



## Klimastatus og –fremskrivning 2022 (KF22): Bilvalgsmodellen

Forudsætningsnotat nr. 1C-BVM

**Kontor/afdeling**  
Systemanalyse

**Dato**  
08-04-2022

**J nr.** 2021-15863

/MIH/JMOE

### Indholdsfortegnelse

1. Modellens rolle i det samlede transportmodelkompleks .....	2
2. Metode og modelstruktur .....	2
2.1 Empirisk grundlag.....	2
2.2 Implementering og overordnet struktur .....	3
2.3 Specifikation af nyttefunktionen .....	4
3. Kvalificering .....	7
3.1 Sammenligning med KF21 .....	7
3.2 Usikkerhed .....	7
3.3 Planlagt udvikling frem mod KF22 .....	7
4. Kilder .....	7
5. Appendiks .....	7
5.1 Matematisk-metodisk fundament .....	7

#### **Energistyrelsen**

Carsten Niebuhrs Gade 43  
1577 København V

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

[www.ens.dk](http://www.ens.dk)



## 1. Modellens rolle i det samlede transportmodelkompleks

Personbilers energiforbrug udgør mere end halvdelen af energiforbruget i vejtransporten og er ligeledes ansvarlig for over halvdelen af CO<sub>2</sub>-udledningerne i vejtransporten. Derfor har der de seneste år været et 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 fremskrivning af personbilers energiforbrug og de bagvedliggende fremskrivninger af salget og udviklingen i bestanden af nul- og lavemissionsbiler. Imidlertid var modellen, der lå til grund for Energistyrelsens tidligere fremskrivninger af personbilernes *energiforbrug*, ikke udviklet med henblik på en selvstændig kvantitativ fremskrivning af *antal* personbiler i henholdsvis salg og bestand.

Derfor er der udviklet en ny bilvalgsmodel, som første gang kom i anvendelse i forbindelse med KF21. Udviklingen skete som en udløber af Energistyrelsens modelbidrag til arbejdet med "Kommissionen for grøn omstilling af personbiler" [1] og i samarbejde med bl.a. Transportministeriet, Skatteministeriet og Finansministeriet.

Modellen indgår i Energistyrelsens samlede modelapparat for vejtransportsektoren som et særskilt modelmodul for personbiler, der fremskriver markedsandele for salget af nye personbiler. Der skelnes mellem 22 repræsentative biler klassificeret i 6 størrelsessegmenter og 4 teknologier (ikke 24, men kun 22, da teknologierne "diesel" og "PHEV" ikke er repræsenteret i mikro-segmentet).

Dette metodenotat redegør for strukturen i bilvalgsmodellen og det matematiske teorigrundlag. Forudsætningerne for anvendelsen af modellen i forbindelse med fremskrivningen er beskrevet i forudsætningsnotat nr. 4A-Bilvalgsforudsætninger.

## 2. Metode og modelstruktur

Modellen omfatter en række detaljer om de biler, der vælges imellem, og modellens koefficienter er estimeret på et nutidigt og omfattende datagrundlag for (hypotetiske) valg mellem teknologier og segmenter. Der modelleres detaljerede præferencer relateret til omkostninger og teknologier, samt 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 Empirisk grundlag

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 [2].



Energistyrelsens bilvalgsmodel er en let modificeret version af den af DTU estimerede model for vægtning af forbrugers præferencer.

## 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 vægtet 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 plug-in hybridbiler ("Plugin Hybrid Electric Vehicle") og BEV er rene 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  $\beta_k$  er vægtningskoefficienter (eller marginale nykker) 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 Multinomial Logit-model, hvor der simultant vælges mellem alle alternativer:

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

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, $\beta_k$	Værdi	Enhed
<b>Omkostninger</b>			
Anskaffelsespris	$\beta_{purchase}$	-6,874e-6	1/kr.
Faste årlige omkostninger	$\beta_{annual}$	-1,2310e-4	1/(kr./år)
Anvendelses omkostning	$\beta_{operation}$	-0,5928	1/(kr./km)
<b>Tekniske</b>			
Rækkevidde på el	$\beta_{range}^{BEV}$	0,0031	1/km
	$\beta_{range}^{PHEV}$	0,3045	1/ln(km)
CO2-emssion	$\beta_{CO2}$	-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	-
<b>Opladeinfrastruktur</b>			
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)
<b>Øvrige</b>			
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:

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

#### Privat opladning

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



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

### Hurtig opladeinfrastruktur

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

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

I forhold til DTU's modelspecifikation er der tilføjet et led for betydningen af hurtigladerens ledighedsfrekvens. Denne antages at indgå med samme koefficient som for de langsomme offentligt tilgængelige ladestandere. I den oprindelige specifikation forudsattes det, at hurtigopladerne altid var ledige, svarende til værdien 4. Nyttens svarende hertil er derfor fratrukket i ovenstående udtryk for at forskyde referencepunktet.

### 2.3.4. Øvrige

#### 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 er 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 salgsfordeling 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 KF21

Der er ikke lavet ændringer i modellen siden dens anvendelse ved udarbejdelse af KF21

### 3.2 Usikkerhed

Angående usikkerheder vedrørende metode og vægtningskoefficienter, som indgår i bilvalgsmodellen, 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]: Delrapport 1: Veje til grøn bilbeskatning, Kommissionen for grøn omstilling af personbiler, Finansministeriet (2020).

[2]: "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:

$$P_{st}^y = \int \frac{e^{(v_{st}^y + \varphi_{st} + ASC_{st})}}{\sum_{c|t} e^{(v_{st}^y + \varphi_{st} + ASC_{st})}} \cdot f(\bar{\varphi}_{st}) \cdot d\bar{\varphi}_{st}$$

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

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

$$P_{st} = \frac{1}{R} \cdot \sum_{r \in R} \frac{e^{-(v_{st}^y + \varphi_{str} + ASC_{st})}}{\sum_{c|t} e^{-(v_{st}^y + \varphi_{st} + ASC_{st})}}$$

hvor "fejl-leddene"  $\varphi_{str}$  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  $\varphi_s$  og  $\varphi_t$  er stokastiske normalfordelte "Error Components" med middelværdi 0 og spredninger  $\sigma_s$  og  $\sigma_t$  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.