



2006:2

GTS- Generellt Transportsystem

Förstudie: införande och effekter

Rapport 2006-04-10

■ transek

i samarbete med Logistikcentrum AB
och SwedeTrack System AB

FÖRORD

SIKA genomför hösten 2005 en förstudie om alternativa mobilitetssystem som en del i ett större projektkluster gällande system för planering av transportinfrastrukturen. Den här aktuella förstudien är en del av projektet I6 där frågan ställs: Hur ska planeringsprocessen läggas upp för att kunna identifiera och bedöma värdet av alternativa transportsystem? En identifierad svårighet med nuvarande planeringsmodell är att upptäcka om radikalt annorlunda transportlösningar är överlägsna de etablerade.

SIKA gav i oktober i uppdrag åt Transek AB, LogistikCentrum AB och SwedeTrack System AB att utarbeta en förstudie med inriktning på följande aspekter av ett Generellt TransportSystem (GTS):

- Införandestrategier (ansvarig konsult: LogistikCentrum)
- Utformning / ”designtankar” (ansvarig konsult: SwedeTrack System AB)
- Effekter av spårtaxi (ansvarig konsult: Transek AB)

Transek, med Göran Tegnér som projektledare, har ansvarat för utformningen av rapporten. Dessutom har Matts Andersson och Joanna Dickinson medverkat från Transek. Från LogistikCentrum har Ingmar Andréasson medverkat och från SwedeTrack System har Jan-Erik Nowacki samt Hans Kylberg (underkonsult *Visulogik AB*) medverkat.

Värdefulla synpunkter från ett avstämningsmöte under ledning av SIKA i december 2005 har inarbetats i rapporten.

Solna i april 2006

Marika Jenstav
vd Transek AB

INNEHÅLL

FÖRORD.....	2
SAMMANFATTNING	5
1 ETT GENERELLT TRANSPORTSYSTEM.....	14
1.1 Är tiden inne för ett helt nytt transportsystem?	14
1.2 Några befintliga utvecklingar	15
1.3 Krav på ett generellt transportsystem (GTS)	19
1.4 Några möjliga tekniker	21
1.5 Tågbildning och terminaler	23
1.6 Processen mot en öppen standard för GTS	25
1.7 Strategi för stegvis införande	26
1.8 Banoperatörens roll	28
1.9 Flottägare.....	28
1.10 Risker och hinder för genomförande.....	29
1.11 Möjligheter för svensk industri	31
2 DESIGNTANKAR OCH ILLUSTRATIONER.....	32
2.1 Parameterval	32
2.2 Hastighet.....	38
2.3 Stationsutformning.....	39
2.4 Avvägningar	40
2.5 Illustrationer	41
3 KOSTNADSMODELL FÖR GTS-SYSTEM	55
4 EFFEKTER AV GTS	63
4.1 Färdmedelsvalseffekter	63
4.2 GTS bidrar till ett jämställt och tillgängligt transportsystem	79
4.3 GTS medför minskad miljöpåverkan i transportsystemet	81
4.4 GTS ger en säkrare trafik	81
4.5 Spårtaxi dämpar bilinnehavet	82
4.6 Intrångseffekter med GTS	83
4.7 Samhällsekonomisk lönsamhet med GTS	88
4.8 Sammanfattande nyckeltal	98
BILAGA 1 - KOSTNADSMODELL FÖR GTS-SYSTEM.....	101

BILAGA 2 - METODER FÖR KONSUMENTÖVERSKOTTSBERÄKNING.....	105
---	-----

SAMMANFATTNING

I denna förstudie behandlas ett **Generellt Transport System (GTS)** med egenskaper liknande spårtaxi. Spårtaxi inom tätorter kombineras med ett interurbant nät med samma fordon utanför tätort.

Frågor som uppkommer är t.ex.: Ska fordonen kunna köras på vanlig väg i tätort? Vilka tekniska krav bör då ställas på ett sådant system? Vilka strategier för införandet är lämpligast?

Eftersom spårtaxi kan anses vara grundläggande för GTS, sammanfattas ett flertal svenska och utländska studier av spårtaxis egenskaper när det gäller restidsvinster, färdmedelssval, samhällsekonomi, miljö, säkerhet, intrång m.m.

En jämförande kostnadsmodell redovisas. Denna visar att ett urbant spårtaxinät har lägre totala kostnader per resa än buss, spårväg, tunnelbana och pendeltåg.

Framförallt visar sig resenärens resuppostring vara lägre med spårtaxi.

Det är troligt att man gör en total nettovinst vid övergång från spårtaxi till GTS.

Frågan bör dock analyseras närmare. Mälardalen vore lämplig för en huvudstudie där man undersöker totalvinsten med GTS jämfört med dagens system mellan orterna och med spårtaxi i tätorterna.

Bakgrund och uppdrag

SIKA genomför hösten 2005 en förstudie om alternativa mobilitetssystem som en del i ett större projektkluster gällande system för planering av transportinfrastrukturen. Den här aktuella förstudien är en del av projektet I6 där frågan ställs: Hur ska planeringsprocessen läggas upp för att kunna identifiera och bedöma värdet av alternativa transportsystem? En identifierad svårighet med nuvarande planeringsmodell är att upptäcka om radikalt annorlunda transportlösningar är överlägsna de etablerade. Tre fallstudier ska kasta ljus över frågeställningen:

- a) Hur kan sociala och kulturella barriärer tänkas hämma utvecklingen av en långsiktigt hållbar bilism;
- b) Hur kan en avancerad cykeltrafikplanering, i jämförelse med i dag, påtagligt förändra fördelningen av färdmedelsval för kortväga förflyttningar;
- c) Hur kan ett generellt nytt och annorlunda transportsystem införas, givet att det sammantaget har påtagliga fördelar gällande generalitet,

säkerhet, restid, tillgänglighet, miljö, energi och kostnad men naturligt saknar etablering?

Fallstudierna är inte ämnade att ställas i motsats till varandra, snarare kan de alla utgöra pusselbitar i ett helt annat, framtida transportperspektiv. Framför allt ska de belysa hur och varför alternativa transportsystem möter motstånd när det gäller förverkligande.

Den förstudie som här skisseras är (c) ett generellt transportsystem, kallat GTS.

SIKA har gett Transek AB - i nära samarbete med LogistikCentrum AB och SwedeTrack Systems AB - i uppdrag att genomföra en förstudie över ett "Generellt Transport System".

Huvudsakliga resultat

Är tiden mogen för ett nytt transportsystem?

Genom tiderna har nya transportsystem utvecklats ungefär en gång per århundrade. Kanaltrafik, järnvägstrafik och vägtrafik har byggts upp med nya infrastrukturer. Investeringarna i vägtrafiken har nu kulminerat samtidigt som kapaciteten i infrastrukturen blivit otillräcklig. Vi tror att nästa generation transportsystem utnyttjar egna banor ovan mark och bör ha följande egenskaper:

- erbjuda lokala, regionala och interregionala resor från dörr till dörr
- vara ständigt tillgängligt utan väntetider och byten
- ge konkurrenskraftiga restider på alla avstånd
- ge hög säkerhet, d.v.s. automatisk drift avskild från annan trafik
- vara miljövänligt utan avgaser
- vara energisnålt
- ge rimliga kostnader (totalkostnad per personkm)
- utformas med global standard för skalekonomi
- fordonen ska kunna köras på vanliga vägar

Krav på ett Generellt TransportSystem (GTS)

De önskvärda egenskaperna hos GTS leder till följande funktionskrav:

- Fordonen skall drivas och styras via hjulen på vanliga vägar
- Fordonen skall drivas med el på banan
- Drivning och bromsning på banan skall vara vädersäker

- Banan skall sakna rörliga delar
- Säker avståndshållning och växling på banan
- Kontroll av säkerhetsrelaterade funktioner före påfarter

I denna förstudie diskuterar vi några olika tekniker som uppfyller dessa krav.

Strategi för ett införande av GTS

Vi bedömer att ett GTS bör börja som lokalt bansystem med små fordon i en stadsdel, kanske som matningssystem till tåg eller tunnelbana. Sedan systemet bevisat sin attraktivitet byggs det ut successivt till att täcka en hel tätort eller medelstor stad. Sedan systemet införts i flera tätorter uppkommer behovet att knyta dem samman med höghastighetsförbindelser. För hög kapacitet och lågt luftmotstånd behöver man då koppla fordon till sammanhängande tåg. Tågbildning sker antingen stillastående vid terminaler eller - när styrtekniken utvecklats - i farten. Passagerarna kan sitta kvar. Slutligen vill man kunna köra samma fordon på väg.

En alternativ utvecklingslinje är att man redan från början erbjuder möjligheten till dual-mode (samma fordon på bana och på väg). Då blir även enskilda banor attraktiva om de leder förbi igenkorkade infarter till de stora städerna. Successivt kan sedan bandelarna knytas samman till nät. I dual-mode-system kan bannätet vara ganska glest eftersom man utnyttjar lokala vägar för till- och frånfart.

Effekter av GTS

Effekterna av ett generellt transportsystem (GTS) är i denna förstudie enbart beräknade på basis av empiriska studier av spårtaxi, dvs. en lokal, urban variant av ett mer generellt transportsystem. Detta beror helt enkelt på att dessa är de enda GTS-system för vilka det finns några erfarenheter.

Följande typer av effekter av spårtaxi behandlas i denna förstudie:

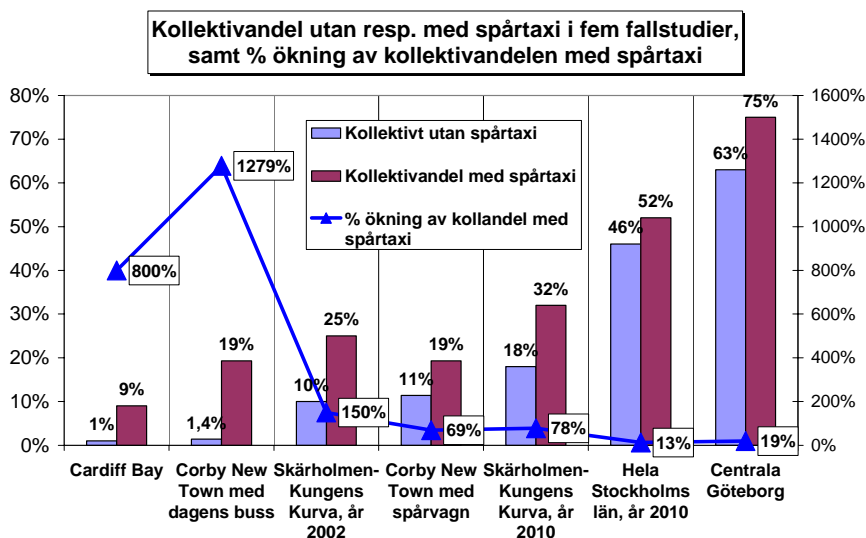
- Restidsbesparingar
- Kollektivtrafikandel (färdmedelsvalseffekter)
- Bilinnehav
- Samhällsekonomisk lönsamhet
- Trafiksäkerhet
- Miljö (luftkvalitet)
- Trygghet

- Jämlikhet
- Intrång.

Effekter på restider och färdmedelsval

Spårtaxi ger i regel ungefär halverad restid jämfört med traditionell kollektivtrafik och närmast samma restid som privatbilen i städer utan alltför mycket trängsel och köer. I områden där trängseln är betydande kan spårtaxi ge kortare restider än bilen. Orsaken till dessa positiva restidsegenskaper är att spårtaxi medför mycket korta väntetider (mellan 0 och 1 minut) samt att färdhastigheten inte påverkas av mellanliggande stationer eftersom dessa ligger vid sidospår (färden går alltså non-stop till målet).

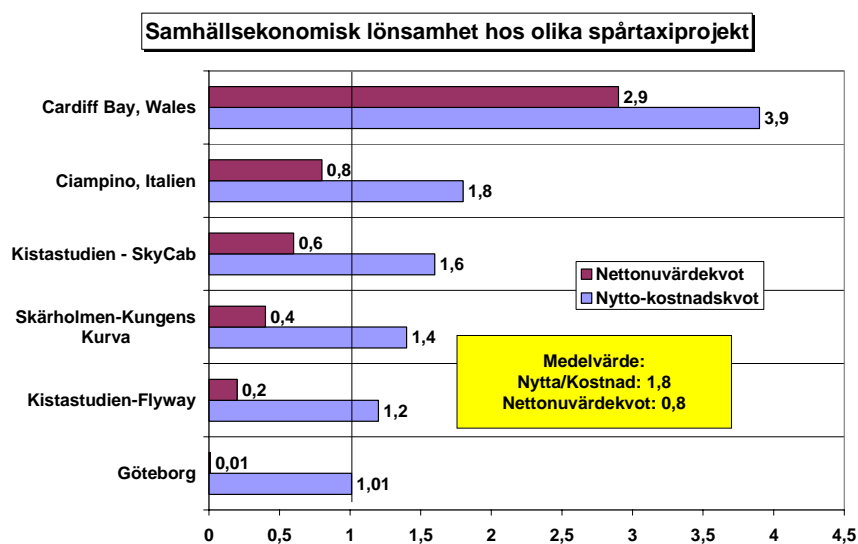
I städer och områden där andelen kollektivresor är mycket låg i utgångsläget (Cardiff, Bay, Corby New Town, Kungens Kurva m.fl.) medför ett införande av spårtaxi att kollektivandelen kan öka med flera hundra procent, från några enstaka (1 % -5 %) till ca 20 % -30 %. I Skärholmen-Kungens Kurva ökar kollektivandelen från 5 % -6 % till 25 % med spårtaxi.



I större städer, som Stockholm och Göteborg, där kollektivandelen är hög i utgångsläget, kan den öka med mellan 10 % och 20 %. I Stockholms län skulle den kunna öka från 46 % till 54 % år 2010. I Göteborg skulle ökningen i maxtimmen kunna bli från 63 % till 75 % eller med 12 procentenheter (19 %).

Effekter på samhällsekonomisk lönsamhet

Samtliga här studerade fallstudier av spårtaxiprojekt visar att de är samhälls-ekonomiskt lönsamma, ofta med en hög lönsamhet. En rimlig slutsats av detta är att det finns många samhällsekonomiskt lönsamma spårtaxiinvesteringar (lönsamheten hos spårtaxiprojekt måste bedömas från fall till fall, på motsvarande sätt som väg- och järnvägsinvesteringar). En sammanfattning av kalkylresultat ges i diagrammet nedan:



Nyttorna som uppkommer av spårtaxiinvesteringar är främst restidsvinster. Efter tidsvinster är den största nyttan minskning av biltrafikens externa effekter; utsläpp, olyckor och trängsel.

Två faktorer som har stor betydelse för lönsamheten, är kostnaden (som behandlas i kapitel 3) och hur resandet påverkas (vilket behandlas i kapitel 4.1).

Alla effekter fångas inte i de samhällsekonomiska kalkyler som gjorts, varför den ”verkliga” nyttan både kan över- och understiga kalkylresultatet. En sådan effekt är det som i vid bemärkelse kallas ”intrångseffekter”. Intrångseffekter är ett samlade begrepp för barriäreffekter, buller, visuellt intrång och markintrång. Andra effekter som inte beaktas är påverkan på förseningar och på transportsystemets sårbarhet. Effekten på arbetsmarknaden av ökad

tillgänglighet beaktas inte heller fullt ut. Intrångseffekterna av spårtaxi kan vara både positiva och negativa, medan de övriga effekterna är positiva. Då intrång torde vara den viktigaste utelämnade effekten och är den effekt där riktningen är osäker bör denna effekt prioriteras i en huvudstudie. Slutligen bör vi påminna om att den samhällsekonomiska kalkylen endast ser till den totala nyttan, inte till vem nyttan tillkommer (s.k. fördelningseffekter)

En ”tumregel” för att lönsamhet ska uppstå som har framkommit vid spårtaxiforskning vid Chalmers är att efterfrågan minst bör uppgå till en resenär per 2 meter enkelriktad spårtaxibana.

Efterfrågan på spårtaxiresor per kilometer bana växer med ökad banlängd. Det finns således stordriftsfördelar med spårtaxi på grund av dess nätverks-egenskaper.

Effekter på miljö, trafiksäkerhet, trygghet och jämställdhet

Spårtaxisystem har stora fördelar ur miljösynpunkt då alla spårtaxisystem drivs av el (och därmed inte leder till lokala utsläppseffekter) samt då spårtaxi bullrar markant mindre än andra motordrivna och spårburna färdmedel.

Spårtaxi har en inbyggd ”nollvision” vad gäller trafikolyckor, mycket på grund av att den separata banan eliminerar konflikter med övriga trafikslag. Att olycksrisken är närmast noll med spårtaxi visas av det spårtaxiliknande system som finns i drift i Morgantown i West Virginia, USA. Där har man inte haft en enda dödsolycka eller en enda svårt skadad under de 30 år som Morgantown PRT-systemet har existerat, samtidigt som 58 miljoner passagerare rest med systemet.

Spårtaxi bidrar till att göra transportsystemet mer jämställt och öka tillgängligheten för barn, ungdomar, kvinnor, pensionärer och rörelsehindrade. Dessa grupper är idag i hög grad hänvisade till kollektivtrafiken, eftersom de i mindre utsträckning än (medelålders) män har tillgång till personbil och körkort. Alla får också sittplats i spårtaxi. Rörelsehindrade kan färdas med rullstol direkt in i vagnen.

Spårtaxi ökar också tryggheten i resan. Kvinnor upplever oftare otrygghet i kollektivtrafiken än män. Äldre människor uppvisar större upplevelser av

otrygghet än yngre. Både svensk och internationell forskning pekar på att automatiska bansystem upplevs som säkrare än traditionell kollektivtrafik, då resenärernas upplevelser av säkerhet är relaterade till människor och inte till teknik. Med spårtaxi reser man individuellt i självvalda sällskap, med kortare vänte- och uppehållstider vid mindre stationer. Med spårtaxi och andra automatbanesystem med små vagnar reser man ofta ensam i vagnen och där har oron för andra resenärer visat sig minska.

Sammanfattningsvis är spårtaxi ett miljövänligt och trafiksäkert trafiksystem som kommer att befrämja jämställdheten mellan könen i transportsystemet samt öka jämlikheten mellan resenärer i olika åldersgrupper och med olika grad av rörelseförmåga.

GTS kan bli ett kostnadseffektivt nytt trafiksystem

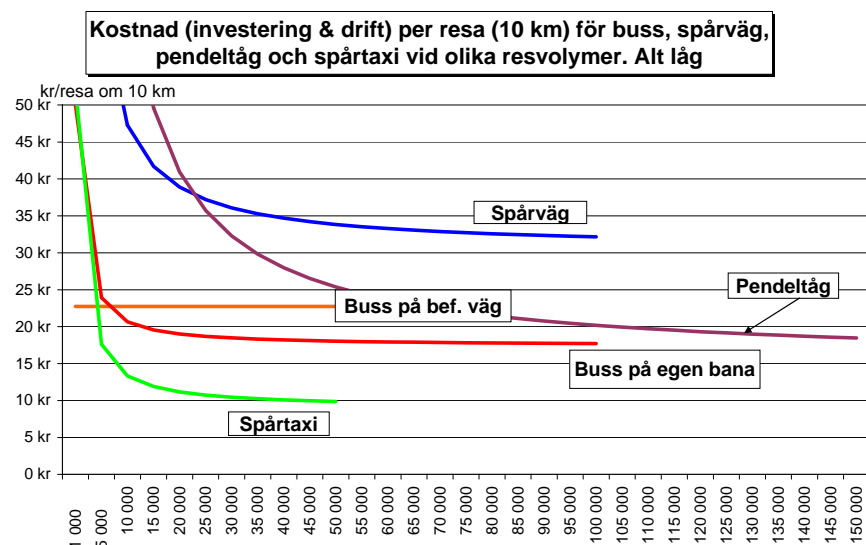
I kapitel 3 presenteras en jämförande kostnadsmodell där kapital- och driftkostnader per resa (om 10 km) jämförs för buss, spårväg, tunnelbana, pendeltåg och spårtaxi. Uppgifterna för de fyra traditionella trafikslagen är baserade på Stockholmsdata, medan uppgifterna om spårtaxi baseras på tre olika system. Ett intervall ges för spårtaxikostnaderna i form av ett lågt och ett högt kostnadsalternativ. Att ett intervall redovisas beror på att dessa kostnader är mera osäkra, så länge det inte har byggts något "äkta" sådant system. Ett första spårtaxisystem planeras att byggas på London Heathrow flygplats, vilket förhoppningsvis kommer att reducera osäkerheten om kostnaderna.

Kostnadsmodellen visar bland annat att:

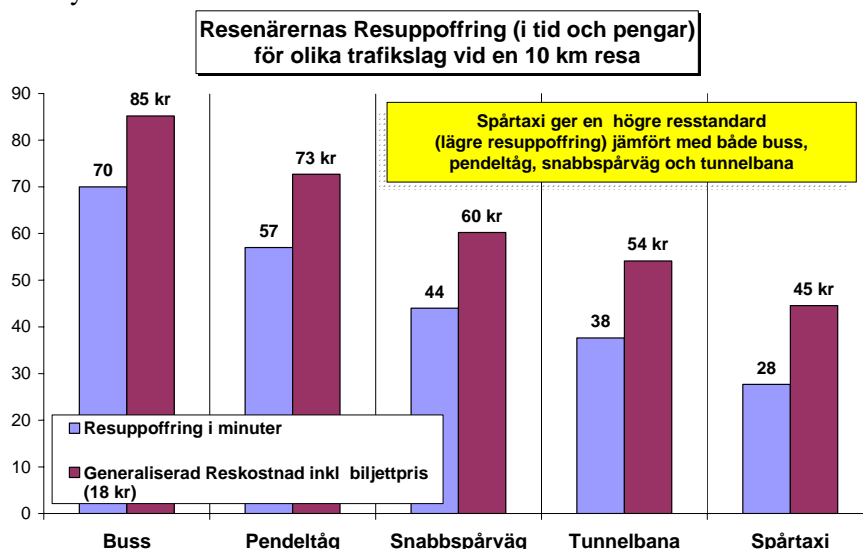
- Spårtaxi är det billigaste färdmedlet för urban kollektivtrafik när det finns ett stort passagerarunderlag
- Busstrafik är det närmast billigaste färdmedlet men har jämförelsevis begränsad kapacitet
- Snabbspårväg är ett billigare färdmedel än tyngre tågtrafik som t ex pendeltåg och tunnelbana men bara upp till passagerarkapaciteter på ca 25 000 passagerare per dag (två riktningar)
- Den totala investeringskostnaden samt driftskostnaden per passagerarkilometer utgör mindre än en tredjedel av motsvarande kostnader för ett spårvägsystem/spårtaxi och blir också billigare än busstrafik
- Resuppofteringen för en typisk stadsresa med spårtaxi blir en tredjedel av motsvarande restid med buss och bara två tredjedelar av mot-

svarande restid med snabbspårväg. Den stora skillnaden ligger i spårtaxis betydligt kortare väntetid.

- Spårtaxikostnaderna kan närmare fördubblas, och ändå bli lägre än motsvarande kostnader för spårväg.



Även **användarkostnaden**, d.v.s. resenärernas restidsuppföring är betydligt mer gynnsam för spårtaxi jämfört med alla övriga traditionella kollektiva trafiksystem:



Spårtaxi visar sig ha ca 25 % lägre resuppföring än spårväg, ca 47 % lägre uppföring än buss och ca 17 % lägre än tunnelbana. **Spårtaxi uppvisar gynnsammare restidsegenskaper än traditionell kollektivtrafik framför-**

allt genom dess kortare väntetider och högre medelhastighet utan mellanliggande hållplatsstopp.

Spårtaxi kontra ett mer generellt transportsystem

Samtliga ovan sammanfattande slutsatser gäller för spårtaxi. I vilken utsträckning som dessa slutsatser även kommer att gälla ett mer generellt transportsystem har inte kunnat besvaras inom ramen för denna förstudie. Detta bör bli föremål för en mer inrängande analys i en huvudstudie, där ett generellt transportsystem exempelvis kan skisseras för hela Mälardalen och därefter analyseras vad avser:

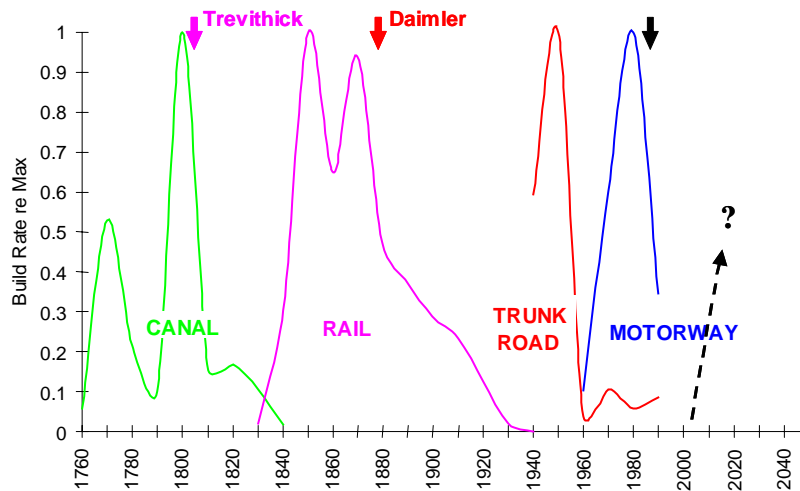
- Trafiknätets utformning
- Resefterfrågan
- Effekter på restider och färdmedelsval
- Effekter på intäkter, kostnader och samhällsekonomisk lönsamhet
- Effekter på trafiksäkerhet, miljö och regional utveckling
- Konkurrens och samverkan med befintliga system
- Visuellt intrång, markvärden m.m.

1 ETT GENERELLT TRANSPORT-SYSTEM

1.1 Är tiden inne för ett helt nytt transport-system?

Genom tiderna har människan uppfunnit nya transportsätt som svarat mot var tids behov och tekniska möjligheter. Professor Martin Lowson har illustrerat de olika transportsystemens upptäckt och utbyggnadscyklar enligt Figur 1 nedan:

Figur 1. Uppfinningar och infrastrukturutbyggnad för olika transportslag (Lowson)



Intressant är att varje nytt transportslag har krävt en ny infrastruktur. Medan man fortfarande investerade som mest i nya kanaler uppfanns ångmaskinen som var förutsättningen för järnvägsutbyggnaden. 50 år senare kulminerade järnvägsutbyggnaden. På 1870-talet uppfanns explosionsmotorn som ledde till att vägutbyggnaden kulminerade på 1940-talet. Utbyggnaden av vägar och motorvägar har redan kulminerat. Frågan är vad som kommer att bli nästa stora transportsystem. Eftersom det har tagit minst 50 år från uppfinring till storskalig utbyggnad har nästa transportsystem troligen redan uppfunnits.

Vilka behov bör då nästa transportsystem uppfylla för att bli framgångsrikt?

Vi tror att följande krav blir vägledande:

- erbjuda lokala, regionala och interregionala resor från dörr till dörr
- ständigt tillgängligt utan väntetider och byten
- konkurrenskraftiga restider på alla avstånd
- hög säkerhet vilket innebär automatisk drift avskild från annan trafik
- miljövänligt utan avgaser
- energisnålhet
- rimliga kostnader (totalkostnad per personkm)
- global standard för skalekonomi
- kunna köras manuellt på vanliga vägar

1.2 Några befintliga utvecklingar

Förlösa persontransporter på egen bana föreslogs redan på 60-talet och togs i drift för första gången 1975 i Morgantown USA. Vagnarna har plats för 8 sittande och körs i 48 km/tim med 15 sekunders mellanrum. De har hittills transporterat 58 miljoner resenärer utan olyckor. Vagnarna är onödigt stora för individuella transporter och banan av betong är klumpig men 30 års drift med 98,5 % tillgänglighet med 70-tals teknik är imponerande.

Figur 2. Morgantown - Group Rapid Transit



ATS Ltd som är en avknoppning från Bristol University har utvecklat ULTra som står för Urban Light Transport. Vagnarna tar 4 personer och kan köras med 3 sekunders mellanrum. Drivningen är från batterier med elmotor (förbrukning 2 kW) och gummihjul. Vagnarna styr med framhjulen med hjälp av navigering och avståndsmätning mot kanterna. British Airport Authorities har nyligen beställt ett ULTra-system för transporter mellan parkeringsplatser och en terminal på Heathrow. Intressant i det här sammanhanget är att ULTra-vagnar även skulle kunna utrustas för att köras manuellt på väg.

Figur 3. ULTra PRT



Tyska Cabintaxi utvecklades av Demag-MBB och består av vagnar som hänger under en balk och vagnar som samtidigt går ovanpå samma balk. Vagnarna fanns i flera storlekar för 3-25 passagerare. Drivning och reglering skedde inuti balken med linjärmotorer. Minsta tidsavstånd mellan vagnar var under en sekund. En fullskalig bana var i drift under många år i ett sjukhusområde. Programmet stoppades 1979 av budgetskäl och av stelbent byråkrati i tyska järnvägsinspektionen. En bidragande orsak var också att projektet då tagits över av en mindre engagerad huvudman (Mannesman) som stegvis övertog Demag.

Figur 4. Cabintaxi



Danska RUF är ett rent DualMode-system, dvs. vagnarna kan köras både på bana och på väg. Körbana prototyper och provbana finns utanför Köpenhamn. Intressant för oss är att systemet förutser tåg bildning för att öka kapaciteten och sänka luftmotståndet. Banan är mycket smäcker men växlar-
na är klumpigare.

Figur 5. RUF Dual Mode

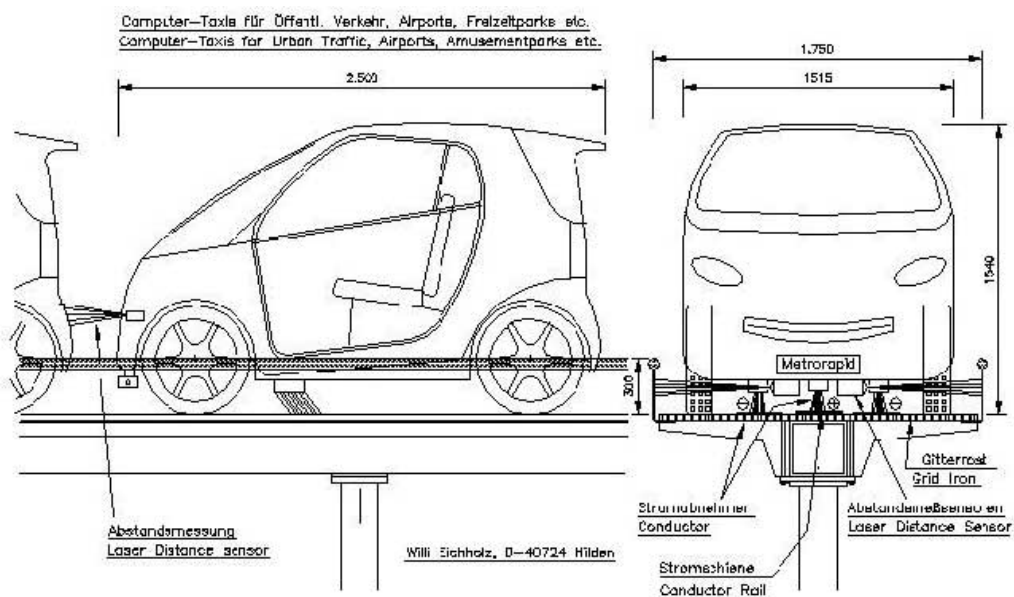


Figur 6. RUF

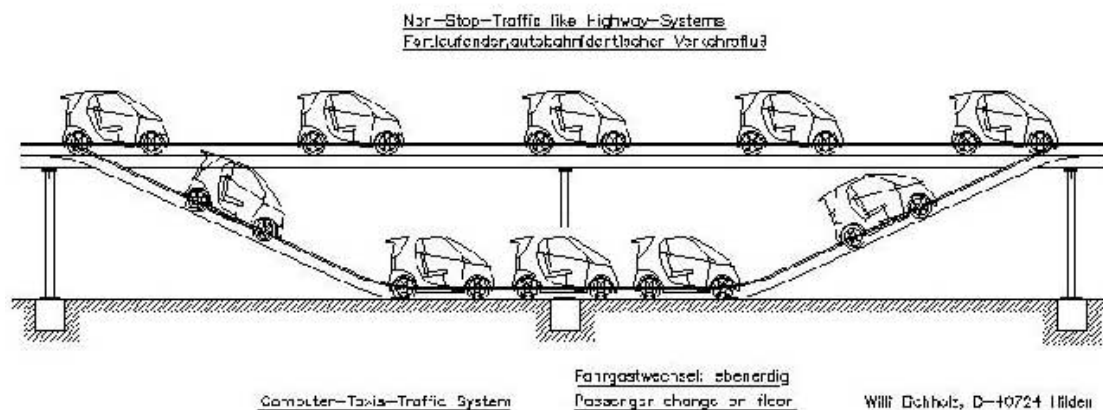


En anställd vid tyska Siemens har sökt patent på ett koncept kallat Computer-Taxi-Bahn bestående av Smart-bilar utrustade med elmotor, strömvtagare och lasers för avståndshållning och styrning mot banans kanter.

Figur 7. Computer-Taxi – teknisk design



Figur 8. Computer-Taxi Station och av- och påkörning i markplan



Idag finns över 120 förarlösa system i drift på egna banor. Många automatbanor finns på flygplatsområden, andra i temaparker och några som förarlösa tunnelbanetåg. De löser olika trafikuppgifter, är olika i skala och trafikeringsprincip. De är lokala och sinsemellan inkompatibla.

Vi tror att nästa transportsystem skall sökas inom denna ännu spretiga familj. Men ett nytt framgångsrikt transportslag behöver göras mer generellt och klara många typer av trafikuppgifter i förening.

1.3 Krav på ett generellt transportsystem (GTS)

Kravet att fordonen ska kunna framföras på vanliga vägar blir starkt styrande för utformningen av fordon och bana. Det måste finnas hjul som kan rulla mot ett plan. Det gör att en separat bana behöver ha hjulspår eller också kan fordonen hänga under en balk så att hjulen inte används på banan.

Kravet på individuell resa utan väntetider leder till små fordon (3-6 passagerare). Det passar bra i lokal trafik men ger för låg bankapacitet på långa avstånd där hög hastighet krävs. Tågbildning ökar kapaciteten samtidigt som luftmotståndet minskar. Organisation av tågbildning och tågupplösning blir en nyckelfråga. Terminaler för tågbildning måste införas och trafikerings-

strategierna utformas så att långa väntetider undviks samtidigt som tågen behöver ha tillräcklig längd för att uppnå den nödvändiga bankapaciteten.

Drivning och bromsning på banan måste säkras även i skandinaviskt vinterklimat. Linjärmotordrift och/eller drivning inuti en balk (hängande fordon) är möjliga lösningar.

För att fordon skall kunna köra med korta avstånd måste vägval ske från fordonen och inte genom rörliga delar i banan. Samtidigt slipper man problemen med underhåll av banväxlar.

Det finns flera miljövänliga drivkällor baserade på bränsle som kan användas på väg men på banan är eldrift (rotations- eller linjärmotorer) lämpligast med hänsyn till energiförsörjningen. Eldrift med batteri är också möjlig på väg med tanke på att vägsträckorna blir korta (till och från bana).

Fordonen kan vara privatägda som parkeras som dagens bilar eller kollektivt ägda som hyrs vid stationer och som eventuellt även kan tas hem.

Det bör finnas flera konkurrerande tillverkare och olika utföranden på fordonen. Storleken kan variera liksom interiör och utrustningsnivå. Viktigt är att fordonen är standardiserade med avseende på gränssnittet mot banan och eventuellt ombordsystem för styrning och avståndsreglering.

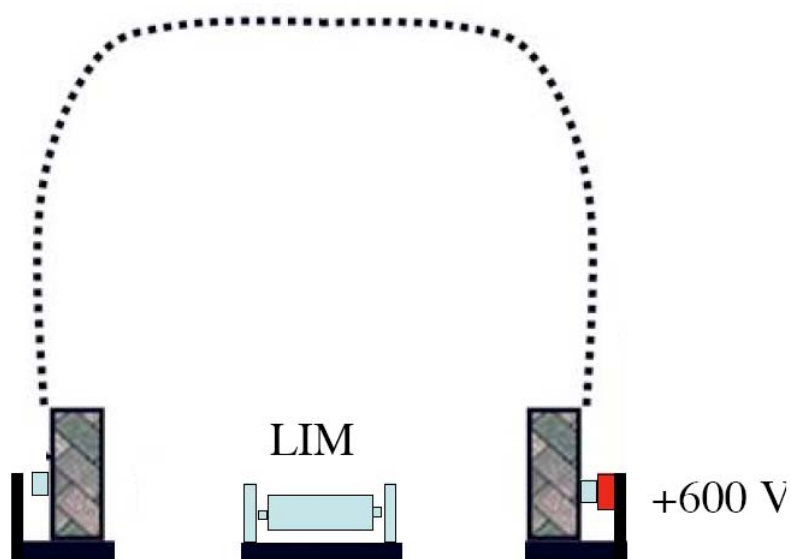
Sammanfattningsvis kan vi formulera följande funktionskrav som är oberoende av teknikval:

- Fordonen skall drivas och styras via hjulen på vanliga vägar
- Fordonen skall drivas med el på banan
- Drivning och bromsning på banan skall vara vädersäker
- Banan skall sakna rörliga delar
- Säker avståndshållning och växling på banan
- Kontroll av säkerhetsrelaterade funktioner före påfarter

1.4 Några möjliga tekniker

Om vi utgår från att fordonen ska kunna köras på väg har vi alltså hjul undertill. Vi kan (liksom ULTra) använda samma hjul även på bana. Vi kräver dock vädersäker framdrivning som vi kan få med linjärmotorer. Motorerna kan placeras i banan med täta mellanrum eller (billigare) på fordonen med reaktionsplatta i banan. Linjärmotorn är upplyft vid körning på väg och sänks ner vid drift på banan.

Figur 9. GTS-fordon på bana med hjulspår, strömvtagare och nedsänkbar linjärmotor i vagn



Eltillförsel kan ske via strömskena och släpkontakter eller via induktiv överföring (finns dag kommersiellt för effekter upp till 150 kW).

Styrningen kan ske genom att följa antenn i banan eller med avståndsmätning mot kantbarriärer vilka samtidigt tjänar som avkörningsskydd och bullerdämpare. Se kapitel 2 för illustrationer. Med styrning på båda axlarna spårar fordonen så att banan kan göras lika smal som hjulen. Det är fördelaktigt om den fordonsdel som ligger innesluten utförs smalare på mitten. Då kan man bygga banor med små kurvradier.

En kritisk aspekt av dualmode-system är accesskontroll. Man måste vara säker på att fordon på banan har väl fungerande avståndshållning och bromsning. Kontroll vid påfart kan ta alltför lång tid varför fordonen bör ha datoriserad självttest som verifieras vid påfart.

En helt annan lösning är att använda speciella bilar med en standardiserad fästanordning på (det förstärkta) taket. Bilarna lyfts upp mot en balk med lyftdon och drivnanordningar i balken. Fordonen kan utformas för lägre luftmotstånd och med kopplingsanordningar för tåg bildning. Balken blir smäckrare och hänger högre upp än motsvarande bana för hjuldrift på ovansidan. I detta fall behövs ingen accesskontroll av fordonen eftersom drivning och reglering sker i balken. Fordon kan också utformas för godstransporter.

Figur 10. GTS-fordon hängande under balk med drivning i balken



1.5 Tågbildning och terminaler

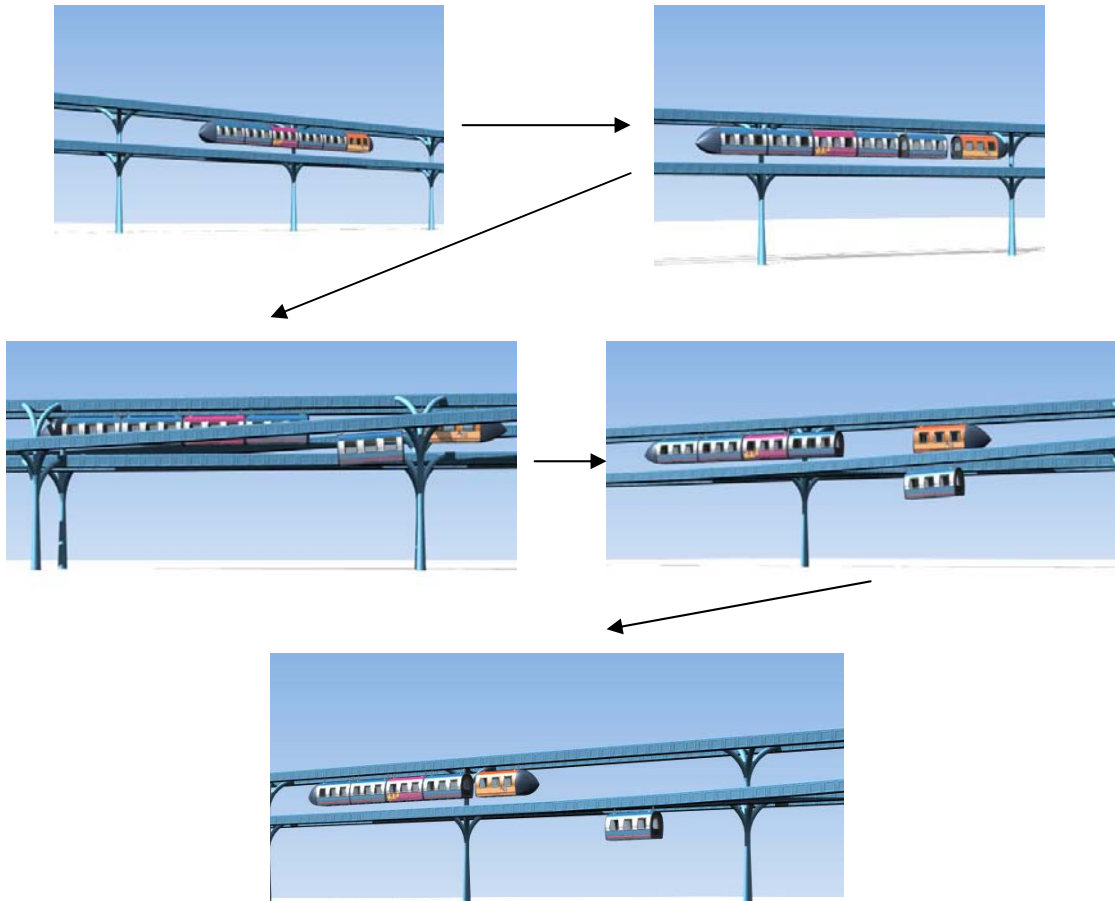
På långa avstånd krävs högre hastighet för konkurrenskraft. Om fordonen skulle hålla säkerhetsavstånd sinsemellan skulle bankapaciteten bli alltför låg. Med sammankoppling av fordon till tåg blir kapaciteten hög och luftmotståndet minskar samtidigt vilket är väsentligt vid höga hastigheter.

Vår målsättning är att resenären inte ska behöva byta fordon utan samma fordon som används i lokal trafik kopplas samman till tåg med hög hastighet. Det ökar kraven på fordonen vad avser prestanda för drivning, bromsning och reglering. Vidare tillkommer kopplingsanordningar.

Om det är hängande fordon bestäms prestanda av drivanordningar i balken så att de tillkommande kraven på fordonen bara blir kopplingsanordningar och utformning för lågt luftmotstånd.

Tågbildning och tågupplösning antas ske vid terminaler vid städernas utfarter. Terminalernas placering, utformning och driftstrategier blir kritiska frågor. Hypotetiskt skulle tågbildning och tågupplösning även kunna ske i farten, så som de danska IC3 och IC-4 tågen redan kan göra.

Figur 11. Dynamisk tågupplösning



Vid varje terminal samlar man fordon som skall vidare i samma riktning. Om flera terminaler passeras på vägen får man räkna med att sakta in för påkoppling och avkoppling av fordon. Allt för att tågen skall bli så långa som möjligt (kapacitet och luftmotstånd). En terminal utefter en interregional linje har ett sidospår dit vagnar kan kopplas av i bakre änden och varifrån nya vagnar kopplas på från främre delen av sidospåret. Sidospåret är sedan anslutet till det lokala nätet för vidare färd med individuella fordon.

Tåglängden blir en avvägning mellan väntetid och kapacitet. I högtrafik vill man göra tågen längre men då är ju också tillströmningen större så att väntetiderna kan hållas nere. En strategi är att garantera en maximal väntetid vid terminal (sittande i sitt fordon) och sedan släppa iväg tåget oavsett längd.

1.6 Processen mot en öppen standard för GTS

Dagens system i olika branscher har utvecklats inom företag som försöker behålla och skydda konstruktionslösningar och principer från konkurrens. I den mån som standards har tillkommit har det ofta varit de facto standards på grund av att något koncept vunnit på marknaden. För att ett generellt transportsystem skall bli framgångsrikt krävs att samma system kan användas över hela landet och helst i andra europeiska länder. För att säkra leveranskapacitet, variation och prispress är det önskvärt att flera leverantörer kan konkurrera inom samma koncept. Detta förutsätter en definierad standard som är öppen för flera, troligen på licensbasis. Standarden skall definiera interface mellan fordon och bansystem liksom eventuella styrsystem i fordon och utrustning för självtest av fordon.

Det är inte avgörande vem som äger patenten så länge öppenheten kan garanteras och licensavgifterna är skäligen. Företag som investerar i utvecklingen kan få ersättning genom royaltyn.

För att ett så här omfattande transportsystem skall komma till stånd måste samhället ta initiativet och formulera funktionskraven. Få om ens något företag skulle våga sig på en sådan investering utan överenskommelse med avnämare. Istället kan man tänka sig någon form av teknikupphandling.

Marknadens aktörer kan sedan föreslå lösningar utifrån funktionskraven. Samhället genom utsedda företrädare värderar alternativen och väljer lösning, eventuellt efter omarbetningar i samråd med utvecklarna.

Samhället kan förvärva rättigheterna eller låta utvecklaren licensiera ut dem till alla som önskar delta med leveranser. Om detta är ett svenskt initiativ bör lösningen erbjudas andra länder, i första hand inom Europa. Hela specifikations- och utvecklingsprocessen kan också vara ett EU-finansierat projekt.

Det önskade målet är internationell konkurrens inom en gemensam öppen standard. Standarden bör bara omfatta nödvändiga aspekter av transportsystemet såsom interface mellan fordon och bana (profil, placering av hjul, dörrar, strömvtagare, drivning, bromsning, avståndshållning och kommunikation med banan). I övrigt skall olika utformningar vara möjliga för

kabin, inredning, utrustningsnivå mm. Olika utföranden anpassas för privatfordon, hyrbilar, taxi/buss, godstransport, specialfordon etc. Drivning och styrning på väg kan vara manuell.

1.7 Strategi för stegvis införande

Byggandet av banor måste ske i steg. Man kommer säkerligen att vilja prova i ett mindre område innan man beslutar om större utbyggnad.

Attraktiviteten i nätverkssystem växer med antalet relationer som kan betjänas d.v.s. ungefär kvadratisk med antalet stationer. Det svåraste är att få rimlig beläggning och ekonomi i de första mindre systemen. Ur den aspekten vill man börja med att knyta samman tunga resmål inom korta avstånd. Å andra sidan är det svårast att få acceptans för ingrepp i centrala stadsdelar där de tunga resmålen ofta ligger. Den bästa integrationen kan man uppnå i nya områden där man planerar bana och stationer samtidigt med bebyggelsen. Det finns inte många sådana områden i Sverige.

Den rimliga gissningen är att systemet först introduceras lokalt i en stadsdel. Det blir då ett spårtaxiliknande system med små anropsstyrda fordon som är bundna till bana. Systemet matar mot en knutpunkt för tyngre kollektiv trafik (tåg eller T-bana). På så sätt bidrar systemet redan i detta skede till ökat kollektivresande. Hastigheten är moderat (cirka 40 km/tim) men ändå konkurrenskraftig eftersom det inte blir några stopp på vägen. Det är viktigt att tekniken är vald så att fortsatt utveckling mot höghastighetssträckor, tåg bildning och dual-mode blir möjliga.

En egenskap för slingbaserade spårtaxisystem är att de kan byggas ut successivt genom anslutning av nya slingor. Successivt förväntas systemet expanderas till tätortstäckande i medelstora städer. I Stockholm behövs fortfarande T-banan som har högre kapacitet medan all trafik med spårvagnar och bussar successivt kan ersättas av det nya GTS-systemet. Genom den högre resstandard som erbjuds (normalt halverade restider jämfört med dagens kollektivtrafik) kommer allt flera lokala bilresor att ersättas av GTS-resor.

När GTS införts i flera städer uppkommer behovet att knyta samman de lokala systemen. Det är nu fördelarna med standardisering blir uppenbara.

På längre sträckor kommer man inte att nöja sig med den hastighet som var lämplig i lokala system. Till att börja med kan man fortsätta att köra individuella fordon i högre hastighet men snart räcker inte kapaciteten med de längre säkerhetsavstånden som krävs vid höga hastigheter. Vid höga hastigheter blir luftmotståndet besvärande och man bör därför redan i de inledande lokala systemen utforma fordonen för lågt luftmotstånd.

Nu uppkommer behovet av terminaler för tåg bildning i städernas utkanter. Det behövs en terminal i varje utfartsriktning. Terminalen behöver inte vara stor. På en dubbel bana behövs ett sidospår på varje sida för att samla ihop fordon. Resenärerna sitter kvar i sina fordon medan tågen formeras. Kopplingen mellan fordonen skall vara sådan att det inte blir luftmotstånd mellan fordon.

Slutligen vill man kunna köra fordonen manuellt på väg. Först då kan man erbjuda sammanhängande resa från dörr till dörr. Alla fordon behöver inte ha denna möjlighet och de första systemen kan vara helt bundna till bana. Marknaden för dualmode-fordon blir attraktiv när GTS-systemet är populärt.

Steget till dualmode kan komma tidigare i samband med lokala system men det kräver mera av fordonsutvecklingen. Om man från början utformar fordonen även för manuell drift (jämför med RUF-systemet) blir de attraktiva redan i samband med lokala GTS-system. En stor fördel med dualmode är att bansystemet inte behöver vara utbyggt för att fordonen skall bli attraktiva. Redan om några igenkorkade infartsleder får en parallell GTS-bana (t ex ovanför motorvägens mittsträng) uppstår en efterfrågan på dualmode-fordonen. På infartslederna är det relativt lätt att bygga bana medan det är mycket svårare inom städer.

I visionen ligger att flera av våra grannländer skall se fördelarna med GTS så att systemet kan erbjuda obruten resa inom Europa. Utsikterna för detta ökar om vi från början kan involvera EU-kommissionen i funktionskrav, standards och tester. Detta skulle också underlätta finansieringen.

1.8 Banoperatörens roll

Banan för GTS kan ägas, finansieras och drivas av privat eller offentlig banoperatör motsvarande Banverket för järnväg.

Operatörens intäkter är avgifter baserade på körda kilometer. Med en offentlig operatör skulle skattefinansiering vara möjlig motsvarande dagens fordonsskatt för bilar. Eftersom man här har kontroll på körd sträcka (registrering vid på- och avfarter) och man dessutom förbrukar el är det mera naturligt att ta ut en rörlig avgift.

Operatörens ansvar beror till en del på vilken teknisk lösning som väljs:

Om fordonen körs med egen drivning och avståndsreglering blir accesskontrollen mycket viktig för säkerheten på banan. Å andra sidan kan fordonsägaren göras ansvarig för eventuella skador han orsakar.

Om fordonen lyfts och drivs från balken blir accesskontrollen mindre kritisk (endast upphängningen som kan kontrolleras genom årlig besiktning). Operatören ansvarar då för drivning, avståndshållning och säkerhet på banan. Drivenheterna i balken kan vara enhetliga och kontrolleras automatiskt och regelbundet vilket bör borga för högre säkerhet.

Banoperatören kan också äga de kollektiva fordonen och även hyra ut fordon, se nästa avsnitt.

1.9 Flottägare

Fordon kan ägas av privatpersoner, vanliga företag eller flottägare. I ett dual-mode-system blir det attraktivt att investera i sitt eget fordon som man tar hem på natten. Resenärer kan också hyra fordon från flottägare för enstaka resor eller för längre tid. GTS erbjuder också rena kollektivresor med fordon som resenären tar vid en station och lämnar vid en annan station. Man kan också få lägre avgift genom att tillåta systemet att matcha ihop sig med andra resenärer.

Flottägarens fordon parkeras i anslutning till stationerna på sidospår eller avkopplade från banan.

Godstransporter utförs i speciella fordon med lastutrymme för lastpallar. I godsterminaler lastas och lossas godset automatiskt och lagras för avhämtning. Fordonen kan köras in i industrier eller affärer direkt – eftersom de är eldrivna.

Fordon med egen drivning och avståndshållning är mera anpassade för bandrift och väntas i större utsträckning ägas av flottägare. Fordon med lyftanordning väntas i större utsträckning ägas privat då endast lyftanordningen är anpassad för bandriften.

1.10 Risker och hinder för genomförande

Många förslag till förarlösa system har kommit fram genom åren, varav de flesta inte ännu har kommit till genomförande. Man måste fråga sig varför, och sedan vilka hinder som kan väntas för genomförandet av GTS.

Beslutsfattare i städer och landsting är politiker som vanligen önskar undvika risker. Man vill se ett system i drift och med positiva erfarenheter innan man beställer. Man kan inte begära att lokala politiker ensam ska ta beslut om utveckling och lokalt införande av GTS. Det krävs ett statligt eller europeiskt engagemang exempelvis genom upphandlad teknikutveckling. Fördelarna med GTS blir ju nationella i form av bland annat bättre trafikmiljö, mobilitet, säkerhet, sysselsättning och export.

För industrin är utveckling av GTS en stor investering som man inte är beredd att göra utan beställning från åtminstone någon blivande kund. Här har vi alltså en typisk hönan och ägget-situation. Även de blivande leverantörerna kräver en statlig upphandling för att våga satsa.

Många innovationer har stoppats på grund av produktansvarslagar och oklar ansvarsfördelning. Exempelvis avstår biltillverkare från att introducera förarstödsystem som skulle kunna göra tillverkaren ansvarig för eventuella olyckor. Enskilda bilägare kan försäkra sig mot skadeståndskrav men för bil-

tillverkarna skulle det bli alltför dyrt. På så sätt hindras utvecklingen mot säkrare trafik av oklarhet om vem som blir ansvarig om olyckor ändå inträffar.

Ansvarsfrågan vid GTS-trafik måste alltså klargöras. Valet av teknik påverkar ansvarsfördelningen. Vi har konstaterat att bilägare kan göras ansvariga för fel i drivning och avståndshållning på eget fordon. Det är en ansvarsmässigt framkomligare lösning men mindre säker än om banoperatören tar ansvaret. För att banoperatören ska kunna ta det ansvaret måste han ha full kontroll över drivning och avståndshållning, d.v.s. den bör ske från banan.

Ett sätt att göra detta vore att belöna banoperatören för det minskande antal olyckor som sker genom att han tar över transportarbetet, men samtidigt bestraffa honom med den samhällsekonomiska kostnaden för de olyckor systemet trots allt alstrar.

Ytterligare en risk för genomförandet är acceptansen. Man kan vänta sig opposition från stadsplanerare, media och allmänhet mot det visuella intrånget som varje bana orsakar. Erfarenheten är dock att visuellt intrång fördras lättare om systemet uppfattas som nyttigt.

En annan dimension av acceptans är i vilken utsträckning resenärer väljer att använda GTS. Här tror vi att man är rationell och ser främst till tidsvinster och kostnader men även till komfort, miljöpåverkan och säkerhet. Staten har goda möjligheter att påverka acceptansen genom incentiv. Så har t ex miljöfordonen snabbt blivit populära tack vare gratis parkering, låg förmånsbeskattning och undantag från trängselavgifter. I Norge har elbilar fått snabbt genomslag genom att de får utnyttja kollektivkörfält. Användaracceptansen tror vi inte blir något problem.

1.11 Möjligheter för svensk industri

Sverige har tre internationellt framgångsrika fordonsindustrier och kompetenta forskare och trafikplanerare både inom biltrafik och kollektiv trafik. Vi har ett gott internationellt renommé för trafiksäkerhetsarbete.

Ett stort koreanskt industriföretag Posco har nyligen valt att förlägga sin utveckling och test av spårtalesystem till Sverige. Styrsystemet som är den mest säkerhetskritiska delen utvecklas av ett svenskt företag. Säkerhetscertifieringen gentemot svenska Järnvägsstyrelsen sker i samarbete med ett annat svenskt företag.

Svensk industri har alltså goda förutsättningar för att utveckla GTS. För att svensk industri skall våga satsa på ett så här omfattande utvecklingsprojekt krävs dock någon form av statlig upphandling, stöd eller garantier.

Genom att GTS i denna form är ett svenskt initiativ får vi naturligt en ledande roll om vi bara vågar ta den.

I kapitel 2 nedan redovisas designtankar för ett GTS-system samt illustreras hur ett GTS system kan gestaltas.

2 DESIGNTANKAR OCH ILLUSTRATIONER

Detta avsnitt handlar först om olika viktiga parameterintervall som avgör systemets utvecklingsbarhet. Man kan säga att man försöker att ”måla in sig i så få hörn som möjligt” med systemet. Ett näraliggande exempel är datorbussen i våra datorer. Den tillåter att en mängd olika kort används, som man inte ens tänkt på från början.

I andra avsnittet kommer den fysiska utformningen av bana och fordon att diskuteras. Utformningen påverkar t ex totalkostnaden, installationsmöjligheterna, skönheten och åklusten.

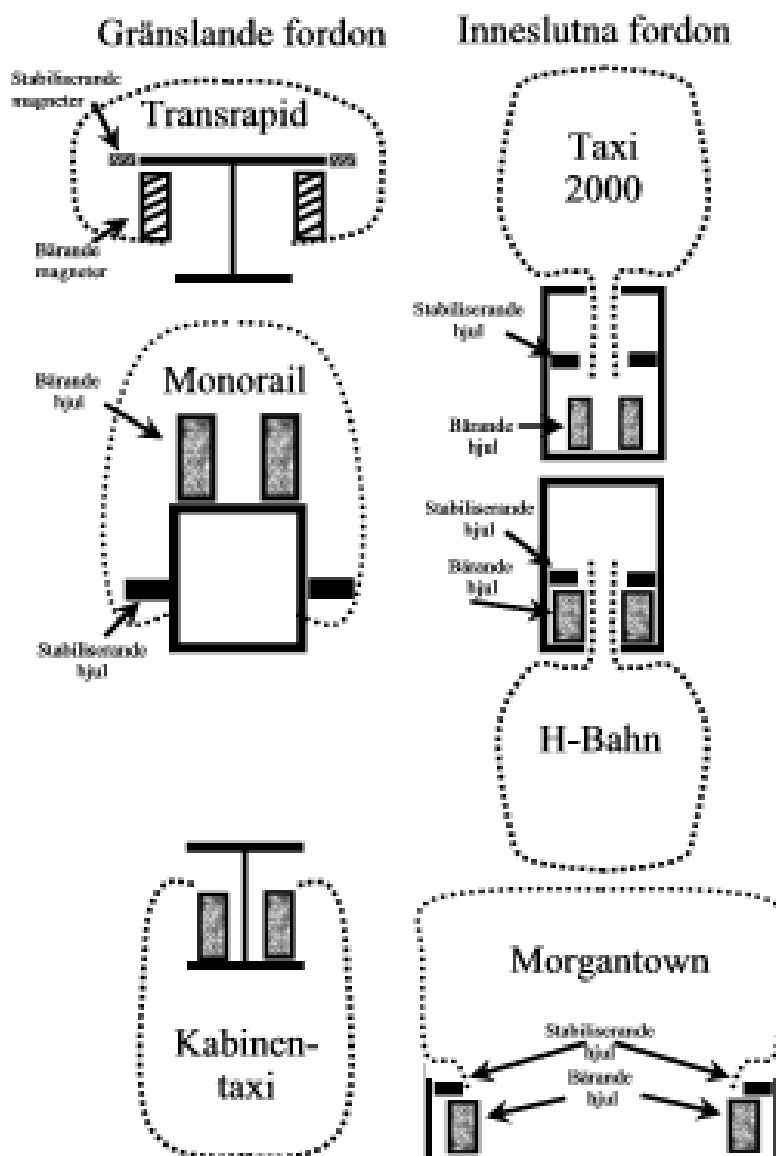
I det tredje avsnittet kommer illustrationer att tas fram. Här kommer att göras ett försök att sammanställa flera av de tankar som framkommit under studien.

2.1 Parameterintervall

Ban- och fordonsgeometri

Det finns många olika sätt att bygga en bana på, se olika exempel nedan.

Figur 12. Några olika geometrier – grovt förenklat



När man bestämmer hur fordonen skall bäras och stabiliseras av banan **fattar** man samtidigt, ibland kanske omedvetet, ett beslut som påverkar ett antal andra frågor samtidigt t ex:

- Hur ska fordonen bäras
- Hur ska man växla?
- Hur ska fordonet drivas?

- Hur klara centrifugalkraften i kurvorna?
- Hur klara klimatet?
- Hur är passagerarsäkerheten - utrymning?
- Hur är säkerheten för allmänheten – överkörning?

Genom historien har många olika banfordonsgeometrier uppkommit varav ingen kan sägas vara ideal i alla avseenden. För varje geometri kan naturligtvis olika material och byggnadssätt väljas. Banan kan t ex byggas av betong eller stål och i det senare fallet också som ett lättare fackverk eller med vanlig slät plåt.

Fordonet kan t ex bäras av hjul, av luftkuddar eller av magnetiska krafter. **Stålhjul** kan klara mycket höga hastigheter (500 km/h). Stålräls och stålhjul har bl. a föreslagits av Cimmaron systems för högfart-systemet ITS (<http://personalpages.tds.net/~cimarron/>).

Gummihjul sviktar mer än stålhjul. Svikten innebär att fordonets precision i banan påverkas vilket kan vara ett hinder t ex vid linjärmotorer som kräver små och precisa luftgap. Samma exakthetskrav gäller för vissa strömavtagare. För att motverka det används ofta massiva gummihjul. Tyvärr värms då gummit upp i höga hastigheter. Dessutom slits alltid gummi vilket ger upphov till partiklar.

Luftkuddar har prövats av t ex av TTI-Otis. Kuddarna möjliggör ren sidoflyttning av fordonet. En bred, jämn och ren bana av typ ”Morgantown” i Figur 2 används. Svenska klimatförhållanden med t ex snö och is gör att ”Morgantown” banor bör undvikas. Om man använder en smalare bana av typen ”Taxi2000” kan luftkudde ändå visa sig vara ett alternativ.

Magnetsvävning kan göras antingen repellerade eller attraherande och dessutom kan den baseras på elektromagnetism eller permanentmagneter. Earnshaw (<http://www.mathpages.com/home/kmath240/kmath240.htm>) visar att det är omöjligt att finna stabila svävande tillstånd med *statiska* permanenta magneter. Om emellertid permanenta- eller elektromagneter rör sig mycket snabbt över t ex en aluminiumbana, alstras en ”speglade” magnet i banan, som ger upphov till en repellerande kraft. Denna kraft kan användas för lyfta en farkost (<http://www.maglev2000.com/works/how-03-b.html>).

”Transrapid” i Figur 12 baseras på attraherande elektromagneter men kräver mycket avancerade sådana med supraledare vid låg temperatur. Dessutom krävs ett avancerat styrsystem.

En av de viktigaste frågorna är **växlingen**. En höghastighetsbana kräver att växling kan ske i hög fart. Ett utbrett bannät typ spårtaxi i en stad kräver täta fordonsflöden och mycket kort tidsintervall mellan två på varandra följande fordon. I det fallet måste omläggningen av växeln vara snabb – kanske 0,5 sekunder. En växel i banan klarar inte sådana snabba förlopp (se t ex <http://www.monorails.org/tMspages/switch.html>). Det betyder att ett GTS-fordon självt bör växla istället för att banan växlas – precis som i en bil där föraren bara lägger om ratten. Det betyder också att ”grenslande” fordon enligt Figur 12 blir mycket svåra att anpassa.

Framdrivningen kan ske antingen med en roterande eller med en linjär motor. En linjär motor kan enkelt beskrivas så att man slitsar upp en vanlig elmotor och plattar ut den. Då kommer den ena delen att röra sig ”linjärt” mot den andra istället för att rotera.

Om man kan hålla ett precist avstånd mellan fordonsdelen och bandelen av en linjärmotor är den, på grund av sin enkelhet, att föredra framför en roterande motor. Linjärmotorn har också den fördelen att man kan generera bromskraft oberoende av den mekaniska friktionen mellan fordonet och banan. Det finns heller inga lager som måste smörjas eller bytas.

Linjärmotorer kan byggas i två huvudtyper - synkrona och asynkrona. I en asynkron linjärmotor går det magnetiska drivande fältet något snabbare än fordonet. Man skulle kunna likna det vid ett ständigt lätt ”slirande” hjul. I en synkron linjärmotor liknar magnetfältet däremot ”mekaniskt” mer ett kugg-hjul mot en kuggstång.

Vid asynkrona linjärmotorer placeras oftast elektromagneter i fordonet och banan förses med en enkel ”reaktionsräl” av koppar eller aluminium. Den bästa verkningsgraden får man om man ordnar elektromagneter på båda sidor om reaktionsrälen.

En bra enkelsidig reaktionsräl kan åstadkommas om 12,5 mm stål täcks av ca 2 mm koppar¹.

Ett förslag till att framdriva ett fordon med synkron linjärmotor finns t ex i:

http://www.magnemotion.com/products/maglev/pdf/JRC2004_MagneMotion_Paper.pdf

- Där har permanentmagneter placerats i fordonet och framdrivningen sker med elektromagneter placerade i banan. Om styrda elektromagneter skall placeras längs banan blir banan dyrare men fordonen kan göras billigare och lättare. En annan fördel är att magneterna i banan styr fordonens hastighet synkront.

Vad gäller **klimatet** är banor som lämnas öppna mot snö och regn mindre lämpade än sådana som är slutna. I banor av typ ”Morgantown” åtgår ofta en mycket stor del av energin till att smälta snö. Av de icke gränslande banorna är då varianterna ”H-Bahn” och möjligen ”Taxi2000” mer lämpade än de övriga. Banor av typen ”Taxi2000” kan ha en mycket smal slits vänd uppåt och med en dränering vänd nedåt kan balken kanske hållas ren från snö och vatten. GTS banan bör alltså ha en smal slits vänd nedåt eller uppåt.

Centrifugalkraften gör att hängande fordon pendlar ut i kurvorna. Fordon som går ovanpå banan kräver att antingen fordonen lutar med domkrafter, eller också så skall banan luta (bankas). Genom att fordonen på något sätt lutar känns centrifugalkraften mindre för passagerarna. Ett trafikflygplan kan luta upp till 30° i svängarna vilket innebär att passagerarna ”känner en kroppsvikt” som är ca 15 % högre än vid planflykt. Fartyg är ökända för att ge upphov till sjösjuka och många människor har visat sig bli åksjuka i X2000-tåg. Motorcykelförare blir däremot sällan åksjuka fast de lutar i kurvorna. Det finns goda indikationer på att man måste ”förstå” varför fordonet beter sig som det gör för att undvika sjösjuka. Slutsatsen blir att GTS fordonen bör tillåta passagerarna att ”förstå” varför fordonet rör sig som det gör (<http://www.kfb.se/showrga.asp?y=00&t=5>).

Möjligheten att **utrymma passagerare** ur fordonen snabbt beror i viss mån på hur fordon och bana är utformade från början. Om banan är bred, fordonet

¹ Ed Andersson citerande I. Bolda and S. A. Nasar, *Linear Motion Electromagnetic Systems*, Wiley, 1985; S. Yamamura, *The Theory of Linear Induction Motors*, Wiley, 1979; M. Poloujadoff, *The Theory of Linear Induction Machinery*, Oxford University Press, 1980.

går ovanpå och fordonet är öppningsbart fram eller bak kan man utrymma fordonet direkt ut på banan. Det är då givetvis viktigt att eventuella strömlidare inte är farliga och att inga andra fordon tillåts trafikera banan.

Om banan däremot är smal eller fordonet går under banan kan utrymning ske med ”rutschbana” eller ”evakueringsstrumpa”:

(<http://www.lindholmencepark.se/ext/newsarchive.php?modoper=bmV3cy8wI3ZpZXc9aXRlbQ%3D%3D&newsId=1601>).

Alternativt kan man utrymma fordonen genom att köra ihop det stillastående fordonet med ett bakomvarande eller framförvarande fordon. Naturligtvis finns alltid möjligheten med en räddningsstege från marken. Flera av dessa metoder kan givetvis också användas när man har en bred bana med fordon ovanpå.

Tabell 1 visar hur man kan jämföra olika geometriers för- och nackdelar systematiskt. Man kan naturligtvis lägga in många fler geometrier och många fler problem att analysera.

Tabell 1. Analys av geometrier - = dåligt; 0 = normalt; + = fördelaktigt

Geometri/ Problem	Trans- rapid	Mono- rail	Kabinen- taxi	Taxi- 2000	H- Bahn	Morgan- town
Växling	-	-	-	+	+	+
Centrifugal- kraft	-	-	+	-	+	-
Klimatskyddad bana	-	-	+	+	+	-
Säkerhet för passagerare vid utrymning	0	-	0	-	0	+
Säkerhet mot påkörning	+	+	+	0	+	-

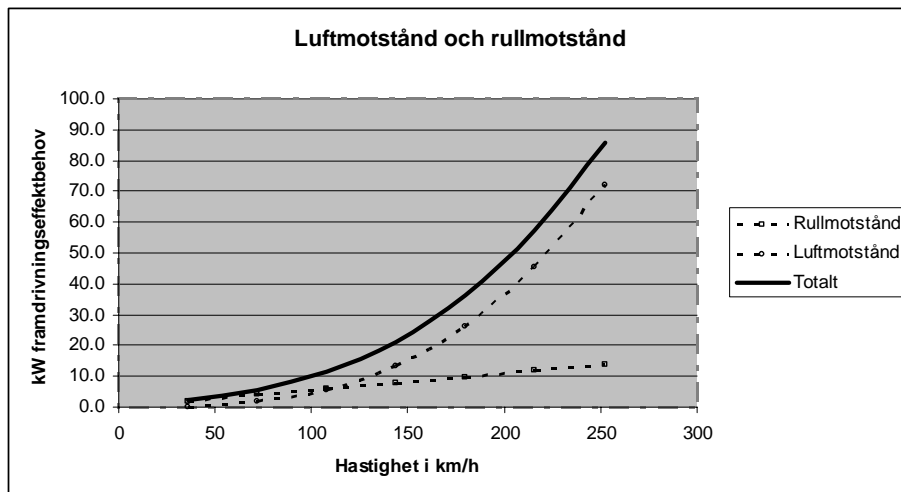
Generellt sett vill man förhindra obehöriga att av misstag eller t ex berusning **komma upp på banan**. Då kan de bli överkörda eller komma i kontakt med elektricitet. Man brukar förhindra det genom att inhägna området, undvika stegar upp till banan, ha dubbla dörrar på stationerna eller ännu bättre ha en konstruktion som helt omöjliggör promenader. Hängande fordon ligger därvid i en klass för sig beträffande säkerhet. Det motverkas visserligen av att fordonen kan kollidera med under balken gående höga fordon typ tvåvåningsbussar. Men det har historiskt visat sig vara en mindre fara.

Vilken geometri mellan bana och fordon man än väljer kommer valet att utsättas för kritik. Det ligger nära till hands att värdera växlingsförmåga och klimatsäkerhet relativt högt. Det leder till att de två geometrierna ”H-Bahn” och i viss mån ”Taxi 2000” ter sig gynnsammast. När det gäller att åstadkomma klimatsäkerhet är ”H-Bahn”-geometrin överlägsen medan växlingen görs lättare i ”Taxi 2000”-geometrin.

2.2 Hastighet

För ett fordon som rör sig med låg hastighet är rullmotståndet störst, men redan vid måttliga hastigheter (runt 100 km/h) tar luftmotståndet överhanden. Det leder till kravet på **strömlinjeform** för GTS-fordonen. De mycket höga hastigheter som diskuteras för GTS – över 200 km/h - leder faktiskt också till ett krav på **tågbildning** med fordonen – annars blir det totala luftmotståndet för högt.

Figur 13. Luftmotstånd och rullmotstånd i olika hastigheter



När fordonet går långsamt eller eventuellt inuti ett tåg vill man gärna ha tvärt avhuggna fordon både fram och bak så att de blir korta. När fordonen går med hög hastighet, vill man dock för strömlinjeprofilens skull istället ha en spetsig fram- och bakända. Det leder till ett längre fordon. Eftersom luftmotståndet kommer att få stor betydelse i GTS, med ibland mycket höga hastigheter, är det sannolikt av mindre vikt hur vagnarna är burna – av t ex hjul eller magnetkrafter – än hur luftmotståndsfrågan löses.

Det går att komma ned i extremt låga luftmotstånd, som visas i figur 14, men fordonen blir då inte särskilt bekväma.

Figur 14. Detta fordon kommer upp över 320 km/h med en motor på ca 30 kW



2.3 Stationsutformning

För GTS måste alla stationer vara på sidospår så att inte huvudlinjen blockeras. Stationerna kan sedan göras som ett enkelt sidospår med fordonsbäddar där man först har några fordonsbäddar för avstigning och sedan något

fler fordonsbäddar längre fram, där fordonen kan vänta för påstigning. Riktigt stora stationer bör undvikas men om man trots allt skulle vilja ha det måste flera parallella sidospårsstationer anordnas.

2.4 Avvägningar

Ed Andersson ², som forskat mycket länge på området PRT, har försökt göra liknande avvägningar som i detta kapitel. Bland hans slutsatser kan nämnas:

- Använd en fackverkskonstruktion med täckplåtar för balken
- Lagg expansionsskarvar 21 % av spannet från varje stolpe
- Gör fordonen små och lätta på en egen planskild bana
- Gör dörrar på båda sidorna av kabinen
- Alla rörliga delar måste finnas i fordonet
- Växeln skall vara bistabil och opåverkad av yttre krafter
- Linjärmotorer har färre rörliga delar och är att föredra
- Linjärmotorerna skall placeras i fordonet
- Sätt en linjärmotor på vardera sidan av fordonet på en speciell boogie.
- Bär fordonet med pneumatiska högtryckshjul
- Bär av sidledes med massiva polyuretan-hjul
- Stående fordon är att föredra framför hängande

Om vi betänker alla de nya krav som ställts på GTS jämfört med PRT, vårt klimat, och tidigare erfarenheter har alla punkterna ovan giltighet. En slutsats som man kan ifrågasätta är den sista. Ed Andersson värdesätter t ex inte möjligheten att kunna transportera objekt direkt mellan banan och marken för hängande fordon där slitsen i balken vänds nedåt. Däremot tror han inte att en tillräckligt smal (7,5 cm) uppåtvänd slits kommer att ge upphov till större väderproblem. Det kan ifrågasättas. ”Hål i taket” på byggkomponenter har alltid visat sig vara besvärliga.

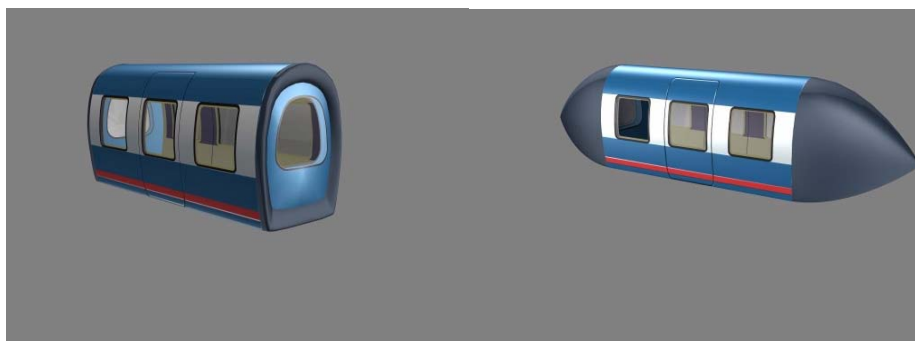
² Ed Andersson, The optimal design of a high-capacity personal rapid transit system, privat kommunikation.

2.5 Illustrationer

Vi har velat visa hur ett GTS-fordon skulle kunna utformas, därför att det kittlar fantasin mer än kanske bara torr text. Vi har anlitat en mycket kunnig konstruktör/illustratör på området – Hans Kylberg på Visulogik AB.

Den första bilden avser ett fordon sett utifrån:

Figur 15. Hur man skulle vilja att fordonen såg ut vid hög respektive låg fart.
(Kylberg)



Helst skulle man vilja att fordonen kunde ändra form – ungefär som ”Barbapappa” så att de är korta vid låga farter i tät trafik och när de går inuti ett tåg – de borde dock vara strömlinjeformade när de ska gå fort.

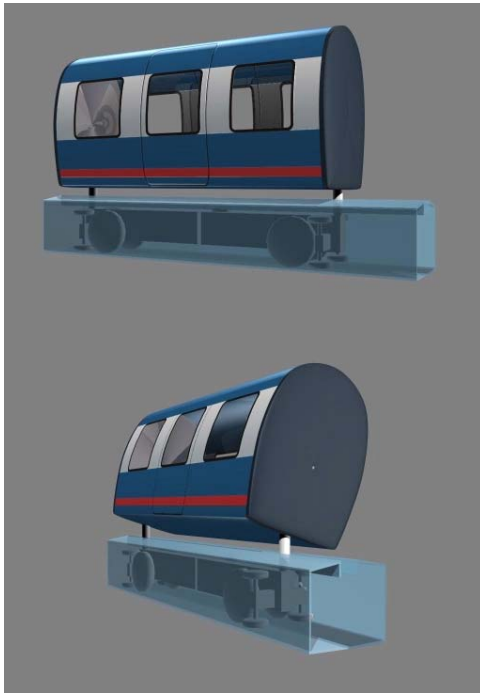
Beroende på om de går ovanpå eller under en balk bör strömlinjeformen väljas lite olika. De fordon som visas i Figur 15 är symmetriska och kan köras åt båda hållen. Man kan också tänka sig fordon avsedda att bara kunna köras åt ett håll individuellt. I det fallet kan de göras strömlinjeformade åt ett håll. Problemet uppstår om sådana fordon skall köras i tåg. Den fyllkropp som skall fylla avståndet mellan vagnarna blir svårare att åstadkomma.

Figur 16. Hur ordnas tåg bildning med lågt luftmotstånd vid asymmetriska fordon ? (Nowacki)



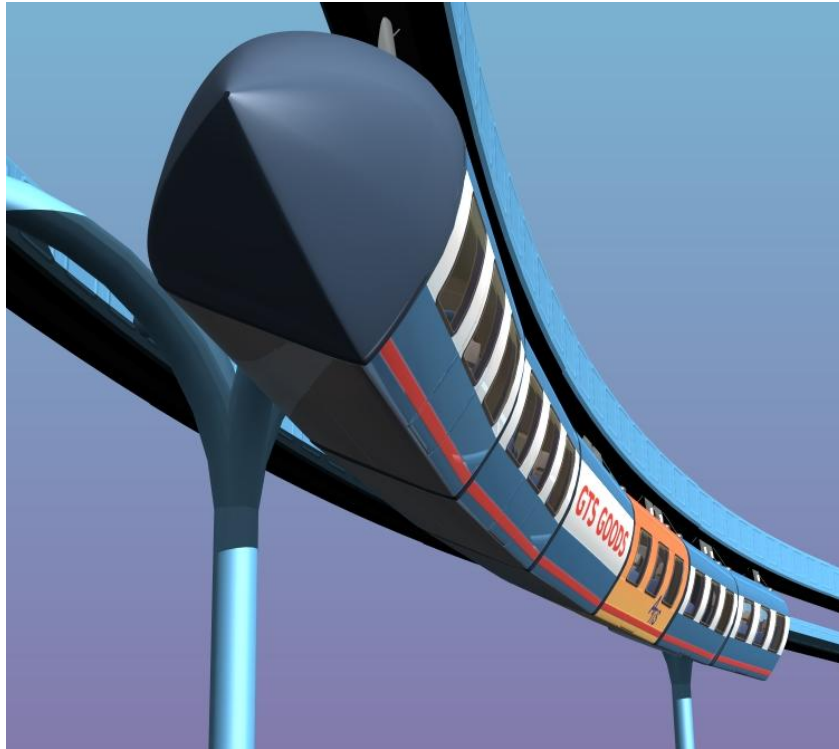
Om man skulle bestämma sig för att vagnarna skall gå ovanpå balken måste antingen själva balken doseras i kurvorna eller också måste fordonen lutas som X2000. Med de höga hastigheter som föreslagits för GTS är det orealistiskt att inte luta vagnarna. Kurvradierna för banan när den ringlar fram i omgivningen skulle då behövas göras orimligt stora.

Figur 17. Stående fordon som kan lutas (Kylberg)



För hängande fordon blir situationen något enklare. De svänger ju ut av sig själva i kurvorna som en gunga.

Figur 18. Ett hängande fordon svänger ut självt i kurvorna av centrifugalkraften (Kylberg)



Naturligtvis bör man placera fordonen i en omgivning för att kunna åskådliggöra hur systemet skulle kunna se ut i olika fall.

Figur 19. En bana med hög hastighet i lantlig omgivning med GTS-högfartsfordon i ett plan ovanför- och GTS-lågfarts-”spårtaxi” inunder (Kylberg)



Figur 20. I förvrörterna kan man köra GTS-högfartsfordon i ett plan ovanför- och GTS-lågfarts-"spårtaxi" inunder (Kylberg).



GTS-banan blir inte helt gratis och borde därför utnyttjas till mer än bara persontransport. I rusningstid prioriteras naturligtvis persontransport men under resten av dygnet kan banan också utnyttjas för gods. Det förutsätter naturligtvis att speciella stationer för gods finns. Figur 21 försöker visa hur en sådan station skulle kunna se ut.

Figur 21. En godsstation (Kylberg)



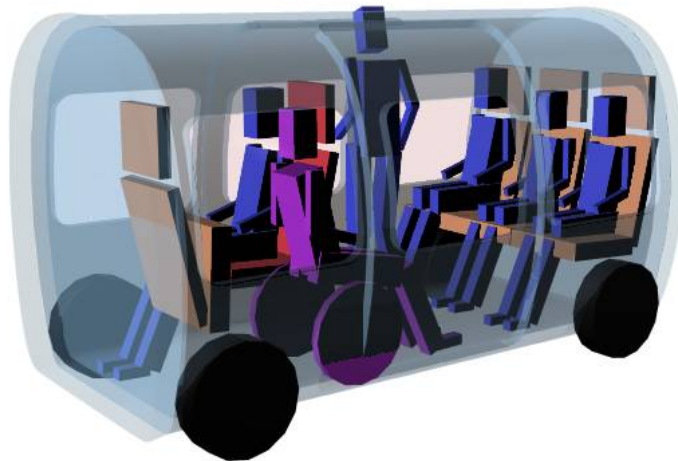
Det har funnits ett önskemål att vagnarna även skulle kunna köra på vanlig väg med hjul. Detta vore t ex möjligt om fordonet får följa en nedgrävd magnetslinga i gatan typ Robosoft eller navigera mellan nedgrävda ”puckar” typ Parkshuttle.

Figur 22. Robosoft till vänster och Parkshuttle till höger.



Man kan fråga sig hur ett sådant fordon skulle kunna vara beskaffat invändigt och utvändigt – finns plats för hjul, batterier etc.?

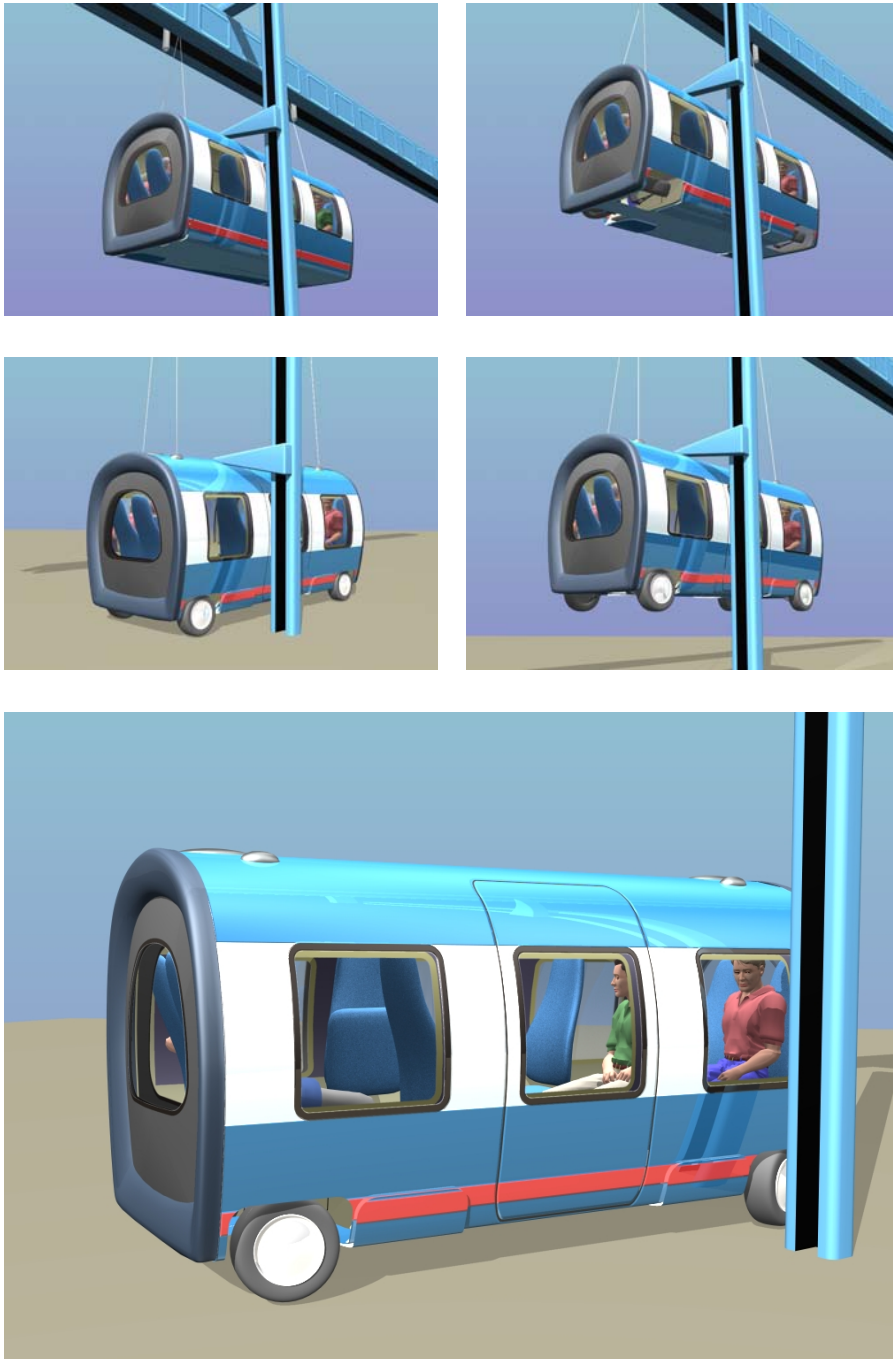
Figur 23. Får man plats med passagerare och hjul?



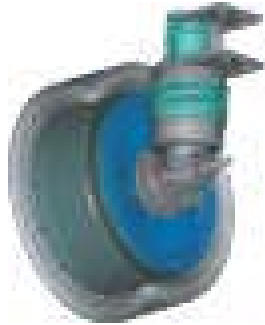
Hjulen i vagnarna är av stort intresse. I t ex flygplan har man infällbara hjul för att minska luftmotståndet. Med de höga hastigheter som man överväger här skulle det kunna vara aktuellt. För fordon som alltid använder hjulen – t ex sådana som går ovanpå en bana behövs naturligtvis inte infällbara hjul.

Figur 24 och 25 nedan visar en vagn med infällbara hjul. Sänkningen stabiliseras av en arm ifall det t ex blåser.

Figur 24. Hjulen kan drivas av varsin navmotor och är individuellt styrbara.



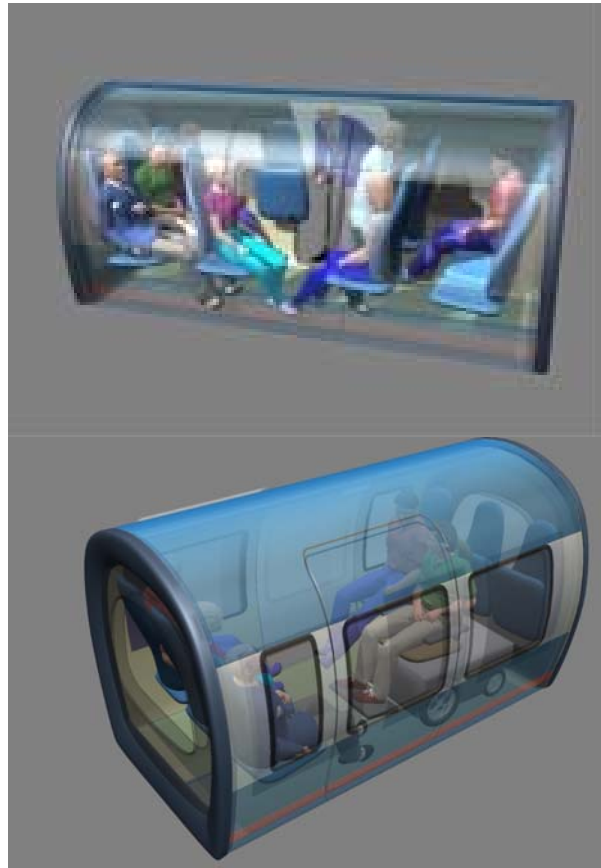
Figur 25. "The Wheel" med navmotor från E-Traction



Batterierna kan inrymmas i golvet och laddas under färd på balken.

För att få ytterligare en grov vision av vagnarnas interiör visas nedanstående layoutkoncept. Vagnarna kan göras kortare eller längre – men profilen måste vara någorlunda standardiserad om man vill tågbita.

Figur 26. Vagninteriör



Illustrationer i gatumiljö

Det kan vara intressant att se hur ett GTS-system skulle komma att se ut i gatumiljön. Vi har valt att placera in det nya systemet i Stockholmsmiljö – Nynäsvägen och Götgatan in mot Stockholms centrum. Man kan se att ju längre in mot centrum man kommer desto svårare blir det att placera in systemet helt invändningsfritt. Det kan bli så att man antingen får gå under marken eller mycket högt (över taken) när man närmar sig stadens centrum.

Redan idag är utrymmet ovanför gatorna fyllt med stora fula trafikskyltar mm som vi vant oss vid och inte lägger märke till. När man ser en sådan här bild koncentreras blicken på balkar och fordon. En person som går på gatan går inte och tittar uppåt och lägger därför inte märke till dessa saker. Istället är det nog mera själva känslan av något som finns ovanför som kan störa. Men det är nog något som går över efter ett par veckor, när man vant sig. Jämfört med att obehagskänslan av att åka tunnelbana under jorden är nog detta inget stort problem

Figur 27. På Nynäsvägen – från/till Nynäsham på en kvart (Kylberg)



Figur 28. Mot centrum på en bred del av Götgatan (Kylberg)



Figur 29. På den trånga delen av Götgatan blir det svårare att invändningsfritt placera systemet (Kylberg)



Figur 30. Schwebebahn i Wuppertal går fortfarande sedan mer än 100 år.



I Wuppertal i Tyskland, har man valt att låta banan dominera stadsbilden – numera anses den förläggningen vara en kulturskatt. Bland annat har tidningen Kulturens värld gjort ett nummer om denna bana (februari 2004³). När något blir gammalt blir det omistlig kultur och turistattraktion – liksom Eiffeltornet.

³ <http://www.kulturens-varld.se/index.php3?NodNummer=10323>

3 KOSTNADSMODELL FÖR GTS-SYSTEM

Kostnader för ett GTS-system – jämförelser med andra transportslag

En jämförande kostnadsmodell har utvecklats för buss, spårväg, tunnelbana, pendeltåg och spårtaxi⁴. Syftet är att göra det möjligt att jämföra olika typer av färdmedel på ett konsistent sätt.

I ett projekt finansierat av Stockholms Handelskammare analyserade Transek AB våren 2005 kostnader för investering och drift per passagerarkilometer avseende buss, snabbspårväg (light rail transit), tunnelbana samt pendeltåg i Stockholm. Här utvidgar vi kostnadsjämförelsen till att också omfatta spårtaxi. På det viset kan kostnadsstrukturen för spårtaxi jämföras med kostnader för buss, snabbspårväg, tunnelbana samt pendeltåg.

I modellen jämförs både kapitalkostnaden för infrastruktur, kapitalkostnaden för fordon samt kostnader för drift och underhåll. Hänsyn tas i jämförelsen till kapacitetsbegränsningar samt livslängd för olika komponenter som bana, stationer och fordon.

Två alternativ för spårtaxikostnaderna har kalkylerats - ett alternativ med lägre kostnad och ett alternativ med högre kostnad. Den jämförande kostnadsanalysen visar att spårtaxi i det lägre kostnadsalternativet kan vara det mest kostnadseffektiva av alla kollektiva färdmedel i ett intervall mellan 3 300 och 25 000 dagliga passagerare ("per linje"). Genom att spårtaxi kan kombineras i ett obegränsat antal slingor, kan kapaciteten utökas utöver dessa 25 000 passagerare, och fortfarande vara kostnadseffektivt. Även räknat på en högre kostnadsbild för spårtaxi är detta ett billigare kollektivt färdmedel än de traditionella trafikslagen buss, spårväg och tunnelbana/pendeltåg i ett brett intervall av resmängder.

Slutligen visar beräkningen av användarkostnaden för de olika analyserade färdmedlen, d.v.s. resenärens uppoffring per resa, att spårtaxi har de bästa

⁴ Tegnér, Göran: PRT Costs compared to Bus, LRT and Heavy Rail. Some Recent Findings. Uppsats presenterad vid AATS European Conference "Advanced automated transit systems designed to out-perform the car", Bologna 7-8 Nov 2005. Transek AB 2005.

restidsegenskaperna i och med att spårtaxi erbjuder resa med 100 % chans till sittplats och utan mellanliggande hållplatsstopp med praktiskt taget ingen eller extremt korta väntetider.

Underlagsdata i den jämförande kostnadsmodellen

Kostnader för traditionella färdmedel utgörs här av empiriska data från Storstockholm. Fordonens passagerarkapacitet för de traditionella färsätten är härledda ur data från SL, AB Storstockholms Lokaltrafik. Spårtaxi ger en ganska hög daglig kapacitet trots fordonens relativa litenhet, detta tack vare den mycket höga turtätheten.

Kostnaderna för spårtaxi är av naturliga skäl osäkra, eftersom det ännu inte finns några egentliga sådana system i full drift⁵. Kostnadsdata för spårtaxi har tagits fram från nyligen genomförda, state-of-the-art studier och applicerats i denna modell i 2002-2003 års prisnivå.

I EDICT-projektet genomfördes en heltäckande samhällsekonomisk analys av den skissade spårtaxibanan i Kungens Kurva i Huddinge kommun, Stockholm. Bland annat jämfördes kostnaderna för spårtaxisystemet ULTra med prototyper av andra spårtaxisystem såsom Taxi 2000 (Skyweb Express) samt också Austrans Group Rapid Transit⁶.

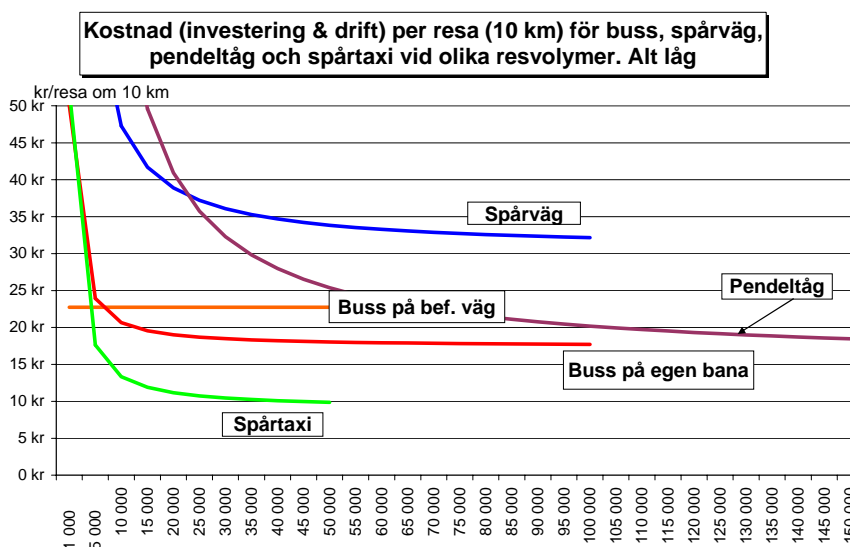
Alternativ med ”låga spårtaxikostnader”

Med de spårtaxikostnader, som tillämpades för två år sedan i samband med EU-projektet EDICT, räknades följande jämförbara kostnader fram per resa (om 10 km) för spårtaxi, buss, spårväg och pendeltåg (tunnelbanekostnaderna ligger väldigt nära pendeltåg, och har därför utelämnats ur Figur 31). Vi kallar detta alternativ för Alt. Låg, vad avser spårtaxikostnaderna:

⁵ Det första systemet ser ut att bli det brittiska ULTra-systemet på London Heathrow flygplats år 2008.

⁶ Austrans är ett s.k. Group Rapid Transit (GHRT) system snarare än Personal Rapid Transit (PRT) vilket gör att kostnaderna för Austrans blir något dyrare än andra spårtaxisystem.

Figur 31. Kostnader som funktion av resefterfrågan för fem alt. trafiksystem per 10 km resa. Alt Låg betr. spårtaxi



Anm. För buss på gata och spårtaxi redovisas kostnaderna upp till 50.000 pass/dag; för buss på egen bana och spårväg upp till 100.000 pass/dag

Investeringskostnaden för spårtaxi uppgår i detta alternativ till 6M € per ban-kilometer (ca 55 Mkr/km, beräknat som ett medelvärde för de tre olika spårtaxisystemen ULTra, Taxi2000 och Austrans), vilket kan jämföras med snabbspårvägen i Stockholm, som kostade ca 175 Mkr per spårkm.

Figur 31 ovan visar bl.a. följande:

- **Stadsbuss** är billigare än spårtaxi upp till ca 3 200 passagerare/dag 2 riktningar, d.v.s. ca 160 passagerare per riktning i maxtimmen
- **Buss på egen bana** blir billigare än stadsbuss vid 10 000 passagerare per dag, (genom den högre hastigheten som den separerade bussbanan medger)
- **Pendeltåg** (i ytläge) blir billigare än spårväg redan vid ca 25 000 passagerare per dag
- **Pendeltåg** blir billigare per resa än stadsbuss vid ca 70 000 passagerare per dag (motsvarar ca 3 500 passagerare per timme och riktning). Vid en sådan hög trafikvolym, går det åt 3 bussar per minut (d.v.s. ca 18 sekunders tidslucka mellan bussarna, vilket är tämligen orealistiskt)
- **Buss på egen bana** är mest kostnadseffektiv av alla traditionella kollektiva trafikslag i ett intervall mellan 10 000 och 200 000

passagerare per dag. Kapacitetsgränsen för en vanlig led buss på egen bana torde dock gå vid ca 100 000 passagerare per dag (ca 2,5 minuters turtäthet)

- **Spårtaxi** är (med de i Appendix angivna förutsättningarna) det mest kostnadseffektiva kollektiva färd sättet i intervallet fr.o.m. 3 200 passagerare och dag och uppåt med ca 9 kronor resa (om 10 km) vid höga resvolym er. Var den praktiska kapacitetsgränsen går är f.n. svårt att fastställa. Den beror dels på linjekapaciteten, dels på stationskapaciteten. Om man antar 2 sekunders tidslucka, och 1,25 passagerare per spårtaxivagn då blir sittplatskapaciteten 2 250 passagerare per timme och enkelspårig bansträcka. Detta motsvarar 22 500 passagerare per dag. Med prisincentives för frivillig samåkning kan man i rusningstid räkna med 2,5 passagerare per vagn, som ger dygnskapacitet 45 000 resenärer

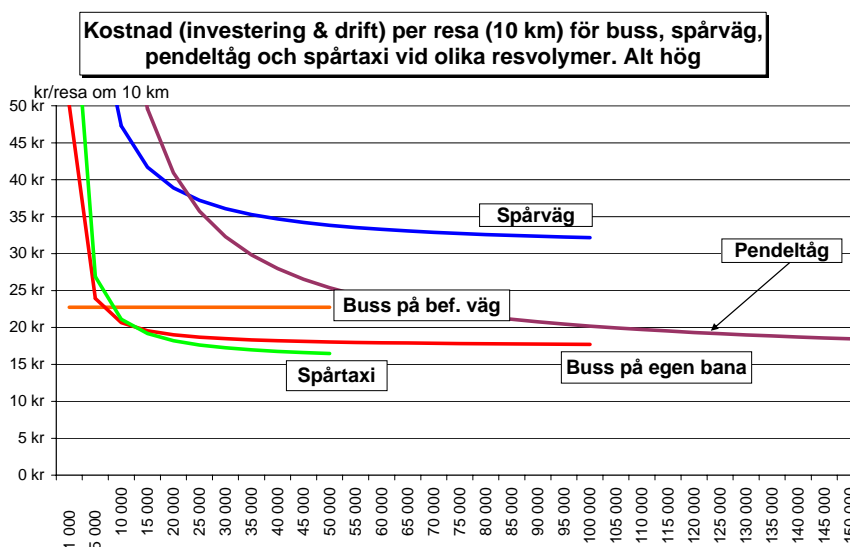
En slutsats blir då att spårtaxi kan vara det mest kostnadseffektiva av alla kollektiva färd sätt i ett intervall mellan 3 300 och 25 000 dagliga passagerare ("per linje"). Men genom att spårtaxi kan kombineras i ett obegränsat antal slingor, kan kapaciteten utökas utöver dessa 25 000 passagerare, och fortfarande vara kostnadseffektivt. Det är snarare det negativa visuella intrånget av ett stort antal spårtaxistationer uppe i luften som sätter praktiska gränser för nätets storlek.

Alternativ "höga spårtaxikostnader"

Såväl ULTra, som Taxi2000 och Austrans har reviderat sina kostnadsuppgifter under senare tid. Investeringskostnaderna uppgår enligt färsk a uppgifter numera till 8M€per spårkilometer, d.v.s. ca 72 Mkr per spårkm. Även driftkostnaderna har uppskattats bli högre än tidigare beräknat, numera till 1:25 kr per passagerarkilometer.

Med dessa nya förutsättningar blir kostnadsbilden något annorlunda, se Figur 32 nedan beträffande alt Hög.

Figur 32. Kostnader som funktion av resefterfrågan för fem alt. trafiksystem per 10 km resa. Alt. Hög betr. spårtaxi



Anm. För buss på gata och spårtaxi redovisas kostnaderna upp till 50.000 pass/dag; för buss på egen bana och spårväg upp till 100.000 pass/dag

- **Kostnadsrelationerna** mellan buss, spårväg och pendeltåg påverkas inte.
- **Spårtaxi** förblir det billigaste färdssättet i stora intervall. Kostnadsrelationen mellan buss och spårtaxi förskjuts något
- **Stadsbuss** på befintlig väg (förutsatt att vägstyrkostnaderna är ”sunk cost”) är billigare än buss på egen bana upp till 6 000 resor per dygn. Därefter blir buss på egen bana det billigaste alternativet i intervallet 6 000 – 12 000 resor per dygn (motsvarar ca 300 – 600 resor per maxtimme och riktning). Buss på egen bana är ofta alltför utrymmeskrävande för att vara möjligt
- **Spårtaxi** blir billigare än buss på egen bana och alla andra spårtrafiksystem fr.o.m. 13 000 resor per dygn och uppåt (motsvarar ca 650 resor per maxtimme och riktning). Men kostnadsfördelen för spårtaxi jämfört med buss på egen bana minskar från 57 % till 6 %
- **Spårtaxi** är fortfarande billigare än spårväg. Istället för att kosta en tredjedel kommer spårtaxi vid denna högre kostnadsnivå att kosta hälften så mycket

Spårtaxi är således ett både bättre och billigare kollektivt färdmedel än de traditionella trafikslagen buss, spårväg och tunnelbana/pendeltåg i ett brett intervall av resmängder. Spårtaxikostnaderna kan närmare fördubblas, och ändå bli lägre än motsvarande kostnader för spårväg.

Resenärens användarkostnad

En annan aspekt av den totala kostnadsstrukturen är kostnaden per resa, som bars av den enskilde resenären själv. Denna så kallade **användarkostnad** består av följande komponenter:

- Gångtid
- Väntetid
- Restid i fordonet
- (Ibland även bytestid)
- Biljettpris

Nedanstående tabell bygger på data från Storstockholms Lokaltrafik AB, samt är kompletterad med spårtaxisystemets restidsegenskaper, och är härledd med realistiska medelvärden för restidskomponenter, turtäthet och taxenivå:

Tabell 2. Restidskomponenter och generaliserad tid och kostnad för traditionella färdmedel samt spårtaxi i Stockholm

Färdmedel	Tidskomponenter (minuter)				Kalendertid	Resupplösnings i minuter ("KRESU")	Generaliserad Reskostnad inkl biljettpris (18 kr)
	Gångtid	Turtäthet	Väntetid	Restid			
	Restidskomponenter i min/10 km resa						
Buss	10	10	5	40	55	70	85 kr
Pendeltåg	15	15	7,5	12	35	57	73 kr
Snabbspårväg	5	10	5	24	34	44	60 kr
Tunnelbana	10	4	2	14	26	38	54 kr
Spårtaxi	5	< 1	0,5	17	22	28	45 kr
Restidsvikter	2		2	1		57,6	
			Restidsvärde, SEK per timme				

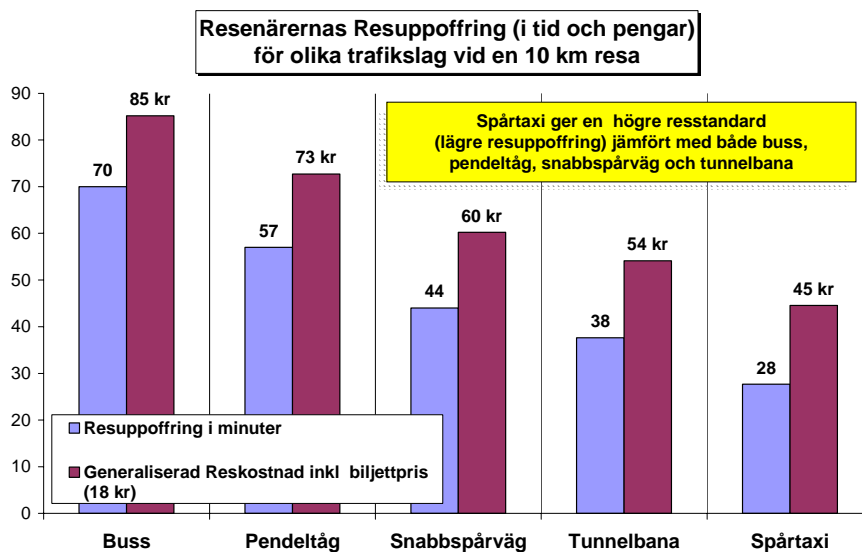
Källa: Data från Storstockholms Lokaltrafik AB samt egna beräkningar.

Den (över dygnet) genomsnittliga turtätheten för buss uppgår i Stockholms län till 30 minuter. För att inte missgynna busstrafiken alltför mycket har här i stället valts 10 minuters turtäthet, som är en mer representativ turtäthet för regionens mer centrala delar.

Tabell 2 visar att resuppofringen för resenärerna för en typisk stadsresa uppgår till 44 minuter med spårväg och till 70 minuter med buss. Resuppofringen för samma slags resa med spårtaxi blir enbart 28 minuter, d.v.s. endast 40 % av buss och bara två tredjedelar av spårväg. Den stora skillnaden ligger i spårtaxis betydligt kortare väntetid.

Figur 33 visar relationerna i resuppofring i tid och pengar mellan buss., spårväg, tunnelbana, pendeltåg och spårtaxi för en 10 km lång resa och med 18 kronor i biljettpris:

Figur 33: Resenärernas resuppofring (kalendertid resp. resuppofring, d.v.s. viktad restid)



Spårtaxi visar sig ha ca 25 % lägre resuppofring än spårväg, ca 47 % lägre resuppofring än buss och ca 17 % lägre än tunnelbana.

Slutsatser

Kostnaderna för spårtaxi kommer att variera, eftersom tekniken f.n. befinner sig strax före ”take-off”. De första prototyp-systemen kan bli dyra bara genom att de blir närmast ”skraddarsydd”. Som vanligt vid teknisk utveckling, brukar styckkostnaderna så småningom falla vid industriell serieproduktion och särskilt vid massproduktion. Då blir spårtaxi den billigaste färdmedelstypen för passagerartransport.

Huvudslutsatserna av den jämförande kostnadskalkylen som här genomförts är:

- Spårtaxi är det billigaste färdmedlet för urban kollektivtrafik när det finns ett stort passagerarunderlag
- Busstrafik är det närmast billigaste färdmedlet men har en jämförelsevis begränsad kapacitet
- Spårväg är ett billigare färdmedel än tyngre tågtrafik som t ex pendeltåg och tunnelbana men bara upp till passagerarkapaciteter på ca 25 000 passagerare per dag (två riktningar)
- Den totala investeringskostnaden samt driftskostnad per passagerarkilometer utgör för spårtaxi mindre än en tredjedel av motsvarande kostnader för ett spårvägsystem och blir också billigare jämfört med busstrafik
- Spårtaxikostnaderna kan närmare fördubblas, och ändå bli lägre än motsvarande kostnader för spårväg
- Resupoffringen för en typisk stadsresa med spårtaxi blir en tredjedel av motsvarande restid med buss och bara två tredjedelar av motsvarande restid med snabbspårväg. Den stora skillnaden ligger i spårtaxins betydligt kortare väntetid och högre medelhastighet utan mellanliggande hållplatsstopp

Spårtaxi har således gynnsammare restidsegenskaper i och med att spårtaxi erbjuder direktresa med 100 % sittande utan mellanliggande hållplatsstopp direkt till målet med praktiskt taget ingen eller mycket korta väntetider.

4 EFFEKTER AV GTS

I detta kapitel belyses hur generella transportsystem kan bidra till att uppnå de transportpolitiska målen. Kapitlet behandlar särskilt erfarenheter och slutsatser om samhällsekonomisk lönsamhet för generella transportsystem samt vilka effekter spårtaxi ger för färdmedelsval.

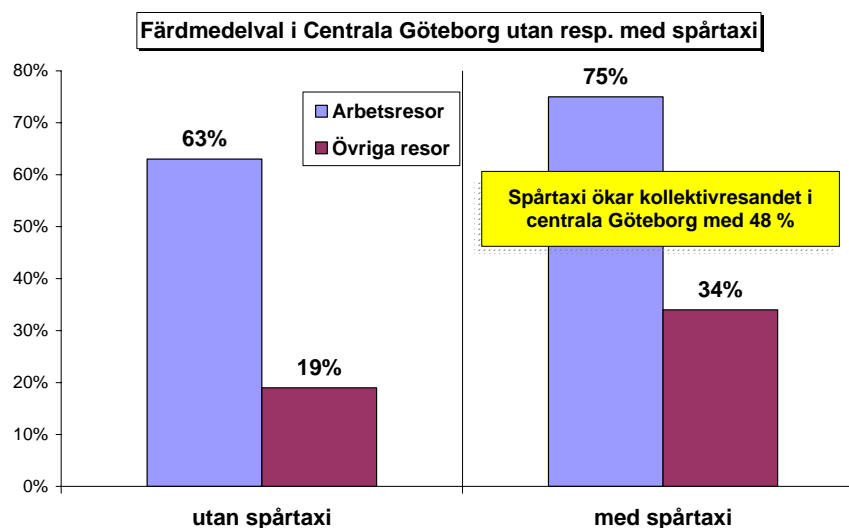
4.1 Färdmedelsvalseffekter

Baserat på tidigare svenska och internationella, främst brittiska samt nordamerikanska spårtaxistudier i städer har effekter på färdmedelsvalet analyserats.

Göteborg

I början av 1990-talet analyserade Trafikkontoret i Göteborgs stad potentialen hos spårtaxisystem jämfört med fortsatt utveckling av det befintliga spårvägssystemet i Göteborg. Ett yttäckande spårtaxinät analyserades som ersättning för hela det befintliga spårvägssystemet samt delar av busstrafiken i större delen av Göteborgs stad samt delar av Mölndal och Partille. Ett spårtaxinät i enbart centrala Göteborg analyserades också.

Figur 34. Färdmedelsval i Centrala Göteborg utan resp. med spårtaxi



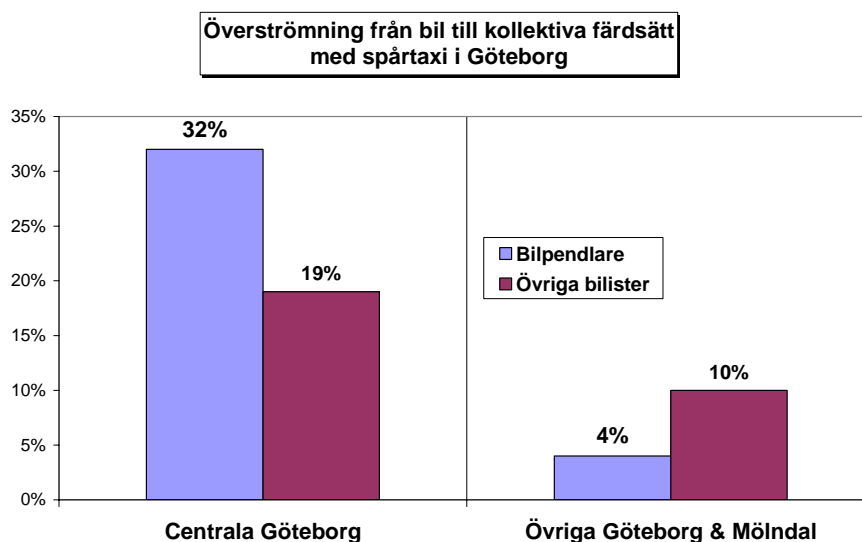
Källa: Spårtaxi i Göteborg. Göteborgs Stad, Utredningsetapp 2. Trafikkontoret Rapport nr 8, 1993; samt egna bearbetningar

Resultatet visade att det studerade yttäckande nätet i Stor-Göteborg skulle erhålla en kapacitet som klarade en ökning av resandet med kollektivtrafik från 25 % till 45 % förutsatt att en tillämpning av organiserad samåkning kan komma till stånd.

Med tidsluckor på 1.6 sekunder skulle nära 60 % av bilresorna i Göteborgs stad kunna flyttas över till spårtaxi även under rusningstid. Restiderna med spårtaxi skulle med detta tillskott av nya kollektivtrafikresenärer bli 52 % av restiderna med den nuvarande kollektivtrafiken.

Göteborgsstudierna visade att spårtaxi i centrala staden som har ett omfattande resande inom begränsad yta och stor efterfrågan under hela dagen skulle mer än halvera restiderna exklusive gångtider (gångtiderna bedöms bli oförändrade). Spårtaxisystemet skulle minska den kollektiva restiden i centrala Göteborg från 16 till 9 minuter inom det område som spårtaxinätet täcker och andelen resande med kollektivtrafik skulle öka med 19 %, från 63 % till 75 %, i detta område. 32 % av bilresorna i centrala Göteborg skulle överföras till spårtaxi. I övriga Göteborg samt Mölndal skulle 4 % av alla bilresor överföras till spårtaxi. 4 % av hela regionens biltrafik är en betydande mängd biltrafik och innebär betydligt fler överflyttade bilresor än de 32 % som skulle överföras till spårtaxi i enbart centrums biltrafik.

Figur 35. Överströmning från bil till kollektiva färdmedel med spårtaxi i Göteborg



Källa: Spårtaxi i Göteborg. Göteborgs Stad, Utredningsetapp 2. Trafikkontoret Rapport nr 8, 1993; samt egna bearbetningar

Stockholm

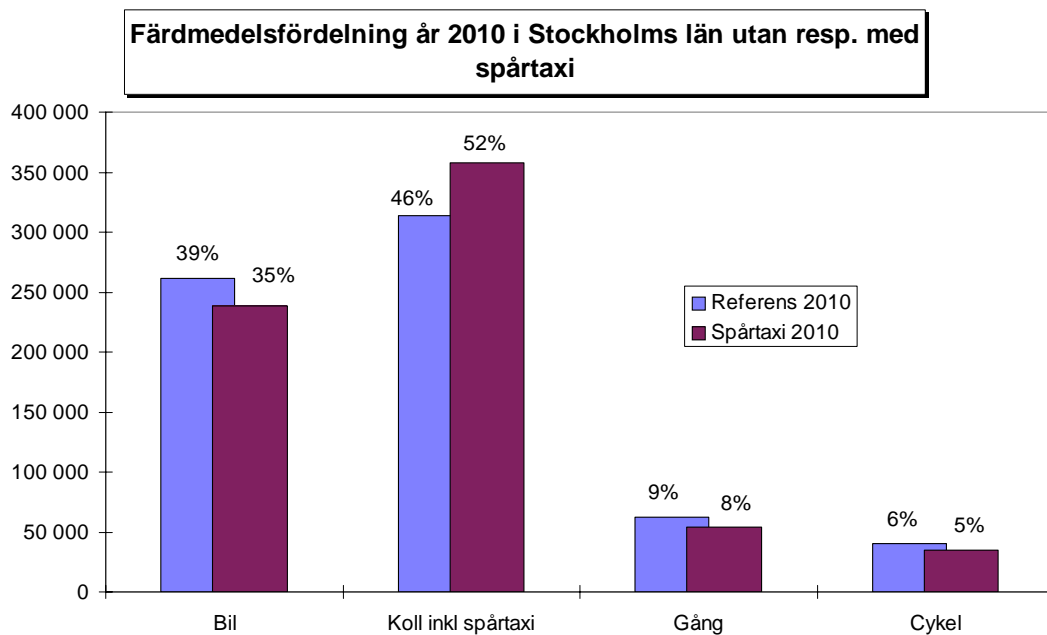
En studie⁷ i Stockholmsregionen visar att spårtaxi uppvisar betydligt större restidsvinster och effekter på färdmedelsvalet än andra typer av kollektivtrafik. En annan viktig slutsats är att med ett heltäckande nät av spårtaxi och dess potential att attrahera bilresenärer skulle behovet av vägutbyggnader minska, framförallt längs med infartslederna och i regionens centralare delar. Resultaten av analyserna visade tydlig påverkan på färdmedelsvalet vid införande av spårtaxi:

- Andelen resor med kollektiva fordon (inklusive individuella resor med spårtaxifordon) skulle öka från 46 till 52 % eller med 13 %.
- Andelen bilresor beräknas som en följd av ett heltäckande spårtaxinät minska från 39 till 35 %, eller med ca 10 %.
- Antalet bilresor minskar med 9 % under morgonens maxtimme, med 7 % under eftermiddagens maxtimme och med 5 % under lågtrafiktid.

⁷ Spårtaxi. Ett effektivt och hållbart transportsystem. KFB-rapport 1999:4. Januari 1999.

- Antalet kollektiva resor (inklusive individuella resor med spårtaxifordon) ökar med 31 % under hela dygnet, med 41 % under låg- och mellantrafiktid samt med 21-25 % under rusningstiderna morgon respektive eftermiddag.

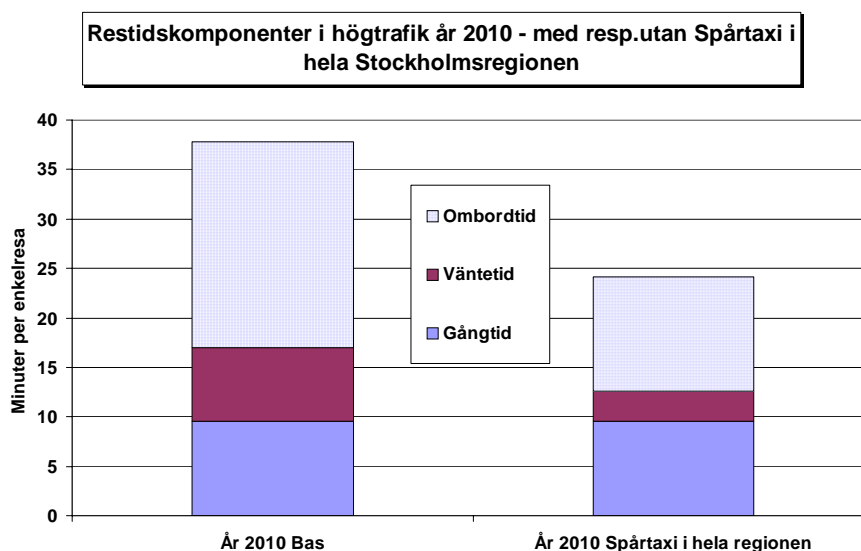
Figur 36. Färdmedelseffekter med spårtaxi i Stockholmsregionen



Källa: KFB-rapport 1999:4

- Medelrestiden i länet för kollektivresor minskar från 55 minuter (viktad restid – KRESU) i basalternativet till 37 minuter i högtrafiktid och till 32 minuter i lågtrafiktid med ett spårtaxinät (d.v.s. en minskning med 33 % resp. 42 %).
- Orsaken till att restidsvinsten blir störst i lågtrafiktid (23 minuter) med spårtaxi är att turtätheten kan hållas lika hög i lågtrafik, eftersom spårtaxisystemet är förarlöst.

Figur 37. Medelrestider i Stockholmsregionen år 2010 utan resp. med spårtaxi



Källa: KFB-rapport 1999:4

Med en restidsvinst på ca 20 minuter per resa, 3 resor per dag och ca 325 'trafikdagar' per år och ett restidsvärde på ca 60 kr/timme, ger spårtaxi i hela Stockholms län en samhällsekonomisk nytta på ca 7,5 miljarder kronor per år (med 386 milj. kollektiva årsresor; tillkommer nygenererade resors tidsvinster)

Huddinge

En fallstudie av spårtaxi i Kungens Kurva, i Huddinge kommun utanför Stockholm, inom ramen för EDICT⁸-projektet visar också att spårtaxi kan skapa positiva värden för trafikanter. Utgångsläget för denna fallstudie är att Kungens Kurva är en handelsplats som expanderar snabbt. År 2002 hade Kungens Kurva ca 42.000 dagliga besökare och omkring år 2015 beräknas de stiga till 63.500, en ökning med över 50 %. Vid infarten till Kungens Kurva i högtrafik är bilarnas medelhastighet redan idag nere i 16 km/tim. Även busstrafiken drabbas av detta. Tillgängligheten med kollektivtrafik till området är också sämre än med bil.

⁸ EDICT står för "Evaluation and Demonstration of Innovative City Transport", vilket ungefär betyder "Utvärdering och demonstration av innovativ stadstransport".

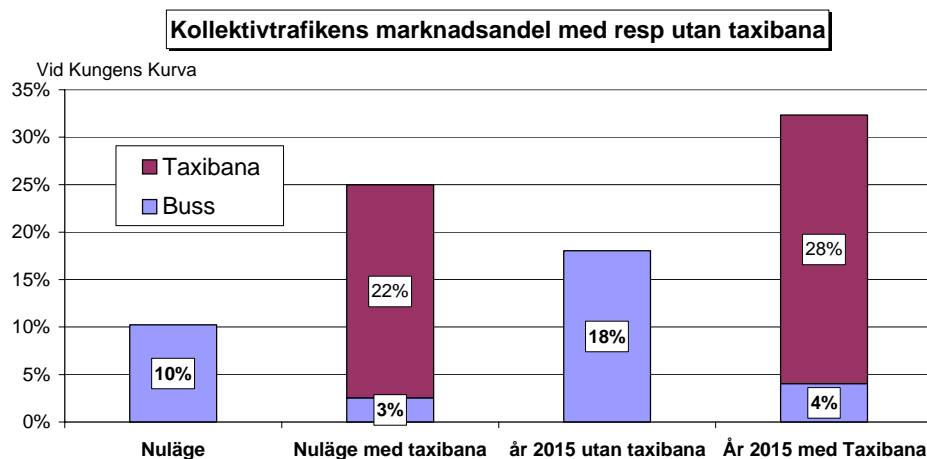
Ett finmaskigt spårtaxinät som binder samman Skärholmen med Kungens Kurva skissades i fallstudien. Restidsanalyser gav som resultat att restiden mellan Skärholmen och Kungens Kurva skulle minska från 14 till 8 minuter inkl gångtid med spårtaxi, d.v.s. en minskning med 41 %. Restiden från Stockholms city till Kungens Kurva skulle minskas med 26 % - från 65 till 48 minuter (inkl gång- och väntetider). I lågtrafiktid beräknas tidsvinsten med spårtaxi till hela 20 minuter mellan Stockholm City och Kungens Kurva.

Med spårtaxi mellan Skärholmen och Kungens Kurva skulle antalet dagliga bilar som har Kungens Kurva som resmål minska med 9 % år 2015 jämfört med en situation utan spårtaxi. Ändå beräknas antalet bilar som kommer till Kungens Kurva öka med 28 % fram till år 2015 (med spårtaxi), och med hela 40 % utan spårtaxi. Spårtaxi skulle ge 3-4 gånger fler kollektivresor jämfört med dagens busstrafik i området. År 2015 - med Kungens Kurva området utbyggt - beräknas var femte besökare (20 %) åka kollektivt till området, varav 17,3 % eller ca 11.000 med spårtaxibanan.

Av de ca 11.000 resenärerna med spårtaxi år 2015 kommer inte mindre än 40 % från bil, 43 % från buss och resten, 17 % är resor som inte gjordes tidigare. (Att kollektivandelen beräknas öka från 10 till 19 % utan spårtaxi beror på att man i RUFSS⁹ 2000 har räknat med kraftiga ökning av tunnelbane- och bussutbudet fram till år 2010)

⁹ RUFSS är den Regionala Utvecklingsplanen för Stockholms län från år 2000-2001.

Figur 38. Marknadsandel vid kungens Kurva utan resp. med spår-taxi



Källa: EDICT, svensk sammanfattning. Transek AB

Cardiff

En studie av spårtaxi i Cardiff¹⁰ visar att 61 % av nuvarande mängd bussresenärer skulle gå över till spårtaxisystemet ULTra om det infördes. Från gångtrafik skulle 9 % attraheras, d.v.s. de som går längre distanser. ULTra visar sig också attrahera 8 % av bilresenärerna, vilket motsvarar 348 000 färre passagerartimmar med bil till ett värde av 1,67 miljoner pund årligen. ULTra skulle ge positiva miljöeffekter i form av minskade emissioner motsvarande 3 750 ton koldioxid, 3.6 ton VOC, 0.3 ton partiklar och 5.7 ton kväveoxider.

Tabell 3 sammanfattar marknadsandelen för spårtaxisystemet ULTra för några olika marknadssegment, som baseras på den generaliserade reskostnaden¹¹ för resor mellan varje start- och målområde i det studerade området. Marknadsandelen för spårtaxi ökar kraftigt när resällskapets storlek ökar från 1 till 3 personer. Övergången från bil till spårtaxi är relativt blygsam, vilket beror på att ULTra enbart erbjuder en förbättring i innerstadsändan av

10 J Baker (TTR), P Bly (ATS), H Collis (ATS), D Fereday (TTR), J Gibson (CCC), T Kerr (Arup), J Lowson (ATS), M Lowson (ATS), P Reynolds (Arup): Evaluation and Demonstration of Innovative City Transport. Cardiff Site Assessment Report. Project Reference No: EVK4-CT-2001-00058. DELIVERABLE 6-2, Version 1.5. European Commission, DG Research, Fifth Framework Programme: Key Action "City of Tomorrow and Cultural Heritage". April 2004.

11 Härmed avses en sammanvägning av residens olika komponenter som gång-, vänt-, bytes- och åktid, samt reskostnad.

hela reskedjan för pendlare. Ändå är färdmedelseffekten betydande jämfört med den traditionella kollektivtrafikens begränsade förmåga att attrahera bilister.

Övergången från 'till fots' till spårtaxi är blygsam för ensamresenärer, eftersom denna typ av förflyttning oftast är väldigt kort (ca 400 m), och en enhetstaxa missgynnar många från att ta bussen i dessa fall.

Tabell 3. Prognostiserade marknadsandelar med spårtaxi ULTra

Marknadssegment	Marknadsandel med ULTra		
	Resa ensam	Resa i sällskap med 1 person	Resa i sällskap med 2 personer
Bil, buss eller tåg/ULTra	8 %	9 %	10 %
Till fots som anslutningsresa	7 %	22 %	30 %
Buss anslutning	65 %	79 %	82 %
Lunchtids-/arbetstids förflyttning till fots	27 %	47 %	54 %

Källa: EDICT Deliverable 6 Cardiff V1.5: april 2004

ULTra attraherar ett betydande antal pendlare från bil till spårtaxi, och bidrar härigenom till att öka kollektivandelen med tåg och buss till stadskärnan. För fotgängare är biljettpriiset med ULTra en nackdel, men detta blir mindre viktigt när gångavståndet ökar och restidsvinsten med spårtaxi tar överhanden: För en gångförflyttning på 2 km attraherar ULTra 75 % av dessa resor, men bara 9 % för gångförflyttningar som är 500 meter långa.

Tabell 4 summerar färdmedelsvalet utan resp. med spårtaxi i Cardiff Bay.

Tabell 4. Färdmedelsfördelning och antalet resor per färd sätt 24-tim dygn)

	Utan Spårtaxi		Med spårtaxi	
	Efterfråga	Andel i %	Efterfråga	Andel i %

Daglig bil	69,990	48%	64,800	45%
Taxi	600	<1%	300	<1%
Till fots ⇔ station	38,204	26%	34,555	24%
Buss ⇔ station	1,745	1%	678	0%
Övrigt till fots	34,766	24%	31,041	22%
ULTra spårtaxi	0	0%	13,931	9%
Totalt	145,305	100%	145,305	100%

Källa: EDICT Deliverable 6 Cardiff V1.5: april 2004

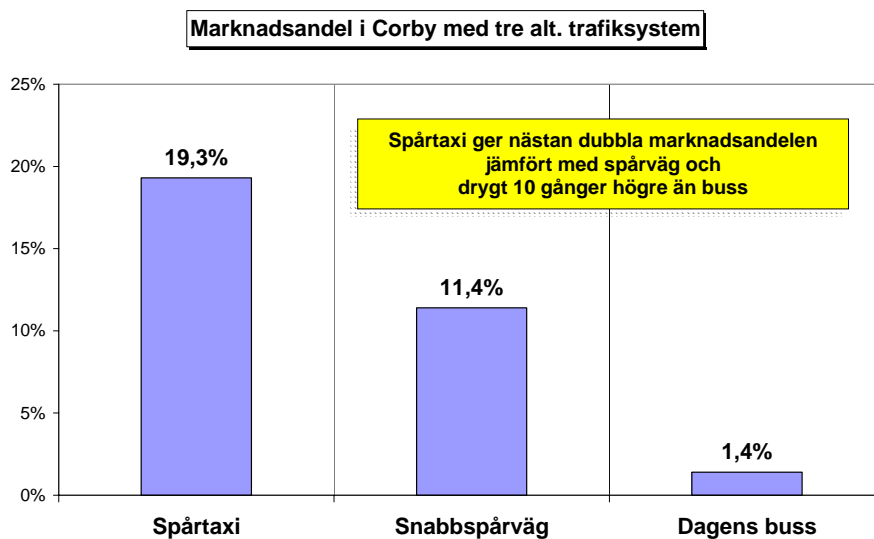
Corby New Town

Ett forskningsprojekt i brittiska staden Corby¹² i form av en fallstudie av en ULTra-förbindelse mellan stadens centrum och fyra tänkta områden för ny bebyggelse visar att ULTra skulle attrahera 19,3 % av resandet i de aktuella områdena, jämfört med 11,4 % för snabbspårväg, Light Rail Transit, (och 1,4 % med busstrafik idag).

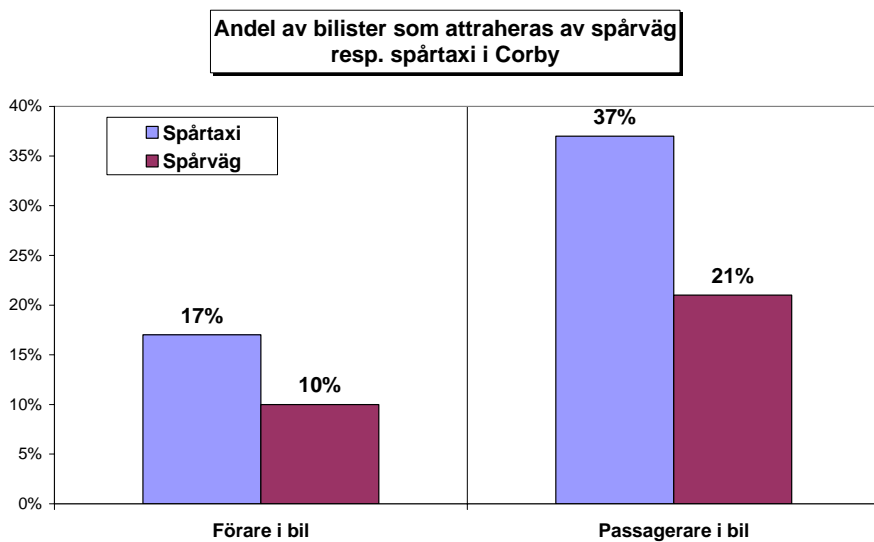
ULTra skulle locka över 17 % av dagens bilresor och 37 % av resor som passagerare i bil. Motsvarande andel för snabbspårväg skulle vara 10 % och 21 %. ULTra skulle ta 13 miljoner passagerare om året och snabbspårvägen 7,7 miljoner passagerare.

¹² Advanced Transport Systems Ltd. DfT Contract PPAD/9/82/6. Innovative Public Transport. The Corby New Town Case Study. ATS/CS/04 Version A. January 2003.

Figur 39. Kollektiv marknadsandel med buss, spårväg och spårtaxi i Corby



Figur 40. Andel bilister som attraheras av spårväg och spårtaxi i Corby



*Källa: The Corby New Town Case Study. ATS,
Januari 2003 och egna bearbetningar*

Gävle

Kommunikationsforskningsberedningen, Bygghorskningsrådet samt länsstyrelsen i Gävleborgs län finansierade i början av 1990-talet en studie av spårtaxinät i Gävle¹³. Studien genomfördes av LogistikCentrum i samarbete med Stadsarkitektkontoret i Gävle kommun samt SkyCab AB och redovisades 1992. Projektet, SIMSPÅRT, syftade till en trafikteknisk utvärdering av spårtaxi för svenska tätorter generellt och bestod av två delar, en stadsbildstudie samt en samhällsekonomisk utvärdering.

Gävlesimuleringarna utgår ifrån antaganden om färdmedelsvalseffekter hämtade från en intervjuundersökning i Chicago¹⁴ som indikerade att 25-40 % av biltrafikanterna skulle gå över till spårtaxi. För att pröva spårtaxis förmåga att hantera extremt hög belastning studerades i Gävle ett alternativ där 50 % av lokala bilresor övergår till spårtaxi (25 % av regionala bilresor). Detta motsvarar en kollektivandel på 58 %. Spårtaxinätet blev då överbelastat, och man behövde utöka nätet med 3 %, lägga till 6 % fler växlar samt införa planskilda korsningar i 18 korsningspunkter, samt införa samåkning i högttrafiktid, allt för att klara belastningen.

Observera dock att man i Gävlestudien inte genomförde någon egentlig färdmedelsvalsanalys.

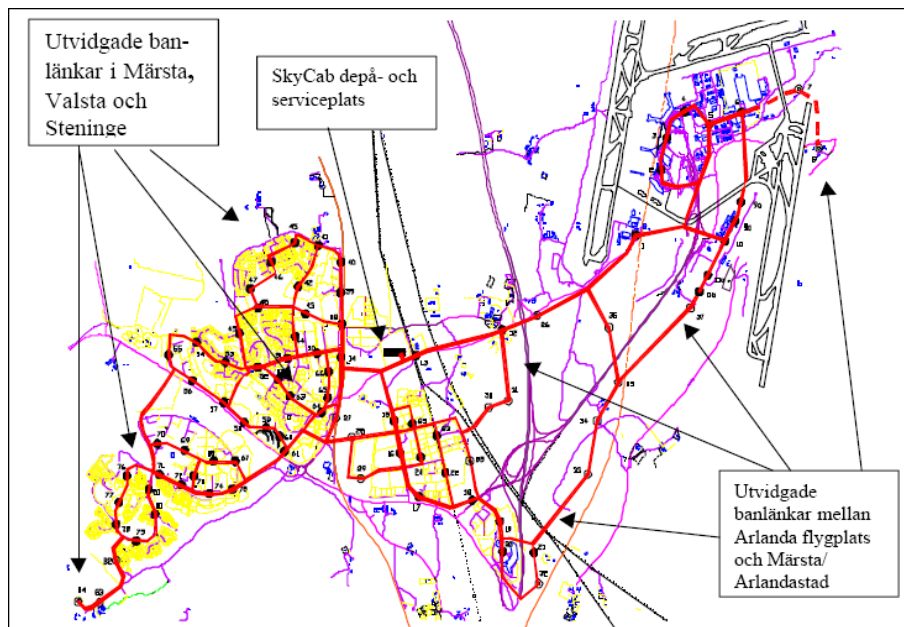
Gävlestudiens slutsats är att ett yttäckande spårtaxinät får en kapacitet som är tillräcklig även om dagens kollektivtrafikandel (15-20 % i Gävle i början av 1990-talet) skulle fördubblas. Spårtaxi bedöms ge en resstandard som matchar bilens och den sammanfattande bedömningen är att spårtaxi kan ersätta all kollektivtrafik och en stor del av biltrafiken i medelstora städer som Gävle.

¹³ Studie av Spårtaxi i Gävle: delrapporter 1992-1996.

¹⁴ Chicago PRT Stated Preference Survey, February 1992.

Märsta - Arlanda

En förstudie över ett spårtaxinät vid Märsta-Arlanda flygplats¹⁵ visar att en utbyggnad av spårtaxi av SkyCab-typ som ersättning för befintlig busstrafik år 2005 skulle attrahera 10 miljoner personresor i målområdena (se figuren nedan). I maxtimmen skulle 6 700 personresor och 4 400 vagntransporter göras i systemet. 600 vagnar skulle täcka vagnsbehovet i maxtimmen, d.v.s. varje vagn skulle användas 7,5 gånger i maxtimmen. Total genomsnittlig restid inklusive genomsnittlig väntetid och exklusive gångtid skulle variera mellan 5-12 minuter per resa.



Vetenskapsstaden, Stockholm-Solna

Ett motsvarande spårtaxinät i Vetenskapsstaden i Stockholm¹⁶ – d.v.s. området kring Stockholms universitet, Kungl. Tekniska Högskolan, Handelshögskolan och Karolinska Institutet – där cirka 85 000 personer kommer att

¹⁵ "Vision SkyCab i Sigtuna kommun - En beskrivning och analys med illustrationer av ett nytt, användarvänligt och automatiskt trafiksystem -SkyCab®- på Arlanda flygplats och i det omgivande samhället Märsta/Arlandastad på uppdrag av Sigtuna kommun, Luftfartsverket och Arlandastad. Stockholm, januari 2000.

¹⁶ "Ökad tillgänglighet till och positiv utveckling av Vetenskapsstaden med SkyCab". SkyCab AB, juli 2002

arbeta, kan enligt en fallstudie år 2015 locka mellan 4,6-13 miljoner personresor per år beroende på hur stor andel av kollektivtrafikresandet som spår-taxi antas få. Den totala genomsnittliga restiden i hela bannätet exklusive gångtid skulle vara 3-4 minuter.

Morgantown PRT, West Virginia

I staden Morgantown¹⁷ i West Virginia, USA, finns till skillnad från de ovan citerade konceptstudierna erfarenheter av ett spår-taxiliknande system som har varit i praktisk drift sedan mitten av 1970-talet. Egentligen är det ett spårbussystem, GRT (Group Rapid Transit) eftersom vagnarna har plats för 8 sittande och 13 stående. Men det opereras anropsstyrt och har stationer på sidospår. Systemet har en banlängd av 14 km, har 5 stationer och trafikeras med 71 vagnar. Systemet körs anropsstyrt med 15 sekunders turtäthet som tätast.

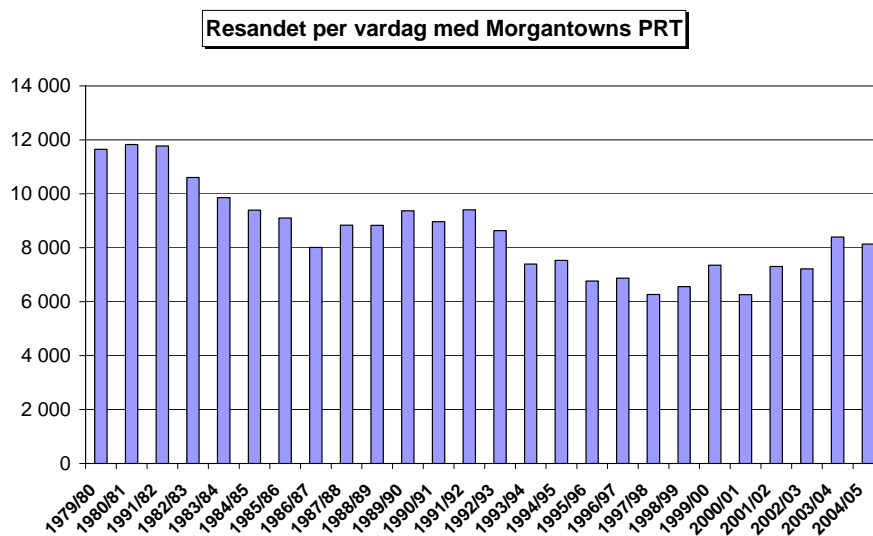


Antalet resor med Morgantown PRT har varierat under de ca 30 år som systemet har varit i drift. I

Figur 41 visas resandet från 1979/80 till och med 2004/05:

¹⁷ "Morgantown People Mover - an updated Description. http://www.cities21.org/morgantown_TRB_111504.pdf, Steve Raney & Stan Young.

Figur 41. Resandet per vardag med Morgantown "PRT"

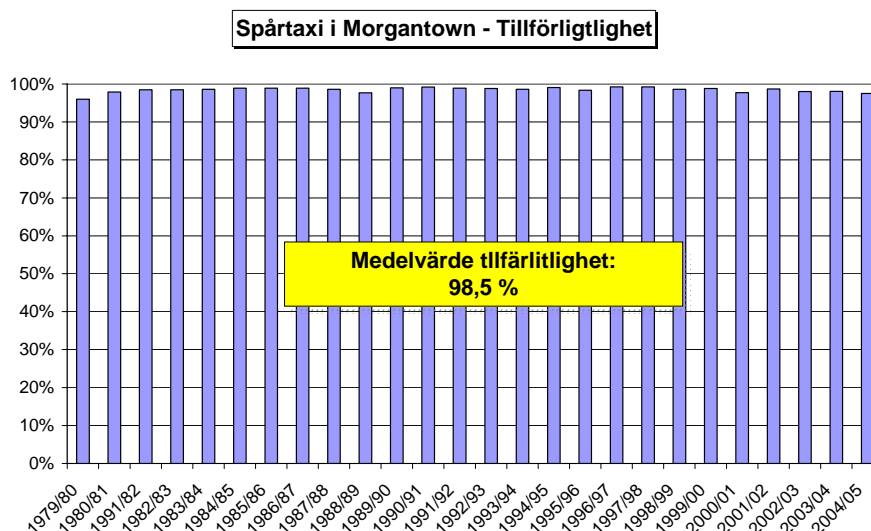


Resandet har minskat från ca 12 000 dagliga passagerare omkring år 1980 till drygt 6 000 i slutet av 1990-talet. Efter en uppgradering och modernisering av styr- och reglersystemet har åter ökat upp till ca 8 000 dagliga resenärer. Morgantown har totalt ca 30 000 invånare, 19 000 studenter och universitetet, som äger och driver banan, har ca 7 500 anställda. En grov uppskattning av kollektivandelen pekar mot att den minst torde uppgå till 10 %, vilket kan jämföras med ca 3 % som ett medelvärde för amerikanska stadsregioner.

Systemet har varit i drift i 30 år utan en enda dödsolycka och det har uppvisat en sällsynt hög driftsäkerhet, vilket visas av

Figur 42 nedan:

Figur 42. Morgantown "PRT":s driftsäkerhet

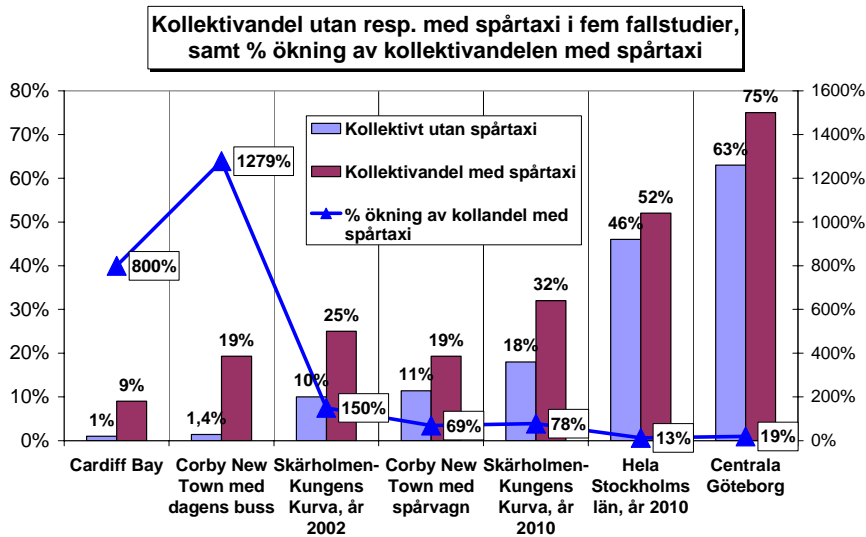


I genomsnitt har driftsäkerheten (mätt som andel genomförda turer av antalet beställda) uppgått till 98,5 %, vilket är en osedvanligt bra statistik.

Slutsatser om färdmedelsval

Effekten på kollektivandelen av spårtaxi är i hög grad beroende på kollektivandelens storlek i utgångsläget, samt på spårtaxinätets omfattning. Den procentuella ökningen av kollektivandelen kommer därför att variera från 13 % (i hela Stockholms län) till 1279 % i Corby New Town, där bussandelen bara uppgår till 1,4 % i utgångsläget.

Figur 43. Kollektivandelen utan resp. med spårtaxi i fem fallstudier



I Cardiff Bay med korta gångavstånd och en hög andel fotgängare samt med ett relativt begränsat spårtaxinät (ca 8 km), ökar kollektivandelen från blygsamma 1 % till 9 % (d.v.s. med 800 %).

I Corby New Town är den intressanta jämförelsen knappast mellan dagens buss och spårtaxi, utan snarare mellan ett föreslaget spårvägsnät och ett spårtaxinät, till samma investeringskostnad. Då blir kollektivandelen med spårvagn 11 % och med spårtaxi 19 %, d.v.s. en ökning av kollektivandelen med närmare 70 %.

I Kungens Kurva, med 6-8 busslinjer är kollektivandelen i dag enbart ca 5 %. I Stråket Skärholmen Kungens kurva uppgår den till 10 % i utgångsläget, samt beräknas till 18 % år 2010 enligt RUFs. Med spårtaxi ökar kollektivandelen i utgångsläget 2,5 gånger till ca 25 %, och i framtiden, med tätare turtäthet på tunnelbanan, från 18 % 32 %. Detta motsvarar ökning på 150 % respektive 78 % med spårtaxi.

Med ett hypotetiskt spårtaxinät i hela Stockholms län (med ca 1 800 stationer), kan kollektivandelen år 2010 förväntas öka från 46 % till 52 %, eller med 13 %.

I centrala Göteborg, skulle kollektivandelen på liknande sätt öka med 19 % från 63 % till 75 % i högtrafiktid med ett spårtaxinät.

Ett intressant resultat från en studie av spårtaxi i hela Göteborgsområdet, är att spårtaxi i alla stadsdelar skulle minska biltrafiken med 4 % i regionen, men hela 32 % i centrala Göteborg. Men 4 % av hela regionens biltrafik, innebär mycket fler överflyttade bilresor än de 32 % av enbart centrums biltrafik.

4.2 GTS bidrar till ett jämställt och tillgängligt transportsystem

Barn, ungdomar, kvinnor, pensionärer och rörelsehindrade är idag i hög grad hänvisade till kollektivtrafiken, eftersom de i mindre utsträckning än (medelålders) män har tillgång till personbil och körkort. Kollektivtrafiken erbjuder dock i dagens utformning mindre flexibilitet än privatbilen genom bristen på regionala tvärförbindelser, genom att bussar och spårvagnar endast går i smala korridorer, är tidtabellsbundna, har gles turtäthet, samt låg medelhastighet dörr-till-dörr (genom många mellanliggande hållplatsstopp med tillhörande acceleration och retardation) och genom att ofta i högtrafiktid ej ha tillräckligt med sittplatser.

Med spårtaxi kan flera av dessa nackdelar motverkas. Spårtaxi dras i slingor runt aktivitetscentra, och alla idag ”mobilitetssvaga” grupper kan då börja färdas över hela ytor. Resenären kan resa när denne så önskar utan att vara beroende av tidtabell vilket förbättrar tillgängligheten. Medelhastigheten blir högre, genom att alla mellanstationer ligger på sidospår. Alla får också sittplats i spårtaxi. Rörelsehindrade kan färdas med rullstol direkt in vagnen.

En av de viktigaste faktorerna för kollektivtrafikens attraktivitet är resenärerernas upplevelse av trygghet. Trygghet är också en av de faktorer som oftast omnämns som viktig i kundundersökningar inom kollektivtrafiken.

Kvinnor upplever oftare otrygghet i kollektivtrafiken än män och tar oftare upp den aspekten som viktig också i de studier som är inriktade på komfort i

kollektivtrafiken. Äldre människor uppvisar starkare upplevelser av otrygghet än yngre¹⁸.

Även bland män finns dock otrygghet och rädsla för att utsättas för hotfulla och våldsamma situationer i samband med kollektivtrafikresor. Yngre män är en riskgrupp som i högre grad än genomsnittet riskerar att utsättas för våld i kollektivtrafiken, särskilt i storstadsområdena.

Fler människor - personal och andra resenärer - synliga vid stationer, hållplatser, på väg till och från dessa samt ombord på kollektivtrafiken ger en ökad känsla av trygghet i och med att sannolikheten då ökar för att det ska finnas vittnen och hjälp att tillgå vid hotfulla situationer. Samtidigt finns här en motsägelse i att trängsel i kollektivtrafiken också kan bidra till obehag och otrygghet.

Det visar sig i flera av studierna att otrygghet i kollektivtrafiken i stor utsträckning orsakas av rädsla och oro för andra resenärer och deras beteenden. Trängsel uppfattas som obehagligt intrång i den privata sfären och kvinnor känner vid sådana tillfällen oro för att utsättas för sexuella trakasserier t.ex.

I detta sammanhang har spårtaxi visat sig vara en framkomlig lösning¹⁹. Frågeställningar som ofta kommer upp när automatiska bansystem diskuteras runt om i världen är att frånvaron av förare orsakar oro och rädsla bland resenärer och potentiella kunder, samt att passagerarna blir utlämnade att klara sig själva i händelse av tillbud eller incidenter. Men forskning pekar på att automatiska bansystem för persontransporter i praktiken upplevs som säkrare, då resenärernas upplevelser av säkerhet är relaterade till människor och inte till teknik.

Forskningen om trygghet i kollektivtrafiken visar att resenärerna är rädda för okända personer²⁰. Ett flertal studier visar att resenärerna trots information och upplysning vanligtvis inte vet att fordonen är förarlösa. Detta gäller i system med stora (t ex i Paris) eller medelstora (t ex förarlöst tunnelbane-

¹⁸ Dickinson, Joanna: Trygghet i kollektivtrafik. En forskningssammanställning. Transek AB 2002.

¹⁹ Börjesson, Mats & Peterson Bo E: Resenärernas upplevelser av automatiska bansystem KFB Rapport 1999:21.

²⁰ Dickinson, Joanna: Trygghet i kollektivtrafik. En forskningssammanställning. Transek AB 2002.

system i Lille) vagnar. Resenärerna i Lille upplevde att det kändes tryggare med personal som rörde sig oregelbundet i systemet och kan dyka upp när som helst än med förare. I spårtaxi och andra system med små vagnar reser man ofta ensam i vagnen och där har oron för andra resenärer visat sig minska.

Detta innebär sammanfattningsvis att spårtaxi är ett innovativt nytt trafiksystem som i hög grad kommer att befrämja jämställdheten mellan könen i transportsystemet, men också öka jämlikheten mellan resenärer i olika åldersgrupper, och med olika grad av rörelseförmåga.

4.3 GTS medför minskad miljöpåverkan i transportsystemet

Spårtaxisystem har stora fördelar ur miljösynpunkt. Alla spårtaxisystem drivs av el (antingen i form av batteridrift, eller med rotations- eller linjärmotorer) och ger inga lokala emissioner av avgaser.

Spårtaxisystemen har ett datastyrt och optimerat styr- och säkerhetssystem. Trafik som är optimerad är mer miljövänlig än trafik med stillastående köer. Vagnen kan snabbt accelerera upp i lämplig fart. Hastigheten hålls sedan jämn. Detta minskar energiförbrukningen. Vagnen har inte heller någon tomgångskörning; Om vagnarna körs med pneumatiska hjul kan rätt lufttryck i gummi hjulen ständigt upprätthållas för att inte öka energiförbrukningen.

Spårtaxi har också lägre bullernivåer än andra motordrivna och spårburna färdmedel. ULTra-fordonen som analyserades i den brittiska Corby-studien är t ex mycket tystare än snabbspårväg eller vägfordon.

Genom att locka över resor från bil skulle ULTra i Corby medföra 62 ton minskade utsläpp av kolmonoxid, 5 ton mindre kolväten, 10 ton mindre kväveoxider och 1 ton minskade utsläpp av partiklar per år. Minskningen av koldioxidutsläpp skulle uppgå till 3 600 ton enligt den nämnda fallstudien.

4.4 GTS ger en säkrare trafik

Spårtaxi har en inbyggd ”nollvision” vad gäller trafikolyckor. Med separat bana (oftast upphöjd) försvinner alla konflikter med övriga marktransporter (fotgängare, cyklister, bilar, bussar och spårvagnar i gatuplan). Med det s.k.

”brick-wall stop”-kriteriet garanteras att inget spårtaxifordon ska behöva köra in i ett framförvarande fordon som av någon anledning tvingats tvärstanna. Detta ger ca 2 sekunders tidslucka mellan vagnarna i de hastigheter som det här är fråga om i städer.

Om dock 2 sekunders tidslucka skulle ge för låg kapacitet kan man minska tidluckans storlek (öka flödet) med gott samvete eftersom varje person som överförs från biltrafiken till andra trafikformer (undantaget tvåhjuliga fordon) innebär en stor säkerhetsökning. På den andra vagnen i ett tåg – som är större än de fordon vi talar om – tillämpas inget ”brick-wall stop” kriterium. Om första vagnen kör in i en tegelvägg hinner nästa vagn inte stanna.

Att olycksrisken är närmast noll med spårtaxi visas även i praktiken av att det spårtaxiliknande system som finns i drift i Morgantown i West Virginia, inte har haft en enda dödsolycka och inte en enda svårt skadad under de 30 år som systemet har existerat. Under denna tidsrymd²¹ har inte mindre än 58 miljoner passagerare rest med systemet.

4.5 Spårtaxi dämpar bilinnehavet

En särskild studie har genomförts av hur ett högkvalitativt spårtaxisystem kan ha en långsiktig inverkan på bilinnehavet. Studien utgår ifrån en färsk svensk doktorsavhandling²². I en fallstudie har effekten på bilinnehavet av ett planerat trängselavgiftssystem i Stockholm studerats. Huvudresultatet är att en kostnadsökning i form av en tullavgift vid zonpassage på ca 1 euro, 9 SEK, skulle minska det framtida bilinnehavet med 7 %. Antalet invånare som inte äger någon bil skulle öka med 23 %, antalet innehavare av en bil skulle minska med 8 % och antalet invånare som äger 2 bilar eller fler skulle minska med 4 %.

Med de tidsvärden som används i Stockholm (ca 66 SEK per timme) motsvarar en biltull på 9 SEK en ökad upplevd restid på 9 minuter.

²¹ Sedan 1979/1980. Sedan starten år 1975 är det ca 63 miljoner passagerare totalt med Morgantowns ”PRT”

²² Han, Bijun: ”Analyzing Car Ownership and Route Choices Using Discrete Choice Models”. KTH, Stockholm, Sweden.

Som ett exempel skulle en typisk resa från centrala Stockholms innerstad till Kungens Kurva med tunnelbana samt spårtaxi resultera i en restidsbesparing på 17 minuter eller 26 % i generaliserad restid. Motsvarande effekt på bilinnehav skulle kunna vara en reduktion av antalet bilar med 13 %. Modellerna som dessa beräkningar baseras på är definierade i termer av generaliserade tillgänglighetsvärden (logsummevariabler). Det går därför att tillämpa resultatet också för generaliserade restidsminskningar. Resultatet stämmer även överens med europeiska erfarenheter från högklassig kollektivtrafik, som exempelvis snabbspårvägar i tyska, franska och engelska städer, där bilinnehavet har visat sig bli distinkt lägre (och i samma storleksordning) i sådana korridorer²³.

Sålunda kan ett högkvalitativt kollektivtrafiksystem såsom spårtaxi ha en betydande effekt vad gäller bilinnehavet, både för hushåll med en bil och hushåll med två bilar eller fler. Förklaringen är att spårtaxi erbjuder ett högkvalitativt alternativ som ger en tillräckligt god möjlighet och attraktivt incitament för resenärerna att byta färdmedel från bil till spårtaxi.

4.6 Intrångseffekter med GTS

Inledning

Alla effekter av ett GTS-system fångas inte i de samhällsekonomiska kalkyler som görs eller gjorts. Den ”verkliga” nyttan både kan över- och understiga kalkylresultatet. En sådan effekt är det som i vid bemärkelse kallas ”intrångseffekter”. Intrångseffekter är ett samlande begrepp för barriäreffekter (dvs. ändrad tillgänglighet för gångtrafikanter, cyklister och djur), buller, visuellt intrång (exempelvis ändrad stadsbild) och markintrång vid naturområden (exempelvis parker, vattendrag och strövområden) samt markintrång vid mark som har ett marknadspris.

Frågan i vilken utsträckning som intrånget från ett spårtaxi/GTS-system ger upphov till ett stort eller litet problem, torde kunna delas upp i två komponenter:

²³ ”Economic Impact of Light Rail- The Results of 15 Urban Areas in France, Germany, UK and North America. Bergische Universität Wuppertal, Fachzentrum Verkehr, and Environmental Transport Planning. Carmen Hass-Klau, HGramaham Crampton och Rabia Benjari.

- Ett objektiva enkelt mätbart problem
- Ett subjektivt upplevt (men inte desto mindre mätbart) problem

Intrång kan diskuteras ur två perspektiv. Frågan om i vilken mån spårtaxi/GTS-system förorsakar ett större eller mindre intrång än dagens system torde vara av större intresse än frågan om ”absolutvärdet” av intrånget.

Barriäreffekter

Alla dagens trafiksystem: gång- och cykelbanor, gator och vägar, spårvägar, tunnelbanor och pendeltåg i markplanet ger upphov till barriäreffekter. Dessa element av infrastruktur hindrar fotgängare och cyklister, respektive bilar och bussar att färdas kortaste vägen mellan två punkter. Spårtaxi och GTS-system ger upphov till väsentligt mindre barriäreffekter, genom att det endast är pelarna som bär upp högbanan som tar mark i anspråk. Exempelvis har ULTra-systemets pelare (0,7 meter i diameter) placeras med ca 18 meters mellanrum, i syfte att minimera intrångseffekten.

Buller

Även bullret är lägre från spårtaxifordon än från bilar, bussar och spårvagnar. Vid 2,5 meters avstånd från exempelvis det batteridrivna ULTra-fordonet uppgår den uppmätta bullernivån till 43 dBA, vilket innebär att bullret från dessa spårtaxifordon blir svårt att särskilja från bakgrundsbullret i staden. Denna bullernivå kan jämföras med 70-80 dBA för vägfordon.

Visuellt intrång

De visuella intrångseffekterna av spårtaxi kan vara både positiva och negativa. Det finns ett flertal svenska studier av det visuella intrånget av spårtaxi, bl.a. från Göteborg, Gävle, Stockholm-Kista och Kungens Kurva, samt från Cardiff i Wales.

I en stadsbildsstudie för Gävle²⁴ visade Peter Kautzky att: ”en spårtaxibana utformad som en hög-bana medför betydande visuella intrång i stads-bilden. Största visuella intrånget erhålles av stationer, banbalk och vagnar i rörelse ovanpå banbalken. Banans effekter i form av bullerstörningar och barriärer är små. För att begränsa det visuella intrånget har eftersträövats en omsorgsfull, luftig och enhetlig gestaltning av pelare, banbalk, stationer och vagnar anpassat till Gävles stadsmiljö. Där det är möjligt anpassas gatumiljön till banan med olika förbättringsåtgärder”.



I Kista-studien²⁵ genomfördes en SP-studie med kompletterande attitydfrågor av typen: ”Jag är ointresserad av spårtaxi, då det förfular stadsbilden!” Svaren fördelade sig på följande sätt:

- Instämmer helt eller delvis: 27 %
- Tar helt eller delvis avstånd: 37 %
- Varken eller: 36 %

Frågan gällde stadsmiljön mellan Barkarby pendeltågsstation och Kista Centrum. Där var det således bara ca en fjärdedel som upplevde intrånget som negativt. Det är dock viktigt att ha i åtanke att detta resultat är starkt situationsbetingat, vilket även framkom tydligt i Göteborgsstudien.

I en spårtaxistudie inom ramen för EDICT-projektet från Cardiff²⁶ noteras såväl positiva som negativa synpunkter på det visuella intrånget av spårtaxi:

²⁴ *Studie Av Spårtaxi I Gävle*, Stadsbildsstudie, 1994, 47 pp., ISBN 91-88370-93-3; ISSN 0282-8014. Författare: Peter Kautzky, FFNS Arkitekter, Björn Holmquist, Gävles Stadsarkitektkontor.

²⁵ KFB-rapport 1999:4

²⁶ European Commission, DG Research, 5th Framework Programme, Key Action: ”City of Tomorrow and Cultural Heritage”, EDICT Cardiff Demonstration Report, Deliverable 8; June 2004.

Positiv syn på intrånget:

“PRT provides a form of public transport which is more attractive to car users than conventional public transport because of the lack of waiting, the non-stop travel, and the private environment. To the extent that it attracts more people from car use it reduces exhaust emissions to the environment, the noise of street traffic, and the visual intrusion and general nuisance of traffic and traffic congestion”.

Negativ syn på intrånget:

“As noted above, much of the guideway (80%) is elevated, and there will be unavoidable problems of visual intrusion, but these have been minimised by the small scale of the infrastructure and careful design, and will be far less severe than with other forms of tracked public transport. The elevated guideway is only 45 cms deep, and supported on 70 cm diameter pillars at 17m spans, so in many locations it will be unobtrusive and acceptable visually. In some aspects the system will add positively to the cityscape, creating an exciting and dynamic addition, especially where it can be integrated directly into new development”.

Vid en mock-up version av Spårtaxi (ULTra) i ett köpcentrum i Bristol framkom det att allmänheten, precis som i Cardiff, hade synpunkter på högbana (visuellt och för passagerarna). Färre än 5 % intog dock en negativ attityd. Sjuttio procent av de tillfrågade, hävdade att de skulle använda sig av systemet flera gånger i veckan och ytterligare 20 % flera gånger per månad²⁷.

I Kungens Kurva-studien av spårtaxi²⁸ framkom det i en separat studie en stark användaracceptans för spårtaxi vid Kungens Kurva:

I oktober 2003 genomfördes tre fokusgruppdiskussioner för att studera potentiella resenärers attityder, acceptans och betalningsvilja till en taxibana i Kungens Kurva. Totalt deltog 28 personer som ofta besöker Kungens Kurva och reser dit med olika färdmedel. En typisk kommentar från fokusgruppdiskussionerna var: ”Visuellt intrång är inget problem – spårtaxi är snarare en positiv visuell upplevelse”:

- ”Det är kul att åka en våning upp”.
- ”Vagnarna såg lite läckra ut, lite science fiction. Barnen kommer att gilla det tror jag.”

²⁷ European Commission, DG Research, 5th Framework Programme, Key Action: “City of Tomorrow and Cultural Heritage”, EDICT Cardiff Site Assessment Report, Deliverable 6; June 2004.

²⁸ ”Sammanfattning EDICT”. Transek PM 2004-09-03.

En slutsats som dras av dessa olika iakttagelser beträffande intrånget med spårtaxi är att spårtaxi ger betydligt mindre intrång än de traditionella trafiksystemen vad avser barriäreffekter och buller. När det gäller det visuella intrånget med spårtaxi kan det vara såväl positivt som negativt. Graden av intrång är mycket situationsbetingat beroende på den specifika stadsmiljön där högbanan dras fram och hur det tekniska systemet utformas i detalj.

I nybyggnadsområden, förorter och i särskilda miljöer (t.ex. stormarknader, mässområden, flygplatser o.d.) är intrånget troligtvis inget större problem; där kan spårtaxi snarare ses som ett positivt tillskott till stadsbilden. I äldre befintliga innerstadsmiljöer, som exempelvis Gamla Stan i Stockholm är det däremot säkerligen en negativ faktor, som kan upplevas som ett störande inslag. I sådana miljöer blir det viktigt att ta vederbörlig hänsyn till stadsbilden, exempelvis genom att förlägga vissa spårtaxisträckor i tunnällage.

Det finns även samhällsvetenskapliga metoder för att värdera dessa intrångseffekter, se exempelvis: ”Trafiksystemens intrång i boendemiljöer - värdering av god miljö i pengar”²⁹ och ”Stadsutvecklingseffekter av Södra länken – En samhällsekonomisk fallstudie”³⁰.

²⁹ Transek-rapport 2001, på uppdrag av KFB, Vägverket och Banverket.

³⁰ Transek rapport 2005:2, på uppdrag av Vägverket region Stockholm.

4.7 Samhällsekonomisk lönsamhet med GTS

Inledning

I detta avsnitt går vi igenom de samhällsekonomiska kalkyler som gjorts för spårtaxiinvesteringar i Göteborg, Gävle, Kista, Kungens kurva och Cardiff. Orsaken till att just dessa studier har valts är att dessa fem (oss veterligen) är det fåtal studier för vilka det föreligger samhällsekonomiska kalkyler av spårtaxi.

Den teoretiska grunden för de samhällsekonomiska analyserna hämtas från en gren inom nationalekonomin som kallas välfärdsekonomi. Ett viktigt antagande brukar kallas ”Kaldor-Hickskriteriet” och innebär att en förändring är lönsam om de som vinner på en åtgärd hypotetiskt kan kompensera de som förlorar på åtgärden och ändå ha det minst lika bra som tidigare. En annan viktig utgångspunkt är att man utgår från medborgarnas preferenser (till skillnad från exempelvis multikriterieanalys som utgår från beslutsfattarnas preferenser) och att preferenserna mäts genom betalningsvilja.

Även om den teoretiska grunden är densamma för alla analyser skiljer sig metoderna och värderingarna som använts något åt då studierna är gjorda i olika länder, vid olika tidpunkter och av olika utredare. Vi kommenterar hur respektive beräkning skiljer sig från ASEK:s³¹ rekommendationer och den kalkylmetodik som tillämpas av SIKA och de svenska trafikverken. Alla kostnader och nyttor som presenteras är summerade för hela kalkylperioden och diskonterade till ett år i början av perioden.

En viktig metodfråga när man beräknar nyttan av spårtaxiinvesteringar är hur man beräknar konsumentöverskott, vi behandlar därför denna fråga lite djupare i bilaga 2 (för den metodintresserade läsaren).

I en samhällsekonomisk analys ska alla effekter och alla människor beaktas (till skillnad från exempelvis en företagsekonomisk analys där enbart effek-

³¹ ASEK (Arbetsgruppen för samhällsekonomiska kalkyler) ger rekommendationer om värderingar för samhällsekonomiska kalkyler. Arbetsgruppen leds av SIKA. De i skrivande stund gällande rekommendationerna finns i SIKA pm 2005:16.

terna för företaget inkluderas). Alla effekter går dock inte att kvantifiera och värdera. Man brukar därför skilja på samhällsekonomiska kalkyler (där endast de effekter som har gått att kvantifiera och värdera tagits med) och samhällsekonomiska analyser/bedömningar (där alla effekter tas med, om än med vissa bara kvalitativt beskrivna). De utredningar som vi går igenom i detta kapitel är av kategorin samhällsekonomiska kalkyler, varför vi för att kunna uttala oss om spårtaxiinvesteringars samhällsekonomiska lönsamhet måste resonera om de faktorer som utelämnats. Dessa resonemang, tillsammans med övergripande slutsatser från studierna, tas avslutningsvis i detta kapitel.

Göteborg

Resultaten från Göteborgsstudien³² sammanfattas i tabell 1 nedan.

Tabell 5: Samhällsekonomiska effekter av spårtaxi i Göteborg.

Effekt	mkr
Ökade biljettintäkter	149
Restidsvinster	180
Externa effekter (ej internaliserade)	25
Investeringskostnad	192
Drift och underhåll	111
Dödsviktsförlust (skattefaktor 2)	46
Nettonuvärdeskvot	0,02

Nettonuvärdeskvoten beräknas som (nytta-kostnad)/kostnad. En nettonuvärdeskvot på 0,02 innebär att nyttorna är marginellt större än kostnaderna. Restidsvinster är den klart dominerande nyttoposten. Dessa fördelar sig på arbetsresor (83 mkr), skolresor (21 mkr) och övriga resor (76) mkr. Då det ökade resandet bedöms få stora effekter på biljettförsäljningen är ökningen av biljettintäkterna större än ökningen i drift- och underhållskostnader. Minskningen av biltrafikens externa effekter blir betydande. Observera att minskningen av skatteintäkter måste dras av, endast minskningen av icke internaliserade externa effekter blir en pluspost i kalkylen. Kalkylen får

³² "Are Personal Rapid Transit Systems Socially Profitable? Olof Johansson, Nationalekonomiska institutionen, Göteborgs universitet.

generellt sägas vara konservativ och gjord enligt ASEK-rekommendationerna. Inga tillägg för ökad bekvämlighet har gjorts, vilket är vanligt i kollektivtrafikstudier. Inte heller har tillägg gjorts för exploateringseffekter av frigjord mark, vilket ofta kan vara betydande nyttor vid spårtaxiinvesteringar.

Kungens kurva

Då studien är gjord inom EDICT-arbetet³³ är den kalkyl som presenteras i rapporten gjord med EDICT-värderingar. Vi presenterar istället här motsvarande kalkyl gjord med svenska värderingar.

Tabell 6. Samhällsekonomiska effekter av spårtaxi i Kungens kurva.

Effekt	mkr
Restidsvinster	1 533,9
Komfort	83,8
Förbättrad luftkvalité	25,5
Trafiksäkerhet	102,5
Minskad markparkering	134,7
Investeringskostnad	511,0
Drift- och underhåll	467,7
Kostnader för parkeringshus	93,6
Nettonuvärdeskvot	0,43

Kalkylen visar på klar samhällsekonomisk lönsamhet. Även här är restidsvinster den klart dominerande nyttan. 57 procent av restidsvinsterna tillkommer människor som tidigare reste med annan kollektivtrafik, 43 procent tillkommer tidigare bilresenärer. Den näst största nyttan är minskade externa effekter från biltrafiken, dvs. färre olyckor och mindre utsläpp (denna post skulle minska något om minskade skatteintäkter drogs av).

Markvärdena beräknas öka på grund av minskad markparkering med 135 Mkr. Denna ökning av markvärden äts dock till 70 % upp av kostnaderna för att bygga parkeringshus i ytterkanterna. Till skillnad från Göteborgsstudien värderas här komfortvinsterna av spårtaxi. Däremot görs det mycket konser-

³³ European Commission, DG Research, 5th Framework Programme, Key Action: "City of Tomorrow and Cultural Heritage", EDICT Huddinge Site Assessment Report, June 2004 (Ed: G Tegnér, I. Andréasson, N.E. Selin)..

vativa antagandet att resandeökningen inte leder till ökade biljettintäkter (jämför med Göteborgsstudien där ökningen i biljettintäkter beräknades vara större än kostnaden för drift- och underhåll). Om man beräknar att ökat resande leder till ökade biljettintäkter ska detta tas upp som en pluspost i kalkylen, även om biljettintäkter i sig endast är en transferering mellan resenärer och operatörer (biljettpriset motsvaras av en nytta för resenären, det ligger på ekonomspråk ”under efterfrågekurvan”).

Kista

I studien över ett spårtaxinät i Kista³⁴ med omnejd presenteras kalkyler med fyra olika spårtaxikoncept. Det som skiljer koncepten är investerings- och driftkostnaderna, nyttosidan av kalkylen antas vara densamma. Till skillnad från de tidigare studierna uttrycks effekterna i miljoner kronor per år (istället för summerat och diskonterat).

Tabell 7. Samhällsekonomiska effekter av spårtaxi i Kista.³⁵

Effekt, mkr per år	SkyCab	FlyWay	Raytheons PRT2000	Rayth. utan utvecklings- kostnader
Anläggningskostnader	37	63	152	116
Driftkostnader	73	81	133	106
Skattefaktor I	25	33	65	51
Skattefaktor II	40	53	105	82
Restid			145	
Trafiksäkerhet			35	
Komfort			42	
Hälsa och miljö			16	
Biljettintäkter			26	
Trängsel biltrafik			17	
Nettonuvärdeskvot	0,6	0,2	-0,6	-0,2

³⁴ KFB-rapport 1999:4: ”Spårtaxi – Ett effektivt och hållbart trafiksystem - Analyser av en pilotbana i Stockholm – marknad och ekonomi”. G.Tegnér, J. Henningsson, V. Loncar-Lucassi, G.Lind, Transek AB, I.Andréasson, LogistikCentrum AB.

³⁵ Denna beräkning presenteras som en känslighetsanalys i rapporten. Huvudkalkylen är gjord med uppräknade värderingar över tiden. Även om detta torde vara mer korrekt än att inte justera nyttorna för ändrade inkomster så presenterar vi denna kalkyl utan uppräknade värden. Detta då de andra kalkylerna är gjorda på det sättet och ASEK inte rekommenderar uppräknade värden.

Föga förvånande blir systemen mer samhällsekonomiskt lönsamma ju billigare de är. Det billigaste systemet, SkyCab, är lönsamt medan det dyraste systemet, Raytheons PRT2000, är olönsamt (särskilt om man inkluderar utvecklingskostnaderna).

I likhet med de tidigare studierna är restidsvinster den dominerande nyttoposten, följt av minskning av biltrafikens externa effekter. I denna analys har man, förutom trafiksäkerhet och miljö, även inkluderat minskad trängsel i biltrafiken. Denna effekt är helt korrekt att inkludera, anledningen till att den inte inkluderats i de tidigare studierna är att den är svår att beräkna.

Cardiff

Denna studie från Cardiff³⁶ är gjord enligt Storbritanniens transportdepartements rekommendationer. De rekommenderade värderingarna skiljer sig främst från ASEK:s rekommendationer när det gäller kalkylperiod och diskonteringsränta. Den brittiska ränterekommendationen är högre (6 % istället för som i Sverige 4 procent) och kalkylperioden kortare (30 istället för 40 år), vilket drar ned lönsamheten. De brittiska ”skattefaktorerna” är inte lika höga som i Sverige (vilket drar upp lönsamheten). I Storbritannien värderas inte utsläpp varför denna post faller bort ur kalkylen. Att göra en djupare analys av hur kalkylmetodikerna skiljer sig mellan Sverige och Storbritannien har inte varit möjligt i denna studie. Resultaten visas i Tabell 8 nedan:

Tabell 8. Samhällsekonomiska effekter av spårtaxi i Cardiff.

Effekt	miljoner euro
Investeringskostnad	68
Driftkostnad	49
Biljettintäkter	105
Restid	122
Minskad trängsel i vägtrafiken	52
Energibesparing	23
Trafiksäkerhet	16
Nettonuvärdeskvot	2,9

³⁶ European Commission, DG Research, 5th Framework Programme, Key Action: “City of Tomorrow and Cultural Heritage”, EDICT Cardiff Site Assessment Report, Deliverable 6; June 2004.

Som synes är spårtaxiinvesteringen i Cardiff kraftigt samhällsekonomiskt lönsam, den ger tillbaka ungefär 4 kronor på varje satsad krona.

Att värdera energibesparingen separat torde leda till att den dubbelräknas då den ingår i driftskostnaden, att ta bort denna post påverkar dock endast nettovärdeskvoten marginellt.

Gävle

Gävlestudien³⁷ skiljer sig från de övriga studierna genom att inget försök görs att beräkna resandet med spårtaxi. Istället beskrivs konsekvenserna om fyra olika resandenivåer uppnås, bedömningen om vilken av dessa nivåer som är rimlig överlämnas till läsaren. De olika resandenivåerna effektberäknas med två olika taxor (valet av taxa antas inte påverka resandet).

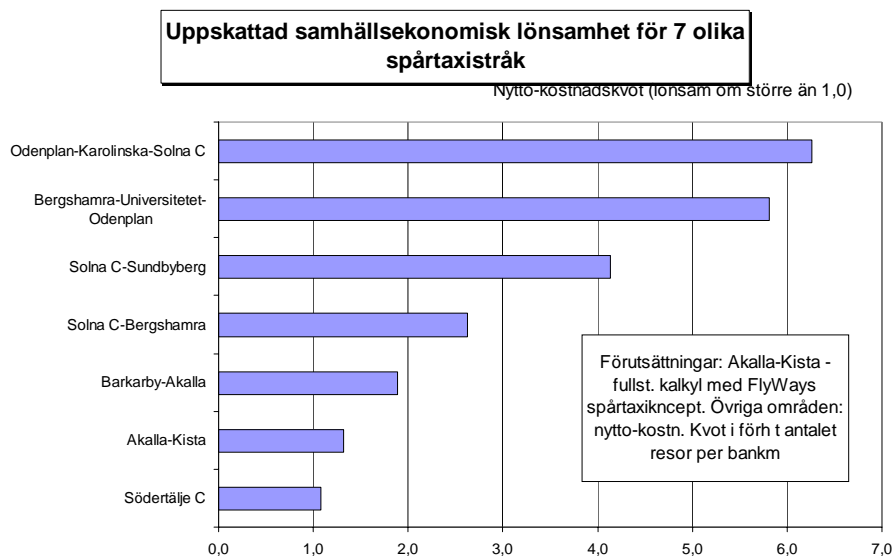
Huvudslutsatsen är att spårtaxiinvesteringen blir samhällsekonomiskt lönsam om den leder till att 15 procent av bilisterna (oklart vilka bilister som avses) övergår till spårtaxi. De 15 procentens överflyttning skulle innebära att kollektivtrafikresandet i Gävle ökar med 125 procent. Beräkningen är gjord givet en prognos om autonom trafik tillväxt, det vill säga den trafik tillväxt som sker även utan infrastrukturinvesteringar.

Lönsamhet i olika områden i Stockholmsregionen

I Kistastudien undersökte man huruvida det finns andra områden i stockholmsregionen där spårtaxinät kan bli samhällsekonomiskt lönsamma. Som en grov indikation gjordes schablonmässiga uppskattningar av den samhällsekonomiska lönsamheten med hjälp av måttet ”antalet passagerare per maxtimme och bankilometer”. Detta bygger på att trafikantnyttan är proportionell mot antalet resenärer och att kostnaden är proportionell mot banlängden. Resultatet redovisas i Figur 44 nedan.

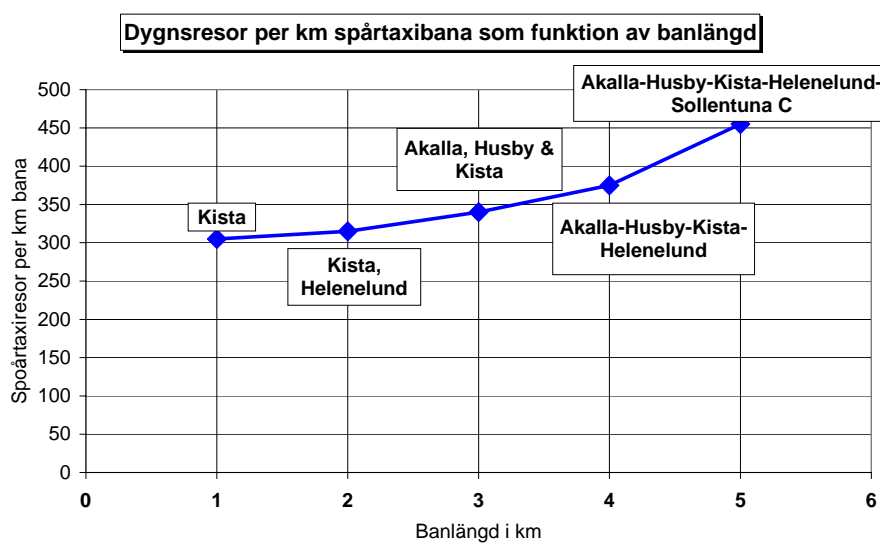
³⁷ Studier av spårtaxi i Gävle. KFB och Gävle Stad. Delrapporter 1992-1995.

Figur 44. Uppskattad samhällsekonomisk lönsamhet för olika spårtaxistråk



Figuren visar att det finns åtminstone sex andra stråk/områden med en indikativt hög samhällsekonomisk lönsamhet – alla täta områden i regionens centralare delar. Sambandet mellan spårtaxiefterfrågans storlek och banlängden visas i nedanstående figur (som är härledd ur Kistastudien):

Figur 45. Samband mellan resefterfrågan på spårtaxi och banlängd

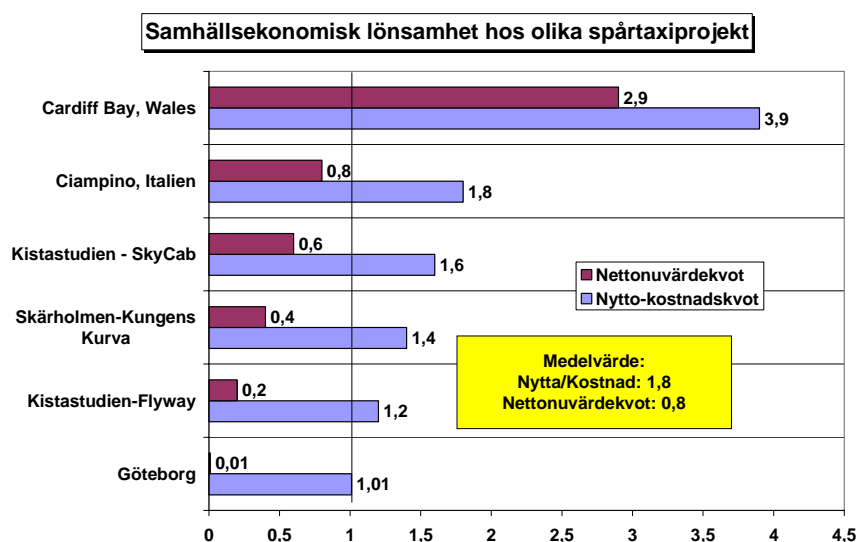


Figur 45 visar att efterfrågan på spårtaxiresor per kilometer bana växer med 50 % när banlängden ökar från 9 till 28 kilometer (elasticitet: 0,23). Det finns således uppenbara stordriftsfördelar med spårtaxi på grund av dess nätverksegenskaper.

Slutsatser

De studier som har gjorts visar att de studerade spårtaxiprojekten har en samhällsnytta som överstiger kostnaderna:

Figur 46. Samhällsekonomisk lönsamhet vid olika spårtaxiprojekt³⁸



Två faktorer som har stor betydelse för lönsamheten är naturligtvis kostnaden (som behandlas i kapitel 2) och hur resandet påverkas (vilket behandlas i kapitel 4.1). Nyttorna som uppkommer av spårtaxiinvesteringar är främst restidsvinster. Efter tidsvinster är den största nyttan minskning av biltrafikens externa effekter; utsläpp, olyckor och trängsel.

Det är dock viktigt att poängtera att alla effekter av projekten inte fångas i nettonuvärdeskvoten. En sådan effekt är det som i vid bemärkelse kallas ”intrångseffekter”. Intrångseffekter är ett samlande begrepp för barriär-

³⁸ Vi har inte tillgång till själva studien från Ciampino, endast nettonuvärdeskvoten.

effekter (dvs. ändrad tillgänglighet för gångtrafikanter, cyklister och djur), buller, visuellt intrång (exempelvis ändrad stadsbild) och markintrång. Markintrång kan delas upp i exploateringseffekter (mark som har ett marknadspris) och markintrång vid naturområden (exempelvis parker, vattendrag och strövområden).

Som beskrivs i avsnitt 4.6 kan intrångseffekter vara både positiva och negativa. Spårtaxiinvesteringar leder ofta till minskat markintrång, främst genom att mark frigörs på grund av den minskade biltrafiken.³⁹ Spårtaxi påverkar även stadsbilden, huruvida denna effekt upplevs som positiv eller negativ varierar från person till person. Det är viktigt att komma ihåg att det är det relativa intrånget som är mest intressant, det vill säga hur intrångseffekterna ser i jämförelse med andra färdmedel.

Något annat som inte fullt ut beaktas i nettonuvärdeskvoten är effekten på arbetsmarknaden av ökad tillgänglighet. Mycket grovt kan man säga att individens nytta av ökad tillgänglighet fångas upp men att effekter som individen inte kan antas beakta inte fångas fullt ut (exempelvis att ökade inkomster ger ökade skatteintäkter och att ökade arbetsmarknadsregioner minskar utsattheten för s.k. asymmetriska chocker).

En ytterligare effekt som inte fångas i en den samhällsekonomiska kalkylen är effekten på transportsystemets sårbarhet. Sårbarhet kan dels ses ur ett systemperspektiv (dvs. övergripande effekter som påverkar systemets funktionalitet), dels ur ett mer vardagligt perspektiv (dvs. förseningar eller restidsfluktuationer). Ur systemperspektivet minskar spårtaxi sårbarheten på grund av riskspridningseffekten (äggen läggs i fler korgar), men spårtaxi kan även öka sårbarheten i vissa avseenden då det tillkommer ytterligare ett system som kan fallera. De samhällsekonomiska effekterna av restidsfluktuationer och förseningar är inte särskilt utforskat för de ”traditionella” transportslagen, än mindre för spårtaxi.

Den samhällsekonomiska kalkylen beaktar inte heller fördelningseffekter, det vill säga vem nyttorna tillkommer, utan ser endast till den totala nyttan. Man kan också uttrycka det som att kalkylen är fullständigt jämställd då alla

³⁹ Däremot ska hushållens kostnader för minskat bilinnehav inte tas upp som en pluspost i kalkylen. Detta är visserligen en samhällsekonomisk vinst men nyttan mäts på den marknad som åtgärden sker (dvs. på spårtaxi/kollektivtrafikmarknaden).

resenärers tidsvinster mm. tillmäts samma värde, givet ärende och färdmedel.

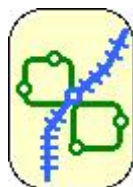
Sammanfattningsvis torde många spårtaxiinvesteringar vara samhällsekonomiskt lönsamma men de måste, på motsvarande sätt som väg- och järnvägsinvesteringar, bedömas från fall till fall. På samma sätt som man inte kan säga att alla väginvesteringar eller alla järnväginvesteringar är samhällsekonomiskt lönsamma/olönsamma kan man heller inte dra alla spårtaxiinvesteringar över en kam.

Det går dock att uttala sig om vilken typ av GTS-investeringar som är mest samhällsekonomiskt lönsamma. Generellt är GTS-investeringar, i likhet med andra kollektiva färdmedel, allra lönsammast i tätbefolkade områden.

För närvarande saknas det systematisk kunskap om spårtaxisystemens övre kapacitetsgränser - och i ännu högre grad om de mer generella trafiksystemens kapaciteter och samhällsekonomiska lönsamhet. Var går exempelvis gränsen för kostnadseffektivitet för spårtaxi i förhållande till tunnelbana och järnväg?

Dessa frågor bör närmare studeras i en huvudstudie för ett generellt transportsystem.

Klart är dock att i städer som redan har tillgång till ett stomnät av tung spårtrafik som Stockholm med både tunnelbana och pendeltåg, kommer spårtaxi främst att bli ett effektivt komplement som ett matarsystem till dessa spårtrafikmedel.



I andra och mindre städer utan ett existerande stomnät med spårtrafik, kan å andra sidan spårtaxi bli ett effektivt och samhällsekonomiskt lönsamt "stomnät" för hela staden, som ovan visade exempel från Göteborg och Corby New Town har visat på.

4.8 Sammanfattande nyckeltal

I Tabell 9 nedan sammanfattas tre olika typer av nyckeltal för buss, spårväg, tunnelbana, pendeltåg och spårtaxi, samt för privatbil:

Tabell 9. Nyckeltal för sex olika trafiksystem

Nyckeltal	Bil	Buss på	Spårväg	Tunnelbana	Pendeltåg	Spårtaxi
Producenternas kostnad	Motorväg	bef. gata	egen bana	egen bana	egen bana	egen bana
Inv.kostnad bana i ytläge, Mkr/km	250		163	250	250	72
Inv.kostnad bana i tunnel, Mkr/km	1000			1000	1000	
Inv.kostn bana, Mkr/km & år (exkl fordon)	31,6	0,01	7,0	31,6	31,6	3,6
Kapacitetsutnyttjande i %	17%	27%	23%	37%	28%	31%
Kapitalkostnad för fordon/personkm	1,03 kr	0,38 kr	0,80 kr	0,25 kr	0,51 kr	0,32 kr
Driftkostnad/personkilometer	1,12 kr	1,89 kr	2,27 kr	1,47 kr	0,98 kr	1,24 kr
Fordons+driftkostnad i kr/personkm	2,15 kr	2,27 kr	3,07 kr	1,72 kr	1,49 kr	1,56 kr
Resenärernas kostnader	Bil	Buss	Spårväg	Tunnelbana	Pendeltåg	Spårtaxi
Resuppoiffning i minuter/10 km resa	27	70	44	38	57	29
Samhällseffekter	Bil	Buss	Spårväg	Tunnelbana	Pendeltåg	Spårtaxi
Olyckskostnad/personkilometer	0,36 kr	0,02 kr	0,01 kr	0,004 kr	0,01 kr	0,002 kr
Miljöutsläpp, NO _x -ekv. i gr/personkm	3,60	2,24	0,58	0,38	0,48	0,001

Anm. I grönt anges lägsta resp. näst lägsta alt bästa värde.

Först visas producentkostnader för bana och fordon samt driftkostnader. Kostnaderna avser storstadsförhållanden med motorväg och pendeltåg antingen i ytläge eller i tunnelläge. Spårväg avser snabbspårvägen ”Tvärbanan” i Stockholm. För väg har det varit svårt att ange infrastrukturkostnaden per personkilometer.

Den årliga investeringskostnaden per km bana är jämförbar för motorväg, tunnelbana och pendeltåg, ca 30-32 Mkr/km och år. Buss på befintlig gata är av naturliga skäl billig (här avses endast kostnaden för busshållplatser). Buss på egen bana, som Sydtangenten i Amsterdam, kostar ca 50 Mkr per km.

Kapacitetsutnyttjandet för vägnätet i Stockholms län är ca 17 %, medan det uppgår till ca 23 % - 37 % för de traditionella kollektivtrafikmedlen (källa: SL:s årsredovisning 2003). Spårtaxi ligger också på drygt 30 % utnyttjandegrad.

De sammanlagda kapitalkostnaderna för fordon och driftkostnaderna – per personkilometer – är lägst för pendeltåg och spårtaxi, ca 1:50 kr per personkilometer. För bil, buss på befintlig gata samt spårväg uppgår dessa till i medeltal ca 2 – 3 kronor per personkilometer. Att spårtaxi ligger på samma

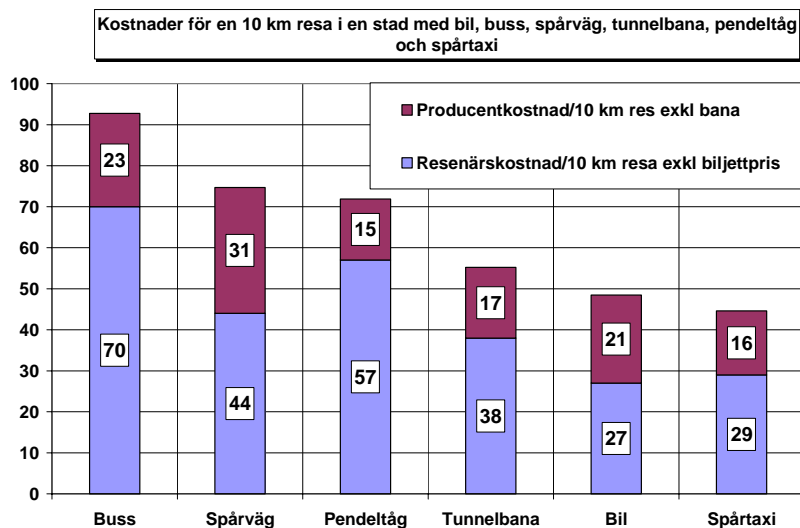
låga nivå som pendeltåg beror på att det är ett småskaligt men förarlöst system.

Resenärernas tidskostnader⁴⁰, som består av gång-, vänte-, bytes- och åktid uppgår för en 10 km stadsresa till strax under 30 minuter för såväl privatbil som för spårtaxi, vilket visar att resstandarden för spårtaxi är fullt jämförbar med bilens.

Spårvägens restid dörr-till-dörr uppgår till ca 45 minuter, och tunnelbanans till knappt 40 minuter. Pendeltåg, med dess längre stationsavstånd till knappt 60 minuter, och stadsbussen, med dess låga medelhastighet, till 90 minuter, eller tre gånger längre restid dörr-till-dörr jämfört med spårtaxi.

Den sammanlagda producent- och konsumentkostnaden visas i Figur 47:

Figur 47. Totala kostnader (producent- och konsumentkostnader) för sex olika trafiksystem



Buss blir ca 2 gånger dyrare och spårväg ca 1,7 gånger dyrare än spårtaxi. Resenärerna bär den tyngsta kostnadsbördan - i genomsnitt 68 % av den totala kostnadTabell 10en.

⁴⁰ Här definierad som viktad restid, d.v.s. resuppoiffring, där gång-, och väntetid värderas med faktorn två och åktid med faktorn ett.

Samhällseffekterna har här indikerats med två indikatorer, olyckskostnader per personkilometer resp. miljöutsläpp i gram NO_x-ekvivalenter per personkilometer. De trafiksäkraste färsätten är samtliga kollektiva färsätt, med spårtaxi som förmodligen det allra mest säkra. Bilen är ca 40 gånger farligare än pendeltåg. Ur miljösynpunkt är också spårtaxi bättre än traditionell kollektivtrafik, dels genom dess låga effektåtgång (2kW för ULTra, jämfört med 1000 kW för ett pendeltåg), dels genom att spårtaxi attraherar fler bilresor över till kollektivtrafiken.

BILAGA 1 - KOSTNADSMODELL FÖR GTS-SYSTEM

Kostnader för ett GTS-system – jämförelser med andra transportslag

En jämförande kostnadsmodell har utvecklats för buss, spårväg, tunnelbana, pendeltåg och spårtaxi⁴¹.

I EDICT-projektet genomfördes en heltäckande samhällsekonomisk analys av den skissade spårtaxibanan i Kungens Kurva i Huddinge kommun, Stockholm. Bland annat jämfördes kostnaderna för ULTra-spårtaxisystemet med prototyper av andra spårtaxisystem såsom Taxi 2000 (Skyweb Express) samt också Austrans Group Rapid Transit⁴².

I ett projekt finansierat av Stockholms Handelskammare analyserade Transek AB våren 2005 kostnader för investering och drift per passagerarkilometer avseende buss, snabbspårväg (light rail transit), tunnelbana samt pendeltåg i Stockholm.

Här utvidgas kostnadsjämförelsen till att också omfatta PRT. På det viset kan kostnadsstrukturen för PRT jämföras med kostnader för buss, snabbspårväg, tunnelbana samt pendeltåg. Hänsyn tas i jämförelsen till kapacitetsbegränsningar samt livslängd för olika komponenter såsom banan, stationer och fordon.

En kostnadsmodell har tagits fram i syfte att göra det möjligt att jämföra olika typer av färdmedel på ett konsistent sätt. Kostnadsdata har tagits fram från nyligen genomförda, state-of-the-art studier och applicerats i denna modell i 2002-2003 års prisliv. Vi jämför här både kapitalkostnaden för

⁴¹ Tegnér, Göran: PRT Costs compared to Bus, LRT and Heavy Rail. Some Recent Findings. Uppsats presenterad vid AATS European Conference "Advanced automated transit systems designed to out-perform the car", Bologna 7-8 Nov 2005. Transek AB 2005.

⁴² Austrans är ett system för grupptransit snarare än personal transit vilket gör att kostnaderna för Austrans spänner över ett större spann och blir dyrare än andra spårtaxisystem.

infrastruktur, kapitalkostnaden för fordon samt kostnader för drift och underhåll. Kostnader för traditionella färdmedel utgörs här av empiriska data från Storstockholm.

Följande antaganden har gjorts i kostnadsmodellen:

- Alla kapitalkostnader har omvandlats till en årlig kapitalkostnad med en annuitetsformel
- Annuiteten kalkyleras till 4 % av den reella diskontoräntan och utifrån den förväntade livslängden för de olika typerna av investering (spår, fordon, station, depå osv)
- Från kapitalkostnaden för infrastrukturen härleds kapitalkostnaden för fordonen. De återstående kapitalkostnaderna (för spår samt hållplatser) betraktas som fixa och oberoende av antalet resenärer per dag. Fordonskostnaden antas däremot vara beroende av resandenivån
- En minimi- samt maximinivå för passagerarkapaciteten beräknas för varje färdmedelstyp. För tung spårtrafik beräknas dessa utifrån antalet vagnar per tåg
- En minsta möjliga tidslucka på 5 minuter och högsta möjliga tidslucka på 15 minuter antas för buss, snabbspårvägar och tåg
- För separata busslinjer antas en 2,5 minuters tidslucka
- För spårtaxi antas en tidslucka på 2 sekunder som bäst och 5 minuter som lägsta servicenivå
- Efterfrågan i högtrafik antas uppgå till 10 % av den dagliga efterfrågan
- Vid maximal servicenivå antas passagerarkapaciteten uppgå till 85 % av den totala teoretiska dito, på grund av ojämn fördelning av ankomster
- Alla kostnader (årlig kapitalkostnad för spårtaxibanan samt stationer, för fordonen och för drift och underhåll) kalkyleras för en 10 kilometer lång standardresa

Datakällorna i denna korta jämförelse utgörs av följande:

- Kostnader för spårtaxisystemet ULTra erhållna från professor Marin Lawson vid Advanced Transit Systems Ltd. (investerings- och driftkostnadsmodell)

- ULTra – kostnader utifrån EDICT-projektet
- ULTra – kostnader utifrån jämförelsen mellan kalkylerade kostnader för spårtaxi i Cardiff jämförda med anbudskostnader för spårtaxi, avseende själva spårbanan, från två oberoende leverantörsföretag
- Kostnader för Skyweb Express erhållna från prof. Edward J. Andersson vid Taxi2000
- Kostnader för systemet Austrans erhållna från företaget Austrans
- Generella kostnader för spårtaxisystem, erhållna från ATRA (Advanced Transit Association)

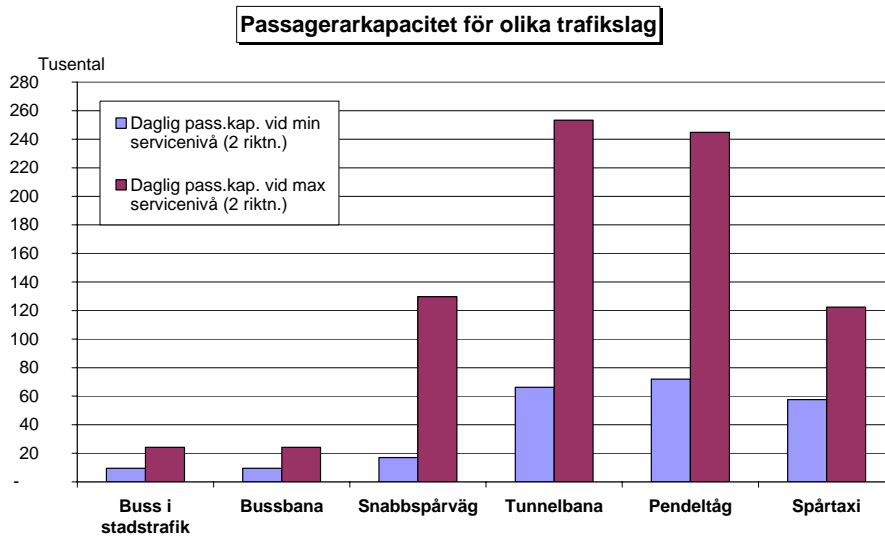
I nedanstående tabell redovisas passagerarkapacitet för de olika typer av färdmedel vid minimi- samt maximinivå på service vad gäller täthet mellan avgångar som är utgångspunkt i kostnadskalkylen.

Tabell 10. Fordonskapacitet samt daglig passagerarkapacitet för olika trafikslag utifrån angivna antaganden.

Trafikslag	Kapacitet/ fordon (sittande och stående)	Passa- gerare/ fordon (min)	Passa- gerare/ fordon (max)	Daglig pass.kap. vid min service- nivå (2 riktn.)	Daglig pass.kap. vid max service- nivå (2 riktn.)
Buss i stads-trafik	119	119	119	9 520	24 276
Buss på egen bana	119	119	119	9 520	24 276
Snabb- spårväg	106	212	636	16 960	129 744
Tunnel- bana	138	828	242	66 240	253 368
Pendel- tåg	150	900	200	72 000	244 800
Automat- bana	106	212	636	16 960	129 744
Spårtaxi	4	4	4	57 600	122 400

Den dagliga kapaciteten för de analyserade färdmedlen presenteras också i Figur 48 nedan:

Figur 48. Daglig passagerarkapacitet för olika färdmedel vid minimala respektive maximala servicenivåer.



BILAGA 2 - METODER FÖR KONSUMENTÖVERSKOTTSBERÄKNING

När man beräknar vilken nytta en investering ger, måste man veta vilken förbättring investeringen har inneburit för resenärerna.

I det enklaste fallet åkte resenärerna redan med transportmedlet innan investeringen. Då har de samma situation som innan förutom den förbättring investeringen lett till.

I det näst enklaste fallet fanns färdmedlet innan investeringen men förbättringen leder till att fler resenärer brukar det. Vilken förbättring som har skett på grund av investeringen är då lika lätt att räkna ut som innan (exempelvis att den kortar restiden med x minuter). Däremot är det svårare veta hur de nytillkomna resenärerna upplever förbättringen; vissa kanske har ett annat alternativ som de upplever som nästan lika bra även efter förbättringen (de har i så fall endast marginell nytta av förbättringen) medan andra skulle börjat bruka färdmedlet även vid en väldigt liten förbättring (och får därför nästan hela nyttan av förbättringen). Man brukar anta att de nytillkomna resenärerna tillgodogör sig halva förbättringen (enligt den så kallade "rule of the half").

Det stora problemet uppstår då färdmedlet inte fanns i relationen alls innan investeringen; förbättringen i resmöjligheter med färdmedlet är då oändlig, men vad är förbättringen för resenärerna? Detta problem kan, grovt sett, lösas på fyra sätt:

1. Det första sättet är att räkna ut hur de faktorer man kan mäta förbättras jämfört med resor med andra färdmedel (exempelvis att spår-taxiresenärer sparar x minuter jämfört med tåg) och sedan värderar dem med gängse värderingar. Nackdelen med detta sätt är att man implicit antar att färdmedlen är identiska, förutom vad gäller de faktorer man mäter. Detta problem kan man försöka komma runt genom att utöka den mängd faktorer man värderar (dvs. inkludera fler faktorer än de ASEK har rekommendationer för). Vid spår-taxi-analyser är det vanligt att man inkluderar komfort.
2. Det andra sättet är att anta något som att resenärerna inte kan ha haft det sämre än innan investeringen och sedan tillämpa "rule of the

half” med hjälp av detta antagande. På så sätt blir förbättringen inte oändlig (denna metod tillämpas i bland annat Sampers, det hypotetiska alternativet kallas då för ”schablonbuss”). Nyttorna med denna metod beror naturligtvis på hur alternativet specificeras, de blir dock generellt lägre än med den tidigare metoden beroende på att ”rule of the half” tillämpas.

3. Det tredje sättet är en kombination av sätt 1 och 2. Man antar att kollektivtrafik är en ”marknad” och räknar hela tidsvinsten för dem samt eventuellt komfortvinster. För biltrafik och nygenererad trafik tillämpas ”rule of the half”.

Det fjärde sättet är att räkna ut konsumentöverskottet med logsummer. Vi går inte djupare in på denna metod då den inte tillämpas i någon av analyserna.⁴³

⁴³ Den som vill veta mer hänvisas till Transeks rapport ”Att mäta tillgänglighet med logsummer”.