



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	4
1.1.3.	Grænsehandel.....	5
2.	Personbilsmodellen	7
2.1.	Bilbestandsmodellen	7
2.2.	Bilvalgsmodellen	10
3.	Forudsætninger for vejtransporten.....	16
3.1.	Fordeling af nye lastbiler, varebiler, busser og motorcykler	20
3.2.	Forudsætninger og karakteristika i Personbilsmodellen	22
Bilag 1: Modellen FLEETSIZE.....		30
Bilag 2: Matematisk-metodisk fundament for Bilvalgsmodellen		32
Referencer:		34

1. Vejtransportmodellens rolle

Vejtransportmodellen indgår i Klima-, Energi- og Forsyningsministeriets transportmodel 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

Indenfor 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

For varebiler, lastbiler, busser og motorcykler baserer modellen sin fremskrivning af energiforbruget på opfyldelse af en andel af den samlede køretøjsbestands trafikarbejde i de enkelte fremskrivningsår.

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 varebiler, lastbiler, busser og motorcykler kan tilgangen skitseres som følgende:

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

- Trafikarbejdet i fremskrivningsårene beregnes ud fra trafikarbejdet i statistikåret, der udregnes på baggrund af den statistisk opgjorte bestand og deres opgjorte årskørsler. Dette fremskrives ud fra de eksogene vækstrater.

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 eksogent estimerede overlevelsesrater. 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 varebiler, lastbiler, busser og motorcykler bestemmes ud fra trafikarbejdet og årskørslerne.

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:

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

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 Skatteministeriets benzin- og dieselmådel. 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 , $\Delta \text{Prisforskel}_{\text{ift. basisår}}$.

Udviklingen i prisforskellen mellem Danmark og udlandet ganges med skønnet prisfølsomhed for grænsehandlen, $GH\text{-prisfølsomhed}$. 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 Skatteministeriets modelnotat offentliggjort i forbindelse med KF24.

2. Personbilsmodellen

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

Når fremskrivningen af bilbestanden 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 nysalgte 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-modellen 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-modellen er udviklet af DTU og er implementeret i Personbilsmodellen uafhængigt af øvrige input. Fremskrivningen af bilbestanden afhænger dels af variablenes 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-modellen 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), $S_{\square}^{y+1}$ beregnes som forskellen mellem den fremskrevne ligevægtsbestand, $B_{\square}^{y+1}$, og den bilbestand fra året før, som stadig er i brug, $OB_{\square}^{y+1}$, og dermed fortsat er en del af den samlede ligevægtsbestand:

$$(1) S_{\square}^{y+1} = B_{\square}^{y+1} - OB_{\square}^{y+1}$$

Den samlede ligevægtsbestand beregnes med FLEETSIZE-modellen:

$$(2) B_{\square}^{y+1} = FLEETSIZE[CAPEX_{\square}^{y+1}, OPEX_{\square}^{y+1}, BNP_{\square}^{y+1}, POP_{\square}^{y+1}, CAPEX_{\square}^y, \dots]$$

og den tilbageværende bestand, $OB_{\square}^{y+1}$, beregnes med overlevelsesserater, $\sigma_{sta}^{\square}$, som angiver hvor stor en andel af bestanden fra året før i et givet segment og med en given teknologi, som fortsat er i brug i fremskrivningsåret $y + 1$ hvor bilerne er blevet et år ældre:

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

Det beregnede samlede salg i året, $S_{\square}^{y+1}$, fordeles på brugtvognsimport fordelt på alder a , BI_a^{y+1} , og nyregistrerede biler, $NR_{\square}^{y+1}$:

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

Antallet af brugtvognsimporterede personbiler samt køretøjernes aldersfordeling a , følger af den seneste, statistik opgjorte brugtvognsimport, $\overline{BI}_{sta}^{y_0}$. Udviklingen i størrelsen på brugtvognsimporten nedjusteres frem mod 2030, og er dermed bestemt ved $BI_{\square}^{y+1}$.

Brugtvognsimporten har for perioden 2005 til 2015 været stabil omkring 12.500 importerede brugte personbiler. Med den begyndende introduktion af el- og PHEV-køretøjer er brugtvognsimporten steget til over 25.000 i 2020 og over 68.000 i 2024, hvoraf elbiler udgør ca. 90 pct. Den fremskrevne samlede brugtvognsimport skønnes at genfinde samme stabile niveau i 2035, hvor markedet for personbiler hovedsageligt udgøres af nulemissionskøretøjer. I fremskrivningen antages den fremskrevne samlede brugtvognsimport derfor at være givet ved:

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

Aldersfordelingen af brugtvognsimporten varierer historisk på tværs af drivmidler. På den baggrund antages aldersfordelingen af den fremskrevne brugtvognsimport, BI_a^{y+1} , at følge en normalfordeling baseret på de historiske værdier for de enkelte drivmidler.

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

$$(6) NR_{\square}^{y+1} = \sum_{st} B_{st0}^{y+1} = S_{\square}^{y+1} + \sum_{sta} BI_{sta}^{y+1}.$$

Fordelingen af både brugtvognsimporten og nyregistreringerne fordelt på segmenter og teknologier med salgsandelene bestemt i bilvalgsmodellen med salgsfordelingen P_{st}^{y+1} :

$$(7) \ S_{sta}^{y+1} = B_{st0}^{y+1} + BI_{sta}^{y+1} = (NR_{st}^{y+1} + BI_a^{y+1}) \cdot P_{st}^{y+1}$$

Hvorned det samlede salg i fremskrivningsåret kan bestemmes ved:

$$(8) \ S_{st}^{y+1} = \sum_{st} B_{st0}^{y+1} + \sum_{sta} BI_{sta}^{y+1}.$$

Fordelingen på drivmiddelteknologier og størrelser følger af de markedsandele, der beregnes i Bilvalgsmodellen. Nyregistrerede personbiler har en alder på 0 ved indregistrering, mens aldersfordelingen for brugtvognsimporten følger af de historiske opgjorte registreringer, hvilket er beskrevet ovenfor. 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

Bilvalgsmodellen foretager 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 er 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.

Modellens koefficienter er estimeret på et 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 begrænset, har det været nødvendigt at anvende koefficienter baseret på et stated preference studie udført af DTU [1].

Empirisk grundlag for Bilvalgsmodellen

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.

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:

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

hvor $\beta_k^{\square}$ er vægtningskoefficienter (eller marginale nykker) 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:

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

hvor konstanterne $ASC_{st}^{\square}$ er kalibreringskonstanter, som kalibreres så modellen giver 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:

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

hvor $\delta_{t=BEV}^{\square}$ er lig 1 såfremt teknologien t er BEV og 0 ellers. Tilsvarende er $\delta_{t=PHEV}^{\square}$ 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:

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

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:

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

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:

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

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 fratrasket 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.

Tærskelleffekt for elbiler

I bilvalgsmodellen er der introduceret en tærskelleffekt, 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. Tærskelleffekten 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 tærskelleffekten for elbiler ved:

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

Effekten estimeres på baggrund af den historiske udvikling og estimeres ud fra en Sigmoid-funktion, hvorfor tærskelleffekten 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 tærskelleffektens størrelsesorden stemmer overens med de øvrige nytteelementer 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 tærskelleffekten 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.

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

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

Konstanterne repræsenterer betydningen af 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.

Vægtningsskoefficienter i bilvalgsmodellen

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

Tabel 2.1

Bilvalgmodellens vægtningsskoefficienter

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	$\beta_{HomeDist}^{\square}$	$-4,73 * 10^{-4}$	1/m
Ledighedsfrekvens	$\beta_{HomeAvailability}^{\square}$	0,3469	1/(ud af 4)
Privat oplademulighed	$\beta_{PrivateCharge}^{BEV}$	1,8806	-
	$\beta_{PrivateCharge}^{PHEV}$	1,5600	
Afstand mellem opladere	$\beta_{FastDist}^{\square}$	$-1,11 * 10^{-4}$	1/km
Ledighedsfrekvens	$\beta_{FastVacant}^{\square}$	0,3469	1/(ud af 4)
Opladningshastighed	$\beta_{FastSpeed}^{\square}$	0,0042	1/(km per 10 min)
Øvrige			
Sortiment	$\beta_{Sortiment}^{\square}$	1	-
Tærskleffekt	$\beta_{Tærskel}^{\square}$	Kalibreres	
Kalibrering	$ASC_{st}^{\square}$	Kalibreres	-

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

3. Forudsætninger for vejtransporten

Køretøjsbestande

Køretøjsbestandene anvendes til beregning af trafikarbejdet i et referenceår, som fremskrivningen tager udgangspunkt i.

De faktiske, statistisk opgjorte bestande af lastbiler, varebiler, 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 anvendes data indsamlet fra Bilstatistikken¹, som muliggør en mere detaljeret segmentopdeling end DTU's datasæt tillader.

Årskørsler

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. For personbiler anvendes årskørsler estimeret af Danmarks Statistik i 2020. Disse estimater differentierer på diesel og øvrige drivmidler samt størrelse. Det antages, at nye køretøjer (alder = 0) indføres jævnt over et introduktionsår og dermed kører halvdelen af en fuld årskørsel.

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 lød, at der ikke var tilstrækkeligt grundlag til at afgøre, om årskørslerne for el- og plugin-hybridbiler afviger signifikant fra årskørslerne for benzinbiler. Denne analyse er ikke siden blevet opdateret. Det antages derfor, at årskørslerne for el- og plug-in hybridbiler svarer til benzinbiler inden for samme størrelsessegment. Denne antagelse lægges til grund, da der så vidt Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet er bekendt ikke foreligger analyser, der giver grundlag for at antage andet.

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

¹ Bilstatistik.dk, DBI. <https://www.bilstatistik.dk/>

Tabel 3.1

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

Størrelse	Benzin, BEV og PHEV	Diesel
Mikro	15.000	N/A
Lille	15.000	23.500
Mellem	17.500	25.000
Stor	21.000	28.500
Premium	22.500	27.500
Luksus og sport	12.500	22.500

Kilde: Danmarks Statistik 2020.

Årskørsler for øvrige køretøjer kan ses i tabel 3.2. Efterfølgende falder årskørslerne som udgangspunkt ca. 2 pct. om året som funktion af køretøjets alder.

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 med udgangspunkt i udviklingen i trafikarbejdet beregnet i Grøn Mobilitetsmodel. Der blev i forbindelse med KF22 udarbejdet en fremskrivning af trafikarbejdet med (basisscenarie) og uden effekten af besluttede nye infrastrukturprojekter i fremskrivningsperioden, hvilket dækkede over vej- og baneprojekter indeholdt i *Infrastrukturplan 2035*. Ligeledes blev der lavet en opgørelse af den historiske udvikling i trafikarbejdet med og uden infrastrukturprojekter. Grøn Mobilitetsmodel er udviklet til langsigtede fremskrivninger, og afspejler derfor ikke mindre variationer i energipriser.

Historisk set har infrastrukturudbygning bidraget mere til stigningen i trafikarbejdet end den effekt, der er estimeret i Grøn Mobilitetsplan for nye besluttede projekter i fremskrivningsperioden. Dette kan bl.a. skyldes, at *Infrastrukturplan 2035* væsentligst kun omfavner statsvejnettet, mens der samtidig kan forventes en fortsat udbygning af vejnettet i regi af kommunerne. Der er derfor valgt en tilgang, hvor bidraget til trafikarbejdet i fremskrivningsperioden fra nye infrastrukturprojekter trækkes fra basisscenariet, hvorefter det historiske bidrag fra infrastrukturudbygning til udviklingen i trafikarbejdet tillægges.

Vækstraterne for lastbilers trafikarbejde er efterfølgende nedjusteret i perioden 2025-2030 i forhold til den forventede effekt af *Aftale om kilometerbaseret vejafgift for lastbiler*. Der gælder samme afgiftssats for perioden efter 2030 og effekten af aftalen på trafikarbejdet er derfor holdt konstant efter 2030. I forbindelse med *Aftale om deludmøntning af grøn fond*, er der udarbejdet et samlet skøn for effekten af en øget dieselafgift og midlertidig nedsættelse af den kilometerbaserede vejafgift for lastbiler. De gennemsnitlige årlige vækstrater anvendt for lastbiler, varebiler i KF25 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 3.3

Gennemsnitlige vækstrater (p.a.) for trafikarbejdet.

Kategori	2021-2025	2025-2030	2030-2035	2035-2050
Varebiler	1,0 pct.	0,7 pct.	0,6 pct.	0,6 pct.
Lastbiler	-1,6 pct.	1,1 pct.	1,1 pct.	0,9 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 forventning-

ger til udviklingen i personbilernes trafikarbejde. Trafikarbejdet i de historiske år justeres efter trafikarbejdet angivet i Vejdirektoratets nøgletalskatalog og er vist i tabel 3.4.

Tabel 3.4

Gennemsnitlige vækstrater (p.a.) for trafikarbejdet.

Kategori	2024-2025	2025-2030	2030-2035	2035-2050
Personbiler	1,7 pct.	1,2 pct.	1,0 pct.	0,9 pct.

Anm: De gennemsnitlige årlige vækstrater, opdelt på femårsintervaller.
Kilde: Vejdirektoratets nøgletalskatalog.

Overlevelsesserater

Overlevelsesseraterne er for alle køretøjstyper etableret på baggrund af Motorregistret og leveret af DTU. Overlevelsesseraterne for benzin- og dieselmotorer er kalibreret i forhold til den observerede udvikling i 2024.

For personbiler gælder, at en betydelig del af nysalg indregistreres som leasingbiler, hvoraf en væsentlig andel eksporteres efter leasingperiodens udløb (typisk 1-5 år), hvormed de ikke længere indgår i den danske personbilsbestand. For at tage højde for dette foretages en mindre nedjustering af overlevelsesseraterne for personbiler i de første 5 år af deres levetid.

De afledte overlevelseskurver angiver, hvor stor en andel af en nyregistreret årgang køretøjer, som efterfølgende er en del af bestanden. Jo flere år der går, fra køretøjerne er blevet indregistreret, dvs. jo højere en alder køretøjerne har, des mindre er andelen af årgangen, som fortsat indgår i bestanden. Effekten af, at et forholdsvis stort antal personbiler eksporteres inden for de første 5 år efter indregistrering, medfører lavere overlevelsesserater i de første år.

Middellevetider på baggrund af de anvendte overlevelsesserater er vist i tabel 3.5.

Tabel 3.5**Middellevetid for køretøjstyper.**

Køretøj	Middellevetid (år)
Personbiler	15,1
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. Metoden til fastlæggelse af udviklingen i energieffektiviteten for benzin- og diesel person- og varebiler er beskrevet nedenfor.

Med udgangspunkt i data fra European Environment Agency indberettet i forbindelse med EU's forordninger om CO₂-reduktionskrav til både personbiler, varebiler og lastbiler beregnes de seneste europæiske salgsvægtede typegodkendte CO₂-emissioner per km fordelt på teknologier. Disse data danner grundlaget for den videre beregning af den påkrævede reduktion i forhold til CO₂-reduktionskravet. Dette gøres med afsæt i prognoser for de europæiske markedsandele for nul- og lavemissionsbiler fra IEA's Global EV Outlook 2024, hvorfra den nødvendige energieffektivisering af benzin- og dieselmotorer, som bilproducenterne må præstere for at opfylde CO₂-reduktionskravet, beregnes.

Forordningen om CO₂-reduktionskrav for nye tunge køretøjer og Forordningen om CO₂-reduktionskravet for nye lette køretøjer indgår begge i beregningerne for energiintensiteterne som med en forventning om, at køretøjsleverandørerne vil investere i yderligere effektivisering af deres køretøjsportefølje, med henblik på at sikre overholdelse af reduktionskravene på tværs af alle medlemslande.

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 lastbilvalgsmodellen udarbejdet af DTU for Transportministeriet. Modellen er beskrevet i notatet "Dokumentation af lastbilvalgsmodellen – version 3" på

hjemmesiden under øvrigt materiale. I fremskrivningen tages højde for den gældende regulering.

I forbindelse med anvendelsen af lastbilvalgsmodellen til fremskrivning af salgsfordelingen i KF er der foretaget en oversættelse af modellens 9 lastbilklasser og 8 drivlinetyper til klassificeringen anvendt i Klimafremskrivningens modelsetup baseret på tekniske karakteristika og vægt Tabel 1.1.

Fordeling af nye varebiler

Fordelingen af nye varebiler er generelt bestemt ud fra *Forordning for CO₂-reduktionskrav for nye lette køretøjer*. Forordningen stiller krav til producenterne om at omstille salget af varebiler således, at udledningerne fra nye varebiler i 2030 reduceres med 50 pct. sammenlignet med 2021. Som for personbiler indgår der i fremskrivningen en antagelse om et stop for salg af nye benzin- og dieselvarebiler fra 2035 og frem.

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 trafiksselskabernes forventninger til fremtidige udbud af busdrift i fastlæggelsen af indfasningen af nye teknologier i fremskrivningen. Trafiksselskaberne 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.

EU-forordningen for CO₂-reduktionskrav for nye tunge køretøjer foreskriver desuden, at alle nye bybusser i 2035 skal være nulemission, med et delmål på 90 pct. i 2030. Dertil følger turistbusser samme reduktionsmål 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 elektrificering af motorcykler med afsæt i det aktuelle salg af elektriske motorcykler. I fremskrivningen antages en mindre vækst i elektrificeringen baseret på den historiske udvikling. Derudover er der 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 hybrid 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. Der antages en fordeling hvor henholdsvis 30 pct. af køretøjets årskørsel anvender el og 70 pct. anvender benzin. Denne antagelse baseres på en rapport fra COWI udgivet i februar 2022².

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

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

Før-afgiftspriserne for referenceåret 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.

Priserne før registreringsafgift dækker over produktionsprisen plus omkostninger hos bilimportør og bilforhandler samt avance i de tre led producent, importør og forhandler.

I fremskrivningen af bilpriserne er der ikke taget højde for, at forordningen om CO₂-reduktionskravene kan have en effekt på priserne af de forskellige teknologier og størrelser.

Prisen før registreringsafgift for benzin- og dieselbiler fastholdes idet der regnes i faste priser, da markedet herfor er veludviklet, og der ikke forventes væsentlige ændringer i produktionsprisen.

Udviklingen i prisen før registreringsafgift for el- og plug-in hybridbiler dækker over forskellige udviklingsforløb for produktionsprisen samt for omkostninger og avancer i de forskellige led. Fremskrivningen af de enkelte elementer er forbundet med stor usikkerhed, hvoraf udviklingen i produktionsprisen, herunder batteriprisen, slår mest igennem. Fremskrivningen af priserne blev foretaget i 2020 i forbindelse med

² COWI (2022), *Brændstofforbrug for plug-in hybridbiler*, COWI, https://api.vejdirektoratet.dk/sites/default/files/2022-06/Br%C3%A6ndstof-forbrug%20for%20plug-in%20hybridbiler_wcag.pdf

Bilkommissionen. Prisudviklingen i Bilvalgsmodellen bygger således grundlæggende på de samme forudsætninger, som Bilkommissionens forløb for prisudviklingen.

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

For plug-in hybridbiler forudsættes et samlet prisfald på ca. 1,5 pct. p.a. mod en minimumspris på 10 pct. over prisen for en benzinbil i samme segment. 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.

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.

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 brændstofeffektivitet 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.

Elborejere 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 den aktuelle fremskrivning er dette repræsenteret i de anvendelsesmæssige omkostninger med en effektiv elafgift på 25 øre/kWh.

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 [3], 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 lægges en regneteknisk antagelse til grund for udvikling i den elektriske rækkevidde med 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 der skønnet for alle størrelsessegmenter, 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 præference-parameter. 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 regneteknisk 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 baggagerumsstørrelse ikke at ændre sig over tid og fastholdes for hvert segment og teknologi på tilordningerne som vist i tabel 3.7.

Tabel 3.7

Baggagerumsstørrelse 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 baggagerumsstørrelse er regneteknisk 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, både for bilejere uden mulighed for privat opladning og i forbindelse med længere ture, des flere bilejere vil kunne få dækket deres kørselsbehov med en elbil.

Forudsætningerne for og karakteriseringen af ladeinfrastrukturen er i historiske år baseret på 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 Transportministeriet. Beregningen tager bl.a. udgangspunkt i andel af etagebyggeri og erfaringer fra ladeinfrastrukturen i Norge, som kortlagt i en kommende analyse fra 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. Forventningerne til udrulningen af ladeinfrastruktur er lavere i KF25 end i KF24 og KF23. Det skyldes bl.a. en mere nuanceret tilgang til behovet for offentligt tilgængelig ladeinfrastruktur sammenholdt med private lademuligheder.

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 ladestandere på privat grund, hvilket 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 langsomme parkeringsopladning beregnes endogent i modellen og antages at falde med den forudsatte udbygning af den (langsomme) ladeinfrastruktur og dermed antallet, $N_{i, location}^y$, af opladelokaliteter i fremskrivningsåret, således at:

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

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} , regneteknisk 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 endogen 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:

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

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 udtrykkes i modellen ved det antal rækkeviddekilometer, som kan opnås ved opladning på 10 minutter.

Opladehastighederne for de hurtige ladepunkter er skønnet og fastsat på baggrund af oplysninger fra FDEL [4]. En effekt på 50 kW giver typisk omkring 35 kilometer per 10 min, 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. af den gennemsnitlige opladehastighed, som i basisåret 2019 er X_s^{2019} for BEV'er i segmentet s .

Sortiment

I Bilvalgsmodellen indgår udover ovennævnte karakteristika for bilerne også det forhold, at der i dag 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/substituerbare 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-modellen i forbindelse med fremskrivningen har den matematiske form:

$$\ln\left(\frac{B^{y+1}}{POP^{y+1}}\right) = (1 + c_1) \cdot \ln\left(\frac{B^y}{POP^y}\right) + c_2 \cdot \ln\left(\frac{B^{y-1}}{POP^{y-1}}\right) \\ + c_3 \cdot \ln\left(\frac{BNP^{y+1}}{POP^{y+1}}\right) + c_4 \cdot \ln\left(\frac{BNP^y}{POP^y}\right) \\ + c_5 \cdot \ln(CAPEX^{y+1}) + c_6 \cdot \ln(CAPEX^y) \\ + c_7 \cdot \ln(OPEX^{y+1}) + c_8 \cdot \ln(OPEX^y) \\ + c_9 - C_{basis} + C_{ref}$$

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-modellen	
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 [4]

Konstanten C_{basis} er en konstant, som 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-modellen:

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

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:

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

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 [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:

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

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

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

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

hvor "fejl-leddene" $\varphi_{str}^{\square}$ 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:

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

hvor henholdsvis $\varphi_s^{\square}$ og $\varphi_t^{\square}$ er stokastiske normalfordelte "Error Components" med middelværdi 0 og spredninger σ_s og σ_t hørende til henholdsvis segment s og teknologi t :

$$\varphi_s^{\square} \sim N(0, \sigma_s)$$

og

$$\varphi_t^{\square} \sim N(0, \sigma_t)$$

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.
- [3] FDM bilbudget 2024, <https://fdm.dk/nyheder/bilist/2024-01-billigere-eje-bil-isaer-elbil-2024>
- [4] Elbilsforeningen, forenede danske elbilister (FDEL). <https://fdel.dk/guides/ladning/hvor-lang-tid-tager-det-at-lade/>