

Bilaga 3

Beräkning av bussflottans elbehov

Hampus Nyhlén

Innehåll

0.1	Introduktion	2
0.2	Metod	3
0.3	Resultat	4
0.3.1	Energibehov för bussar	4
0.3.2	Beräkning av justeringsfaktor	5
A	Pythonkod för beräkning av energibehov	7

0.1 Introduktion

Målet med denna bilaga är att beräkna stadsbusstrafikens framtida el och gas-behov i Uppsala om samtliga stadsbussar ersätts med elbussar. Detta är nödvändigt för dimensionering av biogasmotor för CHP på Stadsbussdepån. Sådan data finns inte tillgänglig idag, därför används annan tillgänglig data, från vilka en prognos beräknas.

0.2 Metod

Beräkningen använder känd data för dagens gasanvändning i busstrafiken och antalet biogasbussar för att beräkna årligt gasbehov per buss. Därefter används data för Brake Thermal Efficiency (BTE) för gasdrivna bussar och en uträknad verkningsgrad för elbussar för att få en justeringsfaktor på årligt gasbehov för en elbuss som laddas med en biogasmotor. Denna justeringsfaktor används slutligen för att beräkna årligt gasbehov per elbuss, samt den ekvivalenta mängd elektricitet detta motsvarar efter förluster, som slutligen redovisas som bussarnas framtida elbehov.

Verkningsgraden för biogasbussar är Brake Thermal efficiency (BTE), som beräknas som kvoten av bränslets energiinnehåll och den energi som fångas upp av bussens bromsar. Resultatet är andelen energi i bussens bränsle som måste bromsas bort, och därför inte har försvunnit som olika typer av förluster.

Genomsnittliga verkningsgraden för hela biobussflottan beräknas med dessa 2 verkningsgrader, och andelen normalbussar kontra lätthybrider i fordonsflottan med ekvation

$$\frac{a \cdot \eta_1 + b \cdot \eta_2}{a + b} = \eta_g \quad (1)$$

a : antal biogasbussar med normal drift b : antal lätthybrid-bussar η_1 : verkningsgrad för normal buss
 η_2 : verkningsgrad för lätthybrid η_g : genomsnittlig verkningsgrad för hela biogasflottan

Den verkningsgrad som beräknas för elbuss innefattar förluster från elproduktion i gasmotorn, laddningsförluster, samt förluster under körning från exempelvis friktion med marken, luftmotstånd eller kupévärme. Genom att räkna förluster i alla steg fås en verkningsgrad som kan jämföras med den för biogasbussar, och kan därmed användas för att beräkna bränslebehov, och i sin tur elbehov.

0.3 Resultat

0.3.1 Energibehov för bussar

Gasbehov per buss beräknas genom att beräkna gasförbrukningen med antal bussar:

$$\frac{3419726}{97} = 35255 \frac{kg}{buss*1}$$

0.3.2 Beräkning av justeringsfaktor

Genomsnittliga verkningsgraden för hela bussflottan beräknas med dessa 2 verkningsgrader, och andelen normalbussar kontra lätthybrider i fordonsflottan med ekvation 1

Drift-verkningsgrad är lägre under vintertid. Enligt studier som har gjorts på elbilar beror större delen av detta av kupévärm. Enligt en studie utförd av Juuso Lindgren Peter D. Lund minskade genomsnittliga energieffektiviteten av en elbil från 7,5 till 6,75 km/kWh, eller med 10%², när temperaturen sjunker från 20 till -10. [Lindgren and Lund, 2016]

För att beräkna genomsnittliga drift-verkningsgraden inklusive vinterdrift används ett viktat medelvärde som motsvarar att temperaturen är 20 grader 9 månader och -10 i 3 månader varje år. Resultatet ses i tabell 4.

Justeringsfaktorn beräknas som kvoten av verkningsgraden för biogasbussar och elbussar: $\frac{\eta_g}{\eta_e} = x$
 η_g : verkningsgrad för biogasbuss η_e : verkningsgrad för elbuss x : justeringsfaktor

¹Beräknad baserat på 12,38 % laddningsförlust.

²Baserat på en 16 % minskning i energieffektivitet vid -10 °C.

³Värden fås tabellen längst till höger i figur 4

	2025	2024	2023
Förbrukad biogas i stadsbusstrafiken	3 279 216 kg	3 381 673 kg	3 598 289 kg
Medelvärde	3 419 726 kg		

Tabell 1: Årliga gasbehov i stadstrafiken¹

Tabell 2: Figur 3: Befintlig biogasdriven bussflotta för Uppsalas stadstrafik ägd av GUB.

Transportmedel	Antal	Källa
Biogasbuss	69	[Gamla Uppsala Buss, u.å. b]
Biogasbuss Lätthybrid	28	[Gamla Uppsala Buss, u.å. b]
Summa	97	

	Biogasbuss	Lätthybrid	Biogas
Verkningsgrad (BTE)	20.4%	26.6%	

Tabell 3: Verkningsgrad för biogasbussar [Hu et al., 2024]

Typ av förlust	Verkningsgrad	Källa
Elproduktion	48,7 %	[Jenbacher, 2026]
Laddning (40 A)	87,62 %	[Apostolaki-Iosifidou et al., 2017] ¹
Normal drift	70,3 %	[Szilassy and Földes, 2022]
Vinterdrift	≈ 0,63%	
Genomsnittlig verkningsgrad inkl vinterdrift	≈ 0,69%	
Total verkningsgrad	≈ 0.2892%	

Tabell 4: Energieffektivitet för eldriven buss

Gasbehov för biogasbuss	35255 kg/buss/år
Justeringsfaktor	≈ 0,77
Gasbehov för elbuss	28959 kg/buss/år
Totalt gasbehov för 204 bussar	4 865 190 kg/år
Gasens energiinnehåll	13 kWh/kg [Nordin, 2026]
Totalt energibehov för 204 bussar	63,25 GWh
Motsvarande elektrisk energi vid laddning	34,94 GWh

Tabell 5: Caption

Referenser

- E. Apostolaki-Iosifidou, P. Codani, and W. Kempton. Measurement of power loss during electric vehicle charging and discharging. *Energy*, 127:730–742, 2017. doi: 10.1016/j.energy.2017.03.015. URL <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.015>.
- Gamla Uppsala Buss. Biogas, u.å. b. URL <https://www.gub.se/gub/miljo/fornybara-drivmedel/biogas/>. Hämtad: 2026-04-22.
- R. Hu, X. Chen, L. Li, F. Kong, and Y. Liu. Exhaust emissions and energy conversion of hybrid and conventional cng buses. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 135: 104405, 2024. doi: 10.1016/j.trd.2024.104405. URL <https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104405>.
- Jenbacher. J320 gas engine. *Jenbacher*, 2026. URL <https://www.jenbacher.com/en/gas-engines/type-3/j320/>. Accessed: 21 May 2026.
- J. Lindgren and P. D. Lund. Effect of extreme temperatures on battery charging and performance of electric vehicles. *Journal of Power Sources*, 328:37–45, 2016. doi: 10.1016/j.jpowsour.2016.07.038. URL <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.07.038>.
- L. Nordin. Personlig kommunikation via e-post med vd för uppsalavatten, 2026. Personlig kommunikation, 21 maj 2026.
- P. Á. Szilassy and D. Földes. Consumption estimation method for battery-electric buses using general line characteristics and temperature. *Energy*, 261(Part A):125080, 2022. doi: 10.1016/j.energy.2022.125080. URL <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125080>.

A. Pythonkod för beräkning av energibehov

```
1 import numpy as np
2
3 _2025 = 3279216 # kg
4 _2024 = 3381673 # kg
5 _2023 = 3598289 # kg
6
7 Average_demand = (_2025 + _2024 + _2023) / 3
8 print(f"Genomsnittlig_biogas_efterfragan_(2023-2025):_{Average_demand:.2f}_kg")
9
10 # Verkningsgrad för biogasbussar
11 BTE_normal = 0.204
12 BTE_hybrid = 0.266
13 BTE = (69 * BTE_normal + 28 * BTE_hybrid) / 97
14 print(f"Genomsnittlig_verkningsgrad_för_biogasbussar:_{BTE:.4f}")
15
16 Biogas_busses = 97
17 Total_busses = 168 + 36
```

```

18 Gas_per_bus = Average_demand / Biogas_busses
19 print(f"Genomsnittlig_biogas_per_buss:{Gas_per_bus:.2f}_kg")
20
21 # Verkningsgrader f r elbussar
22 motor_efficiency = 0.487
23 charging_efficiency = 0.87
24 driving_efficiency_summer = 0.7
25
26 W_drive_eff = 6.75 # km per kWh
27 S_drive_eff = 7.5 # km per kWh
28 driving_efficiency_winter = driving_efficiency_summer * (W_drive_eff /
    S_drive_eff)
29
30 Mean_driving_efficiency = (3 * driving_efficiency_summer +
    driving_efficiency_winter) / 4
31
32 EBTE = motor_efficiency * charging_efficiency * Mean_driving_efficiency
33 print(f"EBTE:{EBTE:.4f}")
34
35 Adjustment_factor = BTE / EBTE
36 print(f"Justeringsfaktor f r att kompensera f r skillnaden i
    verkningsgrad:{Adjustment_factor:.4f}")
37
38 Gas_energy = 13 # kWh/kg
39
40 Gasbus_energy = Gas_per_bus * Gas_energy
41 print(f"Genomsnittlig_energi_per_biogasbuss:{Gasbus_energy:.2f}_kWh")
42
43 Electric_bus_energy = Gasbus_energy * Adjustment_factor
44 print(f"Genomsnittlig_energi_per_elbuss:{Electric_bus_energy:.2f}_kWh")
45
46 electric_energy = motor_efficiency * Electric_bus_energy
47
48 total_electric_energy = electric_energy * Total_busses
49 print(f"Total_elenergi_som_kr_vs_f_r_att_ers_tta_biogasbussarna:{
    total_electric_energy/_1e6:.2f}_GWh")

```

Listing 1: Pythonkod för beräkning av energibehov vid ersättning av biogasbussar med elbussar