkna bränsleförbrukning och emissionsmängder för den studerade operationen. Modellen baserades på Newtons andra lag för att bestämma momentan hastighet, v_v (ms^{-1}), i förhållande till uppnåbar drivkraft och faktisk motorbelastning enligt:

$$m\dot{v}_v = F_e - \left(F_i + \Sigma F_{mr} + \Sigma F_p + F_a + F_r + F_d\right)$$

där m var massan av traktor och redskap (kg), F_e uppnåbar framdrivningskraft som funktion av motorvarvtal (N). Belastande krafter delades upp i tröghets krafter F_i, rullmotstånd för drivhjul F_{mr}, dragkraft som funktion av lutning F_p, luftmotstånd F_a, rullmotstånd för redskap F_r och dragkraft F_d.

Två skilda operationer studerades, vägtransport och jordbearbetning i form av harvning. Bland annat studerades effekterna av förändringar i transmissionens totala utväxlingsförhållande, transmissionens verkningsgrad och en alternativ transmission, continuously variable transmission (CVT). Vidare undersöktes betydelsen av fältarbetshastighet och arbetsbredd vid jordbearbetning.

En allmän slutsats av studien var att det, genom användandet av alternativa körtekniker och utformningar av transmissionen, är möjligt att påverka mängden emissioner för en operation utan att påverka varken tiden eller bränsleåtgången för operationen. En förändring av transmissionens totala utväxlingsförhållande, sänkt motorvarvtal vid maximalt tillåten hastighet, resulterar i en marginell minskning av bränsleåtgången men en kraftig sänkning av mängden kolmonoxid (CO) och kolväten (HC). Dock ökar mängden kväveoxider markant vid en sänkning av motorvarvtalet. Ovanstående förändring av transmissionens totala utväxlingsförhållande påverkan inte bränsleförbrukning eller emissioner vid jordbearbetning.

A Comparison between Different Methods of Calculating Average Engine Emissions for Agricultural Tractors

Författare: Per-Anders Hansson[1], Magnus Lindgren[2], Olle Norén[3]

[1] Department of Agricultural Engineering, P.O Box 7033, SE-750 07 Uppsala, Sweden; e-mail to corresponding author: per-anders.hansson@lt.slu.se

[2] Department of Agricultural Engineering, P.O Box 7033, SE-750 07 Uppsala, Sweden; e-mail magnus.lindgren@lt.slu.se

[3] JTI – Swedish Institute of Agriculturalal and Environmental Engineering, P.O. Box 7033, SE-750 07 Uppsala, Sweden;e-mail: olle.noren@jti.slu.se

Beställ rapport från: http://www.idealibrary.com

Denna artikel är publicerad i Journal of Agricultural Engineering Research (2001) **80** (1) 37-43 och finns för beställning och nedladdning som Pdf-fil på http://www.idealibrary.com

Detta arbete har utförts som en del av Magnus Lindgrens forskarstudier vid Institutionen för Lantbruksteknik.

Sammanfattning

Data av god kvalitet över specifika och absoluta emissioner och bränsleförbrukning från olika operationer med lantbruks traktorer krävs för beräkningar av miljöbelastningar orsakade av olika odlingstekniker och lantbruksstrategier. Den standard, ISO 8178, som används för att certifiera motorer för lantbruksmaskiner ar emellertid inte anpassad för de driftsförhållanden som förekommer i verkligheten. Tillförlitliga emissions och bränsleförbruknings data för typiska motorbelastningar och körmönster är även viktiga vid optimering av motorstyrning. Målet med denna artikel var att beräkna viktade specifika emissionsvärden i g kWh^{-1} och viktade absoluta emissionsvärden i g h^{-1} för en 70 kW traktor genom att använda olika metoder och jämföra resultaten.

Förutom ISO 8178, en internationell 8-mods statisk testcykel för arbetsmaskiner, och ECE R49, en europeisk 11-mods statisk testcykel främst för tunga dieselmotorer viktades specifika och absoluta emissioner enligt ”Deutz five-point” testcykel, en 5-mods testcykel anpassad för lantbrukstraktorer, samt två viktningsmetoder som baserades på årlig användning av traktorn beroende på motoreffekt.

Resultaten i tabell 1 och 2 visar att specifika kolväte (HC) och kolmonoxid (CO) värden, viktade enligt ECE R49 och ISO 8178 standarderna är lägre än motsvarande emissionsvärden viktade enligt årlig användning av en 70 kW traktor, speciellt för traktorer som används inom låglast operationer och frontlastning. Vid jämförelser av absoluta emissioner visade resultaten att de standardiserade testcyklerna ISO 8178 samt ECE R49 överskattade emissionerna av kväveoxider.

Tabell 1. Absoluta emissioner för en 70 kW traktor. Scenario lågeffekt och högeffekt representerar årlig användning av en 70 respektive 100 kW traktor.

	CO g h^{-1}	**NO_x g h^{-1}**	**HC g h^{-1}**
ECE R49	30,9	332	7,81
ISO 8178	28,8	335	9,02
Deutz five-point	32,7	266	9,17
Viktat scenario ”lågeffekt”	31,8	230	8,80
Viktat scenario ”högeffekt”	30,0	265	9,09

Tabell 2. Specifika emissioner för en 70 kW traktor. Scenario lågeffekt och högeffekt representerar årlig användning av en 70 respektive 100 kW traktor.

	CO g kWh^{-1}	**NO g kWh^{-1}**	**HC g kWh^{-1}**
ECE R49	0,99	10,63	0,25
ISO 8178	0,83	9,65	0,26
Deutz five-point	1,16	9,42	0,32
Viktat scenario ”lågeffekt”	1,39	10,1	0,39
Viktat scenario ”högeffekt”	1,08	9,54	0,33

Studien visar även på att resultaten beräknade enligt den icke standardiserade testcykeln Deutz five-point bättre återspeglar en allsidig användning av en traktor i 50-75 kW klassen jämfört med europeiska och internationella standarder. Dessutom visar resultaten på att det inte är möjligt att konstruera en uppsättning viktningsfaktorer som representerar alla olika traktorer och arbetsoperationer.

Particles and emissions from a diesel engine equipped with a humid air motor system

2001-01-3616

Författare:
Kent Nord, Dan Haupt and Karl-Erik Egebäck
Luleå University of Technology, Division of Environment Technology
Copyright © 2001 Society of Automotive Engineers, Inc.

Denna artikel är publicerad av Society of Automotive Engineers, SAE som en av deras tekniska artiklar, *SAE Technical Paper Series*, no 2001-01-3616. Artikeln kan beställas från SAE på (http://www.sae.org).

Detta arbete är en del av Kent Nords forskarstudier vid Institutionen för Kemi och Metallurgi vid Luleå tekniska universitet LTU och har delvis finansierats med medel ur projektet Emma.

Sammanfattning

Dieselmotorer är den huvudsakliga drivkällan för tyngre arbetsmaskiner. Kväveoxider, NO_X har tillsammans med partiklar blivit identifierade som de stora emissionsproblemen vad det gäller dieselmotorer. Ett så kallat humid air motor system, HAM, för reduktion av NO_X har anslutits till en 11 liters Scania dieselmotor för utvärdering. Systemet har studerats både i avseende att kunna bidra till lägre utsläpp av kväveoxider och dess inverkan på partiklar. Samtidigt har aldehyder, reglerade emissioner, vatten förbrukning och andra viktiga parametrar mäts. Principen för HAM är att insugningsluften till motorn befuktas. Genom att befukta insugningsluften ökar värmekapaciteten för luft/bränsle blandningen i cylindern och detta i sin tur leder till att förbränningstemperaturen sänks, vilket i sin tur ger lägre emissioner av NO_X.

HAM systemets befuktningsanordning använder värme från kylsystemet för att värma vattnet i systemet och när den varma och av turbon komprimerade luften möter vattnet inuti befuktningsanordningen övergår en del av vattnet till gasform. Det är denna energikrävande fasövergång som förklarar varför luften kan kylas till för motorn acceptabla nivåer, beroende på laddtryck och önskat vatteninnehåll i insugningsluften. HAM systemet ersätter således laddluftkylaren. Massflödet igenom motorn ökas genom att vattenånga adderas till luftflödet utan att något extra kompressionsarbete behöver tillföras, vilket kan ge en potential till ökad verkningsgrad genom att t ex tillvarata extra energi i ett sk turbocompound system. På så sätt tillvaratas en del av värmet från kylsystemet som annars blivit förlust.

I undersökningen kördes motorn enligt ECE 49 reglementet. Resultaten visade att en 51 % reduktion av NO_X erhölls då motorns laddluftkylare ersattes med HAM systemet. Detta resultat uppnåddes utan någon som helst optimering av systemet. Högre reduktioner kan förväntas vid en optimering av HAM-system/motor. Partikelprovtagning utfördes enligt en sexpunkters testprogram, vilket visade att partikelemissionerna i regel ökade, mellan 46% och 148%, när HAM systemet var kopplat till motorn. Enda undantaget var tomgång då en minskning istället noterades. Emissionerna av totalkolväten, HC, var i stort opåverkade medan en liten ökning av kolmonoxid, CO, erhölls. De provtagna aldehyderna reducerades mellan 78 och 100 %. Ytterliggare undersökningar är nödvändiga för att helt klargöra den observerade effekten på aldehyder.

Evaluating a fischer-tropsch fuel, ECO-PAR™, in a Valmet diesel engine

2002-01-2726

Författare:
Kent. Nord and Dan Haupt
Luleå University of Technology

Denna artikel är presenterad på Powertrain & Fluid Systems conference 2002, San Diego USA och publicerad av Society of Automotive Engineers, SAE som enav deras tekniska artiklar, *SAE Technical Paper Series*, no 2002-01-2726. Artikeln kan beställas från SAE på http://www.sae.org.

Detta arbete är en del av Kent Nords forskarstudier vid institutionen för kemi och metallurgi vid Luleå tekniska universitet, LTU och har delvis finansierats med medel ur projektet Emma.

Sammanfattning

En av vår tids stora utmaningar är att sänka utsläppen av växthusgaser och då främst koldioxid. Ett av alternativen för att sänka nettotillskottet av koldioxid till atmosfären är att använda biobränslen, dvs. bränslen framställt från biomassa. Fisher- Tropsch diesel (FT diesel) är ett exempel på ett sådant bränsle som kan framställas från biomassa. Det har visat sig i ett antal undersökningar att FT diesel i regel har goda förbränningsegenskaper och ger låga emissioner vid användning. Det är av yttersta vikt att kartlägga emissionerna från nya bränslen och analysera specifika föreningar i avgasemissionerna så att andelen hälsovådliga och miljöfarliga föreningar inte ökar med införandet av nya bränslen.

I detta arbete har en kommersiellt tillgänglig FT diesel, Eco-Par^{Tm}, utvärderats och jämförts beträffande bränsleegenskaper och erhållna emissioner med det i Sverige vanligen använda dieselbränslet, miljöklass1 (MK1). Fourier transform infraröd spektroskopi (FT-IR), Raman FT-IR spektroskopi, gaskromatografi samt några vanligt förkommande bränsleanalyser har använts för att utvärdera bränsleegenskaperna. Båda bränslena användes i en Sisu Diesel 620 DWRE dieselmotor som körts enligt en 22 punkters testcykel innefattande samtliga punkter i ISO 8178 standarden. De erhållna avgasemissionerna analyserades beträffande totalkolväten, kolmonoxid, kväveoxider och ett urval av oreglerade, vanligt förekommande komponenter i avgaser. Totalt analyserade nitton specifika föreningar dels fyra aldehyder, formaldehyd, acetaldehyd, acrolein, bensaldehyd och dels femton kolväten etan, eten, acetylen, propan, propen, propyn, propadien, isobutan, isobuten, 1-buten, 1,3-butadiene, bensen, toluen, O-xylen., M-xylen.

Resultaten visar att Eco-Par^{Tm} har i stort sett likvärdiga bränsleegenskaper som MK1 med avseende på cetantal, densitet och värmevärde. En bränsleanalys visar också att de bägge bränslena i huvudsak innehåller kolväten med 9 till 20 kol. Trots att de molekyler som bygger upp bränslena är i samma storlek beträffande antalet kolatomer så varierar bränslekompositionen på grund av att kolatomerna är ihopkopplade till varandra på olika sätt, rakt, grenat och starkgrenat. Eco-Par^{TM} innehåller en större andel grenade kolväten än MK1. Mindre skillnader kan därför också noteras när bränslet används i motorn. Mindre insignifikanta skillnader till

fördel för Eco-Par^{Tm} i bränsleförbrukning och effekt noterades jämfört med när motorn körs på MK1. De reglerade komponenterna reducerades när Eco-Par^{Tm} kördes i motorn istället för MK1, totalkolväten med 15 %, kväveoxider med 7 % och CO med 3 %. Emissioner av specifika föreningar, aldehyder och individuella kolväten, var i enlighet med ISO 8178 i det närmaste oförändrad för formaldehyd medan övriga specifika föreningar reducerades mellan 20 % och 93 %. Sammanfattningsvis kan konstateras att utsläppen av både reglerade och ett antal studerade oreglerade emissioner sänktes för en Sisu Dieselmotor när MK1 ersattes med Eco-Par^{Tm} .

Framtida utveckling av emissionskrav för arbetsmaskiner

Författare:
Bengt Johansson, Dieselmotorutveckling, Volvo Construction Equipment Components AB

Utvecklingen av emissionskrav för arbetsmaskiner följer dito för tunga fordon med några års eftersläpning. En skillnad är dock att lagstiftningen för arbetsmaskiner i USA, EU och Japan har sådana likheter att samma produkt kan säljas globalt. Detta är en viktig hörnsten för industrin för att kunna utveckla bra produkter till rimlig kostnad. En annan skillnad är att dieselbränslet som används för arbetsmaskiner i många länder har betydligt lägre kvalitet än det bränsle som används för lastbilar. Det är i första hand svavelhalten men även Cetantal, aromathalt m.m. skiljer. Detta gör att motorteknik som används för lastbilar ibland ej kan användas för arbetsmaskiner.

Nästa emissionsteg (EU Steg 3A, US Tier 3) för arbetsmaskiner kommer att införas fr.o.m. 2006 i EU och USA. Detta kan sägas motsvara EURO 4 för lastbilar med avseende på kväveoxider, NO_X, men partiklar berörs ej av detta steg. Orsaken till detta är att oljebolagen ej i tid anses kunna minska svavelhalten till nivåer som tillåter tekniker för partikelreduktion. Detta steg kommer i första hand medföra att motorerna förses med system för avgasåterföring s.k. EGR. På grund av den höga svavelhalten så måste avgasåterföringssystemen göras extra robusta för att motstå de svavelsyraangrepp som kan uppstå i framför allt system där de återförda avgaserna kyls, s.k. kyld EGR. Andra tekniker som kan komma att användas är förfinade insprutningssystem där insprutningsförloppet kan styras med avseende på tryck men även multipla insprutningar.

Under 2010 så räknar både EU och USA att svavelfritt bränsle skall finnas 100% tillgängligt för arbetsmaskiner. Med svavelfritt menas då ett bränsle med mindre än 10ppp svavel i EU och mindre än 15 ppm i USA. I och med detta så kommer nästa emissionsteg (EU steg 3B, USA Tier 4) att introduceras med start 2011. Här kommer i första hand partiklarna att adresseras men USA avser även att begränsa kväveoxidutsläppen dramatiskt. Den teknik som i första hand kommer i åtanke för att möta dessa nivåer är olika former av efterbehandling av avgaserna.

För partiklar måste ett partikelfiltersystem utvecklas som fungerar även vid låga temperaturer på avgaserna. Dagens lösningar som säljs som eftermontage fungerar bara i driftsfall där avgastemperaturen under en viss tid av körcykeln överskrider en s.k. ”light off ” temperatur.

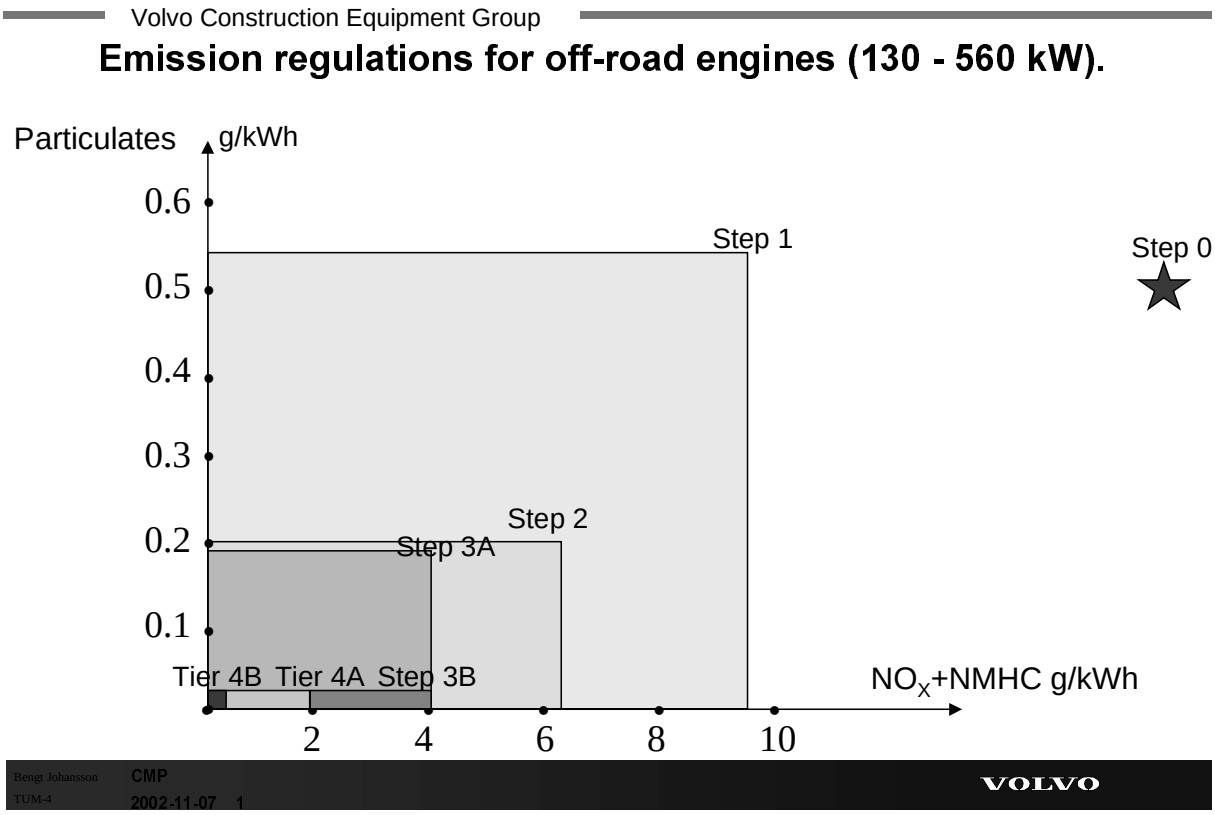
För kväveoxider så finns två huvudspår, Selektiv Katalytisk Rening, SCR, eller NO_X-fälla.

SCR använder sig av ammoniak för att i en katalysator reducera NO_X till kväve och vatten. Då ammoniak är otrevligt att hantera i koncentrerad form så används istället urea som sprutas in före katalysatorn och där omvandlas till ammoniak. Problemet med denna teknik är bl.a. att en infrastruktur för distribution av urea måste utvecklas.

NO_X-fällor lagrar in NO_X i en katalysator under normal ”mager” (syreöverskott) drift för att sedan reduceras i en ”fet” fas (bränsleöverskott). Dessa fällor kan ge

mycket hög omvandling av NO_X men är mycket svavelkänsliga. Svavel fastnar lättare än NO_X i fällan och blockerar övrig omvandling. För att avlägsna svavlet måste temperaturen i fällan höjas dramatiskt. Här återstår mycket utveckling.

Sammanfattningsvis så inom de närmaste 10 åren står dieselmotorer avsedda för arbetsmaskiner inför en stor utmaning att reducera avgasutsläppen. När denna utveckling är klar så har utsläppen reducerats med ca 97 % räknat från 1995 års motorer.



Sammanfattande diskussion

1. Operationsspecifika vägningsfaktorer

Dieselmotorn visar för varierande belastning och varvtal generellt stora variationer i mängden alstrade emissioner i relation till den producerade mekaniska effekten. Samtidigt visar de belastningsdata som spelats in att olika arbetsoperationer typiska för varje maskintyp ger kraftigt varierande belastning på motorn. Sammanlagt medför detta att bränsleförbrukning och emissionsmängder är starkt beroende av utförd arbetsoperation och att det därför är nödvändigt med operationsspecifika vägningsfaktorer vid uppskattning av emissioner från i det närmaste alla arbetsmaskiner. Detta gäller oberoende av om emissionerna relateras till mängden förbrukat bränsle eller till det av motorn utförda arbetet. Speciellt stora är de operationsberoende skillnaderna för CO och HC medan skillnaderna för NO_x normalt är något mindre. Studierna som presenteras fastlägger alltså den slutsats som indikerats i tidigare studier (Hansson et al., 1998). I arbetet presenteras också siffror för icke reglerade emissioner. Trenderna i dessa siffror är något svårtolkade, men helt klart är att variationerna mellan olika arbetsoperationer är mycket stora.

Det bör tilläggas att ovanstående variationer inte gäller för emissionerna CO_2 och SO_x som normalt är linjärt beroende av mängden förbrukat bränsle resp. det svavel som finns i detta. I dessa fall krävs alltså inte operationsberoende vägningsfaktorer.

En annan effekt av de stora variationerna mellan olika arbetsoperationer är att inte heller siffror beräknade för en genomsnittlig användning av ett fordon är rättvisande om inte hänsyn tas till vilka arbetsoperationer maskinen används för eller hur fördelningen mellan operationerna är. En av de redovisade studierna visar att en lantbrukstraktors genomsnittliga emissionsmängd över året är kraftigt beroende av om maskinen övervägande används som kraftkälla vid tyngre jordbearbetning eller för lättare sysslor på en gård med annan driftsinriktning. Studien visade dessutom att ingen av de nämnda arbetsfördelningarna gav en emissionsmängd som överensstämde med en beräknad enligt den gällande standarden inom området ISO 8178. Det är alltså viktigt att operationsberoende faktorer används även vid bestämning av en maskins totala emissionsalstring.

2. Effekter av transienta belastningar

I arbetet har påvisats mycket intressanta effekter av transienta belastningar på såväl bränsleförbrukning som emissionsmängder. Systematiska studier med hjälp av syntetiska belastningscykler har visat hur bränsleförbrukningen för två testade motorer påverkas av olika typer av transienta förändringar av varvtal och belastande moment. Effekterna av transienter på bränsleförbrukningen har dessutom mätts vid praktisk drift med hjälp av en momentmätande utrustning på motorns utgående axel. Förutom att den ökande bränsleförbrukningen vid transienta förhållanden även indirekt tyder på ökade emissionsmängder har ökade emissionsmängder vid transienta förhållanden också påvisats vid upprepning av inspelade transienta operationer i provbänk med samtidig emissionsmätning. Kraftigt ökade emissionsmängder av HC (44% resp. 60%) och CO (45% resp. 225%) jämfört med statiska förhållanden, vid typiska lastningsarbeten med en lantbrukstraktor respektive en lastmaskin, pekar på att hänsyn definitivt måste tas till de dyna-

miska effekterna vid uppskattning av emissioner vid sådana operationer om tillfredsställande noggrannhet skall uppnås.

Förekomsten av transienta belastningar är beroende av den utförda operationen. Inspelade motorbelastningsdata visar att exv. en lantbrukstraktor visserligen ibland utför kraftigt transient belastande operationer men att flertalet operationer för en traktor har relativt statisk natur. För maskiner som lastmaskiner, grävare och skogsmaskiner är läget annorlunda eftersom de flesta vanligen förekommande operationer har betydande transienta belastningsmönster. Resultaten av studien antyder att tidigare i litteraturen redovisade totala emissionssiffror för maskiner med stor andel transient belastande arbetsoperationer, exempelvis lastmaskiner och grävmaskiner, underskattat de verkliga emissionerna. Felen beror på att det i beräkningarna har utnyttjats statiskt uppskattade samband mellan producerad motoreffekt eller bränsleförbrukning och emissionsmängder.

Studien visar alltså att ökningen av bränsleförbrukning och emissioner vid transienta operationer är så stor att hänsyn bör tas vid beräkning av emissionsmängder för sådana operationer. Det nu slutförda projektet har för två belastningsfall redovisat siffror för sådana ökningar men problemet är att någon generell bild av hur alla typer av transienta belastningar påverkar de totala värdena inte existerar. Dessutom indikerar bränsleförbrukningsresultaten betydande skillnader mellan olika motortyper. Det är med andra ord för närvarande inte möjligt att från inspelade tidsserier för belastande moment och varvtal generellt uppskatta hur mycket de inspelade transienterna ökar emissionsnivåerna, jämfört med om emissionerna beräknats med statiska värden hämtade från standardiserade mätningar enligt exv. ISO 8178. Arbete för att om möjligt ta fram en beräkningsmodell för generell kvantifiering av dessa effekter har dock påbörjats som en följd av det här redovisade projektet.

3. Reducering av bränsleförbrukning och emissionsmängder

En grundläggande faktor när det gäller arbete för att reducera bränsleförbrukning är att hela systemets verkningsgrad ska beaktas. Detta betyder att en lämplig enhet för bränsleförbrukning kan vara relaterad till den bearbetade arealens storlek eller till lastad mängd för en lastningsoperation. En ytterligare vidgning av det studerade systemet kan också vara rimlig i vissa lägen och kan innebära att emissionerna istället bedöms i relation till mängden producerad gröda inom lantbruket eller i relation till en förflyttning av en viss vara mellan två platser.

Beroende på vilken systemnivå som studeras kan åtgärderna för att reducera bränsleförbrukningen liksom metodiken för att analysera desamma vara mycket varierande. Tar man en jordbearbetningsoperation inom lantbruket som exempel kan man på en relativt hög systemnivå fråga sig om verkligen det bruknings-system där operationen ingår är det optimala. Kanske skulle ett system med reducerad jordbearbetning vara mera fördelaktigt ur energisynpunkt, eftersom den studerade operationen helt enkelt inte skulle behövas trots att skörden skulle bli densamma. På en något lägre systemnivå kan det ifrågasättas om det redskap som används är det optimala eller om ett annorlunda utformat redskap kan resultera i samma bearbetning av jorden men med ett reducerat dragkraftsbehov och därigenom reducerad bränsleförbrukning. Liknande exempel kan hämtas från skogs- och entreprenadområdena. Det rapporterade projektet har dock i huvudsak inte

studerat effekter av förändringar på dessa systemnivåer utan här hänvisas till annan litteratur.

Projektet har i huvudsak arbetat med förändringar som rör själva arbetsmaskinen och motorns belastning. Även här kan dock åtgärderna delas in beroende på systemnivå. Studierna framförallt på skogsmaskiner men även simuleringarna av lantbrukstraktorn har visat att mycket stora minskningar av bränsleförbrukningen kan uppnås genom förbättringar av transmissionen av effekt mellan motorn och hjul eller annat effektkrävande organ. Denna transmission sker vanligen med mekaniska eller hydrauliska system. Ett påfallande exempel är den testade skogsmaskinen som visade sig kräva nästan lika mycket bränsle när hjulen var uppallade och frirullande och inget nyttigt mekaniskt arbete utfördes jämfört med när den kördes i terräng. Studier utförda utanför detta arbete har visat på mycket stora förluster även i traktortransmissioner vid ofördelaktiga driftsförhållanden och man kan anta att liknande förhållanden även gäller för övriga arbetsmaskiner. Förutom mera genomgripande förändringar av hela transmissionssystem kan en så enkel åtgärd som ändring av utväxlingsförhållandet i en slutväxel ge betydande effekter.

Förutom att friktionsförlusterna kan reduceras i transmissionen kan det också vara möjligt att återvinna energi som utnyttjats för att lyfta exv. en grävmaskinsarm när denna sänks ner igen. En sådan teknik med förfinat hydraulsystem och ackumulatorer har i oberoende mätningar visat sig reducera bränsleförbrukningen med 25-30% samtidigt som kapaciteten höjdes. En annan lösning enligt samma princip är stadsbussarna som lagrar rörelseenergi vid inbromsning och sedan återvinner denna vid en påföljande acceleration.

Andra möjligheter att minska bränsleförbrukningen har visat sig vara att ändra förarens användning av en existerande transmission. Sådana förändringar kan vara att utnyttja en utväxling och en hastighet, kombinerat med ett rätt dimensionerat redskap, som medför att maskinen arbetar så effektivt och med så hög bränsleverkningsgrad som möjligt. Med nuvarande datorteknik har det blivit fullt möjligt att hjälpa föraren att kontinuerligt reglera utväxling och varvtal så att motorn arbetar i det mest fördelaktiga området. Bland annat med tanke på de effekter av transienta belastningar som redovisats i studien är det uppenbart att åtgärder som minskar dessa belastningar också reducerar bränsleförbrukning och emissioner, liksom sannolikt motorns förslitning. Transienterna kan minskas genom förändringar i transmission och hydraulsystem, men även genom att förarens sätt att manövrera fordonet förändras.

Det finns alltså en mängd förändringar med potential att reducera bränsleförbrukningen på systemnivåer som ligger ovanför själva motorn men naturligtvis så kan motorförändringar också medföra bränslebesparingar. Ändrade utformningar av insprutningssystem eller förbränningsrum är sådana förändringar. Ett viktigt faktum är dock att sådana förändringar kanske kan öka verkningsgraden med några få procent vilket är väldigt lite jämfört med effekterna av de förändringar på högre systemnivå som diskuteras ovan. När det gäller förändringar som minskar emissionsmängderna är förhållandet dock annorlunda eftersom det fortfarande finns tekniskt utrymme att kraftigt reducera emissionsmängderna trots att motorn utför samma arbete. Som exempel kan nämnas att när den planerade Euro5-standarden införts (för lastbilar år 2008, för offroad-maskiner är ej

datum beslutat ännu) kommer emissionerna från nyproducerade motorer att ha minskat till mindre än en tiondel av den nivå som motorer höll i början av 1990-talet. Det är dock inte uppenbart att denna reduktion kan utföras utan att motorns verkningsgrad samtidigt försämras.

När det gäller de icke reglerade emissionerna är en generell slutsats att ett högre effekttuttag från motorn resulterar i högre emissioner i g/h eller mg/h räknat. Eftersom samma effekt kan nås vid olika varvtal är en naturlig följdfråga att ställa om det finns vissa kombinationer varvtal/effekt som bör undvikas. Frågan är intressant eftersom den kan hjälpa motorfabrikanterna att identifiera vissa områden där vi har stora utsläpp. Problematiken kan kanske därefter kringgås genom motor/utväxlingsmodifikationer.

Efterbehandlingsutrustning för avgasreduktion har börjat utvecklas och kan bli ett rimligt alternativ för reduktion av emissionsmängder. En vanlig lösning för att reducera partikelemissionerna är baserad på någon typ av filter som genom avbränning hindras från att sättas igen. Utrustningen kräver en viss temperatur för att avbränningen ska fungera vilket ställer till problem vid användning på vissa arbetsmaskiner eftersom de under långa perioder arbetar med låg belastning. Under projektet har för vissa mätningar även spelats in avgastemperaturvärden. Dessa visar att temperaturen som krävs för vissa operationer inte uppnås förutom under korta perioder. Det kan därför bli tal om andra lösningar exv. med schema-bunden avbränning med hjälp av extra bränsletillförsel. Kunskapen om möjlig-heterna att effektivt använda en efterbehandlings-utrustning på arbetsmaskiner är dock mycket ofullständig för närvarande. Sverige har dock bättre förutsättningar än andra länder att få ett system att fungera eftersom vi redan har ett dieselbränsle med den låga svavelhalt som krävs.

4. Emissioner från biobaserade bränslen

Redovisade värden från mätningar av reglerade emissioner vid körning med alternativa biobaserade bränslen eller blandbränslen på dagens motorer visar normalt att flertalet emissioner reduceras jämfört med körning på fossil diesel. Undantag finns, exv. kan NO_x-värdena öka något under vissa betingelser. Bio-baserade bränslen reducerar vanligen även nettotillskottet av koldioxid till atmos-fären, eftersom den CO_2 som frigörs vid förbränningen tidigare har inlagrats från atmosfären.

För att producera biobaserade bränslen krävs det mera omfattande processer och system än vad som krävs för fossila bränslen vilka normalt ”bara” skall pumpas upp, transporteras och raffineras. Råvaran till de biobaserade bränslena måste odlas om det är lantbruksprodukter, eller åtminstone samlas in och finfördelas om det gäller skogsprodukter. Dessutom krävs mera omfattande processer för att omvandla råvaran till färdigt bränsle än vad som krävs för fossilolja. De extra processerna kräver tillsatser av energi och bidrar till emissioner av olika slag. Vid en jämförelse mellan fossila och biobaserade bränslen är det viktigt att emis-sionerna från hela produktionskedjorna studeras eftersom en jämförelse bara baserad på motoremissioner vid slutanvändningen ger en felaktig bild.

En annan faktor som gör jämförelsen mellan bränslen med olika sammansättning osäker är vad som händer när motorbelastningarna innehåller omfattande transi-

enta komponenter. Bytet av bränsle påverkar både det kemiska och det termodynamiska skeendet i förbränningsrummet. Det är därför uppenbart att de emissionsförändringar som uppstår vid transienta belastningar vid körning på alternativa bränslen inte är desamma som uppstår vid körning på dieselolja. Kunskap om emissionseffekter av transienta belastningar vid körning på alternativa bränslen saknas dock för närvarande.

5. Användning av redovisade data i LCA-beräkningar

Arbetet redovisar en mängd data som kan användas i livscykelanalyser. Data är insamlat och redovisat med en detaljeringsnivå som är högre än för tidigare redovisade data och som därför medför en ökad noggrannhet vid bestämning av miljöbelastningen för en produkt där arbetsmaskiner utför delar av processen.

I studien har målet varit att välja ut så ”normala” körningar som möjligt, dvs. mätningar där de påverkande faktorer varit så genomsnittliga som möjligt. Urvalet ur det mycket stora materialet har skett dels med statistiska metoder, dels med hjälp av manuell bedömning. Samtidigt måste det betonas att presenterade värden är kopplade till en specifik mätning med specifika yttre omständigheter, val av förare etc. Resultaten kan alltså inte ses som absoluta generella sanningar utan måste hanteras med viss eftertanke.

En viktig och användbar del av resultaten som redovisas beskriver hur motorbelastningen fördelar sig mellan de olika testmoderna i ISO 8178 för de olika studerade operationerna. Dessa siffror är relativt oberoende av vilken motor som används, åtminstone så länge som maskinens och motorns storlek är rimligt matchad till det arbete som utförs. Dessa siffror gör det möjligt att beräkna emissionsvärden kopplade till en viss operation även om motorn som används inte överensstämmer med några av de som är testade i studien. Det som krävs är tillgången till resultat från en test av motorn enligt ISO 8178 och att resultaten är redovisade för varje testmode. Vidare behövs det data för bränsleförbrukningens storlek exv. per hektar eller per hanterad m^3. Sådana uppgifter rapporteras i detta projekt men kan också hämtas från andra källor. De rapporterade fördelningsvärdena gör det alltså möjligt att beräkna approximativa emissionsvärden för en viss operation för motorer med gammal teknik men också för nya och kommande motorer med avgasspecifikationer som är bättre än de som testats.

Redovisade emissionsdata är kopplade till den teknik och avgaskravsnivå som är angiven för respektive motor. Denna nivå kan sägas vara den som är aktuell för nya maskiner under de år studien utfördes och några år framåt. För att exemplifiera osäkerheterna som införs om redovisade emissionsdata används generellt även för äldre motorer kan det nämnas att dieselmotorer tillverkade på 1970-talet och använda för drift av fiskebåtar av tillverkaren Volvo Penta bedöms ha reglerade emissionsnivåer som är 2,4-2,8 gånger större än för nya motorer med turbo och laddluftskylning (Ziegler och Hansson, 2002). Förhållandena inom detta område skiljer sig dock från arbetsmaskinområdet eftersom fiskebåtar försedda med gamla motorer ofta fortfarande har höga årliga brukningstider. Äldre arbetsmaskiner används däremot normalt i ganska begränsad omfattning enligt resultat redovisade i denna studie.

Ett sätt att öka noggrannheten i en LCA är normalt att undvika genomsnittliga siffror och i stället välja så väldefinierade processer som möjligt. I vissa fall är det kanske till och med möjligt att exakt få uppgifter om vilka maskiner som används vid den analyserade operationen. Eftersom dessa maskiner sannolikt i sådana fall sällan exakt överensstämmer med de som analyserats i denna studie krävs någon typ av kvalificerade antagande när det gäller emissionsmängderna. Ett grundantagande i sådana fall är att om inte storleken på maskinerna överensstämmer är det normalt rimligt att anta att emissionerna per bearbetad areal är relativt oberoende av maskinstorlek. Finns även kunskap om bränsleförbrukningen för den verkliga operationen att tillgå kan de redovisade emissionerna i g/MJ i det tillförda bränslet användas för att få ett bra mått på emissionerna.

När det gäller variationer i andra yttre förutsättningar som jordart inom lantbruket eller markförhållanden i skogen är det svårare att göra några generella antaganden. Möjligen kan man nämna att huvuddelen av de inspelade jordbearbetningsoperationerna inom jordbruket är utförda på förhållandevis tungbearbetad jord och att emissionsmängder och bränsleförbrukning kan reduceras något om kunskap finns om att det är lättare jordar som bearbetats.

Ytterligare en osäkerhet vid användning av rapporterade emissionsdata som indata för LCA är att de, liksom alla andra tidigare tillgängliga data inom området, är beräknade med en statisk beräkningsmetodik utan hänsyn till effekter av transienta belastningar. Övriga mätningar i projektet visar att denna beräkningsmetodik systematiskt underskattar emissionsvärden när operationerna innehåller betydande transienta komponenter, t.ex. vid lastningsarbeten. Med nuvarande kunskapsnivå är dessa effekter dock inte möjliga att kvantifiera på ett tillfredsställande sätt förutom för de få körningar som är utförda i dynamiskt belastande provbänk och rapporterade inom projektet. En modell för mera generell korrigering av data för dessa effekter är dock, som tidigare nämnts, under utveckling.

6. Kartläggning av antal arbetsmaskiner och deras användning

Grävmaskiner, grävlastare och lastmaskiner utgör tillsammans ca 75 % av det totala beståndet av arbetsmaskiner inom entreprenadsektorn i Sverige. I samband med livscykelanalyser och andra beräkningar som innefattar emissionsdata är det därför av stor vikt att inte bara det korrekta antalet aktiva maskiner av dessa objektslag finns tillgängligt, utan även att uppskattningen av det årliga antalet drifttimmar för objekten är så nära sanningen som möjligt. Av samma skäl är det inom jordbrukssektorn viktigt att det årliga antalet drifttimmar för traktorer är känt. Inom bägge sektorerna är det dessutom viktigt att känna till hur antalet drifttimmar varierar med objektens ålder eftersom nyare maskiner normalt har lägre emissionsnivåer än äldre maskiner.

SMP Svensk Maskinprovnings delrapport visar att det finns betydligt fler entreprenadmaskiner än vad som tidigare har antagits (se rapport B 1342 från 1999 av IVL Svenska Miljöinstitutet AB, ”Kartläggning av emissioner från arbetsfordon och arbetsredskap i Sverige”). Vidare visar sig det genomsnittliga antalet drifttimmar vara något lägre än vad som tidigare antagits. Däremot är överensstämmelsen vad gäller antalet drifttimmar bättre när det gäller nyare entreprenadmaskiner.

För traktorer visar delrapporten att antalet drifttimmar per år är högre än vad som tidigare antagits. Vidare framgår att skillnaden mellan äldre och nyare traktorer är markant. 20% av traktorerna (de 30 000 nyaste av totalt 140 000) står för 50% av det totala antalet driftstimmar.

Sammanfattningsvis ger de nya bedömningarna av antalet arbetsmaskiner och av antalet drifttimmar för maskiner av olika ålder förbättrat underlag för framtida beräkningar av de totala emissionerna från arbetsmaskiner i Sverige.

Slutsatser

Operationsspecifika vägningsfaktorer

Dieselmotorn visar för varierande belastning och varvtal generellt mycket stora variationer i mängden alstrade emissioner i relation till den producerade mekaniska effekten. Studierna visar att det föreligger stora skillnader i belastande moment och motorvarvtal för olika arbetsoperationer. Det är därför nödvändigt att man använder operationsspecifika vägningsfaktorer vid beräkning av emissioner från arbetsmaskiner. Detta gäller såväl reglerade som icke-reglerade emissioner.

Effekter av transienta belastningar

Förekomsten av transienta belastningar är starkt operationsspecifik. Vid många arbetsoperationer är transienterna små, vid andra mycket betydande. Studierna visar att ökningen av bränsleförbrukning och emissioner vid starkt transienta arbetsoperationer är så stora att hänsyn bör tas till dem vid beräkning av emissionsmängder.

Hur kan bränsleförbrukning och emissionsmängder reduceras?

En grundläggande faktor när det gäller att reducera bränsleförbrukning och emissioner är att hela maskinsystemens verkningsgrad beaktas. Avsevärda reduceringar bör kunna uppnås genom ännu bättre transmissioner och hydraulsystem. Viktigt är att söka minska transienta motorbelastningar och att utveckla system för återvinning av läges- och bromsenergi. En annan viktig faktor är att inom jordbruket välja rätt maskin- och redskapsstorlek i förhållande till den tillgängliga motoreffekten.

Referenser

97/68/EG, 1998. Europaparlamentets och Rådets direktiv 97/68/EG av den 16 december 1997 om tillnärmning av medlemsstaternas lagstiftning om åtgärder mot utsläpp av gas- och partikelformiga föroreningar från förbränningsmotorer som skall monteras i mobila maskiner som inte är avsedda att användas för transporter på väg. Europeiska gemenskapernas officiella tidning nr L 059 , 27/02/1998 s.0001 _ 0086.

EEC, 1988. EEC Directive 88/77, EEC Journal Officiel L36.

Hansson Per-Anders, Burström Anna, Norén Olle & Bohm Mats, 1998. Bestämning av motoremissioner från arbetsmaskiner inom jord- och skogsbruk. Rapport 232. Institutionen för lantbruksteknik, SLU, Uppsala.

ISO, 1996. ISO 8178-4; Reciprocating internal combustion engines- Exhaust emission measurements- Part 4: Test cycles for different engine applications. International Organisation of Standardisation.

Johansson Staffan, 1998. Förstudie av energiflöden och energiutnyttjande på spannmålsgårdar i Mellansvergie. Uppdragsrapport, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.

SCB, 1999. Utsläpp till luft av svaveldioxider, kvävedioxider, koldioxid, metan, lustgas, kolmonoxid och flyktiga organiska föreningar. [Emissions to air in Sweden of sulphur dioxide, nitrogen oxides, carbon dioxide, methane, nitrous oxide, carbon monoxide and volatile organic compounds.] Publication SM Mi18, Statistics Sweden, Stockholm, Sweden.

Ziegler F, Hansson P-A, 2002. Emissions from fuel combustion in Swedish cod fishery. Journal of Cleaner Production. Accepted for publication.