

Indirekte ruter – hvordan man spilder tiden i et digitalt netværk

Hans Skov-Petersen

Analyse af netværk – f.eks. i forbindelse med transport og logistik – er en central del af 'GIS-værktøjskassen'. Langt de fleste af de algoritmer vi i den forbindelse anvender, tager udgangspunkt i optimering – hvordan man hurtigst, billigst eller med det mindste energiforbrug kommer fra et sted til et andet. Dvs. at man på forhånd afskærer sig fra at undersøge situationer, der afviger fra det optimale – Hvad er den næstbedste løsning? Hvilke er de ti korteste ruter? Osv. I nærværende artikel gennemgår jeg udviklingen af en metode til undersøgelse af ikke-optimale – eller indirekte om man vil – ruter gennem et netværk. Det vises bl.a. hvordan metoden, der tager afsæt i analyse af rekreative adfærdsmønstre, kan bruges til at undersøge mulige ruter der, efter at have forbrugt et ønsket tidsrum, vender tilbage til deres udgangspunkt: Det rene tidsspild!

Introduktion

Det er altid interessant når det går op for én, at der er noget man simpelt hen ikke kan i de GIS systemer, man har til sin rådighed. Lige meget hvordan man vender og drejer problemet, må man erkende, at det simpelt hen ikke er muligt, og at man bliver nød til at overveje hvilke *grundlæggende forudsætninger*, der skal ændres for at man kan komme videre. Jeg er blevet sat i sådan en situation: Jeg arbejder med friluftslivets adfærd i naturen; hvordan skovgæster bevæger sig, hvordan mountainbike'ne kører igennem landskabet, hvor mange besøgende naturområderne får, hvordan det evt. påvirker naturen osv. Jeg har i den forbindelse behov for at give bud på mulige rundture i stinetværkene i en række konkrete naturområder. Jeg har i en række andre forbindelser arbejdet med analyse af digitale netværk, men måtte her erkende, at det simpelt hen ikke kunne lade sig gøre at komme videre med udgangspunkt i de forhåndenværende metoder (og teorier).

I langt de fleste tilfælde retter analyse af digitale trans-

port netværk sig mod *optimering*. Der tages udgangspunkt i, hvordan man hurtigst, billigst, kortest eller på anden måde kommer *mest effektivt* fra et givet sted til et andet. Den helt klassiske anvendelse er analyse af den korteste rute mellem to lokaliteter. På samme måde beregnes ofte en forbindelsesmatrice (eller graf), der for alle mulige kombinationer af lokaliteter (ofte netværksknudepunkter) angiver den mest optimale forbindelse. Hvad der derimod *ikke uden videre er muligt er at give bud på den næstbedste rute eller den 10 bedste*. Endnu værre bliver det, hvis man har brug for at *finde rundture*. Lige meget hvordan man beder et optimerende system om at beregne hvad man bør gøre for at komme tilbage til udgangspunktet, vil det svare at man bør blive stående. Set på en anden måde, ud fra en rekreativ, adfærdsmæssig synsvinkel, er problemet at når man går tur i skoven under ingen omstændigheder ønsker at *optimerer sin tid. Man ønsker at spille tiden, ikke at være effektiv!* Man kan selvfølgelig bede

om den rute, der giver flest oplevelser, men det står stadigvæk i forhold til en eller anden form for transportomkostning, og man kan stadig kun få et enkelt, bedste bud.

Med dette udgangspunkt vil jeg i denne artikel gennemgå hvordan jeg kom frem til en løsning på problemet og på hvilke måder jeg herfra vil anvende de udviklede metoder.

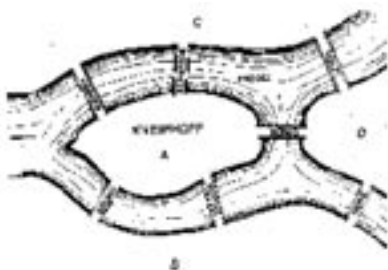
Baggrund

I mange sammenhænge – herunder i forbindelse med GIS-analyser – vælger vi at repræsentere netværk (f.eks. vejnet) som grafer. *En graf angiver den interne sammenhæng* i nettet. Hvordan hvilke vejstykker knytter an til hvilke vejkryds. Vejstykkerne betegnes ofte som *linier* eller *segmenter*. Krydsene betegnes *noder*, knude- eller forbindelsespunkter. Et node kan også være blindt, dvs., at det kun er forbundet til ét segment.

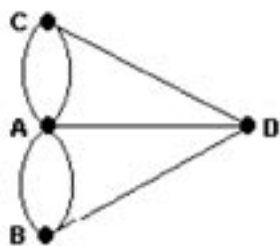
Leonard Euler (1707-1783) anvendte som en af de første, grafer til formulering af et transportnetværk, da han blev bedt om at undersøge

om man kunne gå en tur over de 7 broer over floden Preger i Königsberg (nu Kaliningrad) i det tidligere Østpreussen, uden at passere den samme bro mere end én gang (figur 1). For at lette sine overvejelser opstillede Euler grafen vist i figur 2. Han fandt ud af, at det kun kunne lade sig gøre, hvis kun 1 eller 2 node havde et ulige antal segmenter knyttet til sig.

Én måde at opdele netværksanalyser på, er i *først og anden ordens metoder*. *Første ordens metoder* beskæftiger sig udelukkende med beskrivelse af de konkrete ruter



Figur 1: De 7 broer i Königsberg.



Figur 2: Repræsentation af de 7 broer i Königsberg som graf. Noderne A, B, C og D repræsenterer de to bredder og de to øer i floden.

mellem to eller flere punkter i vejnettet. I sin simpleste form kender vi det fra f.eks. Krak kort (www.krak.dk), hvor man kan få kort og beskrivelser for kortest mulige ruter mellem lokaliteter i en given rækkefølge. Man omtaler ofte dette 'shortest path analyse'. Mere avanceret bliver det i forbindelse med løsningen af 'the travelling salesman problem' hvor en række lokaliteter i et transportnet skal besøges i den mest effektive rækkefølge. I forbindelse med *anden ordens metoder* aggregeres og analyseres flere sammenhængende lokaliteter samtidigt. I forbindelse med analyse af *tilgængelighed* summeres således mulighederne indenfor en given transporttid fra hvert punkt i netværket (se f.eks. Skov-Petersen, in proces). Der kan f.eks. være tale om opgørelse af det samlede skovareal indenfor 15 minutters kørsel, set ud fra det enkelte node i netværket. I forbindelse med *allokeringsanalyse* fordeles territorier for en række faciliteter sådan, at den samlede transportomkostning minimeres. Der kan f.eks. være tale om at beregne de optimale skoledistrikter med udgangspunkt i skolernes og børnenes placering i forhold til hinanden. Der tages igen udgangspunkt i minimering af transporttiden. En *lokaliseringanalyse* kan anvendes, hvis man skal placere nye eller fjerne eksisterende faciliteter (Møller-Jensen, 1998). Hvis man, f.eks. i forbindelse med strukturreformen, har behov for at undersøge hvilket af rådhus-

ne, der skal anvendes i fremtiden, eller hvis man skal give et bud på hvor en ny sports-hal skal placeres, kan lokaliseringsanalyser anvendes.

Som det fremgår, er alle disse metoder på den ene eller anden måde baseret på en forudsætning om optimering.

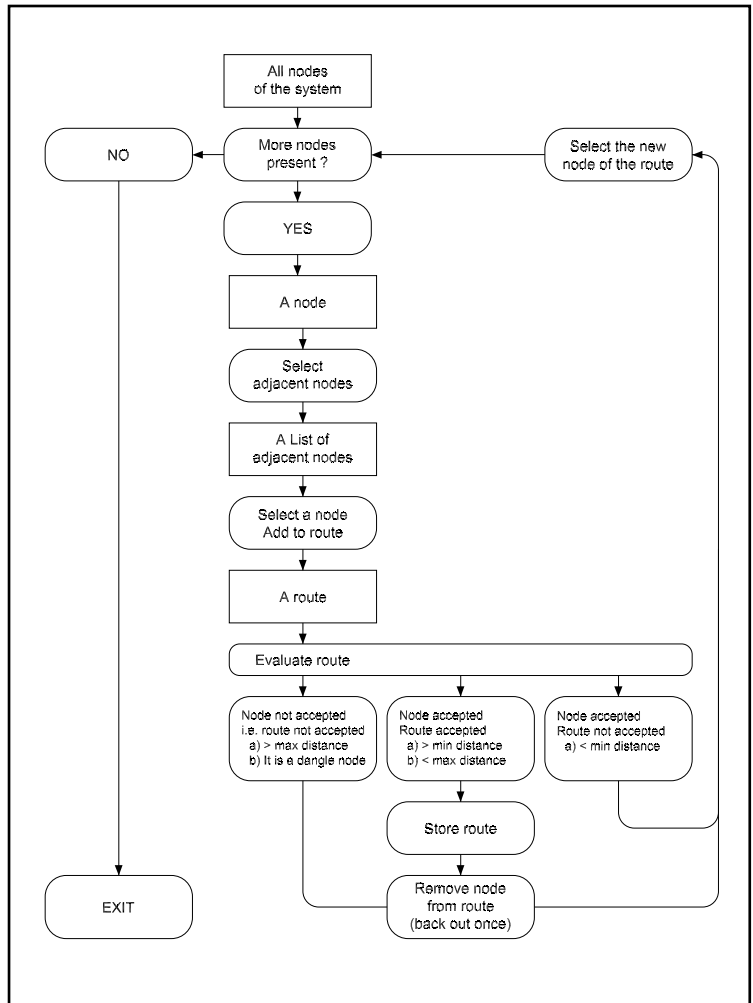
Der findes forskellige mere eller mindre fiklede tilpasninger – eller *heuristiske metoder* om man vil – der kan anvendes som et alternativ til en egentlig løsning af problemet. For eksempel kan man fjerne det mindste betydende segment fra den bedste rute (f.eks. det korteste) og gentage beregningen. Metoden – der refereres til som bl.a. *tabu-metoden* (se f.eks. Fan and Machemehl, 2004) – kan ikke anvendes i forbindelse med beregning af rundture, da der stadig tages udgangspunkt i optimering.

I forbindelse med rundture kunne man forsøge sig med udlæg af *geometrisk figurer* ud over netværket og søgning af de nærmeste noder. F.eks. kunne man ud fra udgangsnodet lægge en trekant eller en cirkel udover netværket og fremsøge de noder i netværket, der ligger tættest på figuren. *Mere formelt* kunne det udvikles til, at man med udgangspunkt i en forbindelsesmatrice søger alle de noder, der ligger i en afstand af $1/3$ (\pm f.eks. 10%) af den tilgængelige tid fra udgangsnodet. I den resulterende 'sværm' af node kan man så vælge alle de sæt af node,

der ligger 1/3 (± f.eks. 10%) fra hinanden. Udgangsnodet og de forskellige udvalgte sæt kan så bruges til at finde forskellige ruter (vha. en vanlig shortest-path analyse), der på ca. den ønskede tid leder én tilbage til udgangspunktet. Metoden kan udvikles yderligere ved at dele ruten op i mere end 3 dele og evt. lade delene være i forskellige størrelser (ikke kun 1/3, 1/4 etc.). Et problem er, at de resulterende ruter ofte er selvoverlappende og derfor ikke danner 'pæne' rundture.

Et gennemgående problem er at shortest path metoden under ingen omstændigheder kan tage hensyn til en situation hvor to noder forbindes af mere end to segmenter (uden andre noder imellem). Metoderne vil under alle omstændigheder kun kunne tage hensyn til den korteste eller mest effektive af de mulige forbindelser.

Den krog vi således bliver ved med at vende og dreje os på er, at vi mangler muligheden for at gennemløbe alle mulighederne for at gennemløbe netværket ud fra en given rumlig forudsætning (f.eks. hvor lang tid en rundtur eller en tur mellem to punkter må tage, angivet som minimum og maksimum). Vi er ude efter en metode, der gør det muligt at afsøge samtlige mulige ruter og derigennem beslutte os for hvilken vi vil anvende – ud fra hvad ruterne fører os igennem og hvor fra og hvor til den går. Den metode, der i det føl-



Figur 3: Flow-diagram af processen. Objekter – noder, lister af noder og ruter angives i firkantede bokse medens procedurer og beslutninger er bokse med afrundede hjørner. En rute er en serie af noder der beskriver en (acceptabel) vej gennem netværket.

gende vil blive gennemgået, giver disse muligheder som et alternativ til de eksisterende, optimerende metoder.

Metode

Proceduren kan anvendes til at finde samtlige mulige ruter mellem to punkter af en given varighed eller omkostning.

Hvis start- og slutpunktet er det samme, er der tale om en rundtur. I sin nuværende form anvender proceduren beskrivelse af ruter som rækkefølger af noder. Derfor kan den ikke tage hensyn til mere end ét muligt segment mellem to node (som beskrevet ovenfor). Proceduren i

figur 3 giver mulighed for at analysere mulighederne med udgangspunkt i et, flere eller samtlige noder i et netværk.

Ved valg af et node som udgangspunkt, undersøges det hvilke noder, der ligger i umiddelbar tilknytning til det. Af disse muligheder, vælges ét. Med dette nye udgangspunkt, undersøges det igen hvilke noder, der er forbindelse til. Af dem vælges ét osv, osv. For hvert nyt node, der lægges på ruten, undersøges det, om ruten er acceptabel eller ej: Er den acceptabel (dvs. indenfor tidskravet og at den er nået til det ønskede sted – udgangspunktet, hvis der ønskes er en rundtur) gemmes sekvensen af noder. Derefter 'bakkes' der én gang. Det node man netop har accepteret slettes som mulighed. Der vælges et nyt og den nye rute evalueres. Hvis der i et node ikke er flere tilgrænsende noder at afprøve, bakkes yderligere en gang.

En rute kan være uacceptabel af en række årsager:

a) Den kan være kortere end minimumskravet til den samlede rute. I det tilfælde vælges et nyt node mellem de tilgrænsende. På den måde kan man sige at nodet er accepteret, men ruten ikke er det.

b) Ruten kan være længere end maksimumskravet. I det tilfælde bakkes der.

c) Nodet kan vise sig at være 'hængende'. Dvs. at det ikke fører nogen veje hen.

d) Endelig kan der være tale om at ruten krydser sig selv (dvs. at et node har været besøgt før). I den nuværende version af programmet er det heller ikke acceptabelt og udløser også at der bakkes.

I den nuværende version rapporteres de accepterede ruter på to måder: Dels gemmes alle accepterede ruter til senere indlæsning og anvendelse i netværket. Dels gemmes der for alle noder, der analyseres antallet af accepterede ruter.

Resultater og anvendelser

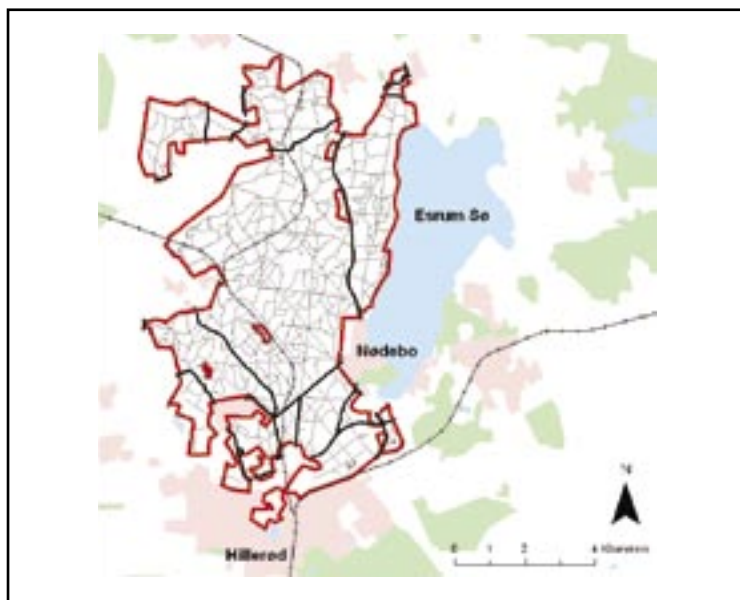
Som illustration af metoden analyseres sti-/vejnettet i Grib Skov i Nordsjælland (se figur 4). Det anvendte sti-/vejnetværk stammer fra Kort og Matrikelstyrelsens Top10DK.

Der kan være (mindst) to centrale grunde til at interessere sig for indirekte ruter eller rundture:

a) Opgørelse af mulige rundture kan anvendes som indeks for sammenhængen i netværket.

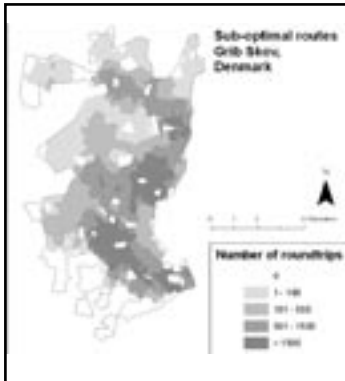
b) Simulering af individuel adfærd, f.eks. i forbindelse med agent-baserede modeller.

Opgørelse af mulige rundture anvendes som indeks for sammenhængen i netværket svarer til opgørelser over, hvor mange forbindelser det enkelte node knytter an til. Således kan et 'rundturs-indeks' anvendes som udgangspunkt for opgørelse af den rekreative kvalitet af et stinetsværk – hvor



Figur 4: Grundkort. Vejnet fra Top10DK. Data i øvrigt fra D200. Data i denne og de følgende illustrationer er anvendt i henhold til aftale med KMS (GX-04).

mange forskellige rundture det er muligt at tage fra en given parkeringsplads. I figur 5 ses en opgørelse af hvor mange rundture på mellem 3.5 og 4.5 km, det er muligt at foretage i hvert node i stinettet i Grib Skov. Ikke overraskende er de områder, der har mulighed for flest rundture, placeret centralt i skoven. Ud mod kanten er antallet, alt andet lige, selvsagt mindre. Som det fremgår, er der tale om relativt store antal mulige rundture – op til over 1.500.



Figur 5: Metoden anvendt til beregning af netværksindikatorer: Kortet angiver antallet af rundture på 3.5 - 4.5 km for det enkelte node. Af kartografiske årsager er værdierne visualiseret vha. Thiessen polygoner omkring noderne (dvs. de områder der ligger tættest på det enkelte node).

Man lægger mærke til, at der rundt om i skoven forekommer hvide 'lommer'. Det skyldes 'hængende' noder –altså noder der kun knyttes an til netværket med en forbindelse (se figur 6).

I forbindelse med modellering af menneskelig adfærd

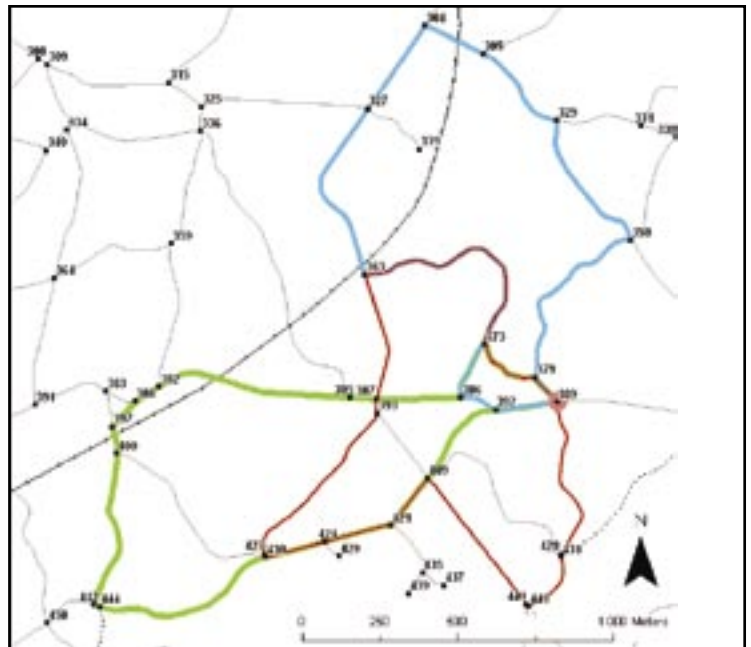


Figur 6: Effekt af 'hængende' noder (noder der kun knyttes an til et segment).

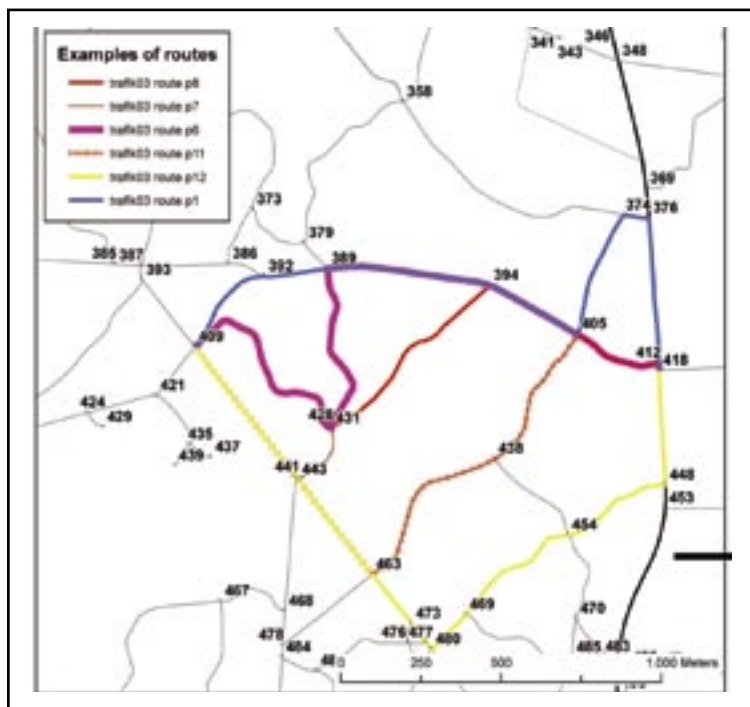
– f.eks. i forbindelse med rekreation anvendes i stadig

højere grad simulering af individuelle valg og aktiviteter (se f.eks. Gimblett 2002 og Skov-Petersen 2005). Der kan i sådanne 'Agent-baserede modeller (ABM)' være behov for at vælge mulige rundture til de enkelte 'agenter', der 'ankommer' til f.eks. parkeringspladser. I figur 7 ses 3 (ud af 778 mulige) rundture med udgangspunkt i node nummer 389.

Tilsvarende kan metoden anvendes til at give bud på mulighederne for at komme fra ét punkt til et andet indenfor et givent tidsinterval. I figur 8 ses således 5 udvalgte ruter - ud af 22 mulige - mellem node 418 og ode 408, på 1,6 - 2,5 km.



Figur 7: 3 udvalgte rundture – ud af 778 mulige - mellem 3,5 og 4,5 km med udgangspunkt i node nummer 389.



Figur 8: 5 udvalgte ruter - ud af 22 mulige - mellem node 418 og node 408, på 1,6 - 2,5 km.

Konklusion og perspektiver

Analyse af alternativer til optimale ruter – indirekte ruter - gennem digitale netværk er andet end blot en akademisk øvelse. I artiklen er det blevet vist, hvordan indirekte ruter er nødvendige i forbindelse med modellering af rekreativ adfærd. Andre områder, hvor der er behov for analyse af alternative ruter, kan sagtens tænkes.

Den udviklede metode giver ikke kun mulighed for at finde rundture og alternative ruter mellem to eller flere punkter, den giver i princippet mulighed for at analy-

sere samtlige mulige ruter gennem netværket – hvilket i sin yderste konsekvens er uendeligt mange. I praksis begrænses antallet af muligheder af:

- a) det tidsinterval ruten skal ligge inden for,
- b) i hvor høj grad en rute kan være selv-overlappende .
– dvs. ruter der ikke gennemløber segmenter eller noder den allerede har været igennem - og
- c) hensyn til hvilke segmenter eller noder der skal være med i det resulterende sæt af ruter

I sin nuværende form giver metoden kun mulighed for at tage hensyn til tidsintervaller (a ovenfor). Hensynet til hvilke noder og segmenter der gennemløbes (c ovenfor) gennemføres p.t. som en efter-procesering, men kunne godt gennemføres som en del af analysen. Det vil blive en del af den kommende version af metoden, der også vil inddrage muligheden for selv-overlappende ruter. For at afhjælpe den åbenlyse forlængelse af analyse-tiden i forbindelse med selv-overlappende ruter, vil der bl.a. blive indført en række kriterier for, hvornår afsøgningen af en konkret rute skal afbrydes. F.eks. kunne det konstant undersøges om den euklidiske afstand (som kragerne flyver) fra det aktuelt evaluerede node tilbage til udgangspunktet overstiger halvdelen af den maksimalt acceptable tid.

Metoden, som den fremstår her, er udviklet som en del af en agent-baseret model for rekreativ adfærd. I sin nuværende form beregnes f.eks. alle mulige rundture ud fra en given parkeringsplads, indenfor en given tidsmargin på forhånd (præprocessing). Det giver en fordel i forhold til beregningstiden, medens modellen kører, men kræver dels mere computer hukommelse, da alle rundture lagres som en del af modellen. Dels kræver det, at man på forhånd har taget stilling til de tidsintervaller, man vil arbejde i, hvilket selvsagt giver et mindre fleksibelt system. I den kommende version vil

det blive forsøgt at lade programmet generere tilfældige versioner af ruter on-the-fly.

Referencer

Fan, W. and Machemehl, R. 2004. A Tabu Search Based Heuristic Method for the Transit Route Network Design Problem. CASPT 2004, 9th International Conference on Computer-Aided Scheduling of Public Transport. San Diego, California. August 9-11, 2004.

Gimblett, H., R. 2002. Integration of geographic informationsys-

tems and agent-based technologies for modelling and simulating social and ecological phenomena. In Gimblett, H.R. (ed.), 2002. Integrating Geographic Information Systems and Agent-based Modelling Techniques. Oxford university Press.

Møller-Jensen, L. 1998. Assessing spatial aspects of school location-allocation in Copenhagen. Geografisk Tidsskrift. Vol 98. Det kongelige geografiske selskab.

Skov-Petersen, H. 2005. Feeding the agents – collecting parame-

ters for agent-based models. Conference paper. Computers in Urban Planning and Management (CUPUM) 2005.

Skov-Petersen, H. In process. A family of Accessibility Indicators – applied to Recreation. Urban Greening and Urban Forestry. Elsevier.

Om forfatteren

Hans Skov-Petersen, Skov og Landskab
Rolighedsvej 23, DK - 1958 Frederiksberg
e-mail: hsp@kvl.dk