

Elbilen i dagens Danmark – energi, forbrug og økonomi

Henriette Schøn, Jens Frost, Esben Larsen
VidenCenter for Elbiler, DTU, Bygn. 325, DK-2800 Lyngby

Abstract

Elbilen anno 2000 er en moderne bil, der serieproduceres på basis af eksisterende bilmodeller, hvilket giver en kvalitet og pålidelighed svarende til kendte brændstofdrevne biler (ICE-biler). Elbilen er på centrale punkter væsentligt forskellig fra den traditionelle bil, hvilket kræver en anden tankegang i forbindelse med løsning af transportopgaver ved anvendelse af elbiler. En præsentation af den moderne elbil er derfor nødvendig for forståelse af de forskelle, som ses på forbrugsområdet og de deraf afledte miljøforhold.

Der har været en vis usikkerhed angående elbilernes forbrugstal ved løsning af transportopgaver. VidenCenter for Elbiler har set det som sin opgave at afdække denne problematik gennem en analyse af et stort antal kørselsdata indsamlet fra danske elbiler. På basis af disse data, hvis detaljeringsgrad er stærkt svingende, kombineret med direkte målinger på et køretøj præsenteres erfaringer med elbiler i praktisk brug ved forskellige kørselsmåder. Herudfra vurderes miljøeffekterne ved erstatning af ICE-drevne transportere med eldrevne.

Erfaringerne viser, at den moderne elbil i praktisk brug er mere energiøkonomisk end selv de senest fremkomne 3Liters-modeller. Det viser sig, at de forskellige køremønstre (Motorvej, Landevej, By, Stop/Go) og kørselsmåder (forsigtigt/aggressivt) spiller en afgørende rolle for den samlede energiøkonomi. Merforbrug på en faktor 2 er ikke usandsynligt ved f. eks. frisk Stop/Go-kørsel med en lastet elbil. Uanset disse forhold, er der for de fleste luftforurenende stoffer, også CO₂, en samlet gevinst ved elbil drift. Samlet kan denne gevinst forventes øget over de næste år som følge af den teknologiske udvikling såvel på batteriområdet som i den stadig forbedrede elproduktion. Specielt, hvis elbilen alene lades fra vedvarende energikilder er brugen af elbilerne helt emissionsfri.

1. Den moderne elbil

Dagens elbil er en moderne bil, der som nævnt serieproduceres på basis af eksisterende bilmodeller. Den traditionelle bils ICE-motor (Internal-Combustion-Engine) og transmissionsudstyr er erstattet af en elmotor med fast gearing til de trækkende hjul. Som energilager anvendes NiCd-celler sammen med nødvendig ladeudrustning og computerbaseret BMS-system (Batteri-Management-System).

Samlet set er der således en række fordele ved elbiler, men også nogle begrænsninger:

- Ingen emissioner i nærmiljøet
- Reduktion af CO₂-emission
- Ingen støjforurening
- Kan bruge elektriciteten som energibærer for vedvarende energi
- Meget nem at køre uden gearskift og kobling

- Elbilens motor ”går aldrig i stå”
- Kvik ved bykørsel – følger uden problemer den øvrige bytrafik
- Gratis parkering i Københavns og Frederiksbergs Kommuner
- Fritaget for registreringsafgift og vægtafgift/grøn afgift
- Begrænset rækkevidde – typisk 70 – 100 km
- Batterier – levetid / anvendelse / vedligeholdelse.

2. Miljø – rent nærmiljø

Det øgede transportarbejde på verdensplan medfører indhug i de eksisterende olieressourcer, øget energiforbrug og øget CO₂-udslip. Elbilen er det eneste eksisterende effektive middel til at vende denne udvikling, da en stor indførsel af elbiler virkelig vil kunne reducere CO₂-emissioner globalt. I den forbindelse er det væsentligt, at elbilen udnytter elektriciteten som energibærer for vedvarende energi og andre miljøvenlige energikilder. Elbilens energiforbrug er lavere end den traditionelle bils, og forureningen er flyttet ud til produktionsstedet for elektricitet, f.eks. kraftvarmeværker eller vindmøller. I takt med udbygningen i Danmark af stadig mere effektive kraftværker med forbedret røggasrensning samt øget anvendelse af vedvarende energi vil emissionerne yderligere reduceres. Ud fra en anden synsvinkel forventes det indenfor få år, at el vil blive udbudt med tilknyttede VE-beviser (Vedvarende Energi-beviser), som garanti for, at den solgte VE-el reelt er produceret på basis af vedvarende energikilder – i det væsentlige vindkraft eller vandkraft (import). Ved denne kombination af VE-el og elbil-drift er transportarbejdet ved eltraktion blevet gjort fuldstændig emissionsfrit såvel i nærmiljøet som globalt.

Elbiler introduceret i dag bliver på sigt endnu mere miljøvenlige i takt med den øgede andel af vedvarende energi i elproduktionen. Hermed reduceres transportsektorens afhængighed af fossile brændstoffer løbende. Traditionelle biler er afhængige af den samme type fossile brændsel i hele deres levetid, da den pågældende brændstofmotor er designet til en bestemt type brændsel, og tidshorizonten er typisk 10-15 år. Brændstofmotorens miljødata må endda forventes forringet i takt med motorens nedslidning.

Emissioner i nærmiljøet

En sammenligning af miljøparametre gældende for elbilen og den traditionelle bil er derfor relevant set ud fra situationen, som vi har i dag. Emissioner er i denne sammenhæng udslip fra en forbrændingsproces dvs. fra bilernes forbrændingsmotor eller fra elværkerne. De emissioner/udslip, som har betydning, er alle på luftform eller er luftbårne. Forurening er at betragte som den del af emissionerne, der er direkte sundhedsskadelige, forsurende eller på anden form belastende for miljøet.

De stoffer der her er tale om, er hovedsageligt:

- **NO_x** (kvælstofilter),
- **HC** (kulbrinter),
- **SO₂** (svovldioxyd),
- **CO** (kulilte)
- **Partikler**

Foretages en sammenligning mellem følgende, se fig.1:

- ◆ Dagens elbil med den nuværende elproduktion

- ◆ Dagens benzinbiler med katalysator
- ◆ Dagens moderne dieslbiler

fordeler den forurenende del af emissionerne sig forskelligt for sammenlignelige kørsler:

- Elproduktionen giver praktisk talt ikke udslip af HC og CO, som det derimod er tilfældet med begge typer brændstofbiler.
- Elproduktionen giver et større SO₂ udslip end dieslbiler, primært pga. de mange kulfyrede kraftværker i Danmark, mens benzinbilen ikke har SO₂ udslip.
- NO_x udslippet er lidt højere for elproduktion end for ICE-biler.
- Dieslbilen har et partikeludslip. Her er det mere et spørgsmål om partiklernes størrelse fremfor mængden, da man anser de mindste partikler for værende de farligste. På dette område er elværkernes elektrofiltre derimod højeffektive med minimale partikeludledninger.

Sammenligning af emissioner for el-, benzin- og dieseldrift af henholdsvis Citroën Saxo og Berlingo					
1999	Saxo benzin	Saxo eldrift	Berlingo benzin	Berlingo diesel	Berlingo eldrift
El, Wh/km	-	200	-	-	265
CO₂, g/km *	178	131	205	189	173
NO_x, g/km	0,22	0,30	0,25	0,28	0,39
HC, g/km	0,45	0,009	0,50	0,32	0,011
CO, g/km	0,55	0,031	0,60	0,24	0,041
SO₂, g/km	0,020	0,29	0,023	0,034	0,39
PM, mg/km	0,024	0,015	0,028	0,046	0,020

* Disse beregninger er foretaget af VCE.

Fig. 1: Sammenligning af forskellige brændstoffers emissioner.[1]

Yderligere detaljerede sammenligninger af nævnte emissioner har ikke den store mening. Alene spørgsmålet om hvilke af disse stoffer, der relativt set må anses for værende de mest skadelige, er vanskeligt at give et svar på. Hertil kommer, at der inden for begge områder – elproduktion og konstruktion af bilmotorer – sker en rivende udvikling. Eksempelvis bruger elværkerne mange ressourcer på nytænkning inden for alternative brændsler, røggasrensning, vedvarende energi, kraftvarme optimering, samt på højere virkningsgrader totalt set.

For den traditionelle bils vedkommende udledes disse forurenende stoffer i gadeniveau, hvor . cyklister, forgængere og andre trafikanter færdes. I modsætning hertil sker elproduktionens udslip normalt langt fra bebyggelser med reducerede forureningskoncentrationer til følge.

CO₂: Det globale miljø

CO₂, der fremkommer ved alle forbrændinger, og som findes naturligt i atmosfæren, er ikke i sig selv giftigt, men som bekendt har man indikatorer på, at en øget koncentration kan medføre globale klimaændringer også kaldet "Drivhuseffekten".

Figur 2 sammenligner el- og brændstofdrevne bilers forbrug og CO₂-udslip nu og i år 2005 [3]. Grundet en brændselssammensætning for elproduktionen med en høj andel af kul er CO₂-

udledningen relativ høj i dag. Planlagte ændringer i elproduktionen mod større anvendelse af vedvarende energiformer vil straks slå igennem for hele elbilparken, modsat forbedringer for brændstoff bilen, grundet dennes levetid. For selve elbilen ligger der et betydeligt udviklingspotentiale, men også for de brændstoffdrevne biler forventes der en kraftig reduktion i energiforbruget i fremtiden. I år 2005 regnes der selvsagt med nye modeller - svarende til nutidens Citroën Saxo og Berlingo.

Forbrug og CO ₂ - emissioner: El/benzin/dieselmotorer								
År	1999				2005			
Model (Citroën)	Forbrug		CO ₂ -emission g/km		Forbrug		CO ₂ -emission g/km	
	kWh/ Km	L/100 km	El*	Benzin Diesel	kWh/ km	L/100 km	El*	Benzin Diesel
Saxo Electricque	0,200		131		0,150		75	
Saxo 1,1i Innov.		6,5		178		5,7		155
Berlingo Electricque	0,265		173		0,200		100	
Berlingo 1.4i		7,2		205		6,3		180
Berlingo 1.9D		6,6		189		5,8		165

* Baseret på Energistyrelsens nøgletal for CO₂ emission pr. forbrugt enhed el (1998)

Fig. 2: Forbrug og CO₂-emissioner.[2-6]

Med udgangspunkt i disse tal ses, at elbilen har lavere CO₂ udledning end de traditionelle biler. Værdierne for benzin- og dieselmotorernes CO₂-udslip fås i gram pr. km direkte fra EU-godkendelsesrapporterne [6].

Da de oplyste værdier for elbilerne er baseret på energiforbruget ab stikkontakt, og således indeholder alle tab fra og med elværkerne, skal energiforbruget, og det heraf følgende CO₂-udslip fra raffinering og distribution af benzin og diesel, tillægges ovennævnte CO₂-værdier. For hhv. benzin og diesel udgør tillægget 15 % og 6 % (letdiesel, 0,05 % S) [Ref. 2]. Disse tillæg er indregnet i figur 2.

Også for de brændstoffdrevne biler pågår en markant udvikling i retning af lavere energiforbrug. På dette område er der direkte indgået aftaler mellem den europæiske bilindustri og EU-Kommisionen. Disse aftaler har som mål at reducere det gennemsnitlige CO₂-udslip fra bilerne med 25% i år 2008, set i forhold til 1995 - altså over en 13-års periode. For at kunne sammenligne den traditionelle bil med elbilen i år 2005 er der regnet med den forholdsmæssige reduktion fra de angivne 1999-værdier. Over en 6-års periode er der således regnet med en reduktion af 1999-værdierne på $(6/13 \times 25 \%) = \sim 12 \%$. Dagens elbil, med den danske elproduktion som udgangspunkt; har 10-20 % lavere CO₂ udslip pr. kørte km end tilsvarende biler med forbrændingsmotor. Tager man udgangspunkt i de effektiviseringsmuligheder begge biltyper har sammenholdt med planlagte ændringer i den danske elproduktion, forventes elbilen at have et 40-50 % lavere CO₂ udslip i 2005.

3. Analyse af energiforbrug ved kørsel i elbil

I forhold til elbilernes normtal for energiforbrug, fx 200 Wh/km for en Citroën AX, har der ved forskellige undersøgelser i forbindelse med påtænkte elbilanskaffelser blevet stillet tvivl om hvilke forbrugstal, som kunne forventes i praktisk drift. Tilsyneladende blev der sat større spørgsmålstejn på dette punkt for elbiler end ved ICE-drevne alternativer. Med det formål at trænge dybere ned i denne problematik har VidenCenter for Elbiler, VCE anvendt sin egen elbil sammen med en indsamling af data fra andre elbiler.

VCE's elbil, en Citroën AX bruges udelukkende til testkørsel. Brugere er primært uerfarne brugere, eventuelle kommende elbilejere, der låner elbilen og derved stifter nærmere bekendtskab med den moderne elbil og dens evne til at løse et aktuelt transportbehov. Som betingelse for lån af elbilen skal låneren efter hver opladning registrere den brugte energi ab stikkontakt ved aflæsning af en monteret kWh-måler. Desuden skal låneren for hver transportopgave (se skemaet i fig. 3) registrere den kørte distance, samt notere bilens eget energimeters visning og karakterisere køremønsteret indenfor 4 kategorier. Energimeteret fortæller brugeren, hvor stor en %-del af batteriernes energi, der er tilbage på det aktuelle tidspunkt, og giver dermed føreren en indikation af, hvor langt, der kan køres inden, der skal oplades igen.

Køremønsteret karakteriseres efter endt transportopgave ved afkrydsning i en eller flere af følgende kategorier: Motorvej, Landevej, By, Stop/Go. Denne opdeling giver mulighed for at vurdere energiforbruget i forhold til de forskellige køremønstre. Kategorier er ikke defineret yderligere, hvorfor en kørsels kategorisering alene baserer sig på den enkelte førers skøn.

Kørsels oplysninger vedrørende Citroën AX											
VidenCenter for Elbiler – VCE											
Udfyldes inden kørsel					Udfyldes efter kørsel						
		KWh-måler	Km-tæller	Energimeter stand	Turen bestod af følgende typer kørsel (sæt X)				Energimeter stand	Fører	Kommentarer
Nr.	Dato	- efter ladning	stand - start	% ved start	Motorvej	Landevej	By	Stop/Go	% ved endt tur	Initialer	Ang. kørsel/bilen
1											
2											
3											

Figur 3. Skemaet alle brugere af VCE's Citroën AX skal udfylde inden og efter kørsel af tur.

I figur 4 ses en del af de analyser, der er foretaget på baggrund af registreringerne fra mere end 500 testkørsler. For hver tur er der udregnet, hvor mange procent energimeteret i bilen er faldet pr. kilometer (Energi%/km), bilen har kørt. Alle udregningerne er foretaget ved at stille begrænsende krav til kørslerne. For hver af inddelingerne i køremønstre kan der være stillet krav om, at der skal være sat kryds ved denne kategori ("+"), eller at der ikke må være sat kryds ("%"), eller der kan undlades at stille nogle krav til kategorien ("<tomt felt>"). Derudover kan der stilles andre krav, som er noteret under "Andet". Flere linjer betyder, at et givet datapunkt er medtaget når blot en af betingelserne (linje) er opfyldt. Det relative energiforbrug til et datasæt er udregnet ved at tage gennemsnittet af det relative energiforbrug pr. tur. Kilometer kørt på de korte ture vægter således mere end kilometer kørt på lange ture, men det får ikke nogen signifikant betydning for resultaterne.

Nr.	Antal Kørsler	Motorvej	Landevej	By	StopGo	Andet	Energi- % / km	Rækkevidde Km	Energi Wh/km
1	144	+	+	+	% % %		1,38	84,64	201
2	273	% %	% %	+	+		1,60	74,38	229
3	37	+	%		%	>5km	1,26	91,75	185
4	52	%	%	+	%		1,51	78,21	217
5	49	+	+ +	+ +	% %		1,25	92,40	184
6	78	+	+ +	+ +	% %		1,25	92,40	184
7	582					% Eslut <> 103	1,40	83,57	203

Fig. 4 Energiforbrug (Wh/km) for en Citroën AX ved forskellige typer af køremønstre.

Efter en fuld opladning af bilen viser energimometeret en kapacitet på 103%. For at få så gode datasæt som muligt, opereres der derfor med 103 % opladede batterier, men det har således udelukkende noget med energimometeret at gøre. VCE har desuden erfaret, at der ved fuld opladning af batterierne kan køres adskillige kilometer (5-10 km) før energimometerets viser overhovedet bevæger sig. Af den grund er alle ture, som slutter på 103% udeladt af analysen.

Stop/Go-kørsel

Som nævnt baserer kategoriseringen sig på den enkelte førers skøn. Specielt vil forskellen mellem By og Stop/Go blive opfattet som to forskellige typer kørsler fra fører til fører. Kategorierne er derfor ikke fuldstændigt "rene". For at belyse forholdene ved Stop/Go er der kombineret flere kriterier i fig. 4 rækkenr. 1 og 2.

Det første datasæt, fig. 4 rækkenr. 1, giver et relativt energiforbrug for alle kombinationer af Motorvej, Landevej og By-kørsel, hvor der ikke samtidig er kørt Stop/Go-kørsel. Det andet datasæt, rækkenr. 2 giver et relativt energiforbrug for alle kombinationer mellem By- og Stop/Go-kørsel, hvor der ikke samtidig er kørsel på Landevej og/eller Motorvej. Det ses, at By- og Stop/Go-turene har et energiforbrug, der er 16% større end ture, hvor der ingen Stop/Go-kørsel er overhovedet. Kørselsmæssigt består de mest energiforbrugende ture således af mange accelerationer og nedbremsninger. Hvis samme afstand kunne tilbagelægges med mere jævn og konstant hastighed, ville energiforbruget blive væsentligt mindre.

Motorvejskørsel

Motorvejskørsel får tit skyld for at være meget energiforbrugende. For at få belyst dette nærmere benyttes et datasæt med alle kørsler på motorvej, der ikke samtidigt har indeholdt Landevejs- eller Stop/Go-kørsel. For at øge sandsynligheden for, at motorvejen er blevet brugt på en væsentlig del af strækningen, er der desuden stillet krav om, at turene skal være længere end 5 km, se fig. 4 rækkenr. 3. Til sammenligning ses datasættet af "rene" byture (uden anden form for kørsel) i rækkenr. 4.

Det ses, at Motorvej-kørsel ikke i sig selv medfører et meget større energiforbrug end, hvis en anden form for kørsel var valgt. Faktisk kunne det se ud som om, at muligheden for at køre en

konstant om end høj hastighed er med til at nedsætte energiforbruget over en given strækning. Der skal dog gøres opmærksom på, at antallet af kørte ture på motorvej er væsentligt færre end ved Stop/Go-analysen. Yderligere skal det bemærkes at elbilen kører godt 90 km/t (± 5 km/t) på motorvej, hvilket naturligvis giver et lavere energiforbrug, end hvis den havde kørt f.eks. 110 km/t.

Rækkevidde

Med ovennævnte forbehold i mente, kunne det være interessant at se, hvilken effekt de forskellige energiforbrug har på den distance, elbilen kan nå på en opladning, rækkevidden. VCE har imidlertid gjort den erfaring, at det normalt er muligt at køre knap 10 km både før energimeteret i bilen bevæger sig fra "103%" og efter energimeteret har nået "0%". Det vil derfor være rimeligt at lægge et antal kilometer til de her udregnede rækkevidder. I fig. 4 er der udregnet rækkevidder for datasættene. Der er her lagt 10 km til de direkte udregnede for at give et mere realistisk billede af rækkevidden. Til en fuld opladning af elbilen (Citroën AX) bruges 16-17 kWh. Der er desuden i fig. 4 udregnet det tilsvarende energiforbrug i Wh/km. Ud over den anførte rækkevidde har erfaringerne vist, at der stadig vil være yderligere ca. 10 km, hvor elbilen automatisk drosler ned på en lavere hastighed for at bringe føreren hen til en ladestation. Denne sikkerhedsmargin kan ikke anbefales anvendt i praksis, hvorfor den er udeladt i denne sammenhæng.

Det ses, at der i praksis kan regnes med rækkevidder fra 70 km til godt 90 km på en opladning. Ved anskaffelse af elbiler er det derfor vigtigt at være opmærksom på hvilke transportbehov, der skal dækkes - både med hensyn til afstand og køremønster.

Beregningerne i sidste række (Fig 4 Nr. 7) er baseret på det totale antal kørte ture. Med mange uerfarne elbilkørere og et meget varieret køremønster er der således opnået et gennemsnitsforbrug på 203 Wh/km til sammenligning med bilens norm på 200 Wh/km.

Registrerede energiforbrug ved elbilkørsel

Ud over de mere detaljerede undersøgelser på VCE's egen elbil, har VCE tilgang til data fra et antal elbiler i Københavnsområdet. I fig. 5 ses en række af de resulterende energiforbrug for forskellige elbiler.

Type Citroën	Start-dato	Slut-dato	Kørt distance Km	Brugt energi KWh	Rel. Energiforbrug Wh/km	Tilhører
Berlingo	26-07-99	20-12-99	4360	1527	350	KE
Berlingo	28-10-99	31-12-99	3297	1331	404	KE
Berlingo	15-02-99	18-10-99	2174	784	361	KK, Kirkegårdsafd.
Berlingo	15-07-99	04-11-00	1963	776	395	KK, Bygge og boligdir.
Berlingo	04-10-99	20-12-99	1280	560	438	DTU
Berlingo	02-08-99	16-11-99	1167	394	338	R98
Saxo	12-02-99	13-09-99	11637	2981	256	KK, Vejafd.
AX	18-11-99	15-05-00	7019	1470	209	VCE

Fig. 5 Energiforbrug for forskellige Elbiler

Det er hovedsagelig elbiler anskaffet af Københavns Kommune (KK) i forbindelse med ZE-US-projektet, (herunder Københavns Energi, KE), men også DTU's "elektrikerbil" og VCE's egen elbil AX er vist.

Her ses VCE's AX'er at have et forbrug på 209 Wh/km, hvilket er lidt større end det tidligere nævnte 203 Wh/km. Afvigelsen på 3% skyldes den tidligere beskrevne analysemetode.

Specielt for kørsel i Citroën Berlingo ses et forholdsvist større energiforbrug end normen på 265 Wh/km. Et km-vægtet gennemsnit af energiforbrugene for alle Berlingo-biler giver 377 Wh/km. Det er godt 40% højere end normtallet. Disse biler anvendes fortrinsvist til varetransport, hvor den øgede køretøjsvægt selvfølgelig vil spille en rolle i opadgående retning.

Det ses desuden, at der er ret stor variation i de udregnede relative energiforbrug. Det største forbrug er 30% større end den laveste, hvilket er en indikator for, hvor stor betydning forskellige køremønstre og kørselsmåder har for energiforbruget. En stor del af disse varevogne har formentligt et køremønster, som skal benævnes Stop/Go-kørsel.

Regnes der med, at der skal bruges 22 kWh til en fuld opladning af en Berlingo, vil ovenstående erfaringsdata resultere i rækkevidder i intervallet fra 50 – 65 km. Det er væsentligt lavere end forventet (80 – 90 km/opladning). VCE har imidlertid kendskab til, at andre el-Berlingobrugere, end de her dokumenterede, kan nå betydeligt længere på en opladning, f.eks. De Grønne Bude, der kører op til 100 km/dag med en times ekstra ladning i frokostpausen og fuld opladning om natten.

Det store energiforbrug kan således hænge sammen med, at elbilerne først og fremmest er blevet sat ind, hvor transportbehovet er lavest, og hvor køremønstret fortrinsvist er Stop/Go-kørsel, således at man er sikker på, at elbilen er målopfyldende. For denne type kørsel skal man være mere bevidst om anvendelse af den regenerative bremsning for derved at kunne få mere fornuftige energiforbrug.

	Berlingo, min.	Berlingo, max.	Saxo	AX	VW Lupo
El, forbrug (Wh/km)	338	438	256	209	
Benzinækv. forbrug [7] (km/l)	27	21	36	44	20 [9]
Brændselsomk. [8] (kr/km)	0,43	0,55	0,32	0,27	0,41

Fig. 6 Sammenligning af relative forbrug og brændselsomk. for flere typer elbiler og VW Lupo (3L).

Til sammenligning af elbilernes energiforbrug under praktiske forhold med seneste 3-Liters model (VW Lupo) ses i figur 6, at elbilernes energiøkonomi er væsentligt bedre end selv en af de mest energiøkonomiske ICE-drevne biler. Omregnet med dagens energipriser bliver fordelene dog mindre på grund af forholdsmæssige prisforskelle på de enkelte brændstoffer.

4. Kontinueret måling af strømforbrug under elbilkørsel

For at sandsynliggøre og tolke de tidligere nævnte resultater opnået gennem registrering af energiforbrug og kørselsart er der gennemført enkelte målinger af strømforbrug under mere veldefinerede kørselsforhold [10].

For vurdering af energiforbrug under forskellige køremønstre er der gennemført et antal kørsler i VCE's Citroën AX-elbil, hvor motorstrømmen er målt under kørslen ved hjælp en strømprobe og et bærbart oscilloskop, hvis måledata senere er overført til PC. Kørslen blev

gennemført over en 550 m strækning på lukket flisebelagt bane med variation af såvel acceleration som bremsning. Der er anvendt 3 typer acceleration:

- a: blød** - forsigtig acceleration langsommere end den normale trafikrytme
- b: normal** - økonomisk kørsel svarende til en typisk trafikant
- c: hård** - fuld acceleration med speederen i bund.

Disse accelerationsmetoder blev kombineret med 3 tilsvarende bremsningsmetoder:

- 1: fuld regenerering** - bilen bremses alene ved regenerativ bremsning
- 2: normal bremsning** – typisk bremsning med god udnyttelse af det regenerative system
- 3: hård opbremsning** - voldsom opbremsning, hvor der ”bliver stået på bremsen”

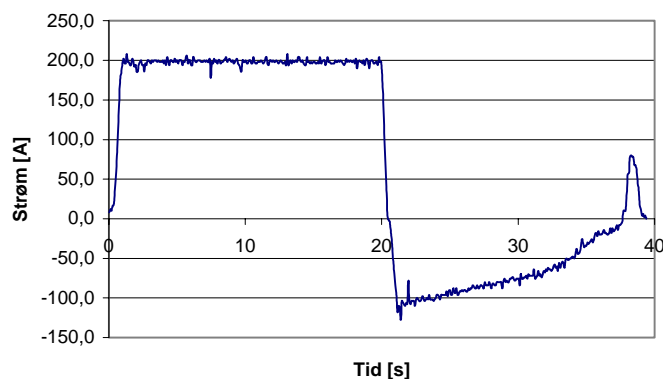


Fig 7. Elbilens motorstrøm ved tilstandene **c** og **1**.

I fig. 7 ses et eksempel på et sådant målt forløb i tilfældet fuld acceleration og standsning ved fuld regenerativ bremsning, dvs. c1. Bilen accelererer med speederen i bund, indtil bremsning sker ved fuld udnyttelse af det regenerative bremsesystem, indtil bilen stopper. Imidlertid er de fulde 550 m ikke nået, hvorfor der skulle lidt strøm til (spids ved ca. 38s) for at komme til enden af banen. Den maksimale acceleration opnås ved konstant 200 A, medens den regenerative bremsning sker ved maksimalt -110 A, men reduceres i takt med bilens reducerede hastighed således, at der opnås en behagelig opbremsning.

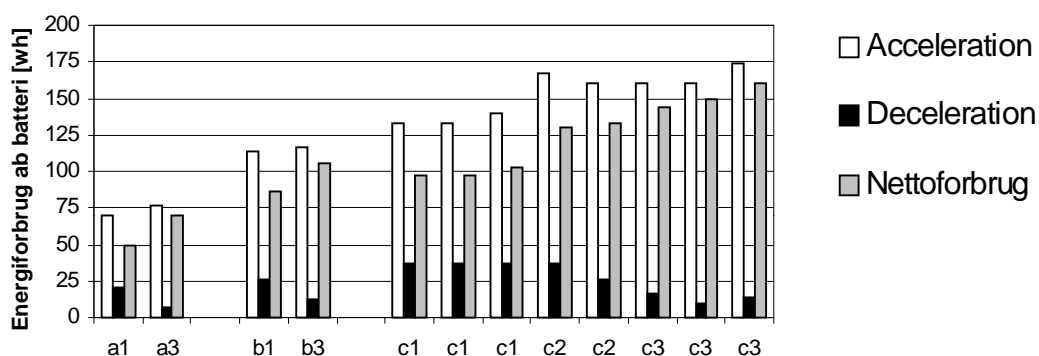


Fig. 8 Forbrug af ladning ved forskellige kørselsmåder over en kørestrækning på 550 m

Ud fra de gennemførte kørsler er strømmen integreret over accelerationsperioden og decelerationsperioden. Herved kan nettoforbruget til at køre de 550 m beregnes afhængigt af accelerations- og bremsningsmetode. I fig. 8 ses resultatet af kørsler med forskelle accelerations- og bremsningsmetoder. Under forudsætning af konstant spænding på batterierne (120V) opnås et forbrug over de 550m i situation **a1** (ikke praktisk relevant) på 50 Wh og i **c3**-situation et for-

brug på 150 Wh. Der er ikke i disse tal taget hensyn til tab i lader og ladning (skønnet til ca. 20%). Ved normal elbilkørsel svarende til **c2** skønnes ud fra disse målinger et forbrug på ca. 175 Wh/km, eller inkl. ladetab ca. 210 Wh/km. Ved disse målinger direkte på motorklemmerne ses således, at alt afhængigt af kørselsmåden vil forbruget på en Citroën AX, elbil, ligge mellem 100–350Wh/km med et forventeligt snit på ca. 210 Wh/km for den øvede elbilkører ved blandet kørsel. Normforbruget for Citroën AX er som tidligere nævnt 200 Wh/km.

5 Konklusion

Elbilen er forsat det eneste transportalternativ til effektiv afhjælpning af byernes luftforurening. Elbilen er væsentlig mere energiøkonomisk end tilsvarende ICE-drevne biler - selv de seneste 3-liters modeller har ikke bedre energiøkonomi. Den udbredte skepsis omkring elbilernes energiforbrug under praktiske forhold er vist at afhænge meget af køremønstre (Motorvej, Landevej, By, Stop/Go) og kørselsmåder (forsigtigt/aggressivt). I forhold til elbilernes normforbrug er det målt, at energiforbruget i praksis kan variere med en faktor 2. Samme tendens ses også for de mest energiøkonomiske ICE-drevne biler.

Ud fra bilernes normforbrug er der givet en detaljeret vurdering af elbilernes forurening via elfremstillingen til sammenligning med ICE-drevne biler. Samlet ses lavere emissionsforhold hvad angår HC og CO og ca. samme niveau for NO_x. Derimod forårsager den danske elproduktion, at elbilernes ækvivalente SO₂-emission er lidt større end for dieselmotorer. Dieselmotorerne har i nærmiljøet endvidere et partikeludslip, som stort set er bortfiltreret ved elproduktionen. Ud fra danske elproduktionsforhold har elbilerne et reduceret CO₂-udslip på 10-35% i forhold til tilsvarende ICE-drevne biler. Set ud fra et kommende elsalg med tilknyttede VE-beviser (Vedvarende Energi) kan man tale om fuldstændig emissionsfri kørsel med elbil.

På grund af den forbedrede energiøkonomi er der en driftsøkonomisk fordel ved elbil drift. Elbilerne er tillige fritaget for grønne afgifter og har reducerede forsikrings- og vedligeholdelsesomkostninger.

På baggrund af de behandlede erfaringer fremstår dagens elbil som et velegnet alternativ ikke kun som bybil, men også som pendlerbil med god kørselskomfort og lave kørselsomkostninger. På grund af elbilernes høje anskaffelsespris må der imidlertid yderligere initiativer til for at høste de dokumenterede energi- og miljøfordele.

6 Referencer

1. Kaj Jørgensen, *Sammenligning af emissioner mellem el-, benzin- og dieseldrift*. IBE, DTU, 1999.
2. Kaj Jørgensen: *Notat vedrørende systemtab for benzin og diesel (raffinerings, distribution)*. DTU, IBE, Lyngby, februar 1999.
3. VCE: *Elbilen på vej ud i det danske samfund*, VCE, juni 1999.
4. Sigurd Lauge Pedersen: *Hvor meget CO₂ kommer der ud af en kWh el brugt i en elbil?* Energistyrelsen, april 1999.
5. Godkendelsesmateriale vedr. benzindrevet Citroën Saxo og dieseldrevet Berlingo,
6. Normer for personbiler og varebilers emissioner, bl.a. EU 93/116-norm.
7. Nesa's kWh-pris august 2000: 1,27 kr/kWh.
8. Hjemmesider: Brændværdier: www.dong.dk; Benzinpris: www1.shell.com
9. Frans Villum, *Kostbar sparegris, Bilen*, juni Nr.6, 2000,
10. J. M. Pedersen, B.S. Dam: *Temperaturen og kørselsmådens indvirkning på elbilens rækkevidde*, Fagpakkeprojekt, ELTEK, DTU, 2000.