

# Lokalisering af busgarager

---

Af Søren Glud Johansen, Jørgen Aase Nielsen og  
Jørgen Tind\*)

## *Resumé*

*Der redegøres for et projekt i forbindelse med planlægning af nye garageanlæg for Århus sporveje. En række forskellige muligheder analyseres, navnlig med henblik på en vurdering af omfanget af tomkørsel uden passagerer til og fra garageanlæggene. I forbindelse hermed anvendes en EDB-model af »Alternate location-allocation«-typen. Projektet vurderer forskellige alternative placeringer for garageanlæg og koncentrerer endelig om en bestemt placering af én ny garage, som man på grundlag heraf har besluttet at lade opføre.*

*Der gøres rede for projektets baggrund og forskellige faser. Endelig anføres nogle mere generelle bemærkninger om modeller i relation til beslægtede problemer.*

---

\*) Institut for Operationsanalyse, Aarhus Universitet. Artiklen modtaget oktober 1978.

# Lokalisering af busgarager

---

Af Søren Glud Johansen, Jørgen Aase Nielsen og  
Jørgen Tind\*)

## *Resumé*

*Der redegøres for et projekt i forbindelse med planlægning af nye garageanlæg for Århus sporveje. En række forskellige muligheder analyseres, navnlig med henblik på en vurdering af omfanget af tomkørsel uden passagerer til og fra garageanlæggene. I forbindelse hermed anvendes en EDB-model af »Alternate location-allocation«-typen. Projektet vurderer forskellige alternative placeringer for garageanlæg og koncentrerer endelig om en bestemt placering af én ny garage, som man på grundlag heraf har besluttet at lade opføre.*

*Der gøres rede for projektets baggrund og forskellige faser. Endelig anføres nogle mere generelle bemærkninger om modeller i relation til beslægtede problemer.*

---

\*) Institut for Operationsanalyse, Aarhus Universitet. Artiklen modtaget oktober 1978.

## 1. Introduktion til et lokaliseringsproblem for busgarager

Nærværende artikel beskæftiger sig med problemerne omkring placering af garageanlæg for busserne i Århus kommune, idet der først skal redegøres for de historiske forudsætninger.

I forbindelse med kommunalreformen i 1970 blev adskillige forstads-kommuner til Århus by sammenlagt med Århus kommune, hvis land-område herved voksede betydeligt i lighed med de fleste øvrige tilbageværende kommuner i landet. Indtil da var den offentlige trafikbetjening i den indre by og de tætliggende forstæder blevet varetaget af det kommunalt ejede trafikselskab Århus sporveje, som drev buslinierne og de daværende sporvognslinier i den indre by. Derimod blev den offentlige trafik i de fjernereliggende forstæder og mellem dem og Århus by dengang drevet af private busselskaber.

Ud fra ønsket om at sikre samtlige borgere i den nu større kommune en mere ensartet og forbedret offentlig trafikbetjening har Århus sporveje sidenhen opkøbt busselskaberne i forstæderne. Hermed er det blevet muligt at samordne planlægningen af busdrift i hele området og med kommunal støtte at indføre en mere ensartet takstpolitik og trafikbetjening. Det gælder også for det rullende materiel, som flere steder er blevet udskiftet med nye busser.

Vedligeholdelsen af busserne i forstæderne foregik før sammenlægningen på flere små garageanlæg, hvor busserne også blev opbevaret om natten. Derimod havde Århus sporveje netop opført et større moderne garageanlæg i den nordlige bydel, på Gustav Holmsvej, til vedligeholdelse og opbevaring af deres busser. Der er her tale om et garageanlæg med moderne udstyr til daglig service, rengøring og vask, ligesom der også findes værksteder samt opvarmede garager til opbevaring af busserne.

For at kunne tilbyde brugerne et materiel af ensartet standard finder man det uhensigtsmæssigt at opretholde driften af de små garageanlæg i forstæderne efter sammenlægningen. Også økonomiske overvejelser spiller en rolle på grund af de stordriftsfordele, som er forbundet med drift af færre og større anlæg. Anlægget på Gustav Holmsvej har en kapacitet på ca. 100 busser. I forbindelse med opkøb og udvidelse af trafikbetjeningen forventer Århus sporveje at nå op på

at have ca. 200 busser i drift. Det står derfor klart, at man må opføre yderligere et eller flere moderne anlæg, evt. udvide anlægget på Gustav Holmsvej. Det sidste vil dog kun kunne ske i et mindre omfang på grund af arealbegrænsninger.

Flere økonomiske og tekniske forhold omkring placering, dimensionering, opførelse og daglig drift spiller naturligvis en rolle. I den forbindelse sættes fokus på tomkørslen, d.v.s. den kørsel busserne foretager fra en garage til en linie og retur. Placering af garageanlæg og placering af til- og frakørselspunkter, også kaldet endestationer, på linierne er her afgørende.

Ligeledes bliver spørgsmålet om den såkaldte liniebinding taget op. Liniebinding betyder, at en linies vogne alle hører til én og kun én garage, der således varetager samtlige vognture, som hører til linien. Herved opnås en hensigtsmæssig ansvarsfordeling mellem garagerne, ligesom en opgivelse af liniebindingen vil medføre problemer med udfærdigelse af mandskabsplaner. Alligevel ønsker man belyst, hvor store tomkørselsbesparelser man vil kunne opnå ved evt. at opgive kravet om liniebinding.

Det blev derfor besluttet i første omgang at undersøge omfanget af tomkørsel ved forskellige placeringsforslag for garager og endestationer, og det blev vores rolle at medvirke hertil. Bl.a. havde man ikke på forhånd besluttet sig for, hvor mange nye garageanlæg man ville bygge, og det blev derfor også et af analysens formål at redegøre for omfanget af tomkørsel ved forskellige antal garageanlæg.

## 2. En model for problemet

Til undersøgelse af omfanget af tomkørslen blev benyttet en modeltype, som kaldes »Alternate Location-Allocation«. Se f.eks. (3). Den anvendes i modellen en heuristisk forbedringsprocedure til minimering af den samlede tomkørsel for et givet antal garageanlæg uden på forhånd givne placeringer heraf. Proceduren indledes med en opdeling af buslinier i regioner, således at der til hver region hører netop én garage. Herefter placeres hver garage inden for sin region, således at den samlede tomkørsel til regionens linier er minimal. Dernæst undersø-

ges, om en linies tomkørsel kan nedsættes ved evt. overførsel til en anden region med dens øjeblikkelige placering af garage. Hvis der her ved opnås en besparelse, overføres den pågældende linie. Dette undersøges for samtlige linier. Derved fremkommer en ny regionsinddeling, som formentlig giver anledning til ændrede placeringer af garager, således at den samlede tomkørsel inden for hver region atter er minimal. Således fortsættes, indtil det ikke længere er muligt ved overførsel af linier at formindske tomkørslen for en opnået regionsinddeling.

Proceduren kaldes heuristisk, fordi den ikke er i stand til at afgøre, om et udformet placeringsforslag er optimalt, d.v.s. om det giver den minimale tomkørsel for et givet antal garager.

Hvis man imidlertid starter med en fornuftigt valgt regionsinddeling, eller alternativt med et fornuftigt valgt forslag til garageplacering, vil proceduren normalt føre til gode løsningsforslag, som ikke afviger meget fra en optimal løsning. En delvis undersøgelse af kvaliteten kan yderligere foretages ved sammenhold med resultater, som fremkommer ud fra ændrede startinddelinger af linier i regioner.

I forbindelse med lokaliseringen af den tomkørselsminimale placering af en garage inden for hver region anvendes som afstandsmål luftlinieafstandene mellem garagen og endestationerne. Herved begås naturligvis en fejl i forhold til de reale afstande langs vejnettet. Vi foretog nogle analyser heraf og fandt frem til, at en placering på grundlag af reale afstande ikke afveg synderligt fra en placering på grundlag af luftlinieafstande. Det er yderligere således, at man normalt i undersøgelser af tilsvarende art med en til formålet tilstrækkelig god tilnærmelse kan få den reale afstand som luftlinieafstanden med tillæg af en fast procentsats, som vi her udregnede til 25%.

I den aktuelle situation begrænses problemstillingen af, at placeringen af anlægget på Gustav Holmsvej er givet, ligesom dets kapacitet på det nærmeste er fastlagt. I proceduren foretages derfor ingen ændring af garageplaceringen i den dertil hørende region.

Den anførte procedure kan naturligvis føre til urealistiske placeringsforslag, idet kun visse arealer i henhold til den kommunale dispositionsplan er til rådighed for evt. opførelse af nye garageanlæg. Imidlertid fandt man det ønskeligt også at kende nogle for den samlede tomkørsel velegnede alternative placeringsforslag. I det hele taget var man interesseret i at kende forskellige andre muligheder ud over de umid-

delbart på dispositionsplanen givne for på et bredere grundlag at kunne vurdere den samlede effekt af en senere foretagen beslutning. Proceduren blev herefter indkodet på EDB og kørt med forskellige antal garageanlæg. Dernæst skete en sammenligning med en række forslag, som Århus sporveje udpegede på grundlag af dispositionsplanen. I den forbindelse skal det derfor bemærkes, at proceduren i flere af de foretagne EDB-kørsler kun blev brugt til beregning af den samlede tomkørsel for givne lokaliseringer og givne regionsinddelinger, d.v.s. at proceduren ikke altid selv foretog nogen overførsel af linier.

### 3. Datagrundlaget og indledende undersøgelser heraf

I første omgang blev det besluttet at undersøge de aktuelle forhold, d.v.s. forholdene i året 1976. Hver linie er tildelt nogle vognture. Typisk består en vogntur for en bus af dens kørsel ud til linien om morgenen, dens kørsel med passagerer frem og tilbage på linien i løbet af dagen og til sidst dens returkørsel til garagen. Antallet af vognture på en linie afhænger bl.a. af dennes længde og passagertal. På grund af den lange driftstid betjenes bussen således af flere chauffører, som afløser hinanden på selve linien. Hertil kommer vognture i forbindelse med ekstrakørsel i myldretiden om morgenen og sidst på eftermiddagen i ugens fem første dage.

Århus sporveje opererer både med en sommer- og en vinterkøreplan. Ruteføringen af de enkelte linier ændres noget i forbindelse med køreplansskift, og der sker navnlig en ændring i antallet og fordelingen af vognture på de enkelte linier. Ydermere er vognturene anderledes sammensat om lørdagen og om søndagen.

En vogntur har normalt til- og frakørselspunkter, endestationer, i de to endepunkter for linien. Der kan dog også være tale om andre endestationer. På grundlag af oplysninger om vognture udregnedes på årsbasis det gennemsnitlige daglige antal til- og frakørsler for hver endestation. Desuden indførtes et koordinatsystem til bestemmelse af de enkelte endestationers beliggenhed. På grundlag af denne information var det herefter muligt at anvende proceduren fra afsnit 2. Herved

bekræftedes stort set det hensigtsmæssige i den aktuelle liniefordeling, givet de nuværende garageanlægs placering. Man opererede dengang med yderligere et mindre garageanlæg i byens sydlige udkant, i Slet. Man kunne endvidere med proceduren give et mål for ændringer i tomkørslen ved andre lokaliseringer af en, to eller tre garager ud over anlægget på Gustav Holmsvej.

På grundlag af de forannævnte indledende undersøgelser fattedes så megen tillid til modellen, at man turde gå i gang med at se på den fremtidige udvikling, som blev den egentlige genstand for undersøgelserne.

#### 4. Analyse af tre beliggenhedsforslag fra Århus sporveje

Århus sporveje har udarbejdet ret detaljerede planer for rutenettet frem til 1985 med tilhørende fordeling af vognture. En række undersøgelser blev foretaget på dette grundlag. For en foreslået placeringsplan opgjordes den gennemsnitlige daglige tomkørsel målt med luftlinieafstand, dog med et tillæg på 25% som før omtalt. Desuden bestemtes omkostningerne i forbindelse hermed på følgende måde (i 1977 priser). Århus sporveje oplyste, at vognførernes lønomkostninger var 1,02 kr. pr. minut, og kilometeromkostningerne for busbenyttelse blev sat til 1,56 kr. På grundlag af tidsmæssige oplysninger om tomkørslen blev den gennemsnitlige tomkørselshastighed udregnet til 30 km/t. Tomkørselsomkostninger pr. km blev derfor:

$$1,56 \text{ kr./km} + 1,02 \text{ kr./min} \times \frac{60}{30} \text{ min/km} = 3,60 \text{ kr./km}$$

De årlige tomkørselsomkostninger kunne følgelig bestemmes som 3,60 gange omfanget af planens årlige tomkørsel.

Man var især interesseret i at kende de årlige tomkørselsomkostninger, hvis man valgte at opføre ét nyt anlæg ud over anlægget på Gustav Holmsvej på en ud af tre mulige beliggenheder, alle i den sydvestlige udkant af byen. I tabel 1 er anført tal, som belyser konsekvenserne af at vælge hver af de tre beliggenheder, kaldet 1, 2 og 3, og til sammenligning er anført tallene for den mulighed, at al garagekapacitet er placeret ved det nuværende garageanlæg på Gustav Holmsvej.

| Placeringsplan        | Tomkørsel |           |
|-----------------------|-----------|-----------|
|                       | km/dag    | kr./år    |
| Gustav Holmsvej       | 1323      | 1.737.000 |
| Beliggenhed 1         | 951       | 1.250.000 |
| Placeringsplanen ialt | 2274      | 2.987.000 |
| Gustav Holmsvej       | 1313      | 1.724.000 |
| Beliggenhed 2         | 976       | 1.283.000 |
| Placeringsplanen ialt | 2289      | 3.007.000 |
| Gustav Holmsvej       | 1191      | 1.565.000 |
| Beliggenhed 3         | 1141      | 1.500.000 |
| Placeringsplanen ialt | 2332      | 3.065.000 |
| Gustav Holmsvej       | 2994      | 3.934.000 |

Tabel 1.

Det væsentligste resultat, som kan aflæses heraf, er formentlig, at de årlige tomkørselsomkostninger vil blive betydeligt større ved evt. udbygning af anlægget på Gustav Holmsvej. Et andet interessant resultat, som kan aflæses af tabellen, er, at beliggenhed 1 og beliggenhed 2 fører til næsten de samme årlige tomkørselsomkostninger, og at tomkørselsomkostningerne ved beliggenhed 3 kun er nogle få procent større. Afgørende for et valg mellem de tre alternativer måtte herefter blive andre aspekter, bl.a. grundpriser.

## 5. Yderligere analyser og den trufne beslutning

På grund af den anvendte procedures fleksible struktur er det forholdsvis simpelt at finde og foreslå gode alternative placeringsforslag. Herved er det muligt i modsætning til ved mange andre tilsvarende analysemetoder at vurdere kvaliteten af bestemte placeringsforslag. Man forsynes således med et godt sammenligningsgrundlag, hvorpå effekten af en senere truffen beslutning vil kunne måles.



| Placeringsplan        | Tomkørsel |           |
|-----------------------|-----------|-----------|
|                       | km/dag    | kr./år    |
| Gustav Holmsvej       | 1075      | 1.412.000 |
| Beliggenhed A         | 1133      | 1.489.000 |
| Placeringsplanen ialt | 2208      | 2.901.000 |
| Gustav Holmsvej       | 1100      | 1.445.000 |
| Beliggenhed 1         | 410       | 539.000   |
| Beliggenhed B         | 641       | 843.000   |
| Placeringsplanen ialt | 2151      | 2.827.000 |
| Gustav Holmsvej       | 1323      | 1.737.000 |
| Beliggenhed 1         | 951       | 1.250.000 |
| Placeringsplanen ialt | 2274      | 2.987.000 |

Tabel 2.

Man vurderede derfor desuden nogle mere abstrakte planer for at få klarlagt, dels hvor det ville være optimalt (hvis det var muligt) at placere ét nyt garageanlæg, dels hvor meget der kunne vindes ved opførelse af to nye anlæg i stedet for kun ét. Disse punkter belyses i tabel 2. I tabellen benyttes den første placeringsplan fra tabel 1 som sammenligningsgrundlag. Beliggenhed A, også i byens sydvestlige udkant, men nærmere centrum, er på grundlag af proceduren i afsnit 2 bestemt som en med hensyn til tomkørslen gunstig beliggenhed for ét garageanlæg til supplement af anlægget på Gustav Holmsvej. Det ses heraf, at beliggenhed 1 kun fører til kørselsomkostninger, som er 3% højere end kørselsomkostningerne for beliggenhed A. Det kan derfor slutes, at beliggenhed 1 (samt beliggenhed 2 og 3) må være ret fornuftige valg, som formentlig endda bør foretrækkes frem for en placering nærmere centrum, bl.a. fordi den tilhørende omkostningsminimale liniefordeling ved beliggenhed A giver for ringe udnyttelse af Gustav Holmsvej anlægget.

Givet garageanlægget på Gustav Holmsvej undersøgte med proceduren i afsnit 2 tillige den tomkørsel, som måtte være forbundet med yderligere to anlæg. Herved fremkom en række beliggenhedsforslag,

hvoraf nogle imidlertid ikke forekom realisable. Men på grundlag heraf udpegedes et placeringsforslag bestående af beliggenhed 1 og en formentlig realisable beliggenhed, kaldet B, i den vestlige bydel. Det fremgår af tabel 2, at man vil kunne spare godt 5% af tomkørselsomkostningerne ved at nybygge et garageanlæg på både beliggenhed 1 og B.

Som anført i afsnit 1 overvejede man eventuelt at opgive kravet om liniebinding, dog således at de enkelte vognture og dermed de enkelte busser knyttes til en bestemt garage. Man taler her i stedet for liniebinding om en vogntursbinding, som man bl.a. af servicemæssige årsager anser for ønskelig at opretholde. Vi foretog nogle undersøgelser heraf, idet de enkelte endestationer blev knyttet til nærmeste garage. Herved opgav man udover liniebindingen tillige kravet om vogntursbinding, således at tomkørselstallene i hvert fald ikke var større end tilsvarende tal, med vogntursbinding. Imidlertid fremgik det hurtigt af analysen, at selv disse større besparelser ikke ville kunne retfærdiggøre de administrative ulemper, der ville være forbundet med en ophævelse af liniebindingen, som derfor fastholdtes.

På grundlag heraf satte man fokus på tilfældet med kun én ny garage med placering på beliggenhed 1. Den hertil foreslåede opdeling af linier og ekstrakørsel gav imidlertid en vis overbelægning af den nuværende kapacitet på Gustav Holmsvej. På grundlag af en følsomhedsanalyse af resultaterne fremkom derfor forslag til overførsel af nogle linier til den foreslåede garage på beliggenhed 1. Overførslen omfattede 2 linier på ialt 15 busser, som medførte en forøgelse af den gennemsnitlige daglige tomkørsel på 32 km, hvilket måtte anses for uvæsentligt i forhold til analysens hovedkonklusioner vedrørende placeringsforslag.

Århus sporveje bestemte sig herefter for opførelse af et nyt anlæg på beliggenhed 1. Århus byråd har netop købt grunden og vedtaget at gå i gang med byggeriet i foråret 1979.

## 6. Afsluttende bemærkninger om tilhørende modeltyper

I forbindelse med løsningen af det nærværende garageplaceringsproblem undersøgte også andre modeltyper, som kendes fra den såkaldte lokaliseringsteori. Se (1), (2), (3) og (4). Modeller af den art vedrører

spørgsmålet om lokalisering af en eller flere faciliteter (her placeringsmuligheder for garager), givet en række konsumenter (her linier) med en kendt efterspørgsel (her antallet af vognture). Udover transportomkostninger er der ofte mulighed for direkte i modeller af den art at indregne faste omkostninger i forbindelse med dimensionering og opførelse af faciliteterne. Disse omkostninger drages ikke direkte med i den her valgte model og henvises derfor til en efterfølgende behandling. Den valgte modeltype har imidlertid den betydelige fordel at den er let at implementere og kan løse problemer med et stort antal faciliteter og konsumenter, hvilket også fremgår af modellens brug ved løsning af andre lokaliseringsproblemer, (3).

#### *Litteratur*

- (1) S. Eilon, C.D.T. Watson-Gandy and N. Christofides, »Distribution management: Mathematical modelling and practical analysis«, Hafner Publishing Company Inc., New York, 1971. (En efterhånden klassisk bog om lokaliseringsteori, hvori der gives en all-round fremstilling af de forskellige relevante modelformer uden anvendelse af særlig meget matematik).
- (2) Richard L. Francis and John A. White, »Facility layout and location, an analytical approach«, Prentice-Hall, 1974. (En mere matematisk præget beskrivelse af de grundlæggende layout og lokaliseringsmodeller).
- (3) Søren Kruse Jacobsen og Peter Mark Pruzan, »Lokalisering – modeller og løsningsmetoder«, Studentlitteratur, 1978. (En fylldig redegørelse for de forskellige modelformer, suppleret med en række danske case-studies).
- (4) Jakob Krarup og P. M. Pruzan, »Selected families of discrete location problems«, Datalogisk Institut og Økonomisk Institut, Københavns Universitet, 1977. (En omfattende analyse og oversigt over modeller og løsningsmetoder indeholdende adskillige litteraturhenvisninger).

spørgsmålet om lokalisering af en eller flere faciliteter (her placeringsmuligheder for garager), givet en række konsumenter (her linier) med en kendt efterspørgsel (her antallet af vognture). Udover transportomkostninger er der ofte mulighed for direkte i modeller af den art at indregne faste omkostninger i forbindelse med dimensionering og opførelse af faciliteterne. Disse omkostninger drages ikke direkte med i den her valgte model og henvises derfor til en efterfølgende behandling. Den valgte modeltype har imidlertid den betydelige fordel at den er let at implementere og kan løse problemer med et stort antal faciliteter og konsumenter, hvilket også fremgår af modellens brug ved løsning af andre lokaliseringsproblemer, (3).

#### *Litteratur*

- (1) S. Eilon, C.D.T. Watson-Gandy and N. Christofides, »Distribution management: Mathematical modelling and practical analysis«, Hafner Publishing Company Inc., New York, 1971. (En efterhånden klassisk bog om lokaliseringsteori, hvori der gives en all-round fremstilling af de forskellige relevante modelformer uden anvendelse af særlig meget matematik).
- (2) Richard L. Francis and John A. White, »Facility layout and location, an analytical approach«, Prentice-Hall, 1974. (En mere matematisk præget beskrivelse af de grundlæggende layout og lokaliseringsmodeller).
- (3) Søren Kruse Jacobsen og Peter Mark Pruzan, »Lokalisering – modeller og løsningsmetoder«, Studentlitteratur, 1978. (En fylldig redegørelse for de forskellige modelformer, suppleret med en række danske case-studies).
- (4) Jakob Krarup og P. M. Pruzan, »Selected families of discrete location problems«, Datalogisk Institut og Økonomisk Institut, Københavns Universitet, 1977. (En omfattende analyse og oversigt over modeller og løsningsmetoder indeholdende adskillige litteraturhenvisninger).