



Klimastatus og –fremskrivning 2021 (KF21):

Bilbestandsmodellen ART

Forudsætningsnotat nr. 1C-ART

Opdateret april 2021

Kontor/afdeling
Systemanalyse

Dato
21-04-2021

J nr. 2020-14797

/MIH/PKHA/JMOE

Indholdsfortegnelse

1. Modellens rolle i det samlede transportmodelkompleks	2
2. Metode og antagelser	2
2.1 Nyt metodisk grundlag.....	2
2.2 Implementering.....	3
2.3 Model og metode for fremskrivning	4
3. Kvalificering.....	6
3.1 Sammenligning med BF20	6
3.2 Usikkerhed	6
4. Kilder	7
5. Appendiks	8
5.1 Modellen FLEETSIZE.....	8

Energistyrelsen

Carsten Niebuhrs Gade 43
1577 København V

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

www.ens.dk

1. Modellens rolle i det samlede transportmodelkompleks

Personbilers energiforbrug udgør en betydelig del af energiforbruget i vejtransporten. I den forbindelse har der været stor efterspørgsel på Energistyrelsens Basisfremskrivning for personbilers energiforbrug, herunder ikke mindst forventningerne til salg af og udvikling i bestanden af nul- og lavemissionsbiler. Modelleringen heraf er søgt forbedret i den kommende klimafremskrivning.

I Energistyrelsens nye modelapparat for personbiler indgår der således nu et særskilt modul (model), som kvantitativt modellerer og fremskriver det samlede salg og den samlede bestand af personbiler. Modellen er integreret med bilvalgsmodellen, hvor fordelingen af det samlede salg på segmenter og teknologier beregnes, jf. forudsætningsnotater nr. 1C-BVM Bilvalgsmodellen og 5A Bilvalgsforudsætninger. På baggrund af bilvalgsmodellens salgsfordeling fremskrives sammensætningen af det samlede salg og den samlede bestand karakteriseret ved 6 størrelsessegmenter, 4 teknologier samt bilernes alder (defineret ved årgangen og fremskrivningsåret).

Modellens fremskrivning af personbilsbestanden og nybilssalget indgår som eksogene input i den samlede transportmodel for vejtransporten jf. forudsætningsnotat nr. 1C-Vej Vejtransport i FREM.

2. Metode og antagelser

2.1 Nyt metodisk grundlag

Den nye model og metode som anvendes ved fremskrivning af bilbestanden og bilsalget er baseret på nye opdaterede parametre i modellen benævnt FLEETSIZE [1]. FLEETSIZE beskriver den historiske udvikling i bilbestanden, og er DTU's videreudvikling og gen-estimerede version af en model, som indgik i DTU's oprindelige model ART (Aggregated Road Transport) [2]. 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)
- Bruttonationalprodukt (BNP)
- Befolkningens størrelse (POP)

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

2.2 Implementering

For at kunne anvende FLEETSIZEModellen til fremskrivninger, er det nødvendigt at forudsætte udviklinger for de ovenfor omtalte indgående tidsserier i fremskrivningsårene. I det følgende defineres og redegøres for Energistyrelsens metodiske tilgang til dette. Fremskrivningerne i henholdsvis CAPEX og OPEX er integreret med den nye bilvalgsmodel, mens BNP og POP er eksogene forudsætninger.

Omkostning ved køb af bil (CAPEX)

Trods betegnelsen CAPEX omfatter omkostningen ved køb af bil *ikke* finansieringsomkostninger, hvorved bilerne implicit forudsættes købt kontant. Omkostningen beregnes som en gennemsnitlig salgsvægtet anskaffelsespris for nye biler beregnet med bilvalgsmodellens salgfordeling for nye biler fordelt på segmenter og teknologier:

$$(1) CAPEX_{bil}^y = \sum_{st} P_{st}^y \cdot \Pi_{st}^y$$

hvor P_{st}^y er salgfordelingen beregnet i bilvalgsmodellen og Π_{st}^y er forudsætningen for bilvalgsmodellens anskaffelsespris for en ny bil i segmentet s med teknologi t i fremskrivningsåret y . Anskaffelsesprisen inkluderer omlægningen af registreringsafgiften for person- og varebiler som vedtaget primo december 2020.

Det bemærkes, at CAPEX i den af DTU 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, dvs. følges ad. Et fald i prisen på nye biler antages således tilnærmelsesvis at give anledning til et tilsvarende procentvis fald i priserne i brugtvoanmarkedet.

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. Bilerne forudsættes implicit købt kontant og eventuelle renter og afdrag forbundet med bilernes finansiering medregnes ikke.

I fremskrivningsmodellen beregnes den årlige omkostning ved bilejerskab som et vægtet gennemsnit af omkostningerne baseret på sammensætningen af den samlede bestand af personbiler, B_{sta}^y , på størrelse, teknologi og for alle aldre a i det aktuelle fremskrivningsår:

$$(2) OPEX_{bil}^y = \frac{1}{B_{bil}^y} \cdot \sum_{st} \sum_{av \in (s,t|y=v+a)} B_{sta}^y \cdot (E_{stv}^y \cdot KM_{sta}^y \cdot \pi_t^y + FIX_{stv}^y [E_{stv}^y])$$

hvor



- E_{stv}^y er energiforbrug per km og afhænger af bilens segment, teknologi og årgang
- KM_{sta}^y er kørsel per år og afhænger af bilens segment, teknologi og alder i fremskrivningsåret
- π_t^y er prisen på energi relateret til bilens teknologi (drivmiddel) i året
- B_{bil}^y er den samlede bilbestand: $\sum_{sta} B_{sta}^y$

Variablen betegnet FIX_{stv}^y omfatter bl.a. den årlige ejer- og udligningsafgift, som afhænger af bilens energieffektivitet – eller den relaterede CO2-udledning (der i modellen alene antages at være knyttet til bilens årgang ν) beregnes i fremskrivningsårene med de primo december 2020 vedtagne omlægninger af de løbende afgifter for dels nye personbiler samt for den eksisterende personbilsbestand. Hertil lægges yderligere et fast beløb for alle biler på ca. 5000 kr. for at repræsentere en årlig omkostning forbundet med kasko- og motoransvarsforsikring.

Ligeledes tillægges en kilometerafhængig vedligeholdelsesudgift. For BEV'er antages omkostningen at udgøre halvdelen af omkostningen for en konventionel bil (som er ca. 1 kr./km), mens den for PHEV'er antages 10 % højere end konventionelle biler som følge af bilernes dobbelte teknologi.

Bruttonationalproduktet (BNP)

Bruttonationalproduktet fremskrives eksogent med Finansministeriets forudsætninger, jf. forudsætningsnotat nr. 3D. Økonomiske vækstforudsætninger.

Befolkningens størrelse (POP)

Befolkningens størrelse er eksogent fremskrevet af Danmarks Statistik [3].

2.3 Model og metode for fremskrivning

I Energistyrelsens implementering af FLEETSIZE-modellen foregår fremskrivningen af bilbestanden og bilsalget sekventielt fra år til år. Dette er en konsekvens af den tidsmæssigt "laggede" natur i FLEETSIZE-modellen. Fremskrivningen af bilbestanden afhænger dels af variablenes værdi i fremskrivningsåret men også af variablenes værdi nogle få år (1-2 år) inden det aktuelle fremskrivningsår. Der er i appendiks 5.1 i nærværende notat redegjort detaljeret 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 nye biler.

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

$$(3) S_{bil}^{y+1} = B_{bil}^{y+1} - OB_{bil}^{y+1}$$

Den samlede ligevægtsbestand beregnes med FLEETSIZE-modellen:

$$(4) B_{bil}^{y+1} = FLEETSIZE[CAPEX_{bil}^{y+1}, OPEX_{bil}^{y+1}, BNP_{bil}^{y+1}, POP_{bil}^{y+1}, CAPEX_{bil}^y, \dots]$$

og den tilbageværende bestand, OB_{bil}^{y+1} , beregnes med overlevelsesrater, O_{sta} , 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 de så er blevet et år ældre):

$$(5) OB_{bil}^{y+1} = \sum_{sta} O_{sta} \cdot B_{sta}^y$$

Det beregnede samlede salg i året, S_{bil}^{y+1} , fordeles på segmenter og teknologier med salgsandelene beregnet med den nye bilvalgsmodel P_{st}^{y+1} . Herved fremkommer salgsantallet af biler fordelt på segmenter s og teknologier t - eller tilsvarende, den segment- og teknologidetaljerede bestand af personbiler med alder $a = 0$:

$$(6) S_{st}^{y+1} = B_{st0}^{y+1} = S_{bil}^{y+1} \cdot P_{st}^{y+1}$$

Eftersom de årlige omkostninger i fremskrivningsåret, jf. ligning (2), afhænger af sammensætningen af bestanden i fremskrivningsåret:

$$OPEX_{bil}^{y+1} = OPEX_{bil}^{y+1}[B_{sta}^{y+1}]$$

og det samlede salg i fremskrivningsåret, jf. ligning (3), afhænger af den fremskrevne samlede bestand:

$$S_{bil}^{y+1} = S_{bil}^{y+1}[B_{bil}^{y+1}]$$

og bestandens sammensætning, jf. ligning (6), afhænger af det samlede salg (og salgsfordelingen fra bilvalgsmodellen):

$$B_{sta}^{y+1} = B_{sta}^{y+1}[S_{sta}^{y+1}]$$

evalueres modellen numerisk i hvert fremskrivningsår ved iteration af ligningerne (1) til (6).



3. Kvalificering

3.1 Sammenligning med BF20

I de seneste basisfremskrivninger (BF19 og BF20) baserede fremskrivningen af personbilernes energiforbrug, og de hermed relaterede udledninger, sig på eksogent givne vækstrater for det samlede trafikarbejde for personbiler beregnet for Energistyrelsen af Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen på baggrund af forudsætninger i Landstrafikmodellen [4].

For hvert fremskrivningsår blev der udregnet et samlet trafikarbejde for personbilerne, som blev fyldt ud af den eksisterende bestand (den andel af bestanden fra året før, som fortsat var i brug året efter, beregnet på baggrund af overlevelseshastigheder) og nye personbiler i året (indtil mankoen i trafikarbejdet var opfyldt). Dette skete ud fra forudsætninger omkring bilernes årskørsler (differentieret på segment, teknologi og alder). Med dertil hørende energieffektivitet beregnedes energiforbruget i hvert fremskrivningsår og i forlængelse heraf, vækstrater for energiforbruget. Efterfølgende blev den samlede bilbestand, og fordelingen af denne på størrelser og teknologier, bestemt.

Med den nye model for fremskrivningen af bestanden og salget af biler bliver energiforbruget beregnet med udgangspunkt i en endogen kvantitativ model for størrelsen og sammensætningen af *bestanden* beskrevet ved segmenter, teknologier, årgange og aldre. Med tilhørende forudsatte årskørsler og energiintensiteter beregnes herefter et trafikarbejde, samt energiforbruget og udledninger.

Modellen imødekommer i kombination med den nye bilvalgsmodel det primære formål, dvs. fremskrivning af energiforbrug og udledninger. Derudover opfyldes et selvstændigt behov for kvalificeret at kunne modellere og belyse politiske tiltags konsekvenser for udviklingen i bilbestanden og sammensætningen, samt eventuelle effekter på personbilers trafikarbejde og relaterede ændringer i energiforbrug og udledninger.

Med sammenlignelige forudsætninger for KF21 henholdsvis Landstrafikmodellen ventes ikke, at de to alternative metodiske tilgange vil føre til væsentlige forskelle i fremskrivningen af energiforbrug, udledninger, samt trafikarbejde relateret til personbiler. De metodiske tilgange forventes således primært at adskille sig i forhold til de politiske tiltag, som vil kunne belyses med hver af fremgangsmåderne.

3.2 Usikkerhed

Som enhver anden fremskrivning er den nye model til fremskrivning af salget, bestanden og sammensætningen af personbilerne forbundet med usikkerhed. Det bemærkes, at metoden til fastlæggelse af størrelsen på det samlede salg er særdeles følsom med hensyn til overlevelseshastighederne. Endvidere fremskrives

bilparkens størrelse alene på baggrund omkostningerne ved at købe og holde bil samt BNP pr. indbygger. Bilejerskab afvejes ikke i forhold til forudsætninger for omkostningerne forbundet med et eventuelt valg af et andet relevant transportalternativ.

Det bemærkes ligeledes, at FLEETSIZE-modellen som ligger til grund for fremskrivning af bilbestanden er en makroøkonomisk ligevægtsmodel. Bilbestanden i basisåret, som der kalibreres til, kan udelukkende antages at være "tæt" på den "ligevægtsbestand", som beregnes med FLEETSIZE-modellen. Metodeteoretisk betragtes bilbestanden i DTU's tidsserieestimering af modellen som en "stokastisk variabel", hvormed de faktisk observerede bilbestande i de givne år anskues som fluktuationer omkring en estimeret gennemsnitlig udvikling i bestanden (ligevægtsbestanden) på baggrund af de forklarende variable.

Angående usikkerheder knyttet til selve FLEETSIZE-modellen for udviklingen i den samlede bestand af personbiler samt elasticiteter knyttet til de forklarende variable henvises til DTU's dokumentation [1].

Det noteres, at modellen ikke tager højde for eventuelt opstående trængsel på vejene og tidsomkostninger forbundet med længere rejsetider med potentielle modale skift som konsekvens heraf, modsat er der dog heller ikke taget højde for forbedringer i vejinfrastrukturen. Ligeledes er valg af bilejerskab ikke påvirket af ændringer i vilkårene for andre transportformer.

4. Kilder

[1]: "Analysis and prediction of private car ownership and use in Denmark", Dereje Fentie Abegaz, Katrine Hjort, Thomas Jensen og Ninette Pilegaard, DTU Management (2020).

[2]: "ART: En aggregeret prognosemodel for dansk vejtrafik", Mogens Fosgerau, Mikal Holmblad og Ninette Pilegaard, Notat nr. 5, Danmarks Transport Forskning (2004).

[3]: Danmarks Statistik, Statistikbanken, tabel FRDK119.

[4]: Landstrafikmodellen, DTU, <http://www.landstrafikmodellen.dk>

5. Appendiks

5.1 Modellen FLEETSIZ

Den fuldstændige specifikation og Energistyrelsen implementering af FLEETSIZ-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 Energistyrelsens model er FLEETSIZ 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 1*.

Tabel 1: Koefficienter i FLEETSIZ-modellen [1].

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

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:

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