



Trafikteknik

Anvendelse af mikrosimuleringsmodeller

**Baggrund og dokumentation
for vejregel af juni 2010**

INDHOLDSFORTEGNELSE

0. FORORD.....	4
1. INDLEDNING	4
2. MIKROSIMULERING	5
3. UDFØRELSE AF ANALYSE VED MIKROSIMULERING	5
4. KONTROL AF SIMULERINGSOPGAVE.....	6
5. KALIBRERING AF MIKROSIMULERINGSMODEL.....	6
6. SÆTNING AF PARAMETERVÆRDIER.....	6
6.1 Generelt	6
6.2 Assignment	6
6.3 Car-following	7
6.4 Skift af kørespor	7
6.5 Parametre for vigepligt	7
6.6 Signalregulerede kryds	8
6.7 Parametre for køretøjs- og føreregenskaber	8
6.8 Specielle parametre	9
7. REFERENCER	9

0. FORORD

Vejregelhæfte om anvendelse af mikrosimuleringsmodeller er blevet til i et samarbejde mellem en række specialister på området. Der er under udarbejdelsen anvendt

- kildestudier,
- undersøgelser som de medvirkende selv har gennemført, og
- det man kunne kalde ”best practice”, dvs. udokumenterede erfaringer baseret på de medvirkendes viden og erfaringer.

Ved dette dokumentationshæfte beskrives baggrunden for anbefalingerne i Vejregelhæftet om anvendelse af mikrosimuleringsmodeller, juni 2010.

1. INDLEDNING

Opstilling af mikrosimuleringsmodeller for trafikafvikling foretages med udgangspunkt i den adfærd, som er gældende for trafikanterne, der færdes på det vejnet, som modelleres. Parametersætning i modellerne skal derfor i videst mulig omfang afspejle trafikantadfærden og bør løbende ajourføres, efterhånden som der opnås ny viden om typisk trafikafvikling og trafikantadfærd.

Der er udfordringer i at fastlægge en optimal parametersætning for mikrosimuleringsmodeller. En af udfordringerne er, at en del viden om trafikantadfærd tidligere er opnået, - og forventes også fremover opnået, ved undersøgelser med henblik på opsætning og kalibrering af makroskopiske (trafikstrøms-) modeller. En anden, - og meget væsentlig udfordring, er, at der stadig er mere eller mindre udokumenterede delmodeller i nogle mikrosimuleringsværktøjer, bl.a. Vissim. Endelig er der områder, hvor der endnu ikke hersker helt klarhed over trafikantadfærd ved trafikafvikling i Danmark, eller hvordan den modelleres. Der er ved udviklingen af Vejregelhæftet om anvendelse af mikrosimuleringsmodeller arbejdet med disse problemstillinger, og der er opnået vigtige resultater, men der er også fremover en opgave i yderligere at afdække disse aspekter i de anvendte simuleringsværktøjer.

Der henvises i dette dokumentationsnotat til Vejregelhæfte om anvendelse af mikrosimulering ved *Hæfte ms*. Den terminologi, som anvendes i *Hæfte ms*, og som fremgår i hæftets bilag 1 om nomenklatur, er opstillet af arbejdsgruppen. I nærværende dokumentationshæfte anvendes den samme terminologi som i *Hæfte ms*.

Ved omtale af makroskopiske (trafistøms-) modeller henvises i *Hæfte ms* flere steder til Vejregel for kapacitet og serviceniveau, VD(2008) og til DanKap. DanKap er et modelværktøj på trafikstrømsniveau indeholdende de procedurer og parametre, som beskrives i Vejregel for kapacitet og serviceniveau.

2. MIKROSIMULERING

Indholdet i *Hæfte ms* kapitel 2 om mikrosimulering generelt er skrevet af arbejdsgruppen med begrænset reference til konkrete kilder.

Fig. 2.1 i *Hæfte ms* er inspireret af tabel 1.2 i May(1990).

Under delafsnittet om resultaternes troværdighed nævnes, at modelværktøjer ikke altid leveres med tilstrækkelig dokumentation af de indgående modeller. Det, der bl.a. inspirerede til denne bemærkning, er problemer med at opnå en præcis dokumentation af Wiedemann's car-followingmodeller, som anvendes i Vissim, PTV(2008).

Definitionen af parameter og variabel i *Hæfte ms* afsnit 2.3 svarer stort set til en svensk vejledning i parametersætning, se Vägverket(2008).

Afsnit 2.4 om procedure for løsning af opgave, - og herunder procesdiagrammet fig. 2.2, er udarbejdet af arbejdsgruppen på basis af medlemmers erfaringer med løsning af større trafiksimuleringsopgaver. Som inspiration er anvendt FHWA(2004), herunder dennes figure 1, men der er betydelig forskel på denne og *Hæfte ms* fig. 2.2.

Afsnit 2.5 i *Hæfte ms* om opbygning af model er en bearbejdning af Vissim Start Checklist i PTV(2008).

3. UDFØRELSE AF ANALYSE VED MIKROSIMULERING

De skitserede typer af overvelser om mikro- contra makromodel i *Hæfte ms* afsnit 3.1 er udarbejdet af arbejdsgruppen med inspiration fra afsnit 2.6 i svensk vejledning, Trafikkontoret(2005).

Indholdet i *Hæfte ms* afsnit 3.2 om behov for trafikdata er et uddrag af VD(2008) og VD-289(2004).

Beskrivelsen i afsnit 3.3 om statisk og dynamisk assignment skyldes specielt, at det i Vissim er muligt at indlægge trafik på begge disse måder, se PTV(2008).

Teksten i afsnit 3.4 og 3.5 om hhv. geografisk og tidsmæssig afgrænsning af en model er udarbejdet af arbejdsgruppen. Afsnit 3.6, .7 og .8 med en generel behandling af kalibrering, validering og dokumentation er ligeledes udarbejdet af arbejdsgruppen med begrænset anvendelse af Trafikkontoret(2005) og FHWA(2007).

I *Hæfte ms* afsnit 3.9 om tolkning af simuleringsmodellens resultater henvises til dimensionering for kapacitetsudnyttelse på 70% i det fremtidige år og den valgte time, der ligger til grund for dimensioneringen. Denne værdi for kapacitetsudnyttelsen findes ligeledes i VD(2008) samt i en ældre dansk vejregel, VD(1981), og værdien er ligeledes benyttet som overgang mellem problema-

tisk trafikafvikling og begyndende trængsel i Infrastrukturkommissionens rapport, Infrastrukturkommissionen(2008).

Med hensyn til kvalificering af opnåede resultater i form af serviceniveau eller lignende henvises i *Hæfte ms* til HCM(2000), VD(2008) samt for tabel 3.1 til trængselsdefinitioner i Projekt Trængsel(2004). I det tilhørende bilag 6 tabel 1 og 2 henvises for ”Tyske regler” til Heft 669(1994) tabel 8-7 vedr. middelve-tetid i kryds uden signalregulering og tabel 7-4 vedr. middelve-tetid i ikke-koordineret signalreguleret kryds. De norske værdier er fra indlæg ved møde i NORDKAP(2006). De listede danske tal er fra VD(1983).

4. KONTROL AF SIMULERINGSOPGAVE

Kapitlet er udarbejdet af arbejdsgruppen. Kontrollisten, der præsenteres i tilhørende bilag 7, er ligeledes stillet op af arbejdsgruppen med inspiration fra checkliste, som indgår i Trafikkontoret(2005).

5. KALIBRERING AF MIKROSIMULERINGSMODEL

Der er fundet en del kilder, som beskæftiger sig med gennemførelse af kalibrering og validering, herunder specielt FHWA(2004) og VTRC(2006).

Tilgangen til kalibreringsprocessen med følsomhedsanalyse og opdeling i ”sikre” contra ”mindre sikre” parametre (*Hæfte ms* afsnit 5.2) findes også i kilder hhv. afsnit 2.2.2 i Vægverket(2008), afsnit 5.2 i FHWA(2004) og i Hollander et al(2008).

Som mål for ”goodness-of-fit” foreslås i *Hæfte ms* anvendt root-mean-square error (RMSE) og Geoffrey E. Havers værdi (GEH). Disse mål indgår også i Hollander et al(2008). *Hæfte ms* tabel 5.2 om kriterier ved kalibrering er udarbejdet på grundlag af FHWA(2004). Anbefalingerne om forskel mellem modelberegnet og observeret rejsetid findes også i FHWA(2004) og i Trafikkontoret(2005).

6. SÆTNING AF PARAMETERVÆRDIER

6.1 Generelt

Ved at skanne en række tilgængelige kilder fandtes ingen konkrete anbefalinger til parametersætning for specifikke situationer. Årsagen synes at være, at parametersætning i høj grad afhænger af den aktuelle situation og stedet, og derfor vil der ikke være nogen mening i at foreslå konkrete sæt af parameter-værdier. Arbejdsgruppen har valgt at indikere relevante eller typiske parameter-værdier, hvor der vurderes at være belæg for det.

6.2 Assignment

For afsnit 6.2 om statisk og dynamisk assignment henvises til PTV(1998) og til et kort sammenfattende notat, Cowi(2008). I sidstnævnte notat beskrives

assignment i modeller baseret på Vissim, og der redegøres for fordele og ulemper ved de to former for assignments. Det er herfra beskrivelsen om fordele contra ulemper og anbefalingerne er hentet.

Fig. 6.1 i *Hæfte ms* om fastlæggelse af rutevalg ved dynamisk assignment er fra afsnit 12.2 i PTV(2008).

6.3 Car-following

Hæfte ms afsnit 6.3 omhandler car-following i mikrosimuleringsmodeller, især modeller baseret på Vissim. Opstillingen af Wiedemann 99-parametre CC0–CC9 i tabel 6.1 er grundlæggende baseret på afsnit 5.4.2.2 i PTV(2008). Kolonnen *Relevant range* for Vissim parametrene CC0–CC2 er vurderet af arbejdsgruppen ud fra erfaringer med konkrete opgaver løst med Vissim. Dette gælder ligeledes anbefalingen af Wiedemann 74-modellen for bytrafik og flettesituationer, de vejledende værdier, der fremgår af fig. 6.2 og 6.3 i *Hæfte ms*, og en del af de øvrige beskrivelser og anbefalinger vedr. parametre for car-following.

I PTV(2008) er ligeledes i afsnit 5.4.6 vist eksempel på virkningen af parametersætning for car-following i både Wiedemann 74- og 99-modellen.

Et væsentligt bidrag til vurdering af alle Vissim parametrene CC0–CC9 og virkningen af kombinationer af sætning af disse parametre foreligger i paper, Simulation Conference(2006). Her er betydningen af sætning af disse parametre forholdsvis grundigt behandlet, og det er specielt studier, der er behandlet i denne kilde, som ligger til grund for *Hæfte ms*' henvisning til følsomhedsanalyser oa. vedr. parametre i Wiedemann 99-modellen.

6.4 Skift af kørespor

Anbefalingerne for parametre i Wiedemann-modellerne i forbindelse med skift af kørespor og fletning er foreslået af arbejdsgruppen og må anses som ”best-practice” på området i henhold til arbejdsgruppens egne erfaringer. Behovet for en parametersætning, som gør trafikanterne mere ”aggressive” i deres kørsel end ved brug af default-værdier i Vissim, er ligeledes baseret på arbejdsgruppens erfaringer med specielt simulering af motorvejstrafik. Det skal tilføjes, at arbejdsgruppen gennemførte enkelte tests af flettemanøvrer ved sporbortfald for at underbygge anbefalingerne, men disse tests er ikke nøjere beskrevet.

6.5 Parametre for vigepligt

Adfærdsmæssige parametre for vigepligt har i løbet af de sidste ca. ti år været grundigt undersøgt for trafikafvikling i Danmark, specielt for rundkørsler, se Trafitec(2005) og Trafitec(2007). Dette er baggrunden for, at der i *Hæfte ms* henvises til sammenligning med resultater opnået ved brug af modeller i VD(2008) og DanKap, såfremt det er muligt ved sådanne modeller at skabe en lignende situation som den analyserede.

I *Hæfte ms* vedr. behandling af parametre for vigepligt relateres ligeledes i væsentlig grad til Vissim. I PTV(2008) afsnit 6.6 behandles modellering af trafik i ikke-signalregulerede kryds.

Hæfte ms fig. 6.8 samt beskrivelsen af vigepligt med stoplinie og konfliktmarkør er hentet fra PTV(2008) afsnit 6.6.1. Tabel 6.2, .3 og .4 i *Hæfte ms* er tilvejebragt ved indmelding fra hvert af arbejdsgruppens medlemmer om erfaringsmæssige værdier for gap-time ved medlemmernes konkrete brug og kalibrering af modeller baseret på Vissim. Selv om disse tabeller således blot afspejler et sammendrag af eksempler på parametersætning, er det vurderet som nyttig reference ved parametersætning i Vissim.

Arbejdsgruppen har gennemført en række forsøg med sammenligning mellem Vissim og DanKap af opnået kapacitet for tilfartsspor i prioriterede kryds og rundkørsler. I *Hæfte ms* bilag 4 er vist resultater af sammenligningerne.

Beskrivelsen i *Hæfte ms* af vigepligt med konfliktområde i Vissim er hentet fra PTV(2008) afsnit 6.6.2. Iflg. PTV(2008) giver løsninger baseret på konfliktområder en mere ”intelligent” trafikantadfærd end ved løsninger baseret på stoplinie og konfliktmarkør. Som nævnt i *Hæfte ms* var der på tidspunktet for udarbejdelsen af hæftet imidlertid ikke systematisk indhentet erfaringsværdier for modellering på denne måde, og derfor indgår kun leverandørens beskrivelser fra PTV(2008).

Ved undersøgelser af vigepligt i rundkørsler har det vist sig, at intensiteten af frakørende trafik i samme vejgren kan have en betydelig virkning på kapaciteten i tilfarten, se Trafitec(2005). Arbejdsgruppen har vurderet at hensyntagen hertil i Vissim kan implementeres ved parameteren ”Anticipate routes”.

6.6 Signalregulerede kryds

Anbefalingerne i *Hæfte ms* er af forholdsvis generel karakter med henvisning til øvrige afsnit vedr. car-following og vigepligt.

Ved kalibrering af modellen kan passagetider ved stoplinien sammenholdes med værdierne i tabel 6.2 i VD(2008) eller værdierne i *Hæfte ms* bilag 5, som stammer fra en undersøgelse gennemført af Vejdirektoratet i 2005-06, VD(2006). Førstnævnte er fundet ved typiske bykryds og sidstnævnte for større forstadskryds.

Konstateringen af tidlig start og stop ved skift til/fra grønt i Vissim er gjort af arbejdsgruppen ved anvendelse af modeller baseret på Vissim.

6.7 Parametre for køretøjs- og føreregenskaber

Eksempler på køretøjslængder, *Hæfte ms* fig. 6.9, er fra målinger, som Vejdirektoratet har gennemført. Målingerne er ikke publiceret.

Data, der indgår i eksempler på vægtfordeling af lastbiler, *Hæfte ms* fig. 6.10, er fra Vejdirektoratets vægtstationer, som måler passerende køretøjers vægt. De anvendte målinger er ikke publiceret.

Motoreffektfordeling for danske lastbiler, *Hæfte ms* fig. 6.11, er indhentet fra Danmarks Statistik. Søjlerne med korrigerede værdier er beregnet af Vejdirektoratet.

Ønsket hastighed er en vigtig parameter i en mikrosimuleringsmodel. Den ønskede hastighed måles ved lav trafikintensitet, eller i tilfælde hvor det kan konstateres, at der er en stor tidsafstand foran og bagved det målte køretøj. Vejdirektoratet har foretaget målinger af personbilers og store køretøjers hastighed på veje med forskellig tilladt hastighed. Målingerne, der for hvert målested omfatter ét døgn trafik, er gennemført som enkeltkøretøjsmålinger. De anvendte data er alle for køretøjer med tidsmæssig afstand til foran- og bagvedkørende bil i samme kørespor på mindst 7 sek. Resultatet foreligger i *Hæfte ms* fig. 6.12 og 6.13 samt i bilag 2, hvor der er vist målinger fra hver vej, der er indgået i undersøgelsen.

En anden vigtig parameter er ønsket acceleration og deceleration. Dette blev belyst i en undersøgelse fra 2008 omfattende en serie testkørsler med 20 unge og ældre bilister, se Trafitec(2009). Endvidere foreligger målinger foretaget ved et afgangprojekt på Aalborg Universitet, se Pihljær(2009). *Hæfte ms* fig. 6.14 og 6.15 samt bilag 3 er baseret på disse kilder.

6.8 Specielle parametre

Leverandørens anbefaling af mindst 3 opdateringer pr. sekund i Vissim-baseret model foreligger i PTV(2008) afsnit 8.1.1. De omtalte erfaringer, der viser, at der bør vælges 10 opdateringer pr. sekund, er gjort af arbejdsgruppen.

Den generelle (verbale) del af afsnittet om antal repetitioner er udfærdiget af arbejdsgruppen. Proceduren til beregning af antal repetitioner er beskrevet i en del kilder, bl.a. FHWA(2004), Hollander et al(2008) og Burghout(). Tabel 6.6 er beregnet af Vejdirektoratet.

7. REFERENCER

Burghout(), A Note on the Number of Replication Runs in Stochastic Traffic Simulation Models, Wilco Burghout

Cowi(2008), Vissim: Assignments, Teknisk notat, Cowi 30.01.2008

FHWA(2004), Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software, Federal Highway Administration, USA, June 2004

FHWA(2007), A Guide to Documenting Vissim-Based Microscopic Traffic Simulation Models, Federal Highway Administration, 2007

Heft 669(1994), Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Bundesministerium für Verkehr

Hollander et al(2008), The Principles of Calibrating Traffic Microsimulation Models, Yaron Hollander, Ronghui Liu, January 2008

Infrastrukturkommissionen(2008), Betænkning 1493, Danmarks Transportinfrastruktur 2030, Infrastrukturkommissionen, januar 2008

May(1990), Adolf D. May: Traffic Flow Fundamentals, Prentice Hall, 1990

NORDKAP(2006), Nordisk seminar om serviceniveau den 4-5 september 2006, indlæg ved Ørjan Tveit, SINTEF Transportsikkerhet og -informatikk

Pihlkjær(2009), Trafiksimulering med Vissim, en analyse af programmets grundlæggende adfærdsparametre samt bestemmelse og test af adfærdsparametre under danske forhold, Anders Pihlkjær, AAU, 2009

Projekt Trængsel(2004), Projekt trængsel, resumérapport, august 2004

PTV(1998), Static Assignment versus Dynamic Simulation, paper fra Conference on Computational Engineering in Systems Applications, 1998, PTV AG

PTV(2008), Planung Transport Verkehr AG: Vissim 5.1 User Manual, 2008

Simulation Conference(2006), Vissim: A Multi-Parameter Sensitivity Analysis, Nicholas E. Lownes and Randy B. Machemehl, Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference.

Trafikkontoret(2005), Stockholm Stad, Trafikkontoret: Mikrosimuleringssupdrag,Handledning för nöjda beställere och utförare, 2005

Trafitec(2005), Kapacitet i rundkørsler – anbefalinger til Vejregler, Trafitec Aps, februar 2005

Trafitec(2007), 2-sporede rundkørsler – vurdering af kapacitet i tilfartsspor, Trafitec Aps, marts 2007

Trafitec(2009), Accelerationss- og decelerationsværdier for personbiler, baseret på data fra testkørsler med 20 testpersoner, Trafitec, oktober 2009

VD(2006), Rapport vedrørende følgetider ved signalregulerede kryds, Vejdirektoratet, 2006

VD(2008), Vejdirektoratet, Vejreglerådet: Vejregel for kapacitet og serviceniveau, maj 2008

VD(1981), Vejregler bind 1, Hæfte 4.30.01 Trafikteknik, Vejdirektoratet, Vejregeludvalget, 1981

VD-289(2004), Vejdirektoratet: Rapport nr. 289: Trafiktællinger, planlægning, udførelse og efterbehandling

VD(1983), Vejregelhæfte 5.30.01, vejteknik, Vejregler for vejkryds i åbent land, oktober 1983

VTRC(2006), Microscopic Simulation Model Calibration and Validation Handbook, Virginia Transportation Research Council, October 2006

Vägverket(2008), Parametersättning, En manual för inställning afv mikrosimuleringsmodeller, Vägverket m.fl., 2008