



UNIVERSITY OF  
ILLINOIS LIBRARY  
AT URBANA-CHAMPAIGN  
BOOKSTACKS

Digitized by the Internet Archive  
in 2011 with funding from  
University of Illinois Urbana-Champaign

<http://www.archive.org/details/nytoggammeltikol415brem>



## Faculty Working Papers

NYT OG GAMMELT I KOLLEKTIVTRAFIKKEN:  
*RAPID RAIL, LIGHT RAIL* OG BUSSE

(THE NEW AND THE OLD IN MASS TRANSIT:  
RAPID RAIL, LIGHT RAIL, AND BUSES)

Hans Brems

#415

**College of Commerce and Business Administration**  
**University of Illinois at Urbana-Champaign**



FACULTY WORKING PAPERS

College of Commerce and Business Administration

University of Illinois at Urbana-Champaign

June 28, 1977

NYT OG GAMMELT I KOLLEKTIVTRAFIKKEN:  
*RAPID RAIL, LIGHT RAIL* OG BUSSE

(THE NEW AND THE OLD IN MASS TRANSIT:  
RAPID RAIL, LIGHT RAIL, AND BUSES)

Hans Brems

#415





N y t     o g     g a m m e l t     i     k o l l e k t i v t r a f i k k e n s  
r a p i d     r a i l ,     l i g h t     r a i l     o g     b u s s e r*Hans Brems\***University of Illinois at Urbana-Champaign, USA*

SUMMARY: *Growing concerns about environment, energy, and traffic congestion demand a fresh look at mass transit, especially nonpolluting, low-noise, low-energy, high-speed electric rail transit. The article develops an algebraic framework tailored to U. S. Department of Transportation data and examines cost and productivity of rapid rail, light rail, and buses.*

---

Personbilen kører når det passer dens ejer. Den kører dør til dør  
—eller ialtfald dør til parkeringsplads. I disse to henseender

\*Denne artikel er en økonoms fritidsfunderinger over et problem, der foruden økonomens traditionelle ting som forbrugerpræferencer og teknik rummer moderne ting som externalities, miljø og energi. Forfatteren, der hverken er ingeniør eller har tilknytning til noget trafikselkab, har kun skrabet overfladen men har ialtfald forsøgt at forme et begrebsapparat omkring de data, som det amerikanske trafikministerium nyligt har indsamlet og fremlagt, USDT (1976). Forfatteren takker dette ministerium, överingenjör Åke Nilsson (ASEA) og Mr. Dennis Mollenkamp (Metropolitan Atlanta Rapid Transit Authority) for beredvillig korrespondance og trykt materiale, Mr. Mollenkamp også for samtale og forevisning af anlægsarbejder i Atlanta i april 1977. Sin ven Erling Olsen takker forfatteren for gennemlæsning af manuskriptet. Endelig takker han diskussionsdeltagere på Handelshøjskolens Institut for trafik-, turist- og beliggenhedsforskning, hvor han forelæste over manuskriptet i september 1977.



kan intet kollektivt trafikmiddel konkurrere med den, og derfor faldt i USA passagerantallet pr. år i kollektiv bytrafik til  $\frac{1}{5}$  i de 50 år fra 1923 til 1973.

Som vi bliver flere og flere her på jorden synes vi at klumpe os mere og mere sammen i storbyer, medens steder som Vendsyssel, Hveen, Norrland, Østbayern, Bretagne, Hebriderne og Appalachia affolkes. Og det er i storbyerne, at personbilen viser sig fra sin værste side. Økonomernes abstrakte externalities antager meget konkrete former i storbytrafikkens tidsspild, stress, ulykker, larm og luftforurening.

Bilisternes beslutninger om at bruge deres biler i storbyen kan påvirkes negativt: Enten mildt ved at internalisere bilismens eksterne omkostninger eller brutalt ved at spærre visse veje for biler. Det negative lader jeg ligge undtagen i afsnit II, 3 om reserverede motorvejskørebaner. Jeg holder mig til det positive: Kunne man påvirke bilisternes beslutninger ved at tilbyde dem noget bedre? Kunne man i vore dages teknik tilbyde dem et alternativ, som bragte dem hurtigere, sikrere og bekvemmere til byen, end deres egen bil kunne gøre? Kunne et sådant alternativ fås til en rimelig pris?

Det var ingen sag, hvis det bare drejede sig om at udforme et system, der gik til hvermands dør eller så godt som. Små hyppige busser på stærkt forgrenede rutenet kunne klare en sådan opgave.

Det var heller ingen sag, hvis det bare drejede sig om at udforme et system med høj kapacitet, høj hastighed og lavt energiforbrug. Lange, hurtige elektriske togstammer ad eget banelegeme og lange sta-



tionsintervaller kunne klare en sådan opgave.

Men det giver hovedpine, hvis det ikke drejer sig om et enten-eller men om et både-og. Hvad de små hyppige busser på deres stærkt forgrenede rutenet angår, så kommer de jo ingen vegne på stræk så lange som Brønshøj-Kongens Nytorv. Og når de så omsider allesammen når ind til centrum, mærker man for alvor deres larm og dunst. Hvad de lange hurtige elektriske togstammer angår, så kan de jo ikke føres til hvermands dør.

Eksisterer der i vore dages teknik et kompromis? Og kunne det fås til en rimelig pris? Lad os se lidt nærmere på to nye kompromisforsøg, der i amerikansk terminologi går under betegnelserne rapid rail og light rail.

## I. RAPID RAIL

### 1. Princip

Rygraden i et rapid rail-system er svære elektriske jernbaner, hvis spor overalt er spærret for enhver anden trafik, kørende og gående. Den mest effektive afspærring opnås ved at føre sporet over eller



under gadeniveau. Al ind- og udstigning sker på særligt indrettede stationer, hvis perroner ligger i nøjagtigt samme niveau som toggulvet. Stationsintervallerne er korte i centrum men lange i yderdistrikterne. De lange stationsintervaller giver høj rejsehastighed men gør det samtidigt umuligt for de fleste passagerer at komme helt hjem med toget. Hver station i yderdistrikterne er derfor centrum for et knippe stærkt forgrenede buslinjer. Med de korte stationsintervaller i centrum skulle man ikke behøve andre buslinjer end sådanne knipper, og centrum skulle derfor helt kunne slippe for bussers larm og dunst. Buslinjeknipperne er ligeså vigtige som ryggraden. Det var fordi man glemte buslinjeknipperne, at San Franciscos BART kun har tiltrukket halvt så mange daglige passagerer (131.000) som ventet. Det nyeste nordamerikanske forsøg er Atlantas.

## 2. Atlanta

Akkurat som i 1864, da den ødelagdes, er Atlanta idag (1,4 mill.) sydens industrielle, finansielle og kommercielle centrum. Omkring sig har den den sædvanlige motorvejscirkel med et par diagonaler gennem centrum. Den har ingen sporveje men et stort busnet. I 1971 underskrev daværende guvernør Jimmy Carter en lov, som hjemlede opkrævning af en 1% omsætningskat til finansiering af et splinternyt kollektivtrafiksystem kaldet MARTA = Metropolitan Atlanta Rapid Transit Authority. Derpå fulgte høringer og folkeafstemninger i fire amter.





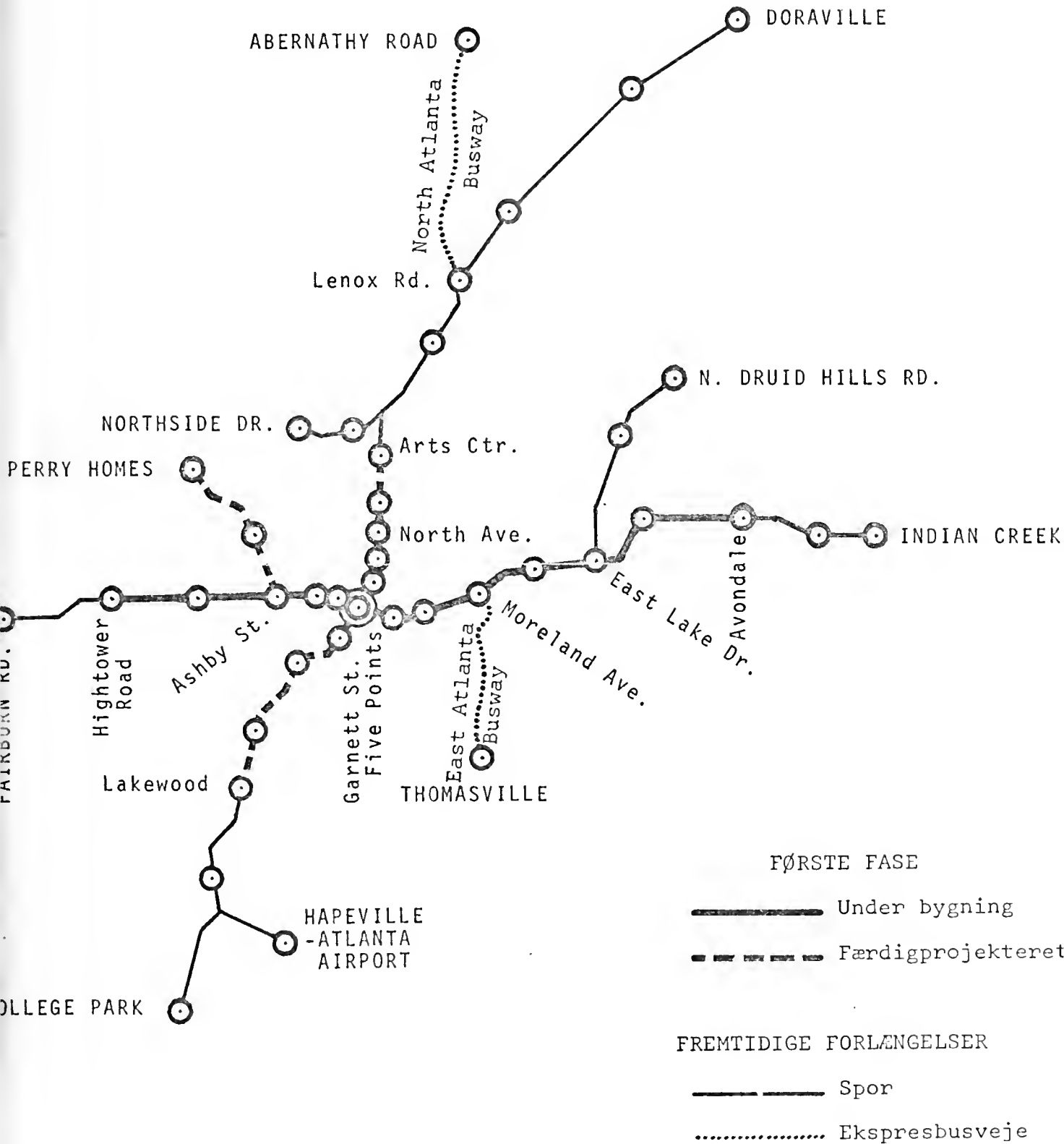
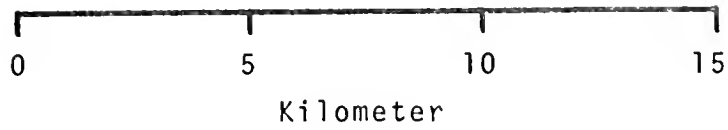
To amter stemte nej, men de to centrale amter stemte ja, og i februar 1975 gik man i gang med at grave og bygge 85 km hurtigbanespor, af hvilket 19% skal være under gadeniveau, 31% over gadeniveau og 50% i gadeniveau——men altsammen som ren bane. Der skal bygges 39 stationer og anlægges parkeringspladser til 30.000 biler omkring dem. 2000 km buslinjer skal gradvist omlægges til knipper omkring stationer. Tavle 1 viser de korte stationsintervaller i centrum og de lange i yderdistrikterne. Sammenlignet med Atlanta har Stockholms tunnelbane længere stationsintervaller i centrum men løber her meget dybt. Derfor kan hver Stockholmsstation være udgangspunkt for et stort antal lange rullende trapper, hver i sin retning. Stockholms trappeudmundinger er derfor mere spredt end Atlantas.

Et Atlantatog skal have en tophastighed af 120 km pr. time mod 90 i Stockholm. Hver vogn vil tage 270 passagerer mod 156 i Stockholm——Atlanta vil have flere ståpladser pr. siddeplads end Stockholm. Et tog får fra 1 til 8 vogne, og der skal bygges 338 vogne. De leveres af Societé Franco-Belge og er meget energibesparende: De kan bremse regenerativt, d. v. s. sende deres bremseenergi tilbage i nettet.



I 1978 åbnes østgrenen til Avondale, i 1979 vestgrenen og i





# ATLANTA, GEORGIA, USA



## FØRSTE FASE

-  Under bygning
-  Færdigprojekteret

## FREMTIDIGE FORLÆNGELSER

-  Spor
-  Ekspresbusveje

TAVLE 1. Atlanta's rapid rail



1980 nord-sydlinjen. Senere skal bygges 13 km ekspresbusvej, d.v.s. motorveje med reserverede busbaner i midterrabbatten.

Dajani, Egan og McElroy (1975) har forsøgt cost-benefit-analyse af MARTA. For et stort publikum vil MARTA spare tid i forhold til motorvejskørsel. Og for dem, der bliver på motorvejene, bliver der mindre trængsel. MARTA vil tiltrække en anelse flere passagerer fra mindre bemidlede zoner end fra mere bemidlede. Men denne virkning var svag sammenlignet med MARTA's tilbøjelighed til at tiltrække mange flere passagerer fra zoner nær stationer end fra zoner fjernt fra stationer. Der er altså en klar omfordeling af indkomst til gunst for familier nær stationer men ingen klar omfordeling af indkomst til gunst for mindre bemidlede.

Savidt benefit. Hvad cost angår, så er og bliver rapid rail en dyr spøg. Anlægsomkostningen er 24 millioner 1975-dollars pr. km. 80% af anlægsomkostningen betales af forbundsregeringen i medfør af National Mass Transportation Assistance Act af 1974, og det samme er tilfældet i Washington og Baltimore, der bygger rapid rail-systemer som Atlantas.

Rapid rail er det fine og helt dyre. Men tidens stemning har vendt sig mod offentlig ekstravagance og spørger, om mindre ikke kan gøre det. Resten, hovedparten, af denne artikel vil derfor koncentrere sig om light rail og ekspresbusser.



## II. LIGHT RAIL

### 1. Princip

Gadesporvognen hedder på britisk engelsk "tram" men på amerikansk engelsk "streetcar". Da man nu ønsker at flytte den væk fra gaden, har det nye ord "light rail" vundet indpas i praktisk amerikansk litteratur som County of San Diego (1975), Port Authority of Allegheny County (1976), Greg Thompson (1975) og US Department of Transportation (USDT) (1976).

Light rail er lette elektriske jernbaner (sporveje), hvis spor i varierende grad er spærret for anden trafik. USDT (1976, 18) sondrer mellem tre afspærringsgrader:

- A. Eget banelegeme, spærret for enhver anden trafik
- B. Eget sporareal med lejlighedsvist krydsende gadetrafik
- C. Den gammeldags gadesporvej

Tavle 2 viser, at blandingsforholdet mellem A, B og C vil afgøre, hvor høj rejsehastighed, der kan præsteres.

Blandt de eksisterende systemer i Tavle 2 møder Philadelphia (4,8 mill.) med gammeldags gadesporveje—som de københavnske—og med den laveste rejsehastighed 16 km i timen. San Francisco (3,1 mill.) er





TAVLE 2. Afspærringsgrad og rejsehastighed i light rail-systemer

By	Sporlængde km	Procent af spor- ret udlagt som			Rejsehastighed km pr.time
		A	B	C	
<i>Eksisterende systemer</i>					
Boston	41	48	30	22	13-35
Frankfurt	135	---	65---	35	20
Göteborg	84	---	84---	16	22
Köln	143	42	35	23	11-35
Philadelphia	139	2	0	98	16
Pittsburgh	36	---	73---	27	18
San Francisco	30	18	9	73	16
<i>Kommende systemer</i>					
Edmonton	7	22	78	0	40
Philadelphia	40	---	100---	0	24-48
Pittsburgh	36	---	92---	8	30
San Francisco	30	36	30	34	30
Tyne & Wear	55	100	0	0	40

A ≡ eget banelegeme; B ≡ eget sporareal; C ≡ gadesporvej

Kilde; USDT (1976), 19.



ikke bedre: Hvad der vindes i den lange tunnel under Twin Peaks går åbenbart tabt i Market Streets mylder. De moderne systemer i Boston (2,8 mill.), Göteborg (0,6 mill.) og Köln (0,9 mill.) repræsenterer den modsatte yderlighed. Blandt nybyggede systemer får hverken Edmonton (0,4 mill.), Philadelphia (4,8 mill.) eller Newcastle's Tyne and Wear (0,8 mill.) gadesporvej og opnår derved rejsehastigheder på 40 km pr. time.

## 2. Boston og Göteborg

Boston (2,8 mill.) og Göteborg (0,6 mill.) illustrerer light rail-princippet for henholdsvis store og mellemstore byer.

Under Tremont Street i Boston åbnedes i 1897 verdens første sporvejstunnel, og det er fristende at se den på københavnsk baggrund. En københavner vil lægge mærke til, at afstanden mellem tunnelens oprindelige yderstationer, Haymarket og Boylston, er nøjagtigt den samme som afstanden mellem Kongens Nytorv og Rådhuspladsen,  $1\frac{1}{4}$  km. Tavle 3 viser Bostons tunnelsystem, og tavle 4 projicerer det ind på et Københavnskort i samme målestok, således at Haymarket er lagt i Kongens Nytorv og Boylston i Rådhuspladsen.

I 1914 og 1932 forlængedes tunnelen 3 km mod vest til Kenmore



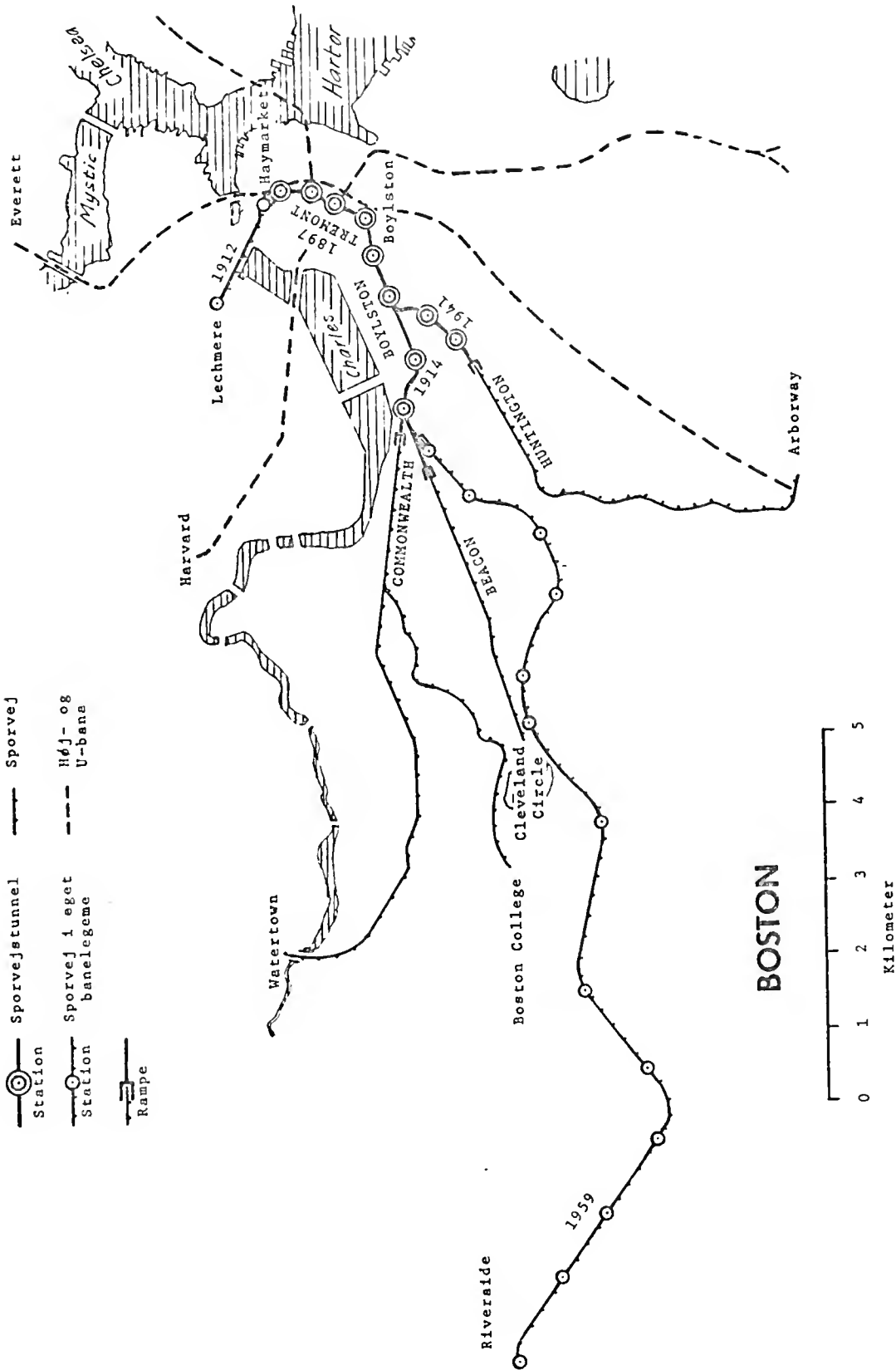
(Nitivej), og lidt længere ude fører tre ramper tunnelsporene op på overfladen, hvor de forgrener sig til yderdistrikterne på eget banelegeme eller sporareal. Fristende ville det være at forbinde den nordvestligste rampe med København L. Faktisk bød der sig i 1950'erne en gunstig lejlighed til at købe en Farumbane, nemlig den 15 km lange nedlagte jernbanestrækning Kenmore-Riverside. Den købtes og åbnedes i 1959 for sporvejsdrift.

I 1941 forlængedes tunnelen  $1\frac{1}{3}$  km til Symphony (Falkoner Allé). Rampen lidt længere ude kommer til at ligge nøjagtigt i S-banesporet Vanløse-Frederiksberg. Fristende ville det være at forvandle denne blindtarm til en skinnekorridor Vanløse-Rådhusplads.

For tiden fornyer Boston tunneler, spor og sporvogne.

Göteborg har ingen tunnel men lukkede omkring 1970 byen indenfor voldene for gennemkørsel med biler og reserverede herved de to brede hovedfærdselsårer Västra og Östra Hamngatan for sporvogne. Fred, ro og frisk luft sænkede sig over bycentret. Nedlagte banestrækninger som Säröbanan og overdækning af åer som Delsjöbäcken har reduceret gadesporvejen til 16% af nettet.

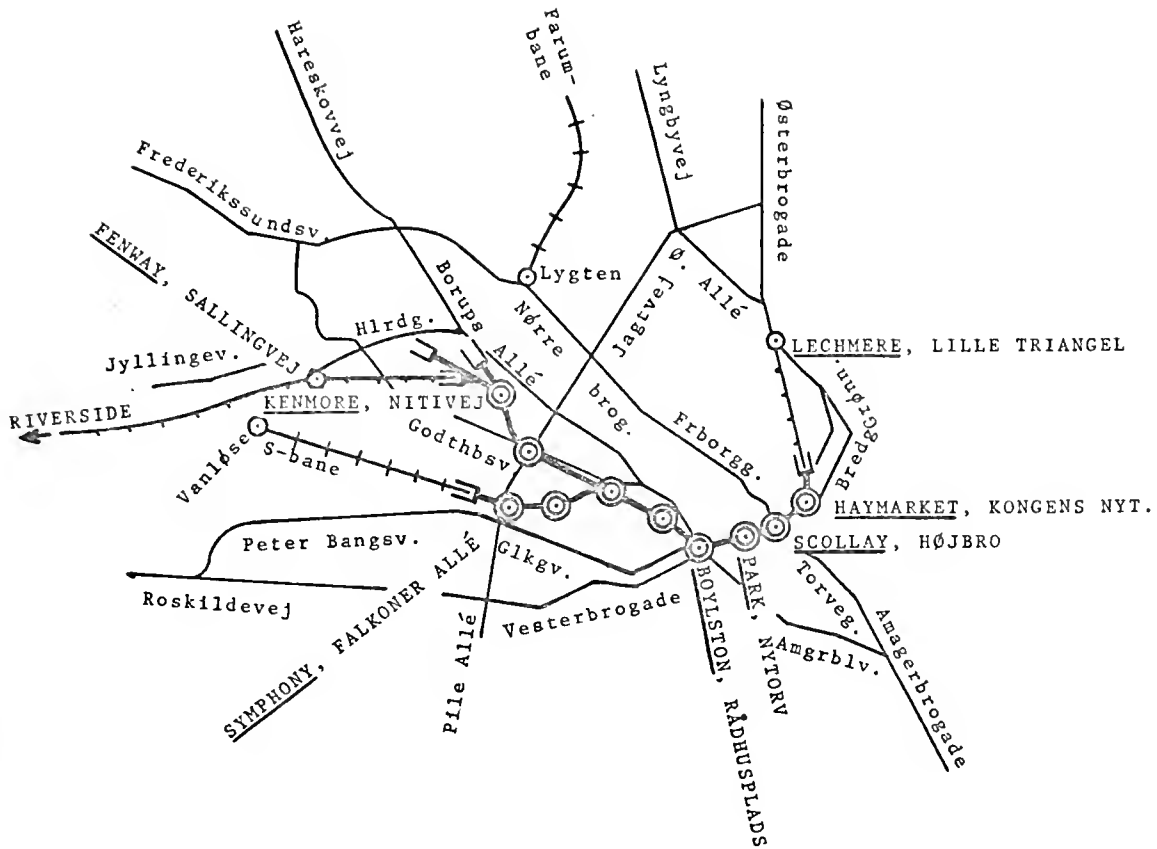









TAVLE 3. Boston's light rail

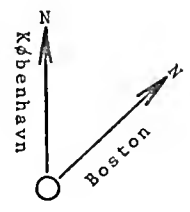




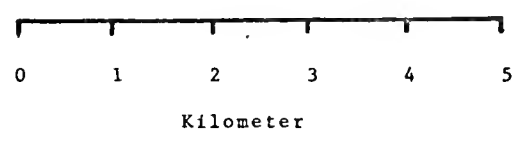


-  Bostons sporvejstunnel
- STATION
-  Bostons sporvej i eget banelegeme
- STATION
-  Rampe

-  Københavnske gader
-  Københavnske baner
- Station



KØBENHAVN  
BOSTON



TAVLE 4. Boston's light rail projiceret på København



### 3. Kollektivtrafik på reserveret bane

Idéen i light rail er altså så vidt muligt at adskille kollektivtrafik og anden trafik. Men skal kollektivtrafikken absolut køre på skinner?

Kunne busser ikke også køre i tunneler under de centrale bydele? Det kunne de, men ikke uden større tunneldiameter end nødvendig for et skinnbundet køretøj—sporvognens bundethed til sine skinner, der var dens svaghed i gadetrafikken, er dens styrke i tunneler! Dernæst kunne busser ikke køre i tunneler uden den larm og dunst i tunnelstationerne, sporvognene er fri for.

Derimod kunne busser nok akcepteres på ekspresbusveje i fri luft bygget specielt til dem og spærret for anden trafik, jvf. de to ekspresbusveje vist på tavle 1. Og hvis ekspresbusveje synes for ekstravagant, kunne man så ikke lade busser befare de mangesporede motorveje, som allerede eksisterer og skærer sig tværs gennem de fleste amerikanske storbyer? Det kunne man, og det har man gjort. Boston, Denver, Honolulu, New Orleans, Los Angeles og San Francisco er gået et skridt videre og har reserveret en motorvejskørebane for busser. Hvilken del af en motorvej kan reserveres for busser? Åbenbart ikke den yderste højre kørebane, for den bruges jo også af til- og afgangstrafikken. Det må blive den yderste venstre kørebane, som reserveres for busser. Men så må ind- og udstigning ske i midterrabbatten, og så må der bygges gangbroer eller trapper op



eller ned til skærende gader. Når man er kommet så vidt, er det egentlig hip som hap om yderste venstre kørebane—eller midterrabatten selv, hvis den er bred nok—reserveres for ekspresbusser eller for skinner. Chicagos Kennedy Expressway og Dan Ryan Expressway er eksempler på det sidste.

#### 4. *Hvad er billigst: Ekspresbusser eller light rail?*

Med kollektivtrafik på reserveret bane letter et røgslør, som har hvilet over mange byers debat om, hvad der var billigst, busser eller sporvogne. Røgsløret var den regnskabskonvention, at da gadeomnibussen kørte på gader, der betjente hele trafikken, skulle bussen ikke belastes med gadernes anlægsomkostning. Da gadesporvejen alene betjente sporvognen, skulle denne belastes med sporets anlægsomkostning.

Hvad enten konventionen havde sin rimelighed eller ej for gadeomnibussens og gadesporvognens vedkommende, så er den uanvendelig på kollektivtrafik på reserveret bane.

Røgsløret er blæst bort: Ekspresbusser og light rail må belastes med deres reserverede baners anlægsomkostning og arbejder i denne forstand på lige fod. Hvilken af dem er så billigst? Lad os se på de enkelte omkostningselementer og regne alting i 1975-dollars.



## 5. Anlægsomkostning

I afsnit II, 1 definerede vi tre afspærringsgrader A, B og C og fandt, at deres blandingsforhold ville bestemme rejsehastigheden. Det vil også bestemme anlægsomkostningerne. Målt i millioner 1975-dollars pr. km anslår USDT (1976, 53) anlægsomkostninger til banelegeme, stationer, spor, ledninger og signaler således:

### A. Eget banelegeme

1. i tunnel	25-44
2. delvist i gadeniveau	12-19
3. bestående af eksisterende jernbanespor	2-6

### B. Eget sporareal i gadeniveau

9-19

### C. Gadesporvej

2-6

Som ydertilfælde kan nævnes, at Buffalo (1,3 mill.) vil have en lang tunnel og regner med 20 millioner dollars pr. km, hvorimod Dayton (0,9 mill.) vil bruge allerede eksisterende jernbanespor og kun regner med 1 million dollars pr. km.

Savidt light rail. Hvad ekspresbusser angår, så koster en kilometer storbymotorvej ca. 4 millioner dollars. Der kan ikke være





tvivl om, at på egen bane er light rail normalt dyrere i anlæg end ekspresbusser.

#### 6. Anskaffelse af rullende materiel

Der er i verdensmarkedet fire leverandører af rullende materiel til light rail-systemer: Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget (ASEA), som for tiden afleverer 100 vogne til Melbourne; Boeing-Vertol, der leverer 275 vogne til Boston og San Francisco; DüWag, som har leveret vogne til Frankfurt, Köln m. fl. og for tiden leverer til Edmonton og Newcastle; og endelig Ontario Transportation Development Corporation, der leverer 200 vogne til Toronto. Leveringspriserne ligger på omkring 3-400.000 1975-dollars pr. vogn.

Dette er dyrere end busser. Men for det første har busser kun den halve pladskapacitet og for det andet kun den halve levetid. County of San Diego (1975, 127 og 139) regner med følgende levetider

Busser	15 år
<u>Light rail</u>	30 år

og kalder endda de 15 år for "a desirable bus age" men de 30 år "minimum 30 year lives". For det tredje har busser lavere rejsehastighed, som vi skal se i afsnit 10. Endelig er busser mindre



miljøvenlige. County of San Diego (1975, 81-84) anslår, at ASEA-, Boeing- og Ontariovogne har samme ydre støjniveau som det i Californien maksimalt tilladelige for personbiler, hvilket er langt lavere end det maksimalt tilladelige for busser. For Ontariovognens vedkommende skulle den ydre støj være  $1/4$  af støjen fra 30'ernes PCC-model—der var støjsvag sammenlignet med københavnske vogne bygget på samme tid.

### *7. Kørsels- og vedligeholdelsesomkostning*

Kørselsomkostningens hovedelementer er energi og arbejds løn. Hvad energi angår, så har oliekrisen efter 1973 ført en principiel forskel mellem bus- og sporvejsdrift frem i rampelyset: Medens en bus må slæbe sin egen energikilde med sig, makes en spurvogn fra en central energikilde, der nyder tre økonomiske fordele. For det første er den centrale energikilde naturligvis større og nyder derfor skalafordele. For det andet er den mindre kræsen: Busser kan kun brænde olie, men den centrale energikilde kan fremstille elektricitet af olie, kul, vandkraft og atomenergi. Atomelektricitet har hidtil kun kostet det halve af olieelektricitet, og en formeringsreaktor skulle kunne levere elektricitet til tredjedelen. For det tredje kommer noget af den energi, hvormed spurvogne makes, tilbage: Den centrale energikilde tillader vognene at sende bremseenergi tilbage i nettet. En bremsen-



de bus omsætter bevægelsesenergi til varme, der går til spilde.

Vedligeholdelsesomkostningen for det rullende materiel er vask, smøring og værkstedsarbejde. For 6 eksisterende amerikanske sporvejs-systemer og for sine egne busser fandt County of San Diego (1975, 142) følgende kørsels- og vedligeholdelsesomkostninger for rullende materiel i 1974 dollars pr. vognkm:

	Kørsel	Vedligeholdelse
Busser	0,52	0,11
<u>Light rail</u>	0,47	0,30

Når kørselsomkostningen pr. vognkm hidtil har været omtrent den samme for bus og light rail, så må den pr. pladskm have været lavest for det køretøj, der har flest pladser pr. vogn. Hvis arbejds løn i dollars pr. time er den samme, bliver arbejds løn i dollars pr. vognkm lavest for det køretøj, der har højest rejsehastighed. Pr. vognkm har kørselsomkostningen forøvrigt også været nogenlunde den samme i USA og Vesteuropa. Vesteuropa har lidt dyrere energi men lidt lavere arbejds løn, USDT (1976, 53).

I tre henseender er en vognkm for ekspresbusser forskellig fra en vognkm for light rail. Lidt elementær trafik algebra vil vise dette.

#### 8. Lidt elementær trafik algebra

Lad os definere følgende begreber for en trafik linje:



$a \equiv$  linjelængde, km

$f \equiv$  kørselsfrekvens  $\equiv$  antal tog, der påbegynder en heltur pr. time

$K \equiv$  linjekapacitet  $\equiv$  pladskm pr. time

$k \equiv$  vognkapacitet  $\equiv$  pladser pr. vogn

$n \equiv$  antal tog i drift

$p \equiv$  terminalpause, timer

$r \equiv$  rejsehastighed, km pr. time

$T \equiv$  et togs tidsforbrug fra en påbegyndt heltur til den næste, timer

$t \equiv$  rejsetid fra terminal til terminal, timer

$\tau \equiv$  terminalpausen udtrykt som en brøk af rejsetiden, rent tal

$v \equiv$  toglængde  $\equiv$  antal vogne pr. tog

Lad os begynde med at skrive linjens trafikudbud som

$$(1) \quad K \equiv 2afkv$$

eller på almindeligt dansk: Pladskm pr. time er lig halvture pr. heltur gange km gange antal tog pr. time gange pladser pr. vogn gange vogne pr. tog. Dimensionen er altså den samme på begge sider af identitetstegnet. Men linjelængde må være lig rejsehastighed gange rejsetid:

$$(2) \quad a \equiv rt$$





Og når  $T$  er et togs tidsforbrug pr. heltur, så må  $1/T$  være det antal helture, toget kan påbegynde pr. time. Og så må  $n/T$  være det antal helture,  $n$  tog kan påbegynde pr. time. Men dette er jo definitionen på kørselsfrekvens. Altså er

$$(3) \quad f \equiv n/T$$

Fremdeles må et togs tidsforbrug fra påbegyndt heltur til næste være lig det dobbelte af rejsetid plus terminalpause:

$$(4) \quad T \equiv 2(t + p)$$

Endelig vil det være naturligt at gøre terminalpausen proportional med rejsetiden:

$$(5) \quad p = \tau t$$

Indsætter vi nu (5) i (4), (4) i (3), og (2) og (3) i (1), får vi trafikudbudet udtrykt i en form, som viser os de finere nuancer:

$$(6) \quad K = knrv/(1 + \tau)$$



Ligning (6) måler linjens trafikudbud  $K$  i det for en økonomisk naturlige mål: pladskm pr. time. Men hvis man vil sammenligne linjer af forskellig længde, vil man eliminere linjelængden  $a$  ved at dividere med den på begge sider af (6) og derved få pladskm pr. time pr. km eller simpelthen pladsafgange i begge retninger pr. time

$$(7) \quad K/a = knrv / [(1 + \tau)a]$$

Ligning (7) er skrædersyet til USDT (1976) data. Nu kan vi vise, at i tre henseender er en vognkm for ekspresbusser forskellig fra en vognkm for light rail.

### 9. Vognkapaciteten $k$

For det første er en vognkm ikke det samme som pladskm: Vognkapaciteten  $k$  er mindre for ekspresbusser:

	$k$
<i>Ekspresbusser</i>	
Normal amerikansk bybus	80
Ledbus	120
<i>Light rail</i>	
ASEA	125
Boeing-Vertol	152
DüWag	180
Ontario	140



Vognkapaciteten  $k$  er for den normale bybus 53% og for ledbussen 80% af light rail.

10. *Rejsehastigheden  $r$*

For det andet er en vognkm ikke det samme som vognkm pr. time: Rejsehastigheden  $r$  er mindre for ekspresbusser. Forskellen ligger ikke i tophastighed men i bussernes ringere akceleration- og bremseevne. Projekterede rejsehastigheder er, USDT (1976, 58-59):

	<i><math>r</math></i>
<i>Ekspresbusser</i>	
Pittsburgh, South Hills	10-35
<i>Light rail</i>	
Pittsburgh, South Hills	26-35
Buffalo	43
Denver	34-56
Los Angeles	50-62

11. *Toglængden  $v$*

For det tredje er en vognkm ikke det samme som en togkm: Toglængden



$v$  er mindre for ekspresbusser, nemlig 1! Sammenkoblingen af flere vogne til et tog har en vigtig konsekvens for kørselsomkostningen. Kørselsomkostningens hovedelementer er energi og arbejds løn, og sammenkoblingen sparer naturligvis ikke energi: Et trevognstog bruger tre gange så megen energi som et énvognstog. Men trevognstog og énvognstog har begge kun én fører, og trevognstogets førerløn pr. vognkm er derfor kun en tredjedel af énvognstogets.

## 12. Sammenfatning

Lad os sammenfatte: Pr. vognkm har kørselsomkostningen hidtil været omtrent den samme for bus og light rail. Men pr. pladskm er den lavest for light rail, der har flest pladser pr. vogn. Og hvis arbejds løn i dollars pr. time er den samme, bliver arbejds løn i dollars pr. vognkm lavest for light rail, der har højest rejsehastighed. Busser kan ikke ved sammenkobling af vogne sænke deres arbejds løn pr. vognkm. Hvad energiomkostning angår, kan de ikke sænke denne ved overgang til atomenergi. Hvad trafikudbud angår, så kan det ikke måles i vognkm. Vi foreslår at måle det i pladsafgange i begge retninger pr. time  $K/a$ . Med samme terminalpausebrøk  $\tau$  viser vor ligning (7) enten, at med samme antal vogne i drift  $nv$  vil ekspresbusserne have færre pladsafgange i begge retninger pr. time  $K/a$  end light rail, eller også vil de til samme antal pladsafgange i begge retninger pr. time  $K/a$  behøve flere vogne i drift  $nv$ . I begge tilfælde





er grunden den, at de har både lavere vognkapacitet  $k$  og lavere rejsehastighed  $r$  end light rail.

For at eliminere alle andre indflydelser end trafikarten lod Port Authority of Allegheny County (1976) samme korridor, South Hills -korridoren i Pittsburgh, projektere for både ekspresbusser og light rail. Man specificerede hverken samme antal vogne i drift  $nv$  eller samme antal pladsafgange i begge retninger pr. time  $K/a$  men en mellemting, nemlig samme antal vognafgange i begge retninger pr. time  $fv$ . Ekspresbusserne var ledbusser ( $v = 1$ ) med afgang hvert 30. sekund ( $f = 120$ ). Togene var trevognstog ( $v = 3$ ) med afgang hvert 90. sekund ( $f = 40$ ). Resultatet måtte blive, at der på ekspresbuslinjen med den lavere rejsehastighed  $r$  skulle bruges flere vogne  $nv$  og at der med den lavere vognkapacitet  $k$  måtte blive færre pladsafgange i begge retninger pr. time  $K/a$ . Det blev der også, USDT (1976, 59):

	$f$	$K/a$
<i>Ekspresbusser</i>		
Pittsburgh, South Hills	120	10.400
<i>Light rail</i>		
Pittsburgh, South Hills	40	14.000
Stuttgart	40	12.000
Köln	60	13.600
Düsseldorf	92	14.000

Idet vi husker på, at med samme rejsehastighed er førerløn pr. vognkm omvendt proportional med antal vogne pr. tog og på, at hvis



arbejds løn i dollars pr. time er den samme, bliver arbejds løn i dollars pr. vognkm lavest for det køretøj, der har højest rejsehastighed, kan vi groft sammenfatte County of San Diego's og Port Authority of Allegheny County's resultater således: *Med noget højere anlægsomkostning, med lidt højere vedligeholdelsesomkostning for rullende materiel pr. vognkm men dobbelt levetid for dette, med samme energiomkostning pr. vognkm, med under en tredjedel førerløn pr. vognkm, med færre vogne i drift men samme antal vognafgange pr. time præsterede light rail 35% flere pladsafgange pr. time end ekspresledbusser.*

### 13. Jantzens tekniklov

Jantzen (1924) ville have udtrykt sagen sådan, at ekspresledbusser er en typisk "lav" teknik og light rail en typisk "højere" teknik. Jantzen ville have tegnet summen af anlægs-, vedligeholdelses- og kørselsomkostninger som en funktion af trafikudbudet  $K/a$  og fundet den værdi af  $K/a$  for hvilken summen var den samme for ekspresledbusser og light rail. Denne værdi ville han have kaldt et indifferenspunkt. Tilvenstre for det ville ekspresledbusser arbejde billigst, tilhøjre light rail. County of San Diego (1975, 89) antyder et sådant indifferenspunkt ved  $K/a = 1500-2000$ .

Vi kan lege lidt med dette indifferenspunkt: Brug af atomenergi ville flytte det mod venstre: Light rail kunne nu blive billigst ved et lavere trafikudbud  $K/a$ . Øget miljøbevidsthed ville sænke tolerance af bussers larm og dunst. Dette ville ikke kunne flytte indifferenspunktet men ville gøre light rail akseptabel et stykke tilvenstre for punktet.



#### 14. Udbud og efterspørgsel

Indtil nu har vi kun interesseret os for trafikudbudet *K/a* og fablet om trevognstog afgående hvert 90. sekund! Men kan dets pladser fyldes? Kan udbudet finde sin efterspørgsel? Mere præcist: Hvor i storbyen kan udbudet finde sin efterspørgsel? Det må vel være i korridorer af typen Brønshøj-centrum, og sådanne korridorer er almindelige i europæiske og østamerikanske storbyer men mindre almindelige i vore sydvestlige byer, som er vokset op med personbilen og udviser en vældig spredning af ganske tynd bebyggelse men ikke udviser noget klart bycentrum. Los Angeles er et eksempel.

Der kan næppe være tvivl om, at storbytrafikken i den nærmere fremtid stadig vil bestå i en arbejdsdeling mellem individuel og kollektiv trafik. Og den kollektive trafik vil stadig bestå i en arbejdsdeling mellem rapid rail, light rail og busser. Men arbejdsdelingen vil forskyde sig bort fra personbiler og busser, jo mere miljø- og energihensyn spiller ind.



*Litteratur*

COUNTY OF SAN DIEGO, Public Works Agency, Department of Transportation. 1975. *Investigation of a Light Rail System for the San Diego Region*. San Diego, Calif.

DAJANI, J., M. EGAN, OG M. B. MCELROY. 1975. The Redistributive Impact of the Atlanta Mass Transit System. *Southern Economic Journal* ; 49-60.

DUE, JOHN F. 1976. Urban Mass Transit Policy: A Review Article. *The Quarterly Review of Economics and Business* 16: 93-105.

JANTZEN, IVAR. 1924. Voxende udbytte i industrien. *Nationaløkonomisk Tidsskrift* 62: 1-62.

PORT AUTHORITY OF ALLEGHENY COUNTY. 1976. *Comparative Analysis Study of Alternative Transit Systems: South Hills Corridor*. Allegheny County, Penn.

SCIARRONE, GIUSEPPE. 1974. La realizzazione delle ferrovie metropolitane in fasi successive: l'esempio della Germania Federale. *Revue de la fédération internationale de l'automobile*, november-december: 65-86.





THOMPSON, GREG. 1975. *Light Rapid Transit: A Description and Definition*. Vancouver, BC.

US Department of Transportation (USDT), Urban Mass Transportation Administration, hjulpet af DeLeuw, Cather & Co., Chicago, Ill.  
1976. *Light Rail Transit, A State of the Art Review, Executive Summary*. Distribueres af National Technical Information Service, Springfield, Virginia 22151, USA.

Slut på manuskript













UNIVERSITY OF ILLINOIS-URBANA



3 0112 060296511