

## KONSEKVENSER AV ELBUSSAR I STOCKHOLM



### PM - Kalkyl över elbussar i Stockholm

WSP Analys och Strategi har fått i uppdrag av Volvo Buses och Vattenfall att jämföra kostnaderna för att trafikera tio busslinjer i Stockholms innerstad med biogasbussar (nuläget) med vad en trafikering med elbussar samt plug-in hybridbussar skulle komma att kosta. I kalkylen antas att all infrastruktur för gasbussar i form av tankställen och gasdistribution redan finns på plats medan elbussarna kräver ny infrastruktur i form av laddstationer vid ändhållplatserna samt elanslutning i depån. I beräkningarna antas att man kan utnyttja befintliga tankställen för diesel till biodiesel (HVO) för laddhybridbussarna.

Förutom investerings- och driftskostnader beräknas även effekter på energianvändning, koldioxidutsläpp och emissioner. För buller görs en översiktlig värdering baserad på en tidigare rapport från Kouchy & Partners, *Tystare stadsbussar – kravställning vid upphandling för minskat källbuller*.

En övergång till eldrivna bussar (el eller plug-in hybrider) innebär att de fasta kostnaderna ökar både genom dyrare bussar samt inledningsvis ny infrastruktur i form av laddstationer. Samtidigt blir de rörliga driftskostnaderna betydligt lägre genom en minskad energiförbrukning och att priset på el (per kWh) är väsentligt lägre än priset på

biogas. Hur lång körsträcka varje buss rullar har därför en avgörande betydelse för kalkylens resultat. I kalkylen antas att samtliga bussar på de analyserade linjerna byts ut, inklusive de bussar som går enbart i högtrafik. Beräkningarna utgår alltså inte ifrån en optimering där bussar med låg årlig körsträcka även fortsättningsvis kan gå på biogas eller annat bränsle.

I tabell 1 sammanfattas kostnaderna för de båda busstyperna för de tio linjerna där kostnaden uttrycks per fordonskm. Antalet fordonskm är beräknat baserat på dagens tidtabell och motsvarar de antal km som varje linje trafikeras enligt tidtabellen plus en uppräknig med fem procent för att täcka färd till och från bussdepån. Även antalet bussar är beräknat utifrån dagens tidtabell plus en reservbussflotta motsvarande 5 procent. De grönmarkerade rutorna är de linjer där kostnaden för elbussarna är lägre än kostnaderna för biogasbussarna. Stombusslinjerna 1-4 är samtliga samhällsekonomiskt lönsamma att elektrifiera och linje 1, 3 och 4 är även företagsekonomiskt lönsamma att elektrifiera medan linje 2 är marginellt dyrare att köra med laddhybridbussar än biogasbussar. Kalkylen är något sämre för de övriga linjerna men generellt är kostnadskillnaderna små samhällsekonomiskt mellan biogas- och elbussar.

Det är främst genom minskat buller samt det faktum att el och HVO till skillnad från biogas är belagd med energiskatt (och i dagsläget även koldioxidskatt för HVO) som förbättrar den samhällsekonomiska kalkylen för elbussarna. Även de lägre koldioxidutsläppen har en märkbar påverkan på kalkylen. För att värdera skillnaden i buller mellan busstyperna används ett räkneexempel från rapporten *Tystare stadsbussar – kravställning vid upphandling för minskat källbuller* där skillnaden för en buss med laddhybriddrift jämfört med dieseldrift motsvarar 1,74 kr/fordonskm i en trafikmiljö som motsvarar en trafikled. Om man istället använder räkneexemplet från trafikmiljön ”Centrala stråket” beräknas nyttan med bussar i laddhybriddrift motsvara 3,34 kr/fordonskm. Här har vi dock valt att räkna med det lägre värdet på 1,74 kr/fordonskm. Vid fullständig eldrift blir bullret ytterligare något lägre, motsvarande ca 20 öre/fordonskm. För stora delar Stockholms innerstad är alltså nyttan av det minskade bullret förmodligen högre än i kalkylen. Kväveoxider, koldioxid och partiklar värderas med de officiella kalkylvärdena för samhällsekonomiska analyser inom transportsektorn, de s.k. ASEK-värdena.

Tabell 1. Kostnader för biogas- resp el och plug-in bussar för några utvalda innerstadslinjer (kr/fordonskm). Exakt andel av körsträckan som sker med eldrift anges i Tabell 4, i genomsnitt sker 92 % av körsträckorna med eldrift.

Linje	Busstyp	Investerings och underhållskostnad bussar	Investerings- och underhållskostnad infrastruktur	Driftskostnad	Summa kostnad för trafikering	Drivmedel- och elskatt (inkl. elcertifikat)	Kväveoxider	Partiklar	Koldioxid	Buller	Summa Samhällsekonomisk kostnad
1	Biogas	11,58	0,00	23,54	35,12	-0,00	0,09	0,12	0,59	3,79	39,70
	Plug-in	14,11	2,03	18,42	34,56	-0,76	0,01	0,01	0,22	2,05	36,09
2	Biogas	17,47	0,00	24,38	41,85	-0,00	0,09	0,12	0,66	3,79	46,51
	Plug-in	19,82	4,00	18,25	42,07	-0,78	0,00	0,00	0,28	2,05	43,62
3	Biogas	13,68	0,00	23,86	37,54	-0,00	0,09	0,12	0,61	3,79	42,15
	Plug-in	16,33	2,43	18,23	36,99	-0,74	0,00	0,01	0,24	2,05	38,56
4	Biogas	11,08	0,00	23,54	34,62	-0,00	0,09	0,12	0,59	3,79	39,21
	Plug-in	13,78	1,50	18,39	33,68	-0,75	0,00	0,01	0,22	2,05	35,22
42	Biogas	15,22	0,00	22,39	37,60	-0,00	0,09	0,12	0,49	3,79	42,09
	Plug-in	20,02	3,41	17,30	40,74	-0,38	0,00	0,01	0,13	2,05	42,56
43	Biogas	13,01	0,00	22,39	35,39	-0,00	0,09	0,12	0,49	3,79	39,88
	El	21,29	3,45	17,30	42,04	-0,38	0,00	0,00	0,14	2,05	43,84
44	Biogas	15,30	0,00	22,60	37,90	-0,00	0,09	0,12	0,51	3,79	42,41
	El	25,43	5,99	17,30	48,72	-0,38	0,00	0,00	0,14	2,05	50,52
55	Biogas	13,79	0,00	22,39	36,17	-0,00	0,09	0,12	0,49	3,79	40,67
	Plug-in	18,27	1,77	17,95	37,98	-0,52	0,01	0,01	0,12	2,05	39,65
56	Biogas	11,03	0,00	22,07	33,10	-0,00	0,09	0,12	0,47	3,79	37,57
	El	19,66	3,79	17,26	40,71	-0,37	0,00	0,00	0,13	2,05	42,53
62	Biogas	11,69	0,00	22,18	33,86	-0,00	0,09	0,12	0,48	3,79	38,34
	Plug-in	15,83	3,49	17,50	36,81	-0,42	0,00	0,00	0,12	2,05	38,57

Tabell 2 visar trafikeringskostnader, energiförbrukning samt koldioxidutsläpp summerat per år för de bägge bussalternativen. En övergång till eldrift minskar både energiförbrukningen och koldioxidutsläppen radikalt. Koldioxidutsläppen för HVO och bio-

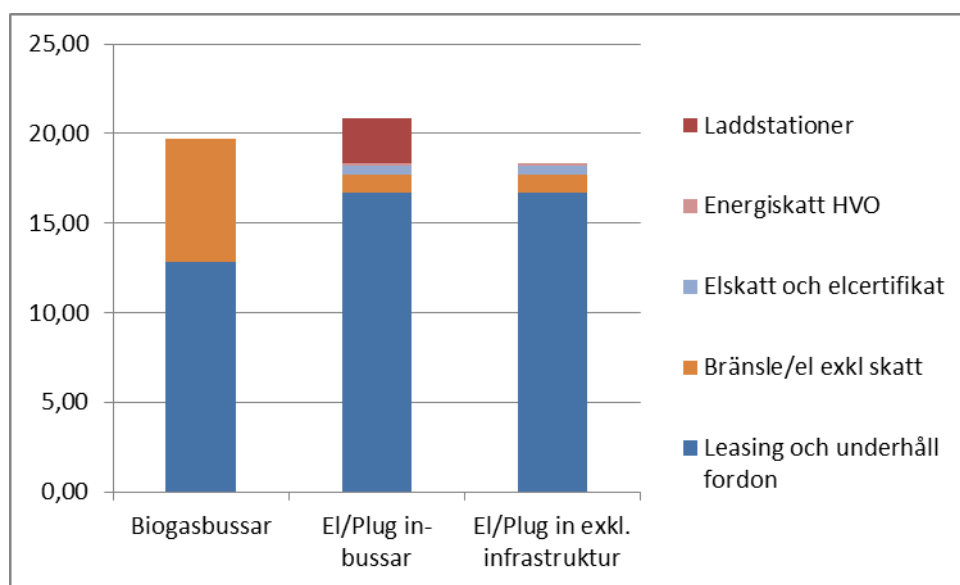
gas baseras på Energimyndighetens senaste tillgängliga sammanställning av hur bi-drivmedel som levererats till den svenska marknaden klarar de krav på hållbarhet som ställs av EU, *Hållbara biodrivmedel och flytande biodrivmedel under 2012* (ET 2013:6). Där anges 22,8 g CO<sub>ekv</sub>/MJ för biogas samt 13,0 g CO<sub>2ekv</sub>/MJ för HVO vilket motsvarar 82 respektive 46,8 g/kWh. För el har vi räknat med koldioxidutsläpp på 100 g/kWh vilket motsvarar nordisk mix. Väljer man att istället räkna med el märkt med Bra miljöval är det brukligt att räkna med utsläpp från 0,01 g/kWh (vattenkraft) upp till ca 10 g/kWh för biomassa, dvs väsentligt lägre.

**Tabell 2 - Totala samhällsekonomiska kostnader, trafikeringskostnader, energiförbrukning och koldioxidutsläpp per år för de båda bussalternativen. I genomsnitt sker 92 % av körsträckan med el-drift för de analyserade linjerna.**

Linje	Busstyp	Samhälls-ekonomisk kostnad		Trafikerings-kostnad		Koldioxid-utsläpp		Energi-förbrukning	
		Milj kr/år	Δ %	Milj kr/år	Δ %	Ton CO <sub>2</sub> /år	Δ %	Milj kWh/år	Δ %
1	Biogas	43,1	-9%	38,1	-2%	591	-63%	7,2	-65%
	Plug-in	39,2		37,5		220		2,5	
2	Biogas	25,6	-6%	23,0	1%	335	-58%	4,1	-65%
	Plug-in	24,0		23,1		141		1,4	
3	Biogas	38,2	-9%	34,0	-1%	515	-61%	6,3	-66%
	Plug-in	34,9		33,5		202		2,1	
4	Biogas	57,5	-10%	50,8	-3%	799	-63%	9,7	-66%
	Plug-in	51,7		49,4		299		3,4	
42	Biogas	13,6	1%	12,1	8%	147	-73%	1,8	-78%
	Plug-in	13,7		13,1		40		0,4	
43	Biogas	12,7	10%	11,3	19%	146	-72%	1,8	-77%
	El	14,0		13,4		41		0,4	
44	Biogas	7,8	19%	7,0	29%	87	-73%	1,1	-78%
	El	9,3		8,9		23		0,2	
55	Biogas	25,3	-2%	22,5	5%	285	-75%	3,5	-74%
	Plug-in	24,7		23,7		70		0,9	
56	Biogas	10,9	13%	9,6	23%	126	-72%	1,5	-77%
	El	12,3		11,8		36		0,4	
62	Biogas	18,1	1%	16,0	9%	208	-74%	2,5	-76%
	Plug-in	18,2		17,4		55		0,6	
Alla	Biogas	253	-4%	224	3%	3238	-65%	39	-69%
	El/Plug-in	242		232		1126		12	

För de 10 linjer som har analyserats skulle trafikeringskostnaderna totalt sett öka med ca 3 procent vid en övergång till plug-in bussar och elbussar samtidigt som energiförbrukningen skulle minska med 69 % och koldioxidutsläppen med 65 %. Den samhälls-ekonomiska kostnaden för trafiken (dvs inklusive buller och emissioner) skulle minska med 4 % vid en elektrifiering av de aktuella linjerna. Dessa siffror kan ses som en approximation för busstrafiken i Stockholms innerstad. Sammantaget innebär den föreslagna elektrifieringen att körsträckorna till 92 procent sker med eldrift medan bussarna under de resterande 8 procenten av körsträckan drivs med HVO.

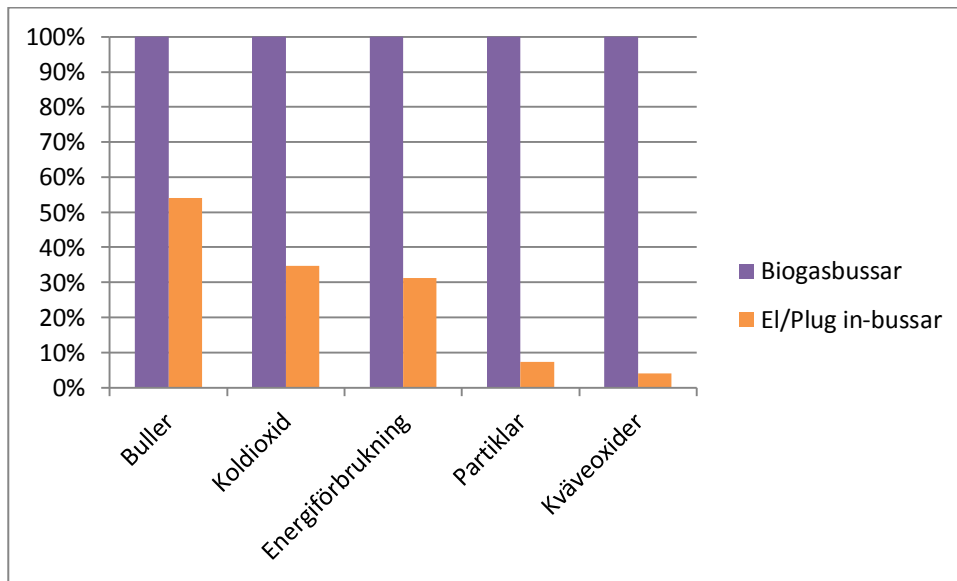
I Figur 1 ges en mer detaljerad bild av hur kostnadsposterna fördelar sig för biogas- respektive elbussarna. En övergång till (partiell) eldrift innebär att kostnaderna för drivmedel reduceras kraftigt medan kostnaderna för själva bussarna ökar.



**Figur 1. Kostnadsuppdelning för fordons- och infrastrukturkostnader. Kronor per fordonskm. I genomsnitt körs 92 % av körsträckan med eldrift.**

Kalkylen är gjord baserat på att all infrastruktur för biogas redan finns på plats vilket gör att kostnaderna sätts till noll för biogasens tankställen och distribution ut till depå. Om man bygger nya depåer så stämmer inte längre detta och det stämmer naturligtvis inte heller för platser där det i dag inte finns tillgång till biogas ute i bussdepåerna. I den tredje stapeln i Figur 1 visas därför en jämförelse utan (ladd)infrastrukturkostnader för elbussarna.

Övergången till eldrift innebär kraftiga reduktioner av både buller(kostnaden), emissioner och energiförbrukning vilket visas i Figur 2. Figuren är baserad på beräkningen för samtliga tio analyserade linjer med en genomsnittlig eldriftsandel på 92 procent.



**Figur 2. Jämförelse mellan biogas- och elbussar avseende buller, emissioner och energiförbrukning. Samtliga tio analyserade linjer, i genomsnitt körs 92 % av körsträckan med eldrift.**

En övergång till hel eller partiell eldrift i busstrafiken väcker frågor kring hur elsäkerheten kan garanteras. Här är det dock viktigt att påpeka att det redan idag på många ställen finns elektrifierad trafik i stadsmiljö såsom spårväg och trådbussar. För batteridrivna bussar tillkommer laddningsstationer men å andra sidan behövs ingen kontinuerlig strömmatning. Beräkningarna utgår ifrån att det regelverk som finns kring elsäkerhet följs.

Det har gjorts stora investeringar i både produktion och distribution av biogas för Stockholms bussar. Den biogas som produceras kan dock användas till andra ändamål än för busstrafik, endera för att ersätta naturgas i fordonsgas till personbilar eller för t ex el- och kraftproduktion. I det senare fallet behövs heller ingen uppgradering av gasen till fordonsgaskvalitet vilket både innebär kostnader och energiförluster.

Genom att plug-in bussarna kan gå på HVO och el kan produceras från t ex vatten- eller vindkraft är det fullt möjligt att även med elbussar ha en energianvändning helt baserad på förnybara källor.

Tabell 3. Sammanställning gemensamma kalkylvärden för alla linjer

<b>Bränslepris biogas</b>	10,50 kr/Nm <sup>3</sup> varav 0 kr skatt
<b>Bränslepris HVO</b>	14,51 kr/liter varav 4,12 kr skatt
<b>Elpris</b>	0,7 kr/kWh varav 0,3 kr elcertifikat och skatt
<b>Förarkostnad</b>	16,40 kr/fordonskm
<b>Värdering koldioxid</b>	1,08 kr/kg
<b>Värdering NO<sub>x</sub></b>	80 kr/kg regional effekt + 38 kr/kg lokal effekt
<b>Värdering partiklar</b>	12 187 kr/kg lokal effekt (PM 2,5)
<b>Energiinnehåll biogas</b>	7,77 kWh/Nm <sup>3</sup>
<b>Energiinnehåll HVO</b>	9,44 kWh/liter
<b>CO<sub>2</sub>-utsläpp från biogas</b>	82 g/kWh
<b>CO<sub>2</sub>-utsläpp från HVO</b>	46,8 g/kWh
<b>CO<sub>2</sub>-utsläpp från el</b>	100 g/kWh (nordisk elmix)
<b>Bullerkostnad biogasbuss</b>	3,79 kr/fordonskm
<b>Bullerkostnad eldriven buss</b>	2,05 kr/fordonskm
<b>Verkningsgrad vid laddning</b>	0,98

Tabell 4. Sammanställning linjespecifika uppgifter

Linje	Utbudskm inkl 5 % depåkörning	Antal bussar exkl reservbussar	Leasingkostnad elbussar milj, kr/buss och år	Leasingkostnad gasbuss milj. kr per år	Antal laddstationer	Andel eldrift	Bränsleförbrukning vid gasdrift Nm <sup>3</sup> / mil	Bränsleförbrukning HVO liter/mil vid bränsledrift	Elanvändning eldrift kWh/km
1	3619	21	15,3	12,6	4	88%	6,8	4,4	2,0
2	1833	16	10,9	9,6	4	99%	7,6	4,9	2,5
3	3017	20	14,8	12,4	4	95%	7,1	4,7	2,2
4	4889	22	20,2	16,3	4	89%	6,8	4,5	2,0
42	1074	8	6,5	4,9	2	99%	5,7	3,8	1,2
43	1063	7	6,8	4,1	2	100%	5,9		1,3
44	612	4	4,7	2,8	2	100%	5,9		1,3
55	2077	12	11,4	8,6	2	82%	5,7	3,7	1,0
56	967	6	5,7	3,2	2	100%	5,4		1,2
62	1576	10	7,5	5,5	3	93%	5,5	3,6	1,1

Stockholm 2014-07-05

WSP Sverige AB

Lina Jonsson