



Klimastatus og –fremskrivning 2021 (KF21):

Bilvalgsmodellen

Forudsætningsnotat nr. 1C-BVM

Opdateret april 2021

Kontor/afdeling
Systemanalyse

Dato
21-04-2021

J nr. 2020-14797

/MIH/JMOE

Indholdsfortegnelse

1. Modellens rolle i det samlede transportmodelkompleks	2
2. Metode og modelstruktur	2
2.1 Nyt empirisk grundlag	3
2.2 Implementering og overordnet struktur	3
2.3 Specifikation af nyttefunktionen	5
3. Kvalificering	7
3.1 Sammenligning med BF20	7
3.2 Usikkerhed	7
3.3 Planlagt udvikling frem mod KF22	7
4. Kilder	8
5. Appendiks	8
5.1 Matematisk-metodisk fundament	8

Energistyrelsen

Carsten Niebuhrs Gade 43
1577 København V

T: +45 3392 6700
E: ens@ens.dk

www.ens.dk



1. Modellens rolle i det samlede transportmodelkompleks

Personbilers energiforbrug udgør mere end halvdelen af energiforbruget i vejtransporten og står for over halvdelen af CO₂-udledningerne i vejtransporten. De seneste år har der politisk og samfundsmæssigt været stort og tiltagende fokus på nul- og lavemissionsbilers udbredelse og konkurrenceevne i forhold til konventionelle benzin- og dieslbiler.

I den kontekst har der været stor efterspørgsel på Energistyrelsens basisfremskrivning for personbilers energiforbrug og det bagvedliggende salg af og udviklingen i bestanden af nul- og lavemissionsbiler. Imidlertid er modellen, der hidtil har ligget til grund for Energistyrelsens fremskrivninger af personbilernes *energiforbrug*, ikke været udviklet med henblik på en selvstændig kvantitativ fremskrivning af *antal* personbiler i henholdsvis salg og bestand.

Bilvalgsmodellen og dens simple struktur, som indgik i de tidligere fremskrivninger (BF19 og BF20), var baseret på et empirisk og teoretisk ph.d.-studie [1]. Den daværende viden og datagrundlag for estimering af modeller for bilkøbernes præferencer var begrænset og modellen derfor forholdsvis simpel.

Den nye bilvalgsmodel er udviklet som en udløber af Energistyrelsens modelbidrag til arbejdet med "Kommissionen for grøn omstilling af personbiler" [2] og i samarbejde med bl.a. Transportministeriet, Skatteministeriet og Finansministeriet.

Modellen indgår i Energistyrelsens samlede modelapparat for vejtransportsektoren som et særskilt detaljeret modelmodul for personbiler, der modellerer og fremskrifter markedsandele for salget af nye personbiler. Der skelnes mellem 22 repræsentative biler klassificeret i 6 størrelsessegmenter og 4 teknologier (22 da teknologierne diesel og PHEV ikke er repræsenteret i mikro-segmentet).

Nærværende metodenotat redegør for strukturen i den nye bilvalgsmodel og det matematiske teorigrundlag. Forudsætningerne for anvendelsen af modellen i forbindelse med fremskrivningen er beskrevet i forudsætningsnotat nr. 5A Bilvalgsforudsætninger.

2. Metode og modelstruktur

I forhold til den tidligere bilvalgsmodel, omfatter den nye model flere detaljer om de biler, der vælges imellem i modellen. Modellens koefficienter er estimeret på et nutidigt og mere omfattende datagrundlag for (hypotetiske) valg mellem teknologier og segmenter. Der modelleres - udover mere detaljerede præferencer relateret til omkostninger og teknologier – nu også præferencer relateret til substitution på tværs af størrelsessegmenter. Da det empiriske grundlag for faktiske valg fortsat er meget begrænset, har det været nødvendigt at anvende koefficienter baseret på et Stated Preference studie.



2.1 Nyt empirisk grundlag

På initiativ af Energistyrelsen, Transportministeriet og Finansministeriet blev der i foråret 2020 igangsat et nyt projekt med henblik på udvidelse og forbedring af den empiriske viden om bilkøberes præferencer for teknologier i forbindelse med valg af ny bil. Grundlaget for modellen er en måling udført som en spørgeskemaundersøgelse ("Stated Preference"). På baggrund af spørgeskemaundersøgelsen er der opstillet en matematisk model for bilkøbernes vægtning af en række karakteristika ved personbiler. Projektet er udført af DTU Management [3].

Energistyrelsens nye bilvalgsmodel er en let modificeret version af den af DTU estimerede model for vægtning af forbrugerens præferencer. Sammenlignet med den tidligere anvendte bilvalgsmodel er det en udvidet og mere avanceret model baseret på en omfattende og tidssvarende spørgeskemaundersøgelse.

2.2 Implementering og overordnet struktur

Den teoretiske ramme for bilvalgsmodellen er en såkaldt "Discrete Choice Model" baseret på "Random Utility Theory" af typen "Multinomial Logit".

I valget mellem alternativerne (bilerne) er nytten (eller "brugsværdien") repræsenteret ved en "systematisk nytte" for hver enkelt bil udtrykt ved en vægтет sum over karakteristika ved de biler, der kan vælges i mellem. Alternativerne er overordnet beskrevet ved bilens størrelse s og bilens teknologi t , hvor

$$s \in S = \{Mikro, Lille, Mellem, Stor, Premium, LuksusOgSport\}$$

og

$$t \in T = \{Benzin, Diesel, PHEV, BEV\}$$

PHEV betegner plugin-hybrid biler ("Plugin Hybrid Electric Vehicle") og BEV er elbiler ("Battery Electric Vehicle").

Den systematiske nytte V_{st}^y for en bil i året y med størrelse s og teknologi t er i den aktuelle model udtrykt generisk ved den matematiske form:

$$V_{st}^y = \sum_{k \in K} \beta_k \cdot X_{stk}^y$$

hvor β_k er vægtningskoefficienter (eller marginale nytter) for de omfattede karakteristika $k \in K$. X_{stk}^y er værdien af den pågældende karakteristika i året y for en bil i segmentet s og med teknologi t .

Til illustration beregnes markedsandelene P_{st}^y i den simpleste version som en såkaldt "Joint Multinomial Logit"-model:

$$P_{st}^y = \frac{\exp(V_{st}^y + ASC_{st})}{\sum_{s_{itl}} \exp(V_{s_{itl}}^y + ASC_{s_{itl}})}$$

Konstanterne ASC_{st} er såkaldte kalibreringskonstanter, som tvinger modellen til at gengive observerede markedsandele i basisåret.

Den faktiske estimering og implementering af modellen er af typen "Mixed Logit" involverende såkaldte "Error Components" og korrelation på tværs af segmenter og teknologier. I appendiks 5.1 gives en overordnet introduktion til sådanne modeller.

De karakteristika K ved bilerne, som indgår i bilvalgsmodellen, fremgår af tabel 1 sammen med værdien for den estimerede og anvendte vægtningskoefficient.

Tabel 1: Bilvalgsmodellens vægtningskoefficienter

Karakteristika, K	Koefficient, β_k	Værdi	Enhed
Omkostninger			
Anskaffelsespris	$\beta_{purchase}$	-6,874e-6	1/kr.
Faste årlige omkostninger	β_{annual}	-1,2310e-4	1/(kr./år)
Anvendelses omkostning	$\beta_{operation}$	-0,5928	1/(kr./km)
Tekniske			
Rækkevidde på el	β_{range}^{BEV}	0,0031	1/km
	β_{range}^{PHEV}	0,3045	1/ln(km)
CO2-emssion	β_{CO2}	-0,0032	1/(g/km)
Acceleration	$\beta_{acceleration}^y$	-0,0311	1/(sek. til 100 km/t)
Baggagerumsstørrelse	$\beta_{bootsize}$	0,1721	-
	$\beta_{bootsize,0}$	-0,1474	-
Opladeinfrastruktur			
Afstand fra bolig til oplader	$\beta_{HomeDist}$	-0,000473	1/m
Ledighedsfrekvens	$\beta_{HomeAvailability}$	0,3469	1/(ud af 4)
Privat oplademulighed	$\beta_{PrivateCharge}^{BEV}$	1,8806	-
	$\beta_{PrivateCharge}^{PHEV}$	1,5600	-
Afstand mellem opladere	$\beta_{FastDist}$	-0,000111	1/km
Ledighedsfrekvens	$\beta_{FastVacant}$	0,3469	1/(ud af 4)
Opladningshastighed	$\beta_{FastSpeed}$	0,0042	1/(km per 10 min)
Øvrige			
Sortiment	$\beta_{sortiment}$	1	-
Kalibrering	ASC_{st}	Kalibreres	-



2.3 Specifikation af nyttefunktionen

Specifikationen af det matematiske nytteudtryk er en smule mere kompleks end det umiddelbart fremgår af den generiske form ovenfor. For at simplificere præsentationen af nytteudtrykket opdeles specifikationen i flere nyttekomponenter, som angivet med fed skrift i tabel 1, hvorved den samlede nyttefunktion er sammensat således:

$$V_{st}^y = V_{st,Cost}^y + V_{st,Technical}^y + V_{st,HomePrivate}^y + V_{st,SlowPublic}^y + V_{st,FastPublic}^y + V_{st,Sortiment}^y$$

2.3.1 Omkostninger

Det første led er nytten (eller dis-nyttens) ved omkostningerne og har den matematiske struktur:

$$V_{st,Cost}^y = \beta_{purchase}^y \cdot X_{st,purchase}^y + \beta_{annual}^y \cdot X_{st,annual}^y + \beta_{operation}^y \cdot X_{st,operation}^y$$

dvs. en sammenvægtning af anskaffelsespris, faste årlige omkostninger samt omkostninger forbundet med anvendelse.

2.3.2 Tekniske bilkarakteristika

Det andet led er nytten af tekniske bilkarakteristika og har den matematiske struktur:

$$V_{st,Technical}^y = \delta_{t=BEV} \cdot \beta_{range}^{BEV} \cdot X_{st,range}^y + \delta_{t=PHEV} \cdot \beta_{range}^{PHEV} \cdot \ln(X_{st,range}^y) + \beta_{CO2} \cdot X_{st,CO2}^y + \beta_{acceleration} \cdot X_{st,acceleration}^y + \beta_{bootsize} \cdot X_{st,bootsize}^y + \beta_{bootsize,0}$$

hvor $\delta_{t=BEV}$ er lig 1 såfremt teknologien t er BEV og 0 ellers. Tilsvarende er $\delta_{t=PHEV}$ lig 1 såfremt teknologien t er PHEV og 0 ellers. For teknologierne BEV og PHEV udskilles således nytten af elektrisk rækkevidde (relativt til nytten af rækkevidden for en konventionel bil).

2.3.3 Opladeinfrastruktur

Repræsentationen af den offentligt tilgængelige opladeinfrastruktur er opdelt i langsomme ("Slow Charger") opladningsmuligheder i forbindelse med længerevarende parkering ved bopæl (eller arbejdsplads) og hurtige ("Fast Charger") opladningsmuligheder i forbindelse med længere køreture, hvor opladning kan være påkrævet undervejs.

Langsom opladeinfrastruktur

Kvaliteten af den offentligt tilgængelige ("Slow") opladeinfrastruktur relateret til parkering ved bopæl (eller arbejdsplads) er karakteriseret ved afstanden mellem parkeringen ved bopæl/arbejdsplads og opladerens placering samt ledighedsfrekvensen for opladerne.

Der skelnes i nyttespecifikation for denne infrastruktur mellem, hvorvidt bilkøberen har mulighed for privat hjemmeopladning eller ej. Såfremt en bilkøber har mulighed for privat opladning, udtrykkes dette i specifikationen af nytten ved en indikator, $\delta_{PrivateCharge}^y$, som så er lig med 1 for en bilkøber med privat opladningsmulighed, og 0 ellers.

Modellen antager, i overensstemmelse med DTU's estimering af modellens koefficienter for denne opladeinfrastruktur, at det udelukkende er bilkøbere der *ikke* har privat opladning, som har nytte af den offentligt tilgængelige opladeinfrastruktur relateret til parkering. Nyttens af offentlig tilgængelig opladningsinfrastruktur relateret til parkering tilordnes for BEV- og PHEV-teknologierne således nytten:

$$V_{st,SlowPublic}^y = (1 - \delta_{PrivateCharge}^y) \cdot \delta_{t=BEV,PHEV} \cdot (\beta_{HomeDist}^y \cdot X_{st,HomeDist}^y + \beta_{HomeAvailability}^y \cdot X_{st,HomeAvailability}^y)$$

Privat opladning

Nytten af privat opladningsmulighed tilordnes for BEV- og PHEV-teknologien nytten:

$$V_{st,HomePrivate}^y = \delta_{PrivateCharge}^y \cdot (\delta_{t=BEV} \cdot \beta_{PrivateCharge}^{BEV} + \delta_{t=PHEV} \cdot \beta_{PrivateCharge}^{PHEV})$$

Hurtig opladeinfrastruktur

De hurtige oplademuligheder (på det overordnede vejnet) i forbindelse med længere ture er antaget alene at bidrage til nytten for BEV-teknologien:

$$V_{st,FastPublic}^y = \delta_{t=BEV} \cdot \left(\begin{array}{l} \beta_{FastDist}^y \cdot X_{st,FastDist}^y \\ + \beta_{FastVacant}^y \cdot (X_{FastVacant}^y - 4) \\ + \beta_{FastSpeed}^y \cdot X_{st,FastSpeed}^y \end{array} \right)$$

Sortiment

Hver af de 22 biltyper repræsenterer i virkelighedens verden en række serier, modeller og varianter. Der er således flere muligheder, M_{st}^y , for at vælge en bil indenfor hver kombination af segment og teknologi, hvor der i dag er væsentligt flere konventionelle biler end nul- og lavemissionsbiler at vælge i mellem i hvert segment. I logit-modellens nytte udtrykkes denne ulige fordeling ved:

$$V_{st,Sortiment}^y = \beta_{Sortiment}^y \cdot \ln(M_{st}^y)$$

Det bemærkes, at dette nytteelement er en tilføjelse til DTU's nyttespecifikation. Betydningen af sortiment indgik ikke i DTU's spørgeskemaundersøgelse og dermed ikke en del af DTU's estimering af koefficienter for vægtning af øvrige bilkarakteristika.

Kalibrering

Modellen kalibreres med kalibreringskonstanter ("Alternative Specific Constants", ASC) således, at modellen i referenceåret gengiver den observerede salgfordeling i dette år. På trods af betegnelsen "konstanter" kan disse ikke forudsættes uændrede i fremskrivningsårene. Konstanterne udtrykker den gennemsnitlige bilkøbers værdisætning af forhold og bilkarakteristika, som ikke indgår i den systematiske nytte, og der har for nuværende ikke været empirisk eller metodisk grundlag for at repræsentere dette mere eksplicit.

3. Kvalificering

3.1 Sammenligning med BF20

Sammenlignet med den tidligere bilvalgsmode er den nye bilvalgsmode mere detaljeret hvad angår repræsentation af omkostningselementer, tekniske karakteristika og karakterisering den offentlige tilgængelige opladeinfrastrukture betydning for bilvalget. Metodisk indbefatter den nye model et simultant valg mellem alle segmenter og alle teknologier, hvorved modellen tillader forskydninger på tværs af både segmenter og teknologier. I den tidligere bilvalgsmode blev segmentfordelingen fastholdt i fremskrivningsperioden og forskydninger i bilvalget foregik alene mellem teknologier.

Et væsentligt aspekt er desuden, at modellens repræsentation af opladeinfrastrukturens betydning for eventuelle valg af nul- og lavemissionsbiler, i modsætning til den tidligere model, kan relateres til en kvantitativ karakterisering omfattende antal, typer og afstande mellem opladere. Der redegøres nærmere for dette i forudsætningsnotat nr. 5A Bilvalgsforudsætninger.

3.2 Usikkerhed

Angående usikkerheder vedrørende metode og vægtningskoefficienter, som indgår i den nye bilvalgsmode, henvises til dokumentation offentliggjort af DTU [3].

3.3 Planlagt udvikling frem mod KF22

Der er p.t. ikke planer for videreudvikling.

4. Kilder

[1]: Ph.d.-studie, "Assessing the Impact of Direct Experience on Individual Preferences and Attitudes for Electric Vehicles", Anders Fjendbo Jensen, DTU Management (2014).

[2]: "Delrapport 1: Veje til grøn bilbeskatning", Kommissionen for grøn omstilling af personbiler, Finansministeriet (2020).

[3]: "Analyse af indfasning af elbiler: SP metode og model", Anders Fjendbo Jensen, Mikkel Thorhauge, Stefan Eriksen Mabit og Jeppe Rich, DTU management (2020).

5. Appendiks

5.1 Matematisk-metodisk fundament

Den nye bilvalgsmodel, som DTU har estimeret, er matematisk mere avanceret end den matematiske form anvendt i den tidligere model, nemlig en standard MNL-model ("Multi-Nomial Logit"-model). I en standard MNL-model er andelen eller sandsynligheden P_{st}^y for at en bilkøber i året y vælger en bil med størrelse s og teknologi t matematisk udtrykt ved:

$$P_{st}^y = \frac{e^{(V_{st}^y + ASC_{st})}}{\sum_{s't'} e^{(V_{s't'}^y + ASC_{s't'})}}$$

Den nye model er af typen "Mixed Logit", hvor sandsynlighederne, P_{st}^y , er udtrykt på en integralform omfattende en vægtning over såkaldte "Error Components". Dette medfører bl.a. en mere generel matematisk form for sandsynlighedsfunktionen, P_{st}^y , end den simple MNL-form. Der skal ikke her redegøres i detalje for teorien og matematikken bag den nye bilvalgsmodel, idet der henvises til DTU's dokumentation [3] samt den faglige litteratur på området. Her forsøges blot at give et overblik.

Sandsynlighederne er i "Mixed Logit"-modellen givet ved et integral-udtryk:

$$P_{st}^y = \int \frac{e^{(V_{st}^y + \varphi_{st} + ASC_{st})}}{\sum_{s't'} e^{(V_{s't'}^y + \varphi_{s't'} + ASC_{s't'})}} \cdot f(\bar{\varphi}_{st}) \cdot d\bar{\varphi}_{st}$$

hvor $f(\bar{\varphi}_{st})$ er en vægtningsfunktion for fejl-komponenterne φ_{st} .

Ofte antages φ_{st} at være normalfordelte og i praksis evalueres integralet ved en sum af formen:

$$P_{st} = \frac{1}{R} \cdot \sum_{r \in R} \frac{e^{-(V_{st}^y + \varphi_{str} + ASC_{st})}}{\sum_{c \in C_{st}} e^{-(V_{stc}^y + \varphi_{stcr} + ASC_{stc})}}$$

hvor "fejl-leddene" φ_{str} trækkes fra normalfordelinger med middelværdier og spredninger, som er estimeret for modellen på det indsamlede datagrundlag fra spørgeskemaundersøgelsen.

I den af DTU estimerede model er "fejl-leddet" adskilt i komponenterne:

$$\varphi_{st} = \varphi_s + \varphi_t$$

hvor henholdsvis φ_s og φ_t er stokastiske normalfordelte "Error Components" med middelværdi 0 og spredninger σ_s og σ_t hørende til henholdsvis segment s og teknologi t :

$$\varphi_s \sim N(0, \sigma_s)$$

og

$$\varphi_t \sim N(0, \sigma_t)$$

De respektive "Error Component's" er marginale fordelinger i en simultan normalfordeling, som tillader korrelation imellem dem. For at beskrive den simultane fordeling benyttes såkaldte Cholesky-faktorer.