



Indhold

1.	Vejtransportmodellens rolle.....	2
1.1.	Metodisk beregning af energiforbruget i vejtransporten	3
1.1.1.	Lastbiler, varebiler, busser og motorcykler	3
1.1.2.	Personbiler	5
1.1.3.	Grænsehandel.....	5
2.	Personbilsmodellen	7
2.1.	Bilbestandsmodellen	7
2.2.	Bilvalgsmodellen	10
3.	Forudsætninger for vejtransporten.....	15
3.1.	Fordeling af nye lastbiler, varebiler, busser og motorcykler	19
3.2.	Forudsætninger og karakteristika i Personbilsmodellen	20
Bilag 1: Modellen FLEETSIZE.....		28
Bilag 2: Matematisk-metodisk fundament for Bilvalgsmodellen		30
Referencer:.....		32

1. Vejtransportmodellens rolle

Vejtransportmodellen indgår i Klima-, Energi- og Forsyningsministeriets transport-model FREM, der videre indgår i det overordnede energisystem, hvor det samlede danske energiforbrug beregnes.

Vejtransportmodellen beregner energiforbruget på tværs af de 5 køretøjstyper samt en særskilt kategori for grænsehandel med brændstof:

- Personbiler
- Varebiler
- Lastbiler
- Busser
- Motorcykler
- Grænsehandel

Inden for de enkelte køretøjskategorier behandler fremskrivningen køretøjerne forskelligt på tværs af drivmiddel og vægtklasse. Foruden inddelingen i de fem ovenstående kategorier, er køretøjstyperne i FREM derfor yderligere opdelt efter drivmiddelteknologi, størrelsessegment og alder, jf. tabel 1.1.

Tabel 1.1

Køretøjstyper og kategorisering efter drivmiddelteknologi, størrelse og alder.

Køretøjstyper	Drivmiddelteknologi	Segment	Alder
Personbiler	Benzin	- Mikro	0 år (nysalg) – 75 år
	Diesel	- Lille	
	Gas	- Mellem	
	Plug-in hybrid (PHEV)	- Stor	
	El (BEV)	- Premium	
	Brint	- Luksus og Sport	
Varebiler	Benzin	Ingen størrelsesdifferentiering	0 år (nysalg) – 75 år
	Diesel		
	Gas		
	Plug-in hybrid (PHEV)		
	El (BEV)		
Lastbiler	Diesel	Diesel og gas: - TT/AT 24-34t - TT/AT 34-40t - TT/AT 40-50t - TT/AT 50-60t - TT/AT >60t - Sololastbil < 12t - Sololastbil > 12t	0 år (nysalg) – 75 år
	Gas		
	El (BEV)		
	Brint		
		Brint og el: - TT/AT - Sololastbil	
Busser	Brint	Ingen størrelsesdifferentiering	0 år (nysalg) – 75 år
	Diesel		
	Gas		
	El		
Motorcykler	Benzin	Ingen størrelsesdifferentiering	0 år (nysalg) – 75 år
	El		

1.1. Metodisk beregning af energiforbruget i vejtransporten

Udviklingen i energiforbruget fastlægges på baggrund af en fremskrivning af trafikarbejdet, der ganges med køretøjernes tilhørende energiintensiteter. Tilgangen til fremskrivning af trafikarbejdet varierer mellem de enkelte køretøjstyper. Fremskrivning af trafikarbejdet beskrives nedenfor.

Derudover indgår alle udledninger knyttet til salg af brændstoffer inden for landets grænser i det samlede energiforbrug, uanset om brændstoffet efterfølgende føres ud af landet i tanken på et køretøj og dermed forbruges i et andet land. Forbruget af brændstoffer, der transporteres over grænsen, indgår derfor i klimafremskrivningen som nettogrænsehandlen. Nettogrænsehandlen beregnes i Grænsehandelsmodellen ud fra prisforskelle på brændstoffer i hhv. Danmark og Danmarks nabolande og sammensætningen af køretøjsbestande i hhv. Danmark og Danmarks nabolande.

1.1.1. Lastbiler, varebiler, busser og motorcykler

Udviklingen i energiforbruget for lastbiler, varebiler, busser og motorcykler fastlægges ud fra en fremskrivning af hver køretøjstypes trafikarbejdet og de dertilhørende energiintensiteter.

Trafikarbejdet beregnes med udgangspunkt i den statistisk opgjorte bilbestand, som sammen med årskørsler fordelt på køretøjstyper giver et samlet trafikarbejde i basisåret. Trafikarbejdet i basisåret fremskrives efterfølgende med en række eksogent givne vækstrater, hvor vækstraterne for varebiler og lastbiler er fremskrevet i Grøn Mobilitetsmodel (GMM) ud fra en lang række transportøkonomiske variable, mens de for busser og motorcykler er baseret på historiske vækstrater. Alle inputparametre er beskrevet i de efterfølgende afsnit. Tilgangen skitseres som følgende:

For erhvervsvarer, lastbiler, busser og motorcykler kan tilgangen skitseres som følgende:

A. Beregning af det samlede trafikarbejde i fremskrivningsårene, opdelt på køretøjstyper

- Trafikarbejdet i fremskrivningsårene skønnes ved at fremskrive trafikarbejdet i basisåret med eksogene vækstrater. Trafikarbejdet i basisåret beregnes ud fra den opgjorte bestand og deres årskørsler.

Herefter fordeles trafikarbejdet i fremskrivningsårene inden for hver køretøjstype på størrelse, teknologi og alder. For alle køretøjstyper foregår dette gennem to trin. Først beregnes trafikarbejdet for eksisterende køretøjer (B), dernæst beregnes trafikarbejdet for nye køretøjer (C).

B. Beregning af trafikarbejde for eksisterende køretøjer

- Den overlevende bestand i fremskrivningsåret beregnes ud fra den eksisterende bestand samt de eksogene overlevelseshaster. Det fremskrevne trafikarbejde fra den eksisterende køretøjer, som er blevet et år ældre, kan dermed beregnes ud fra årskørslerne og tidligere års trafikarbejde.

C. Beregning af trafikarbejde for nye køretøjer

- Trafikarbejde for nye køretøjer estimeres som det tilbageværende trafikarbejde efter beregningen af trafikarbejdet for eksisterende køretøjer. Fordelingen og antallet af nye køretøjer bestemmes med afsæt i de eksogene årskørsler og skønnede fordelinger af nye køretøjer på vægtklasse og drivmiddel. Metoden for fordelingen af nye køretøjer er beskrevet i kapitel om forudsætninger for vejtransporten.

Efter trafikarbejdet er fordelt på de forskellige køretøjer, beregnes energiforbruget ud fra køretøjernes energiintensitet. For at sikre konsistens mellem fremskrivningen og energistatistikken tages der udgangspunkt i det statistiske energiforbrug fremskrevet med vækstraterne for det beregnede energiforbrug. Dette kan skitseres som:

D. Beregning af energiforbrug

- I B og C er der fremskrevet et trafikarbejde fordelt på køretøjer på tværs af drivmidler og vægtklasser. På baggrund af køretøjets alder er det tildelt en årskørsel. Ud fra køretøjets alder, drivmiddel og vægtklasse kan det tildeles en årskørsel og en energiintensitet, der er givet eksogent.
- Med køretøjernes årskørsler og energiintensiteter kan udviklingen i energiforbruget fra vejtransporten beregnes. Denne udvikling anvendes til den endelige fremskrivning af energiforbruget, da de er forudsætninger i en bottom-up beregning.
- Energiforbruget fremskrives med den estimerede udvikling og kalibreres til Energistatistikens senest opgjorte energiforbrug.

Afslutningsvist kan antallet af erhvervsvarebiler, lastbiler, busser og motorcykler bestemmes ud fra trafikarbejdet og årskørslerne. For varebiler i husholdningerne er den historiske trend i nysalg fortsat i fremskrivningsperioden. Udviklingen i bestanden er herefter bestemt ud fra den eksisterende bestand i det seneste statistikår, det fremskrevne nysalg og overlevelseshaster. Trafikarbejdet og efterfølgende energiforbruget er da bestemt i en bottom-up beregning på baggrund af årskørsler og energiintensiteter.

1.1.2. Personbiler

Fremskrivningen af energiforbruget og trafikarbejdet for personbiler er baseret på en fremskrivning af personbilsbestanden, som foretages i en særskilt fremskrivningsmodel, Personbilsmodellen, der beskrives i det følgende kapitel.

1.1.3. Grænsehandel

Nettoeksporten af grænsehandel med transportbrændstoffer udgør forskellen mellem salget og forbruget af brændstof i Danmark. Der gælder således at

$$\text{Salg i } DK_{\text{år } t} = \text{Forbrug i } DK_{\text{år } t} + GH_{\text{år } t},$$

hvor $GH_{\text{år } t}$ udgør nettoeksporten fra Danmark i år t . Salget af brændstoffer i Danmark opgøres i Energistyrelsens Energistatistik.

Fremskrivningen af grænsehandel opdeles på (i) benzinpersonbiler, (ii) dieselpersonbiler og (iii) diesellastbiler. For hver af disse opstilles fremskrivningen som:

$$GH_{\text{år } t} = GH_{\text{basisår}} \cdot F + \Delta \text{Prisforskel}_{\text{ift. basisår}} \cdot GH\text{-prisfølsomhed} \cdot F$$

hvor

$$F = \frac{\text{Antal fossile køretøjer}_{\text{år } t}}{\text{Antal fossile køretøjer}_{\text{basisår}}},$$

beskriver udviklingen i antallet af køretøjer i den givne køretøjskategori i perioden fra basisåret til året t .

Den estimerede grænsehandel for basisåret, $GH_{\text{basisår}}$, baserer sig på skøn fra Skatte- og Vækstministeriets benzin- og dieselmmodel. Det vil dog være relevant, at udgangspunktet for den samlede grænsehandel på tværs af køretøjskategorier konsolideres med udgangspunktet for brændstofforbruget, jf. at $\text{Salg i } DK_{\text{basisår}} = \text{Forbrug i } DK_{\text{basisår}} + GH_{\text{basisår}}$.

Fremskrivningen for grænsehandel til år t , $GH_{\text{år } t}$, tager højde for to elementer:

Det første led i formlen ovenfor fremskriver den estimerede grænsehandel for basisåret, $GH_{\text{basisår}}$, med udviklingen i antallet af køretøjer i den givne køretøjskategori i perioden, F . Det bemærkes, at der heri ikke sker en særskilt fremskrivning af antal grænsekrydsninger, idet det implicit forudsættes, at udviklingen i antallet af grænsekrydsninger følger udviklingen i antallet af køretøjer i den givne køretøjskategori.

Det andet led korrigerer for effekten af den forventede udvikling i prisforskellen på brændstof købt i Danmark og udlandet mellem basisåret og år t ,

$\Delta \text{Prisforskel}_{ift. \text{ basisår}}$.

Udviklingen i prisforskellen mellem Danmark og udlandet ganges med skønnet prisfølsomhed for grænsehandlen, *GH-prisfølsomhed*. Prisfølsomheden er et mål for, hvor meget grænsehandlen i basisåret påvirkes af en prisændring. Dette led fremskrives ligeledes med udviklingen i antallet af køretøjer i den givne kategori for at tage højde for udviklingen i grænsehandel i perioden.

Begrundelsen for denne model er, at grænsehandlen både påvirkes af, hvad der sker i Danmark, men i høj grad også af, hvad der fremadrettet sker i landene omkring os, som kan påvirke tankningsmønstre især for den tunge transport. Fremskrivningen tager derfor bl.a. højde for afgiftsforskelle mellem Danmark og en række europæiske lande. Da vores nabolande er underlagt samme overordnede regulering fra EU's side, er det også en antagelse, at nettoeffekten af den løbende implementering af EU's direktiver mv. ikke giver anledning til de store grænsehandelsudsving på den lange bane.

Grænsehandelsmodellen uddybes yderligere i Skatte- og Vækstministeriets modelnotat offentliggjort i forbindelse med KF26.

2. Personbilsmodellen

Personbilsmodellen består af to delmodeller, Bilbestandsmodellen og Bilvalgsmodellen. Modellerne fremskriver størrelsen af den samlede personbilsbestand, det samlede salg af personbiler samt fordelingen af bestanden og salget på teknologier og størrelser.

Når fremskrivningen af personbilsbestanden foreligger, beregnes trafikarbejdet ud fra køretøjernes årskørsler. For at sikre konsistens i fremskrivningen af vejtransportens samlede trafikarbejde foretages en justering af udviklingen i det beregnede trafikarbejde for personbiler, jf. afsnit om forudsætninger for vejtransporten. Til sidst omregnes trafikarbejdet til et energiforbrug vha. køretøjernes energiintensitet.

Bestanden af nysalget fremskrives i bilbestandsmodellen, mens den eksisterende bestand bestemmes ud fra eksogene overlevelsesserater på tilsvarende vis som for den øvrige vejtransport. Forskellen mellem den fremskrevne bestand og den overlevende bestand fra forrige periode tilskrives nye køretøjer, som fordelt i bilvalgsmodellen samt brugtvognsimport. Trafikarbejdet beregnes derved ud fra den fremskrevne bestands årskørsler og energiforbruget med køretøjernes tildelte energiintensitet. Bestanden og salget af personbiler er karakteriseret ved 6 størrelsessegmenter, 4 drivmiddelteknologier samt bilernes alder.

2.1. Bilbestandsmodellen

Modellen og metoden, som anvendes ved fremskrivning af bestanden og salget af personbiler, er baseret på parametre i DTU's model FLEETSIZE [1], der beskriver den historiske udvikling i bilbestanden. FLEETSIZE er en regressionsmodel af typen "Autoregressive Distributed Lag" og er estimeret på tidseriedata fra 1976 - 2018. De forklarende tidserier omfatter:

- Omkostning ved køb af bil (CAPEX)
- Årlige omkostninger ved bilejerskab (OPEX)
- Bruttonationalproduktet (BNP)
- Befolkningens størrelse (POP)

Den estimerede model angiver en beregnet efterspurgt "ligevægtsbilbestand". Ligevægtsbestanden øges med faldende priser på køb af bil og med faldende omkostninger ved bilejerskab. Ligeledes forøges bilbestanden med stigende befolkning (POP) og stigende BNP per indbygger (BNP/POP).

For at kunne anvende FLEETSIZE til fremskrivninger er det nødvendigt at forudsætte en udvikling i de ovenfor omtalte tidsserier, der indgår i modellen. I det følgende defineres og redegøres for den metodiske tilgang til fremskrivning af henholdsvis CAPEX og OPEX. BNP og POP er eksogene forudsætninger.

Omkostning ved køb af bil (CAPEX)

CAPEX antages i klimafremskrivningen at følge købsprisindekset for nye biler justeret relativt til det generelle forbrugerprisindeks. Der lægges i modellen til grund, at den fortsatte udvikling i omkostningen ved køb af bil følger den gennemsnitlige årlige udvikling siden 2004. På den måde afspejler antagelsen den generelle udvikling i forbrugerens oplevede omkostning ved køb af ny bil.

Det bemærkes, at CAPEX i den estimerede model repræsenterer omkostningen ved anskaffelse af bil, uanset om det er en ny eller en brugt bil. Det er antaget, at prisen på nye og brugte biler er proportionale. Et procentvist fald i prisen på nye biler antages således at give anledning til et tilsvarende procentvis fald i priserne på brugtvognsmarkedet.

Det skal ligeledes bemærkes, at eventuelle niveauforskelle på tværs af drivmiddel-teknologiernes anskaffelsespris ikke afspejles i fremskrivningen.

Årlige omkostninger ved bilejerskab (OPEX)

Den årlige omkostning ved bilejerskab omfatter anvendelsesrelaterede omkostninger til eksempelvis brændstof og elektricitet samt faste årlige omkostninger, som er uafhængig af, hvor meget bilen anvendes. I fremskrivningen lægges det til grund, at OPEX følger købsprisindekset for drift af personlige transportmidler justeret til det generelle forbrugerprisindeks. Der lægges i modellen til grund, at den fortsatte udvikling i omkostningen ved anvendelse af bil følger den gennemsnitlige årlige udvikling siden 2004. På den måde afspejler antagelsen den generelle udvikling i forbrugerens oplevede omkostning ved ejerskab af bil.

Det bemærkes, at eventuelle renter og afdrag forbundet med finansiering af bilerne medregnes ikke.

Implementering af FLEETSIZE i Personbilsmodellen

FLEETSIZE er udviklet af DTU og er implementeret i Personbilsmodellen uafhængigt af øvrige input. Fremskrivningen af bilbestanden afhænger dels af variabelernes værdi i fremskrivningsåret, men også af værdierne for de to foregående år forud for det aktuelle fremskrivningsår. Der er i bilag 1 redegjort yderligere for implementeringen.

I det følgende gennemgås, hvorledes FLEETSIZE indgår i den samlede model for fremskrivning af bestanden af personbiler og det hermed forbundne salg af biler.

Det samlede salg af biler (brugtvognsimport og nyregistrerede biler) i år $y + 1$ (fremskrivningsåret), S^{y+1} beregnes som forskellen mellem den fremskrevne ligevægtsbestand, B^{y+1} , og den bilbestand fra året før, som stadig er i brug, OB^{y+1} , og dermed fortsat er en del af den samlede ligevægtsbestand:

$$(1) S^{y+1} = B^{y+1} - OB^{y+1}$$

Den samlede ligevægtsbestand beregnes i FLEETSIZE:

$$(2) B^{y+1} = FLEETSIZE[CAPEX^{y+1}, OPEX^{y+1}, BNP^{y+1}, POP^{y+1}, CAPEX^y, \dots]$$

og den tilbageværende bestand, OB^{y+1} , beregnes med overlevelsesrater, σ_{sta} , som angiver hvor stor en andel af bestanden fra året før i et givet segment, s , med en given teknologi, t , og en given alder, a , som fortsat er i brug i fremskrivningsåret $y + 1$, hvor bilerne er blevet et år ældre:

$$(3) OB^{y+1} = \sum_{sta} \sigma_{sta} \cdot B_{sta}^y$$

Det beregnede samlede salg i året, S^{y+1} , fordeles på brugtvognsimpport, BI_{sta}^{y+1} , og nyregistrerede biler, NR_{st}^{y+1} :

$$(4) S^{y+1} = \sum_{st} NR_{st}^{y+1} + \sum_{sta} BI_{sta}^{y+1}.$$

Antallet af brugtvognsimpporterede personbiler følger af den seneste, statistik opgjorte brugtvognsimpport, $\overline{BI}_{sta}^{y_0}$. Udviklingen i størrelsen på brugtvognsimpporten nedjusteres frem mod 2035, og er dermed bestemt ved BI^{y+1} .

Brugtvognsimpporten har for perioden 2005 til 2015 været stabil omkring 12.500 importerede brugte personbiler. Med introduktionen af el- og PHEV-køretøjer er brugtvognsimpporten steget til over 25.000 i 2020 og over 85.000 i 2025, hvoraf elbiler udgør ca. 92 pct. Den fremskrevne samlede brugtvognsimpport antages at genfinde samme stabile niveau i 2035, hvor markedet for personbiler hovedsageligt udgøres af nulemissionskøretøjer. I fremskrivningen antages den fremskrevne samlede brugtvognsimpport derfor at være givet ved:

$$(5) BI^{y+1} = \begin{cases} \frac{12.500 - \sum_{sta} \overline{BI}_{sta}^{y_0}}{2035 - y_0} + \sum_{sta} BI_{sta}^y, & y \leq 2035 \\ 12.500, & y > 2035 \end{cases}.$$

Aldersfordelingen af brugtvognsimpporten varierer historisk på tværs af drivmidler. På den baggrund antages aldersfordelingen af den fremskrevne brugtvognsimpport, BI_{sta}^{y+1} , at følge en fordeling baseret på de historiske værdier for de enkelte drivmidler.

Herved fremkommer salgstallet af de nyregistrerede biler, NR_{st}^{y+1} , eller tilsvarende, den segment- og teknologidetajerede bestand af personbiler med alder $a = 0$, B_{st0}^{y+1} :

$$(6) NR^{y+1} = \sum_{st} B_{st0}^{y+1} = S^{y+1} + \sum_{sta} BI_{sta}^{y+1}$$

Fordelingen på drivmiddelteknologier og størrelser for nyregistrerede biler og brugt-vognsimport følger af de markedsandele, der beregnes i Bilvalgsmodellen. Bilvalgsmodellen blev udviklet af DTU i forbindelse med KF21 som en udløber af arbejdet med *Kommissionen for grøn omstilling af personbiler*, herefter kaldet Bilkommissionen.

Der skelnes mellem 22 repræsentative biler klassificeret i 6 størrelsessegmenter og 4 drivmiddelteknologier, hvor diesel og PHEV ikke er repræsenteret i mikro-segmentet.

2.2. Bilvalgsmodellen

I Bilvalgsmodellen skønnes en salgsfordeling på teknologier og størrelser på baggrund af en række tekniske bilkarakteristika, anskaffelses- og ejerskabsomkostninger samt udbuddet af modeller og infrastrukturen. I modellen er hvert størrelsessegment og drivmiddelteknologi tillagt en nytte og på denne baggrund skønner modellen en salgsfordeling. Parametrene i modellen omfatter bl.a. brændstofpriser, afgifter, energiintensitet, rækkevidde, acceleration og ladestanderinfrastruktur.

Forordning for CO₂-reduktionskrav for nye lette køretøjer af 9. juli 2025 er ligesom i KF25 alene indarbejdet i modellen ved, at der ikke vil indgå nye personbiler med forbrændingsmotor fra 2035. Kravene i henholdsvis 2025 og 2030 indgår ikke i direkte i forudsætningerne for modellen, da producenterne kan opfylde kravene på tværs af medlemslandene. Kravene indgår dog i skøn for udviklingen i energiintensiteterne, hvilket beskrives i afsnit om forudsætninger.

Empirisk grundlag for Bilvalgsmodellen

Det empiriske grundlag for modellen er et "Stated preference" studie udført af DTU [1], hvor der laves en spørgeskemaundersøgelse om et (hypotetiske) valg mellem teknologier og segmenter. Ud fra det empiriske grundlag er der opstillet en matematisk model for bilkøbernes præferencer relateret til omkostninger og teknologier og præferencer relateret til substitution på tværs af størrelsessegmenter. Ligeledes er modellens koefficienter for præferencerne estimeret.

Implementering og overordnet struktur for Bilvalgsmodellen

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

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

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 $k \in K$, og 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:

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

hvor konstanterne ASC_{st} er kalibreringskonstanter, som kalibreres så modellen gengiver 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.

Specifikation af nyttefunktionen i Bilvalgsmodellen

Specifikationen af den systematiske nytte er mere kompleks end det umiddelbart fremgår af den generiske form ovenfor, og det kan opdeles i en række nyttekomponenter:

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

Omkostninger

Det første led er nytten (eller dis-nyttens) forbundet med omkostningerne ved køb, anvendelse og fast årlige omkostninger, og har den matematiske struktur:

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

Tekniske bilkarakteristika

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

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

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).

Ladeinfrastruktur

For ladeinfrastrukturen skelnes mellem adgang til privat ladeinfrastruktur og offentlig tilgængelig ladeinfrastruktur, hvor den offentligt tilgængelige ladeinfrastruktur igen 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.

Ikke offentlig tilgængelig opladning

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

Nytten af hjemmeopladning beskrives for BEV- og PHEV-teknologien ved:

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

Langsom offentlig tilgængelig ladeinfrastruktur

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

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

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

Hurtig ladeinfrastruktur

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

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

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 ladepunkter. I den oprindelige specifikation forudsattes det, at hurtigopladerne altid var ledige, svarende til værdien 4. Nyttens svarende hertil er derfor fratrullet i ovenstående udtryk for at forskyde referencepunktet.

Sortiment

Hver af de 22 biltyper repræsenterer 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 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.

Tærskel-effekt for elbiler

I bilvalgsmodellen er der introduceret en tærskel-effekt, der baseres på teorien om kritisk masse. Den skal afspejle effekten, når ny teknologi introduceres og hvor flere mindre forandringer og omstændigheder akkumuleres, indtil en kritisk masse nås, hvorefter forandringen sker hurtigt med en hastig omstilling. Tærskel-effekten afspejler derved den akkumulerede effekt, som ikke er fanget i den tildelte nytte-værdi ved diverse karakteristika samt de effekter som bestemmes ved ASC-kalibreringen.

Effekten skal derved ses som en samfundsmæssig normændring og bestemmes ud fra den historiske udvikling i salgsandele for elbiler. I modellens nytte udtrykkes tærskel-effekten for elbiler ved:

$$V_{s, BEV, Tærskel}^y = \beta_{Tærskel} \cdot \rho_{s, BEV}^y$$

Effekten estimeres på baggrund af den historiske udvikling og estimeres ud fra en Sigmoid-funktion, hvorfor tærskel-effekten for elbiler kan udtrykkes ved:

$$\rho_{s,BEV}^y = \frac{1}{1 + e^{-\kappa(y-\bar{y})}},$$

hvor κ udtrykker væksthastigheden og $\bar{y}$ er året, hvor væksten er størst. Begge parametre bestemmes endogent i modellen ud fra de historiske observationer for perioden fra 2018 til seneste historiske år. For at tærskel-effektens størrelsesorden stemmer overens med de øvrige nyttelementer kalibreres effekten med vægtningskoefficienten $\beta_{Tærskel}$ således, at effekten følger de øvrige effekter i modellen. Koefficienten kalibreres på baggrund af den historiske udvikling.

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

Kalibrering

Bilvalgsmodellen kalibreres i basisåret med konstanter således, at modellen gengiver den observerede salgsfordeling i dette år. Konstanterne benævnes også Alternative Specific Constants (ASC), og kalibreres så modellen tager udgangspunkt i den observerede salgsfordeling i referenceåret.

Konstanterne repræsenterer idiosynkratiske præferencer hos bilkøberne, dvs. særegne og ikke-observerbare præferencer hos enkeltindivider, der adskiller sig fra den gennemsnitlige bilkøber samt kendte og/eller ukendte bilkarakteristika, som ikke indgår i specifikationen af den systematiske nytte.

Salgsfordelingen i Bilvalgsmodellens basisår er fremkommet ved aggregering af salgsdata fra Bilstatistik.dk til Bilvalgsmodellens segmenter og teknologier.

Bilvalgsmodellen kalibreres dermed til den observerede fordeling af bilsalget i basisåret efter bilvalgsmodellens 6 segmenter og 4 teknologier, hvilket resulterer i kalibreringskonstanter for hver kombination af segment og teknologi.

Vægtningskoefficienter i bilvalgsmodellen

De karakteristika K ved bilerne, som indgår i Bilvalgsmodellen, fremgår af tabel 2.1 sammen med værdien for den estimerede og anvendte vægtningskoefficient.

Tabel 2.1

Bilvalgmodellens vægtningskoefficienter

Karakteristika, K	Koefficient, β_k	Værdi	Enhed
Omkostninger			
Anskaffelsespris	$\beta_{purchase}$	$-6,874 * 10^{-6}$	1/kr.
Faste årlige omkostninger	β_{annual}	$-1,231 * 10^{-4}$	1/(kr./år)
Anvendelsesomkostninger	$\beta_{operation}$	-0,5928	1/(kr./km)
Tekniske			
Rækkevidde på el	β_{range}^{BEV}	0,0031	1/km
	β_{range}^{PHEV}	0,3045	1/ln(km)
CO ₂ -emission	β_{CO2}	-0,0032	1/(g/km)
Acceleration	$\beta_{acceleration}$	-0,0311	1/(sek. til 100 km/t)
Baggagerumsstørrelse	$\beta_{bootsize,0}$	0,1721	-
Ladeinfrastruktur			
Afstand fra bolig til oplader	$\beta_{Homedist}$	$-4,73 * 10^{-4}$	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	$\beta_{FastDist}$	$-1,11 * 10^{-4}$	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	-
Tærskelleffekt	$\beta_{Tærskel}$	Kalibreres	
Kalibrering	ASC_{st}	Kalibreres	-

Kilde: Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet & DTU [2].

3. Forudsætninger for vejtransporten

Køretøjsbestande

Køretøjsbestandene anvendes til beregning af trafikarbejdet i basisåret, som frem-skrivningen tager udgangspunkt i. De faktiske, statistisk opgjorte bestande af lastbi-ler, busser og motorcykler leveres af DTU. Bestandene er aggregeret på størrelse, teknologi og alder og tilpasses efterfølgende den opdeling, som indgår i FREM.

For personbiler og varebiler anvendes data indsamlet fra Bilstatistik.dk, som mulig-gør en mere detaljeret segmentopdeling end DTU's datasæt tillader.

Årskørsler

Danmarks Statistik analyserede i 2020 data for personbilers årskørsler med henblik på at vurdere, om der inden for de enkelte køretøjstyper og størrelser var forskel i

årskørslerne på tværs af teknologier. Konklusionen i analysen fra 2020 lød dengang, at der ikke var tilstrækkeligt grundlag til at afgøre, om årskørslerne for el- og plugin-hybridpersonbiler afviger signifikant fra årskørslerne for benzinpersonbiler. Denne analyse er opdateret af Transportministeriet, nu By-, Land- og Transportministeriet, på baggrund af nyeste synsdata og motorregister. By-, Land- og Transportministeriet vurderer, at der nu er tilstrækkeligt data til at fastsætte årskørsler for elpersonbiler, om end der ikke er tilstrækkeligt datagrundlag for at opgøre selvstændige årskørsler for plug-in-hybrider. Dermed antages forsat, at plug-in-hybrider kører lige så langt som benzinbiler inden for samme størrelsessegment.

Årskørsler for 1 år gamle personbiler fordelt på segment er vist i tabel 3.1. Efterfølgende falder årskørslerne 3,3 pct. som funktion af bilernes alder.

Tabel 3.1

Årskørsler for 1 år gamle personbiler, fordelt på størrelse og teknologier, km/år.

Størrelse	Benzin, plug-in-hybrider	Diesel	El
Mikro	12.500		13.000
Lille	14.000	21.000	18.000
Mellem	16.500	23.500	19.000
Stor	17.000	26.500	24.500
Premium	21.000	32.500	31.500
Luksus & Sport	9.000	21.000	16.500

Kilde: By-, Land- og Transportministeriet

Årskørslerne for lastbiler, varebiler og busser er dannet på baggrund af synsdata og leveret af DTU. De er opdelt på køretøjstype, størrelsessegment, teknologi og alder.

Årskørsler for øvrige køretøjer kan ses i tabel 3.2.

Tabel 3.2

Årskørsler for 1 år gamle køretøjer, fordelt på kategori, størrelse og teknologi, km/år.

Kategori	Størrelse	Diesel	Benzin	BEV, PHEV, Gas og Brint
Varebiler	Alle	27.000	17.500	22.000
Lastbiler	Solo	N/A	N/A	65.500
Lastbiler	Solo < 12t	36.000	N/A	36.000
Lastbiler	Solo > 12t	81.500	N/A	81.500
Lastbiler	TT/AT*	N/A	N/A	137.000
Lastbiler	TT/AT > 60t	147.000	N/A	147.000
Lastbiler	TT/AT 28-34t	80.000	N/A	80.000
Lastbiler	TT/AT 34-40t	131.500	N/A	131.500
Lastbiler	TT/AT 40-50t	145.000	N/A	145.000
Lastbiler	TT/AT 50-60t	163.000	N/A	163.000
Busser	Turistbus	47.000	N/A	47.000
Busser	Rutebus	130.500	N/A	130.500
Motorcykler	Alle	N/A	4.500	4.500

Anm: *TT/AT dækker over lastbiler med påhængsvogn og sættevognstrækkere.

Kilde: DTU 2020.

Vækstrater for trafikarbejdet

For lastbiler og varebiler er vækstraterne fastsat ud fra udviklingen i trafikarbejdet beregnet i Grøn Mobilitetsmodel (GMM). I forbindelse med udarbejdning af KF26 er der anvendt nye vækstrater fra GMM. Vækstraterne tager højde for *Aftale om kilometerbasret vejafgifter for lastbiler*. I forbindelse med *aftale om deludmøntning af grøn fond* er der udarbejdet et samlet skøn for effekten af en øget dieselaftgift og midlertidig nedsættelse af den kilometerbaserede vejafgift for lastbiler. De gennemsnitlige årlige vækstrater anvendt for lastbiler og varebiler i KF26 fremgår af tabel 3.3.

For busser og motorcykler antages vækstrater for trafikarbejdet ud fra skøn baseret på historisk udvikling i trafikarbejdet. For busser antages det på baggrund af den historiske udvikling, at trafikarbejdet for rutebusser er konstant, mens trafikarbejdet for øvrige busser antages at stige marginalt. De anvendte vækstrater fremgår ligeledes af tabel 3.3.

Tabel 3.2**Gennemsnitlige vækstrater (p.a.) for trafikarbejdet.**

Kategori	2021-2025	2025-2030	2030-2035	2035-2050
Varebiler	1,0 pct.	1,27 pct.	0,01 pct.	0,27 pct.
Lastbiler	-1,6 pct.	0,29 pct.	0,62 pct.	0,75 pct.
Busser	0,1 pct.	0,1 pct.	0,1 pct.	0,5 pct.
Motorcykler	0,5 pct.	0,5 pct.	0,5 pct.	0,5 pct.

Anm: De gennemsnitlige årlige vækstrater, opdelt på femårsintervaller. Da fremskrivningen af trafikarbejdet for varebiler, lastbiler, busser og motorcykler tager udgangspunkt i det beregnede trafikarbejde i 2021 går første interval fra 2021. For lastbiler er der negativ vækst i årene 2021-2025 grundet indførslen af den kilometerbaserede vejafgift i 2025.

Kilde: Vejdirektoratets nøgletalskatalog.

For personbiler tager fremskrivningen som beskrevet udgangspunkt i en fremskrivning af bilbestanden, hvorefter en udvikling i trafikarbejdet beregnes ved hjælp af årskørsler. For at sikre konsistens mellem Grøn Mobilitetsmodels fremskrivning af den overordnede udvikling i vejtransportens aktivitetsniveau, korrigeres personbilernes årskørsler således, at trafikarbejdet følger Grøn Mobilitetsmodels forventninger til udviklingen i personbilernes trafikarbejde.

Tabel 3.3**Gennemsnitlige vækstrater (p.a.) for trafikarbejdet.**

Kategori	2024-2025	2025-2030	2030-2035	2035-2050
Personbiler	1,7 pct.	1,0 pct.	0,5 pct.	0,5 pct.

Anm: De gennemsnitlige årlige vækstrater, opdelt på femårsintervaller.

Kilde: Vejdirektoratets nøgletalskatalog.

Overlevelsesrater

Overlevelsesraterne er for alle køretøjstyper etableret på baggrund af Motorregistret. Overlevelsesraterne for diesel- og benzinpersonbiler er kalibreret i forhold til den observerede udvikling i 2025. Tabel 3.5 viser middellevetiden på baggrund af de anvendte overlevelsesrater.

Tabel 3.4**Middellevetid for køretøjstyper.**

Køretøj	Middellevetid (år)
Personbiler	15,0
Varebiler	13,9
Lastbiler (> 12 ton)	10,3
Lastbiler (< 12 ton)	14,5
Rutebusser	10,7
Turistbusser	14,6

Kilde: Motorregistret

Energiintensitet

Energiintensiteter for årene til og med seneste statistikår leveres af DCE og opdateres årligt på baggrund af nyeste tilgængelige data.

Der estimeres efterfølgende en udvikling i energiintensiteterne, som anvendes i fremskrivningsperioden, baseret på vurderinger af den teknologiske udvikling, gældende regulering på EU-niveau samt trends i markedet for køretøjer.

Med udgangspunkt i data fra European Environment Agency indberettet i forbindelse med *Forordningen om CO₂-reduktionskrav for nye tunge køretøjer* og *Forordningen om CO₂-reduktionskravet for nye lette køretøjer* beregnes de seneste europæiske salgsvægtede typegodkendte CO₂-emissioner per km fordelt på teknologier. Det danner grundlaget for den påkrævede reduktion i forhold til CO₂-reduktionskravene. I beregningerne af energiintensiteterne lægges det til grund, at køretøjsleverandørerne vil investere i yderligere effektivisering af deres køretøjsportefølje, med henblik på at sikre overholdelse af reduktionskravene på tværs af alle medlemslande.

Det gøres med afsæt i prognoser for de europæiske markedsandele for nul- og lavemissionsbiler fra IEA's Global EV Outlook 2025, hvorfra den nødvendige energieffektivisering af benzin- og dieslbiler, som bilproducenterne må præstere for at opfylde CO₂-reduktionskravet, beregnes.

3.1. Fordeling af nye lastbiler, varebiler, busser og motorcykler

Fordeling af nye lastbiler

Fordelingen af nye lastbiler på teknologier og størrelser foretages med udgangspunkt i By-, Land- og Transportministeriets lastbilvalgsmode. Modellen er beskrevet i notatet "Dokumentation af lastbilvalgsmode – version 4", der lægges på hjemmesiden under øvrigt materiale i forbindelse med udgivelsen af KF26. I fremskrivningen tages højde for den gældende regulering.

I forbindelse med anvendelsen af lastbilvalgsmodellen til fremskrivning af salgsfordelingen i KF26 er der foretaget en oversættelse af modellens 9 lastbilklasser og 8 drivlinetyper til klassificeringen anvendt i Klimafremskrivningens modelsetup baseret på tekniske karakteristika og vægt.

Fordeling af nye varebiler

Fordelingen af nye varebiler er generelt bestemt ud fra *Forordning fra CO₂-reduktionskrav for nye lette køretøjer*. Forordningen stiller krav til producenterne om at omstille salget af varebiler således, at udledningerne fra nye varebiler reduceres med 50 pct. i 2030 og 100 pct. i 2035 sammenlignet med 2021.

Hertil er de årlige salgsandele for elvarebiler i KF26 blevet opjusteret ift. KF25 på baggrund af observerede salgsandele til at følge en S-kurve frem mod 2035.

Fordeling af nye busser

For busser baserer den forventede teknologifordeling sig på antagelser ud fra industriens egne forventninger til udviklingen. Fremskrivningen tager højde for de senest indgåede aftaler, som har betydning for den grønne omstilling af busser.

Der sker en inddragelse af trafikselskabernes forventninger til fremtidige udbud af busdrift i fastlæggelsen af indfasningen af nye teknologier i fremskrivningen. Trafikselskaberne har igangsat en grøn omstilling af den offentlige kollektive bustrafik. I den grønne omstilling af den offentlige kollektive bustrafik er det særligt rutebusser i byerne, der ses først omstillet. Dette indgår via dialog med branchen i vurderingen af fordelingen af nye køretøjer og salgsandelene fastsættes ud fra en vægtning af selskabernes planer og mål.

I EU's *Forordningen for CO₂-reduktionskrav for nye tunge køretøjer* fremgår desuden, at alle nye bybusser i 2035 skal være nulemission, med et delmål på 90 pct. i 2030. Dertil følger turistbusser samme reduktionskrav som for lastbiler. Reduktionskravet indgår ligeledes i antagelserne for fordelingen af nye busser.

Fordeling af nye motorcykler

For motorcykler er omstillingen til el fortsat begrænset. I modellen er der antaget en høj overlevelseshastighed for motorcykler, da de historisk har lange levetider. Det gør, at omstillingsperioden er betydeligt længere end for øvrige køretøjstyper.

I fremskrivningen antages en mindre vækst i elektrificering af motorcykler med afsæt i den historiske udvikling. Der er ingen regulering på hverken nationalt eller EU-niveau, som sætter reduktionskrav til udledningerne fra motorcykler.

3.2. Forudsætninger og karakteristika i Personbilsmodellen

Andel af plug-in hybridbilers kørsel på el

Andelen af plug-in hybridbilers årskørsel, som forventes tilbagelagt ved brug af el frem for konventionelle brændstoffer, anvendes til beregning af brændstofforbruget

for plug-in hybridbiler. Det antages, at henholdsvis 30 pct. af køretøjets årskørsel anvender el og 70 pct. anvender benzin på baggrund af en rapport fra COWI udgivet i februar 2022¹.

Studiet fra COWI er udført på vegne af Vejdirektoratet, og er foretaget på konkrete danske biler under danske forhold. I rapporten når COWI frem til et brændstofforbrug, angivet som km/liter (jf. tabel 8 i rapporten), på 15,2 km/liter for en benzinbil og 21,0 – 23,7 km/liter for en plug-in hybrid bil. Det vurderes, at dette svarer til en kørsel på el på omkring 28–36 pct. Det antages på den baggrund, at plug-in hybridbiler kører 30 pct. af deres kørsel på el.

Anskaffelsespris

Anskaffelsesprisen ved køb af en bil i et givent år er resultatet af bilens pris før afgift og den for året gældende registreringsafgift.

Prisen før registreringsafgift for basisåret er dannet med udgangspunkt i et datasæt fra Motorregistret med detaljeret information om bilmærker, -serier og -varianter solgt i Danmark, herunder oplysninger om før-afgiftspriser og salgstal. Prisen før registreringsafgift dækker over produktionsprisen plus omkostninger hos bilimportør og bilforhandler samt avance i de tre led producent, importør og forhandler.

For benzin- og dieselmotorer fastholdes prisen før registreringsafgift, da markedet herfor er veludviklet, og der ikke forventes væsentlige ændringer i produktionsprisen.

Fremskrivningen af prisen før registreringsafgift for el- og plug-in hybridbiler dækker over forskellige udviklingsforløb for produktionsprisen samt for omkostninger og avancer i de forskellige led. Udviklingen af de enkelte elementer er forbundet med stor usikkerhed, hvoraf udviklingen i produktionsprisen, herunder batteriprisen, slår mest igennem.

Fremskrivningen af priserne blev udarbejdet i forbindelse med Bilkommissionen i 2020, og fremskrivningen i Bilvalgsmodellen bygger derfor grundlæggende på de samme forudsætninger, som Bilkommissionens prisudviklingen.

Den samlede pris før registreringsafgift på el- og plug-in hybridbiler forudsættes at falde med en fast årlig andel til en minimumspris relativt til benzinbiler. For elbiler og plug-in hybridbiler antages en reduktion i den samlede pris før registreringsafgift med hhv. ca. 3 pct. p.a. og ca. 1,5 pct. p.a. med en minimumspris på 10 pct. under prisen for en benzinbil i samme segment.

¹ COWI (2022), *Brændstofforbrug for plug-in hybridbiler*, COWI, https://api.vejdirektoratet.dk/sites/default/files/2022-06/Br%C3%A6ndstofforbrug%20for%20plug-in%20hybridbiler_wcaq.pdf

Produktionsprisen for plug-in hybridbiler antages dermed som følge af den dobbelte drivlinje med både en forbrændingsmotor og elmotor på længere sigt at være højere end tilsvarende konventionelle biler.

Prisen betinges af den langsigtede forventning til prisen på benzinbiler ud fra en antagelse om, at benzinbiler vil være det primære konkurrerende drivmiddel frem mod 2035.

Der henvises til Bilkommissionens første delrapport for yderligere detaljer forbundet med forudsætninger for prisudviklingen for el- og plug-in hybridbiler, herunder for de enkelte priselementer.

I fremskrivningen af bilpriserne skønnes der ikke over en eventuel effekt, som *Forordningen om CO₂-reduktionskravet for nye lette køretøjer* potentielt kan have på priserne af de forskellige teknologier og størrelser.

Omkostninger ved ejerskab

De årlige omkostninger omfatter ejeravgift og forsikringsomkostninger samt udligningsafgift for dieselmotorer. Omkostningerne forbundet med ejeravgift og udligningsafgift beregnes i modellen på baggrund af bilernes NEDC brændstoffeffektivitet for biler indregistreret før 1. juli 2021 og CO₂-udledning for biler indregistreret 1. juli 2021 og frem sammen med fremskrivningsårenes gældende afgiftstakster.

Anvendelsesomkostninger

Anvendelsesomkostningen for bilerne baseres på en faktisk energieffektivitet i kombination med priser på brændstof og elektricitet. Anvendelsesomkostningen er variabel og afhænger af det enkelte køretøjs årskørsel.

Elbilere forventes i betydeligt omfang at tilslutte sig abonnementsordninger med kombinationer af en fast månedlig ydelse og en fast pris på forbrug - eventuelt med fri opladning. Omkostninger forbundet med opladning bliver dermed en sammenvægtning af både en årlig omkostning ved ejerskab og en anvendelsesomkostning.

I anvendelsesomkostningen tillægges yderligere en kilometerbaseret omkostning forbundet med vedligehold/slitage. De anvendte antagelser for vedligehold- og slitageomkostninger tager afsæt i de opgjorte omkostninger fra FDM, opgjort i deres årlige opdaterede bilbudget, der baserer sig på servicekontrakter. Satserne fremgår af sektorforudsætningsnotatet.

Elektrisk rækkevidde

I modelleringen indgår forudsætninger om rækkevidden på elektricitet for el- og plug-in hybridbiler. Rækkevidderne i basisåret er baseret og skønnet på baggrund af data fra Bilstatistik.dk, hvor der er anvendt elektrisk rækkevidde for de i basisåret solgte el- og plug-in hybrid-modeller. Det bemærkes, at rækkevidderne angiver den maksimalt opnåelige rækkevidde under WLTP testforhold. Den faktiske oplevede

rækkevidde afhænger af kørestil og kørselsmønster samt ikke mindst af klimatiske forhold som omgivelsestemperatur og luftfugtighed.

For elbiler i det mindre segment, hvor rækkevidden i dag er relativ lav, forudsættes den teknologiske udvikling at medføre en relativt større stigning i rækkevidden sammenholdt med elbiler i de større segmenter.

Der antages en udvikling i den elektriske rækkevidde på hhv. 4 pct., 3 pct. og 2 pct. i perioden frem til 2025, 2025-2030 og 2030-2035 for *Mikro*, *Lille* og *Mellem* segmenterne. For *Stor*, *Premium* og *Luksus & Sport* er der antaget hhv. 3 pct., 2 pct. og 2 pct. i perioden frem til 2025, 2025-2030 og 2030-2035. For PHEV er antages en udvikling for alle størrelsessegmenter på hhv. 5 pct., 4 pct. og 2 pct. i perioden frem til 2025, 2025-2030 og 2030-2035. Antagelsen følger af Bilkommissionen og skal afspejle en moderat teknologisk udvikling. Efter 2035 holdes den elektriske rækkevidde fast.

Acceleration

I Bilvalgsmodellen indgår indflydelsen af bilernes acceleration som en præferenceparameter. I fremskrivningen er der ikke antaget ændringer i bilernes accelerationer over tid og disse fastholdes for hvert segment og teknologi på tilordningerne som vist i tabel 3.6.

Tabel 3.6

Personbilernes forudsatte acceleration, sekunder til 100 km/t.

Størrelse	Benzin	Diesel	PHEV	BEV
Mikro	13	13	10	10
Lille	13	13	9	9
Mellem	13	13	8	8
Stor	11	11	8	8
Premium	9	9	7	7
Luksus og sport	9	9	6	6

Kilde: DTU [2].

Selvom bilernes acceleration fastholdes over tid, har parameteren betydning for det simultane valg på tværs af både segmenter og teknologier. Antagelser omkring personbilernes acceleration er beregningsteknisk fastsat i forbindelse med arbejdet til Bilkommissionen og skal afspejle de tekniske forskelle mellem størrelserne og drivmidler.

Baggagerumsstørrelse

I Bilvalgsmodellen indgår endvidere betydningen af, i hvilket omfang bilerne kan medbringe bagage. Modellen skelner mellem 5 kategorier: Meget lille, Lille, Mellem,

Stort og Ekstra stort bagagerum, hvor kategorierne er tilknyttet de numeriske værdier: 1, 2, 3, 4 og 5.

I fremskrivningen forudsættes bilernes bagagerumsstørrelse ikke at ændre sig over tid og fastholdes for hvert segment og teknologi på tilordningerne som vist i tabel 3.7.

Tabel 3.7

Bagagerumsstørrelse angivet ved numerisk værdi.

Størrelse	Benzin	Diesel	PHEV	BEV
Mikro	1	1	1	1
Lille	2	2	2	2
Mellem	3	3	3	3
Stor	4	4	4	4
Premium	5	5	5	5
Luksus og sport	5	5	5	5

Kilde: DTU [2].

Selvom størrelsen af bagagerummene ikke ændrer sig over tid, har parameteren betydning for Bilvalgsmodellens simultane valg på tværs af både segmenter og teknologier. Antagelser omkring personbilernes bagagerumsstørrelse er beregnings-teknisk fastsat i forbindelse med arbejdet til Bilkommissionen og skal afspejle de tekniske forskelle mellem størrelserne og drivmidler.

Ladeinfrastruktur

Den offentligt tilgængelige ladeinfrastruktur har indflydelse på udbredelsen af elbiler og indgår som en parameter i Bilvalgsmodellen. Jo bedre mulighederne er for at oplade en elbil i det offentlige rum, des flere bilejere vil kunne få dækket deres kørselsbehov med en elbil.

Forudsætningerne for og karakteriseringen af ladeinfrastrukturen er i historiske år baseret på By-, Land- og Transportministeriets opgørelser. Det bemærkes, at data ikke nødvendigvis er fuldstændige, og at der er usikkerhed omkring disse opgørelser.

I Bilvalgsmodellen skelnes der mellem langsomme ladepunkter (Slow Chargers, <50 kW) og hurtige ladepunkter (Fast Chargers, >= 50 kW).

Fremskrivningen af antallet af ladepunkter er baseret på en beregning udarbejdet af By-, Land- og Transportministeriet. Beregningen tager bl.a. udgangspunkt i andel af etagebyggeri og erfaringer fra ladeinfrastrukturen i Norge, som kortlagt i en kommende analyse fra By-, Land- og Transportministeriet.

Udbydere af offentligt tilgængelig ladeinfrastruktur har planer for udbygning af deres respektive ladenetværk de kommende år, ligesom traditionelle tankstationer i stigende grad forventes at tilbyde opladningsmuligheder. Udbygningen af ladeinfrastrukturen understøttes af flere politiske tiltag, herunder blev der i forbindelse med *Aftale om infrastrukturplan 2035* og *Udmøntning af pulje til grøn transport* afsat midler til investeringer i den offentligt tilgængelige ladeinfrastruktur. Endvidere er kommunernes og regionernes muligheder for at medfinansiere, og dermed fremme, opsætningen af offentligt tilgængelige ladepunkter forbedret med *Aftale om regulering af ladestandermarkedet*. Fremskrivningen af ladeinfrastrukturen og den forudsatte vækst i udbygningen afspejler bl.a. disse politiske aftaler og afsatte midler. Endeligt vil implementeringen af *AFIR-direktivet* understøtte en fortsat udbygning af infrastrukturen.

Den kvantitative opgørelse af ladeinfrastrukturen er ikke nødvendigvis den samme som bilkøbernes opfattelse af ladeinfrastrukturen. I det følgende redegøres for, hvorledes den forudsatte vækst i offentligt tilgængelige ladeinfrastruktur er omsat til, hvordan udviklingen i infrastrukturen forventes at blive opfattet af bilkøberne.

Den offentligt tilgængelige ladeinfrastruktur har størst betydning for den andel af bilkøberne, som ikke har mulighed for opstilling af ladestander på privat grund, hvilket By-, Land- og Transportministeriet estimerer til 40 pct. baseret på data fra Transportvaneundersøgelsen.

Afstand mellem bolig og offentlig tilgængelige ladepunkter

Bilkøberens opfattelse af afstanden, $D_{i \in (Slow, Fast)}^y$, mellem boligen eller arbejdspladsen og placeringen af den langsommere eller hurtige parkeringsopladning beregnes endogent i modellen og antages at falde med den forudsatte udbygning af ladeinfrastrukturen og dermed antallet, $N_{i, location}^y$, af opladelokaliteter i fremskrivningssåret, således at:

$$D_i^y = D_i^{2019} \cdot \left(\frac{N_{i, location}^{2019}}{N_{i, location}^y} \right)$$

Det forudsættes således, at opfattelsen af afstanden aftager omvendt proportionalt med antallet af opladelokaliteter. I forbindelse med estimationen af bilvalgsmodellen fastsættes opfattelsen af afstanden i 2019, D_{Slow}^{2019} , beregningsteknisk til 1500 meter og D_{fast}^{2019} til 100 km.

Ledighedsfrekvens for offentligt tilgængelige ladepunkter

Ledighedsfrekvensen ved offentligt tilgængelige ladestationer er i Bilvalgsmodellen knyttet til antallet af offentligt tilgængelige ladepunkter (oplademuligheder ved ladepunkter) sammen med efterspørgslen på opladning foranlediget af den aktuelle bestand af elbiler.

Ledighedsfrekvensen, $\omega_{i \in (Slow, Fast)}^y$, beregnes endogent i modellen og antages at skalere lineært med antallet af opladepunkter, $N_{i, point}^y$, per antal opladelokaliteter, $N_{i, location}^y$, og omvendt proportionalt med BEV-bestanden, B_y , i fremskrivningsåret y således, at:

$$\omega_i^y = \omega_i^{2019} \cdot \left(\frac{N_{i, point}^y / N_{i, location}^y}{N_{i, point}^{2019} / N_{i, location}^{2019}} \right)^\kappa \cdot \left(\frac{B_{2019}}{B_y} \right)^\chi$$

Eksponenterne κ og χ er "elasticiteter", som er sat til henholdsvis $\kappa = 1$ og $\chi = 1/2$. Opfattelse af ledighedsfrekvensen i 2019, ω_i^{2019} , vurderes og fastsættes til 25 pct.

Opladehastighed for offentlig tilgængelige ladepunkter (hurtige) på det overordnede vejnet

Opladehastigheden for de hurtige ladepunkter udtrykkes i modellen ved det antal rækkeviddekilometer, som kan opnås ved opladning på 10 minutter, og er skønnet på baggrund af oplysninger fra FDEL [4]. En effekt på 50 kW giver typisk omkring 35 kilometer ved 10 min opladning, mens superladere med ladeeffekter på over 200 kW giver mulighed for op mod 200 km ved 10 minutters opladning.

Med en forventet udbredelse af "Fast Chargers", men også "Extra Fast Chargers" og "Ultra Fast Chargers", vil den gennemsnitlige opladehastighed på det overordnede vejnet generelt forøges.

Elbiler i de forskellige segmenter ventes ikke at få ligelig gavn af en generel gennemsnitlig forøgelse af ladeeffekten ved hurtig opladning, idet ikke alle elbiler vil være udstyret med dertil indrettet teknologi og batteri. Den påkrævede teknologi ventes hovedsageligt udbredt i de større bilsegmenter.

Dette forhold er i forudsætningerne afspejlet ved en forudsat maksimal opnåelig opladehastighed i segmentet, jf. tabel 3.8. Ligeledes afspejles dette i den forudsatte gennemsnitlige opladehastighed for segmenterne i 2019.

Tabel 3.8

Opladehastigheder ved hurtigladere, km. pr. 10 min. opladning.

Størrelse	Maksimal ladehastighed	Gennemsnitlig ladehastighed	2019	2025	2030	2035
Mikro	45	+ 10 pct. p.a.	35	45	45	45
Lille	80		35	62	80	80
Mellem	175		35	62	100	160
Stor	200		40	71	114	180
Premium	250		45	80	128	205
Luksus og sport	250		45	80	128	205

Kilde: DTU [2]

Opladehastigheden, X_s^y , beregnes dermed som:

$$X_s^y = \min[X_s^{\max}, X_s^{2019} \cdot (1 + \rho)^{(y-2019)}]$$

hvor $X_s^{\max}$ er den maksimale opladningshastighed og ρ er væksten p.a. i den gennemsnitlige opladehastighed ift. basisåret opladningshastighed i 2019 er X_s^{2019} .

Sortiment

I Bilvalgsmodellen indgår udover ovennævnte karakteristika for bilerne også det forhold, at der er betydelig forskel i sortimentet mellem de forskellige teknologier.

Hver af de 22 biltyper, der indgår i Bilvalgsmodellen, repræsenterer en række mærker, serier, modeller og varianter og dermed muligheder for at vælge inden for hver kombination af segment og teknologi. Der er i dag fortsat flere konventionelle biler end nul- og lavemissionsbiler at vælge i mellem i hvert segment og derfor mange flere kombinationsmuligheder.

Fastsættelsen af forholdet i sortiment af sammenlignelige modeller mellem på den ene side el- eller plug-in hybrid-bilmodeller og på den anden side konventionelle bilmodeller er baseret på salgsdata for basisåret fra Bilstatistik.dk.

Forholdet mellem el- og plug-in hybrid-bilmodeller relativt til konventionelle biler forudsættes at ændre sig betydeligt således, at forholdet i 2028 opleves som 1 til 1 for begge teknologier. Antagelsen baserer sig på den observerede markedsudvikling, samt bilproducenternes yderligere forventning om et markant antal nye el- og plug-in hybridmodeller og –serier inden for de nærmeste år. Ligeledes indgår en forventning om, at en række konventionelle bilmodeller udgår.

For segmenter hvor enten el- eller plug-in hybrid-bilmodeller udgør et større udbud end for det tilsvarende segment af konventionelle biler, fastholdes det gældende forhold i hele fremskrivningen.

Bilag 1: Modellen FLEETSIZE

Den fuldstændige specifikation og Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet implementering af FLEETSIZE i forbindelse med fremskrivningen har den matematiske form:

$$\ln\left(\frac{B^{y+1}}{POP^{y+1}}\right) = (1 + c_1) \cdot \ln\left(\frac{B^y}{POP^y}\right) + c_2 \cdot \ln\left(\frac{B^{y-1}}{POP^{y-1}}\right) + c_3 \cdot \ln\left(\frac{BNP^{y+1}}{POP^{y+1}}\right) + c_4 \cdot \ln\left(\frac{BNP^y}{POP^y}\right) + c_5 \cdot \ln(CAPEX^{y+1}) + c_6 \cdot \ln(CAPEX^y) + c_7 \cdot \ln(OPEX^{y+1}) + c_8 \cdot \ln(OPEX^y) - C_{basis} + C_{ref}$$

I Klima-, Energi- og Forsyningsministeriets model er FLEETSIZE implementeret i den anbefalede "kapitaltilpasnings"-version med restriktioner på parametrene c_i :

$$c_1 = \left(\frac{c_2 \cdot c_3}{c_4} - \frac{c_4}{c_3} - 1\right), \quad c_6 = \frac{c_5 \cdot c_4}{c_3}, \quad \text{og} \quad c_8 = \frac{c_7 \cdot c_4}{c_3}$$

Værdierne for de nødvendige parametre med kapitaltilpasnings-specifikationen fremgår af nedenstående tabel B1.

Tabel B1	
Koefficienter i FLEETSIZE	
Parameter	Værdi
c_2	-0,513
c_3	0,233
c_4	-0,166
c_5	-0,160
c_7	-0,095
c_8	-0,004

Kilde: DTU

Konstanten C_{basis} indekserer de indgående variable til 1 i basisåret, $basis$:

$$C_{basis} = (1 + c_1) \cdot \ln\left(\frac{B^{basis}}{POP^{basis}}\right) + c_2 \cdot \ln\left(\frac{B^{basis-1}}{POP^{basis-1}}\right) + c_3 \cdot \ln\left(\frac{BNP^{basis+1}}{POP^{basis+1}}\right) + c_4 \cdot \ln\left(\frac{BNP^{basis}}{POP^{basis}}\right) + c_5 \cdot \ln(CAPEX^{basis+1}) + c_6 \cdot \ln(CAPEX^{basis}) + c_7 \cdot \ln(OPEX^{basis+1}) + c_8 \cdot \ln(OPEX^{basis})$$

Konstanten C_{ref} skalerer de basisår-indekserede variable til værdien af indekset i det sidste år, ref) med den indeksering for tidserierne, som lå til grund for estimering af FLEETSIZE:

$$C_{ref} = (1 + c_1) \cdot \ln(I_{B/POP}^{ref}) + c_2 \cdot \ln(I_{B/POP}^{ref}) \\ + c_3 \cdot \ln(I_{BNP/POP}^{ref}) + c_4 \cdot \ln(I_{BNP/POP}^{ref}) \\ + c_5 \cdot \ln(I_{CAPEX}^{ref}) + c_6 \cdot \ln(I_{CAPEX}^{ref}) \\ + c_7 \cdot \ln(I_{OPEX}^{ref}) + c_8 \cdot \ln(I_{OPEX}^{ref})$$

Bilag 2: Matematisk-metodisk fundament for Bilvalgsmodellen

Den nyeste 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. Her redegøres der ikke i detalje for teorien og matematikken bag den nye bilvalgsmodel, idet der henvises til DTU's dokumentation [2] 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:

$$P_{st} = \frac{1}{R} \cdot \sum_{r \in R} \frac{s^{-(V_{st}^y + \varphi_{str} + ASC_{st})}}{\sum_{s't'} e^{-(V_{s't'}^y + \varphi_{s't'r} + ASC_{s't'r})}}$$

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 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 :

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

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

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.

Referencer:

- [1] D. F. Abegaz, K. Hjort, T. Jensen og N. Pilegaard, *Analysis and prediction of private car ownership and use in Denmark*, DTU Management, 2020.
- [2] A.F. Jensen, M. Thorhauge, S. E. Mabit og J. Rich, *Analyse af indfasning af elbiler: SP metode og model*. DTU Management, 2020.