

STADSBUSSAR



2015-05-18

Kunskapssammanställning EURO VI

Ecotrafic har på uppdrag av Trafikverket gjort en kunskapssammanställning av moderna stadsbussar. Arbetet omfattar en beskrivning av Sveriges bussflotta, teknikbeskrivning, bränsle- och energiförbrukning, bränslen, buller, avgaser, kostnader, enkätundersökning samt en diskussion om vad vi kan förvänta oss i framtiden

Stadsbussar

KUNSKAPSSAMMANSTÄLLNING EURO VI

INLEDNING OCH FÖRORD

Detta dokument är en förenklad sammanfattning av ett kunskapsdokument om stadsbussar som Ecotrafic tagit fram åt Trafikverket. Dokumenten ska kunna användas som ett hjälpmedel och stöd vid upphandling av stadsbussar. Fokus för arbetet har varit på 2-axliga stadsbussar av Euro VI-klass. Den läsare som önskar mer eller fördjupad information hänvisas till moderrapporten "Kunskapssammanställning – EURO VI stadsbussar". Rapporten kan laddas ner från bland annat Ecotrafics hemsida.

Författarna av studien har ställts inför ett antal svårigheter. Det har varit svårt att få in data om priser, drivmedelsförbrukning, emissioner och annan relevant information från branschens aktörer. I en del fall har data kompletterats med egna överväganden och beräkningar.

Tidigare ansågs att fordon som drivs med alternativa drivmedel gav lägre emissioner än konventionella dieseldrivna fordon. I dag tycks situationen vara att alla drivmedel är någorlunda likvärdiga i det avseendet. Frågan är i vilka applikationer alternativa drivmedel bäst kommer till sin rätt

Den kvarstående stora fördelen med biodrivmedel tycks vara utsläppen av klimatgaser. Detta gäller under förutsättning att drivmedlen produceras på "bästa" sätt och att fordonen är energieffektiva.

Intresset för etanol är för närvarande lågt och drivmedel som FAME och HVO tycks ha tagit över marknaden. Drivmedlen kan blandas in i diesel eller köras som "rena" drivmedel. Emissionsmässigt ligger de nära diesel. Det är framförallt enkelt att använda FAME och HVO. Ibland har också enkelheten ett pris.

Peter Ahlvik och Lars Eriksson

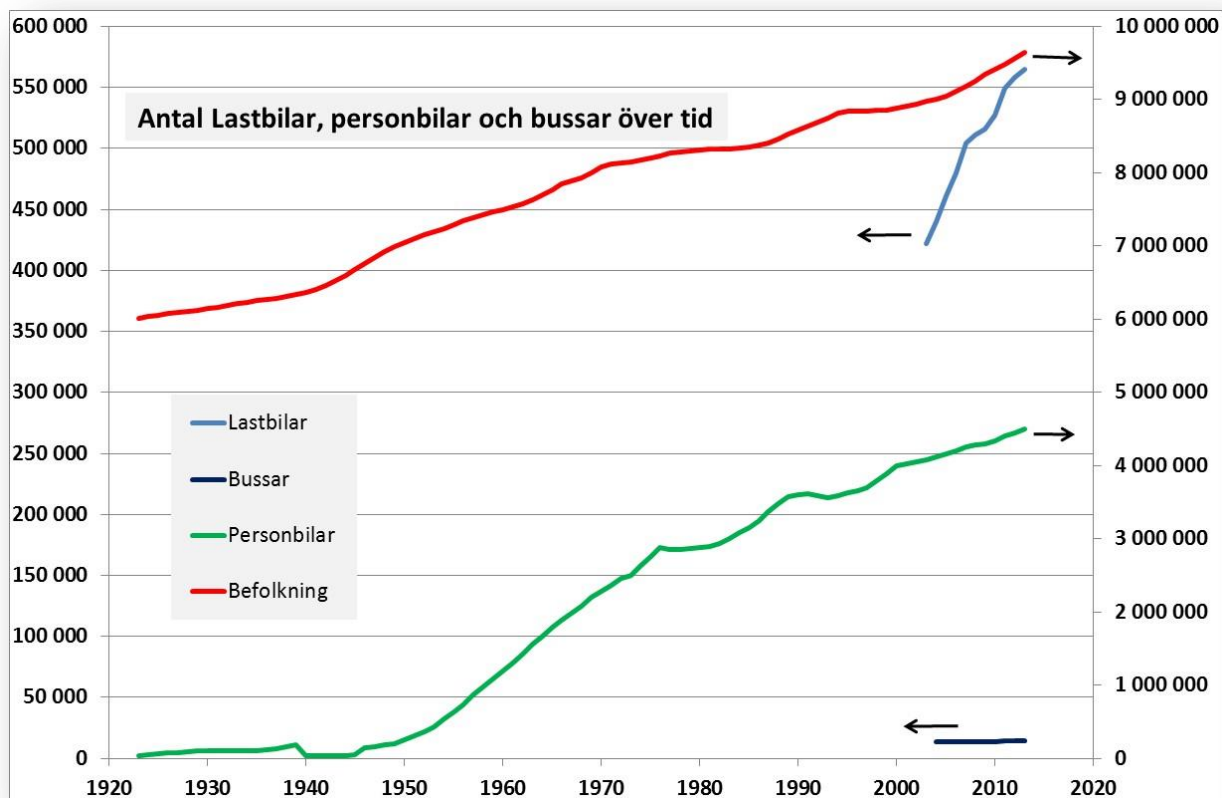
SLUTSATSER

- Avgasemissioner är inte längre något stort problem för stadsbussar. Vare sig ur hälsosynpunkt eller som kostnader för samhället
- Ett problem som kvarstår är utsläppen av klimatgaser.
- Buller från bussar är ett stort problem och kostar samhället mycket pengar.
- Elektrifiering verkar komma stark. Främst som hybrider men även i form av rena elbussar.
- Svårt att ekonomiskt räkna hem köp av hybridbussar med dagen bränslepriser
- Bäst klimatnytta räknat som medel för respektive bränsle får man med HVO men biogas och etanol från vissa leverantörer kan ge ännu större klimatnytta.
- Sett till bussens totalkostnad (LCC) så är det billigast att använda en buss som kan köras på FAME. Dyrast är etanol och biogas.
- De beräkningar som gjorts i denna studie tyder på att elbussarna ännu inte är ekonomiskt konkurrenskraftiga jämfört med konventionella bussar

BUSSFLOTTAN

Cirka 6 % av persontransportarbetet sker i Sverige med buss. Transportarbetet i Sverige domineras stort av personbilstransporter och dessa transporter står för drygt 76 % av landets persontransporter. Drygt 50 % av resorna inom kollektivtrafiken sker med buss. I Sverige finns cirka 7 000 – 8 000 stadsbussar. Sveriges yngsta fordon är bussar och medianåldern för en buss är cirka 4 år. Som jämförelse så är medianåldern på en personbil 9 år och en lastbil 7 år. Antal personbilar, lastbilar och invånare ökar med tiden medan antal bussar är relativt konstant över tid.

En typisk körsträcka för en 2-axlig stadsbuss är ca 6 000 mil per år och medelförbrukningen är ca 4,2 liter diesel per mil och bussen använts i ca 10 år innan den skrotas eller säljs vidare på begagnatmarknaden.



TEKNIK

Vid en jämförelse mellan olika typer av drivmedel och drivsystem (inkl. hybrider) är teknikneutraliteten viktig. Det innebär i klartext att man inte ska jämföra äpplen och päron, t.ex. att en buss har katalysator och en annan inte har det. Alla fordon använder en energiomvandlare av något slag. Energiomvandlare i det här fallet är en förbränningsmotor (exv. en dieselmotor) eller en elmotor. Sedan 1 januari 2014 får bara bussar med avgasklassen EURO VI säljas på den svenska marknaden. Föregående avgasklass heter Euro V.

- Skillnaden i bränsleförbrukning för konventionell dieselbussar mellan Euro V och VI är liten.
- För biogas har förbrukningen ökat något. Detta beror på att ny typ avgasrening införts.
- Någon etanolmotor för Euro VI finns inte kommersiell för tillfället men kan snabbt komma ut på marknaden om kunderna börjar efterfråga dessa fordon
- Den främsta fördelen med hybridbussar är den lägre bränsleförbrukningen i förhållande till konventionella dieselbussar. När det gäller avgasemissioner finns inte lika uppenbara fördelar.

I detta arbete har vi använt följande relativa siffror (diesel=100) för energianvändningen:

Diesel	Fordonsgas	Etanol	Dieselhybrid
100	125	100	75

FAME och HVO beräknas här som diesel med avseende på energiförbrukningen. För hybridbussar finns i dagsläget inte mycket statistik men bedömningen utifrån de data och erfarenheter som finns är att 75 % kan vara en relevant bedömning för dagens bussar. Med fordonsgas används ottomotor i stället för dieselmotor, vilket ökar förbrukningen.

Avgasemissioner från bussarna ligger i samtliga fall väl under kravnivåerna i EURO VI. I detta arbete har emissionsfaktorer i utsläpp per kilometer för de olika busstyperna beräknats. Beräkningarna bygger på vissa antaganden och bedömningar och ska läsas som ungefärliga värden och som ett mått på emissionernas storleksordning. I och med att endast motorn certifieras (och inte hela fordonet – vilket görs för personbilar) representerar skillnaderna mellan ”diesel” och ”hybrid” bara normal spridning mellan motorer. Siffror inom parentes avser uppskattningar (ED95) eller beräkningar baserat på andra data än certifieringar (gas).

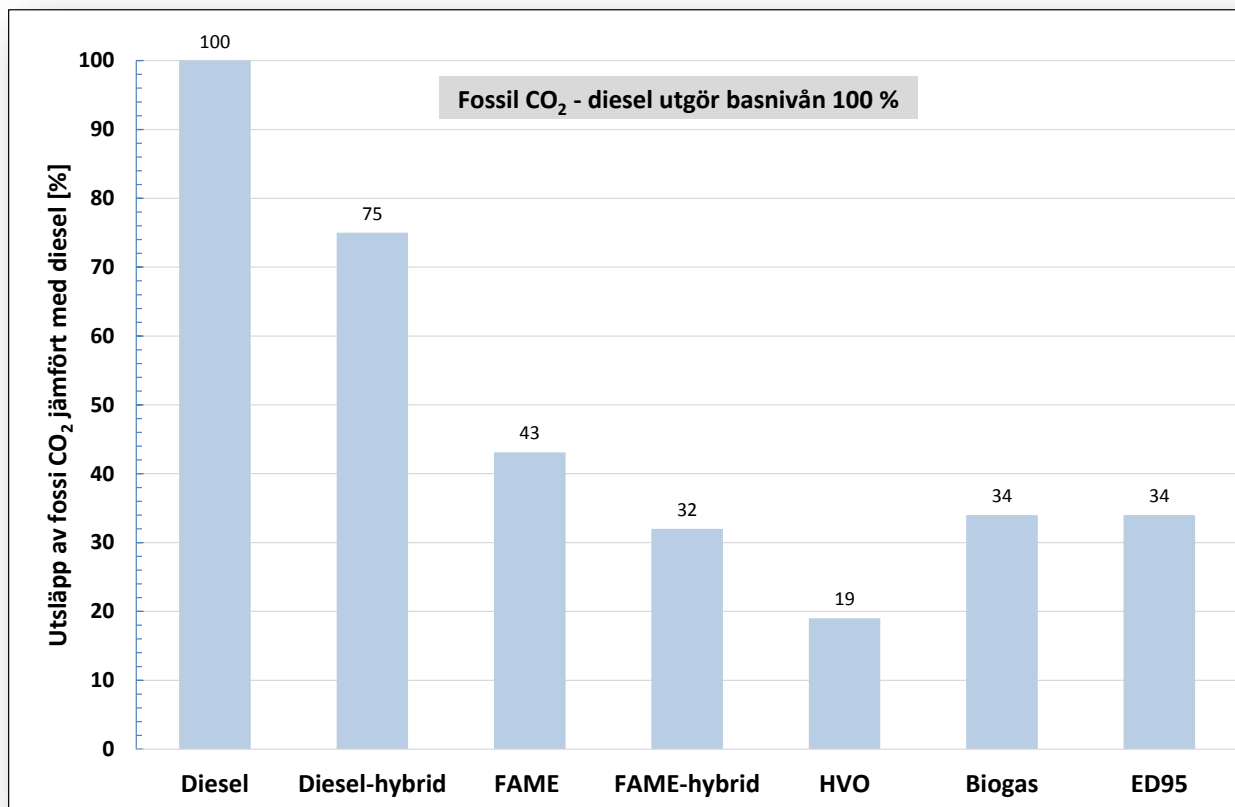
Bränsle/ hybrid	CO mg/km	NMHC mg/km	CH ₄ mg/km	NO _x mg/km	PM mg/km	PN #/km
Diesel	118	37	0	472	4,1	2,9E+10
Hybrid	30	0	0	594	3,7	2,9E+10
Gas	612	192	339	472	(13,3)	i.d.
Etanol	(295)	(74)	(0)	(472)	(5,9)	(7,4E+10)

BRÄNSLEN & KLIMAT

Ända sedan oljekrisen på 70-talet har det pratats om vilka bränslen som ska ersätta de fossilbase-
rade. Kandidater har kommit och gått under åren men i denna rapport har vi fokuserat på de bräns-
len som används för att driva fram de svenska bussarna och finns på marknaden idag.

- HVO (hydrerad ickefossil olja)
- Diesel
- ED95 (etanol)
- Metangas i form av naturgas och biogas
- FAME (biodiesel)
- El

För att bedöma klimatnyttan med de olika bränslena har vi i detta arbete använt Livscykeldata (LCA) i form av nyckeltal från Statens Energimyndighet. Dessa värden ska ses som ett sorts medelvärde av de bibränslen som används i Sverige och har använts som underlag till en förenklad livscykelanalys. För el har Nordisk elmix används som underlag för beräkningarna. Resultat för utsläpp av fossil CO₂ visas i diagrammet nedan; med diesel som referens (100 %).



Under de förutsättningar och antaganden som gjorts i detta arbete får man störst klimatnytta med bränslet HVO. Viktig är dock att påpeka att andra bränslen i vissa fall *kan* ha bättre (eller sämre) klimatprestanda än våra resultat, som bygger på Energimyndighetens *medelvärden* för respektive drivmedel.

BULLER

Vanliga stadsbussar orsakar omfattande bullerstörningar vilket innebär stora samhällsekonomiska kostnader. Bussar som går uteslutande på förbränningsmotorer kan kosta samhället omkring 4 kr/km för buller i tätorter, medan bussar under framdrift med enbart elmotor kan kosta omkring 1 kr/km. Störningskostnaderna minskar med cirka 25 % för varje dB tystare buss. Tystare bussar kan således avsevärt minska de samhällsekonomiska kostnaderna genom att t.ex. minska behovet av bullerskyddsåtgärder såsom mer dämpande fönster och beläggningar. Framöver kan teknikutvecklingen, t ex med bussar helt eller delvis drivna av elmotor, minska bulleremissionerna än mer. Bussar med förbränningsmotorer har också blivit tystare då de nya Euro- avgaskraven resulterat i partikel-filter som dämpar avgasbullret och de klarar redan kommande gränsvärden. Det finns därför goda möjligheter för köpare att ställa strängare bullerkrav än vad lagstiftningen ger uttryck för.

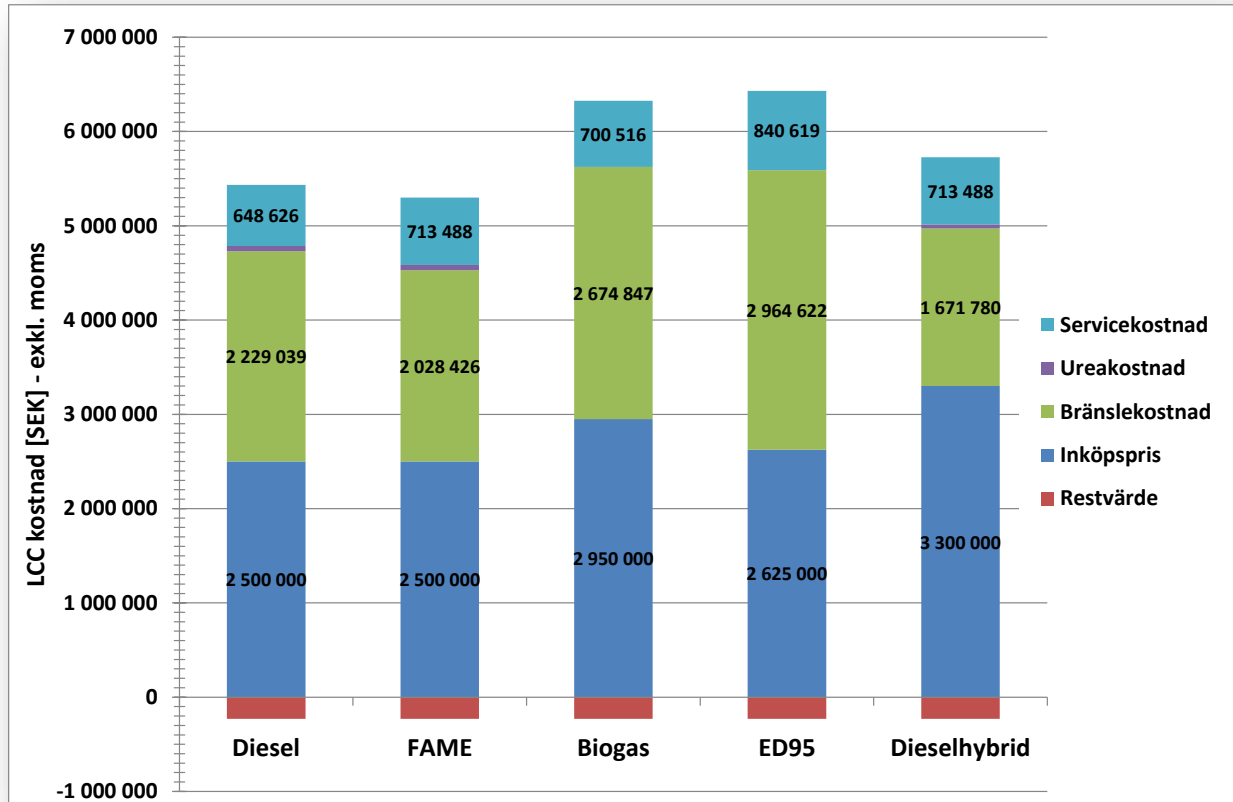
BUSSOPERATÖRENS KOSTNADER

De totala kostnaderna under bussen användningstid (LCC) är beräknade för 2-axliga, 12-meters bussar i låggolvsutförande och med antagandet att bussarna körs 6 000 mil per år under 10 år. En konventionell dieselbuss kostar ca 8,60 kr per km (LCC) samtidigt som kostnaderna för föraren är ca 15 kr per km. Siffrorna är nuvärdesjusterade LCC-kostnader (SEK – ex moms) för olika stadsbussar. Bränslekostnader inkluderar skatter men inte moms. Vi har i denna studie använt medelbränslepriser som var gällande under 2014. På senare tid har priserna fallit så bränslepriserna kan eventuellt bedömas som för höga.

Totalt sett så domineras kostnaden av inköp och drivmedel. Servicekostnaden är också en stor post. Därför inses lätt att ifall något av fordonen drabbas av högre servicekostnader än andra fordon, så kan det ge betydande kostnadsökningar. Lägsta kostnaden erhålls med FAME men där kan kommande skattehöjningar ändra förutsättningarna. Dieselhybriden är med studiens förutsättningar något dyrare än en konventionell dieselbuss. Biogas och ED95 är väsentligt dyrare.

För elbussar anges inga kostnader i diagrammet och tabellen nedan utan ett särskilt resonemang om kostnaderna för elbussar görs senare i ett separat stycke.

Som jämförelse till kostnaderna ovan så kan nämnas att kostnaden för föraren under bussens totala användningstid är ca 9,1 miljoner.



Kostnadsslag	Enh.	Diesel	FAME	Biogas	ED95	Hybrid
Inköpspris	öre/km	417	417	492	438	550
Restvärde	öre/km	-38	-38	-38	-38	-38
Bränslekostnad	öre/km	372	338	446	494	279
Ureakostnad	öre/km	9	9	0	0	4
Servicekostnad	öre/km	108	119	117	140	119
Summa	öre/km	867	845	1 016	1 033	913

ELBUSSAR

För elbussar saknas idag relevanta data från verklig drift. Vi har därför gjort vissa antaganden samt sökt stöd i litteraturen och på detta sätt räknat ut vilken den *maximala kostnaden för en elbuss kan bli för att den ska vara ekonomiskt konkurrenskraftig med en konventionell dieselbuss*. Den kostnaden blir i våra beräkningar 1,96 Mkr för en buss *utan batterier*. Läger man till kostnaden för batterierna på 1,68 Mkr erhålls en total kostnad på 3,64 Mkr, dvs. det är vad en elbuss maximalt skulle få kosta *inklusive batterier*. Som jämförelse har vi kostnaden för hybridbussen som ligger på 3,3 Mkr *inklusive batterier* och att en konventionell dieselbuss kostar 2,5 Mkr. Det är knappast troligt att en elbuss utan batterier kan kosta under 2 Mkr. Beräkningarna i denna studie tyder således på att elbussarna ännu inte är ekonomiskt konkurrenskraftiga jämfört med konventionella bussar. Kanske

kan laddhybrider vara en kompromiss som har som åtminstone på överskådlig sikt har lättare att nå lika bra kostnadseffektivitet som konventionella bussar.

SAMHÄLLETS KOSTNADER

Här har ASEK värden för avgasemissioner och buller summerats. Tre orter har valts för jämförelserna. Kristianstad är referensort för ASEK och dessutom har Stockholms innerstad och Uppsala valts. Tyvärr finns ingen uppdelning på buller separat för de olika bussarna med konventionell förbränningsmotor, då det inte gick att göra sådana beräkningar med det dataunderlag som fanns. För hybridbussarna har antagits att de 75 % av tiden körs som en buss med normal förbränningsmotor och 25 % av tiden på enbart elmotor. När förbränningsmotorn körs i en hybridbuss antas bullret (som medel) ligga på samma nivå som för en konventionell buss.

Kostnadsslag	Enh.	Diesel	FAME	Biogas	ED95	Hybrid	Elbuss
ASEK – Kristianstad							
Partiklar	öre/km	1,1	1,1	3,5	1,5	1,0	
VOC	öre/km	0,2	0,2	1,1	0,4	0,0	
NO _x	öre/km	4,2	4,2	4,2	4,2	5,3	
Buller	kr/km	3,60	3,60	3,60	3,60	2,94	0,97
Summa - Kristianstad	kr/km	3,65	3,65	3,69	3,66	3,01	0,97
ASEK - St:holm, innerst.							
Partiklar	öre/km	5,0	5,0	16,2	7,2	4,5	
VOC	öre/km	0,3	0,3	1,4	0,5	0,0	
NO _x	öre/km	1,8	1,8	0,0	1,8	2,3	
Buller	kr/km	4,15	4,15	4,15	4,15	3,3	0,87
Summa – St:holm, innerst.	kr/km	4,22	4,22	4,33	4,25	3,40	0,87
ASEK - Uppsala							
Partiklar	öre/km	2,3	2,3	7,3	3,2	2,0	
VOC	öre/km	0,1	0,1	0,6	0,2	0,0	
NO _x	öre/km	0,9	0,9	4,2	0,9	1,1	
Buller	kr/km	4,48	4,48	4,48	4,48	3,6	1,15
Summa - Uppsala	kr/km	4,51	4,51	4,60	4,52	3,68	1,15

Som framgått av resonemanget ovan är emissionerna väldigt låga för Euro VI bussar. Följaktligen är det inte förvånande att även miljökostnaderna blir låga. NO_x och partiklar står för de högsta kostnaderna medan VOC bara står för något öre per mil. Kostnaderna för buller är väsentligt mycket högre än för emissionerna.

För att komplettera bilden av kostnader för emissioner och buller ovan redovisas också kostnaden för CO₂ (övriga klimatgaser försummas) nedan (ASEK 5.1: 1,45 kr/kg CO₂). Det kan noteras att kostnader för CO₂ redan ingår i drivmedelspriset för fossila drivmedel genom koldioxidskatten. Det är därför inte relevant att summera CO₂-kostnaden nedan med kostnaderna för emissioner och buller ovan. Notera att kostnaderna för CO₂ anges i kr/km och inte öre/km som tidigare tabeller.

Em/kostn.	Diesel	Diesel-hybrid	FAME	FAME-hybrid	HVO	Biogas	ED95
CO ₂ (fossil) total kg	724 812	543 609	312 394	304 421	137 714	246 436	246 436
CO ₂ (fossil) total kg/km	1,21	0,91	0,52	0,51	0,23	0,41	0,41
CO ₂ (fossil) total kr/km	1,75	1,31	0,75	0,74	0,33	0,60	0,60

I en direkt jämförelse framgår att kostnaderna för CO₂ är väsentligt högre än för andra (reglerade) emissioner från fordonen. Det illustrerar det som diskuteras ovan, dvs. att miljökostnaderna för reglerade avgasemissioner numera är praktiskt taget försumbara i förhållande till kostnaderna för klimatgaser och buller.

**De nya modeorden 2015 stavas:
El, hybrid och HVO**

VAD TYCKER AKTÖRERNA?

Intervjuer och enkätundersökningar har gjorts med fordonstillverkarna (Volvo, Scania, MAN och Mercedes), huvudmännen (SL, Västtrafik, Östgötatrafiken, Västtrafik och Dintur), operatörerna (Arriva, Keolis, Nobina) samt organisationerna (Sveriges Bussföretag och Svensk Kollektivtrafik). Totalt 14 aktörer inom branschen fick möjlighet att svara på enkätfrågorna. Totalt inkom svar från 11.

Sammanfattningsvis så kan man säga att svaren spretar lite mellan olika aktörer men några "trender" kan ändå hittas.

- Elektrifiering kommer starkt, både enligt bussbolag och operatörer. Nu mest som hybrider men i framtiden troligen som rena elfordon i stadstrafik.
- Biogasen är på tillbakagång på många håll (dock inte alla). Främsta anledningen är den relativt övriga alternativ låga energiverkningsgraden.
- Etanol är svårbedömd. Inga nyregistreringar på flera år. Detta kan dock komma att ändras eftersom etanolen ger hög klimatnytta. Fler aktörer har kommit in på bränslemarknaden varför man kan förvänta sig en prispress på bränslet.
- HVO är det som de flesta vill ha som bränsle. Mycket likt diesel och man får inte de nackdelar som FAME ger i form av bland annat tätare serviceintervall.
- Alternativa drivmedel som tidigare diskuterats såsom metanol och DME är det inte många som pratar om längre.

DISKUSSION OCH FRAMTID

Generellt har resultaten i studien visat att avgasemissionerna från alla alternativen är förhållandevis låga. Det återspeglar sig också i låga samhällsekonomiska kostnader räknat enligt ASEK. Rent tekniskt sett skulle avgaskraven i framtiden kunna sättas ännu något strängare än i Euro VI. Studier i USA har också visat att emissionerna av hälsofarliga och i dag icke reglerade avgaskomponenter minskat på liknande sätt som de reglerade emissionerna. Ofta ligger nivåerna för många hälsofarliga avgaskomponenter kring eller under detektionsgränsen för dagens mätmetoder. Det går inte längre att påvisa att dieselavgaser från moderna motorer till tunga fordon ger cancer hos försöksdjur. Kanske borde fokus därför förskjutas mot att tillse att reningstekniken fungerar väl under fordonets livslängd (hållbarhet), samt i "verklig trafik" (t.ex. via ombordmätning), i stället för att skärpa nivåerna i certifieringscykeln.

Ett kvarstående problem med förbränningsmotorer är utsläppen av växthusgaser (främst CO₂). Ökad energieffektivitet minskar utsläppen men även substitution genom biodrivmedel och/eller el från förnybara källor i elfordon och laddhybrider är tänkbara lösningar. Rimligtvis borde fokus i framtiden öka på effektivisering och minskade utsläpp av växthusgaser, snarare än avgasemissioner.

Ett annat kvarstående problem är buller, som enligt resultaten i den här studien ger väsentligt högre samhällsekonomiska kostnader än avgasemissioner. Subjektivt kan tyckas att samhället relativt sett inte ställer lika långtgående krav på buller som på avgaser, varken via lagkrav eller i upphandlingar. Bussar som drivs med enbart el bullrar avsevärt mindre än bussar som drivs med förbränningsmotor men kostar i dag avsevärt mer än konventionella bussar. Sannolikt skulle även buller från bussar där förbränningsmotor används kunna minskas men även här är sådana åtgärder förknippade med ökade kostnader. Nämda kostnader borde vägas mot kostnader för bullersaneringar och andra åtgärder för att minska störningarna från buller.

Resultaten i den här studien visar på lägst kostnad för bussoperatören med konventionella dieselbussar. Allra lägst är kostnaden när de drivs med FAME men här kan de lägre priser på diesel som varit fallet sedan slutet av 2014, samt ändrad beskattning av FAME, påverka kostnadsbilden jämfört med förutsättningarna i studien. Dieselhybridbussar har enligt resultaten i den här studien högre kostnad än konventionella dieselbussar men lägre kostnader än biogas och etanol. Några av intervjupersonerna hävdar lägre kostnader för hybridbussar än för dieselbussar. Klart är att hybridbussarna för närvarande kostar betydligt mer i inköp, vilket måste kompenseras genom lägre bränsleförbrukning. Bränsleförbrukningen borde generellt följas upp bättre för att ge underlag till kostnadsberäkningar, samt även för att kunna prioritera i vilken trafik hybrider kommer bäst till sin rätt. Hybriderna är för tillfället i en tidig fas av introduktion, vilket gör att kostnadsbilden kan förändras framgent. När det gäller elbussar är det svårt att i dag göra relevanta kostnadsberäkningar. Inköpspriset är sannolikt för högt för att elbussar i dag ska vara ett konkurrenskraftigt alternativ.

Denna studie ger en "ögonblicksbild" av situationen i dag vad gäller emissioner och bränsleförbrukning för ett antal bussar. När man diskuterar framtida teknik som t.ex. bränslecelldrivna bussar eller elbussar måste man beakta att den tekniken ännu inte är färdigutvecklad. När tekniken – förmodligen om några år – är mogen för en storskalig kommersialisering kommer också den konventionella

tekniken att ha utvecklats vidare. Det är som att skjuta mot ett rörligt mål. När det gäller hybrider och laddhybrider har de nyligen nått en nivå där storskalig kommersialisering inletts, eller står för dörren.

Hybridtekniken är fortfarande tämligen ny och det är därför rimligt att tro att den kan utvecklas vidare. Det gäller dels effektivisering, dels också att nyttja tekniken för minskning av emissioner. För närvarande erbjuder bara de stora bussleverantörerna på den svenska marknaden hybridfordon med dieselmotorer. Det är emellertid fullt möjligt att kombinera hybridisering även med motorer för andra drivmedel och där förbränningsmotorn t.ex. är en ottomotor. Den naturliga "förlängningen" av hybridtekniken är att gå till en laddhybrid. Dock krävs här betydligt större batterier med ökade kostnader och vikt som följd. Kombination med snabbladdning är också en möjlighet till förbättring. Kostnadsaspekten är dock viktig och det är inte klart ifall kostnad och nytta står i proportion till varandra. De beräkningar som gjorts i denna studie tyder på att elbussarna ännu inte är ekonomiskt konkurrenskraftiga jämfört med konventionella bussar.