



BESTÄMNING AV MOTOREMISSIONER FRÅN ARBETSMASKINER INOM JORD- OCH SKOGSBRUK

ENGINE EMISSIONS FROM AGRICULTURAL TRACTORS AND
FORESTRY MACHINES

Per-Anders Hansson

Anna Burström

Olle Norén

Mats Bohm



Institutionen för lantbruksteknik

Rapport 232
Report 232

Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Agricultural Engineering

Uppsala 1998
ISSN 00283-0086
ISRN SLU-LT-R-232-SE

Förord

Det föreliggande arbetet har initierats av en projektgrupp med deltagare från SLU/Institutionen för lantbruksteknik, Jordbrukstekniska institutet, Lantbrukarnas Riksförbund, Institutet för livsmedel och bioteknik (SIK), Chalmers/CPM, Chalmers/Institutionen för Transportteknik , SkogForsk, Skogsägarnas Riksförbund och Svensk Maskinprovning.

Arbetet har finansierats av LRF:s program "Resurseffektiva transporter". Data som utnyttjats i arbetet har ställts till förfogande från Valtra Valmet AB och från SLR genom Svensk Maskinprovning.

Författarna vill härmed tacka alla inblandade parter för det stöd som givits under arbetets genomförande.

Abstract

Modern agriculture and forestry are based on the use of large diesel-fuelled vehicles. The emissions from these vehicles cause substantial damage to the production area and to the surrounding environment.

A useful method for analysis of the environmental load from a production chain or a process is LCA. The results from LCA analyses performed on food production show that an important part of the environmental load is caused by emissions from internal combustion engines.

Very few data are available on discharge of emissions from agricultural tractors. Therefore, the data used in most LCA studies is from measurements on diesel-fuelled trucks or from large wheel loaders. There are many reasons to believe that these figures are not representative for tractors performing typical agricultural work operations. The shortage of data contributes to the possibility that LCA results describing environmental loads from modern food production may have very high error levels and high uncertainties.

The report describes a study performed in order to quantify engine emissions from a medium size (70 kW) tractor when performing typical agricultural work operations. To obtain emission values specific for different driving operations, time series for the load at the engine are recorded when performing typical operations. These data are then combined with test bench emission data, in order to calculate the discharge of emissions for each of the recorded operations.

The operations studied were ploughing, harrowing, stubble cultivation, sowing, loading and transporting. Emissions were calculated for two different diesel fuels and for RME.

The general results are a) that the use of one single emission factor for all types of driving operations may result in very high error levels, and b) that the emission factors normally used in LCA studies can not be used for agricultural tractors. Important areas for further research are described and discussed in the last part of the report.

Sammanfattning

Inom lantbruk och skogsbruk är traktorer, skotare och skördare nödvändiga hjälpmedel för att upprätthålla produktionen. Emissioner från arbetsfordon i jord- och skogsbruk orsakar dock omfattande skador både på produktionsytor och på omgivande miljö.

Livscykelanalys, LCA, syftar till att ge ökad kunskap om hela systems miljöpåverkan. 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. Vid användning av LCA måste indata ha god noggrannhet för att resultatet skall vara av något värde.

LCA-beräkningar visar att utsläpp från arbetsfordon med förbränningsmotorer står för en betydande del av miljöbelastningen vid livsmedelsframställningen. Det finns dock mycket lite data över emissionsutsläppen från arbetsfordon. Osäkra eller felaktiga ingående emissionsdata kan leda till att resultaten av analyserna blir direkt felaktiga och att det bästa alternativet för miljön utesluts.

Testkörningar i mätlaboratorium för att bestämma nyutvecklade motorers emissioner genomförs kontinuerligt. Beroende på motorernas tänkta arbetsuppgifter väljs en testcykel, utarbetad för att representera den belastning som denna motor arbetar under. Trots att arbetsmaskinerna står för en betydande del av utsläppen, finns idag ingen testcykel utarbetad för att representera en arbetsmaskins belastning under arbete.

Litteraturstudien som utförts i arbetet visar att det saknas emissionsvärden redovisade för motorer till jordbrukstraktorer och skogsmaskiner som är belastade på ett för respektive maskintyp representativt sätt. Det saknas också siffror på hur valet av arbetsoperation påverkar emissionsvärdena. Emissionsvärden finns redovisade för motorer som används i traktorer, men resultaten är vägda med generella faktorer, primärt framtagna för att motsvara förhållandena vid lastbilskörning.

I rapporten redovisas också beräkningsmetodik och resultat för de bestämningar av emissionsvärden som utförts på en medelstor traktor. Metodiken bygger på att mätningar av en traktors körmönster kopplas till tillgängliga emissionsdata mätta enligt standardiserad testcykel i provbänk.

Mätningar av traktorns arbetsförhållande utfördes vid ett antal olika arbetsoperationer. Traktorn som användes var en Valmet 805 med fyrhjulsdrift och turboladdad 4-cylindrig motor med 70 kW (95 hk) maximal effekt. Traktorn hade normal däcksutrustning och var även i övrigt utrustad och inställd på ett för svenska förhållanden normalt sätt.

Mätningar utfördes under sammanlagt ca 40 tillfällen vid utförande av olika köroperationer och med varierande arbetsförhållanden. Efter en inledande analys valdes sedan representativa och typiska mätserier ut för vidare studier. De operationer som valdes ut var: 1. Harvning med såbäddsharv, 2. Sådd med bogserad såmaskin, 3. Stubb-bearbetning med tallriksredskap, 4. Landsvägs- och stadskörning med boggikärria, 5. Transport av spannmål mellan fält och tork, 6. Lastning med frontlastare, 7. Plöjning med helburen växelplög, 8. Pressning av halm med hårdpress. Operationerna och det använda mätsystemet beskrivs närmare i rapporten.

Emissionsberäkningarna har utförts för tre bränslen: Diesel miljöklass 1 (MK1), Diesel miljöklass 3 (MK3) och RME. Data som beskriver traktormotorns utsläpp av emissioner vid olika standardiserade mätpunkter är hämtade från mätningar utförda på Statens maskinprovningar på en Valmet 420 DS-motor som bland annat finns monterad i Valmet 6400-traktorerna. Med hjälp av värdena för emissioner vid de 11 mätpunkterna specificerade i A30-standarden kunde ett samband mellan emissioner, motorvarv och belastande moment bestämmas för varje kombination av motorvarv och belastning.

Tabellerna nedan visar dels beräknade emissioner vid olika traktoroperationer i enheten g/MJ tillförd energi i bränslet, dels emissionsvärden redovisade i vanliga källor för LCA.

Arbetsmoment	MK1			MK3			RME		
	CO (g/MJ)	NOx (g/MJ)	HC (g/MJ)	CO (g/MJ)	NOx (g/MJ)	HC (g/MJ)	CO (g/MJ)	NOx (g/MJ)	HC (g/MJ)
Harvning	0,046	0,860	0,016	0,042	0,897	0,016	0,030	0,998	0,0089
Sådd	0,114	0,900	0,031	0,108	0,948	0,034	0,097	0,905	0,0129
Stubb-bearb	0,083	0,708	0,028	0,076	0,747	0,030	0,062	0,778	0,0120
Transport 1	0,106	0,681	0,032	0,100	0,708	0,032	0,081	0,771	0,0140
Transport 2	0,163	0,880	0,036	0,150	0,900	0,037	0,147	0,898	0,0164
Lastning	0,407	1,227	0,067	0,378	1,194	0,068	0,369	1,009	0,0264
Plöjning	0,091	0,935	0,027	0,085	0,988	0,029	0,078	0,967	0,0119
Pressning	0,226	0,819	0,050	0,228	0,860	0,053	0,192	0,821	0,0200
	"Diesel"								
Data-källa	CO (g/MJ)	NOx (g/MJ)	HC (g/MJ)						
LCA-it	0,300	1,300	0,200						
Audsley et al., 1997	0,693	1,36							

Resultaten visar att variationen i mängd emissioner per tillförd bränslemängd varierar starkt beroende på vilken typ av arbete som utförts. Det är därför inte möjligt att använda en generell faktor vid beräkning av emissioner från traktorer som används i olika arbetsuppgifter, om man skall uppfylla några krav på noggrannhet vid utförande av LCA. Resultaten visar också att de emissionsvärden för traktorer som idag används vid LCA-beräkningar har stora avvikelser jämfört med de värden som tagits fram i studien.

I arbetet redovisas även en förenklad beräkningsmetod som ger möjlighet att uppskatta emissionsvärden för de olika arbetsoperationerna för alla traktorer med relevant storlek som

provats enligt A30-standarden. Möjligheter ges att studera hur en viss förändring i motorns emissionsvärden påverkar de totala utsläppen vid utförandet av en viss arbetsuppgift. Resultaten redovisade från denna metod kan ses som ett första försök att för traktorkörning ta fram standardiserade vägningsfaktorer som kan utnyttjas i kombination med A30-mätvärden. För att de nya vägningsfaktorerna skall bli så representativa som möjligt är det dock nödvändigt med ett större datamaterial, och med mätningar utförda under mera varierande förhållanden.

Arbetet har påvisat stor brist på kunskap när det gäller emissioner från arbetsmaskiner inom jord- och skogsbruk. I rapportens diskuteras slutligen en rad områden där forskningsinsatser skulle vara värdefulla och nödvändiga om tillförlitligheten i kommande LCA-studier skall uppnå en rimlig nivå.

1 Inledning	7
2 Mål och syfte	8
3 Mätningar av emissioner från traktorer och skogsmaskiner	8
4 Mätning av motorbelastning vid jordbrukskörning	10
5 Indata använda vid emissionsberäkningarna	11
5.1 <i>Bestämning av typiska körmönster</i>	11
5.1.1 <i>Mätmetodik</i>	11
5.1.2 <i>Resultat</i>	13
5.2 <i>Mätning av emissioner från traktormotor</i>	14
6 Beräkning av emissionsvärden	17
6.1 <i>Metodik</i>	17
6.2 <i>Kontroll av resultat</i>	19
6.3 <i>Resultat</i>	20
6.4 <i>Jämförelse med data använd inom LCA</i>	23
6.5 <i>Emissioner relativt bearbetad areal och transportsträcka</i>	24
7 Bestämning av generella vägningsfaktorer	25
7.1 <i>Metodik</i>	25
8 Diskussion	34
8.1 <i>Bedömning av beräkningarnas noggrannhet</i>	34
8.2 <i>Resultatens användbarhet i LCA</i>	35
8.3 <i>Den förenklade metodens användbarhet</i>	35
8.4 <i>Behov av framtida forskning</i>	36
9 Litteraturlista	37

1 Inledning

Inom lantbruk och skogsbruk är traktorer, anläggningsmaskiner, skotare och skördare nödvändiga hjälpmedel för att upprätthålla produktionen. Emissioner från arbetsfordon i jord- och skogsbruk orsakar dock omfattande skador på produktionsytor och på omgivande miljö. Detta gäller både vid användning av fossila bränslen och biobränslen.

Definitionen av en arbetsmaskin är enligt NV (1996) ett fordon som för framdrivandet är försett med motor och som inte är att betrakta som motorfordon. Exempel på arbetsfordon är traktorer, mobilkranar, last- och grävmaskiner, skördetröskor och skotare. Enligt SCB (1997) svarade arbetsmaskinerna för 23 % av de samlade utsläppen av NO_x-emissioner i Sverige.

Ett antal olika metoder är utvecklade för att bestämma miljöbelastningen vid framställning av olika produkter. Livscykelanalys, LCA, är en form av systemanalys med syfte att ge en ökad kunskap om hela systems miljöpåverkan. 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. Vid användning av LCA måste indata så långt det är möjligt överensstämja med verkligheten för att resultatet ska vara av värde. De ibland mycket stora osäkerheterna i använda indata har medfört att hela metodiken har ifrågasatts.

Det har visat sig att utsläpp från arbetsfordon med förbränningsmotorer, drivna av fossila bränslen, kan stå för en betydande del av miljöbelastningen vid livsmedelsframställningen (t.ex. Cederberg, 1998). Det finns dock mycket lite data över emissionsutsläppen från arbetsfordon. Osäkra eller felaktiga ingående emissionsdata kan leda till att resultaten av analyserna blir direkt felaktiga och att det bästa alternativet för miljön utesluts.

Det är osäkert om nuvarande LCA-data för utsläpp överensstämmer med de verkliga värdena. Därmed försvåras en korrekt värdering av förbättringsåtgärder. Detta medför bl.a. att en korrekt jämförelse mellan miljöbelastningen av att använda fossila bränslen och biobränslen inte kan genomföras.

Testkörningar i mätlaboratorium för att bestämma nyutvecklade motorers emissioner genomförs kontinuerligt. Motorerna belastas efter ett visst mönster och resultaten viktas samman till ett medelvärde. Beroende på motorernas tänkta arbetsuppgifter väljs en testcykel, utarbetad för att representera den belastning som denna motor arbetar under. Det krävs olika testcykler för bussar, bilar, lastbilar osv. Trots att arbetsmaskinerna står för en betydande del av utsläppen, finns idag ingen testcykel utarbetad för att representera en arbetsmaskins belastning under arbete.

De emissionsvärden för arbetsfordon som idag normalt används i LCA är mätta i laboratorium på lastbilmotorer. Att använda dessa emissionsvärden ger troligtvis en felaktig bild av utsläppen. Dagens lastbilmotorer har mycket god förbränning och är i vissa fall försedda med katalysator. Avgaskraven på transportbilar höjs hela tiden och fordonsparken förnyas i en snabb takt (NV, 1997). Traktorparken i Sverige har en medelålder på ca 30 år (SCB, 1997), vilket medför att många motorer är gamla och har sämre förbränning. Även emissionerna från nya traktorer och skogsmaskiner skiljer sig med stor sannolikhet från emissionerna från lastbilar, eftersom de har en annorlunda och mera varierad arbetsbelastning. Lagkrav för emissionsnivåer (gränsvärden) har inte funnits tidigare på traktorer.

2 Mål och syfte

Det övergripande målet för arbetet är att som förstudie samla information inför en mera omfattande studie, vilken skall minska de stora kunskapsluckorna som finns inom området och ge ett datamaterial som ökar tillförlitligheten vid beräkningen av miljöbelastningen från livsmedelsproduktion.

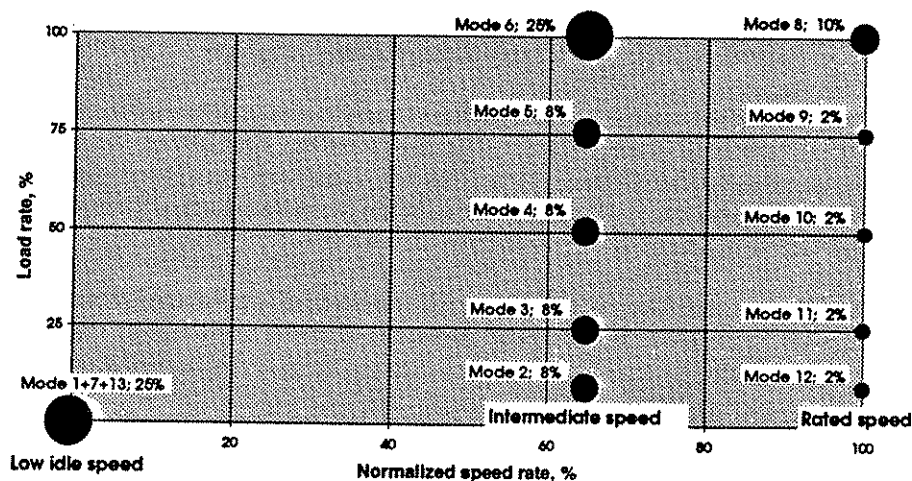
Mera specifikt är syftet med första delen av detta arbete att sammanställa litteratur om emissionstester som utförts på lantbrukstraktorer, anläggningsmaskiner och skogsmaskiner. Utifrån tillgänglig litteratur skall också möjliga mätmetoder för emissioner från dessa maskintyper sammanställas.

Syftet för arbetets andra del är att beräkna emissionsvärden representativa för en medelstor traktor vid ett antal typiska arbetsoperationer och jämföra resultaten med emissionsdata som används idag. Dessa beräkningar är möjliga genom att mätningar av en traktors körmönster kopplas till tillgängliga emissionsdata mätta enligt standardiserad testcykel i provbänk.

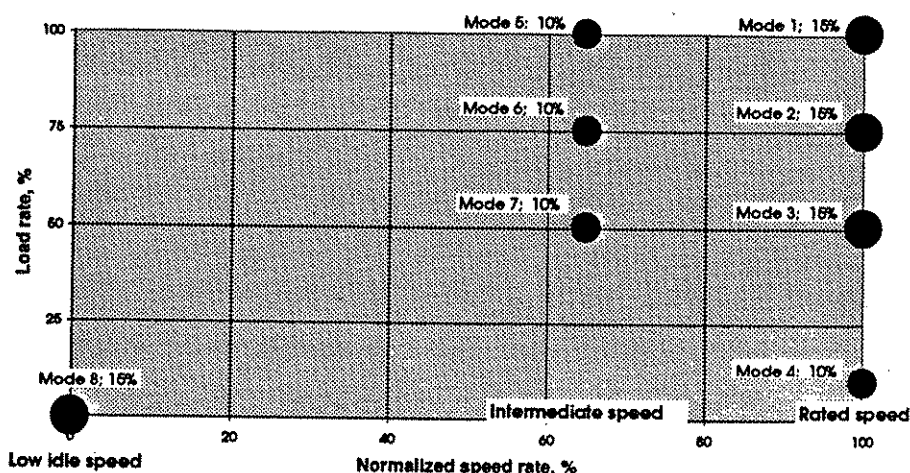
3 Tidigare mätningar av emissioner från traktorer och skogsmaskiner

Vi har inte funnit några emissionsvärden redovisade för motorer till jordbrukstraktorer och skogsmaskiner som är belastade på ett för respektive maskintyp representativt sätt. Det saknas också siffror på hur olika arbetsoperationer påverkar emissionsvärdena för exempelvis en lantbrukstraktor. Texten nedan beskriver i orienteringssyfte något av den teknik och de standarder som utnyttjas för andra fordonstyper.

Ett flertal mätningar av dieselmotorns emissioner har utförts bl.a. på Motortestcentrum och Statens maskinprovningar. Man har även testat dieselmotorns utsläpp vid användning av alternativa bränslen (Grägg, 1994A; Grägg, 1995; Laveskog, 1995; Avellán et al., 1995; Statens maskinprovningar, 1993; Motortestcentrum, 1995). De vanligaste körcyklerna A30 (ECE R49) eller EU-standard ISO 8178 CI är de som använts vid proven. Testprogrammen skiljer sig något, framförallt när det gäller vid vilka belastningar av motorerna emissionerna mäts samt hur belastningspunkterna viktas samman till ett medelvärde. Svensk standard har 13 testpunkter, s.k. moder, som viktas enligt Figur 1, medan EU-standard, ISO 8178, har 8 testpunkter som viktas enligt Figur 2. De 13 moderna i A30-standardens beskrivs också senare i rapporten i Kapitel 5.



Figur 1. Viktning av emissionsvärden enligt A30-standardens (ECE R49)



Figur 2. Viktning av emissionsvärden enligt ISO 8178

Egebäck och Hedblom (1991) har sammanställt undersökningar utförda av bilavgaslaboratoriet i Studsvik på mer än 130 fordon. Data till sammanställningen omfattar i huvudsak ECE 13 mode data från avgasmätningar på tunga fordon men även data från prov enligt transienta 13 modes körcykler. Skillnaden mellan USA 13 mode och ECE 13 mode ligger i faktorerna som viktar utsläppen vid de olika provpunkterna till ett värde. Egebäck och Hedblom (1991) har tagit bort vägningsfaktorerna, däremot har de inte korrigerat data för skillnader i hur motoreffekten mäts. Motorerna som testats är uppdelade på fordon under och över 200 hk. Dessutom skiljer de på vägfordon, terrängfordon, småbåtar, tyngre fartyg och spårbundna fordon. Man har mätt HC, CO, NOx och partiklar. Emissionsresultaten visar stora variationer, även inom de olika kategorierna.

Vid Motortestcentrum har resultaten av A30-metoden och ISO 8178 CI jämförts (Hedbom, 1994). Två Volvo BM- motorer, en med turbo och laddluftskylare och en utan, testades enligt de två testcyklerna. På grund av skillnader i testcykeln och viktningen, skiljer sig resultaten för koloxidmängden med 30 %. Även kolväte- och kväveoxidmängderna skiljer sig markant, se Tabell 1. Partikelutsläppen däremot visar mindre variationer. En anledning till detta är att partiklarna samlas under hela körtestet på ett filter som vägs när testkörningen är slutförd. Partikelutsläppen viktas aldrig samman till ett medelvärde.

Tabell 1. Emissionstest på en VOLVO /VME TD 71 G motor (Hedbom, 1994)

Test	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NOx (g/kWh)	Partiklar (g/kWh)
A30	3,61	0,50	18,9	0,22
ISO 8178 C1	2,38	0,57	17,4	0,21

För att få en korrekt bild av en motors utsläpp vid arbete, måste man känna till motorns belastning under utfört arbete. Därför finns det testcykler framtagna för bussar, den s.k. Braunschweigcykeln (Grägg, K. 1994 B), för arbetsfordon, SS A30 o.s.v, men ingen för en traktor i arbete på åkern eller i skogen. En hjullastare i arbete kan inte antas ge samma emissioner som en traktor i arbete, trots att motorerna och bränslet är likvärdigt.

Kunskapsläget för emissioner från snöskotrar påminner om läget för jordbrukstraktorer och skogsmaskiner. Snöskotrar ger höga emissioner. Dock vet man inte riktigt hur höga. Detta beror på att det inte finns någon testcykel utarbetad för att mäta skoteremissioner. De vanliga testcyklerna A30 och ISO 8178 CI har för snäva varvtalsintervall och för lågt effektuttag för att kunna appliceras på en snöskoter (Laveskog, 1995).

4 Tidigare mätningar av motorbelastning vid jordbrukskörning

För att utarbetandet av testcykler representativa för arbetsfordonens förhållanden skall vara möjligt krävs att motorns belastning och dess variation över tiden kan bestämmas. Tidsserier för motorns varvtal och belastande moment måste därför mätas upp.

Mätning av motorvarv är enkelt att utföra och kan dessutom göras med hög upplösning och hög samplingsfrekvens. Mätning av det belastande momentet är dock mera komplicerat. En direkt mätning av momentet på utgående motoraxel är tekniskt komplicerat och kräver stora ingrepp i traktorns konstruktion. Mätning av belastande moment från kraftuttagsdrivna redskap med hjälp av en givarförsedd kraftuttagsaxel har utförts, bland annat på JTI, men denna teknik är inte tillämpbar om det totala momentet som belastar motorn skall bestämmas.

Den mest tillämpbara metoden för att bestämma motorns belastning för huvuddelen av arbetsmaskinerna är sannolikt någon typ av indirekt uppskattning. Både bränsleförbrukning och avgastemperatur är parametrar som är kopplade till motorns belastning. Förutom att ett samband måste finnas mellan parametern och det belastande momentet är det också av stor betydelse att tidsfördröjningen för den mätta parametern vid variationer i belastningen är så kort som möjligt för att transienter i belastningen skall kunna registreras.

Pascal och Brown (1974) mätte avgastemperatur, varvtal och dieselkonsumtionen på en Massey Ferguson 165 vid jordbearbetning i Skottland. Därefter sökte man ett samband mellan avgastemperatur och uttagen effekt. Man fann ett nästan linjärt samband.

Sumner, Hellwig och Monroe (1984) mätte varvtal, tid, dieselkonsumtion, hastighet på maskinen och avgastemperatur på en IH 884 och en Ford 6610. De fann en god korrelation ($R=0,99$) mellan uttagen effekt och bränslekonsumtion:

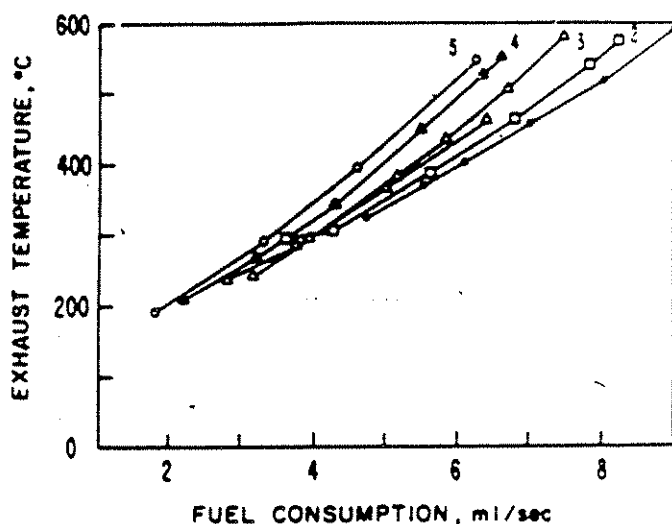
$$P_{ut} = A + B(FL) + C(FL)^2$$

P_{ut} = uttagen effekt kW

FL = bränslekonsumtionen l/h

A, B, C = ekvationskonstanter

Pang, Zoerb och Wang (1984) studerade samband mellan bränslekonsumtionen och avgastemperaturen för en traktormotor och fann ett varvtalsberoende samband (Figur 3). Siffrorna i figuren betecknar olika varvtal.



Figur 3. Avgastemperaturen som en funktion av bränsleförbrukningen (Pang et al., 1984).

Inte i något av ovanstående exempel har man beräknat eller mätt utsläpp av emissioner. Jordbrukstekniska Institutet i Uppsala har mätt uttagen effekt hos en lantbrukstraktor Valmet 805 i arbete. Arbetsmomenten var plöjning, harvning, sprutning, sådd, stubbearbetning, pressning och lastning. Förutom effektuttag mättes bl.a. varvtal och avgastemperatur. Man fann en god korrelation ($R=0,9973$) mellan uttagen effekt och varvtalet / bränslekonsumtionen (Norén och Browén, 1988) vid statistiska förhållanden. Mätningarna visade dock att effektuppskattningarna baserade på avgasernas temperatur visade en tidsfördröjning och att snabba transienta förändringar i belastningen inte indikerades i mätresultaten. Dessa data ligger till grund för beräkningarna som redovisas senare i denna rapport.

5 Indata använda vid emissionsberäkningarna

Kapitel 5-7 redovisar beräkningsmetodik och resultat för de bestämningar som utförts av emissionerna från en traktor med 70 kW. Kapitel 5 beskriver de indata som använts och Kapitel 6 resultaten av beräkningarna. I Kapitel 7 redovisas en alternativ metod för att uppskatta emissionvärden från befintliga data genom att utnyttja vägningsfaktorer som är specifika för varje arbetsoperation.

5.1 Bestämning av typiska körmönster

5.1.1 Mätmetodik

Mätningar av traktorns arbetsförhållande utfördes vid ett antal olika arbetsoperationer. Traktorn som användes var en Valmet 805 med fyrhjulsdrift och turboladdad 4-cylindrig motor med 70 kW (95 hk) maximal effekt. Traktorn hade normal däcksutrustning och var även i övrigt utrustad och inställd på ett för svenska förhållanden normalt sätt.

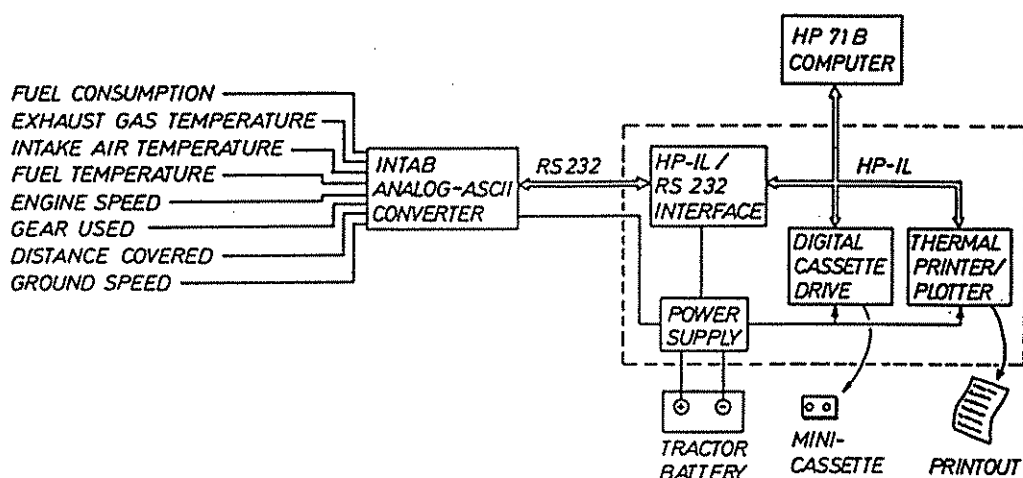
Datainsamlingsystemet är beskrivet i detalj av Browén (1988). Systemet består av en del placerad på traktorn och en stationär del som används för att behandla insamlade data.

Den traktormonterade utrustningen visas i Figur 4. Följande givare var monterade på traktorn:

- flödesmätare för mätning av motorns bränsleförbrukning (typ Elektra Control BMK 8212)

- termoelement för mätning av motorns avgastemperatur (typ Chromel-Alumel)
- termoelement för mätning av insugningsluftens temperatur (typ Chromel-Alumel)
- termoelement för mätning av bränsletemperatur (typ Chromel-Alumel)
- en induktiv sensor för mätning av motorvarvtal
- induktiva sensorer för mätning av växelläge
- ett extra frilöpande hjul för mätning av körlängd.

Data spelades in med 7,5 sekunders mellanrum och lagrades i ett datorminne. Maximal mätlängd var 2,8 timmar.



Figur 4. Mätutrustningens fordonsdel.

Den lagrade informationen användes sedan för att beräkna ett antal utparametrar. Beräkningarna utfördes dels direkt vid inspelningen, dels efteråt i program speciellt utvecklade för ändamålet. Utparametrarna var:

- avgastemperatur
- bränsletemperatur
- insugningsluftens temperatur
- växelläge
- fyrhjulsdrift in eller urkopplad
- motorvarvtal
- hastighet relativt marken
- slirning
- bränslekonsumtion (i l/h, l/ha och g/MJ)
- motoreffekt beräknad från avgastemperatur, insugningsluftens temperatur och motorvarv
- motoreffekt beräknad från bränslekonsumtion och motorvarv.

Kalibreringen av mätsystemet beskrivs av Norén och Browén (1988). Vid kalibreringen belastades motorn i en provbänk vid Statens maskinprovningar (SMP). Samtidigt mättes bränsleförbrukning, avgastemperatur och motorvarv. Belastningen utfördes enligt OECD-standard men utökades med mätningar vid 90% och 70% av varvtalet vid maximal effekt för att öka noggrannheten. Även omgivningstemperaturen varierades vid belastningen, eftersom avgastemperaturen påverkas av denna parameter och en korrelationsfaktor måste beräknas.

Bestämningen av optimala regressionskoefficienter utfördes med hjälp av multipel linjär regression. Funktionerna för beräkning av effekt baserad på bränsleförbrukning respektive avgastemperatur finns beskrivna i Norén och Browén (1988). Denna referens beskriver också ekvationen för korrektion vid varierande omgivningstemperatur.

Kalibreringen utfördes under statistiska förhållanden och parametrarna fick tid att stabilisera sig vid varje provpunkt. Korrelationen vid dessa mätningar var mycket god och den avgivna effekten kunde bestämmas med hög noggrannhet från de beskrivna inparametrarna. Korrelationskoefficienterna var 0,9973 resp. 0,9976 för effektvärdena baserade på bränsleförbrukning resp. avgastemperatur.

Resultaten visar alltså att det under statistiska förhållanden är möjligt att noggrannt bestämma effektuttag från motorn genom att enbart mäta avgastemperatur och motorns varvtal. Dessa parametrar är förhållandevis enklare att mäta än momentan bränsleförbrukning. Effektsiffrorna beräknade från mätvärden på bränsleförbrukningen visar dock ett snabbare stegsvar vid förändringar i motorns belastning, varför dessa värden har utnyttjats i beräkningarna, om inget annat framgår av texten.

5.1.2 Resultat

Mätningar utfördes under sammanlagt ca 40 tillfällen vid utförande av olika köroperationer och under varierande arbetsförhållanden. Efter en inledande analys valdes sedan representativa och typiska mätserier ut för vidare studier. De operationer som valdes ut var :

1. Harvning med Väderstadsharv med arbetsbredd 5,7 m och inställd för normalt arbetsdjup.
2. Sådd med bogserad Trima såmaskin med arbetsbredd 3,0 meter och inställd för normalt arbetsdjup.
3. Stubb-bearbetning med Lilla Harrie tallriksredskap med arbetsbredd 3,5 meter och arbetsdjupet 5 cm.
4. Landsvägs- och stadskörning med Velsa typ 8 TV boggikärra med last 8,8 ton sand.
5. Transport av spannmål mellan fält och tork med Gisebo boggikärra typ TK 120.
6. Lastning av fastgödsel med frontlastare Quick US 5300.
7. Plöjning med Kverneland 4-skärig helburen växelplög med arbetsbredd 1,55 meter och arbetsdjupet 23 cm.
8. Pressning av halm med John Deere 330 hårdpress med arbetsbredden 1,0 meter.

Karakteristiken för motorns arbete under arbetsoperationerna framgår av Tabell 2 samt av Figur 8-15 senare i rapporten.

Anm. Vid lastning är det bara hastigheten vid körning framåt som är registrerad.

Tabell 2. Beskrivning av analyserade mätserier

Mätning	Tid (min)	Körsträcka (km)	Medelhastighet (km/h)	Slirning (%)	Medelvarv (rpm)	Medelavgas-temp. (°C)	Medel-effekt (kW)	Medel-bränsleförbr. (l/h)	Medel-bränsleförbr. (g/MJ)
1	105,1	10,31	5,88	23,07	2057	451	61	18,8	72,7
2	168,3	20,55	7,33	6,77	1560	270	20	7,56	77,2
3	166,0	9,25	6,96	8,09	1983	319	31	11,0	84,6
4	151,5	68,3	27,05	3,15	2167	297	26	11,61	132,5
5	104,2	21,2	12,20	7,30	1498	252	17	7,47	99,3
6	120,1	4,07	2,03		1231	214	5	4,07	242,1
7	158,1	9,83	3,43	16,33	1587	322	27	8,84	85,1
8	142,5	6,74	2,84	8,96	1760	223	12	5,94	123,6

5.2 Mätning av emissioner från traktormotor

Data som beskriver traktormotorns utsläpp av emissioner vid olika belastningar är hämtade från mätningar utförda på Statens maskinprovningar 1993. Det primära syftet med dessa mätningar var att jämföra bränslet Scafi 101 med andra dieselbränslen avseende bland annat motorns prestanda och utsläpp av de reglerade emissionerna CO, NOx och HC. Dessutom bestämdes utsläppen av partiklar vid användning av de olika bränslena. En sammanfattning av resultaten är redovisade i SMP:s meddelande 3390 (1993).

Mätningar utfördes enligt A30-standarden (ECE R49) vilken innebär att emissionerna mäts vid 13 statiska arbetspunkter:

1. tomgångsvarv, ingen belastning
2. varvtal där motorn ger maximalt moment, belastning 10 % av maximalt moment
3. varvtal enligt punkt 2, belastning 25 % av max.
4. varvtal enligt punkt 2, belastning 50 % av max.
5. varvtal enligt punkt 2, belastning 75 % av max.
6. varvtal enligt punkt 2, maximal belastning
7. som punkt 1
8. maximalt varvtal, belastning 10 % av max. moment vid detta varv

9. varvtal enligt punkt 8, belastning 25 % av max.
10. varvtal enligt punkt 8, belastning 50 % av max.
11. varvtal enligt punkt 8, belastning 75 % av max.
12. varvtal enligt punkt 8, maximal belastning
13. som punkt 1

Två av provpunkterna (nr 7 och 13) är upprepningar av punkt 1 varför provmetoden alltså ger emissionsvärden vid 11 olika arbetsförhållanden.

Motorn som provades i den beskrivna studien är en Valmet 420 DS. Denna motor är inte exakt densamma som är monterad i traktorn Valmet 805 men är mycket lik denna. Båda motorerna är 4 cylindriga turboladdade motorer med slagvolymen 4,4 liter, och har den maximala effekten 70 kW. Motorn var i standardutförande och inställd på fabriken för drift på dieselbrännolja. 420 DS-motorn är monterad bland annat i traktorn Valmet 6400.

Som indata vid beräkningarna i nästa avsnitt krävs specifika emissionsdata för varje belastningspunkt i provningscykeln. Sådana data tas fram för emissionerna CO, NO_x och HC medan utsläppen av partiklar bara mäts och redovisas som ackumulerad mängd under den totala provningscykeln utan att utsläppen vid varje provpunkt går att urskilja. Det var därför inte möjligt att beräkna utsläpp av partiklar vid olika arbetsoperationer.

Mätningarna som redovisas i SMP 3390 utfördes med ett flertal bränslen och blandningar av bränslen. Beräkningarna i detta arbete har utförts för tre bränslen: Diesel miljöklass 1 (MK1), Diesel miljöklass 3 (MK3) och RME tillverkad av företaget Soab AB från svensk rapsolja. Resultaten av de mätningar som utnyttjats vid beräkningarna är redovisade i Tabell 3-5.

Tabell 3. Resultat från provningar med MK1-diesel

Mode nr	CO (g/h)	NO _x (g/h)	HC (g/h)	Bränsleför- brukning (kg/h)
1	40,3	86,9	5,72	0,88
2	46,5	98,7	7,15	2,70
3	32,1	176,6	6,25	4,07
4	15,7	271,0	6,71	6,30
5	12,7	408,8	5,00	8,99
6	17,9	531,6	7,42	11,66
7	41,0	83,4	5,69	1,16
8	30,7	537,5	9,79	15,36
9	28,0	365,2	11,19	11,76
10	32,5	207,7	11,11	8,95
11	37,8	167,9	10,78	5,90
12	49,2	106,8	12,24	4,12
13	35,4	60,2	5,11	0,90

Tabell 4. Resultat från provningar med MK3-diesel

Mode nr	CO (g/h)	NOx (g/h)	HC (g/h)	Bränsleför- brukning (kg/h)
1	38,2	88,2	6,02	0,98
2	52,1	110,5	8,72	2,83
3	33,7	197,0	7,64	4,16
4	15,3	309,1	8,06	6,48
5	12,2	464,8	6,86	9,12
6	18,7	583,3	7,38	12,07
7	39,2	86,2	5,64	1,12
8	29,5	584,2	9,86	15,84
9	25,4	409,3	10,90	12,41
10	30,3	224,5	11,90	9,28
11	35,7	194,0	11,46	6,25
12	52,1	128,8	12,30	4,48
13	43,1	75,1	5,87	1,00

Tabell 5. Resultat från provningar med RME-bränsle.

Mode nr	CO (g/h)	NOx (g/h)	HC (g/h)	Bränsleför- brukning (kg/h)
1	48,3	68,1	3,10	1,30
2	47,0	122,8	2,97	3,44
3	28,4	204,9	2,55	5,01
4	13,6	321,3	3,04	7,65
5	12,6	518,9	3,79	10,57
6	16,2	642,2	4,57	13,56
7	46,4	69,3	3,43	1,28
8	21,0	692,9	6,19	17,48
9	18,4	475,1	5,68	13,52
10	25,6	258,6	5,16	10,10
11	31,6	187,4	4,82	6,61
12	40,3	129,7	4,90	4,49
13	52,0	58,6	3,42	1,16

6 Beräkning av emissionsvärden

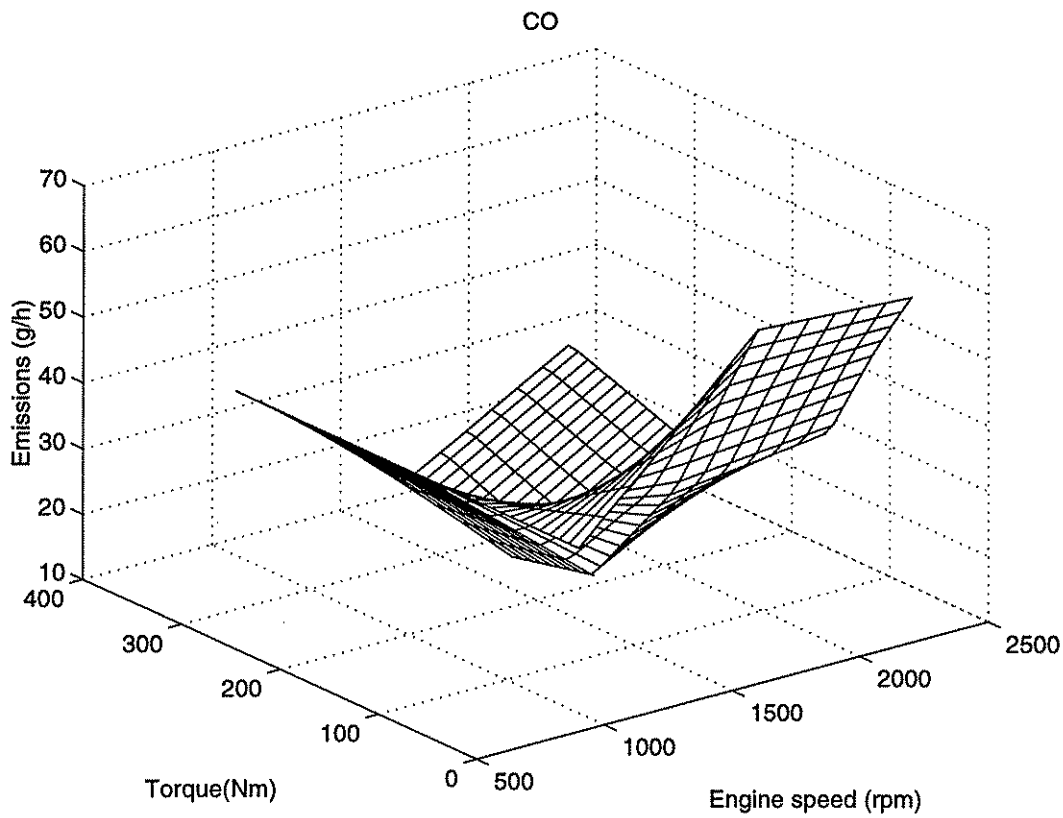
6.1 Metodik

Beräkningen av alstrade emissioner vid de olika arbetsoperationerna utfördes för varje datapunkt inspelad av det beskrivna mätsystemet. Med hjälp av värdena för emissioner vid de 11 olika mätpunkterna specificerade i A30-standarden kunde ett samband mellan emissioner, motorvarv och belastande moment bestämmas för varje kombination av motorvarv och belastning. Figur 5-7 beskriver som exempel de utnyttjade sambanden mellan varvtal, belastning och emissioner vid körning med MK3-diesel.

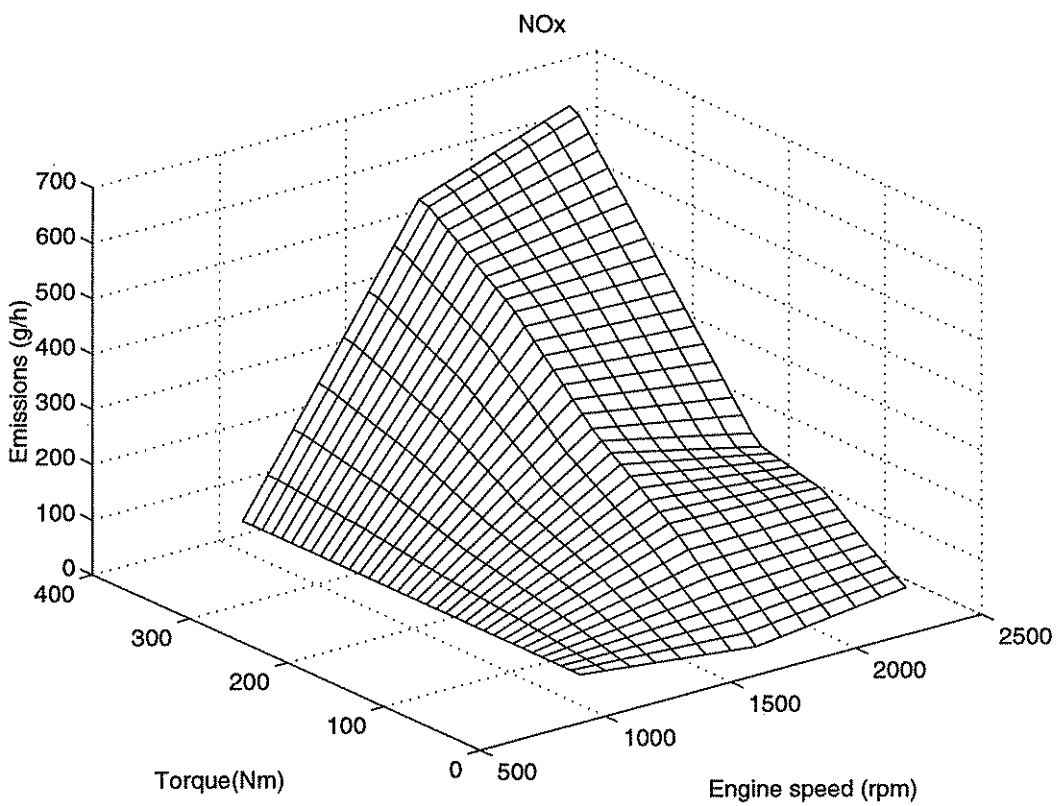
De framräknade resultaten representerar alltså emissionerna från en Valmet 6400-traktor om den belastas på samma sätt som Valmet 805-traktorn belastades vid de inspelade köroperationerna. Det antas att förarens sätt att belasta motorn inte påverkas av att en motor med något förändrade, men i det närmaste identiska egenskaper, utnyttjas som drivkälla.

Traktorns bränsle vid de inspelade traktorarbetena var dieselolja av standardkvalitet (MK3). Eftersom emissionsdata fanns tillgängligt även för andra bränslen kunde utsläppen av emissioner även simuleras för körningar där den provade traktorn drivits av ett annat bränsle. Samma vridmoment måste uppnås med det simulerade bränslet vid det använda varvet och emissionerna kunde därigenom bestämmas på samma sätt som för orginalbränslet.

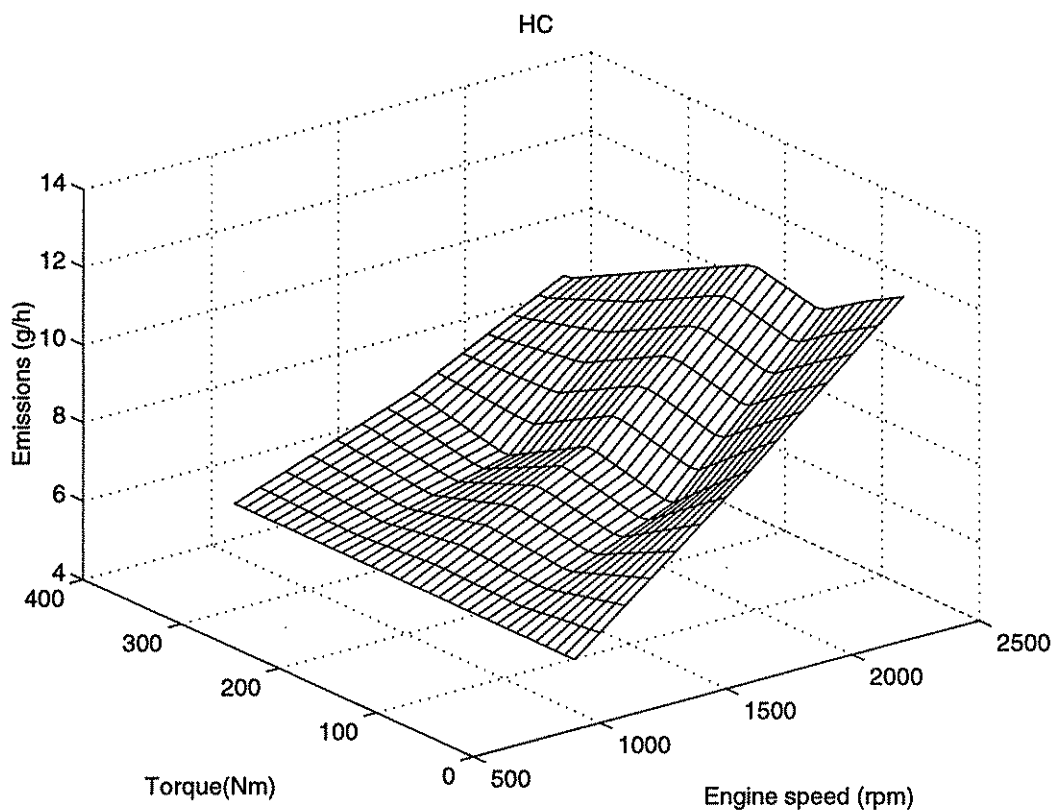
Motorns maximala effekt sjönk något vid användning RME som bränsle (se SMP 3390). Detta medförde att motorn vid några mätpunkter inte kunde uppnå de vridmoment vid simulerad körning med RME som uppnåts vid den inspelade körningen med vanlig diesel. Vid dessa tillfällen begränsades momentet till det som maximalt kunde uppnås med det simulerade bränslet vid det aktuella varvtalet.



Figur 5. Samband mellan varvtal, belastning och CO-utsläpp vid körning med MK3-diesel



Figur 6. Samband mellan varvtal, belastning och NOx-utsläpp vid körning med MK3-diesel



Figur 7. Samband mellan varvtal, belastning och HC-utsläpp vid körning med MK3-diesel

6.2 Kontroll av resultat

Vid mätningarna i provbänken mättes samtidigt med emissionsmängder också bränsleförbrukningen vid de 13 punkterna i provningscykeln. Därigenom gavs möjlighet att beräkna bränsleförbrukningen vid de inspelade arbetsoperationerna med samma interpolationsteknik som utnyttjas för att beräkna emissioner. Bränsleförbrukningen vid operationerna mättes dessutom direkt på traktorn med det monterade mätsystemet. En jämförelse mellan beräknad och uppmätt bränsleförbrukning kunde därför utföras. Tabell 6 visar dessa värden för de olika arbetsoperationerna.

Tabell 6. Beräknad och uppmätt bränsleförbrukning vid olika arbetsoperationer

Arbetsmoment	Bränsleförbrukning		
	Beräknad (l/h)	Uppmätt (l/h)	Kvot
Harvning	16,94	18,8	0,90
Sådd	6,89	7,56	0,91
Stubb-bearb	9,93	11,03	0,90
Transport 1	9,82	11,61	0,85
Transport 2	6,46	7,47	0,87

Lastning	2,92	4,07	0,72
Plöjning	7,87	8,84	0,89
Pressning	5,09	5,94	0,86

Avvikelseerna mellan beräknad och uppmätt bränsleförbrukning kan ha ett flertal orsaker:

1. Motorn som testades vid SMP hade samma effektprestanda som motorn monterad i Valmet 805, men hade en något förändrad utformning av förbränningsrummen. Denna förändring ger enligt fabrikantens datablad en minskad bränsleförbrukning på 5-10 %.
2. Motorn som utnyttjades vid SMP:s emissionsmätningar var i princip ny vid provtillfället, medan den traktor som användes vid inspelningarna av köroperationerna hade varit i bruk något år då mätningarna utfördes. Naturlig förslitning i den äldre motorn gav sannolikt en något högre bränsleförbrukning.
3. Generellt sett är motorer individer och prestandan varierar även mellan motorer ur samma produktionsserie.
4. Mätningen av motorns arbete vid de olika arbetsoperationerna skedde med ett avstånd på 7,5 s mellan samplingarna. De transienter som uppstår vid plötsliga belastningsförändringar, exv. vid lastningsarbeten, fångas därför inte upp och bränsleförbrukningen kan av detta skäl underskattas vid denna typ av belastningar.
5. Vid beräkningarna utnyttjas emissionsdata och bränsleförbrukningsdata från 11 punkter i varvtals-moment-diagrammet. Det begränsade antalet säkra värden medför att en felkälla uppstår. Antalet mätpunkter är minst vid låga varvtal och osäkerheten blir därför störst i detta område. Även denna faktor kan ha påverkat att bränsleförbrukningsvärdet vid körningen med frontlastaren blir för lågt.

6.3 Resultat

Emissionerna vid de olika arbetsoperationerna beräknades enligt metoden som beskrivits i tidigare avsnitt. Resultaten redovisas i Tabell 7 i enheten gram per timme och i Tabell 8 som gram per MJ uttagen mekanisk energi.

Som komplettering finns i Tabell 9 redovisade de värden som uppnås om man använder de generella vägningsfaktorer som definieras i A30-standarden. Dessa värden är hämtade från grundmaterialet till SMP:s rapport 3390.

Tabell 7. Beräknade emissioner vid olika traktoroperationer

Arbetsmoment	MK1			MK3			RME		
	CO (g/h)	NOx (g/h)	HC (g/h)	CO (g/h)	NOx (g/h)	HC (g/h)	CO (g/h)	NOx (g/h)	HC (g/h)
Harvning	27,0	503	9,29	25,1	537	9,46	19,3	633	5,66
Sådd	26,6	210	7,34	26,2	231	8,31	25,7	239	3,41
Stubb-bearb	28,2	241	9,58	26,8	262	10,39	23,0	290	4,46
Transport 1	35,4	227	10,72	34,7	246	11,21	28,8	275	5,00
Transport 2	35,4	192	7,91	34,5	205	8,39	35,5	217	3,97
Lastning	38,6	116	6,31	39,1	123	6,98	42,4	116	3,04
Plöjning	24,4	251	7,15	23,7	275	8,19	23,6	292	3,59
Pressning	39,2	142	8,69	41,1	155	9,56	36,9	158	3,83

Tabell 8. Beräknade emissioner vid olika traktoroperationer i enheten g/MJ uttagen energi från motorn

Arbetsmoment	MK1			MK3			RME		
	CO (g/MJ)	NOx (g/MJ)	HC (g/MJ)	CO (g/MJ)	NOx (g/MJ)	HC (g/MJ)	CO (g/MJ)	NOx (g/MJ)	HC (g/MJ)
Harvning	0,120	2,25	0,041	0,112	2,39	0,042	0,086	2,83	0,025
Sådd	0,334	2,64	0,092	0,328	2,90	0,104	0,322	3,01	0,043
Stubb-bearb	0,243	2,08	0,083	0,231	2,26	0,090	0,198	2,50	0,038
Transport 1	0,328	2,10	0,099	0,322	2,28	0,104	0,267	2,55	0,046
Transport 2	0,501	2,71	0,112	0,488	2,91	0,119	0,503	3,07	0,056
Lastning	1,456	4,39	0,238	1,474	4,66	0,263	1,598	4,37	0,115
Plöjning	0,250	2,57	0,073	0,242	2,82	0,084	0,242	2,99	0,037
Pressning	0,929	3,37	0,206	0,973	3,67	0,226	0,874	3,73	0,091

Tabell 9. Emissioner från den provade motorn vägd enligt A30-standarden och beskrivna i enheten g/MJ uttagen energi från motorn

Arbetsmoment	MK1			MK3			RME		
	CO (g/MJ)	NOx (g/MJ)	HC (g/MJ)	CO (g/MJ)	NOx (g/MJ)	HC (g/MJ)	CO (g/MJ)	NOx (g/MJ)	HC (g/MJ)
A30 standard	0,265	2,75	0,066	0,264	2,943	0,069	0,263	3,288	0,036

Resultaten visar att det är stora skillnader mellan utsläppen av reglerade emissioner mätt per tidsenhet vid utförande av olika arbetsoperationer.

En jämförelse mellan olika bränslen visar att MK1 ger mindre emissioner jämfört med MK3. Skillnaderna är i storleksordningen 10-20 % men är mindre för de operationer där motorn arbetar med hög genomsnittlig belastning, som exv. harvning. RME-bränslet ger markant minskade utsläpp av HC (50-60 %) och minskar även de genomsnittliga CO-utsläppen, speciellt för tunga arbeten. NOx-emissionerna ökar dock med ca 10-15 % för RME vid de analyserade körarbetena. Skillnaderna i emissioner mätt per tidsenhet är logiska med tanke på den vid olika arbeten varierande belastningsgraden på motorn.

Ställs emissionerna i stället i relation till den utvecklade energin så blir variationerna mellan olika arbetsmoment också mycket stora. Dock är variationerna nu större för CO och HC än för NOx-emissionerna och NOx-värdena kan därför sägas vara mera kopplade till den utvecklade energin än till motorns gångtid. Vid användning av MK1 är CO-värdena för plöjning och pressning ca 2 resp. 8 gånger så stora som värdena för harvning. Relationerna mellan HC-värdena har ungefär samma storleksordning. Variationerna för CO-utsläppen vid användningen av RME är ännu större.

Det kan påpekas att den utvecklade effekten vid lastning är i genomsnitt relativt liten och de beräknade emissionerna blir höga för denna operation. Mer intressanta är skillnaderna vid övriga arbeten där det i motorn utvecklade arbetet är större.

Vägningen enligt A30-standarden ger bara ett värde, och resultaten visar att detta inte är representativt för alla köroperationer, vilket inte heller var väntat, då vägningen inte är primärt framtagen för jordbrukstraktorer. Jämför man exempelvis värdena framtagna enligt standardvägningen med resultaten för transportarbeten i Tabell 8 så är felet ca 50-100 % för CO, 0-25 % för NOx och hela 100-150 % för HC.

Emissionerna har också beräknats i relation till energin i det förbrukade bränslet. Bränslenas densitet och effektiva värmevärde är hämtade från SMP 3390.

Tabell 10. Beräknade emissioner vid olika traktoroperationer i enheten g/MJ tillförd energi i bränslet.

Arbetsmoment	MK1			MK3			RME		
	CO (g/MJ)	NOx (g/MJ)	HC (g/MJ)	CO (g/MJ)	NOx (g/MJ)	HC (g/MJ)	CO (g/MJ)	NOx (g/MJ)	HC (g/MJ)
Harvning	0,046	0,860	0,016	0,042	0,897	0,016	0,030	0,998	0,0089
Sådd	0,114	0,900	0,031	0,108	0,948	0,034	0,097	0,905	0,0129
Stubb-bearb	0,083	0,708	0,028	0,076	0,747	0,030	0,062	0,778	0,0120
Transport 1	0,106	0,681	0,032	0,100	0,708	0,032	0,081	0,771	0,0140
Transport 2	0,163	0,880	0,036	0,150	0,900	0,037	0,147	0,898	0,0164
Lastning	0,407	1,227	0,067	0,378	1,194	0,068	0,369	1,009	0,0264
Plöjning	0,091	0,935	0,027	0,085	0,988	0,029	0,078	0,967	0,0119
Pressning	0,226	0,819	0,050	0,228	0,860	0,053	0,192	0,821	0,0200

De relativa skillnaderna mellan resultaten i Tabell 9 och Tabell 10 beror på skillnader i motorns verkningsgrad vid olika arbetsförhållanden, samt skillnader i bränslevärdet mellan de tre bränslena. Resultaten redovisade i tabellen ovan visar annars ungefär samma trender som diskuterats för resultaten i tabell 9.

6.4 Jämförelse med data använda inom LCA

I Tabell 11 anges data som används i en vanlig källa för LCA-indata, det svenska programmet LCA-it. Siffrorna är hämtade från SOU 1992:17. Tabellen beskriver också indata hämtade från ett EU-finansierat projekt för att standardisera LCA-användningen vid analys av jordbruksproduktion (Audsley et al., 1997). Dessa data är omräknade från enheten "g/kg diesel" (i rapporten anges enheten "mg/kg diesel" men det förutsätts att detta är ett misstag). Vid omräkningen har bränslevärdet 42 MJ/kg utnyttjat.

Tabell 11. Emissionsvärden hämtade från vanliga källor för LCA-analys.

Data-källa	"Diesel"		
	CO (g/MJ)	NOx (g/MJ)	HC (g/MJ)
LCA-it	0,300	1,300	0,200
Audsley et al., 1997	0,693	1,36	

Möjligheterna att med en siffra ange ett enda användbart emissionsvärde för alla arbetsoperationer, när exv. Tabell 10 visar på variationer med 500-1000%, är inte möjligt, varför resultaten från LCA analyser kan få enorma felmarginaler.

Även nivån för det data som visas i Tabell 11 är avvikande jämfört med de värden som kommer från mätningarna som redovisas i denna rapporten. Avvikelseerna är störst för HC där mätningarna visar värden som i genomsnitt är 7-8 gånger mindre än vad som utnyttjas i LCA-beräkningarna. De mätta CO-värdena är i genomsnitt 2-3 gånger mindre än i Tabell 11, men avvikelseerna vid utförande av tunga arbeten som harvning är mellan 8 och 15 gånger (beroende på vilken av de båda LCA-siffrorna som används). LCA-siffrorna för NOx-emissioner stämmer jämförelsevis bättre, men även här fås en genomsnittlig avvikelse på ca 50 %.

6.5 Emissioner relativt bearbetad areal och transportsträcka

Nedan har emissionerna beräknats som mängd per bearbetad areal för de 4 arbetsoperationerna harvning, sådd, stubb-bearbetning och plöjning. Dessutom har mängden emissioner per körd kilometer beräknats för de båda transportoperationerna.

Vid inspelningen av traktorns arbete registrerades traktorns hastighet relativt marken med en givare på ett frilöpande 5:e hjul. Denna hastighet har tillsammans med uppgifter om redskapets arbetsbredd utnyttjats för att beräkna den bearbetade arealen. Vid beräkningarna har redskapets arbetsbredd reducerats enligt Tabell 12 för att kompensera för överlapp mellan kördrag. Dessutom har kompensering skett för körning när inte redskapet är i arbete, d.v.s. på vändtegar och vid hinder, vilket också framgår av Tabell 12.

Tabell 12. Korrektionsfaktorer vid beräkning av bearbetad areal

Arbetsmoment	Överlapp (%)	Körning på vändtegar etc. (%)
Harvning	10	10
Sådd	0	10
Stubb-bearbetning	10	10
Plöjning	0	10

Tabell 13. Beräknade emissioner vid olika traktoroperationer relaterade till det utförda arbetet

Arbetsmoment	MK1			MK3			RME		
	CO (g/ha)	NOx (g/ha)	HC (g/ha)	CO (g/ha)	NOx (g/ha)	HC (g/ha)	CO (g/ha)	NOx (g/ha)	HC (g/ha)
Harvning	9,96	186	3,43	9,27	198	3,49	7,10	234	2,09
Sådd	13,45	106	3,71	13,21	117	4,20	12,97	121	1,72
Stubb-bearb	15,38	132	5,23	14,65	143	5,68	12,58		2,44
Plöjning	50,90	523	14,90	49,3	573	17,07	49,07	609	7,47
	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/km)
Transport 1	1,31	8,37	0,40	1,28	9,09	0,414	1,06	10,2	0,185
Transport 2	2,90	15,7	0,64	2,83	16,84	0,687	2,91	17,8	0,326

Den låga kapaciteten per timme vid plöjning medför att emissionerna per bearbetad areal blir avsevärt större vid detta arbete än vid de andra operationerna. Resultaten visar också att emissionerna vid transportarbeten är kraftigt beroende av transporttyp och inte kan bestämmas med tillräcklig noggrannhet enbart från transportavståndet.

7 Bestämning av generella vägningsfaktorer

7.1 Metodik

Metoden redovisad i föregående kapitel beräknar utsläpp av reglerade emissioner vid de beskrivna inspelade arbetsoperationerna för redovisade emissionsdata. Beräkning av värden för traktorer med andra emissionsdata kräver tillgång till det speciella programmet inklusive inspelade arbetsoperationer och kan inte utföras av varje potentiell användare av beräkningsresultaten.

Enkla beräkningar av troliga emissioner vid användningen av en viss traktor för ett visst typiskt arbetsmoment kräver att data från mätningar av motorer enligt exempelvis A30-metoden kan utnyttjas. Emissionsdata från mätningar enligt denna metod finns tillgängliga för en del av de befintliga traktorerna och kommer också att tas fram för nya traktorer som kommer ut på marknaden.

Enligt A30-metoden mäts emissionerna vid 11 olika kombinationer av varvtal och belastning. Standarden specificerar också vägningsfaktorer för de olika mätpunkterna för att ett genomsnittligt värde ska kunna tas fram. Dessa vägningsfaktorer är dock inte framtagna specifikt för jordbrukstraktorer och det slutliga resultatet blir därför inte heller representativt för traktorer och inte heller för någon speciell arbetsoperation.

I detta avsnitt presenteras framtagningen av vägningsfaktor som kan utnyttjas tillsammans med befintliga och nya provdata för att beräkna troliga emissioner vid ett visst typiskt arbete.

Möjlighet ges då också att undersöka hur en möjlig förbättring av emissionsdata vid olika provpunkter, exempelvis genom förbättrade avgasreningsåtgärder, skulle påverka den totala emissionsmängden vid olika arbetsoperationer.

Vägningsfaktorerna för de olika operationerna tas fram genom att ytan i varvtal-moment-diagrammet delas upp i 11 områden (se Figur 8 och framåt), med ett område för varje mätpunkt i A30-standard. För de inspelade arbetsmomenten beräknas hur stor del av tiden som motorns arbetspunkt befinner sig i de olika områdena. Antar man sedan att belastningen skulle ha samma principiella utseende vid utförandet av samma arbete men med en annan motor kan de önskade emissionsvärdena beräknas.

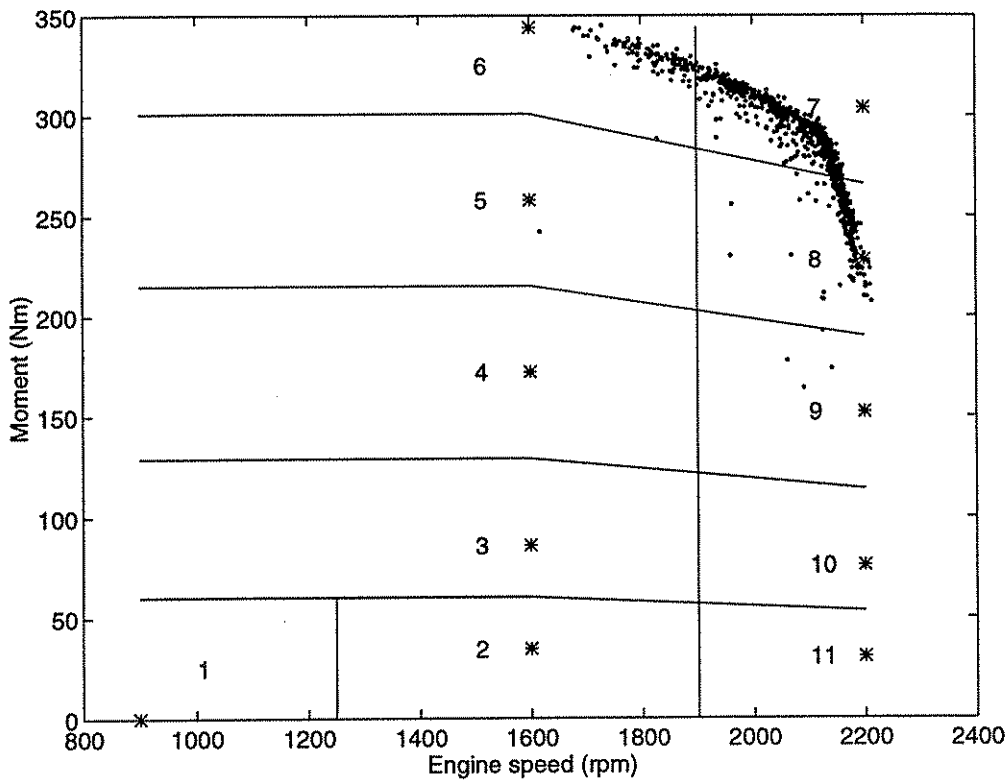
Nedan redovisas hur avgränsningslinjerna i Figur 8-15 är bestämda. Andra avgränsningar är möjliga, men de valda brytpunkterna bedöms vara mest logiska. Brytpunkternas läge är utsatta i Figur 8.

Varvtal och moment i punkterna markerade med * bestäms av A30-standard och är beskrivna tidigare i rapporten. Dessa punkter är alltså fast definierade och kan utnyttjas för att beräkna brytpunkterna på linjerna som delar in diagrammet i delområden. Brytpunkterna är bestämda enligt nedan (där A30p1, A30p2 etc., betecknar värdena som definieras i A30-standardens provpunkt 1, 2 etc.):

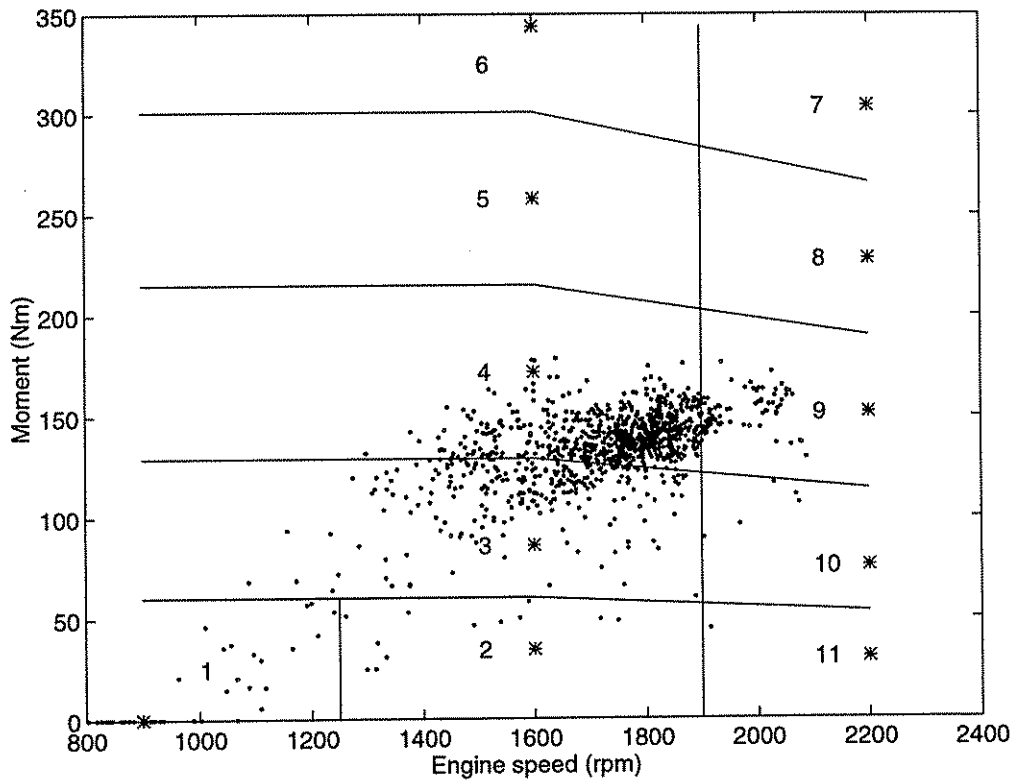
Bryt-punkt	Varvtal	Moment
1	$(A30p1+A30p2)/2$	-
2	A30p2	$(A30p2+A30p3)/2$
3	A30p2	$(A30p3+A30p4)/2$
4	A30p2	$(A30p4+A30p5)/2$
5	A30p2	$(A30p5+A30p6)/2$
6	A30p8	$(A30p8+A30p9)/2$
7	A30p8	$(A30p9+A30p10)/2$
8	A30p8	$(A30p10+A30p11)/2$
9	A30p8	$(A30p11+A30p12)/2$
10	$(A30p2+A30p8)/2$	-

7.2 Resultat

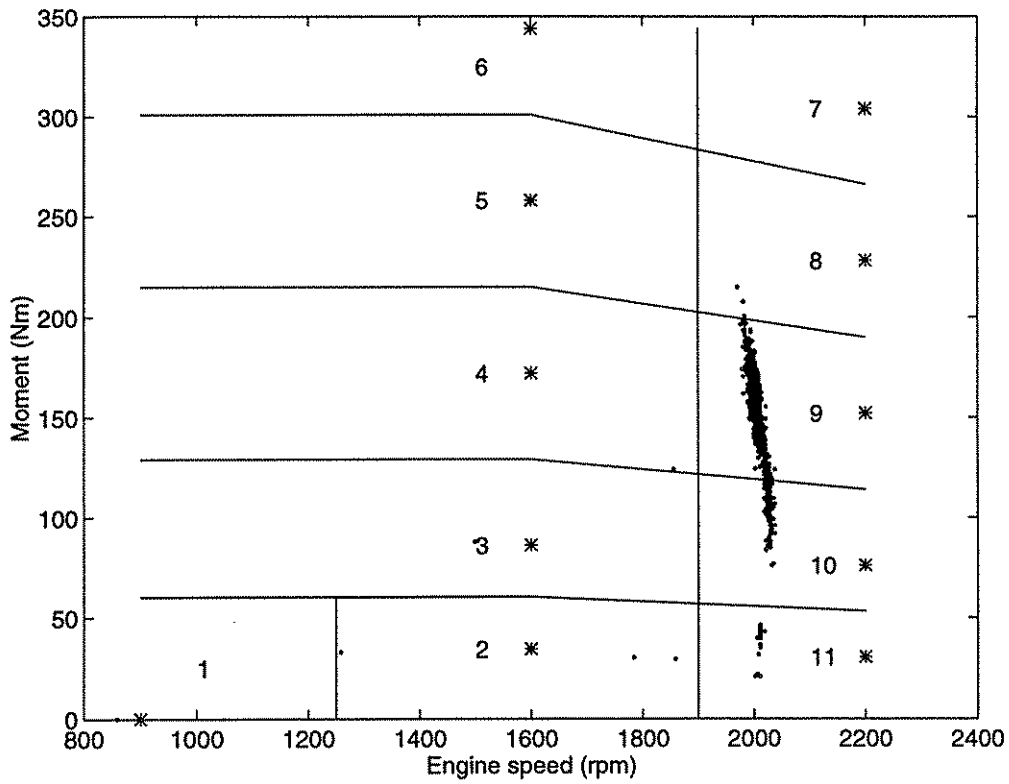
Figur 8-15 på kommande sidor beskriver fördelningen av motorns arbetspunkter i moment-varvtalsdiagrammet för de 8 inspelade körningarna där varje punkt motsvarar 7,5 sekunders körning och där mätseriernas längd framgår av Tabell 2. Mätpunkternas relativa fördelning över de 11 olika områdena framgår av Tabell 14 och Figur 16.



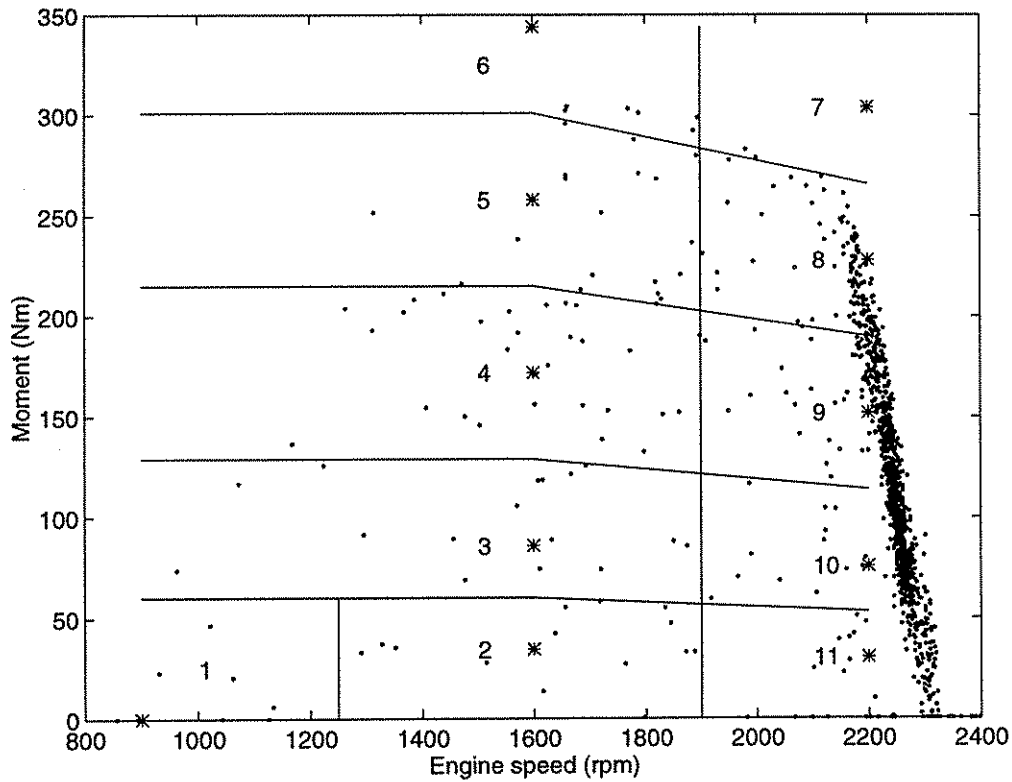
Figur 8. Motorns arbetspunkter vid harvning (mätning 1)



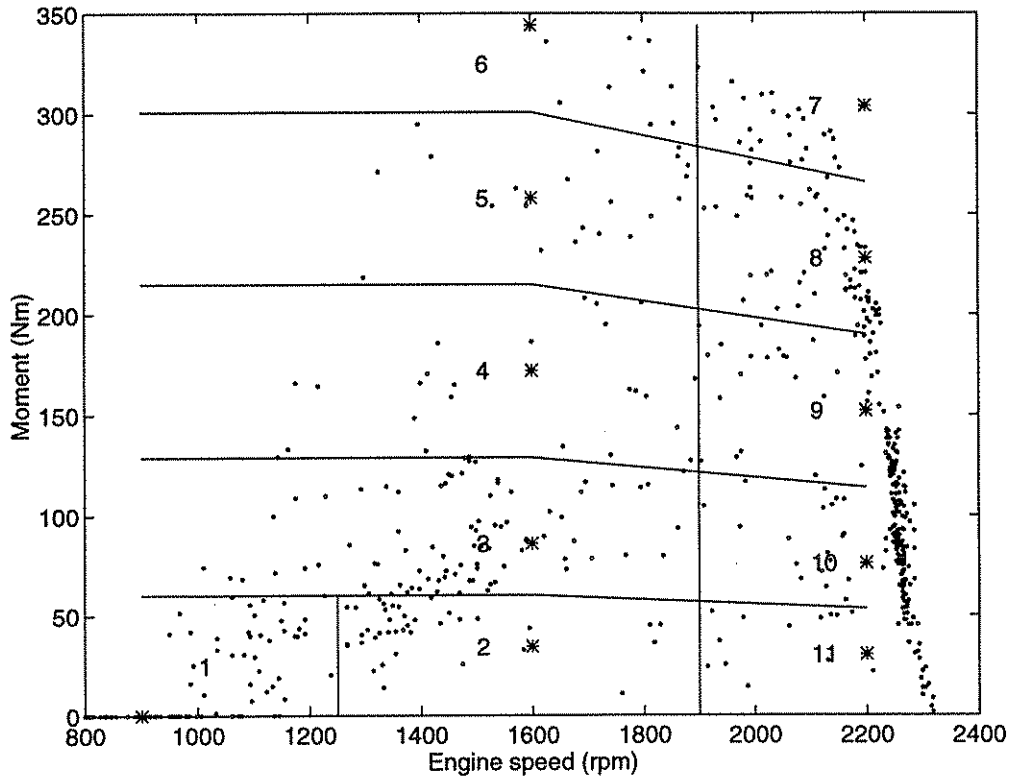
Figur 9. Motorns arbetspunkter vid sådd (mätning 2)



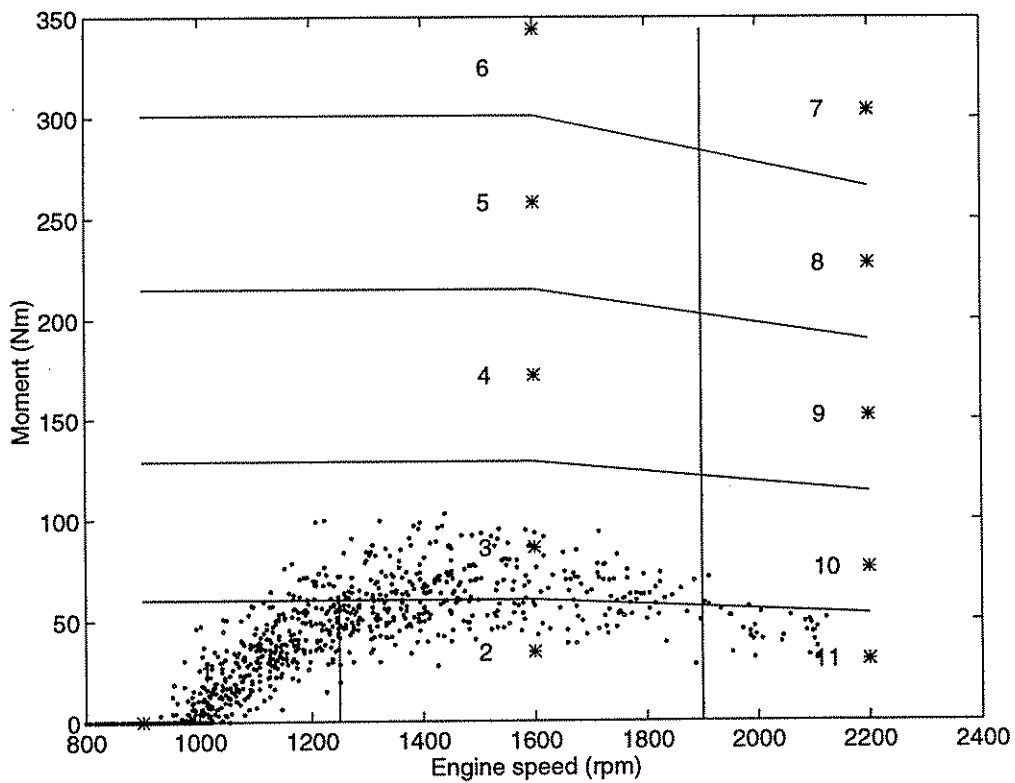
Figur 10. Motorns arbetspunkter vid stubb-bearbetning (mätning 3)



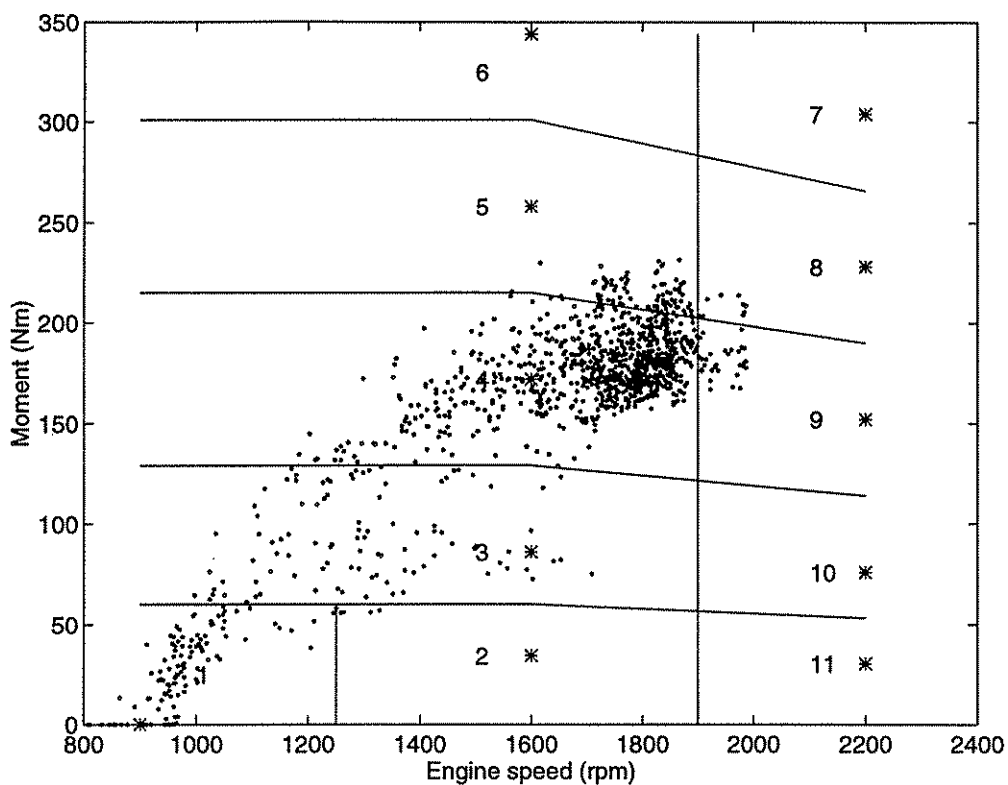
Figur 11. Motorns arbetspunkter vid transportkörning (mätning 4)



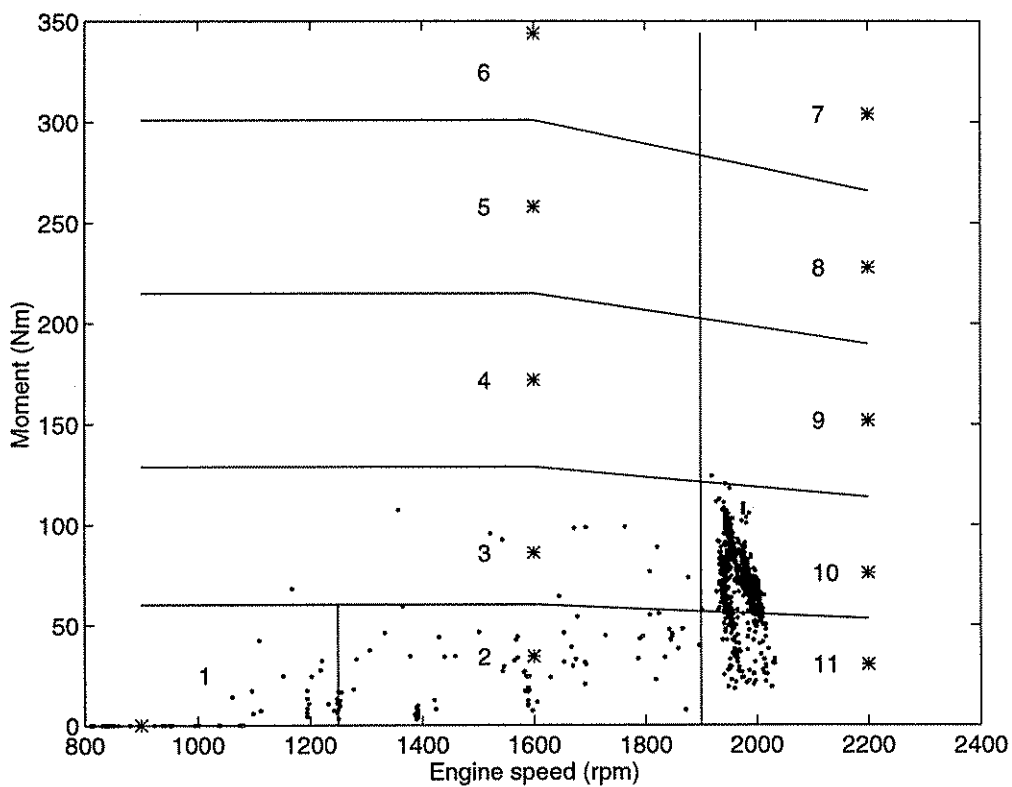
Figur 12. Motorns arbetspunkter vid transportkörning (mätning 5)



Figur 13. Motorns arbetspunkter vid lastning (mätning 6)



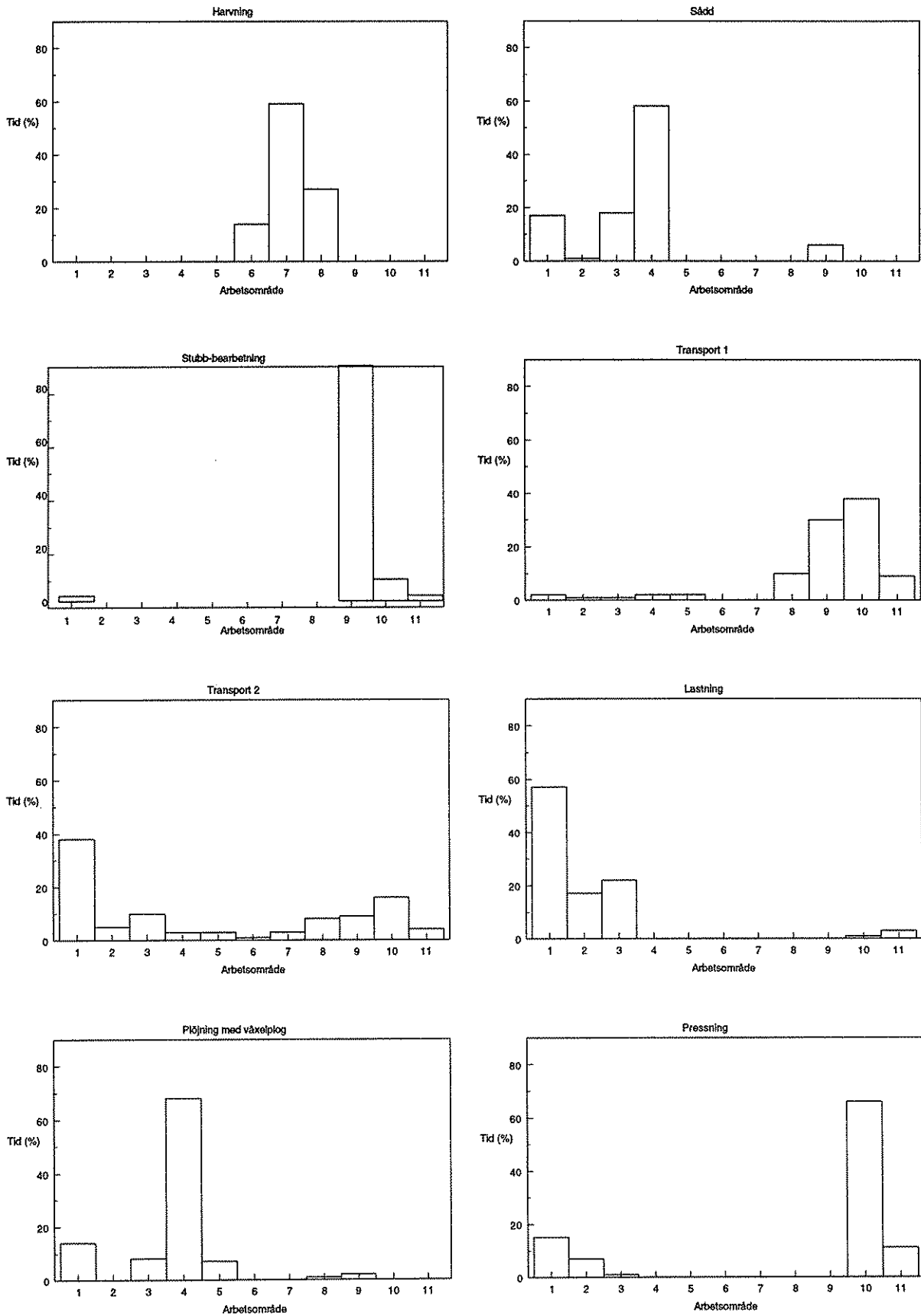
Figur 14. Motorns arbetspunkter vid plöjning (mätning 7)



Figur 15. Motorns arbetspunkter vid pressning (mätning 8)

Tabell 14. Procentuell fördelning av motorns arbetspunkter vid utförande av 8 olika arbetsoperationer.

Arbetsmoment	Arbetsområde										
	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)	6 (%)	7 (%)	8 (%)	9 (%)	10 (%)	11 (%)
Harvning	0	0	0	0	0	14	59	27	0	0	0
Sådd	17	1	18	58	0	0	0	0	6	0	0
Stubb-bearb	2	0	0	0	0	0	0	0	88	8	2
Transport 1	2	1	1	2	2	0	0	10	30	38	9
Transport 2	38	5	10	3	3	1	3	8	9	16	4
Lastning	57	17	22	0	0	0	0	0	0	1	3
Plöjning	14	0	8	68	7	0	0	1	2	0	0
Pressning	15	7	1	0	0	0	0	0	0	66	11



Figur 16. Motorbelastningens fördelning vid arbetsoperationerna beskrivna i Tabell 2

Resultaten i Tabell 15 är beräknade genom att den relativa fördelningen mellan de 11 områdena i moment/varvtals-diagrammet är multiplicerade med emissionsdata från A30-mätningarna.

Emissionsdata som används är de samma som redovisas i Tabell 3-5 och de samma som används vid interpolationsberäkningarna i tidigare avsnitt. Resultaten är alltså direkt jämförbara med resultaten i Tabell 7. Tabell 16 visar kvoten mellan värdena beräknade med de båda metoderna.

Tabell 15. Beräknade emissioner vid olika traktoroperationer

Arbetsmoment	MK1			MK3			RME		
	CO (g/h)	NOx (g/h)	HC (g/h)	CO (g/h)	NOx (g/h)	HC (g/h)	CO (g/h)	NOx (g/h)	HC (g/h)
Harvning	28,55	497	9,77	26,7	544	9,78	19,7	636	5,86
Sådd	23,19	224	6,74	22,8	253	7,92	22,3	260	3,09
Stubb-bearb	32,79	206	10,99	37,0	225	11,72	26,8	255	5,14
Transport 1	32,92	224	10,35	35,9	249	10,87	26,7	276	4,89
Transport 2	34,91	194	7,98	36,4	212	8,56	34,4	224	3,98
Lastning	37,27	128	6,26	37,9	139	7,16	39,2	134	2,92
Plöjning	21,08	253	6,49	20,4	286	7,76	20,6	299	3,17
Pressning	40,04	143	9,89	44,7	163	10,52	36,2	157	4,40

Tabell 16. Relationen mellan emissionsmängder beräknade med interpolation och genom att gruppera data.

Arbetsmoment	MK1			MK3			RME		
	CO	NOx	HC	CO	NOx	HC	CO	NOx	HC
Harvning	0,95	1,01	0,95	0,94	0,99	0,97	0,98	1,00	0,97
Sådd	1,15	0,94	1,09	1,15	0,91	1,05	1,15	0,92	1,10
Stubb-bearb	0,86	1,17	0,87	0,73	1,16	0,89	0,86	1,13	0,87
Transport 1	1,07	1,01	1,04	0,97	0,99	1,03	1,08	1,00	1,02
Transport 2	1,01	0,99	0,99	0,95	0,97	0,98	1,03	0,97	1,00
Lastning	1,04	0,91	1,01	1,03	0,89	0,98	1,08	0,86	1,04

Plöjning	1,16	0,99	1,10	1,16	0,96	1,06	1,14	0,98	1,13
Pressning	0,98	1,00	0,88	0,92	0,95	0,91	1,02	1,00	0,87
Medel	0,9982								
Standard- avvikelse	0,0904								

Kvoten mellan resultaten för de båda metoderna är mycket nära 1 och har en standardavvikelse på ca 9 %. Detta innebär något förenklat att värdet med den senare metoden med 95 % säkerhet inte avviker med mer än ca 18 % från värdet beräknat med den mer komplicerade metoden.

8 Diskussion

8.1 Bedömning av beräkningarnas noggrannhet

Beräkningarna är utförda med hjälp av en semi-statisk metod, d.v.s. genom att motorns genomsnittliga belastning under 7,5 sekunder har kopplats till resultat från provbänksmätningar där emissionerna mätts under statiska förhållanden.

Snabba förändringar i motorns arbetsförhållanden, s.k. transienter, registrerades inte av mätutrustningen. Förekomsten av dessa transienter kan antas ge ökade utsläpp av emissioner, varför den verkliga emissionsmängden primärt bör ha underskattats något i alla mätningarna.

Bränsleförbrukningen kunde beräknas med hjälp av interpolation från provbänksdata på samma sätt som emissionerna beräknades. Även vid mätningarna av körmonster registrerades motorns bränsleförbrukning. En jämförelse av mätt och beräknad bränsleförbrukning gav en god möjlighet att studera noggrannheten i resultaten. Den beräknade bränsleförbrukningen var enligt Tabell 6 ca 90 % av den uppmätta för flertalet arbeten, förutom vid arbete med frontlastaren. Även de inspelade transportkörningarna gav något lägre värden. Till avvikelserna på ca 10 % bör bidra ett flertal faktorer som beskrivs i avsnitt 6.2; förslitningar i motorn, en något modernare motorkonstruktion, eventuella skillnader mellan motorer i samma produktionsserier samt inverkan av eventuella transienter. Det bedöms att inverkan av en något förändrad utformning av motorn var huvudorsaken till avvikelserna i alla mätfallen utom för de nämnda operationerna som visade lägre kvoter. Vid arbete med frontlastare och vid transportkörning med hög frekvens start och stopp är förekomsten av snabba transienter vanligare än vid de andra arbeten och detta bedöms vara huvudorsaken till den underskattade bränsleförbrukningen i dessa fall.

Mätning av emissioner direkt under körning, med rimlig noggrannhet, är svårt att genomföra i praktiken på arbetsmaskiner, varför den utnyttjade metoden troligen är den mest lämpade även för kommande försök. Mättekniska faktorer medförde att samplingstiden definierades till 7,5 sekunder. Utvecklingen på mätteknik- och dataområdet har gått snabbt och för en ny utrustning skulle det både vara önskvärt och troligen praktiskt genomförbart att minska samplingstiden till ca 1 sekund. Uppskattningar av emissionsvärden med hjälp av avgastemperaturmätningar kan utföras som ett komplement till andra metoder, men har för

långsam respons vid snabba förändringar för att kunna utnyttjas som enda metod för effektbestämning.

8.2 Resultatens användbarhet i LCA

Resultaten visar med all tydlighet att det inte är möjligt att använda en generell faktor vid beräkning av emissioner från traktorer som används i olika arbetsuppgifter, om man skall uppfylla några som helst krav på noggrannhet vid utförande av LCA. Resultaten visar också, något överraskande, att de generella faktorer som används vid LCA-beräkningar har väldigt stora avvikelser jämfört med de som mätts/beräknats i studien.

Enlig diskussionen i föregående avsnitt är det troligt att felnivåerna i huvudparten av de resultat som redovisas är låga. Det bedöms därför också som sannolikt att användningen av dessa resultat bör ge rejält minskade felnivåer för resultaten från LCA-beräkningar.

För arbeten med ofta förekommande snabba belastningsförändringar, som körning med frontlastare, är felmarginalerna troligen något större för de redovisade resultaten. De stora felmarginalerna i de data som används i dagens LCA-beräkningar pekar dock på att även vid analys av köroperationer som innehåller mycket transienter, är det fördelaktigare att använda resultaten redovisade i denna rapport jämfört med tidigare använda data.

De studerade arbetsoperationerna och den studerade traktorn har valts för att vara så representativa som möjligt för svenska förhållanden. Ett flertal faktorer påverkar dock naturligtvis resultaten och i studien har det inte funnits möjlighet att studera inverkan av mer än ett fåtal av dessa. Faktorer som jordart och markens fuktighet för fälten som utnyttjats vid de inspelade mätningarna har med stor sannolikhet en påverkan på resultaten. De redovisade mätserierna har dock valts ut för att även i dessa avseenden visa någon typ av medelförhållanden.

Resultaten baserar sig på emissionsmätningar som utförts på en typ av traktormotor. Det hade naturligtvis varit önskvärt om resultat kunde tagits fram för flera motortyper. Detta omöjliggjordes dock av att detaljerade testdata med värden för alla moderna i testcykeln inte fanns tillgängliga, eftersom sådana data normalt inte publiceras offentligt. Sammanvägda värden fanns dock tillgängliga för ett antal andra motorer från Valmet. Den provade motorn visar i jämförelse med de andra motorerna ungefär genomsnittliga emissionsvärden för CO och NO_x, men lägre värden än genomsnittet för HC.

Mätningarna har utförts på en traktor med motoreffekten 70 kW och med redskap som är anpassade för denna storlek. Genom att utnyttja resultaten redovisade i relation till tillförd bränsleenergi (Tabell 10) och korrigera för den ökade bränsleåtgången för en större traktor, kan troligen emissionsvärden även för traktorer med effekter i ett intervall runt denna storlek beräknas med rimlig noggrannhet för en specifik arbetsoperation. Ett annat alternativ kan vara att utnyttja resultaten som redovisas i relation till avverkad areal. Några studier har dock inte gjorts för att belägga dessa påstående.

I rapporten är emissionsvärdena beräknade vid utförande av 8 olika arbetsoperationer. De framtagna resultaten går dock troligen också att utnyttja för emissionuppskattningar vid arbeten som inte finns bland de undersökta, men som bedöms ge en belastning av motorn som påminner om någon av dessa. De stora skillnaderna i emissionsvärden mellan olika arbetsoperationer medför dock att försiktighet bör iaktas vid sådana uppskattningar av emissioner för icke studerade arbetsmoment.

8.3 Den förenklade metodens användbarhet

Den förenklade beräkningsmetoden beskriven i Kapitel 7 ger möjlighet att uppskatta emissionsvärden för de olika arbetsoperationerna för alla traktorer med relevant storlek som provats enligt A30-standard. Möjligheter ges också att studera hur en viss förändring i motorns emissionsvärden påverkar de totala utsläppen vid utförandet av en viss arbetsuppgift.

Resultaten kan ses som ett första försök att för traktorkörning ta fram standardiserade vägningsfaktorer som kan utnyttjas i kombination med A30-mätvärden. För att de nya vägningsfaktorerna skall bli så representativa som möjligt är det dock nödvändigt med ett större datamaterial, och med mätningar utförda under mera varierande förhållanden.

8.4 Behov av framtida forskning

Ett flertal anledningar finns för en ökad satsning i syfte att öka kunskapen om emissioner från lantbrukets arbetsmaskiner:

- En mycket betydande del av de emissioner som produceras beräknas komma från arbetsmaskinerna. Kunskapen om dessa emissioner, och de faktorer som påverkar dem, är dock mycket begränsad. För att driva utvecklingen mot mindre miljöpåverkan krävs att kunskapsnivån höjs betydligt.
- Studier av miljöpåverkan från produktionssystem för livsmedel, med metoder som MKB och LCA, har fått en allt större betydelse vid planeringen av framtida anläggningar och system. Vid sådana studier är emissionerna från lantbrukets arbetsmaskiner vanligen en av de mest betydande källorna för miljöpåverkan.
- Vägtransporterna är orsaken till en stor del av de totala utsläppen av emissioner till miljön. Lantbrukstraktorn kan komma att få en allt större betydelse som vägtransportfordon. En ökning av den maximalt godkända hastigheten till 40 km/h är en av orsakerna till detta.

Ett syfte för studien som redovisas i denna rapport var också att identifiera de största kunskapsluckorna inom området. De områden där avsaknaden av kunskap bedöms som mest besvärande är:

- I studien redovisas utsläpp av reglerade emissioner för en medelstor traktor. Fortfarande saknas dock data helt för traktorer under ca 60 kW, liksom för de stora traktorer över ca 90 kW som blir allt vanligare i dagens storlekrationaliserade jordbruk.
- Studien har bara behandlat de reglerade emissionerna CO, NO_x och HC. Ett flertal av de icke reglerade emissionerna, för exempel de polyaromatiska kolvätena (PAH), har också en betydande miljöpåverkan. Tillgängliga data om dessa är dock ännu mer begränsade än vad som är fallet för de reglerade emissionerna.
- Standardiserad mätning av arbetsmaskinernas emissioner sker bara vid statiska arbetspunkter. Motortillverkarna har därför inget motiv för att utveckla motorer som ger låga emissionsvärden även vid snabba belastningsändringar. För att testa motorerna även vid förlopp som innehåller snabba belastningsändringar krävs standardiserade dynamiska provningscykler. Sådana finns redan för bland annat personbilar och lastbilar. Framtagningen av dynamiska belastningscykler för traktorer kräver dock att ett omfattande

datamaterial samlas in och bearbetas för att cyklerna skall representera verkliga förhållanden så väl som möjligt.

- Den begränsade omfattningen av studien har bara möjliggjort en uppskattning av reglerade emissioner vid ett antal arbetsoperationer. Det har eftersträvats att övriga påverkande faktorer har varit så "normala" som möjligt för svenska förhållanden. Resultaten har dock visat att emissionsvärdena är känsliga för varierande sätt att utnyttja traktorn. Det skulle därför vara mycket värdefullt om exv. förarens och körsättets inverkan kunde undersökas i en framtida studie.
- Ett mycket viktigt och outrett område är naturligtvis vilka möjligheter som finns för att reducera emissionerna vid ett visst arbetsmoment. Förutom ändrad motorteknik, användning av alternativa bränslen etc. kan också ändrade sätt att använda traktorn ha stor potential för att minska emissionerna. Mycket talar dessutom för att en traktor med högre utväxling på högsta växel, men med begränsat varvtal på denna växel för att inte överskrida tillåtna hastigheter, skulle vara fördelaktig ur emissionssynpunkt.
- Studien har i huvudsak berört jordbrukets arbetsmaskiner traktorerna. Kunskapsluckorna är dock lika omfattande för anläggningsmaskiner och skogsbrukets maskiner och studier motsvarande de som beskrivits ovan skulle vara lika motiverade för dessa maskiner.

9 Litteraturlista

Audsley, E. 1997. Harmonisation of environmental life cycle assessment for agriculture, Final Report Concerted Action AIR3-CT94-2028.

Avellán, L.; Johansson, S.; Norén, O.; Pilo, C. 1995. Rapsolja för småskalig kraftvärme. Rapport nr 199. Jordbrukstekniska institutet. Uppsala.

Browén, A. 1988. A data acquisition system for field applications. Swedish institute of agricultural engineering. Paper presenterat på AG ENG 88. Paris.

Cederberg, C. 1998. Life cycle assessment of milk production- A comparison of conventional and organic farming. Rapport 643. Institutet för livsmedel och bioteknik, SIK, Göteborg.

Egebäck, K-E.; Hedblom, A. 1991. Emissionsdatabank för dieselmotorer. MTC 9102. AB Svensk Bilprovning. Haninge.

Grägg, K. 1994A. Effects of Environmentally Classified Diesel Fuel, RME and Blends of Diesel Fuels and RME on the Exhaust Emissions. MTC 9209 B. AB Svensk Bilprovning. Haninge.

Grägg, K. 1994B. Emissionsmätningar med och utan katalysatorljuddämpare. MTC 9430 A. AB Svensk Bilprovning. Haninge.

Grägg, K. 1995. Reduction of diesel engine emissions. MTC 9405 A. AB Svensk Bilprovning. Haninge.

Hedbom. 1994. Emission tests of two Volvo/VME heavy duty off road engines. MTC 9307A. AB Svensk Bilprovning. Haninge.

- Laveskog, A. 1995. Avgasutsläpp från snöskotermotorer. MTC 9409 A. AB Svensk Bilprovning. Haninge.
- Norén, O.; Browén, A. 1988. Determination of tractor power based on measurements of fuel consumption and exhaust temperature. Swedish institute of agricultural engineering. Paper presenterat på AG ENG 88. Paris.
- NV. 1996. Renare och tystare arbetsmaskiner - del två. M95/2562/7. Stockholm.
- NV. 1997. Renare och tystare arbetsmaskiner - hur då? Delredovisning av M95/2562/7. Stockholm.
- Pang, S.N.; Zoerb, G.C.; Wang, G. 1984. A tractor performance monitor based on an indirect method of fuel consumption measurement. ASAE Paper 84-1059. Saskatoon. Canada.
- Pascal, J.A.; Brown, K.T. 1974. Traktor power estimation. Departmental note SSN/168. Scottish institute of agricultural engineering, Bush estate, Penicuik, Midlothian.
- SMP. 1993. Scafi 101 i jämförelse med andra dieselbränslen. Statens maskinprovningar, Uppsala. Meddelande 3390.
- SOU. 1992. Förpackningar och miljön. Statens offentliga utredningar 1992:17.
- Sumner, H.R.; Hellvig, R.E.; Monroe, G.E. 1984. Measuring implement power requirements from tractor fuel consumption. Paper No. SER-84-202 ASAE. Michigan. USA.