

Dette udvidet resumé er udgivet i det elektroniske tidsskrift

Artikler fra Trafikdage på Aalborg Universitet
(Proceedings from the Annual Transport Conference at Aalborg University)

ISSN 1603-9696

<https://journals.aau.dk/index.php/td>

Simulering og normalisering af brændstofforbrug ud fra real world data

Kim Winther, kwi@teknologisk.dk

Teknologisk Institut

Abstrakt

Oplægget præsenterer en praktisk metode til at forene totaløkonomi og livscyklusbaseret CO₂-beregning i ét samlet beslutningsgrundlag for flåder med elbiler. Metoden gør det muligt at vurdere både produktions- og driftsudledninger samt TCO på køretøjs- og flådeniveau, herunder hvornår en elbil opnår CO₂-break-even i forhold til en forbrændingsbil. Der sættes desuden fokus på, hvilke køretøjer der bør udskiftes først, og hvordan brugte elbiler kan indgå retvisende gennem en delvis allokering af CO₂-gæld. Oplægget demonstrerer et konkret værktøj og viser, hvordan flådeejere kan planlægge en omstilling, der er både økonomisk og klimamæssigt velbegrunderet.

Baggrund og formål

Officielle forbrugstal og typegodkendelser er i stigende grad utilstrækkelige, når kommuner, virksomheder og rådgivere arbejder med klimaregnskaber og optimering af driftsøkonomi. For personbiler findes WLTP-tal typisk i databaser, men for tunge varebiler, lastbiler, specialkøretøjer og køretøjer med anhænger er der ofte ingen anvendelige standardtal. I praksis ender mange derfor med enten at:

- bruge fabrikkens optimistiske forbrugstal, eller
- lave simple gennemsnitsberegninger på historiske brændstoffkøb.

Ingen af delene giver et robust grundlag, hvis man skal sammenligne køretøjer, dokumentere effekter af investeringer eller opstille scenarier for omstilling af en flåde.

Formålet med oplægget er at vise, hvordan real world telematik-/GPS-/CAN-data kan anvendes til:

1. at kalibrere en fysikbaseret motormodel og køretøjsmodel,
2. at simulere specifikt brændstofforbrug for netop den konkrete kørselsprofil, og
3. at normalisere forbruget, så det kan sammenlignes på tværs af køretøjer (f.eks. "hvad ville denne bil bruge under en WLTP-lignende profil?").

Herved bliver det muligt både at:

- besvare praktiske spørgsmål som: "Kan denne tunge varebil faktisk være mere effektiv end en lettere?",
- og at levere datadrevne input til klimaregnskaber og indkøbsstrategier for køretøjer.

Den Grønne Beregner – kort om værktøjet

Den Grønne Beregner er udviklet over flere år og er et regne- og simuleringsværktøj, der estimerer det specifikke brændstofforbrug for en given kombination af:

- motortype og virkningsgradskort (diesel, benzin, el, brint, gas, hybrid),
- køretøjsparametre (masse, frontareal, Cw, dækmodstand, gearingsforhold mv.),
- belastningsprofil (hastighed over tid, højdeprofil, stop/start, last, anhænger, koldstart mv.).

I sin grundform udregner værktøjet for hver tidsstep en aksel- eller hjuleffekt:

$$P_{\text{hjul}}(t) = F_{\text{træk}}(t) \cdot v(t)$$

hvor trækraften $F_{\text{træk}}(t)$ bestemmes af:

- acceleration,
- rullemodstand,
- aerodynamisk modstand,
- stigninger/fald (højdeprofil),
- evt. ekstra modstand fra anhænger.

Gennem et motor- og drivlinjekort omsættes hjuleffekt til brændstof forbrug pr. tidsstep, hvorefter værktøjet summerer til:

- liter/100 km,
- g CO₂/km,
- og evt. NO_x, partikler, VOC mv. via emissionsfaktorer.

Kalibrering på real world data

Modellen kan teoretisk set køres uden kalibrering, men for at ramme virkeligheden – og sikre accept hos brugerne – kalibreres den mod faktiske kørselsdata.

Vi udnytter typisk:

- hastighedsprofiler fra GPS eller telematik (1–10 Hz),
- højdeprofiler fra GPS eller digitale højdemodeller,
- lastinformation (f.eks. gennemsnitlig last, eller “tom/lastet”-flag),
- brændstofdata (tankninger, OBD-baseret forbrug eller flowmåler),
- evt. CAN-data (momentsignaler, gearvalg, motoromdrejninger).

Kalibreringen består bl.a. i at fastlægge:

- realistiske værdier for rullemodstand og aerodynamik,
- drivlinjens samlede virkningsgrad under forskellige driftsforhold,
- eventuelle korrektioner for kørselsadfærd (meget hård acceleration, tomgang mv.).

Metodisk foretages det ved at minimere forskellen mellem målt og simuleret brændstofforbrug (f.eks. via least squares), og ved at krydsvalidere på flere ture. Resultatet er en kalibreret køretøjsprofil, der kan genbruges på forskellige belastnings- og ruteprofiler.

Normalisering: Fra vilkårlig hverdag til “fælles målestok”

Når modellen er kalibreret, kan den anvendes til at beregne, hvad køretøjet ville bruge under en standardiseret eller aftalt profil. Det kan være:

- en WLTP- profil anvendelig for afgiftsberegning
- en “kommunal kørsel”-profil baseret på typiske by- og landevejsscenerier,
- en specifik opgaveprofil, f.eks. renovationskørsel, vejservice eller distributionskørsel.

På den måde kan vi:

- sammenligne køretøjer på tværs af ruter og årstider,
- vurdere, om et specifikt køretøj faktisk er effektivt i den reelle drift,
- korrigere for, at ét køretøj altid kører tungt/med trailer, mens et andet primært kører let.

Det muliggør bl.a. svar på:

- Kan en tungere bil være mere effektiv end en let? Ja – hvis udstyr, gearing og aerodynamik matches bedre til opgaveprofilen.
- Hvad er et retvisende “normforbrug” for en tung varebil uden officielle WLTP-tal?
- Hvor meget betyder anhænger og last for CO₂-udledningen i en bestemt flåde?

Anvendelse for kommuner og virksomheder

I oplægget lægger vi vægt på konkrete anvendelser:

- **Dokumentation til klimaregnskab**
 - Mere præcis CO₂/km pr. køretøjstype og opgave.
 - Mulighed for at opgøre CO₂-udledning pr. ton-km eller pr. leveret ydelse.
- **Flådeoptimering og indkøb**
 - Sammenligning af eksisterende køretøjer op mod potentielle nye modeller.
 - Identifikation af de mest energieffektive konfigurationer til bestemte opgaver.
 - Understøttelse af udbud med teknisk veldokumenterede krav/specifikationer.
- **Driftsoptimering**
 - Analyse af potentiale for eco-driving, ruteændringer og lastoptimering.
 - Identifikation af “outliers” i flåden (meget højt forbrug ift. opgave).

Hvad deltagerne får ud af oplægget

- En forståelig gennemgang af, hvordan en fysikbaseret simuleringsmodel bygges op.
- Konkrete eksempler på kalibrering mod real world data fra tunge varebiler og/eller specialkøretøjer.
- Visning af, hvordan man kan beregne et “normforbrug” for køretøjer uden officielle WLTP-tal.
- Inspiration til, hvordan kommuner, flådejere og rådgivere kan anvende metoden i praksis – enten via Den Grønne Beregner eller tilsvarende værktøjer.

Der fremlægges cases, hvor vi demonstrerer:

- forskel mellem fabriksforbrug, simpelt gennemsnit og simuleret/normaliseret forbrug,
- effekten af anhænger og last på specifikt brændstofforbrug og CO₂.