



## **Arbetsmaskiners bidrag till luftföroreningar i tätorter**

Engine exhaust gas emissions from non-road mobile machinery in densely populated areas

**Magnus Lindgren  
Per-Anders Hansson  
Christian Wetterberg**

---

**SLU**  
Institutionen för biometri och teknik

**Rapport – miljö, teknik och  
lantbruk 2007:02**

**SLU**  
Department of Biometry and Engineering

**Uppsala 2007  
ISSN 1652-3237**

---

## SAMMANFATTNING

Regeringen har fattat beslut om åtgärdsprogram mot partiklar (PM<sub>10</sub>) i Stockholms län. I beslutet skriver regeringen bl.a. att åtgärder skall vidtas för att öka kunskapen om bidrag till PM<sub>10</sub>-halterna från arbetsmaskiner. Med arbetsmaskiner omfattas mobila maskiner utrustade med dieselmotorer i enlighet med direktiv 97/68/EG och 2000/25/EG d.v.s. traktorer och entreprenadmaskiner så som hjullastare, grävmaskiner, dumper och mobilkran.

Vägverket anges tillsammans med flera andra myndigheter, bl.a. Naturvårdsverket, som ansvariga för att åtgärder vidtas. Vägverket behöver för sin roll som sektorsansvarig och föreskrivande myndighet bl.a. ta fram underlag för bedömning av arbetsmaskinernas emissioner och påverkan av luftkvaliteten, främst när det gäller partiklar men även utsläpp av kväveoxider.

Syftet med detta projekt är att uppdatera och sammanställa kunskapsläget vad gäller bränsleförbrukning och emissioner från arbetsmaskiner och deras bidrag till problemet att klara miljö kvalitetsnormerna för utomhusluft i tätorter samt uppsatta miljömål. Mer specifikt är målet att bedöma förekomsten och åldersfördelningen av arbetsmaskiner i tätorter inklusive årlig drifttid samt bestämma den årliga bränsleförbrukningen och de årliga emissionerna som arbetsmaskinerna avger. Med emissioner menas gasformiga föroreningar i enlighet med direktiv 2004/26/EC, d.v.s. kolmonoxid, kolväte, kväveoxid samt partiklar (PM<sub>10</sub>).

Det har funnits och finns en stor osäkerhet i bedömningar av hur mycket arbetsmaskinerna bidrar med utsläpp av luftföroreningar. Tidigare har vid beräkningar oftast en och samma emissionsfaktor används för alla förekommande arbetsoperationer. De senaste årens forskning inom framför allt EMMA-projekten har gett nytt underlag som ger en mycket förbättrad kunskap och nya data om arbetsmaskinernas emissioner.

Inom detta projekt har två tätorter valts ut, en stor tätort som representeras av Stockholm och en mindre tätort som representeras av Ljungby. Ljungby tätort motsvarar delar av Ljungby kommun medan Stockholms tätort representeras av både Stockholms kommun och en rad omkringliggande kranskommuner.

För att beräkna bränsleförbrukning och emissioner från arbetsmaskiner i Stockholms tätort användes den av den Europeiska miljöbyrån (European Environment Agency) föreskrivna avancerade metoden, vilken modifierades för att på ett mer representativt sätt återspegla den faktiska maskinparken och det arbete de olika maskinerna utför årligen. Samma modell har använts för att bedöma den totala bränsleförbrukningen och de totala emissionerna från samtliga arbetsmaskiner i Sverige.

Genom att beskriva antalet maskiner, deras årliga drifttid, motoreffekt, belastningsgrad, samt bränsleförbrukning och emissionsegenskaper för varje typ och årsmodell av arbetsmaskin i form av matriser erhöles ett mer tillförlitligt resultat jämfört med att endast använda ett genomsnittsvärde. Totalt definierades 31 olika typer av maskiner, för vilka data sammanställdes för samtliga årsmodeller från och med 1982 till och med 2006. Maskiner äldre än årsmodell 1982 inkluderades inom gruppen med maskiner av årsmodell 1982.

Beräkningarna över årlig bränsleförbrukning och emissioner i Ljungby tätort genomfördes med en alternativ metodik baserad på utförda drifttimmar inom tätorten i kombination med bränsleförbruknings- och emissionsfaktorer. Dessa bränsleförbruknings- och emissionsfaktorer beräknades individuellt för varje typ av arbetsmaskin och representerade egenskaperna hos den genomsnittliga svenska maskinparken med avseende på åldersfördelning, motoreffekt, etc. i likhet med de beräkningar som genomfördes för Stockholms tätort. Dessutom beräknades en uppsättning bränsleförbruknings- och

emissionsfaktorer motsvarande en maskinpark som uppfyller Vägverkets och storstädernas olika upphandlingskrav för bästa miljöklass.

Omfattande inventeringar av arbetsmaskiner genomfördes för både Stockholm och Ljungby tätort. För Stockholm omfattade inventeringen både antalet maskiner och deras drifttid som funktion av ålder på maskinerna. Tillförlitliga data kunde erhållas via SMP Svensk Maskinprovning AB:s besiktningssverksamhet i kombination med statistik över både årlig försäljningsdata och i fordonsregistret registrerade arbetsmaskiner. Resultaten från inventeringen visade att ca 2 800 arbetsmaskiner med varierande ålder och årlig drifttid är verksamma inom Stockholms tätort.

I Ljungby tätort verkar relativt få arbetsmaskiner, knappt 100, varför en alternativt metod nyttjades för inventering. Årligen utförda drifttimmar med olika typer av arbetsmaskiner sammanställdes från lokala entreprenörer inom kommunen. Ca 48 000 timmars arbete med arbetsmaskiner har utförts inom tätorten, varav majoriteten med olika grävmaskiner och med hjullastare.

I tabell S1 visas total årlig bränsleförbrukning och totala årliga emissionsnivåer i både Stockholms och Ljungby tätorter.

*Tabell S1. Beräknade årliga emissions- och bränsleförbrukningsmängder från sektorn arbetsmaskiner i Stockholms och Ljungby tätorter år 2006*

	Enhet	Årliga nivåer	
		Stockholm	Ljungby
Bränsleförbrukning	Ton	27 200	640
CO <sub>2</sub>	Ton	85 600	2 030
CO	Ton	180	4,3
HC	Ton	60	1,3
NO <sub>x</sub>	Ton	730	18
PM	Ton	30	0,7
SO <sub>x</sub>	Ton	0,05	0,00

Förutom att beräkna bränsleförbrukning och emissionsmängd i Stockholms och Ljungby tätorter utvecklades även en förenklad version av den bränsleförbruknings- och emissionsmodell som användes för Stockholms tätort. Baserat på bränsleförbruknings- och emissionsegenskaper och motsvarande årligt utfört arbete för den totala maskinparken i Sverige beräknades genomsnittliga bränsleförbruknings- och emissionsfaktorer i g h<sup>-1</sup> för samtliga större grupper av arbetsmaskiner. Bränsleförbruknings- och emissionsfaktorerna beräknades med hänsyn till maskinparkens sammansättning, ålderfördelning, årlig drifttid som funktion av ålder etc. för både den befintliga svenska maskinparken och en maskinpark som uppfyller Vägverkets och storstädernas olika upphandlingskrav för bästa miljöklass.

Resultaten från denna studie visar att tidigare estimat av utsläppen från arbetsmaskiner i de flesta fall har överskattat de verkliga nivåerna. Uppskattningarna av bränsleförbrukning är i regel baserade på goda data och överensstämmer tämligen bra med data presenterat i denna studie. För emissioner är situationen annorlunda, enkla modeller vilka enbart är baserade på emissionsfaktorer för vilka ingen hänsyn tagits till maskinparkens sammansättning, och emissionsegenskaper, speciellt med avseende på åldersfördelning, tenderar att överskatta nivåerna. Dessutom visar resultaten på vikten av att anpassa motorernas emissionsegenskaper till verkliga förhållanden och inte direkt använda nivåerna enligt lagkraven vilket vanligen görs.

De framtagna modellerna kan användas för estimering av utsläpp från andra kommuner förutsatt att man har tillgång till information om maskinparkens sammansättning och arbete. Den mer avancerade modellen kräver relativt omfattande dataunderlag t.ex. maskinparkens sammansättning, åldersfördelning och årlig drifttid som funktion av ålder medan databehovet för den förenklade modellen är mindre. För den förenklade modellen krävs endast information om vilka typer av maskiner som är verksamma samt antalet drifttimmar per år för de olika maskintyperna.

## ABSTRACT

The Swedish government has decided an action plan against particulate matter (PM<sub>10</sub>) within the county of Stockholm. Among other thing, the action plan stipulate that measures shall be taken in order to increase the knowledge about emissions of PM<sub>10</sub> from non-road mobile machinery and their contribution to the air quality within densely populated areas. Non-road mobile machinery are characterised as mobile machinery not intended for the use of passenger- or goods-transport on the road, and equipped with an internal combustion engine as specified in directive 97/68/EC and directive 2000/25/EC, i.e. agricultural and forestry tractors and construction equipment such as wheel loaders, excavators, articulated haulers and mobile cranes.

The purpose of this project, which was financed by the Swedish national road administration, was to update and summarise the current knowledge concerning fuel consumption and emissions from non-road mobile machinery and their contribution to the air quality in densely populated areas. A more specific aim of the project was to estimate the occurrence and age distribution and annual work hours of non-road mobile machinery within densely populated areas. Furthermore, annual fuel consumption and emissions amounts were also derived.

Usually a single emission factor for each pollutant has been used when estimating emissions from the entire non-road mobile machinery sector, which has resulted in fairly uncertain results. Previous research has shown that it is not possible to develop one single set of emission factors that gives representative results for all types of non-road mobile machinery and operations (Hansson et al., 2001; Starr et al., 1999; Ullman et al., 1999). The latest research within the EMMA-projects in Sweden about the presence, use and emissions from non-road mobile machinery has resulted in better knowledge and data concerning emissions from non-road mobile machinery.

Within the present project, emissions from non-road mobile machinery in two densely populated areas or population centres with different sizes have been studied. One large population centre represented by the city of Stockholm and one small represented by the town of Ljungby.

The calculation of fuel consumption and emissions from non-road mobile machinery within the city of Stockholm has been conducted in accordance with the advanced approach presented by the emission inventory guidebook from the European Environment Agency (EEA, 2005). However, the methodology has been modified in order to thoroughly represent the actual assembly of non-road mobile machinery including the work performed by those machines annually. The same model that was used to derive fuel consumption has been employed for emissions as well.

Compared with using average information, more reliable data were obtained through describing the number of machines, annual hour, engine power, load factor, specific fuel consumption and emissions amounts for each type of non-road mobile machinery and model year. All data were stored and used in different matrices, one for each variable. In total 31 different types of machines were defined for which data were collected for all model years from 1982 to 2006.

Extensive inventories of non-road mobile machinery were carried out for both the city of Stockholm and Ljungby. For Stockholm the inventory contained both number of units and annual work hour as function of the age of the machinery. Reliable data could be obtained through the Swedish Machinery Testing Institute's accredited inspection database in combination with statistics over both annual sale returns and registered machinery from the national vehicle database.

The results from the inventory showed that about 2 800 non-road mobile machinery with both varying age and annual work hours operated within the city of Stockholm. In the city of Ljungby, less than 100 non-road mobile machinery were estimated to operate, thus called for an alternative method for the inventory. Based on data from local contractors that operated in the city of Ljungby, annual work hour for different types of non-road mobile machinery were collected. The result showed that about 48 000 hours of work with non-road mobile machinery were carried out within the city of Ljungby annually. Moreover, the majority of the work were performed with wheel loaders and different types of excavators.

In table S1 annual emission- and fuel consumption amounts from the non-road mobile machinery sector in the cities of Stockholm and Ljungby year 2006 are shown.

*Table S1. Calculated annual emission- and fuel consumption amounts from the non-road mobile machinery sector in the cities of Stockholm and Ljungby year 2006*

	Unit	Annual amounts	
		Stockholm	Ljungby
Fuel consumption	Ton	27 200	640
CO <sub>2</sub>	Ton	85 600	2 030
CO	Ton	180	4,3
HC	Ton	60	1,3
NO <sub>x</sub>	Ton	730	18
PM	Ton	30	0,7
SO <sub>x</sub>	Ton	0,05	0,00

## **FÖRORD**

Dieselmotorn är den vanligaste kraftkällan för arbetsmaskiner och kommer att så förbli inom överskådlig tid. Dessa arbetsmaskiner omfattar en mängd olika typer av fordon så som hjullastare, grävmaskiner, dumpers och mobilkranar vilka används både utanför och inom städer. Så fort ett arbete utförs förbrukas diesel och avgaser bildas. Avgaserna består av tre huvuddelar, nämligen vattenånga, koldioxid samt kvävgas från luften. Dessutom bildas det en rad oönskade biprodukter t.ex. kväveoxider, partiklar, kolmonoxid och olika kolväten. Alla dessa komponenter bidrar till en försämrad luftkvalitet i städerna, för arbetsmaskiner är det främst partiklar och kväveoxider som anses viktigast.

Kunskapen rörande vägtrafikens bidrag till luftkvaliteten i städerna har ökat kontinuerligt under de senaste åren med avancerade spridningsmodeller och omfattande mätningar i stadsmiljö. Dock har det funnits och finns en stor osäkerhet i bedömningar av hur mycket arbetsmaskinerna bidrar med utsläpp av luftföroreningar. De senaste årens forskning inom framför allt EMMA-projekten har gett nytt underlag som ger en mycket förbättrad kunskap och nya data om arbetsmaskinernas emissioner. Dessa bör sammanställas och kunna bidra till ökad kunskap om arbetsmaskinernas påverkan på luftföroreningshalterna i tätorter.

Detta projekt skall vara en kunskapssammanställning/studie av arbetsmaskiners bidrag till luftföroreningar i tätorter. Projektet beställdes och finansierades av Vägverket hösten 2006 och genomfördes av Institutionen för Biometri och Teknik, SLU i samarbete med SMP Svensk Maskinprovning AB.

Vi vill slutligen tacka alla som möjliggjort denna studie, inte minst Peter Ståhl på SMP samt Per Johansson på Gustav R: Johansson AB. Dessutom vill vi tacka EMMA-konsortiets alla deltagare som bidragit med en mängd nyttig information samt lagt grunden för vårt fortsatta arbete med emissioner från arbetsmaskiner.

## INNEHÅLL

BAKGRUND .....	11
Nationella krav- och bonussystem.....	12
Gällande emissionskrav.....	13
SYFTE.....	15
MATERIAL OCH METODER .....	15
Beräkningsmodell.....	16
<i>Korrigerig av emissions- och bränslefaktorer.....</i>	<i>17</i>
Förenklad beräkningsmodell .....	18
Tätorter.....	19
<i>Inventering av arbetsmaskiner i Stockholms tätort .....</i>	<i>20</i>
<i>Inventering av arbetsmaskiner i Ljungby tätort .....</i>	<i>22</i>
RESULTAT OCH DISKUSSION .....	23
Inventering av arbetsmaskiner i Stockholms tätort .....	23
<i>Antal maskiner.....</i>	<i>23</i>
<i>Drifttimmar.....</i>	<i>25</i>
<i>Motoreffekt .....</i>	<i>26</i>
<i>Belastningsfaktorer.....</i>	<i>27</i>
Inventering av arbetsmaskiner i Ljungby tätort.....	28
Emissioner i tätorter .....	29
<i>Stockholms tätort.....</i>	<i>29</i>
<i>Ljungby tätort.....</i>	<i>31</i>
Förenklad emissionsmodell.....	32
REFERENSER.....	35
BILAGA A.....	A1
BILAGA B .....	B1



## BAKGRUND

Emissioner från förbränningsmotorer bidrar till en mängd oönskade effekter i samhället så som växthuseffekt, försurning, övergödning, försämrad luftkvalitet etc. Dessutom innehåller avgaserna flertalet komponenter, t.ex. kväveoxider och partiklar vilka anses vara skadliga för människor. Kväveoxider kan ge upphov till marknära ozon under vissa omgivningsförhållanden medan partiklar kan ge upphov till nedsatt lungfunktion och andra respiratoriska problem för människor.

Dieselmotorer i arbetsmaskiner anses vara en betydande källa till utsläppen av både kväveoxider ( $\text{NO}_x$ ) och partiklar (PM) till luft. Enligt Europeiska miljöbyrån, European environment agency, bidrar arbetsmaskiner med mellan 13 och 20 % av de totala utsläppen av kväveoxider (EEA, 2005). I Sverige anses bidraget vara ca 20 % på nationell basis eller 17 % av de totala utsläppen i Stockholms län (Persson & Kindbom, 1999; Westerlund & Pettersson, 2002). I en nyligen publicerad rapport av Wetterberg et al. (2007) har bränsleförbrukning och emissioner från arbetsmaskiner i Sverige beräknats utifrån maskinparkens sammansättning vad avser antal maskiner, åldersfördelning, årlig drifttid som funktion av ålder etc. Resultaten från Wetterberg et al. (2007) visar att tidigare studier i de flesta fall har överskattat utsläppen av gasformiga emissioner medan uppskattningarna av bränsleförbrukning är relativt god. För partiklar var skillnaden nästan 3 000 ton per år eller 75%. Motsvarande data för utsläpp av  $\text{NO}_x$  var 20 000 ton per år eller 50%.

En anledning till det uttalade problemet med arbetsmaskiner är att dessa först under senare tid har blivit underställda lagstadgade emissionskrav. Först 1999 infördes kraven på arbetsmaskiner, kraven på traktorer infördes drygt 2 år senare. Samtida krav på dieselmotorer för lastbilar och bussar var betydligt strängare, ca 50 % lägre för  $\text{NO}_x$  och 80 % lägre för PM (EEC, 1988; EU, 1997; EU, 1999). Dessutom har arbetsmaskiner i regel en längre livslängd än den yrkesmässiga tunga trafiken som går på väg. Detta leder till att arbetsmaskiner ligger efter i utsläppskraven och kan förväntas ge upphov till en relativt sett större andel av de totala utsläppen även i framtiden.

Tidigare har forskningen rörande fordon, motorer och deras emissioner främst varit inriktad mot vägfordon. Arbetsmaskiner har inte berörts i samma grad. Oftast ingår arbetsmaskiner inte som en källa till utsläpp i de modeller som används för att beräkna halter av luftföroreningar i t.ex. Stockholm. Detta trots att modellerna är både kalibrerade och validerade mot realtidsmätningar av luftkvaliteten, där arbetsmaskiner är en av många källor. SLB-analys har på uppdrag av Luftvårdsförbundet i Stockholms och Uppsala län genomfört en studie av avgasemissioner från dieseldrivna arbetsmaskiner i Stockholms län (Westerlund & Pettersson, 2002). Studien har använt sig av en förenklad beräkningsmetodik enbart baserad på bränsleleveranser och emissionsfaktorer per enhet bränsle.

En bidragande orsak till att arbetsmaskiner inte har inkluderats i luftkvalitetsmodeller är bristande kunskap rörande utsläpp från arbetsmaskiner. Tidigare har vid beräkningar oftast en och samma emissionsfaktor används för alla förekommande arbetsoperationer. De senaste årens forskning inom framför allt EMMA-projekten;

- EMMA 1 - Utveckling av relevanta arbetscykler och emissionsfaktorer samt reducering av bränsleförbrukning för arbetsmaskiner,
- EMMA 2- Fördjupade studier av effekterna av transienta belastningar på emissionsnivåerna från arbetsmaskiner,
- EMMA 5 - Effekter av transienta belastningar på energieffektivitet och emissionsbildning från arbetsmaskiner vid användning av alternativa bränslen, och

- EMMA 7 - Samhällsekonomiskt optimala åtgärder för reducering av emissioner

har gett nytt underlag som ger en mycket förbättrad kunskap och nya data om arbetsmaskinernas emissioner (Hansson et al., 2002; Lindgren et al., 2002; Lindgren, 2004; Lindgren, 2007).

Dessa projekt har bland annat visat på betydelsen av att använda belastnings- och emissionsfaktorer anpassade för den arbetsoperation som det aktuella fordonet eller fordonsparken utgör. Vidare har det visats på vikten av att ta hänsyn till maskinparkens sammansättning, inte bara det totala antalet maskiner utan även åldersfördelning och variation i årliga drifttimmar med ökande ålder. I Sverige finns ca 120 000 jord- och skogsbrukstraktorer med en motoreffekt mellan 37 och 560 kW. Av dessa traktorer har ca 50 000 en ålder av 25 år eller mer, att ansätta en generell årlig drifttid på ca 500 timmar, vilket motsvarar en ny traktor, blir självklart fel. Samma princip gäller för övriga arbetsmaskiner.

De data över maskinparkens sammansättning och årlig drifttid som finns tillgängliga motsvarar ett riksgenomsnitt. Data över specifika regioner så som län, städer eller tätorter finns inte tillgängligt i dagsläget. Sannolikt skiljer sig sammansättningen av maskinparken i tätorter jämfört med riksgenomsnittet, speciellt för de större tätorterna som ofta omfattas av mer omfattande krav vid upphandlingar. För att kunna uppskatta utsläppen från arbetsmaskiner i tätorter och följaktligen deras bidrag till problemet att klara miljö kvalitetsnormer för utomhusluft och andra uppsatta miljömål krävs specifika studier av förekomst och åldersfördelning för arbetsmaskiner.

Regeringen har fattat beslut om åtgärdsprogram mot partiklar (PM<sub>10</sub>) i Stockholms län. I beslutet skriver regeringen bl.a. att åtgärder skall vidtas för att öka kunskapen om bidrag till PM<sub>10</sub>-halterna från arbetsmaskiner. Vägverket anges tillsammans med flera andra myndigheter, bl.a. Naturvårdsverket som ansvariga för att åtgärden vidtas. Detta projekt är ett steg för att bidra till ökad kunskap.

### **Nationella krav- och bonussystem**

Vägverket, Banverket och storstadskommunerna (Göteborg, Stockholm och Malmö) har sedan flera år var för sig ställt miljökrav vid upphandling av entreprenadmaskiner. Nyligen har Vägverket och storstadskommunerna utformat gemensamma miljökrav (Vägverket, 2006), vilket underlättar för alla parter och har varit ett önskemål från entreprenadbranschen. Banverket håller också på att se över sina miljökrav vid upphandling och har som ambition att också ansluta sig till de gemensamma kraven.

Fullständig överrensstämmelse mellan storstadskommunernas och Vägverkets krav har dock inte kunnat åstadkommas. Man har enats kring gemensamma grundkrav men utöver dessa finns särskilda stadskrav som gäller vid städernas upphandlingar. Vid Vägverkets upphandlingar används dessutom ett system med bonus och prisavdrag.

Nedan följer en sammanfattning av vilka miljökrav som gäller för dieseldrivna arbetsmaskiner vid upphandling av storkommunerna:

Grundkraven för dieseldrivna arbetsmaskiner:

- En miljöplan skall upprättas för varje uppdrag,
- Anvisningar om vilka kemiska produkter som skall användas, t.ex. ska diesel enligt svensk standard av miljöklass 1 eller bättre användas, miljömärkta oljor skall väljas och däck ska vara HA-oljefria om det finns att tillgå,
- Uppdragstagaren ansvarar för att de som arbetar med uppdraget har tillräcklig kompetens t.ex. vad det gäller miljö- och energibesparing. Alla som arbetar inom

entreprenaden/uppdraget ska ha genomgått en miljöutbildning och fr.o.m. 2007 ska minst hälften, och fr.o.m. 2008 samtliga, fordons- och maskinförare ha genomgått utbildning i sparsam körning, och

- För de miljökrav som ställs på själva arbetsmaskinerna så gäller för Vägverkets upphandlingar systemet med bonus och prisavdrag samt för storstäderna de särskilda stadskraven.

Särskilda stadskrav för dieseldrivna arbetsmaskiner:

- Maskinens ålder får inte överstiga 8 år,
- Maskin med motor på 18-37 kilowatt skall vara certifierad enligt avgaskrav EU steg 2,
- Maskin med motor över 37 kilowatt skall uppfylla avgaskrav enligt EU/USA steg 1 eller renare,
- Även maskin som uppfyller särskilda krav för motorbyte och avgasreningsutrustning får användas,
- Minst 2 % av drivmedlet skall vara förnyelsebart
- Fordon och arbetsmaskiner kan uppgraderas till nyare Euroklass eller EU-steg genom motorbyte. Fordonet och arbetsmaskinen bedöms då efter den nya motorns tillverkningsår. Motorn måste uppfylla kraven för nya motorer vid bytestillfället, och
- Genom att förse en maskin med avgasreningsutrustning (partikelfilter, katalysator, och eller kväverensningsutrustning) får maskinen förlängd användningstid med upp till 8 år. Avgasreningsutrustningen ska minska utsläppen av kolväten (HC), kolmonoxid (CO) och partiklar (PM) med minst 80 % vardera och utsläppen av kväveoxider (NO<sub>x</sub>) med minst 35 % (6 års förlängning) eller minst 75 % (8 års förlängning).

Det system med bonus och prisavdrag som används vid Vägverkets upphandlingar består av en grundersättningsmodell och en ersättningsmodell som används i områden där miljö kvalitetsnormen, MKN, för kväveoxider eller partiklar riskerar att överskridas Enligt grundmodellen är priset oförändrat vid användning av EU-avgasklassade maskiner medan oklassade maskiner får ett prisavdrag på mellan 5 och 20 kr per timme. Enligt MKN-modellen förändras inte priset för användning av maskiner EU-klassade enligt steg I-III utan partikelfilter. Oklassade maskiner får prisavdrag på mellan 30 och 120 kr per timme. Steg II- och steg III A-maskiner med partikelfilter samt steg III B- och steg IV-maskiner får en bonus på mellan 15 och 50 kronor per timme.

### **Gällande emissionskrav**

Emissions- och bränslefaktorer från CORINAIR Emission Inventory Guidebook (EEA, 2005) har använts som utgångspunkt för vidare justeringar. För reglerade motorer sammanfaller CORINAR:s emissionsfaktorer med steg I, steg II och steg III A i EU:s utsläppskrav för arbetsmaskiner (mobila maskiner som inte är avsedda att användas på väg) och traktorer, Direktiv 97/68/EG och 2000/25/EG med tillägg (EU, 1997, 2000, 2004). I tabell 1-3 presenteras EU:s utsläppskrav samt CORINAIR:s emissions- och bränslefaktorer. Dessa emissions- och bränslefaktorer har sedan korrigerats enligt ”Korrigerings av emissions- och bränslefaktorer”.

Tabell 1. Emissionskrav inom EU för motorer typgodkända enligt steg I och steg II för mobila maskiner som inte är avsedda att användas på väg samt skogs- och lantbrukstraktorer

Effekt kW	Implementeringstidpunkt	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM
		g kWh <sup>-1</sup>			
<b>Steg I</b>					
37 ≤ P < 75	1999.04/2001.07 <sup>a</sup>	6,5	1,3	9,2	0,85
75 ≤ P < 130	1999.01/2001.07 <sup>a</sup>	5,0	1,3	9,2	0,70
130 ≤ P < 560	1999.01/2001.07 <sup>a</sup>	5,0	1,3	9,2	0,54
<b>Steg II</b>					
18 ≤ P < 37	2001.01/2002.01 <sup>a</sup>	5,5	1,5	8,0	0,8
37 ≤ P < 75	2005.01/2004.01 <sup>a</sup>	5,0	1,3	7,0	0,4
75 ≤ P < 130	2003.01/2003.07 <sup>a</sup>	5,0	1,0	6,0	0,3
130 ≤ P < 560	2002.01/2002.07 <sup>a</sup>	3,5	1,0	6,0	0,2
<b>Steg III A</b>					
19 ≤ P < 37	2007.01	5,5	7,5 <sup>b</sup>		0,8
37 ≤ P < 75	2008.01	5,0	4,7 <sup>b</sup>		0,4
75 ≤ P < 130	2007.01	5,0	4,0 <sup>b</sup>		0,3
130 ≤ P < 560	2006.01	3,5	4,0 <sup>b</sup>		0,2

<sup>a</sup>Gäller traktorer.

<sup>b</sup>Summan av NO<sub>x</sub> och HC.

För icke reglerade motorer, d.v.s. motorer under 18 kW motoreffekt samt motorer tillverkade före 1999 alternativt 2001 d.v.s. innan typgodkännande enligt steg I trädde ikraft redovisas i tabell 2 (EEA, 2005).

Tabell 2. CORINAIR:s emissionsfaktorer för icke reglerade motorer i g kWh<sup>-1</sup> (EEA, 2005)

Effekt kW	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM
		g kWh <sup>-1</sup>		
0 ≤ P < 18	8,38	3,82	14,4	2,22
18 ≤ P < 37	6,43	2,91	14,4	1,81
37 ≤ P < 75	5,1	2,3	14,4	1,51
75 ≤ P < 130	3,8	1,7	14,4	1,23
130 ≤ P < 560	3,0	1,3	14,4	1,10

Data över bränsleförbrukning för icke reglerade emissioner samt motorer som uppfyller typgodkännande enligt steg I, steg II eller steg III A redovisas i tabell 3 (EEA, 2005).

Tabell 3. CORINAIR:s Bränslefaktorer i g kWh<sup>-1</sup> för icke reglerade motorer och motorer typgodkända enligt steg I och steg II (EEA, 2005)

Effekt kW	Icke reglerade	Steg I g kWh <sup>-1</sup>	Steg II	Steg III A
0 ≤ P < 18	271	-	-	-
18 ≤ P < 37	269	-	269	296
37 ≤ P < 75	265	265	265	265
75 ≤ P < 130	260	260	260	260
130 ≤ P < 560	254	254	254	254

Dessutom har Uppenberg et al. (2001) visat att för varje MJ diesel av miljöklass 1 som förbränns bildas 73 g CO<sub>2</sub>. Den genomsnittliga energitätheten för MK1 diesel från Preem Petroleum är 43.1 MJ kg<sup>-1</sup>, vilket resulterar i 3,146 g CO<sub>2</sub> per g bränsle (Preem, 2006).

### SYFTE

Det övergripande syftet med detta arbete är att uppdatera och sammanställa kunskapsläget vad gäller emissioner från arbetsmaskiner och deras bidrag till problemet att klara miljö kvalitetsnormer för utomhusluft i tätorter samt uppsatta miljömål. Mer specifikt är syftet att bedöma förekomsten och åldersfördelningen av arbetsmaskiner i tätorter inklusive årlig drifttid samt att bestämma de årliga emissionsmängder som maskinerna avger.

Ett ytterligare syfte är att presentera en användarvänlig beräkningsmodell för arbetsmaskinernas bidrag till utsläppen i tätorter enbart baserad på drifttimmar i kombination med emissionsfaktorer. Med emissioner menas gasformiga föroreningar i enlighet med direktiv 2004/26/EC, d.v.s. kolmonoxid, kolväte, kväveoxid samt partiklar (PM<sub>10</sub>).

### MATERIAL OCH METODER

Med arbetsmaskiner menas i denna rapport mobila maskiner utrustade med dieselmotorer, och som inte är avsedda att användas för transporter på väg, i enlighet med direktiv 97/68/EC och 2000/25/EC. Vidare omfattas de maskiner som har en motoreffekt över 37 kW men mindre än 560 kW. Små samt handburna arbetsmaskiner och arbetsredskap ingår inte.

De arbetsmaskiner som ingår är följande

- Traktor
- Hjullastare
- Grävlastare
- Bandgrävare
- Hjulgrävare
- Kompaktlastare
- Dumper
- Mobilkran
- Truck

Förutom de ovan angivna typerna av arbetsmaskiner vilka hanteras oberoende av varandra vad gäller totalantal, emissionsfaktorer, drifttimmar, åldersfördelning etc. finns även en kategori ”övrigt”. I kategorin ”övrigt” hanteras de maskintyper som förekommer i små kvantiteter eller som av annan anledning inte kan sorteras inom de ovan angivna kategorierna. För att ändå kunna ta hänsyn till bidraget från övriga arbetsmaskiner har dessa behandlats som en egen kategori. Fordon för omhändertagande av hushållsavfall, snöröjning, sopning,

väghåll etc. omfattas inte i de fall dessa arbetsoperationer utförs med andra fordon än arbetsmaskiner, t.ex. lastbilar.

### **Beräkningsmodell**

Beräkning av bränsleförbrukning och emissioner från arbetsmaskiner genomfördes i enlighet med den avancerade metoden beskriven i CORINAIR (EEA, 2005). Metoden föreskriver användandet av följande ekvation:

$$E = N \times Hr \times P \times Lf \times Be \quad \text{Ekvation 1}$$

där:

E = Massan emissioner under den studerade perioden

N = Populationens storlek

Hr = Årlig drifttid i timmar

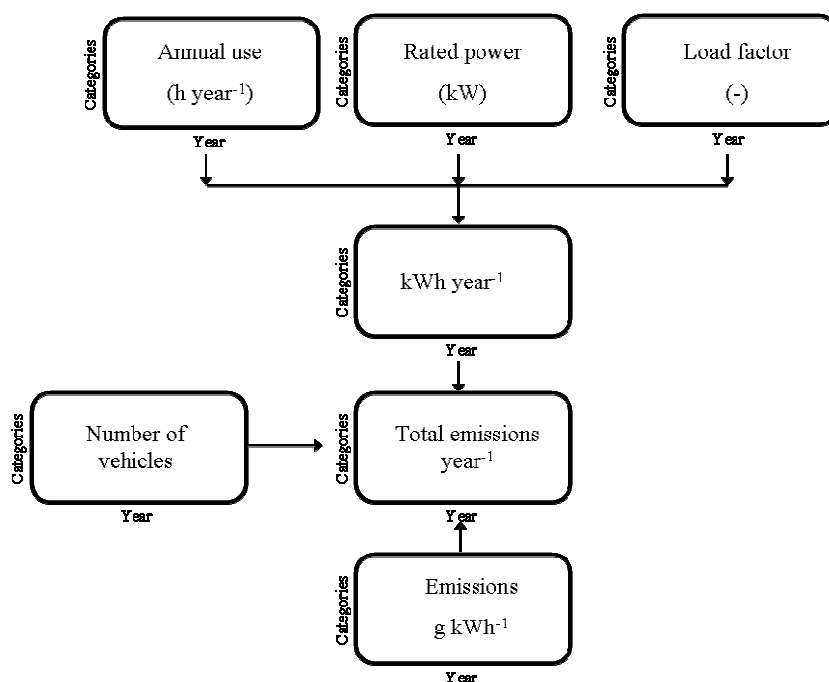
P = Motoreffekt i kW

Lf = Typisk belastningsfaktor

Be = Genomsnittlig bränsleförbrukning och emissioner i g kWh<sup>-1</sup>

Vid beräkning av mängden emissioner enligt ekvation 1 beskrivs vanligtvis de individuella variablerna med en enskild siffra, vilket leder till att maskinparkens åldersfördelning och sammansättning inte kan representeras på ett tillförlitligt sätt. Inom projekt EMMA 7 – Samhällsekonomiskt optimala åtgärder för reduktion av emissioner, utvecklades en metod för att beskriva dessa variabler i matrisform istället. Genom att använda matriser kan maskinparkens sammansättning, användning etc. beskrivas på ett tillförlitligt sätt. Dessutom möjliggör denna metod anpassning av bränsleförbruknings- och emissionsfaktorer för enskilda maskintyper, effektklasser och årsmodeller inklusive inverkan av ålder på förbränningseffektiviteten och emissionsbildningen.

Uppbyggnad av beräkningsmodellen redovisas även i figur 1 där varje ram anger en matris t.ex. beskrivande antalet maskiner uppdelat på maskin och effektkategori som funktion av ålder på maskinen.



Figur 1. Modell för beräkning av bränsleförbrukning och emissioner.

För att bättre återspegla den verkliga populationen eller maskinparken och dess aktivitet har ovanstående variabler ytterligare delats upp. Antalet maskiner i maskinparken har delats upp i både ålders- och effektkategorier. De använda effektkategorierna motsvarar de i direktiv 97/68/EC angivna effektkategorierna, 37-75 kW, 75-130 kW samt 130-560 kW, medan åldersfördelningen anger antalet maskiner för varje årsmodell från 2006 och 25 år tillbaka. Maskiner som är äldre än 25 år och fortfarande bedöms vara i drift inkluderas i gruppen för 25 år gamla maskiner.

Årliga drifttimmar, motoreffekt, belastningsfaktor samt genomsnittlig bränsleförbrukning och emissioner delas upp enligt samma ålders- och effektkategorier som antalet maskiner. För emissioner används de korrigerade emissionsfaktorerna enligt ”Korrigeringsfaktor av emissions- och bränslefaktorer”.

Beräkningsmodellen är utförligare beskriven av Lindgren (2007).

### **Korrigeringsfaktor av emissions- och bränslefaktorer**

De i lagkraven redovisade emissionsnivåerna motsvarar ett gränsvärde vilket en motorindivid inte får överstiga för att uppfylla kraven för typgodkännande (EU, 1997). Standarden vid typgodkännande anger även vilken typ av motorbelastning och bränslespecifikation som skall användas. Det har visat sig att den i standarden föreskrivna testcykeln inte är representativ för de olika arbetsoperationer som utförs av de maskiner motorerna monteras i (Lindgren et al., 2002, Starr et al., 1999, Ullman et al., 1999).

Vidare kan man se att den bränslespecifikation som anges i standarden skiljer sig kraftigt från den MK1 diesel som används i Sverige. Skillnaderna är mycket stora, framförallt i svavelhalt men även när det gäller densitet och aromathalt finns betydande skillnader.

Dessutom förekommer det stora skillnader i emissionsmängder uppmätta vid typgodkännande och den maximalt tillåtna nivån enligt kraven. För kolmonoxid är uppmätta nivåerna i regel endast 30 % av de maximalt tillåtna medan skillnaderna är mindre för övriga utsläpp (Lindgren, 2007).

För att erhålla representativa emissions- och bränslefaktorer har de i lagkraven redovisade nivåerna korrigerats av följande orsaker:

- Skillnader i det bränsle som föreskrivs vid typgodkännande och det bränsle som används i verkligheten, MK1 diesel,
- Skillnader mellan uppmätta emissionsnivåer vid typgodkännande och motsvarande maximalt tillåtna nivå vid typgodkännande,
- Skillnader i motorbelastning mellan den statistiska testcykel som föreskrivs vid typgodkännande och verklig motorbelastning vid genomsnittligt arbete med maskinen, och
- Försämrade bränsleförbruknings- och emissionsvärden som funktion av ålder.

För motorer som inte behöver uppfylla några emissionskrav, d.v.s. motorer av årsmodell 1998 eller tidigare, har emissionsdata enligt tabell 2 från CORINAIR använts (EEA, 2005). Även dessa data har korrigerats i enlighet med ovanstående resonemang. Samma korrektionsfaktorer som applicerats för steg I motorer har använts för de oreglerade motorerna.

Antaganden, beräkningar och emissions- och bränslefaktorer för de individuella maskin och effektkategorierna är utförligare beskrivna av Lindgren (2007).

### Förenklad beräkningsmodell

Den ovan beskrivna metoden för att beräkna årlig bränsleförbrukning och emissionsmängd från arbetsmaskiner används för att beräkna genomsnittliga emissioner i  $g\ h^{-1}$  för de ovan beskrivna maskinkategorierna. Modellen genererar data för samtliga tre effektkategorier, dock summeras dessa till ett representativt värde för varje maskinkategori. Den från maskinkategorin summerade totala emissionsmängden i vikt per år delas sedan upp på det antal timmar som den aktuella maskinkategorin utför per år, i enlighet med ekvation 2. Både de totala emissionsmängderna och årligen utförda drifttimmar är beräknade med hänsyn till maskinparkens ålderssammansättning i enlighet med beräkningsmodellen beskriven ovan.

$$E_f = \frac{\sum_{i=1}^3 E_i}{\sum_{i=1}^3 H_{r_i}} \quad \text{Ekvation 2}$$

där:

$E_f$  = Genomsnittliga emissioner i  $g\ h^{-1}$  för den aktuella maskinkategorin

$E_i$  = Årliga emissionsmängder i  $g$  för de individuella effektkategorierna

$H_{r_i}$  = Årligen utförda drifttimmar i  $h$  för de individuella effektkategorierna

Dessa emissionsfaktorer kombineras med årliga drifttimmar för respektive maskinkategori för att bedöma totala utsläppsmängder i tätorter där maskinarbete är beskrivet i årliga drifttimmar uppdelat på olika typer av maskiner. Denna metod lämpar sig främst för mindre tätorter där ett begränsat antal entreprenörer alternativt beställare är verksamma. Dock kan denna typ av modell även användas för att beräkna totala utsläpp från olika bygg- och arbetsplatser förutsatt att det är möjligt att bedöma antalet drifttimmar, vilket torde vara tämligen lätt då många kostnadsberäkningar delvis är baserade på drifttimmar.

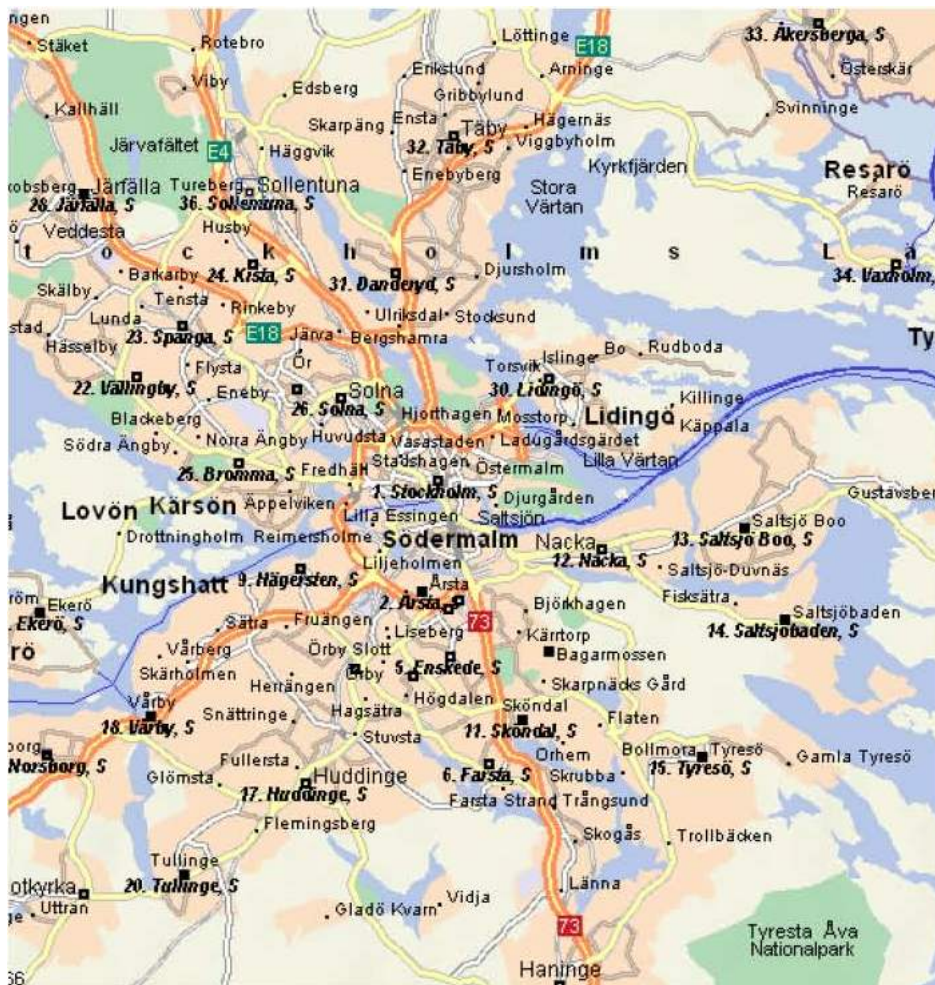
Två olika uppsättningar av emissionsfaktorer kommer att beräknas. Den första motsvarar genomsnittliga emissioner för en maskinpark med en sammansättning enligt riksgenomsnittet.



Den andra uppsättningen emissionsfaktorer motsvarar en modernare maskinpark där fordon med sämre emissionsegenskaper inte inkluderas, detta för att återspegla maskinparken i storstadskommuner med upphandlingskrav för bästa miljöklass.

## Tätorter

För detta projekt har två individuella tätorter valts ut, en stor tätort och en mindre tätort. Stockholm stad har valts för den större tätorten medan Ljungby ansågs som representativ för en mindre tätort. Stockholm är landets största kommun med drygt 700 000 invånare. För att skilja på kommun och tätort har tätorten definierats utifrån postnummerområden i enlighet med vad som redovisas i figur 2 samt bilaga A.



Figur 2. Karta över Stockholms tätort i enlighet med avgränsningarna inom detta projekt

Ljungby kommun består av knappt 30 000 invånare varav hälften är bosatta inom tätorten Ljungby. I tabell 4 redovisas kommunaldata från Statistiska centralbyrån över Stockholm och Ljungby.

Tabell 4. Kommundata

	Stockholm	Ljungby
Folkmängd	771 038	27 093
Arbetande	368 627	13 065
Areal, km <sup>2</sup>	188	1 757

Befolkningsstillväxten i både Ljungby och Stockholms stad motsvarar ca 0,5 till 1% per år. För Ljungby motsvarar detta ca 3 000 personer på 25 år medan man i Stockholms stad kan förvänta sig en befolkningsökning på ca 150 000 personer under motsvarande tid. Detta betyder att det kan komma att finnas ca 900 000 invånare i Stockholms stad till år 2030. Alla dessa människor kommer att behöva bostäder, utbildning, arbete, offentlig service och kommunikationer vilket leder till ett förhållandevis stort behov av nyproduktion, och därmed arbetsmaskiner. Förutom vid nyproduktion används arbetsmaskiner vid underhåll av vägar, snöröjning, transporter etc. Alla dessa arbetsmaskiner bidrar till en försämrade luftkvalitet i tätorter.

### ***Inventering av arbetsmaskiner i Stockholms tätort***

SMP Svensk Maskinprovning (SMP) genomför årligen föreskrivna besiktningar och frivilliga kontroller på ca 10 000 entreprenadmaskiner. Dessa besiktningar och kontroller genomförs av ambulerande besiktningsingenjörer vilka ansvarar för olika områden över hela landet. För beräkningar inom projektet kan man anta att SMP endast har en besiktningsingenjör som arbetar i Stockholmsregionen och att samtliga relevanta maskiner som besiktigas av denne besiktningsingenjör kan härröras till regionen med få undantag.

Förutom de arbetsmaskiner som har besiktats i enlighet med ovanstående metodik har även de arbetsmaskiner vars ägare är registrerade inom de postnummerområden som definierar Stockholms tätort enligt detta projekt inkluderats. Arbetsmaskiner som anmälts som icke aktiva har inte inkluderats i inventeringen. Samtliga uppgifter hämtas från SMPs kund- och affärsregister.

Förutom data härrörande till själva besiktningen finns även uppgift om maskinernas ålder d.v.s. årsmodell. Dessutom innehåller besiktningsregistret information om var i landet ägaren till den enskilda maskinen har sin hemvist. Genom att kombinera dessa data kan både maskinparkens åldersfördelning och geografiska fördelning uppskattas. Inom projektet antogs att samtliga maskiner som besiktades också var att betrakta som produktiva samt att de maskiner som besiktades i en given region även är verksamma i denna region. Från SMP:s besiktningsregister har alla maskiner som är markerade som ”aktiva” i systemet räknats samman, det vill säga maskiner som har genomgått någon form av besiktning eller kontroll sedan 1998 samt inte är anmälda som avställda.

Maskinerna omfattas i olika grad av besiktningsplikt:

Arbetsmiljöverkets föreskrifter:

- Grävlastare, bandgrävmaskiner och hjulgrävmaskiner omfattas alltid av besiktningsplikt. De skall besiktigas första gången efter 3 år, andra gången när maskinen är 5 år och därefter varje år,
- Hjullastare och teleskoptruckar är besiktningspliktiga endast om de används för hängande last (t ex är utrustade med kranarm) och skall då genomgå årlig besiktning,
- Minigrävmaskiner är besiktningspliktiga endast om tjänstevikten överstiger 1500 kg och skall då besiktigas enligt samma intervall som grävlastare, bandgrävmaskiner och hjulgrävmaskiner, och
- Övriga maskiner kontrolleras/besiktas på frivillig basis.

Vägverkets föreskrifter:

- Motorredskap Klass 1 (t.ex. lastmaskiner och grävlastare som går snabbare än 30 km/h) inklusive mobilkranar är registreringspliktiga och skall dessutom kontrollbesiktigas första gången efter 3 år och därefter vartannat år



Årliga drifttider som funktion av maskinålder för olika regioner eller tätorter bestämdes på samma sätt som för antalet maskiner och dess åldersfördelning.

Metoden för hur data från databasen har behandlats, hur observationsurvalet gjorts etc. finns utförligt beskrivet i Wetterberg et al. (2007) och Wetterberg (2002). För att sortera bort osäkra samt felaktiga observationer så har bara observationer i intervallet  $5h \leq Hr \leq 5076h$  använts (Wetterberg, 2002; Wetterberg et al., 2007). Medelvärden baserade på  $\leq 5$  observationer har ansetts ge för dåligt statistiskt underlag och har därför sorterats bort. Vidare har det antagits att årliga drifttider inom en specifik tätort inte skiljer sig mot drifttider i landet som helhet.

### ***Inventering av arbetsmaskiner i Ljungby tätort***

För mindre tätorter kan inte samma datakälla, besiktningsregistret, användas som för större tätorter. Inom de större tätorterna verkar så pass många arbetsmaskiner att de årliga besiktningsarna kan motsvara arbetsbehovet för en besiktningsingenjör. Utanför de större tätorterna ansvarar de enskilda besiktningsingenjörerna för ett betydligt större geografiskt område som täcker flera orter inklusive omgivande landsbygd.

Dock är färre enskilda entreprenörer verksamma i de mindre tätorterna jämfört med i de större. Dessa entreprenörer eller kommunerna själva har i regel en relativt god uppfattning om hur många drifttimmar med arbetsmaskiner som upparbetats per år. Driftsammanställningar från större enskilda entreprenörer ger även en god bild över antalet arbetsmaskiner som används inom en viss verksamhet eller region. För den mindre tätorten har data från både enskilda entreprenörer och kommunen nyttjats. Data över antalet arbetsmaskiner har dock mindre betydelse då god information om antalet utförda drifttimmar med olika arbetsmaskiner ofta finns att tillgå. Åldersfördelningen för arbetsmaskiner i mindre tätorter antogs följa den nationella åldersfördelningen enligt Wetterberg et al. (2007).

## RESULTAT OCH DISKUSSION

Resultat- och diskussionsavsnittet delas upp i tre individuella avsnitt; Inventering av arbetsmaskiner i tätort; Emissioner från arbetsmaskiner i tätort; Generell beräkningsmodell. De två föregående är även uppdelade på Stockholms och Ljungby tätorter.

### **Inventering av arbetsmaskiner i Stockholms tätort**

Inventering av arbetsmaskiner i tätort omfattar resultaten från SMP:s besiktningsregister över Stockholms tätort vilka har kompletterats med motsvarande data för hela Sverige enligt Wetterberg et al. (2007). Inventeringen av arbetsmaskiner i Stockholms tätort är baserad på att en specifik besiktningsingenjör har detta geografiska område som sitt arbetsområde samt att de maskiner som besiktas i Stockholm även är verksamma i Stockholm. Troligtvis förekommer det ett visst utbyte mellan Stockholm och den omgivande regionen, dock bedöms dessa flöden av maskiner ta ut varandra. Den valda metodiken med inventering av maskinparken bedöms ge ett tillförlitligt underlag för både antal maskiner och dess drifttimmar som funktion av ålder på maskinen i det aktuella området. Däremot är definitionen av tätort mindre säker, t.ex. är det inte givet var gränsen går mellan Stockholms kommun och tätort.

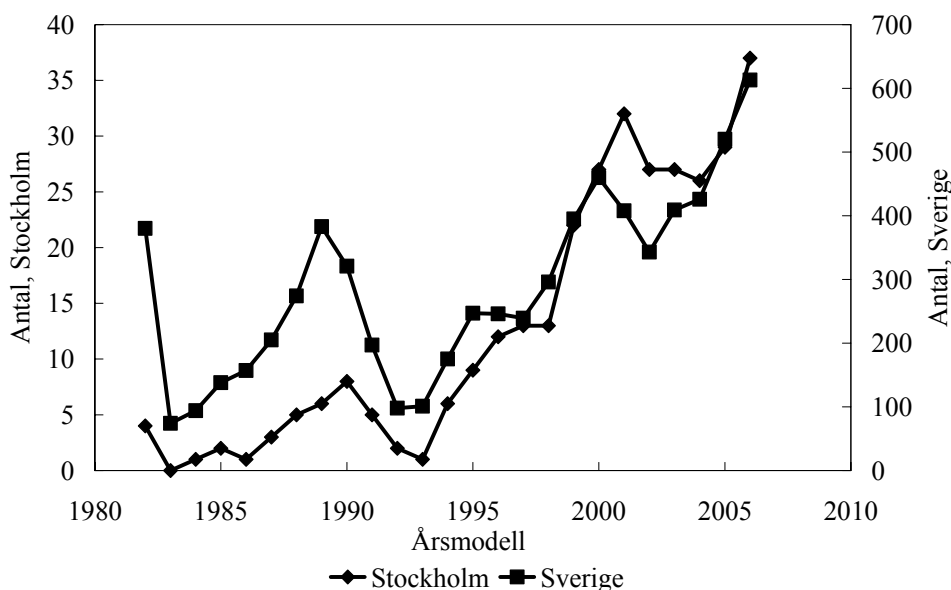
### *Antal maskiner*

Baserat på inventeringsdata från SMP:s register har antalet grävmaskiner i Stockholms tätort bedömts, d.v.s. grävlastare, hjulgrävmaskiner och bandgrävmaskiner, se tabell 5. I samma tabell redovisas även det totala antalet av motsvarande maskiner i Sverige.

*Tabell 5. Uppskattat antal grävmaskiner i Stockholms tätort*

Maskin	Stockholm	Sverige	Andel (%)
Grävlastare	340	7 400	4,6
Hjulgrävmaskin	370	6 700	5,6
Bandgrävmaskin	320	7 200	4,4
Totalt	1 040	21 300	4,9

Fördelningen mellan olika typer av grävmaskiner i Stockholms tätort respektive landet i helhet är relativt likartade, ca 1/3 av vardera. Även åldersfördelningen för de individuella typerna av grävmaskiner inom Stockholms tätort uppvisade samma mönster som riksgenomsnittet. I figur 3 visas åldersfördelningen för bandgrävmaskiner i både Stockholms tätort och i Sverige. Trenden över åldersfördelningen uppvisar en mycket god överensstämmelse för yngre maskiner, medan det verkar finnas relativt sett färre maskiner med hög ålder i Stockholm, dock är skillnaden relativt liten.



Figur 3. Åldersfördelning för bandgrävmaskiner i Stockholm samt Sverige

De olika grävmaskinerna i Stockholms tätort motsvarar ca 5% av det totala antalet grävmaskiner i landet, vilket även antogs vara fallet för övriga typer av arbetsmaskiner. Traktorer, skördetröskor samt skogsmaskiner med undantag av ett litet antal traktorer antogs inte vara verksamma inom tätorten och inkluderades därför inte.

Bedömningar av totalt antal maskiner för samtliga ovan beskrivna maskintyper är redovisade i tabell 6. Åldersfördelning för dessa maskiner finns i bilaga B. Dessutom fördelas dessa maskiner på olika effektkategorier enligt riksgenomsnittet.

Tabell 6. Uppskattat antal maskiner inom Stockholm

Arbetsmaskin	Totalt
Traktor	110
Hjullastare	480
Grävlastare	340
Minigrävmaskin	280
Bandgrävmaskin	320
Hjulgrävmaskin	370
Kompaktlastare	79
Dumper	65
Mobilkran	54
Truck	460
Övrigt	220

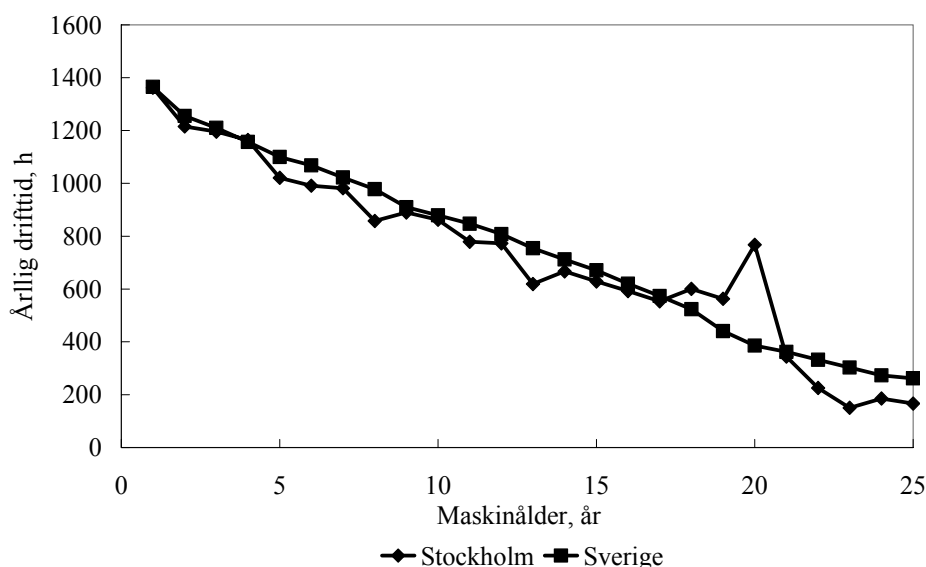
De i tabell 6 angivna arbetsmaskinerna fördelades på tre olika effekttintervall, 37-75 kW, 75-130 kW och 130-560 kW förutom minigrävmaskiner vilka samtliga har en motoreffekt under 37 kW enligt data redovisade av Wetterberg et al. (2007). I tabell 7 redovisas andelen maskiner inom olika effekttintervall för de individuella maskintyperna.

Tabell 7. Andelen arbetsmaskiner inom olika effektintervall

Maskintyp	Andel (%)		
	37-75	75-130	130-560
Traktor	60	31	9
Hjullastare	16	46	38
Grävlastare	5	95	0
Bandgrävmaskin	24	42	34
Hjulgrävmaskin	10	90	0
Kompaktlastare	100	0	0
Dumper	0	0	100
Mobilkran	0	15	85
Truck	64	24	12
Övrigt	51	21	18

### Drifttimmar

Från SMP:s inventering av grävmaskiner inom Stockholms tätort har årliga drifttider beräknats som funktion av maskinernas ålder, se figur 4. I samma figur har de årliga drifttiderna för samtliga grävmaskiner i Sverige redovisats.



Figur 4. Årlig drifttid för grävmaskiner i Stockholm och Sverige

Då ingen skillnad i årlig drifttid kan utläsas mellan grävmaskiner i Stockholm och i Sverige som helhet antas att den årliga drifttiden för samtliga arbetsmaskiner i Stockholm motsvarar den för riksgenomsnittet. Dessutom minskar den årliga drifttiden i princip linjärt med ökande ålder för maskinerna. Detta leder till att den årliga drifttiden kan approximeras med en linjär modell bestående av initialvärde för nya maskiner samt en årlig minskning av drifttid. I tabell 8 redovisas årlig drifttid för samtliga maskiner inklusive årlig minskning enligt Lindgren 2007.

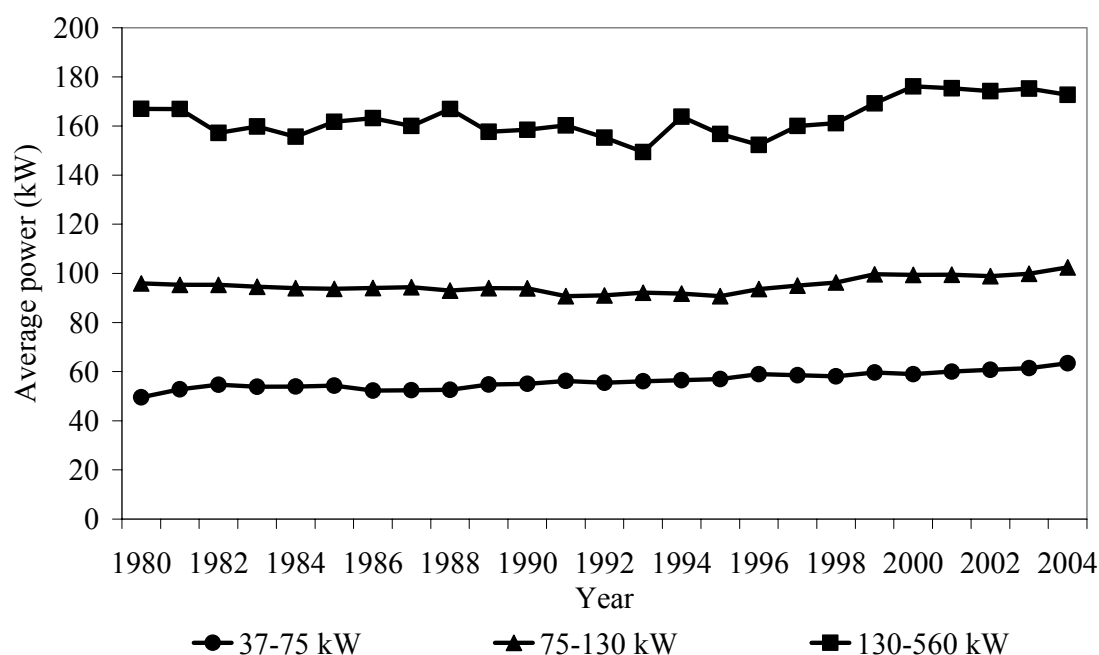
Tabell 8. Årlig drifttid för arbetsmaskiner inom Stockholm

Maskintyp	Årlig drifttid	Årlig minskning (%)
Hjullastare	1400	3,3
Grävlastare	1290	3,6
Minigrävmaskiner <sup>a</sup>	560	4,8
Bandgrävmaskiner	1260	3,5
Hjulgrävmaskiner	1340	3,3
Kompaktlastare	560	4,8
Dumper	1760	3,1
Mobilkran	1760	3,1
Truck	1220	5,0
Övriga	1220	1,9

<sup>a</sup> Minigrävmaskiner är bandgrävmaskiner med en motoreffekt under 37 kW

### Motoreffekt

Motoreffekt för de olika maskinerna beskrivs som genomsnittlig motoreffekt för samtliga maskiner inom en maskin och effektkategori. För traktorer som enligt lag är registreringspliktiga har data hämtats från besiktningsregistret (SCB, 2004). Från dessa data kan även genomsnittlig motoreffekt som funktion av ålder på traktorerna beräknas. I figur 5 redovisas genomsnittlig motoreffekt för traktorer fördelat på 37-75 kW, 75-130 kW och 130-560 kW.



Figur 5. Genomsnittlig motoreffekt som funktion av årsmodell på traktorn

Från figur 5 kan avläsas att den genomsnittliga effekttökningen var ca 0,25 kW per år för samtliga effektkategorier. Denna förändring av genomsnittlig motoreffekt som funktion av ålder på maskinen användes för samtliga inom projektet ingående maskinkategorier. Antaganden och beräkningar är utförligare beskrivna av Lindgren (2007).



För övriga maskiner har flera olika litteraturkällor använts för att uppskatta genomsnittlig motoreffekt (Wetterberg et al., 2007; Wetterberg, 2002; Persson och Kindberg, 1999; Flodström et al., 2004). Resultaten från detta finns redovisade i tabell 9.

*Tabell 9. Genomsnittlig motoreffekt som funktion av maskin och effektkategori*

Kategori	37-75 kW	75-130 kW	130-560 kW
Traktor	63	105	181
Hjullastare	69	101	199
Grävlastare	71	93	
Minigrävare <sup>a</sup>	29		
Bandgrävmaskiner	42	96	151
Hjulgrävmaskiner	61	101	
Kompaktlastare	41		
Dumper			201
Mobilkran		118	254
Truck	64	103	162
Övriga	61	103	180

<sup>a</sup> Minigrävare har en motoreffekt under 37 kW

Större mobilkranar (5 eller fler hjulaxlar, lyftkapacitet  $\geq$  ca 100 ton, maskinvikt  $\geq$  ca 60 ton) har normalt två motorer. En chassimotor för framdrift/transport och en mindre som driver hydraulpumpen vid krandrift. När maskinen är uppställd går alltså endast den mindre motorn. Typiskt sett är den mindre motorn på mindre än hälften av den stora motorns effekt. Mindre mobilkranar har bara en motor. Andelen större mobilkranar (med maskinvikt  $\geq$  60 ton) är i Sverige ungefär 20 % (Fordonsregistret) och för dessa baseras beräkningarna av genomsnittlig motoreffekt på den större motorn.

För ytterligare data hänvisas till Lindgren (2007) och Wetterberg et al. (2007).

### ***Belastningsfaktorer***

Arbetsmaskiner används för en rad olika arbetsoperationer med varierande belastning på motorn. Endast vid en ytterst begränsad tid arbetar maskinerna vid full effekt (Lindgren et al., 2002). För att ta hänsyn till den genomsnittliga belastningen av motorn måste belastningsfaktorer användas i kombination med den ovan angivna motoreffekten. Oftast är belastningsfaktorn uppskattad utifrån genomsnittlig bränsleförbrukning och motoreffekt. Dock uppskattar många maskinförare och entreprenörer bränsleförbrukningen vid enbart arbete och utelämnar den tid då motorn går på tomgång. Eftersom timmätarställningen i princip är oberoende av motorns belastningsgrad kommer den uppskattade bränsleförbrukningen och därmed belastningsfaktorn att vara för hög.

Lindgren (2007) har beräknat belastningsfaktorer för en rad olika arbetsmaskiner baserat på data från US EPA (2004), Starr et al. (1999) Ullman et al. (1999), Hansson et al. (2001), Lindgren et al. (2002), Löfgren (2002) och Flodström et al. (2004). I tabell 10 visas de resulterande belastningsfaktorerna för de olika maskin och effektkategorierna.

*Tabell 10. Belastningsfaktor i procent som funktion av maskin och effektkategori*

Kategori	Enhet	37-75 kW	75-130 kW	130-560 kW	Källa
Traktor	%	33	33	40	Hansson et al.
Hjullastare	%	48	48	48	US EPA
Grävlastare	%	21	21	21	US EPA
Bandgrävmaskiner <sup>a</sup>	%	40	40	40	Persson & Kindbom
Hjulgrävmaskiner	%	40	40	40	Flodström et al. Persson & Kindbom
Kompaktlastare	%	23			Flodström et al. US EPA
Dumprar	%		21	21	US EPA
Mobilkranar	%		40	40	Persson & Kindbom
Truckar	%	40	40	40	Flodström et al. Persson & Kindbom
Övriga	%	33	38	34	Flodström et al. Medel

<sup>a</sup> inklusive minigrävmaskiner

För ytterligare data hänvisas till Lindgren (2007).

### **Inventering av arbetsmaskiner i Ljungby tätort**

I mindre tätorter är i regel för få maskiner av olika typer verksamma för att en kontinuerlig åldersfördelning skall kunna erhållas. Baserat på inventeringsdata från enskilda entreprenörer och kommunen beräknades antalet arbetsmaskiner som är verksamma inom Ljungby tätort till mindre än 100 maskiner, fördelat på 7 olika typer av maskiner. Att beräkna emissioner på denna maskinpark enligt samma metod som användes för Stockholms tätort är inte att rekommendera om inte säkra data rörande åldersmodell, motoreffekt och belastning för varje individuell arbetsmaskin kan erhållas.

Däremot kunde totalt antal drifttimmar per år, fördelat på olika maskinslag, bedömas utifrån data från lokala maskinentreprenörer. Årlig drifttid angavs som totalt antal utförda timmar inom tätorten, oberoende av ålder på maskinparken som utförde arbetet, se tabell 11.

*Tabell 11. Årliga totala drifttider för mindre tätort*

Arbetsmaskin	Årliga drifttimmar
Traktor	510
Hjullastare	11 300
Grävlastare	2 500
Bandgrävmaskin	9 200
Hjulgrävmaskin	8 500
Kompaktlastare	800
Dumper	7 100
Mobilkran	3 200
Truck	0
Övrigt	5 100

Totalt utfördes ca 48 000 timmars arbete med arbetsmaskiner inom tätorten år 2005, majoriteten av arbetet utfördes av hjullastare, grävmaskiner och dumpers. De traktorer som finns med har framförallt använts inom snöröjning vilken dock till största delen har utförts med hjullastare.

De data över drifttimmar som erhållits för Ljungby tätort är typiska för Ljungby, i princip kan inga generella tolkningar göras för andra tätorter. Innan några generella tolkningar över användningen av arbetsmaskiner i tätorter kan göras krävs data över flera olika typer av tätorter, både geografiskt och storleksmässigt. Maskinparkens sammansättning kan skilja relativt kraftigt från tätort till tätort. Till exempel är det rimligt att anta att antalet drifttimmar för snöröjning är betydligt högre i Kiruna än i Karlskrona. Vidare kan samma arbetsoperation utföras av olika arbetsmaskiner, t.ex. används nästan uteslutande hjullastare för snöröjning i Ljungby medan traktorer kan vara vanligare inom andra tätorter. För andra tätorter än Ljungby rekommenderas att nya inventeringar av drifttimmar utföres vilka sedan kan kombineras med bränsleförbruknings- och emissionsfaktorer från den förenklade modellen presenterad i denna rapport.

### **Emissioner i tätorter**

Utifrån inventeringsdata över totalt antal maskiner, dess åldersfördelning samt årliga drifttider som funktion av ålder etc. beräknas årliga emissioner av CO, HC, NO<sub>x</sub> och PM samt bränsleförbrukning för både större och mindre tätort. Då olika metoder måste användas redovisas resultaten under separata rubriker.

#### ***Stockholms tätort***

För Stockholms tätort har emissions och bränsleförbrukningsdata beräknats med hänsyn taget till antals- och ålderssammansättningen för den maskinpark som verkar inom tätorten i enlighet med beräkningsmodellen beskriven ovan. Summerade data över antal maskiner samt totala utsläppsmängder i ton per år för år 2006 redovisas i tabell 12.

*Tabell 12. Årliga emissions- och bränsleförbrukningsmängder från sektorn arbetsmaskiner i Stockholm 2006*

	Enhet	Årliga nivåer	
		justerade ef <sup>a</sup>	Gränsvärde
Antal maskiner		2 780	2 780
Bränsleförbrukning	Ton	27 200	25 800
CO <sub>2</sub>	Ton	85 600	81 200
CO	Ton	180	500
HC	Ton	60	140
NO <sub>x</sub>	Ton	730	840
PM	Ton	30	60
SO <sub>x</sub>	Ton	0,05	0,05

<sup>a</sup> ef = emissionsfaktorer

Genom att anpassa emissionsfaktorerna till de förhållanden som råder vid verklig användning av arbetsmaskiner istället för att direkt använda gränsvärden erhålls betydligt lägre utsläppsmängder. Bränsleförbrukning samt utsläpp av CO<sub>2</sub> och SO<sub>x</sub> påverkades endast svagt av justeringen av emissionsfaktorer medan övriga emissioner sjönk relativt kraftigt. De verkliga utsläppen av partiklar halverades medan utsläppen av NO<sub>x</sub> endast minskades med 15%. I tabell 13 redovisas de relativa bidragen från olika maskiner till de totala nivåerna.

Tabell 13. Relativa bidrag från olika maskiner till de totala nivåerna av bränsleförbrukning, emissioner och antal

	Antal	Bränsle	Relativa bidrag i %			
			CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM
Traktor	4	1	1	2	1	1
Hjullastare	17	29	27	26	31	27
Grävlastare	12	6	8	9	6	7
Minigrävmaskin	10	1	1	3	1	3
Bandgrävmaskin	11	15	13	13	13	13
Hjulgrävmaskin	13	16	14	15	16	15
Kompaktlastare	3	0	0	1	0	0
Dumper	2	3	5	3	4	4
Mobilkran	2	7	6	4	7	6
Truck	16	13	15	15	12	13
Övriga	8	8	9	9	8	10

Från tabell 13 kan avläsas att grävmaskiner d.v.s. grävlastare, minigrävmaskiner, bandgrävmaskiner och hjulgrävmaskiner, motsvarar nästan hälften av alla arbetsmaskiner i Stockholms tätort. Emissionsmängd och bränsleförbrukning för dessa maskiner uppgår till knappt 40 % av de totala utsläppen från arbetsmaskiner. Hjullastare står för de enskilt största utsläppen, nästan 30 % av de totala mängderna trots att antalet maskiner endast motsvarar 17 % av det totala antalet maskiner. Minigrävmaskiner och kompaktlastare är två till motoreffekt små maskiner som står för en relativt stor del av det totala antalet maskiner, dock är bidraget till de totala utsläppen mycket litet.

Av samtliga arbetsmaskiner inom Stockholms tätort hade knappt hälften en motoreffekt mellan 75-130 kW, medan endast 18 % hade en motoreffekt över 130 kW. Resterande antal av maskinerna hade en effekt under 75 kW. Dessa maskiner förbrukade ca 16 % av bränslet inom sektorn arbetsmaskiner. Den resterande dieseln fördelades relativt jämnt över de två större effektklasserna. För emissioner var situationen likartad som för bränsleförbrukning förutom för partiklar. Motorer i effektintervallet 75-130 kW stod för ca 45 % av de totala utsläppen av partiklar från sektorn arbetsmaskiner inom Stockholms tätort medan utsläppen från de största maskinerna motsvarade ca 1/3 av de totala utsläppen.

Enligt Stockholms och Uppsala läns luftvårdsförbund var de totala utsläppen av NO<sub>x</sub> och partiklar, PM<sub>10</sub>, i motsvarande de Stockholms kommuner som inkluderas i bilaga A, 11 800 respektive 3 030 ton för 2004 (Ekman, 2006). Av de totala utsläppen av NO<sub>x</sub> kom drygt 17 % eller 2 070 ton från arbetsmaskiner. Motsvarande data för partiklar var knappt 4 % eller 116 ton. Den största källan till partiklar i Stockholm var dock vägtrafiken med motsvarande drygt 60 % av de totala utsläppen.

De beräknade utsläppen av CO<sub>2</sub>, och därav även bränsle, i Stockholms tätort för år 2004 enligt Ekman (2006) överensstämmer relativt väl med vad som är redovisat i denna studie, 99 100 ton respektive 85 600 ton. Dock är överensstämmelsen för övriga emissioner relativt dålig. De av Ekman redovisade utsläppen av NO<sub>x</sub> är nästan 200 % högre än vad som redovisats i denna studie, för partiklar är motsvarande siffra nästan 300 %, d.v.s. kraftiga överskattningar. Att enbart använda sig av en emissionsfaktor, oberoende av maskinparkens sammansättning, ålder och utfört arbete tenderar att generera missvisande resultat (Hansson et al., 2001; Lindgren et al., 2002; EEA 2005). Lindgren et al. (2002) har visat att det förekommer betydande skillnader i både bränsleförbrukning och emissioner mellan olika

maskiner och operationer. I denna studie har de generella emissionsfaktorerna anpassats för en rad olika faktorer så som skillnad i:

- genomsnittligt arbetssätt mellan olika maskiner,
- motorbelastning vid standard och verkligt körsätt, och
- bränslekvalitet mellan det bränsle som används vid typgodkännande och MK1.

Dessa korrigeringar genomfördes för att erhålla mer rättvisande emissionsdata. Dessutom tar denna studie även hänsyn till åldersfördelningen för både antal, drifttimmar, motoreffekt, bränsleförbruknings- och emissionsfaktorer för den aktuella maskinparken

Att enbart nyttja data över bränsleleveranser bedöms som osäkert bland annat på grund av att det förekommer stora variationer mellan åren, bunkring av diesel hos entreprenörer samt skillnader i leveransadress för dieselbränslet och den plats där arbetsmaskinerna kommer att vara verksam. Det är troligt att många entreprenörer är stationerade i kranskommunerna utanför Stockholms kommun på grund av lägre lokalkostnader men att majoriteten av arbetet utförs i Stockholms kommun eller någon annan angränsande kommun. Dessutom är kopplingen mellan levererad mängd till en entreprenör och faktiskt användningsområde för detta bränsle relativt vag, i realiteten måste ett viss svinn inkluderas i bedömningen.

Den aktuella studien har tagit dessa frågor i beaktande bland annat genom den utförda inventeringen. Arbetsmaskiner är verksamma inom relativt avgränsade områden, vilka dock varierar över tiden, och när ett byggprojekt är slutfört flyttas maskinerna till nästa. Då det är både kostsamt och tidsödande att förflytta arbetsmaskinerna längre sträckor besiktigas de i regel där de är verksamma för stunden genom att besiktningsingenjören kommer till arbetsmaskinen och inte tvärtom.

### ***Ljungby tätort***

Emissionsbedömningen för Ljungby tätort baserades på antalet utförda drifttimmar med olika arbetsmaskiner i kombination med genomsnittliga emissionsfaktorer i  $g\ h^{-1}$ . I tabell 14 visas totala utsläpp av CO<sub>2</sub>, CO, HC, NO<sub>x</sub>, PM och SO<sub>x</sub> från de arbetsmaskiner som var verksamma inom Ljungby tätort under 2006. Bedömningen har gjorts för både en maskinpark som motsvarar den genomsnittliga maskinparken i Sverige och för en maskinpark som uppfyller storstädernas upphandlingskrav för bästa miljöklass d.v.s. endast bestående av maskiner yngre än 8 år.

*Tabell 14. Årliga emissions- och bränsleförbrukningsmängder från sektorn arbetsmaskiner i Ljungby 2006*

	Enhet	Årliga nivåer	
		Riksgenomsnitt	Bästa miljöklass
Bränsleförbrukning	kg	644 000	623 000
CO <sub>2</sub>	kg	2 030 000	1 960 000
CO	kg	4 300	3 900
HC	kg	1 340	1 040
NO <sub>x</sub>	kg	17 600	12 800
PM	kg	700	390
SO <sub>x</sub>	kg	1,30	1,30

Genom att införa motsvarande regler som storstäderna har vid upphandling för bästa miljöklass skulle utsläppen av koldioxid endast kunna reduceras med 3 %. Däremot skulle effekterna på övriga utsläpp vara relativt stora. Utsläppen av CO och HC skulle kunna

minskas med 10 till 20 % medan nivåerna av NO<sub>x</sub> och partiklar från arbetsmaskiner skulle kunna reduceras med 30 till 40 % i genomsnitt.

Den bränsleförbrukning och de emissionsnivåer som redovisas i tabell 14 anger endast totala nivåer, ingen fördelning i varken tid eller rum. Dessutom är dessa nivåer specifika för Ljungby tätort 2006. För andra tätorter eller andra år bör ytterligare inventeringar av drifttimmar genomföras vilka kan kombineras med resultaten från den förenklade emissionsmodellen. För mindre tätorter som Ljungby får enskilda byggprojekt relativt stor inverkan t.ex. kommer ett större fastighets- eller vägbygge att generera betydligt fler drifttimmar än under andra år utan liknande projekt. För större tätorter som Stockholm är inverkan av enskilda byggprojekt mindre då ett projekt i regel ersätts av ett annat. Dock är det troligt att konjunktursvängningar påverkar både mindre och större tätorter.

Beräkningen av utförda drifttimmar i Ljungby bedöms som mycket tillförlitlig då både kommunen och de enskilda entreprenörerna i regel både bokför och debiterar utförda drifttimmar för de enskilda arbetsmaskinerna. Dessutom underlättas sammanställningen av det relativt begränsade antalet operatörer i Ljungby jämfört med större tätorter där fler enskilda entreprenörer är verksamma parallellt.

### Förenklad emissionsmodell

Genom att beräkna genomsnittliga emissionsfaktorer i g h<sup>-1</sup> för olika typer av arbetsmaskiner kan utsläppsnivåer enkelt beräknas enbart med utgångspunkt av utförda drifttimmar. Emissionsfaktorer och bränsleförbrukningsfaktorer i g h<sup>-1</sup> för olika kategorier av arbetsmaskiner är redovisade i tabell 15 för genomsnittliga maskiner i Sverige och i tabell 16 för maskiner som uppfyller upphandlingskraven för bästa miljöklass. I båda fallen rör det sig om maskinparkens sammansättning och emissionskaraktäristik för år 2006.

Tabell 15. Emissions- och bränsleförbrukningsfaktorer för arbetsmaskiner enligt riksgenomsnittet

Arbetsmaskin	Bränsleförbruknings- och emissionsfaktorer i g h <sup>-1</sup>						
	Bränsle	CO <sub>2</sub>	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM	SO <sub>x</sub>
Traktor	8 200	25 900	63	27	226	12,2	0,016
Skördetröska	10 200	32 000	61	36	259	16,8	0,020
Skotare	7 600	24 000	44	12	164	5,6	0,015
Skördare	11 800	37 000	64	17	251	7,9	0,024
Hjullastare	16 300	51 100	103	34	472	16,9	0,033
Grävlastare	6 100	19 100	57	23	189	9,2	0,012
Minigrävmaskin	3 500	10 900	28	17	110	9,5	0,007
Bandgrävmaskin	12 400	39 000	71	22	309	11,8	0,025
Hjulgrävmaskin	12 000	37 800	73	27	324	13,5	0,024
Kompaktlastare	3 000	9 500	32	15	77	5,2	0,006
Dumper	11 800	37 000	115	23	326	13,3	0,024
Mobilkran	26 900	84 500	150	40	693	24,3	0,054
Truck	10 200	32 100	75	26	241	11,0	0,020
Övrigt	10 400	32 800	79	30	294	15,8	0,021

I tabell 16, emissions- och bränsleförbrukningsfaktorer för bästa miljöklass enligt Vägverkets och storstädernas olika upphandlingskrav ingår inte de kategorier av maskiner som alltid är verksamma utanför tätorter, d.v.s. skördetröskor och skogsmaskiner. Traktorer används både

utanför och inom tätorter t.ex. vid snöröjning, grönytevård och gatuunderhåll vilket leder till att emissions- och bränsleförbrukningsfaktorer för dessa maskiner ingår i tabell 16.

*Tabell 16. Emissions- och bränsleförbrukningsfaktorer för arbetsmaskiner för bästa miljöklass*

Arbetsmaskin	Bränsleförbruknings- och emissionsfaktorer i g h <sup>-1</sup>						
	Bränsle	CO <sub>2</sub>	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM	SO <sub>x</sub>
Traktor	8 400	26 600	61	21	192	8,5	0,017
Skördetröska	17 700	55 600	83	28	327	12,0	0,035
Skotare	7 600	23 800	43	11	145	4,6	0,015
Skördare	11 700	36 800	62	16	220	6,4	0,023
Hjullastare	15 900	49 900	94	28	356	10,4	0,032
Grävlastare	5 800	18 200	52	15	125	4,5	0,012
Minigrävmaskin	3 500	10 900	28	15	107	9,2	0,007
Bandgrävmaskin	12 000	37 900	65	18	231	7,0	0,024
Hjulgrävmaskin	11 600	36 500	69	20	236	7,8	0,023
Kompaktlastare	3 000	9 400	31	11	63	3,5	0,006
Dumper	11 300	35 500	96	18	211	6,1	0,023
Mobilkran	25 900	81 500	132	34	503	13,3	0,052
Truck	10 100	31 600	72	22	204	8,1	0,020
Övrigt	9 900	31 100	69	20	203	7,5	0,020

För de flesta kategorier av arbetsmaskiner minskar emissions- och bränsleförbrukningsfaktorerna för maskiner som uppfyller upphandlingskraven för bästa miljöklass. Dock uppvisar traktorer en svag ökning i bränsleförbrukning och emissioner av CO<sub>2</sub> och SO<sub>x</sub> pga att den genomsnittliga effekten på traktorer har ökat med mer än 60 % de senaste 25 åren.

Utifrån data i tabell 15 och tabell 16 kan generella bränsleförbruknings- och emissionsdata beräknas med enkelhet för varje utförd maskintimme, både för enskilda maskiner, byggprojekt eller tätorter.

Antag att ett fiktivt byggprojekt totalt kräver ca 1 200 drifttimmar fördelat på de i tabell 17 redovisade maskinerna och motsvarande drifttider.

*Tabell 17. Exempel på utförda drifttimmar på ett fiktivt byggprojekt*

Maskin	Timmar
Bandgrävare	247
Dumper	190
Hjulgrävare	226
Hjullastare	301
Mobilkran	87
Traktor	14
Övrigt	135

För att beräkna emissioner av t.ex. partiklar multipliceras antalet timmar för varje maskinslag i tabell 17 med motsvarande emissionsfaktor i tabell 15 för att få utsläpp motsvarande en genomsnittlig maskin eller med motsvarande emissionsfaktor i tabell 16 för att erhålla värden för en nyare maskinpark vilken uppfyller kraven enligt storstädernas upphandlingskrav för

bästa miljöklass. I tabell 18 redovisas utsläppen av partiklar för både en genomsnittlig maskinpark och en maskinpark som uppfyller upphandlingskraven för bästa miljöklass.

*Tabell 18. Utsläpp av partiklar enligt den förenklade emissionsmodellen*

Maskin	Timmar	Emissionsfaktor g h <sup>-1</sup>		Emissioner kg	
		Riks- genomsnitt	Bästa miljöklass	Riks- genomsnitt	Bästa miljöklass
Bandgrävare	247	11,8	7,0	2,9	1,7
Dumper	190	13,3	6,1	2,5	1,2
Hjulgrävare	226	13,5	7,8	3,1	1,8
Hjullastare	301	16,9	10,4	5,1	3,1
Mobilkran	87	24,3	13,3	2,1	1,2
Traktor	14	12,2	8,5	0,2	0,1
Övrigt	135	15,8	7,5	2,1	1,0
Totalt	1 200			18,0	10,1

Genom att endast uppskatta antalet utförda drifttimmar kan resulterande utsläpp av partiklar eller andra emissioner beräknas relativt enkelt. Dessutom kan effekterna av maskinparkens sammansättning beräknas genom att jämföra resultaten för en maskinpark med en sammansättning enligt riksgenomsnittet och för en modernare maskinpark som uppfyller upphandlingskraven för bästa miljöklass. I detta fiktiva fall skulle utsläppen av partiklar minska med nästan 45 %. I ett verkligt fall skulle maskinparkens sammansättning kunna regleras via upphandlingskrav.



## REFERENSER

- EEA. (2005). EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook - 2005. Technical report No 30 European Environment Agency, Copenhagen Denmark
- EEC. (1988). Directive 1988/77/EEC of the council of 3 December 1987 on the approximation of the laws of the Member States relating to measures to be taken against the emissions of gaseous and particulate pollutants from compressions ignition engines for use in vehicles, and the emissions of gaseous pollutants from positive ignition engines fuelled with natural gas or liquefied petroleum gas for use in vehicles. Official Journal of the European Union L 36
- Ekman, M. (2006). Luftföroreningar i Stockholms och Uppsala län – Utsläppsdata för år 2004. Rapport LVF 2006:9, SLB-analys Miljöförvaltningen i Stockholms län
- EU. (1997). Directive 97/68/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 1997 on the approximation of the laws of the Member States relating to measures against the emission of gaseous and particulate pollutants from internal combustion engines to be installed in non-road mobile machinery. Official Journal of the European Union L 059, 1-86
- EU. (1999). Directive 1999/96/EC of the European parliament and of the council of 13 December 1999 on the approximation of the laws of the Member States relating to measures to be taken against the emissions of gaseous and particulate pollutants from compressions ignition engines for use in vehicles, and the emissions of gaseous pollutants from positive ignition engines fuelled with natural gas or liquefied petroleum gas for use in vehicles and amending Council Directive 88/77/EEC. Official Journal of the European Union C 173
- EU. (2000). Directive 2000/25/EC of the European Parliament and of the Council of 22 May 2000 on action to be taken against the emission of gaseous and particulate pollutants by engines intended to power agricultural or forestry tractors and amending Council Directive 74/150/EEC. Official Journal of the European Union L 173, pp 1-34.
- EU. (2004). Directive 2004/26/EC of the European Parliament and of the Council of 21 April 2004 amending Directive 97/68/EC on the approximation of the laws of the Member States relating to measures against the emission of gaseous and particulate pollutants from internal combustion engines to be installed in non-road mobile machinery. Official Journal of the European Union L 146, pp 1-110
- Flodström, E. Sjödin, Å. Gustafsson, T. (2004) Uppdatering av utsläpp till luft från arbetsfordon och arbetsredskap för Sveriges internationella rapportering. Rapportserie SMED och SMED&SLU Nr2 2004. Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut
- Hansson, P-A. Haupt, D. Holmgren, K. Johansson, B. Lindgren, M. Löfgren, B. Nord, K. Norén, O. Pettersson, O. Wetterberg, C. (2002). Utveckling av relevanta arbetscykler och emissionsfaktorer samt reducering av bränsleförbrukning för arbetsmaskiner (EMMA). Rapport 309. JTI, Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala
- Hansson, P-A. Lindgren, M. Norén, O. (2001). A comparison between different methods of calculating average engine emissions for agricultural tractors. Journal of Agricultural Engineering Research, pp 37-43.
- Lindgren, M. (2004). Engine exhaust gas emissions from non-road mobile machinery –Effects of transient conditions. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Agraria 481, Swedish University of Agricultural Sciences, doctoral thesis
- Lindgren, M. (2007). A methodology for estimating annual fuel consumption and emissions from non-road mobile machinery – Annual emissions from the non-road mobile machinery sector in Sweden for year 2006. Report 2007:1 Department of Biometry and Engineering, Swedish University of Agricultural Sciences

- Lindgren, M. Pettersson, O. Hansson, P-A. Norén, O. (2002). Jordbruks- och anläggningsmaskinernas motorbelastning och avgasemissioner. Rapport 308. JTI, Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala
- Löfgren, B. (2002). Skogsmaskinernas motorbelastning och avgasemissioner: en studie inom projekt EMMA. Arbetsrapport nr 523. Skogforsk
- Persson, K. Kindbom, K. (1999). Kartläggning av emissioner från arbetsfordon och arbetsredskap i Sverige. IVL rapport B 1342. Institutet för vatten och luftvårdsforskning
- Preem. (2006). Säkerhetsblad, dieselbränsle MK1. Preem Petroleum AB
- SCB. (2004). Traktorer, motorredskap och terrängvagnar. Offert beteckning 849 369-4/157184
- Starr, M. Buckingham, J. Jackson, Jr. C. (1999). Development of transient test cycles for selected nonroad diesel engines. The American Society of Mechanical Engineers, 32-1, 145-156
- Ullman, T. Webb, C. Jackson, Jr. C. Doorlag, M. (1999). Nonroad engine activity analysis and transient cycle generation. Society of Automotive Engineers, SAE Technical Paper Series No 1999-01-2800
- Uppenberg, S. Almemark, M. Brandel, M. Lindfors, L-G. Marcus, H-O. Stripplé, H. Wachtmeister, A. Zetterberg, L. (2001). Miljöfaktabok för Bränslen. Resursförbrukning och emissioner från hela livsrytten. (Environmental Factual Study Book. Resource Consumption and Emissions from the Whole Life Cycle) (In Swedish). Del 1. Huvudrapport + Del 2. Bakgrundsinformation och Teknisk bilaga. IVL Svenska Miljöinstitutet AB, report B1334A-2 + B1334B-2, Stockholm, Sweden. 207 pp.
- USEPA. (2004). Median life, annual activity, and load factor values for nonroad engine emissions modeling. Report EPA420-P-04-005, NR-005c. United States Environmental Protection Agency
- Westerlund, K-G. Pettersson, M. (2002). Avgasemissioner från dieseldrivna arbetsmaskiner i Stockholms län. Rapport SLB 2002:3, SLB-analys Miljöförvaltningen i Stockholms län
- Wetterberg, C. (2002). EMMA Emissioner från arbetsmaskiner, delrapport 1 från SMP svensk maskinprovning AB, Kartläggning av antal arbetsmaskiner och deras användning. SMP svensk maskinprovning AB
- Wetterberg, C. Magnusson, R. Lindgren, M. Åström, S. (2007). Utsläpp från större dieseldrivna arbetsmaskiner – inventering, kunskapsuppbyggnad och studier om åtgärder och styrmedel. SMP Svensk Maskinprovning AB, rapport GE 99189/06
- Vägverket. (2006). Miljökrav vid upphandling av entreprenader och tjänster. Gemensamma upphandlingskrav för Göteborg stad, Malmö stad, Stockholms stad och Vägverket. Publikation 2006:105

## BILAGA A

### Postnummer och ort vilka ingår inom Stockholms tätort

Postnr	Ort	Postnr	Ort	Postnr	Ort	Postnr	Ort
104 25	STOCKHOLM	132 43	SALTSJÖ-BOO	143 30	VÅRBY	177 60	JÄRFÄLLA
104 25	STOCKHOLM	132 44	SALTSJÖ-BOO	145 03	NORSBORG	178 21	EKERÖ
106 36	STOCKHOLM	132 45	SALTSJÖ-BOO	145 53	NORSBORG	178 23	EKERÖ
112 33	STOCKHOLM	132 46	SALTSJÖ-BOO	145 60	NORSBORG	178 30	EKERÖ
112 50	STOCKHOLM	132 48	SALTSJÖ-BOO	145 90	NORSBORG	178 31	EKERÖ
115 21	STOCKHOLM	133 38	SALTSJÖBADEN	146 33	TULLINGE	178 37	EKERÖ
115 42	STOCKHOLM	135 23	TYRESÖ	146 38	TULLINGE	178 39	EKERÖ
115 93	STOCKHOLM	135 45	TYRESÖ	146 54	TULLINGE	178 90	EKERÖ
116 63	STOCKHOLM	135 46	TYRESÖ	147 01	TUMBA	181 10	LIDINGÖ
116 64	STOCKHOLM	135 47	TYRESÖ	147 23	TUMBA	181 23	LIDINGÖ
117 43	STOCKHOLM	135 48	TYRESÖ	147 25	TUMBA	181 38	LIDINGÖ
117 91	STOCKHOLM	135 49	TYRESÖ	147 39	TUMBA	181 44	LIDINGÖ
118 20	STOCKHOLM	135 50	TYRESÖ	147 43	TUMBA	182 02	DANDERYD
120 21	STOCKHOLM	135 52	TYRESÖ	162 64	VÄLLINGBY	182 11	DANDERYD
120 30	STOCKHOLM	135 55	TYRESÖ	162 72	VÄLLINGBY	183 03	TÄBY
120 44	ÅRSTA	135 60	TYRESÖ	163 08	SPÅNGA	183 22	TÄBY
120 47	ENSKEDE GÅRD	135 69	TYRESÖ	163 46	SPÅNGA	183 63	TÄBY
120 66	STOCKHOLM	136 03	HANINGE	163 54	SPÅNGA	184 21	ÅKERSBERGA
121 43	JOHANNESHOV	136 21	HANINGE	164 06	KISTA	184 26	ÅKERSBERGA
121 46	JOHANNESHOV	136 22	HANINGE	164 39	KISTA	184 31	ÅKERSBERGA
122 41	ENSKEDE	136 25	HANINGE	164 71	KISTA	184 42	ÅKERSBERGA
122 48	ENSKEDE	136 26	HANINGE	167 14	BROMMA	184 63	ÅKERSBERGA
123 21	FARSTA	136 40	HANINGE	167 33	BROMMA	184 91	ÅKERSBERGA
123 44	FARSTA	136 41	HANINGE	168 59	BROMMA	184 92	ÅKERSBERGA
124 04	BANDHAGEN	136 44	HANINGE	168 64	BROMMA	185 41	VAXHOLM
124 21	BANDHAGEN	136 47	HANINGE	168 67	BROMMA	185 82	VAXHOLM
124 51	BANDHAGEN	136 48	HANINGE	169 27	SOLNA	187 13	TÄBY
124 58	BANDHAGEN	136 50	HANINGE	169 29	SOLNA	187 66	TÄBY
124 61	BANDHAGEN	136 62	HANINGE	169 38	SOLNA	187 69	TÄBY
125 22	ÄLVSJÖ	136 65	HANINGE	169 57	SOLNA	187 70	TÄBY
125 56	ÄLVSJÖ	136 70	HANINGE	169 83	SOLNA	187 74	TÄBY
125 57	ÄLVSJÖ	136 72	HANINGE	171 18	SOLNA	191 22	SOLLENTUNA
126 30	HÄGERSTEN	136 81	HANINGE	171 21	SOLNA	191 24	SOLLENTUNA
126 50	HÄGERSTEN	136 91	HANINGE	171 51	SOLNA	191 27	SOLLENTUNA
128 44	BAGARMOSSEN	141 07	HUDDINGE	171 64	SOLNA	191 29	SOLLENTUNA
128 62	SKÖNDAL	141 22	HUDDINGE	172 37	SUNDBYBERG	191 49	SOLLENTUNA
128 65	SKÖNDAL	141 23	HUDDINGE	172 67	SUNDBYBERG	191 63	SOLLENTUNA
129 35	HÄGERSTEN	141 24	HUDDINGE	172 92	SUNDBYBERG		
129 46	HÄGERSTEN	141 32	HUDDINGE	175 43	JÄRFÄLLA		
129 52	HÄGERSTEN	141 33	HUDDINGE	175 45	JÄRFÄLLA		
131 04	NACKA	141 37	HUDDINGE	175 60	JÄRFÄLLA		
132 23	SALTSJÖ-BOO	141 38	HUDDINGE	175 61	JÄRFÄLLA		
132 27	SALTSJÖ-BOO	141 40	HUDDINGE	176 75	JÄRFÄLLA		
132 35	SALTSJÖ-BOO	141 45	HUDDINGE	176 77	JÄRFÄLLA		
132 36	SALTSJÖ-BOO	141 48	HUDDINGE	177 24	JÄRFÄLLA		
132 37	SALTSJÖ-BOO	141 59	HUDDINGE	177 39	JÄRFÄLLA		
132 38	SALTSJÖ-BOO	141 60	HUDDINGE	177 40	JÄRFÄLLA		
132 39	SALTSJÖ-BOO	141 73	HUDDINGE	177 51	JÄRFÄLLA		

# BILAGA B

## Uppskattad åldersfördelning för arbetsmaskiner i Stockholms tätort 2006

Maskintyp	Effekt (kW)	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Traktor	37-75	3	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	3	4	4	4	4	5	4	4	4	4	5
Traktor	75-130	2	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
Traktor	130-560	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Hjullastare	37-75	3	0	1	1	2	2	2	2	2	2	1	0	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	5	7
Hjullastare	75-130	8	1	2	4	5	5	6	6	6	5	3	4	5	8	10	11	11	13	13	13	13	13	16	17	20
Hjullastare	130-560	7	1	2	3	3	4	5	5	4	4	2	3	4	7	8	9	9	11	11	10	11	10	13	15	17
Hjullastare	37-75	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Gravlastare	75-130	17	1	6	5	11	12	12	23	22	8	3	9	9	15	18	18	17	15	12	24	14	14	16	18	19
Gravlastare	130-560	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gravlastare	<37	4	1	1	1	3	5	6	6	11	9	6	7	13	12	12	13	17	15	19	18	17	16	16	21	29
Bandgrävare	37-75	1	0	0	0	0	1	1	1	2	1	0	1	1	2	3	3	3	5	7	8	7	7	6	7	9
Bandgrävare	75-130	2	0	0	1	0	1	2	3	3	2	1	0	3	4	4	5	6	6	11	14	11	11	11	12	16
Bandgrävare	130-560	1	0	0	1	0	1	2	2	3	2	1	0	2	3	4	4	5	8	9	11	9	9	9	10	13
Hjulgrävare	37-75	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	2	2	4	3	3	3	3	3	3	2	2	2
Hjulgrävare	75-130	4	1	0	3	8	4	4	10	8	7	8	4	3	13	22	32	27	25	31	26	28	12	15	17	19
Hjulgrävare	130-560	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hjulgrävare	37-75	1	1	1	1	2	2	3	2	4	3	2	2	4	4	4	4	5	5	6	6	4	4	4	3	3
Hjulgrävare	75-130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hjulgrävare	130-560	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kompaktlastare	37-75	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Kompaktlastare	75-130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kompaktlastare	130-560	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kompaktlastare	37-75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kompaktlastare	75-130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kompaktlastare	130-560	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dumper	37-75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dumper	75-130	3	1	1	2	2	2	3	2	2	1	2	3	3	6	3	3	5	3	3	3	3	3	3	3	3
Dumper	130-560	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dumper	37-75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dumper	75-130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dumper	130-560	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mobilkran	37-75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mobilkran	75-130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mobilkran	130-560	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3
Truck	37-75	1	0	0	1	4	2	8	14	16	11	1	3	3	3	6	5	6	8	8	20	23	20	19	23	27
Truck	75-130	0	0	0	0	2	3	3	5	4	4	0	1	1	1	6	5	6	9	8	9	8	7	7	7	10
Truck	130-560	0	0	0	0	1	2	3	3	3	2	0	0	0	0	3	3	3	4	4	5	4	4	4	4	5
Truck	37-75	27	0	0	0	2	1	2	4	3	2	2	2	1	5	3	3	5	5	6	6	7	7	7	7	10
Truck	75-130	17	0	0	0	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	4	4	5
Truck	130-560	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	1	1	1	3	3	3	3	4	4	5	4	4	4	4	5
Övriga	37-75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Övriga	75-130	17	0	0	0	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	4	4	5
Övriga	130-560	10	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3

## TIDIGARE PUBLIKATIONER

### *Examensarbeten*

- 2006:01 Bengtsson, L. & Paradis, H. Miljöeffekter av alternativa system för behandling av hushållsavfall i Santiago, Chile – en jämförelse mellan deponering och förbränning med energiutvinning.
- 2005:01 Hårsmar, D. Bättre enskilda avlopp i Sigtuna kommun – möjligheter för bebyggelse i Odensala socken.
- 2005:02 Svensson, M. Desalination and the environment: Options and considerations for brine disposal in inland and coastal locations.
- 2005:03 Jakobsson, D. Retention av tungmetaller I en anlagd våtmark: studier av Vattenparken I Enköpings kommun.
- 2005:04 Leonardsson, J. & Östensson, E. Inverkan av torrsbstanshalt och temperatur på kompostens syrabildning.
- 2005:05 Ulff, D. Miljöpåverkansbedömning vid tillverkning av etanol från cellulosabaserade råvaror: ekologisk gård självförsörjande med drivmedel.
- 2004:01 Ericsson, N. Uthållig sanitet i Peru – En förstudie i staden Picota.
- 2004:02 Ekvall, C. LCA av dricksvattendesinfektion – en jämförelse av klor och UV-ljus.
- 2004:03 Wertsberg, K. Behandling av lakvatten med kemiska oxidationsmedel för att delvis bryta ned oönskade organiska föreningar – En studie utförd vid Hovgårdens avfallsanläggning i Uppsala.
- 2004:04 Degaart, S. Humanurin till åkermark och grönytor: avsättning och organisation i Göteborgsområdet.
- 2004:05 Westlin, H. Utvärdering av ett silotorksystem för spannmål utrustat med omrörare.

### *Rapport – miljö, teknik och lantbruk*

- 2007:01 Lindgren, M. A methodology for estimating annual fuel consumption and emissions from non-road mobile machinery – Annual emissions from the non-road mobile machinery sector in Sweden for year 2006.
- 2006:01 Kjellin, J. Low-velocity flows in constructed wetlands: Physico-mathematical model and computer codes in Matlab environment.
- 2006:02 Ottosson, J., Nordin, A. & Vinnerås, B. Hygienisering av gödsel med urea och ammoniak.
- 2005:01 Jönsson, H., Vinnerås, B. & Ericsson, N. Källsorterande toaletter. Brukarnas erfarenheter, problem och lösningar.
- 2005:02 Gebresenbet, G. Effect of transporttime on cattle welfare and meat quality.
- 2005:03 de Toro, A. & Rosenqvist, H. Maskinsamverkan – tre fallstudier.

- 2005:04 Vinnerås, B. Hygienisering av klosettvattnen för säker växtnäringåterförsel till livsmedelsproduktionen.
- 2005:05 Tidåker, P. Wastewater management integrated with farming. An environmental systems analysis of the model city Surahammar.
- 2005:06 Sundberg, C. Increased aeration for improved large-scale composting of low-pH biowaste.
- 2005:07 Bernesson, S. Halm som energikälla.
- 2004:01 Bernesson, S. Life cycle assessment of rapeseed oil, rape methyl ester and ethanol as fuels – A comparison between large- and smallscale production.
- 2004:02 Elmquist, H. Decision-Making and Environmental Impacts.

### ***Rapport – biometri***

- 2004:01 Gustafsson, L. Tools for Statistical Handling of Poisson Simulation: Documentation of StocRes and ParmEst

### ***Licentiatavhandling***

- 03 Forkman, J. 2005. Coefficients of variation: an approximate F-test.
- 04 Lindholm, E-L. 2006. Energy use in Swedish forestry and its environmental impact.

### ***Kompendium***

- 2006:01 Lövgren, M. Publicering 2001-2005.
- 2005:01 Lövgren, M. Publicering 2000-2004.

Denna rapportserie som utges av Institutionen för biometri och teknik, SLU, innehåller uppsatser som anses lämpliga att publicera i denna form. Tidigare nummer redovisas på de sista sidorna och kan i mån av tillgång anskaffas från institutionen.

This series is published by Department of biometry and engineering. It contains reports or papers considered suitable for publication in this form. Earlier issues are listed on the last pages and can be obtained - if still available - upon application to the department.

---

DISTRIBUTION:

SLU

Institutionen för biometri och teknik

Box 7032

750 07 UPPSALA

Tel. 018-67 10 00

pdf.fil: [www.bt.slu.se](http://www.bt.slu.se)

SLU

Department of Biometry and Engineering

Box 7032

S-750 07 UPPSALA

SWEDEN

Phone +46 18 671000

---