

Dette resumé er udgivet i det elektroniske tidsskrift
Artikler fra Trafikdage på Aalborg Universitet
(Proceedings from the Annual Transport Conference
at Aalborg University)
ISSN 1603-9696
<https://journals.aau.dk/index.php/td>

Pivotering i en aktivitetsbaseret trafikmodel

Christian Overgård Hansen, christian@cohtrafik.dk, COH ApS

Goran Vuk, gv@govest.dk, GVModels

Abstrakt

Pivotering er en systematisk metode til kalibrering af en trafikmodel, således at den beregnede trafik bedre svarer til observerede data f.eks. trafiktællinger. Det er en metode, som over de sidste 25 år er anvendt i de større trafikmodeller i Danmark, herunder Landstrafikmodellen og OTM. Københavns Kommune har taget initiativ til udvikling af en ny trafikmodel for hovedstadsområdet (Compass), som er aktivitetsbaseret. Det er ikke muligt at overføre metoden fra en traditionel aggregeret trafikmodel som f.eks. OTM, hvis man ønsker at bevare det detaljerede output fra en aktivitetsbaseret model. Indlægget beskriver metoden, som er anvendt i pivotering af Compass. Det er den første anvendelse af pivotering i forhold til en aktivitetsbaseret trafikmodel.

1. Baggrund og formål

I Danmark gennemføres et stort antal trafiktællinger, interview af personers rejseadfærd (TU) og GPS-målinger, som kan udnyttes til opstilling af rejsemønstre for et givet basisår – såkaldte basismatricer. Pivoteringen udnytter basismatricerne i en systematisk kalibrering af trafikmodellen for at opnå mere præcise resultater. Metoden er anvendt i Danmark siden 1990'erne og benyttes i bl.a. Landstrafikmodellen (LTM) og OTM.

Der er udviklet en ny trafikmodel for hovedstadsområdet (Compass), som er aktivitetsbaseret. Det er nødvendigt at pivotere resultater fra den aktivitetsbaserede model (ABM) for at kunne opnå de ønskede beregningsnøjagtigheder på stræknings- og stoppestedsniveau. Mens de traditionelle trafikmodeller beregner et antal ture mellem zoner, er resultatet fra ABM en liste af enkeltture. Eksempelvis gennemførte indbyggerne i hovedstadsområdet omkring ni millioner ture (inkl. ture til og fra kollektiv trafik og parkeret bil) på et hverdagsdøgn i 2017. De er alle beskrevet i hver sin række i outputtet via start- og slutzone, start- og sluttidspunkt (på klokkeslæt), rejseformål og transportmiddel. Det er derfor ikke muligt at overføre metoden kendt fra bl.a. OTM og LTM til en ABM, hvis oplysninger om de enkelte ture skal bevares. Endvidere medfører simuleringen i en ABM en mindre geografiske spredning af ture end i en traditionel trafikmodel, hvilket giver en ekstra udfordring i pivoteringen. Indlægget præsenterer metoden, som er anvendt til pivotering i Compass. Det er den første anvendelse af pivotering i forhold til ABM. I USA hvor ABM er mest populært, bruges der således hverken basismatricer til kalibrering eller pivotering.

2. Compass

2.1 Aktivitetsbaseret model (ABM)

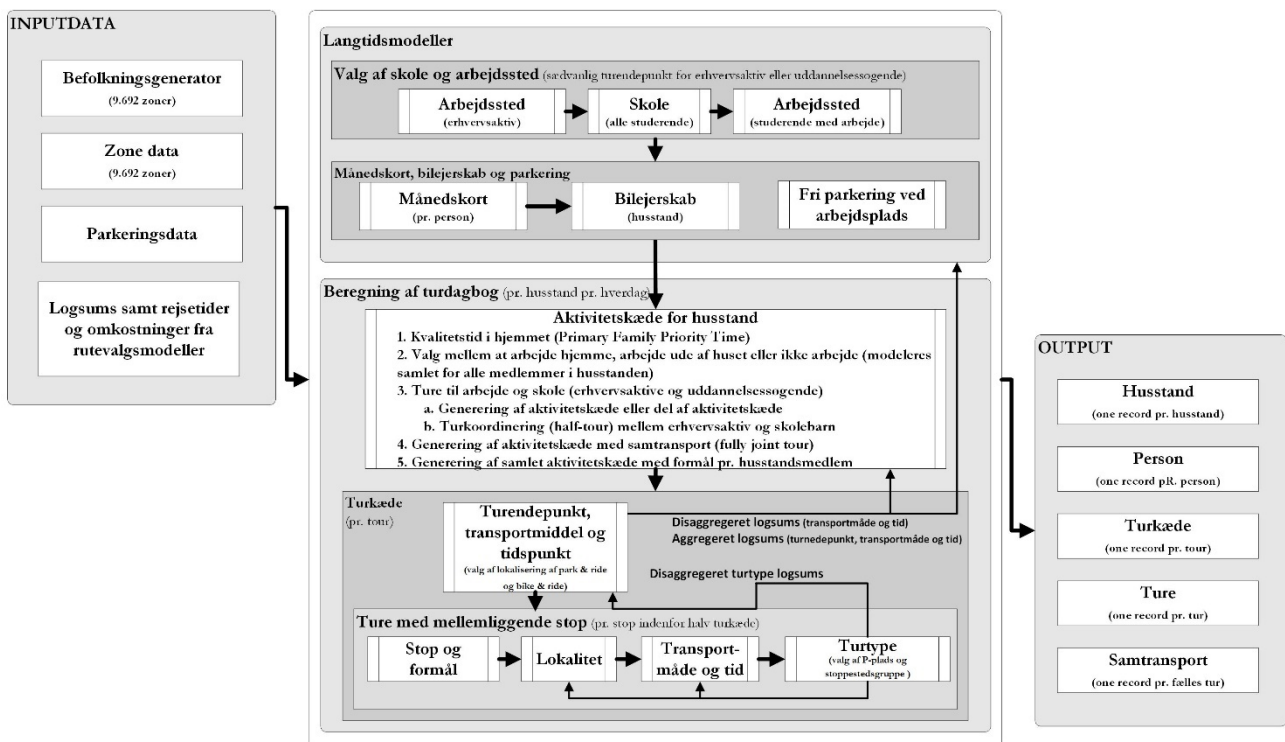
Figur 1 viser opbygning af ABM i Compass. Modellen indeholder tre niveauer, og i alt 26 delmodeller:

1. Langtidsmodeller
2. Aktivitetskæder (DAP – Day Activity Pattern modeller)
3. Turkæder (tours og trips)

Langtidsmodellerne beskriver de langsigtede beslutninger, som enten husstanden eller de enkelte personer i husstanden foretager. Eksempelvis er det en husstandsbeslutning at eje en bil mens valg af arbejdsplads eller skole foretages på individniveau. Det danner sammen med inputdata rammerne for beregning af husstandens aktiviteter i løbet af et hverdagsdøgn. Aktiviteterne beskrives med hensyn til formål, tid, varighed og eventuelle fælles ture mellem husstandens medlemmer. Betinget af aktiviteterne beregnes turene i det sidste trin med hensyn til geografi, transportmiddel og rejsetidspunkt.

I traditionelle trafikmodeller beregnes sandsynligheder for eksempelvis valg af et bestemt transportmiddel. I en aktivitetsbaseret trafikmodel simuleres resultatet af sandsynlighedsberegningen. Outputtet består derfor af en liste af enkeltture, som udover oplysninger om transportmiddel, formål og rejsetidspunkter også kan knyttes til person og husstand. Enkeltturene er knyttet sammen i turkæder (tours på engelsk), som beskriver hele turen fra start til slut.

Den aktivitetsbaserede trafikmodel i Compass er detaljeret beskrevet i Bowman et. al. (2021).



Figur 1 – oversigt over den aktivitetsbaserede model i Compass

2.2 Modelkalibrering

ABM i Compass er før pivotering kalibreret. Til det formål blev der udviklet en metode, som havde til formål at matche modellens resultater indenfor +/-5% af de definerede mål. De vigtigste mål for basisår 2017 var:

1. Antal af ture fordelt på turformål og transportmiddel.
2. Procentfordeling af bil- og kollektive ture på 10 tidsbånd.
3. Det observerede bilejerskab, fordelt på København og resten af hovedstaden.
4. Turlængder fordelt på turformål og transportmiddel.

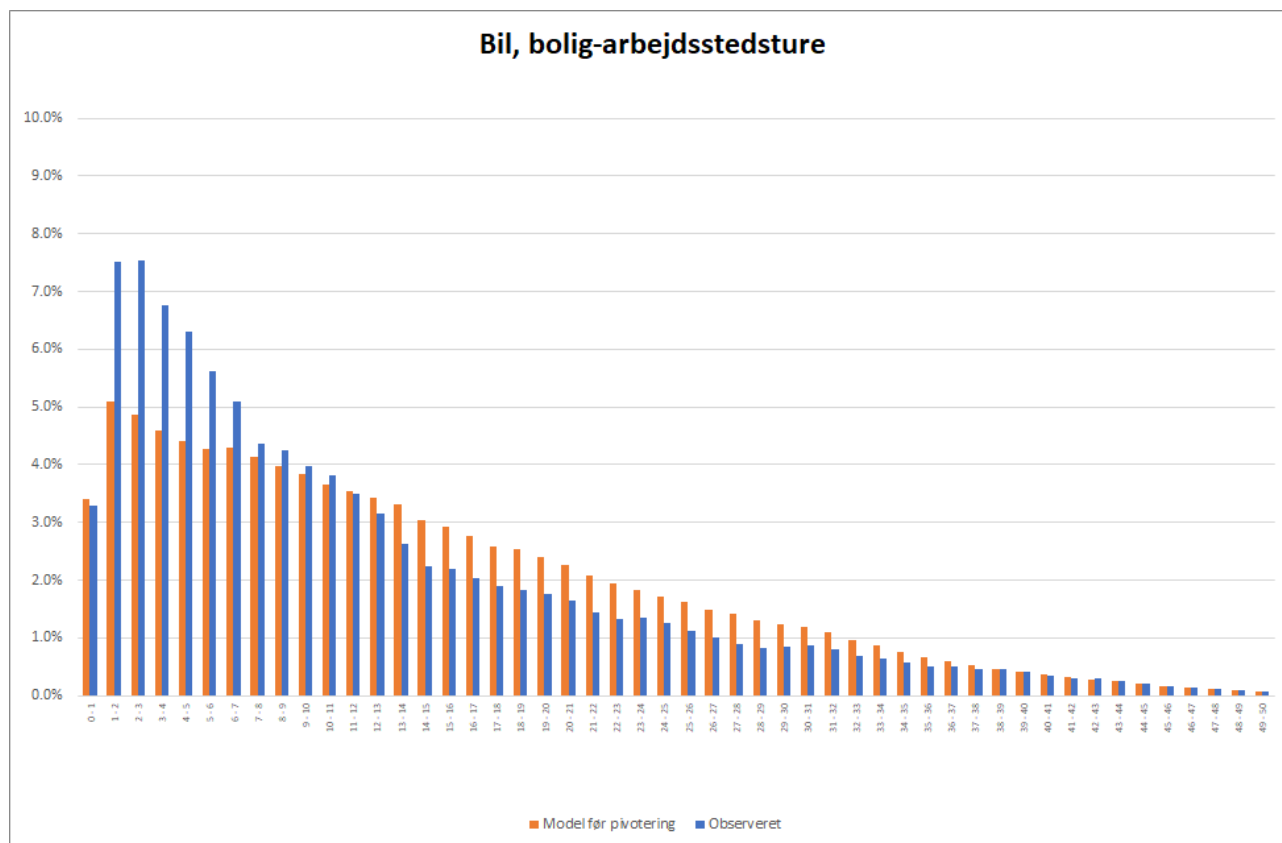
Kalibrering af ABM foregik rent praktisk på fire niveauer:

1. Kørsel af ABM med sampling 1:10.
2. Indlæsning af resultater i SQL.
3. Udarbejdelse af tabeller til sammenligning med de opstillede mål.
4. Opdatering af kalibreringskoefficienter.

Kalibreringsmetoden er iterativ i den forstand at kalibrering af DAP-delmodeller ændrer på de allerede kalibrerede langtidsmodeller på grund af logsummerne, som forbinder samtlige modeller på de to niveauer. Det var derfor vigtigt for at kunne fastholde balancen i ABM, at hver iteration i kalibrering inkluderede flere delmodeller og kalibreringskoefficienterne kun blev ændret marginalt.

Kalibrering af rutevalgsmodeller påvirker kalibrering af ABM via LOS-filerne. Det resulterede i behov for en ekstra runde af kalibrering af ABM.

Figur 2 viser som et eksempel turlængdefordeling for boligarbejdsstedsture i bil beregnet med den kalibrerede ABM og sammenlignet med turlængdefordeling i basismatricer, som er opstillet ud fra TU-data, GPS-data og tællinger. Mens der kun er lille forskel i den gennemsnitlige turlængde mellem model og basismatricer ses af figuren, at modellen undervurderer andelen af bilture mellem 2 og 7 km og overvurderer de mellemlange bilture.



Figur 2 – Turlængdefordeling for bolig-arbejdsstedsture i bil efter kalibrering af ABM

3. Pivoting i traditionel trafikmodel

Pivoting i den normale situation med zonepar (ij), transportmiddel (m), turformål (p) og tidsbånd (t) er:

$$(1) \quad T_{ijmpt} = B_{ijmpt} \frac{S_{F,ijmpt}}{S_{B,ijmpt}}$$

Hvor S_B = er "syntetiske" ture beregnet af model for basisåret
 S_F = er "syntetiske" ture beregnet af model for fremtidsåret
 B = er "observerede" ture fra basismatrix

Det vil sige, at den relative vækst (G) fra modelberegningen ganges med de observerede ture. Udtrykket kan simpelt omskrives som vist i (2). Det sidste led er kalibreringsfaktoren C.

$$(2) \quad M_{ijmpt} = S_{F,ijmpt} \frac{B_{ijmpt}}{S_{B,ijmpt}}$$

Der er ikke muligt at benytte (2), hvis en af faktorerne er 0. Det er også tvivlsomt at benytte den, hvis der er stor forskel mellem S_F og S_B . Der benyttes derfor en opdeling i 8 tilfælde beskrevet af Daly et al. (2012).

4. Pivoting i Compass

4.1 Metode

4.1.1 Tilpasning af pivoteringsregler

Pivotingen i Compass foretages som en korrektion til de enkelte ture for at bevare strukturen i output fra ABM. Det tillader, at resultaterne fra ABM kan benyttes uændret. Reglerne i Daly et al. (2012) skal derfor normaliseres ved division med de syntetiske ture for fremtidsår (S_F). Det er kun ture, som beregnes for fremtidsåret, som kan korrigeres. Det vil sige, at S_F altid er større end 0.

Tabel 1 viser korrektionsfaktorerne efter, at de normale pivoteringsregler er divideret med S_F . Regel 5 udgør et særligt tilfælde, da der er observeret ture, som ikke findes i modellen. Det er eksempelvis ture indenfor hovedstadsområdet, som udføres af personer, som ikke er bosat i hovedstadsområdet. De modelleres ikke af ABM. Regel 5 håndteres derfor ved tillægsmatrix (se afsnit 4.2).

Tabel 1 – Beregning af korrektionsfaktor til ture i aktivitetsbaseret model (* håndteres ved tillægsmatrix)

Nr	Værdi af B	Værdi af S_B	Værdi af S_F	Korrektionsfaktor	
1	0	0	0	0	
2	0	0	>0	1	
3	0	>0	0	0	
4	0	>0	>0	Normal vækst Ekstrem vækst	0 $1 - k S_B/S_F$
5	>0	0	0		0*
6	>0	0	>0		$1 + B / S_F$
7	>0	>0	0		0
8	>0	>0	>0	Normal vækst Ekstrem vækst	B / S_B $1 + k S_B/S_F (B/S_B - 1)$

Beregningen kan som vist i tabel 2 reduceres til 4 regler afhængig af værdien af B og S_B . Tabellen anvender vækstfaktor (G) og kalibreringsfaktor (C) som er defineret i afsnit 3.

Tabel 2 – Beregning af korrektionsfaktor i Compass

No.	Værdi af B	Værdi af S_B	Betingelse	Korrektionsfaktor
2	0	0	$S_F > k_2$	$(S_F - k_2) / S_F$
4	0	>0	$G > k$	$1 - k G^{-1}$
6	>0	0	$S_F > B$	$(S_F - B) / S_F$
8	>0	>0	$G \leq k$	C
			$G > k$	$1 + k G^{-1} (C - 1)$

I regel 2 er B og S_B begge nul, mens $S_F > 0$. Det indikerer normalt byudvikling af et grønt område. Det kan imidlertid også skyldes tilfældig støj i simuleringen. Der tilføjes derfor en minimumsværdi (k_2) for at reducere støj i forhold til basisåret. I regel 6 medtages kun ture, hvor summen af syntetiske ture i fremtidsåret er større end summen af ture i basismatrix ellers er der risiko for dobbeltregning af ture fra tillægsmatrix. I Compass anvendes $k = k_2 = 5$.

Der beregnes tilsvarende rækkekorrektionsfaktorer.

4.1.2 Vægtning af pivoteringsfaktorer

ABM beregner turkæder for enkeltpersoner og for helt eller delvis fælles ture mellem medlemmer af husstanden. Konsistens i output fra ABM sikres ved at anvende samme korrektionsfaktor for hele turkæden, så antallet af udture bliver det samme som antallet af hjemtur. Hvis der er tale om ture, som kun er delvis fælles mellem husstandens medlemmer, så beregnes samme korrektionsfaktor for hele husstanden. Metoden er at vægte faktorerne fra afsnit 4.1.1.

Hvis kollektiv trafik benyttes på turen, er det sandsynligvis hovedtransportmidlet. Hvis bil benyttes, er det mere sandsynligt hovedtransportmidlet end gang og cykel. Det defineres derfor følgende hierarki af transportmidler til brug i beregning af vægtningsfaktoren:

1. Hvis kollektiv trafik benyttes i turkæden, er det hovedtransportmiddel.
2. Hvis turkæden omfatter bil (bilfører) og ej tilfælde 1, så er bil hovedtransportmiddel.
3. Hvis turkæden omfatter bilpassager og ej tilfælde 1 eller 2, så er bilpassager hovedtransportmiddel.
4. Hvis cykel benyttes i turkæden og ej tilfælde 1, 2 eller 3, så er cykel hovedtransportmiddel.

Vægtningsfaktoren sættes til 1 for hovedtransportmidlet, mens den er 0 for andre transportmidler i turkæden. Korrektionsfaktoren beregnet i afsnit 4.1.1 vægtes derfor med værdien 1 eller 0. Dernæst beregnes faktoren som et vægtet gennemsnit over turkæden. Det foretages både på celle- og rækkeniveau. Den resulterende korrektion er produktet af den vægtede korrektion på celle- og rækkeniveau

Gangture pivoteres ikke, da data ikke tillader opbygning af en basismatrix med gangture. Hvis der ikke anvendes andre transportmidler i turkæden, sættes korrektionsfaktoren til 1. Hvis der anvendes andre transportmidler udover gang i turkæden, får gang samme korrektion om resten af turkæden.

4.2 Anvendelse

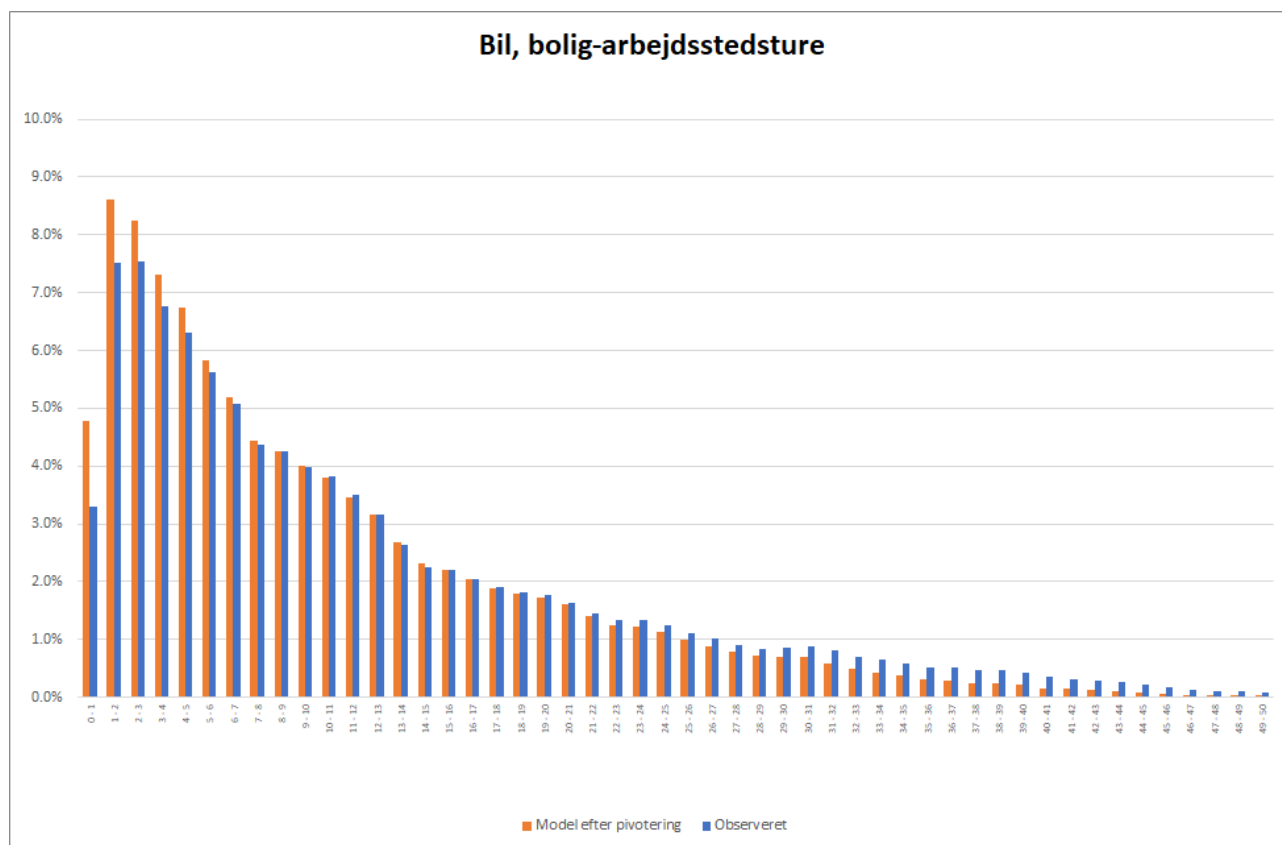
Simuleringen betyder, at ture angives i heltal og ikke fraktioner af ture som i en traditionel trafikmodel. Det giver en mindre spredning af ture over geografi, transportmidler, turformål og tidsbånd end det kendes fra eksempelvis OTM. Der er derfor større risiko for tilfælde, hvor antallet af syntetiske ture i en celle er nul (f.eks. regel 5 i tabel 2). Da det er uheldigt i forhold til pivotering, foretages derfor i Compass 10 kørsler af ABM med forskellig seed-værdi. Hver tur i output tillægges en vægt på 0,1.

Korrektionsfaktorerne i tabel 2 beregnes ved at summere ture fra ABM over følgende dimensioner:

- 6 turformål (bolig-arbejde, bolig-uddannelse, bolig-indkøb, bolig-fritid, øvrige fritidsture og erhverv)
- 5 transportmidler (gang, cykel, bilfører, bilpassager og kollektiv trafik)
- 6 tidsbånd (kl. 21-5, 7-8, 5-6+8-9, 9-15, 15-18 og 18-21)
- 1003 zoner svarende til zoner på niveau 3 i LTM.

Detaljeringen er et kompromis mellem antallet af tomme celler og præcision. Hvis der er mange tomme celler, bliver pivoteringen usikker. Hvis der omvendt er lille detaljering, bliver det vanskeligt at reproducere turmønstre f.eks. turlængder. Det går ud over nøjagtighed i udlægning af trafik i net. Den valgte segmentering medfører, at ca. 17% af de "observerede ture" ikke kan genfindes i den syntetiske beregning. Der er omvendt ca. 5% af de syntetiske ture, som ikke er observeret.

Figur 3 viser turlængdefordeling for boligarbejdsstedsture i bil efter pivotering. Det ses ved sammenligning med figur 2, at turlængdefordelingen bedre reproduceres efter pivotering.



Figur 3 – Turlængdefordeling for boligarbejdsstedsture i bil efter pivotering

Nogle af de observerede ture, som ikke beregnes, beskriver ture udført af personer, som ikke bor i hovedstadsområdet. De beregnes som en tillægsmatrix, som lægges oveni de pivoterede ture fra den aktivitetsbaserede model. Tillægsturene udgør typisk 5-10% af turene indenfor hovedstadsområdet.

5. Referencer

Daly, Andrew et al. (2012). *Pivoting in Travel Demand Models*. Australasian Transport Research Forum, 26-28 September 2012, Perth Australia

Bowman, J.L., Bradley, M.A, Fox, J., Hansen, C.O., Patrui, B og Vuk, G. (2021). *COMPASS DaySim Technical Report*. Draft 12, February 11, 2021

Hansen, C.O. (2020). *The pivot point method in COMPASS*. Doc.no. 51024-013, 11 May, 2020