

## Rentabilitet af letbanesystemer

Civ. ing., Ph.D. Jan Kragerup

RAMBØLL, Bredevej 2, DK-2830 Virum, tel. 45 98 60 00, fax 45 98 67 00

### 1. Resumé

Som et middel til at gøre kollektiv trafik mere effektiv og attraktiv, og dermed reducere forureningen og forbedre miljøet i byerne, er letbaner etableret eller under etablering i mange europæiske byer ("letbaner" skal i denne sammenhæng forstås som kollektive transportsystemer med elektrisk drevne, sporbundne, lette enheder såsom sporbus, sporvogn, light rail, minimetro mv.). Eksempler på dette findes bl.a. i Strasbourg, Lille, Grenoble, Leeds, Manchester og Sheffield. Også i København er en letbane under etablering, nemlig minimetroen, som vil forbinde de tæt befolkede områder på Amager, det nye Ørestadsområde og Københavns City-område.

I denne artikel beskrives resultaterne af et RAMBØLL-finansieret udviklingsprojekt, hvor investeringsbehov og rentabilitet af letbaner er undersøgt under forskellige forudsætninger (parametrisk). De rapporterede resultater er opnået i et pilotprojekt. Resultaterne bygger således på en række antagelser, data mv., som vil blive videre undersøgt og verificeret i kommende projektfaser. I artiklen er sporbus og light rail undersøgt (se figur 1). I begge tilfælde regnes letbanen etableret i nuværende "buskorridorer", dvs. i gader/veje, hvor der er relativt intensiv busstrafik i dag. Ved etableringen af letbanen påregnes eget tracé etableret for letbanen, ligesom signalprioritet ved gadesignalanlæg etableres.



**Figur 1 - Sporbus og light rail**

Nogle grundlæggende data og forudsætninger er varieret, således at resultaterne (investeringsbehov og rentabilitet) er anvendelige i en række tilfælde/byer:

- Banestrækningens længde
- Anlægsarbejdets kompleksitet/omfang
- Passagerunderlaget (behovet)

I artiklen er disse parametre varieret, og investeringsbehov samt rentabilitet er angivet (ved kurver) for de overvejede letbanesystemer. Specielt bemærkes det, at rentabilitetsberegningerne bygger på et stort antal gæt/forudsætninger, som givetvis vil være forskellige fra tilfælde til tilfælde. Ved hjælp af resultaterne i artiklen kan læseren imidlertid opnå en indledende vurdering af rentabiliteten.

## 2. Investeringsbehov

På basis af erfaringer fra udenlandske og danske projekter er forskellige kompleksitetsgrader for så vidt angår infrastrukturen undersøgt. Kompleksitetsgraden angiver omfang af nødvendige ledningsomlægninger, omfang og kvalitetsniveau af gaderenovering, omfang af indgreb i (eller nyetablering af) signalanlæg samt omfang af trafiksikrings- og trafikafviklingsstøttesystemer, se tabel 1. For nogle komponenter, såsom sporanlæg og elektrificering, er enhedspriserne nogenlunde konstante, hvorfor disse ikke er beskrevet i tabellen.

Kompleksitet Komponent	1 simpel bane, mindre ændringer	2 bane med mindre ændringer	3 bane med en del ændringer	4 bane med omfattende ændringer	5 kompliceret bane m. gade- renovering, ledn.omlægn.
<b>Trafiksikring og -afvikling (ATC)</b>	Kørsel på sigt, diskret opdatering af togpositioner	Kørsel på sigt, satellitbaseret togpositionering, simpel driftsoptimering (ATS)	Fast blok med ydre signaler, satellitbaseret togpositionering, simpel ATS	Fast blok med ydre signaler, satellitbaseret togpositionering, mere avanceret ATS	Fast blok m. ATP, fuld driftsoptimering m/ togcomputer
<b>Signal-prioritet</b>	Spoler kablet til signalanlæg, mindre indgreb	Spoler kablet til signalanlæg, en del indgreb	Trådløs (infra-rød) varsling v. signal, en del indgreb	Trådløs, omfattende indgreb	Trådløs, prio. hvis påkrævet (togcomputer) omfattende
<b>Gade-renovering</b>	Simpel retablering	Retablering ved forbedrede overflader/kvalitet	Forbedr. overflader samt ombygninger af kryds	Omfattende renovering men med "billige" løsninger	Total renovering af gaderum m. dyre materialer og udstyr
<b>Lednings-omlægninger</b>	Ingen eller få/billige ledn. omlægninger	En del omlægn. af mindre ledn.	En del omlægn. af mindre og få større ledn.	Omfattende omlægninger af mindre ledn.	Omfattende omlægn. af dyre, langsg. ledninger
<b>Stationer (St.)</b>	Simple stoppesteder m. læskure	Stoppesteder m. læskure, billetautomat og kort	St. m. læskure, billetautomat og kort	St. m. perronner, læskure, billetautomat og kort	Dyre/flotte stationer m. count-down, højtaler mv.
<b>I alt pris mio. kr. pr. km strækning</b>	<b>Sporbus: 25 LRT: 25</b>	<b>Sporbus: 30 LRT: 35</b>	<b>Sporbus: 40 LRT: 60</b>	<b>Sporbus: 50 LRT: 80</b>	<b>Sporbus: 65 LRT: 120</b>

Enhedspriser incl. tillæg excl. rullende materiel, depot og værksted.

**Tabel 1 - Kompleksitetsgrader og enhedspriser (infrastruktur)**

Ud over infrastrukturen, som er relateret til strækningen/linieføringen, bidrager servicefaciliteterne (depot, værksted og driftscentral) samt det rullende materiel til investeringsomkostningerne.

Udgifterne til det rullende materiel er estimeret under følgende forudsætninger:

- Standard, eksisterende rullende materiel antages ("hyldevarer") med 4 stående passagerer pr. m<sup>2</sup> i spidstimen. For sporbus' vedkommende er den ny generation af sporbus, som f.eks. GLT-sporbusser til Caen, lagt til grund.
- Generelt antages lavgulvsmateriel for alle tre typer af letbane.
- Vognbehovet afhænger af rejsestrømme (passagemængde) i spidstimen. Beregningen er foretaget med forskellige passagemængder (totalt passagervolumen pr. hverdagsdøgn i den betragtede korridor/linieføring før letbanens etablering, dvs. passagerer med nuværende busdrift). De supplerende forudsætninger og antagelser, der leder frem til beregningen af nødvendigt antal vogne, fremgår af bilag 1.

I figur 2 og 3 ses de totale investeringsbehov for hver af de to typer af letbaner som funktion af passagemængderne pr. hverdagsdøgn (før banens etablering) og kompleksitetsgraden.

### 3. Rentabilitetsberegninger

Etablering af en letbane medfører en lang række fordele og ulemper. Der er gennemført analyser med henblik på at vurdere disse fordele og ulemper. Dels er der gennemført selskabsøkonomiske analyser og dels samfundsøkonomiske analyser.

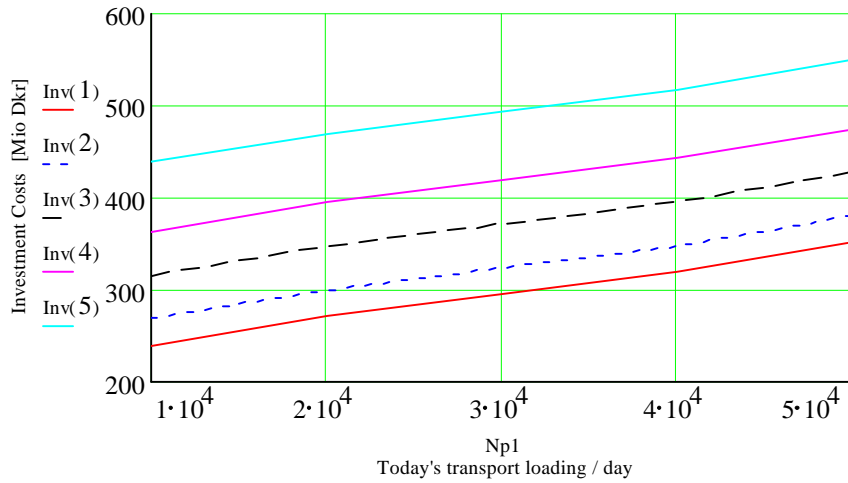
Ved fastsættelse af priser på tid etc. er Vejdirektoratets publikation vedrørende effektberegning og økonomisk vurdering (reference 1) anvendt. Ved værdiansættelse af lokale og regionale miljøbelastninger fra el-produktion er publikation fra Risø (reference 2) anvendt. De supplerende forudsætninger, enhedspriser mv. fremgår af bilag 1.

En af de vigtigste effekter af etableringen af en letbane er stigningen i passagertallet. Denne stigning skyldes primært to årsager:

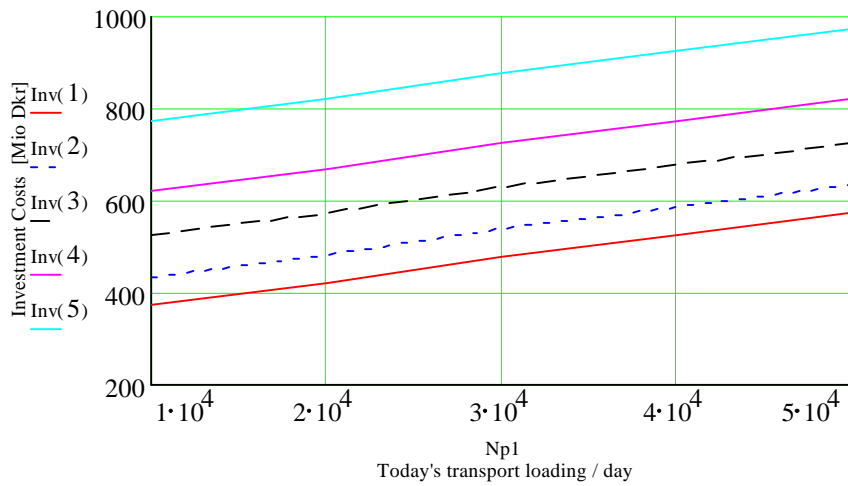
- reduktionen i rejsetid
- en såkaldt "baneeffekt" (sporbunden transport medfører større kørselskomfort og tiltrækker erfaringsmæssigt alt andet lige et antal nye passagerer)

Ved beregningerne er benyttet følgende parameterverdier:

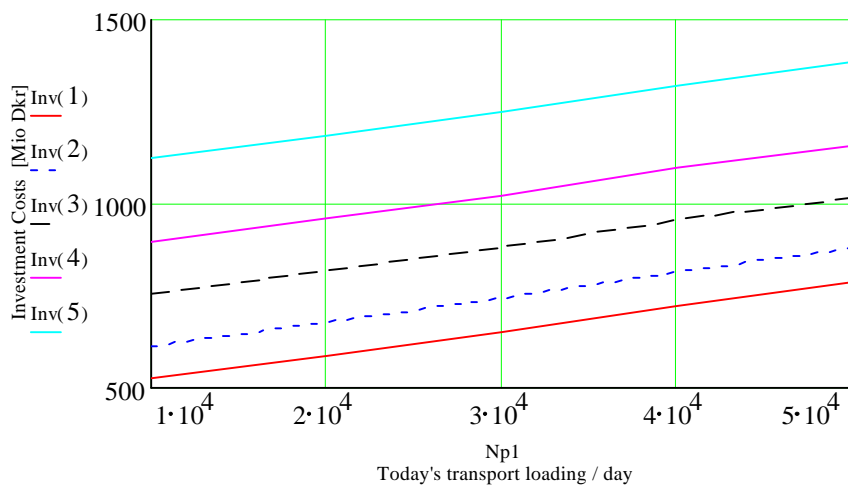
- gennemsnitlig rejsehastighed er regnet forøget fra 20 km/t til 25 km/t
- en elasticitet (med hensyn til rejsetid) på 0,5 er anvendt
- baneeffekten er valgt til 5% for sporbus og 20% for light rail



### Strækningsslængde 5 km

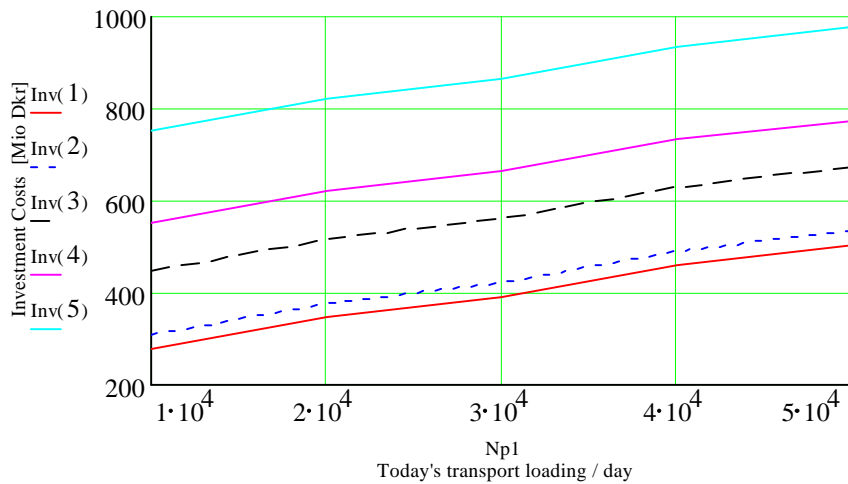


### Strækningsslængde 10 km

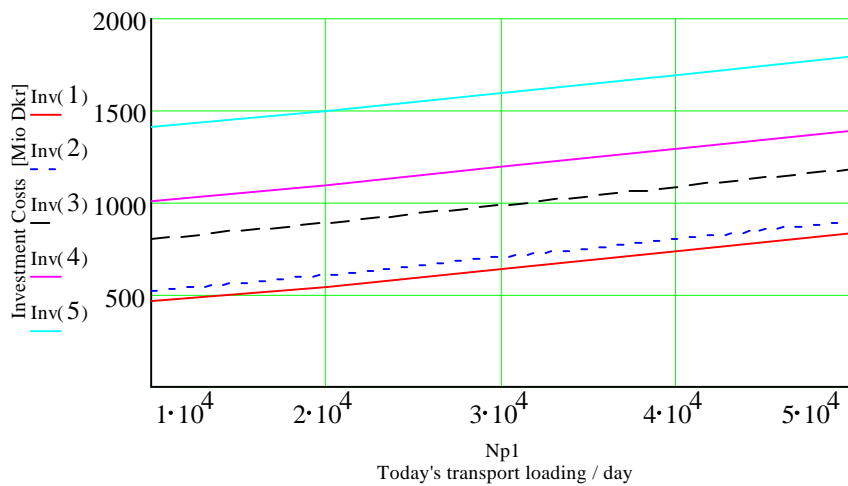


### Strækningsslængde 15 km

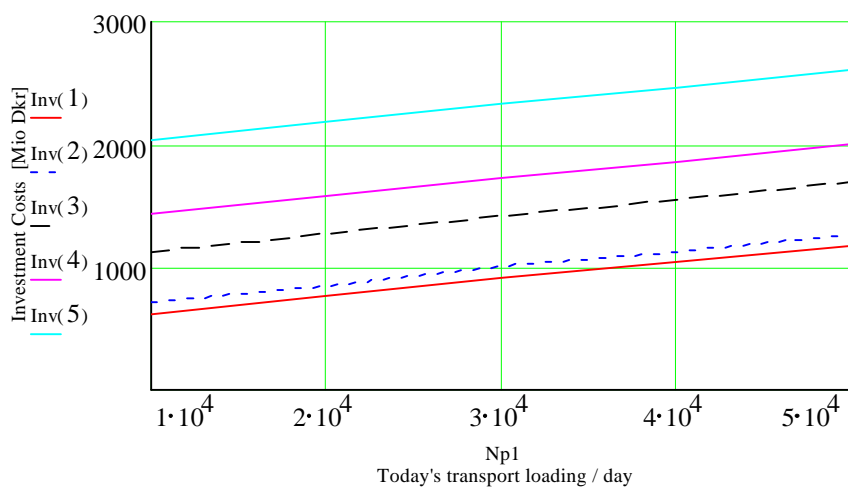
**Figur 2 - Investeringsbehov som funktion af passagermængder og kompleksitetsgrad, sporbus. Inv(1) etc. angiver kompleksitetsgrad.**



### Strækningsslængde 5 km



### Strækningsslængde 10 km



### Strækningsslængde 15 km

**Figur 3 - Investeringsbehov som funktion af passagermængder og kompleksitetsgrad, light rail. Inv(1) etc. angiver kompleksitetsgrad.**

Specielt for så vidt angår elasticitet og baneeffekt gælder, at der i litteraturen kan findes værdier med særdeles stor spredning, hvorfor disse to effekter/parametre bør undersøges nærmere i kommende projektfaser.

Ved de selskabsøkonomiske analyser er følgende betragtet:

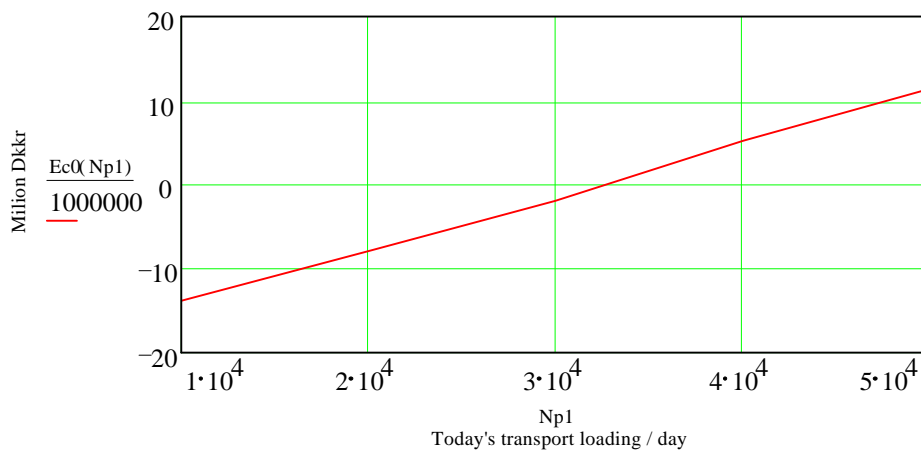
- investeringsudgifter for letbanen
- driftsindtægter for letbanen
- driftsudgifter for letbanen
- driftsbesparelser i eksisterende busdrift
- indtægststab i eksisterende busdrift

De beregnede parametre viser det årlige driftsresultat både med og uden afskrivning og forrentning af den investerede kapital, se figur 4, 5, 6 og 7.

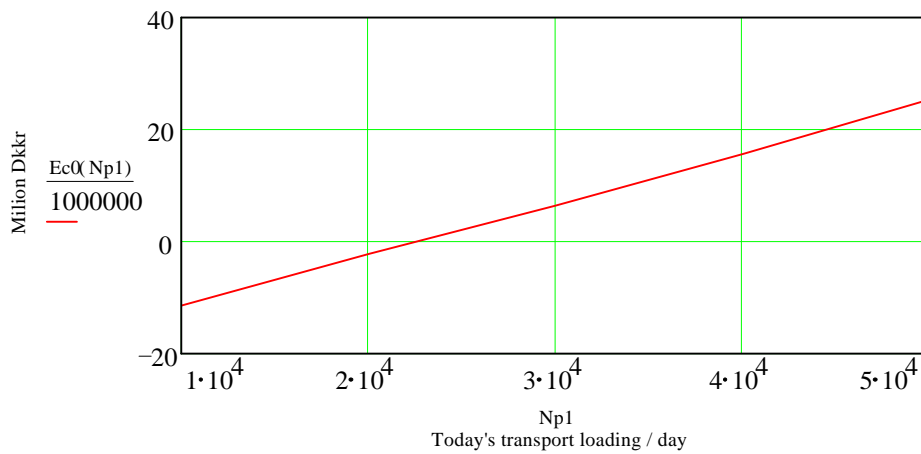
Ved de samfundsøkonomiske beregninger er følgende betragtet (foruden investeringer samt driftsudgifter og -indtægter jf. ovenstående):

- værdien af reduktionen i rejsetid for nuværende buspassagerer
- værdien af forøgelsen i rejsetid for nuværende bilister (negativ værdi)
- besparelse i kørselsomkostninger for nuværende bilister
- værdien af ændringerne i miljøbelastningerne, idet udelukkende emissioner (lokale og regionale effekter) er betragtet

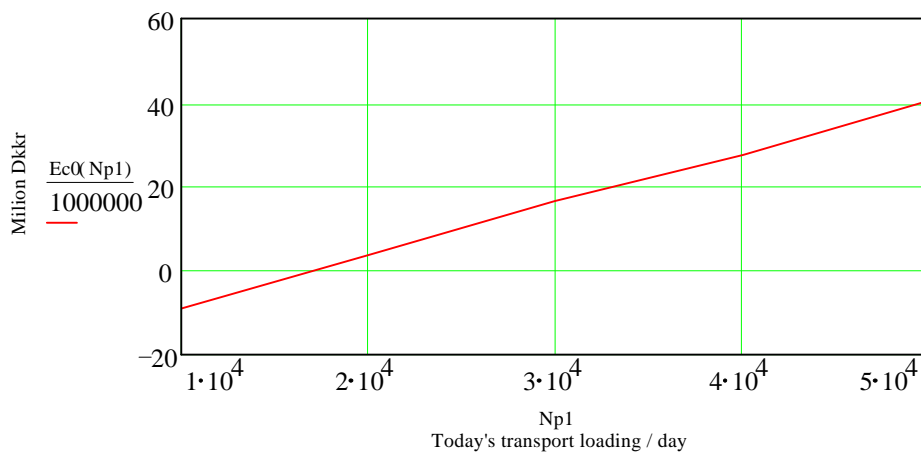
Ved de samfundsøkonomiske kalkyler er førsteårs-forrentningen beregnet, se figur 8 og 9.



**Strækningsslængde 5 km**

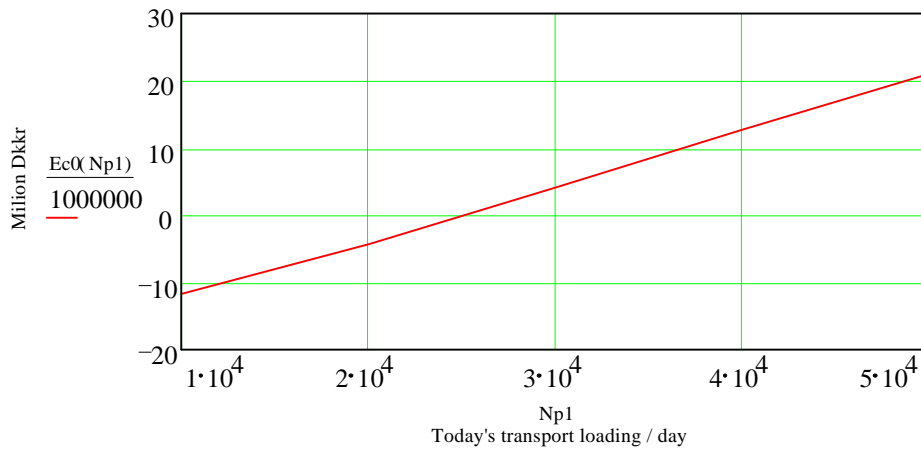


**Strækningsslængde 10 km**

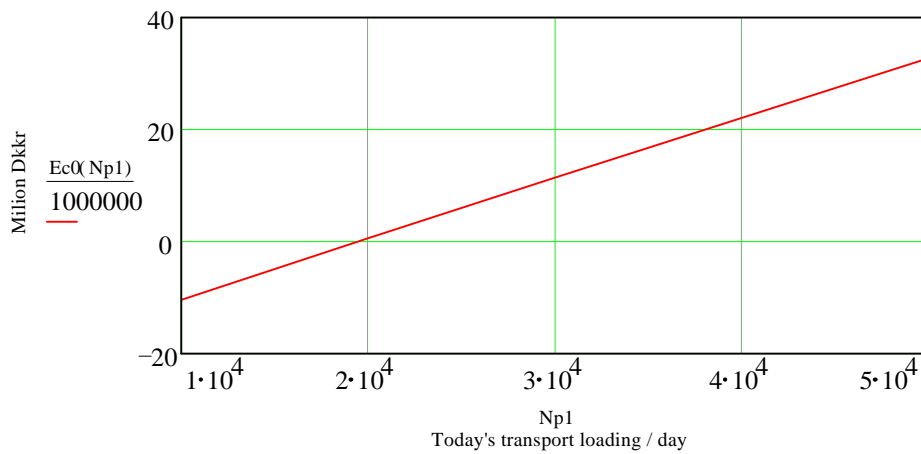


**Strækningsslængde 15 km**

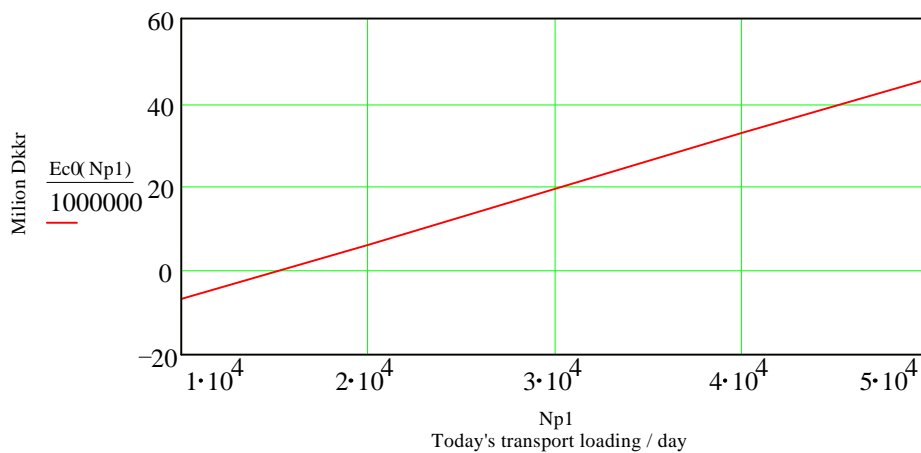
**Figur 4 - Selskabsøkonomisk beregning, sporbus**  
**Årligt resultat uden afskrivning og forrentning af den investerede kapital**



**Strækningsslængde 5 km**



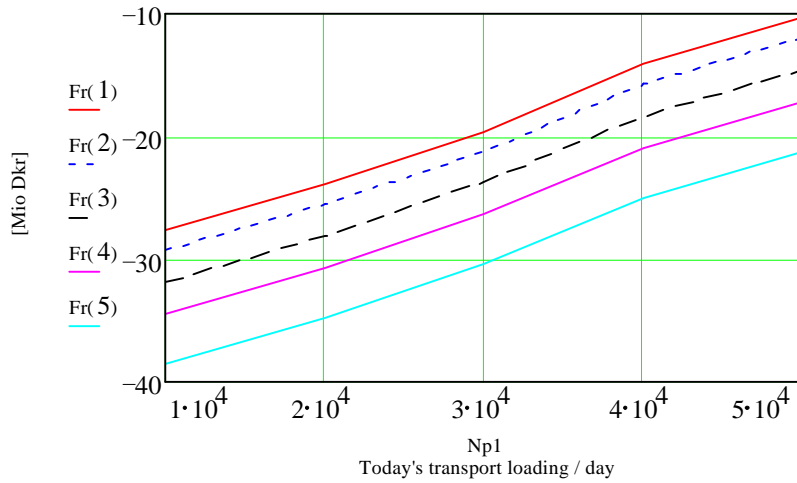
**Strækningsslængde 10 km**



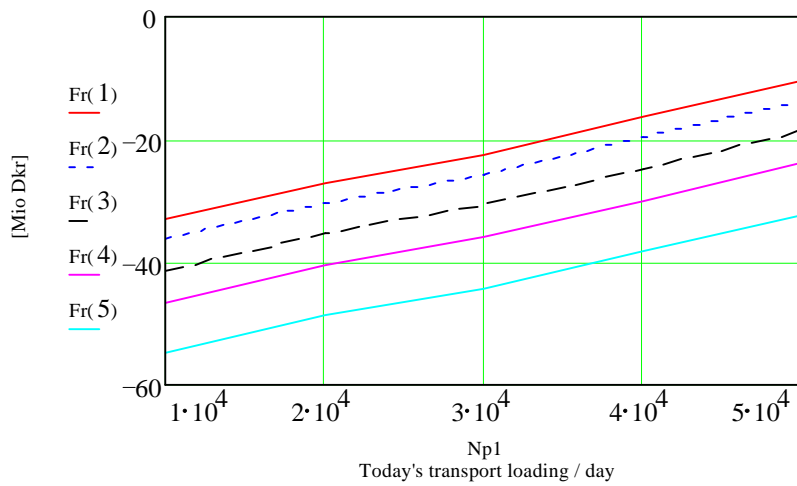
**Strækningsslængde 15 km**

**Figur 5 - Selskabsøkonomisk beregning, light rail**  
**Årligt resultat uden afskrivning og forrentning af den investerede kapital**

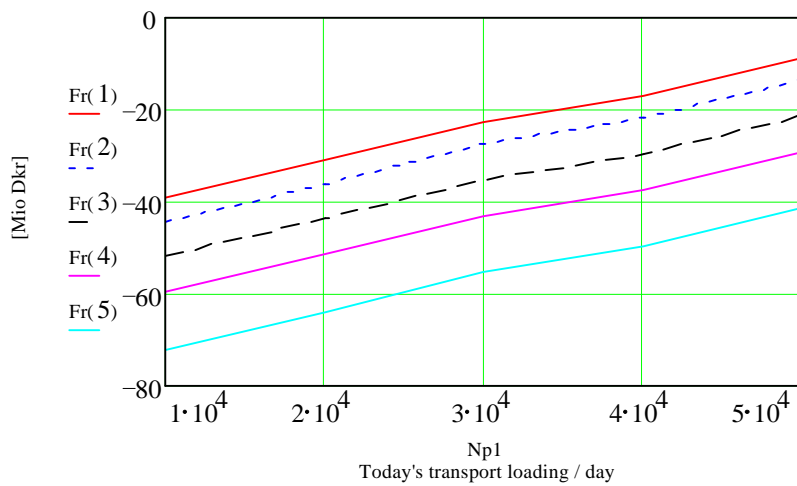




**Strækningsslængde 5 km**

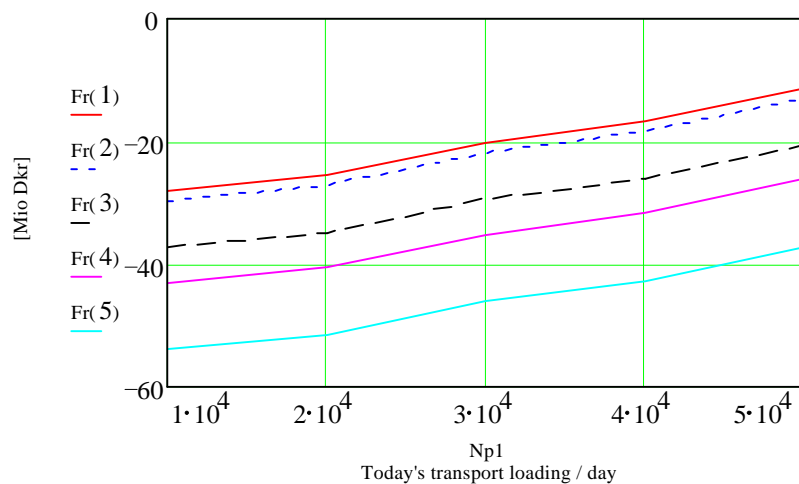


**Strækningsslængde 10 km**

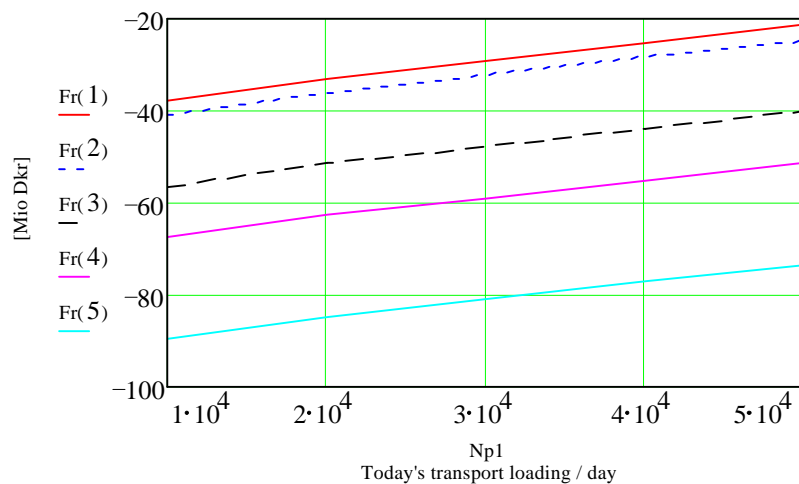


**Strækningsslængde 15 km**

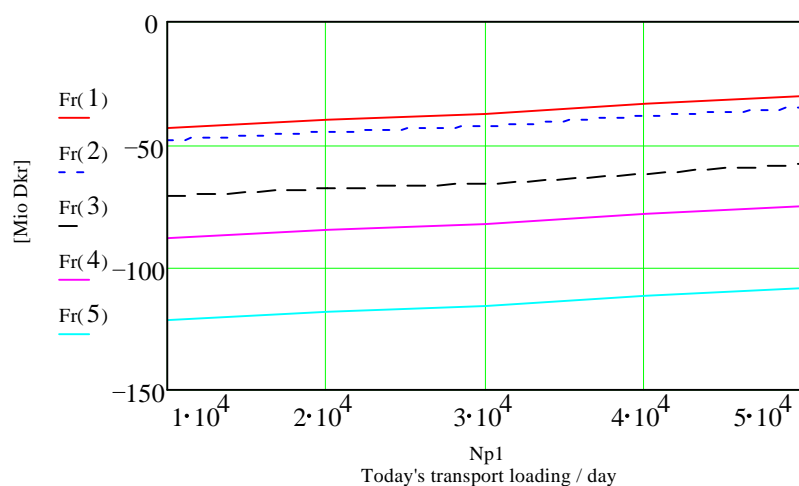
**Figur 6 - Selskabsøkonomisk beregning, sporbus**  
**Årligt resultat incl. afskrivning og forrentning af den investerede kapital**



### Strækningsslængde 5 km

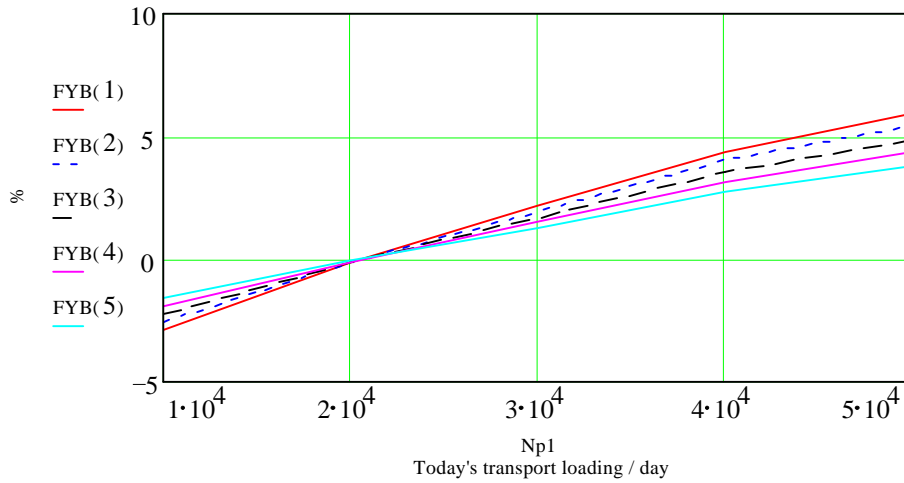


### Strækningsslængde 10 km

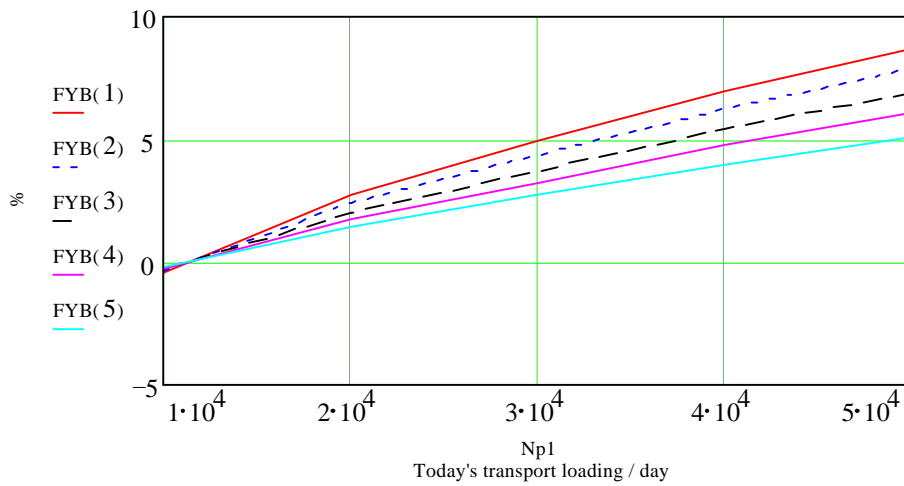


### Strækningsslængde 15 km

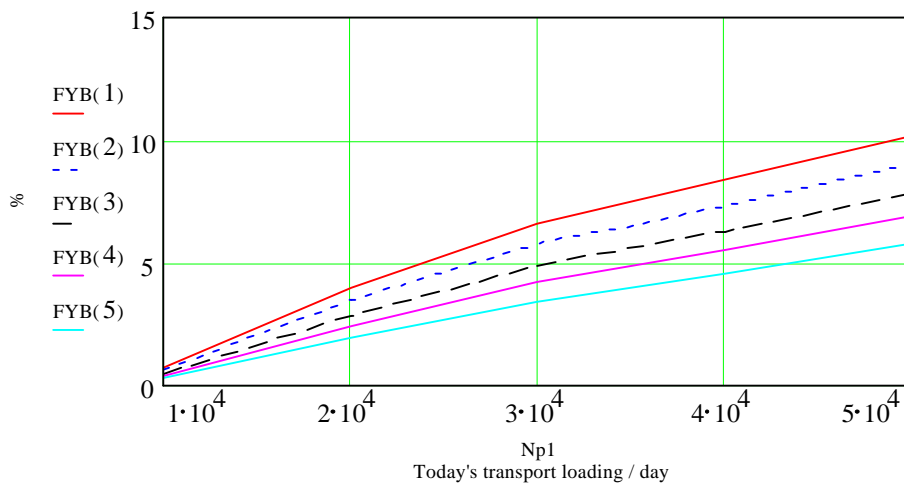
**Figur 7 - Selskabsøkonomisk beregning, light rail**  
 Årligt resultat incl. afskrivning og forrentning af den investerede kapital



**Strækningsslængde 5 km**

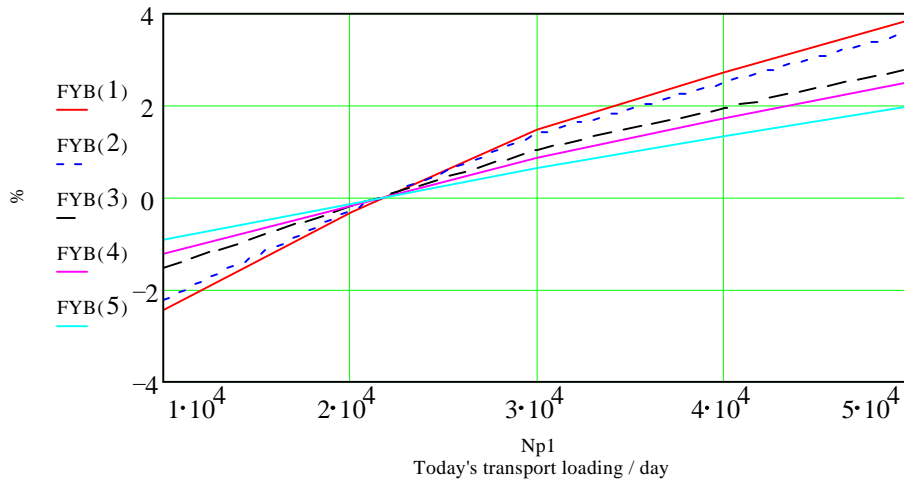


**Strækningsslængde 10 km**

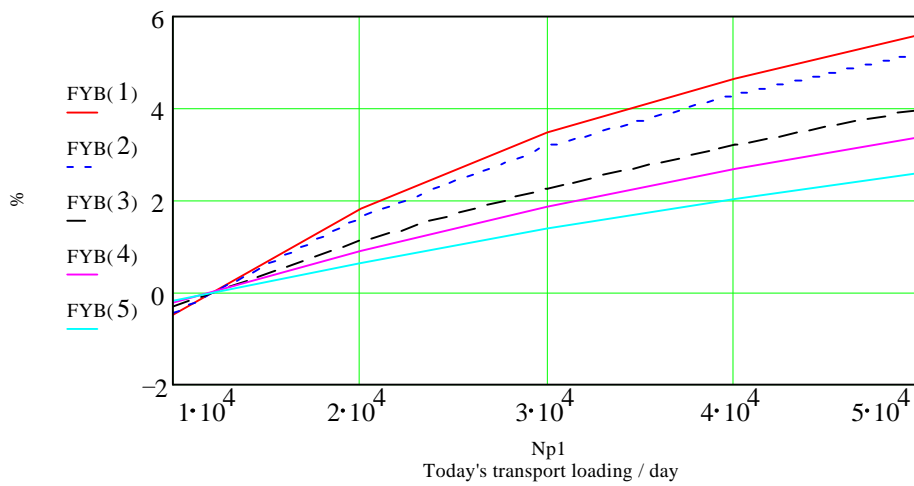


**Strækningsslængde 15 km**

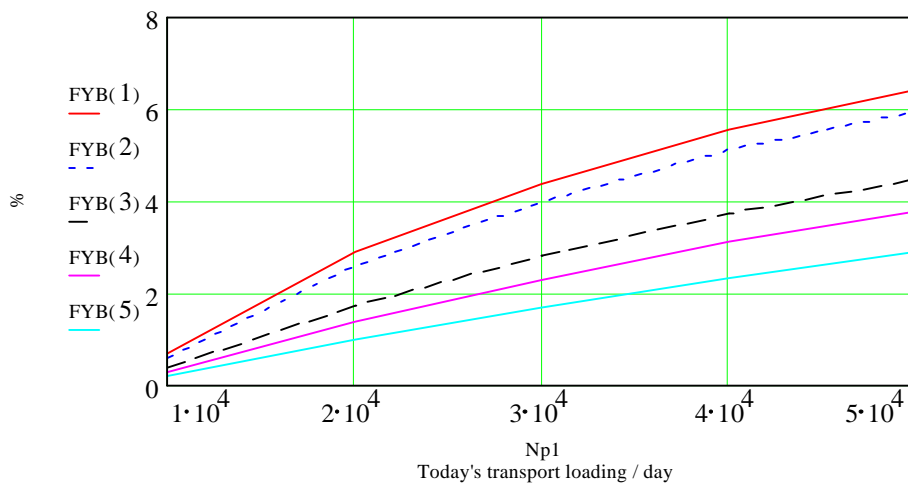
**Figur 8 - Samfundsøkonomisk beregning, sporbus**  
**Førsteårsforrentning, FYB(1) etc. angiver kompleksitetsgrad.**



**Strækningsslængde 5 km**



**Strækningsslængde 10 km**



**Strækningsslængde 15 km**

**Figur 9 - Samfundsøkonomisk beregning, light rail**  
**Førsteårsforretning, FYB(1) etc. angiver kompleksitetsgrad**

## 4. Konklusion

I artiklen er investeringsbehov og rentabilitet undersøgt, idet sporbus og light rail er behandlet. Enkelte grundlæggende parametre er varieret (strækningsslængde, passagerunderlag og anlægs-kompleksitetsgrad), således at læseren ved brug af kurverne i artiklen kan opnå en indledende vurdering af størrelsesordenen af investeringsbehov mv.

Blandt de mest markante konklusioner, som kan udledes af kurverne i artiklen, er:

- Sporbus medfører mindre investeringsbehov end light rail. Dette bliver specielt udtalt i de tilfælde, hvor omfattende ledningsomlægninger er påkrævet for light rail (ledningsomlægninger forventes ikke at være påkrævet for sporbus, idet sporbusser kan køre "ikke-sporført" og evt. af andre ruter i påkommende fald).
- Kompleksitetsgraden har særdeles stor indflydelse på investeringsbehovet.
- Passagerunderlaget har ligeledes en markant indflydelse på investeringsbehovet, om end ikke i samme omfang som kompleksitetsgraden.
- For samme letbanetype (samme type af rullende materiel mv.) og samme strækningsslængde kan investeringsbehovet variere med mere end en faktor 4 for forskellige (realistiske) passagerunderlag og kompleksitetsgrader.
- For så vidt angår netto driftsresultat gælder, at indførelsen af et letbanesystem som de her beskrevne vil medføre en forbedring af driftsresultatet, såfremt der i den betragtede transportkorridor i dag er mere end ca. 20.000 buspassagerer pr. hverdagsdøgn. Dette skyldes, at der med letbanen transporteres flere passagerer pr. enhed og med større rejsehastighed end i dag.
- For så vidt angår årligt driftsresultat incl. afskrivning og forrentning af den investerede kapital gælder, at samtlige undersøgte tilfælde kræver tilskud. Et typisk eksempel med en strækningsslængde på 10 km og et passagerunderlag på 30.000 passagerer/hverdagsdøgn resulterer i et nødvendigt tilskud på ca. 25 - 45 mio. kr. pr. år for sporbus og ca. 30 - 80 mio. kr./år for light rail.
- For så vidt angår førsteårsforrentningen (samfundsøkonomiske beregninger) gælder, at forrentningen er lille (i nogle tilfælde negativ) ved små passager-mængder. Dette skyldes, at driftsudgifterne for letbanen indeholder en relativt stor trafikproduktionsuafhængig "startomkostning", jf. bilag 1. For passagermængder, som forekommer mere sandsynlige for letbaner, er forrentningen 2 - 10 %.

De angivne resultater er opnået i et pilot-projekt, hvor en række basisdata, enhedspriser mv. er estimeret. I efterfølgende projektfaser bør de mest afgørende af disse parametre undersøges/verificeres. Følgende effekter/parametre, som ikke medtaget i nærværende analyser, bør endvidere undersøges og inddrages i modellen:

- Effekterne for den øvrige trafik
- Trafiksikkerhed og uheldsomkostninger
- Barriereeffekt og oplevet risiko
- Støj og vibrationer
- Globale miljøeffekter
- Spørgsmålet om moms på investingsbehov (i nærværende analyser er regnet uden moms)

## 5. Referencer

1. "Undersøgelse af større hovedlandevejsarbejder. Metode for effektberegninger og økonomisk vurdering", Vejdirektoratet, 1992
2. "Omkostningsopgørelse for miljøeksternaliteter i forbindelse med energiproduktion", Forskningscenter Risø, R-770(DA), 1994

## BILAG 1 - GRUNDLÆGGENDE DATA OG FORUDSÆTNINGER

Rejsehastighed	Antages forøget fra 20 km/t til 25 km/t
Baneeffekt	Sporbus: 5%, light rail 20%
Elasticitet	0.5 (med hensyn til rejsetid)
Spidslastfaktor	8% (spidstimetrafik i mest belastede retning i forhold til total døgntrafik begge retninger tilsammen)
Vendetid	5 min.
Materielreserve	15% (ud over antal vogne i samtidig drift)
Gns. billetindtægt	4,50 kr.
Driftsudgift bus i dag	300 kr/trafiktime
Driftsudgift letbane	280 kr/trafiktime plus 20 mio. kr. pr år (depot/værksted)
Gns. rejselængde	0,5 (gns. rejselængde i forhold til strækningsslængde)
Depot/værksted	Anlægsudgift 80 mio. kr.
Trafikproduktion/år	3650 trafiktimer/år i gennemsnit for vognpark (excl reserve)
Afskrivningsperiode	25 år for rullende materiel, 50 år for infrastruktur
Bilistandel	50% (andel af forøgelsen af passagertallet)
Antal personer/bil	1,33
Værdi rejsetid	Pendlere: 41,41 kr/t, billister: 51,17 kr/t
Miljøbelastninger	Biltrafik: 0,33 kr/km busser: 0,97 kr/km letbane: 0,04 kr/km (i alle tilfælde er kun lokale og regionale effekter medtaget)
Realrente	5%