
Af Carsten Fich, Ørestadsselskabet I/S
Christian Overgård Hansen, TetraPlan ApS
Hans-Ole Skovgaard, Carl Bro Anlæg as

1 INTRODUKTION OG BAGGRUND

Ørestadsselskabet, som ejes af Københavns Kommune og Staten, står for etape 1 af den kommende bybane i København. Frederiksbergbaneselskabet og Østamagerbaneselskabet skal stå for henholdsvis etape 2 og etape 3. Frederiksbergbaneselskabets interessenter er Ørestadsselskabet og Frederiksberg Kommune. Østamagerbaneselskabets interessenter er Ørestadsselskabet og Københavns Amt.

Loven fastlægger bybanens linieføring, men lader det endelige systemvalg stå åbent. Især linieføringen på det nordlige Amager blev detaljeret behandlet i Folketinget. Loven bruger begrebet letbane og lader dermed forstå, at der ikke er tale om en udvidelse af S-togsnettet. Som mulige letbanesystemer nævner loven bybane, minimetro og magnetbane. Det endelige systemvalg er bestyrelsens. Også tunnellerings omfanget skal iht. loven fastlægges af selskabet. Selskabet har derfor valgt at undersøge 3 konkrete løsninger:

- automatisk **minimetro** i eget tracé,
- **sporvogn** i gadeniveau,
- førerbetjent **light rail**, delvis i eget tracé.

Ørestadsselskabet igangsatte 10. maj 1994 udarbejdelse af Program- og Dispositionsforslag for de 3 løsninger for etape 1.

Rådgivergruppen har bestået af:

Bygge- & Anlægsarbejder:	COWIconsult
Rullende materiel:	Carl Bro Gruppen as
Banetekniske installationer:	Københavns Bybane Konsulentgruppe*
Trafik:	Carl Bro Gruppen as
Arkitektur og Byplan:	KHR AS arkitekter
Miljø:	Carl Bro Gruppen as i JV med ERM
Projekteringsledelse:	COWIconsult

*(Rambøll, Hannemann og Højlund A/S, Nellesmann, Nielsen & Rauschenberg A/S,
Sir William Halcrow & Partners Ltd.)

Til rådgivergruppen har været knyttet en lang række inden- og udenlandske underrådgivere. Rådgiverne har løbende indrapporteret resultaterne af deres undersøgelser og vurderinger til Ørestadsselskabet. I efteråret 1994 forelå

samtlige hovedresultater af undersøgelserne, som i en færdigredigeret udgave blev leveret til

selskabet ved årsskiftet 1994/95 i form af program- og dispositionsforslag for de tre løsninger.

Ørestadsselskabet valgte minimetroløsningen. Ved valget blev der primært lagt vægt på følgende forhold:

- evne til at tiltrække passagerer, herunder forhold som rejsehastighed, frekvens, omstigningsforhold, driftspålidelighed og tryghed,
- miljø i byen, herunder spørgsmål om støj- og vibrationsudbredelse, luftforurening og visuelt miljø,
- ulykker,
- gener for byen og passagerne - anlæg og drift,
- økonomi - anlæg og drift.

Rapporten "Systemsammenligning, Resumé af dispositionsforslag" (februar, 1995) redegør nærmere for systemvalget, og rapporten "Resumé af Dispositionsforslag, Minimetrosystem, Etape 1" (februar, 1995) beskriver den valgte løsning.

Bybanens etablering og principielle linieføring er indeholdt i Københavns Kommuneplan. Bybanens detaljerede linieføring samt stationsplacering vil blive fastlagt i et tillæg til kommuneplanen, som formodes tilvejebragt i 1996. En vurdering af Bybaneprojektets indvirkning på miljøet indgår i denne proces i form af en såkaldt VVM-vurdering. Bybanens etape 2 fremgår af Frederiksbergs Kommuneplan og etape 3 fremgår af Københavns Amts Regionplan.

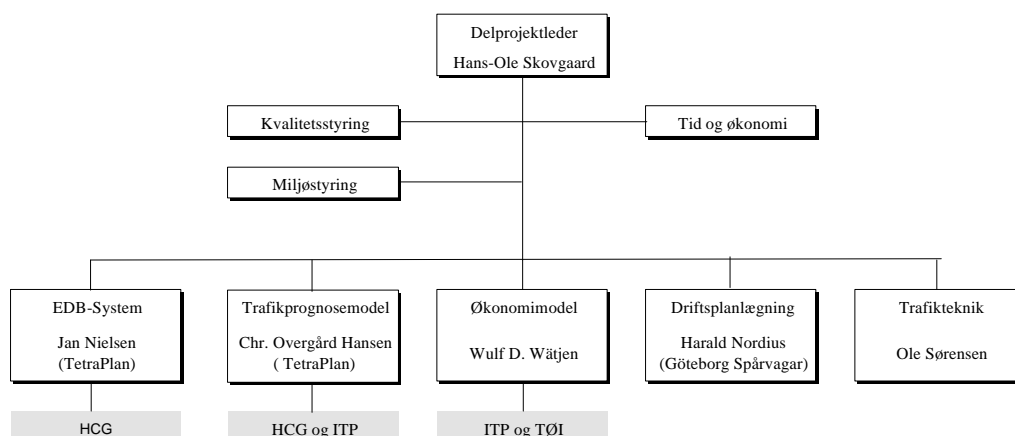
I juli 1995 modtog en række prækvalificerede konsortier udbudsmaterialet for anlæg- og drift af Bybanen. Der forventes indgået kontrakt i foråret 1996, således at anlægsarbejderne kan begynde medio 1996 og Bybanen er i drift ultimo 1999.

2 ORGANISATION OG FORMÅL

2.1 TRA's organisation

Carl Bro Anlæg as forestår sammen med Hague Consulting Group (Holland), Intraplan GmbH (Tyskland), TØI (Norge) og Göteborg Spårvarar (Sverige) opgaven med teknisk rådgivning inden for trafikområdet. December 1994 blev TetraPlan ApS etableret, hvorefter firmaet indgår som underrådgiver.

Figur 1 viser, hvorledes TRA internt organiserede arbejdet med Hans-Ole Skovgaard som projektleder. Der var etableret 5 fagprojekter bl.a. fagprojekt for udvikling af trafikmodel. I forbindelse med udvikling af trafikmodel har Hague Consulting Group og Intraplan GmbH fungeret som underrådgivere og forestået store dele af arbejdet.



Figur 1 TRA's organisation under arbejdet med Program og Dispositionsforslag

2.2

Formål

Formålet med trafikmodellen (OTM) er overordnet at belyse de trafikale konsekvenser af en bybane fra Vanløse til Københavns Lufthavn og den sydligste del af Ørestaden.

Da bybanen sammen med de øvrige kollektive transportformer vil påvirke rejsemønstret i et stort område omkring bybanen, er det valgt at gennemføre beregninger omfattende hele Hovedstadsområdet.

Byggeherrekravene omfatter bl.a., at trafikmodellen skal kunne beregne efterspørgslen på et hverdagsdøgn og en gennemsnitlig hverdagsspidsstunde på

- bybanens enkelte strækninger
- bybanens stationer
- det øvrige kollektive trafiknet og vejnet, som er relevant for bybanen

Desuden skal trafikmodellen kunne beregne tilbringer- og frabringertrafik fordelt på transportmidler. Den skal også kunne belyse alternative udformninger af bybanen.

Endelig kræves, at trafikmodellen installeres på PC, således at bygherren selv kan anvende trafikmodellen og konsekvensvurdere forskellige transportløsninger og udviklingsscenerier.

3

STATUS FOR TRAFIKMODEL

Modelarbejdet blev påbegyndt sommeren 1994. På grund af det store tidspres blev modeludviklingen opdelt i trin, således at modellen løbende er blevet forfinet. Denne fremgangsmåde har muliggjort, at de første foreløbige prognoser kunne produceres i efteråret 1994.

De seneste prognoser fra juni 1995 er baseret på en forbedret udgave af modellen, og det er denne model som behandles i det følgende.

Med færdigudviklingen af denne version af trafikmodellen stopper arbejdet imidlertid ikke, da der forventes en løbende udvikling af trafikmodellen. Bl.a. planlægges en større dataindsamling i Hovedstadsområdet til forbedring af de eksisterende turmatricer.

4 BESKRIVELSE AF TRAFIKMODEL

4.1 Hverdagsdøgnmodel

I trafikmodellen forudsættes en sekventiel beslutningsproces, hvor folk eksempelvis beslutter valg af transportmiddel før valg af rute. Den modeltype benyttes, idet den gennem mange år har vist gode resultater.

Persontrafikmodellen er grundlæggende opbygget som en firetrinnsmodel, idet den består af fire delmodeller: turgeneration og -attraktion, turfordeling, modal split (transportmiddelfordeling) og assignment (udlægning af trafik). Delmodellerne er kort beskrevet nedenfor.

Hovedstadsområdet er opdelt i 297 zoner, hvor zoneopdelingen er meget finere i den indre by omkring bybanen end i oplandsområderne. I generations- og attraktionsmodellen beregnes ud fra antal arbejdspladser opdelt efter erhverstype og befolkning opdelt efter arbejdsstilling antallet af personture til og fra disse trafik-zoner. Personturene opdeles efter tre turformål:

- arbejdsrelaterede ture
- bolig-uddannelsesture
- andre ture

I turfordelingsmodellen fordeles turene fra generations- og attraktionsmodellen indbyrdes mellem zonerne. Turfordelingen foregår på basis af zonerne generation- og attraktionstal og rejseomkostningerne mellem zonerne. Rejseomkostningerne beregnes som et vægtet gennemsnit over alle transportmidler - såkaldt logsumkost. Vægtningen af de enkelte transportmidlers rejseomkostninger sker automatisk ved hjælp af den kalibrerede modal split model.

I modal split modellen fordeles personturene efter hovedtransportmidlerne:

- personbil

- cykel
- gang
- kollektiv trafik

For hvert transportmiddel er der etableret et idealiseret net bestående af knuder og strækninger, som skal afspejle det virkelige net. Ud fra hvert af nettene beregnes bl.a. rejsetid og rejseomkostninger mellem zonepar som input til modal split modellen. I beregningen af disse udbudsdata benyttes hurtigste rute.

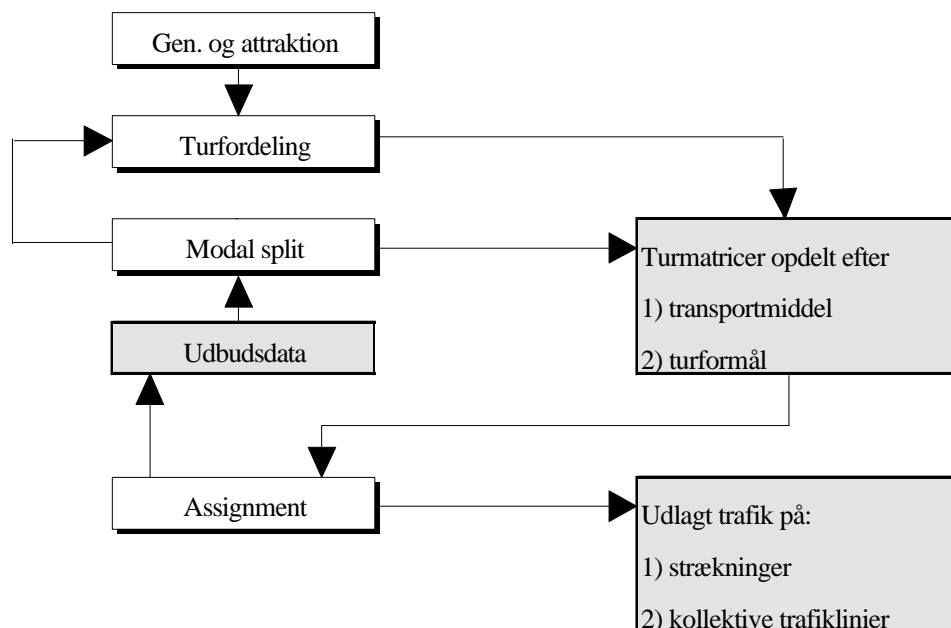
Resultatet af modal split modellen er turmatricer opdelt efter turformål og hovedtransportmiddel.

Assignmentmodellen udlægger personturene på strækninger og kollektive trafiklinier.

Det bemærkes, at der i trafikmodellen ikke indgår nogen delmodel for trafikspring forårsaget af den nye bybane. Denne er udeladt, idet erfaringer fra andre storbyer viser, at en ny bybane kun i mindre omfang påvirker antallet af personture. Således bliver der primært tale om overflytninger mellem de enkelte transportformer.

Hovedstrukturen i hverdagsdøgnmodellen for persontrafik fremgår af figur 2.

Der er ikke etableret nogen vare- og lastbiltrafikmodel, idet vare- og lastbiltrafikken fremskrives ud fra turmatricerne for basisåret og den beregnede udvikling i personbiltrafikken.



Figur 2 Hovedstrukturen i hverdagsdøgnmodellen for persontrafik

4.2 Spidstimemodellen

I Hovedstadsområdet forekommer generelt den største timetrafik mellem kl. 8 og 9, hvorfor dette tidsrum er valgt som spidstime.

Spidstimemodellen er integreret med hverdagsdøgnmodellen. Turmatricerne beregnes ud fra hverdagsdøgnurmatricerne (se figur 2) og spidstimefaktorer, som er etableret for basisåret.

Der er udviklet en særlig delmodel til udlægning af biltrafik i spidstimen. I delmodellen tages hensyn til vejenes kapacitet og reduktion af hastigheder som følge af stigende trafikmængder.

På grund af den indbyggede sammenhæng mellem biltrafikmængde og hastighed er det nødvendigt at foretage en iterativ prognoseberegning. Det vil sige, at hele trafikmodellen i figur 2 gennemløbes flere gange ind til der er opnået en rimelig ligevægt mellem udbud og efterspørgsel. I praksis har det vist sig, at 2 til 3 gennemløb giver tilstrækkelig præcision.

4.3 Datagrundlag

Ovenstående delmodeller er bestemt på baggrund af:

- postkortanalyse
- trafiktællinger
- plandata og pendlingsdata
- turmatricer
- stated preference (SP) interview

Den 26. maj blev der gennemført en postkortanalyse over havnesnittet (Knippelsbro, Langebro, Sjællandsbroen og Amagermotorvejen). Der blev uddelt ca. 16.000 postkort i retning fra Sjælland til Amager, hvoraf 37% blev returneret.

Parallelt med postkortanalysen blev der gennemført tællinger af al trafik ved alle fire broer. Derudover foreligger en række tællinger foretaget af Københavns Kommune, HT og Vejdirektoratet, som er benyttet ved etablering af turmatricer og kalibrering af trafikmodel.

Plandata og pendlingsdata for basisåret 1992 er indhentet fra Danmarks Statistik og opdelt på zoner. Pendlingsdata beskriver sammenhæng mellem bolig og arbejdsplads og er benyttet i forbindelse med etablering af turmatricer.

Fra arbejdet med Hovedstadstrafikmodellen er modtaget følgende hverdagsdøgnmatricer for 1992: personture med bil, kollektiv trafik og cykel samt vare- og lastbilture. Efterfølgende er der ud fra erfaringstal dannet en syntetisk gangtursmatrix, og på basis af analyser af postkortene er personturene opdelt efter turformål.

Der er med udgangspunkt i hverdagsdøgnmatricerne kalibreret spidstimematricer ved hjælp af trafiktællinger mellem kl. 8 og 9. Personturene er derefter opdelt efter turformål.

Endelig er der gennemført ca. 400 SP-interview til belysning af folks transportmiddelvalg i fremtidige rejsesituationer. Interviewene er udført som husstandsinterview, hvor intervieweren har benyttet bærbar PC'er. Sammen med postkortanalysen, som beskriver folks faktiske rejseadfærd, har SP-interviewene dannet grundlag for udvikling af modal split modellen.

4.4 Modelkalibrering

Modal split modellen er et centralt element i trafikmodellen, og den er derfor bestemt ud fra nye data (se ovenfor). Modal split modellen er udformet som en logit model, hvor sandsynligheden for, at person n vælger transportmiddel i udtrykkes som:

$$(1) \quad Pr_i = \frac{\exp(v_i)}{\sum \exp(v_i)}$$

hvor exp angiver eksponential funktion med grundtal e. v_i er en lineær funktion som angiver den målbare nytte ved transportmiddel i:

$$(2) \quad v_i = \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots$$

hvor x_{im} udtrykker den m 'te egenskab ved transportmiddel i f.eks. transporttid. Det kan nævnes, at der i nærværende modal split model indgår i alt 20 egenskaber. Parametrene β bestemmes ved hjælp af maksimum likelihood metoden ud fra de indsamlede data.

Modal split modellen er bestemt ud fra SP-data, som beskriver hypotetiske fremtidige rejser, og faktiske rejser observeret fra postkortanalysen (RP-data). Ved at kombinere SP-data med RP-data, kan systematiske skævheder i forbindelse med de hypotetiske valg i SP-interviewene justeres ud fra folks faktiske rejseadfærd. Metoden til kombination af de to data typer i forbindelse med bestemmelse af modal split modellen omtales ikke nærmere her.

Udlægning af trafikken afhænger af transportmiddel og tidspunkt, således at der i trafikmodellen anvendes fire forskellige assignment metoder:

- alt-eller-intet assignment
- stokastisk flerrutevalg til udlægning af biltrafik på vejstrækninger
- stokastisk flertutevalg til udlægning af kollektiv trafik på linier
- kapacitetsrestrikeret udlægning af biltrafik på vejstrækninger i spidstimer

Alt-eller-intet metoden anvendes til udlægning af cykel- og gangtrafik efter hurtigste rute.

Ved udlægning af biltrafik på døgnniveau anvendes en stokastisk udlægning, hvor sandsynligheden for valg af rute j baseres på Kirchhoff formel:

$$(3) \quad Pr_j = t_j^{-\alpha} / \sum t_j^{-\alpha}$$

hvor t_j angiver rejsetiden på rute j . Ved kalibrering er det fundet tilstrækkeligt at benytte de to hurtigste ruter mellem hvert zonepar, og samtidig er α fastsat til -4.

Den kollektive trafik udlægges i princippet som ovenfor, dog således at der anvendes et strækning-linie-koncept. I strækning-linie-konceptet indgår beskrivelse af de kollektive trafiklinier (bus, bybane, S-tog, regionaltoget og privatbane), således at de faktiske rejsesituationer f.eks. ved omstigninger kan simuleres bedst muligt.

Ved udlægning af biltrafikken i spidstimer tages hensyn til sammenhængen mellem rejsetid og trafikmængde på de enkelte vejstrækninger. Udlægningen foregår successivt, således at rejsetidsforbruget mellem zoner minimeres (Wadrop's første lov). I princippet opnås en ligevægtssituation, hvor rejsetiden mellem zonepar er uafhængig af rutevalg. I praksis anvendes en tilnærmelse til ligevægtssituationen, idet der maksimalt tillades 50 iterationer.

I det følgende præsenteres et mindre udvalg af resultater for 1992 til illustration af modellens nøjagtighed. Modellen er bl.a. kalibreret på grundlag af snittene:

- B1 Frederikssundsfinger v. Københavns amtsgrænse
- B2 Farumfinger v. Københavns amtsgrænse
- B3 Hillerødfinger v. Københavns amtsgrænse
- B4 Helsingørfinger v. Københavns amtsgrænse
- D1 Køgefinger v. Københavns kommunegrænse
- D2 Høje-Tåstrupfinger v. Københavns kommunegrænse
- D3 Frederikssundsfinger v. Københavns kommunegrænse
- D4 Farumfinger v. Københavns kommunegrænse
- D5 Helsingørfinger v. Københavns kommunegrænse
- F1 Knippelsbro
- F2 Langebro
- F3 Sjællandsbroen
- F4 Amagermotorvejen
- G1 Vestamager v. Københavns kommunegrænse
- G2 Midtamager v. Københavns kommunegrænse
- G3 Østamager v. Københavns kommunegrænse

I tabel 1 sammenlignes beregnet og observeret hverdagsdøgntrafik. Afvigelserne udtrykker ikke alene beregningsusikkerheder i assignmentmodellen, idet der også forekommer usikkerheder i forbindelse med etablering af turmatricerne. Endelig er tællingerne også behæftet med visse usikkerheder.

Betragtes enkelte vejstrækninger og kollektive trafiklinier fremfor snit må væsentlig større afvigelser forventes. Eksempelvis viser en nærmere analyse af biltrafikken en gennemsnitlig afvigelse pr. vejstrækning på ca. 30%. Det er dog således, at der på de større vejstrækninger er relativ mindre afvigelser end der er på de små veje, der kun har lidt trafik.

Endelig skal det bemærkes, at de relative afvigelser i spidstimen svarer til afvigelserne på døgnniveau.

Trafiksnit	Afvigelse mellem observeret og beregnet hverdagsdøgntrafik		
	Bus	Tog	Bil
B1	35,4%	-5,2%	4,5%
B2	0,0%	18,2%	-13,0%
B3	12,5%	2,8%	12,2%
B4	-77,7%	7,9%	-4,1%
D1	20,2%	5,6%	7,6%
D2	-2,0%	0,5%	-17,4%
D3	10,1%	-5,4%	-8,5%
D4	-1,2%	11,8%	19,3%
D5	44,3%	-6,0%	6,5%
F1	4,1%	-	-4,0%

F2	-5,0%	-	5,9%
F3	-5,5%	-	-4,7%
F4	0%	-	6,9%
G1	8,3%	-	20,7%
G2	-22,6%	-	1,3%
G3	29,3%	-	-4,7%

Tabel 1 Sammenligning mellem beregnet og observeret
hverdagsdøgntrafik i 1992

5 RESULTATER

Afslutningsvis præsenteres enkelte resultater fra den seneste prognose. Der er gennemført prognoseberegninger for:

- år 2000 med etape 1 af bybanen
- år 2010 med alle tre etaper af bybanen
- år 20xx med alle tre etaper af bybanen og en fuldt udbygget Ørestad

Eneste forskel mellem prognosen år 2010 og 20xx er antagelse om en fuldt udbygget Ørestad. Den fuldt udbyggede Ørestad antages, at indeholde 70.000 arbejdspladser og 6.000 boliger svarende til ca. 15.000 indbyggere.

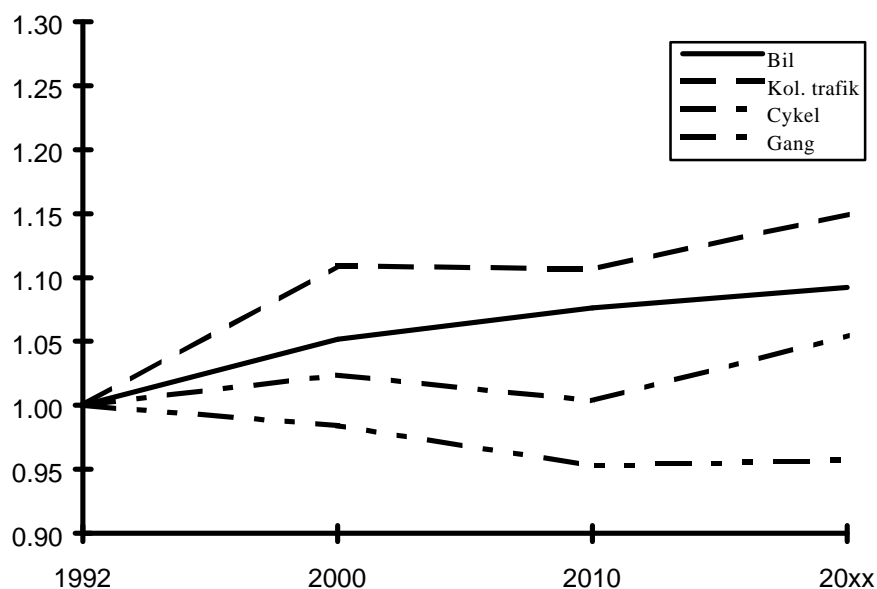
Figur 3 viser den indekserede udvikling i antallet af personture i Hovedstadsområdet, idet bybanen er antaget udbygget med minimetro. Det samlede antal personture i Hovedstadsområdet stiger fra 1992 til 20xx med 7%.

Den kollektive trafik har den største stigning med 15%. Stigning i den kollektive trafik fra 1992 til 2010 skyldes en udbygning og forbedring af den kollektive trafik i Hovedstadsområdet. Væksten i perioden fra 2010 til 20xx må derimod tillægges udbygningen af Ørestaden.

Efter kollektiv trafik følger personbiltrafik med en stigning på 9% fra 1992 til 20xx. Stigningen i biltrafik frem til 2010 må primært tillægges en stigning i bilejerskabet. I perioden fra 2010 til 20xx stiger antallet af personture med bil på grund af udbygningen af Ørestaden.

Cykeltrafikken stiger fra 1992 til 20xx med 5%, således at stigningen primært forekommer i perioden fra 2010 til 20xx. Det skyldes, at der opstår mange relativ korte ture i og omkring Ørestaden, hvor cyklen er et godt alternativ.

Gangtrafikken falder i perioden fra 1992 til 20xx med 4%, hvilket i øvrigt svarer til udviklingen gennem de seneste årtier.

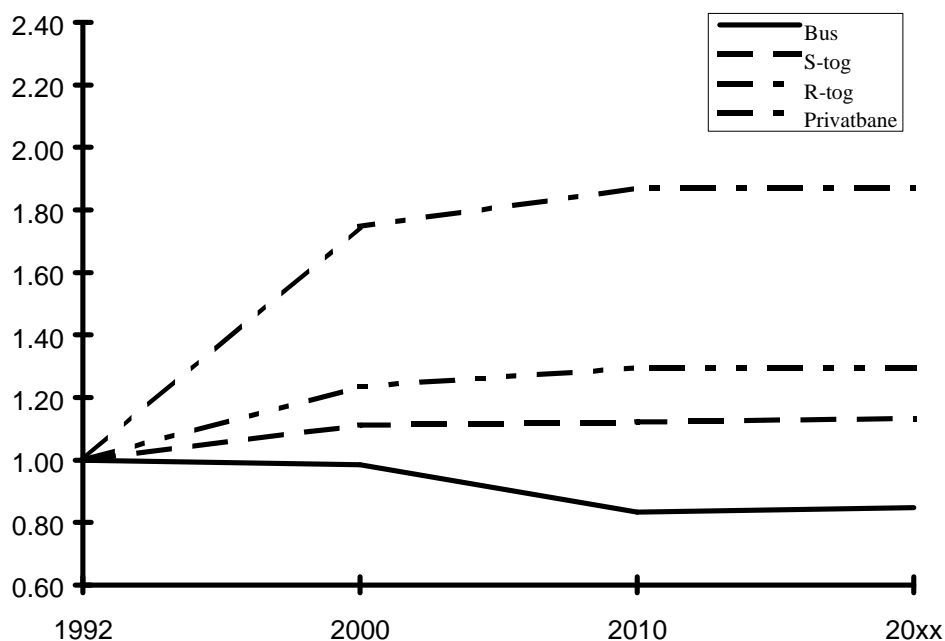


Figur 3 Udviklingen i antal personture i Hovedstadsområdet

Studerer udviklingen i passagertallet med de forskellige kollektive transportformer noteres en forventet nedgang i buspassagertallet på grund af passageroverflytning til den nye bybane.

Der beregnes en stigning i antallet af påstigende S-togpassagerer på 13% i perioden fra 1992 til 20xx. Regionaltogene oplever en endnu større stigning på grund af en stigende fjerntrafik igennem Hovedstadsområdet. Privatbaner får også en relativ stor stigning, men den absolutte stigningen er lille.

Udviklingen i antal påstigende passagerer med de forskellige kollektive transportformer fremgår af figur 4.



Figur 4 Udviklingen i antal påstigende passagerer med kollektiv trafik i Hovedstadsområdet

6

PC-MODEL

Trafikmodellen integreres sammen med en økonomimodel og køretids-/driftsmodel for bybanen og implementeres på PC'er, således at bygherren selv kan gennemføre prognoseberegninger med eksempelvis alternative forudsætninger om bybanens køreplan og befolknings- og arbejdspladsudviklingen.

PC-modellen er nærmere omtalt i paper om Ørestadsselskabets økonomimodel og PC-model.