KFB & VTI forskning/research · 26 · 1999

Light Rail – Light Cost

PB2000-103184

En förstudie

Ragnar Hedström (Red.)

REPRODUCED BY: NTIS
U.S. Department of Commerce
National Technical Information Service
Springfield, Virginia 22161

KFB

Väg- och transportforskningsinstitutet

KFB & VTI forskning/research 26 · 1999

Light Rail – Light Cost

En förstudie

Ragnar Hedström (Red.)

Väg- och transport-
forskningsinstitutet

Omslag: Den nya spårvägen
i Strasbourg 1998. Foto: VTI

Utgivare

KFB

Väg- och transport-forskningsinstitutet

Serie/Publication
KFB & VTI forskning/research 26

ISSN
1101-2986

Utgivningsår/Date of publish
Light Rail – Light Cost

Författare/Author
Ragnar Hedström (Red.)

Kommunikationsforskningsberedningen (KFB)

Titel/Title

Light Rail – Light Cost. En förstudie.

Referat

Denna rapport redovisar ett projekt vars syfte varit att dels kartlägga behovet av tvärvetenskaplig kompetens inom spårvägsområdet, dels studera om det finns förutsättningar för och behov av ytterligare spårvägstrafik i Sverige som ett komplement till annan kollektivtrafik. Utifrån framkomna resultat kan konstateras att:

- Det finns ett ökat intresse för spårvägstrafik i Sverige. Diskussioner förs på flera håll i Sverige om möjligheten att utveckla befintlig spårvägstrafik och/eller återinföra en mer omfattande spårvägstrafik.
- Kunskap finns men denna är spridd på flera aktörer och att det finns ett behov av kompletterande kunskap
- Det är angeläget med en mer samlad och tvärvetenskaplig FoU-verksamhet inom spårvägsområdet med fokusering på attraktivitet och acceptans, samhällsekonomiska aspekter, säkerhetsaspekter samt infrastruktur och fordon.

Projektet har genomförts i form av ett antal delprojekt. Materialet till rapporten bygger dels på en litteraturgenomgång, dels på ett flertal utfrågningar med aktörer knutna till spårvägsområdet.

Abstract

This report describes a project intended partly to survey the need for multidisciplinary competence in the field of light rail transport and partly to determine whether there is a possibility and a need for expanding light rail traffic in Sweden as a complement to other forms of public transport. The results indicate that:

- There is growing interest in light rail transport in Sweden. Discussions are in progress in several Swedish cities concerning the possibility of developing existing light rail transport systems and/or reintroducing and expanding present tram systems.
- Although knowledge is available, it is spread among several actors and there is a need for complementary research.
- It is desirable for research and development in light rail transport to be better coordinated and to have a multidisciplinary basis with the focus on attractiveness and acceptance, socioeconomic aspects, safety aspects, and infrastructure and vehicles.

The work has been carried out in the form of a number of sub-projects. The material for the report consists both of a literature survey and of a number of interviews with actors connected with light rail transport.

Publikationer kan beställas från:
Statens väg- och transportforskningsinstitutet (VTI)
581 95 Linköping, tfn 013-20 40 00 (VX)

Publications may be ordered from:
Swedish Ntional Road and Transport Insituts (VTI)
SE-581 95 Linköping, Sweden

Förord

Föreliggande rapport utgör slutredovisning av en förstudie med titeln " Light Rail – Light Cost" som finansierats av Kommunikationsforskningsberedningen, KFB. Projektet har genomförts inom FoU-enheten Trafiksystem vid Statens väg- och transportforskningsinstitut, VTI, i Linköping.

Projektet har genomförts i form av ett antal delprojekt. Inom projektets ram har litteraturstudier genomförts, där sökning huvudsakligen har gjorts i databasen Roadline. Vidare har ett antal miniseminarier (hearings) genomförts. Vid dessa har representanter från Adtranz, Banverket, Bombardier, Boverket, Göteborgs spårvägar, Göteborgs Stads Trafikkontor, Järnvägsinspektionen, Naturskyddsföreningen, Norrköpings Spårvägar, Regionplane- och trafikkontoret (Stockholm), Storstockholms Lokaltrafik (SL), SL Bansystem samt Trivector AB medverkat. Vid hänvisningar till dessa källor används den gemensamma beteckningen (Hasselbacken 1998). En delrapportering av projektet genomfördes vid en i oktober 1998 anordnad spårvägskonferens i Stockholm, där såväl nationella som nordiska spårvägsaktörer var representerade. Materialet till rapporten bygger även på de erfarenheter och synpunkter som inhämtats genom en i egen regi genomförd studieresa under hösten 1998 till ett antal europeiska spårvägsstäder.

Rapportens inledande kapitel har skrivits av *Sture Sabel*, VTI, och avsnittet om spårvägens möjligheter av *Thomas Lange*, VTI, som även skrivit sammanfattningen. Avsnitt 4 som behandlar samhällsekonomiska aspekter på spårvägssystem har skrivits av *Imdad Hussain-Shahid*, VTI. I kapitel 5 behandlas miljöaspekter och i kapitel 6 behandlas stadsbilden, vilka båda har skrivits av *Eva Gustavsson*, VTI. Säkerhetsfrågor behandlas i kapitel 7 och har skrivits av *Erik Lindberg*, Linköpings universitet, medan kapitel 8 om spårvägsregler har skrivits av *Sven Fredén*, Herrbeta järnvägskonsult. I kapitel 9 behandlas frågor rörande spårvägsfordon och detta har skrivits av *Johan Förstberg*, VTI. Frågeställningar rörande spårvägens infrastruktur redovisas i kapitel 10 och har skrivits av *Ragnar Hedström*, *Klas Hermelin* och *Björn Kufver*, samtliga VTI. Avslutningsvis redovisas en sammanställning av FoU-behov såsom de har framkommit under arbetet med denna förstudie. Sammanställningen är utförd av *Ragnar Hedström*.

Ett varmt tack riktas till alla som medverkat i detta projekt och som genom värdefulla synpunkter och kommentarer bidragit till projektets genomförande.

Linköping i maj 1999
Ragnar Hedström

Innehållsförteckning

Sammanfattning I

Summary II

1 Inledning (*Sture Sabel*) 11

2 Bakgrund och syfte (*Ragnar Hedström*) 13

3 Spårvägens möjligheter (*Thomas Lange*) 17
3.1 Trafikanternas behov och krav
3.2 Spårvägstrafik och trafikledning, trafikteknik
3.3 Spårvägstrafik – kapacitet och flexibilitet

4 Samhällsekonomi (*Imdad Hussain-Shahid*) 21
4.1 Transporter och samhällsutveckling – en allmän introduktion
4.2 Praktiska modeller för nytto-kostnadskalkyler
4.3 Dynamiska struktureffekter
4.4 Den finansiella aspekten
4.5 Särskilt FoU-behov

5 Miljöaspekter (*Eva Gustavsson*) 25
5.1 Miljöaspekter på spårvägstrafik
5.2 Spårvägen och utsläpp
5.3 Buller och vibrationer

6 Stadsbild (*Eva Gustavsson*) 29
6.1 Planeringsprocessen vid införande av spårvägstrafik
6.2 Estetik och stadsbild
6.3 Barriäreffekter

7 Säkerhetsfrågor i spårvägstrafik (*Erik Lindberg*) 31
7.1 Allmänt
7.2 Säkerhetsaspekter vid spårvägstrafik
7.3 Signalsystem
7.4 Helhetsperspektivet

8 Regelverk för spårvägstrafik (*Sven Fredén*) 33
8.1 Introduktion
8.2 Svenska regler för spårvägstrafik
8.3 Reglernas mål och omfattning
8.4 Nuvarande regler
8.5 Reglernas utformning
8.6 Framtiden

9 Fordonsaspekter i spårvägssystem (*Johan Förstberg*) 37
9.1 Allmänt
9.2 Fordonskostnader
9.3 Fordonsdesign
9.4 Potential för sänkta fordonskrav

10 Spårvägens infrastruktur (*Ragnar Hedström, Klas Hermelin, Björn Kufver*) 41
10.1 Kostnader
10.2 Över- och underbyggnad
10.3 Exempel på spårkonstruktioner
10.4 Kontaktledning/strömförsörjning
10.5 Linjeföring
10.6 Spårunderhåll

11 Sammanställning av FoU-behov (*Ragnar Hedström*) 47

12 Referenser 49

Light Rail – Light Cost. En förstudie
av Ragnar Hedström (Red.)
Statens väg- och transportforskningsinstitut (VTI)
581 95 Linköping

Sammanfattning

Ökat intresse för spårvägstrafik men kunskapen splittrad på flera aktörer

VTI har på uppdrag av KFB kartlagt den kunskap som är nödvändig för att bedöma om och hur spårvägstrafik kan bli ett attraktivt och konkurrenskraftigt kollektivtrafikalternativ både i Sverige och Norden. Materialet till rapporten bygger dels på en litteraturgenomgång, dels på ett flertal utfrågningar med aktörer knutna till spårvägsområdet.

Inom projektets ram har det inte varit möjligt att ge en heltäckande bild av kunskapsområdet. Ändå bör materialet vara ett värdefullt underlag för fortsatta diskussioner vad gäller spårvägstrafikens möjligheter. De framkomna resultaten visar att:

- det finns ett kraftigt ökat intresse för spårvägstrafik framförallt utomlands. Kännedomen om detta förhållande har i viss utsträckning nått även Sverige. Diskussioner förs på några håll i Sverige om möjligheten att införa ny eller utveckla befintlig spårvägstrafik,
- kunskap finns men denna är splittrad på flera aktörer och att det finns behov av kompletterande kunskap,
- det är angeläget med en mer samlad och tvärvetenskaplig FoU-verksamhet inom spårvägsområdet med fokusering särskilt på attraktivitet och acceptans, samhällsekonomiska aspekter, säkerhetsaspekter samt infrastruktur och fordon.

Förändrad samhällsstruktur och trängselproblem med åtföljande restriktioner för biltrafik är exempel på faktorer som ökat allmänhetens krav på miljöanpassade transportsystem. I andra länder har nyetablerade eller vidareutvecklade befintliga spårvägssystem haft stor framgång. I många fall har man tagit helhetsgrepp där man arbetet både med biltrafiken och kollektivtrafiken och lyckats få en naturlig koppling mellan stadsplanering och trafikplanering.

Utomlands finns en helt annan tradition av spårvägssystem än som är fallet i Sverige. Av de 13 svenska orter som under första hälften av 1900-talet hade spårvägstrafik är det bara i Göteborg, Norrköping och Stockholmsregionen som spårvägstrafik fortfarande förekommer.

Avsaknaden av spårvägstrafik i modern form i Sverige har medfört ett bortfall av kunskaper och erfarenheter. Utländska sådana kan visserligen inhämtas, men dessa måste av naturliga skäl anpassas till svenska förhållanden, bland annat på grund av skillnader i befolknings- och bebyggelsestrukturer, ansvars- och rollfördelning inom och mellan myndigheter och organisationer samt finasieringsmöjligheter.

De uppenbara Fou-behoven har sammanfattats under rubrikerna Spårvägens attraktivitet och acceptans, Ekonomi, Miljöaspekter (inklusive stadsbildsfrågor), Säkerhet samt Infrastruktur och fordon.

Light Rail – Light Cost. A pilot study.
av Ragnar Hedström (Ed.)
Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI)
SE-581 95 Linköping
Sweden

Summary

Increased interest in light rail transport, but knowledge is spread among several actors

The VTI has been commissioned by the Swedish Transport and Communications Research Board (KFB) to survey the knowledge required to study if and how light rail transport can be an attractive and competitive form of public transport both in Sweden and other Nordic countries. The material for the report consists partly of a literature survey and partly of a number of interviews with actors connected with light rail transport.

Owing to the limited financial framework for the project, it has not been possible to provide a comprehensive picture of this field of knowledge. Nevertheless, the material should constitute a valuable basis fo further discussions on the potentials of light rail transport. The results show that:

- There is rapidly growing interest in light rail transport, especially in other countries, a fact that has also become known to a certain extent in Sweden. Discussions are in progress in various Swedish cities regarding the possibilities of introducing new light rail transport or developing existing systems.
- Although knowledge is available, it is spread among several actors and there is a need for complementary research.
- It is desirable for research and development in light rail transport to be better co-ordinated, with the focus on attractiveness and acceptance, socio-economic aspects, safety aspects, and infrastructure and vehicles.

Changes in social structure and problems of congestion resulting in restrictions on car transport are among the factors that have increased public demands for environmentally adapted transport systems. In other countries, newly established or upgraded light rail systems have proved very successful. In many cases, an integrated approach has been adopted involving both car transport and public transport, and a natural connection beteween urban planning and transport planning has also been achieved.

Furthermore, other countries have a completely different tradition in light rail systems compared with Sweden. Of the 13 Swedish towns and cities where tram systems were in operation during the first half of the twentieth century, only Gothenburg, Norrköping and the Stockholm region still have such traffic.

The lack of a modern form of light rail transport in Sweden has led to a lack of knowledge and experience. Although foreign experience can be utilised, this must naturally be adapted to Swedish conditions, partly because of differences in population and community planning structures, responsibility and role distributions within and between authorities and organisations, and finance possibilities.

The obvious research and development needs have been summarised under the headings Attractiveness and acceptance of light rail transport, Economy and Financing, Environmental aspects (including urban planning issues), Safety, and Infrastructure and vehicles.

1 Inledning

Historiskt sett är innerstadsspårvägar den äldsta formen av spårvägar. De första spårvägarna anlades under senare delen av 1800-talet, då som hästspårvägar. I början av 1900-talet elektrifierades linjerna efter hand. Betecknande för innerstadsspårväg är att trafiken i huvudsak framfördes på gata i blandad trafik. Under senare årtionden har man eftersträvat egna körfält, ofta tillsammans med busstrafiken i s.k. kollektivkörfält. Tåglängden överskrider ej 45 m.

Det förekom även spårvägar utanför städerna, s.k. förortsbanor. Dessa förband de snabbt växande förorterna med respektive stads centrum. Typiska exempel på detta i Stockholm var banorna mot Mälarhöjden och Västertorp, vilka senare ersattes av tunnelbana. Dessa linjer hade längre avstånd mellan hållplatserna än innerstadsspårvägen men kortare än tunnelbanan. Maxhastigheten var inte högre än 50 km/tim. Tågen, som bestod av motorvagn och två släpvagnar, var tunga och accelerationssvaga, vilket bidrog till förhållandevis långa restider.

Spårvägstrafik i Sverige har sedan 1950-talet karaktäriserats av avveckling snarare än utveckling. Detta faktum kan förklaras med en kombination av ett omfattande upprustningsbehov av såväl spårvägsfordon som spårvägens infrastruktur och bilismens snabba utveckling i mitten av 1900-talet. Valet upplevdes stå mellan fortsatt spårvägstrafik eller utveckling av bilismen. En liknande situation förekom i bl.a. Oslo där man dock lyckades bibehålla och vidareutveckla spårvägstrafiken. Av de tretton städer som under 1900-talet haft spårväg har idag bara Stockholm, Lidingö, Norrköping och Göteborg spårväg i reguljär drift. I Stockholm finns två system, Nockebybanan, som är en förortsspårväg till stor del på egen banvall och som matar till tunnelbanan, och Djurgårdslinjen, som är en ideellt driven museispårväg i Stockholms innerstad. Lidingöbanan trafikeras med spårvägsfordon, men har koncession som järnväg och trafikeras signaltekniskt också som en sådan. Norrköping har ett system med två linjer, huvudsakligen som gatuspårväg. Även om Norrköpings system är förhållandevis litet har det stor betydelse, då de två linjerna svarar för ca 40% av de kollektiva resorna i själva staden. Göteborg är den enda svenska stad som har ett spårvägsnät av någorlunda storlek och där också spårvägskompetensen kunnat övervintra och till och med utvecklas.

När det gäller pågående utveckling sker denna f.n. endast i befintliga spårvägsstäder: I Stockholm byggs när detta skrivs den första etappen av den s.k. snabbspårvägen, en förortsspårväg med järnvägsstandard, som till största delen skall gå fram på egen banvall. I Norrköping finns förslag om att bygga en ny spårväg i Kungsgatan, som skulle möjliggöra ett återinförande av stadens ringlinje. I Göteborg planeras också för en spårvägsring runt stadskärnan (den s.k. Kringen) och dessutom undersöker man möjligheterna att införa s.k. duospårvägstrafik med fordon som även kan köras på Banverkets järnvägssträckor. Diskussioner förs även om den s.k. Lundalänken i Lund.

När spårvägens pånyttfödelse utomlands inleddes under 1970-talet myntades ordet *Light Rail*. Till viss del var detta ett sätt att åter marknadsföra spårvägen, men även ett sätt att markera att spårvägen hade utvecklats till ett modernt kollektivtrafiksystem. Light Rail-system skiljer sig radikalt från vad vi i Sverige har varit vana att förknippa med begreppet spårväg. I tabell 1.1 redovisas några exempel på internationella och nationella spårvägssystem.

Spårvägstrafikens huvudmarknad är numera bandstadsbebyggelse med större geografisk spridning och med ett krav på transportkapacitet som ligger någonstans mellan tunnelbana och buss, dvs. där busstrafiken blir opraktisk eller oekonomisk eller där tunnelbanans höga kapacitet och höga kostnader inte kan motiveras. Mot denna bakgrund kan följande kriterier anses nödvändiga att uppfyllas:

- Fordonen skall kunna framföras såväl i gatutrafik som på egen banvall med hög medelhastighet.
- Genom denna flexibilitet skall kostnaderna bli avsevärt lägre än för exempelvis tunnelbana.
- Hållplatsavstånden är längre än vid äldre typ av spårvägstrafik (500–700 m).
- Maxhastighet är ca 80–90 km/tim, hög accelerations- och retardationsförmåga som sammantaget ger hög medelhastighet.
- Spåranläggningen har en högre standard än tidigare förortsspårvägar. Ett typexempel är Angeredsbanan i Göteborg.
- Trafiksystemet skall visuellt ha en modern prägel även om det i grunden baserats på ett äldre spårvägssystem (vanligt i andra länder än Sverige).
- Tåglängderna kan vara längre än äldre typ av spårväg, upp till 75 m.

Duospårväg är en vidareutveckling av Light Rail. Systemet kallas även Karlsruhemodellen eftersom det introducerades i Karlsruhe. Den första sträckan öppnades 1992 mellan Karlsruhe och Bretten och fick redan från början en avsevärd ökning av trafikantmängderna i förhållande till tidigare. Till skillnad från konventionella spårvagnar kan duospårvagnarna trafikera såväl spårvägsnätet som järnvägsnätet. Vagnarna har samma goda

accelerations- och retardationsförmåga som moderna spårvagnar och byggdes från början på en stomme från dessa. Mittdelen har försetts med elektrisk utrustning som gör att de kan trafikera båda trafikslagens linjespänning. Maxhastighet är 100 km/tim.

Tabell 1.1 *Exempel på några internationella och nationella spårvägssystem.*

Öppnade och planerade spårvägssystem sedan 1980

Ort	År	Land
Starij Oskol	1980	Sovjetunionen
Calgary	1981	Canada
Helwan	1981	Egypten
San Diego	1981	USA
Rio de Janeiro	1982	Brasilien
Utrecht	1983	Nederländerna
Buffalo	1984	USA
Constanta	1984	Rumänien
Manila	1984	Philipinerna
Nantes	1985	Frankrike
Niteroi	1985	Brasilien
Tunis	1985	Tunisien
Mexico City	1986	Mexico
Portland	1986	USA
Brasov	1987	Rumänien
Buenos Aires	1987	Argentina
Cluj	1987	Rumänien
Craiova	1987	Rumänien
Grenoble	1987	Frankrike
Ploeisti	1987	Rumänien
Sacramento	1987	USA
San Jose	1987	USA
Masyr	1988	Sovjetunionen
Resita	1988	Rumänien
Tuen Mun	1988	Hong Kong
Ust-Ilimsk	1988	Sovjetunionen
Guadaljara	1989	Mexico
Istanbul	1989	Turkiet
Sajanogorsk	1989	Sovjetunionen
Genua	1990	Italien
Goiänia	1990	Brasilien
Los Angeles	1990	USA
Botosani	1991	Rumänien
Campinas	1991	Brasilien
Kobe	1991	Japan
Lausanne	1991	Schweiz
Monterrey	1991	Mexico
Pyongyang	1991	Nordkorea
Stockholm	1991	Sverige
Baltimore	1992	USA
Konya	1992	Turkiet
Manchester	1992	Storbritannien
Paris	1992	Frankrike
St Louis	1993	USA
Dallas	1994	USA
Sheffield	1994	Storbritannien
Paris	1996	Frankrike
Strasbourg	1996	Frankrike
Baltimore	1997	USA
Paris	1997	Frankrike
Saarbrücken	1997	Tyskland
Genève	1998	Schweiz
Sydney	1998	Australien
London	1999	Storbritannien
Montpellier	1999	Frankrike
Stockholm	1999	Sverige
Portland, Or.	1999	USA
Bilbao	2000	Spanien
Jersey City, NJ	2000	USA
Salt Lake City	2000	USA
Lyon	2001	Frankrike
Orlèans	2001	Frankrike
Seattle	2001	USA
Valenciennes	2001	Frankrike
Bordeaux	2002	Frankrike
Florens	2002	Italien

2 Bakgrund och syfte

Ett kollektivtrafiksystem – oavsett typ – byggs i syfte att underlätta för allmänheten att förflytta sig. Den huvudsakliga strävan i utformningen är att tillgodose de krav och behov olika grupper av resenärer kan ha. I många avseenden måste naturligtvis kompromisser göras på grund av kollisioner med andra intressen: framkomlighet på gatorna för andra trafikanter (cyklister, fotgängare och bilister), konsekvenser för stadsbilden, det tekniskt rimliga i konkreta detaljer, och sist men inte minst avvägningen mot den i många fall ekonomiska knappheten.

Utomlands har sedan 1970-talet intresset för spårvägstrafik återkommit i alltfler städer. Utvidgningar och nybyggnationer presenteras varje månad i såväl Europa som Australien och Nordamerika.

En spårväg är en betydande investering som med sin infrastruktur binder ett stort kapital för lång tid. Det är därför angeläget att om och när man investerar i en sådan anläggning – göra den så attraktiv och effektiv som möjligt. Detta kräver goda kunskaper hos dem som planerar spårkorridoren och skattar resandeströmmarna, hos dem som gör den tekniska projekteringen av spåret, hos dem som skriver kravspecifikationen på vagnar, elförsörjning, signalsystem etc. och hos dem som ansvarar för upphandlingen.

Ett beslut att bygga en ny snabbspårvägslinje eller att behålla/upprusta en befintlig spårväg bygger alltid på en avvägning mellan kostnader och nytta. Kostnaderna är därvid huvudsakligen av traditionell art; nyttan uppkommer genom samhällsekonomiska nyttoeffekter. För att optimera ett spårvägskoncept – och därmed skaffa underlag för investeringsbeslut – måste såväl kostnader som intäkter (i vid mening) kvantifieras. Att skapa/sammanställa den för kvantifieringen nödvändiga kunskapen är en angelägen uppgift.

Spårvägstrafiken har ett antal egenskaper som värderas – positivt eller negativt – av samhället generellt och av resenärerna. Samhällets värderingar avser sådana värden som kommer till uttryck i samhällsekonomiska beräkningar eller i politiska beslut. Resenärernas värderingar utgår från deras behov och krav på spårvägen som trafiksystem betraktat. Kraven och behoven är av varierande karaktär beroende på olika målgruppers behov och attityd.

Tabell 2.1 *Exempel på faktorer kopplade till spårvägens kvalitet.*

	Plus-värden	Minus-värden
Resenären	Enkelhet i systemet Turtäthet Tillförlitlighet Korta restider Lågt biljettpris Närhet Komfort Personlig säkerhet Säkerhet mot olyckor Snygghet, prydlighet Lätt komma på/av Utrymme för barnvagn/cykel	Brister i alla angivna plusvärden!
Samhället	Lokaliseringseffekter Attraktiv gatumiljö Minskade emissioner från biltrafiken Positiva politiska effekter Ökad tillgänglighet för icke bilburna trafikantgrupper	Höga anläggningskostnader Buller, vibrationer Barriäreffekter Trafik- och ordningsproblem Oestetisk stadsmiljö Negativa politiska effekter

Spårvägen har en kvalitet som kan beskrivas som en funktion av de faktorer som (starkt schematiserat) har sammanfattats i tabell 2.1. Idealiskt vore om spårvägens alla kvaliteter skulle kunna sammansättas till en form av kvalitetsmått som motsvarar en viss kostnad/nytta. Om vi antar att de olika värdeegenskaperna är mätta med samma mått kan vi summera de värden – positiva och negativa – som samhället som politisk organisation bedömer att anläggningen har och de värderingar som medborgarna gör i sina olika roller: resenärer, fotgängare, boende längs spårvägskorridoren, skattebetalare, etc. I ett senare skede – som beslutsunderlag – måste denna "attraktivitetsfunktion" kvantifieras, för att det skall vara möjligt att beräkna/skatta ett värde (monetärt), t.ex. i en samhällsekonomisk nytto-/kostnadskalkyl.

Att utforma spårvägstrafiken till att bli så attraktiv och effektiv som möjligt kräver kunskap både om resenärers och det övriga samhällets värderingar och den kostnad och nytta som är förknippade med olika tekniska (och andra) utformningar. Samspelet mellan faktorer som exempelvis linjeföring, spårets utformning, anläggningskostnad, hållplatsavstånd (och därmed tillgänglighet), fordonets konstruktion, största hastighet och accelerationsegenskaper, etc. är dock så komplext att ökade kunskaper är angeläget.

Ett snabbspårvägssystem är vanligen ett ganska slutet system med väl definierbara gränsytor mot omgivningen. För att kunskapsmässigt och analytiskt kunna hantera detta system delar man upp det i delsystem. Dessa utgörs av fysiskt och funktionellt definierade komponenter (t.ex. drivmotorer, rälsbefästning, kontaktledning). Utöver dessa finns ett antal kunskapsområden som är definierade utifrån givna utvariabler (t.ex. ekonomi, miljö eller mer begränsat; barriäreffekt, attraktivitet för en viss grupp presumtiva resenärer m.m.).

Oklara myndighetsroller försvårar helhetssyn

Helhetsgreppet är av stor betydelse för möjligheterna att skapa ett attraktivt spårvägskoncept med acceptans från allmänhetens sida. Införande av spårvägstrafik måste därför föregås av en kraftfull planeringsprocess (med fler inblandade parter) där olika alternativa lösningars förrespektive nackdelar värderas utifrån ett helhetsperspektiv. Detta kräver i sin tur en tydligare samordning mellan samhällsplanering och trafikplanering. En angelägen uppgift vid införande av spårvägstrafik är att klargöra roll- och ansvarsfördelningen mellan olika myndigheter (exempelvis Banverket, Vägverket och Järnvägsinspektionen) och/eller organisationer.

Utformningen av det totala trafiksystemet har stor betydelse för spårvägens attraktivitet. Turtäthet liksom regularitet blir i sammanhanget viktiga nyckelbegrepp. Av betydelse blir även hur informationssystemet utformas. Tidtabellerna måste vara lättlästa och information om eventuella störningar i trafiken måste ges på ett tydligt sätt. Spårvägstrafiken måste även samordnas med andra åtgärder som exempelvis kompletterande busstrafik, trafiksanering, etc. om bästa möjliga effekt skall uppnås. Möjligheten att på ett smidigt sätt kunna parkera bilen i utkanten och i direkt anslutning till hållplatser är en viktig aspekt.

En viktig del är att trafiksystemet kopplas till samhällstrukturen. Trafiken skall ju betjäna de delar av staden mellan vilka det i dagsläget finns ett transportbehov men även där det kan förväntas att det uppstår ett framtida transportbehov. Hur linjenätet skall anpassas till befintlig bebyggelse med hänsyn till estetiska aspekter är en icke oväsentlig fråga. Detta problem kan vara betydligt enklare att hantera vid nybyggnad av samhällsstrukturen förutsatt att det sker ett samarbete mellan trafik- och samhällsplanering.

En intressant aspekt när det gäller spårvägstrafiken är hur denna påverkar miljön i termer av buller, vibrationer och förändrade effekter med hänsyn till emissioner från en förhoppningsvis minskad biltrafik.

Exempel på ytterligare problemområden

Införandet av spårvägstrafik innebär stora investeringskostnader i såväl infrastruktur som spårvägsfordon. De i många fall knappa ekonomiska resurserna kan därför – i det korta perspektivet – bli ett problem när det gäller att skapa förutsättningar för en attraktiv och väl fungerande spårvägstrafik, speciellt om jämförelser görs med andra trafikslag och på icke jämförbara grunder.

Säkerhet är en viktig fråga som berör många delar av spårvägstrafiken. Den innefattar skydd mot elolyckor, brandskydd, inredning som inte i onödan skadar resenärer som faller, dörrar som inte klämmer dem som tvekar i dörröppningen för att nämna några aktuella problem.

Själva spårkonstruktionen kan principiellt delas in i två grupper; spår på egen banvall och spår i gata. I litteraturen redovisas ett antal olika varianter, speciellt beträffande spår i gata. Spår på egen banvall bygger i allmänhet på konventionell järnvägsteknik. Även om dessa spår i viss mån anpassas till lägre hastighet och axellast görs dessa spårkonstruktioner ibland "tyngre" än vad trafikförhållandena egentligen fordrar vilket i sin tur påverkar kostnadsbilden för infrastrukturen. Gatuspår skall inte innebära något hinder eller annat bekymmer för fotgängare, cyklister, bilar, etc. Konkret innebär detta att rälshuvudets överyta skall ligga i gatans plan (± någon mm!) och att flänsrännan skall vara så smal som möjligt bland annat för att inte cyklister skall köra ned i den. Rälens nackdel är dess stora bygghöjd, vilket på många sätt kan vara ett problem när spåret skall läggas i en gata. Sedan många år tillbaka har man därför använt olika typer av låga räler. Det generella problemet med gaturäler är

dels sambandet mellan rälerna och gatans köryta, dels de höga kostnaderna för rälsbyte och justering av spårläget. Trots många års experimenterande finns det ingen samstämmighet i omdömena rörande olika spårkonstruktionernas fördelar och nackdelar.

Kunskapsbehov

Några frågeställningar vad gäller spårvägens infrastruktur är dels linjeföringen som har koppling till spårets makrogeometriska egenskaper såsom lutningar, kurvradie, rälsförhöjning, rälsförhöjningsbrist, dels spårets placering i förhållande till bebyggelse och till andra kommunikationsleder. Eftersom bankroppen (inklusive konstbyggnader) utgör en stor andel av byggkostnaden och denna kostnad till stor del är beroende av den valda bansträckningen och banans geometriska standard är det väsentligt att väga dessa kostnader mot de konsekvenser valet av linjesträckning får för restid, tillgänglighet och komfort liksom för stadsbildens utseende. Angående komfort kan påpekas att det i litteraturen endast finns ett fåtal studier med koppling till spårvägstrafik. De flesta studier rör konventionell järnväg men även där saknas ett helhetsperspektiv. Ett generellt problem är att kvantifiera ökad komfort i ekonomiska termer.

Spårvägsfordon skall givetvis ha de kvaliteter som man förknippar med ett attraktivt kollektivtrafikfordon. De skall bl.a. medge bekväm påstigning från gatunivå (eller en låg plattform). För att uppnå detta måste vagnen, åtminstone till viss del, utformas som en låggolvsvagn vilket ställer speciella krav på drivsystemet och hjulupphängningen. Nackdelen är, förutom den högre kostnaden, lägre krocksäkerhet (speciellt för sidokollisioner) och att man inte kan ha höga plattformar på förortssträckorna. Speciellt om man avser att leda spårvagnen genom en tunnel i någon central del av staden och där ha en hållplats, blir avsaknaden av plattformar (eller plattformar i "trottoarhöjd") problematisk. En lösning kan vara att utforma alla hållplatser (även då spårvägen går i gatan) med medelhöga plattformar och ha vagnar som är anpassade till detta.

Den sedan 1950-talet ringa omfattningen av spårvägstrafik i Sverige har medfört ett visst bortfall av kunskap och kompetens inom spårvägsområdet. Möjligheterna och förutsättningarna att utveckla befintlig spårvägstrafik och/eller återinföra en mer omfattande spårvägstrafik i Sverige och kanske även i Norden måste därför ställas i relation till möjligheterna att bredda och fördjupa befintlig kunskap inom såväl tekniska som ekonomiska och organisatoriska områden.

Projektets syfte

Syftet med detta projekt är att dels kartlägga behovet av tvärvetenskaplig kompetens inom spårvägsområdet, dels studera om det finns förutsättningar för och behov av ytterligare spårvägstrafik i Sverige som ett komplement till annan kollektivtrafik.

3 Spårvägens möjligheter

3.1 Trafikanternas behov och krav

Kollektivtrafik är per definition till för trafikanternas skull. Följaktligen är trafikanternas behov och deras krav på spårvägen som system av största vikt för planering och genomförande av spårvägssystem. Olika trafikantgruppers inställning till behovet av information om trafiken, lättillgängliga fordon, även för barnvagn, rollator etc., utrymme för bagage, matkassar, komfortaspekter, revir, orientering av sittplatser m.m. bör behandlas samlat. Främst är det passagerare med funktionshinder, genusperspektivet och bilisternas inställning (dvs. bilisterna som potentiella passagerare) som är viktiga att beakta.

Spårvägar planeras och drivs huvudsakligen för att lösa trafik- eller transportproblem i större tätorter, vilket kan leda till att stadens status och attraktivitet höjs.

Spårvägen kan medföra följande fördelar:

- Längs en given spårvägslinje kan upp till 25 000 personer transporteras per timme.
- Buller och luftföroreningar minskar, vilket förbättrar den lokala miljön för såväl arbetspendlare som invånare.
- Spårvagnsresenären får en bekväm resa i ett attraktivt fordon – en nyckelfaktor om bilister ska fås att lämna bilen.
- Pålitlighet och trovärdighet – närvaron av blanka räler i gatan antyder att "Här kommer snart en spårvagn!".
- Påtaglig minskning av restiderna dörr-till-dörr, minskad stress för bilisterna.
- Ett sätt för ansvariga politiker att erbjuda ett attraktivt alternativ till bilberoendet.
- Ett sätt för staden att återge förlorad mark i city till fotgängare och cyklister och ändå erbjuda goda allmänna kommunikationer.
- Spårvägsgatornas rumsmiljö kan förbättras genom sten- och plattsättningar och andra dekorativa och funktionella element.
- Nya kommersiella och kulturella möjligheter öppnas i nerkörda miljöer.
- Över längre tid kan stadsdelar revitaliseras och verksamheter expandera – tecken på att staden har förtroende för sin egen framtid! Positiva exempel finns bl.a. i Strasbourg, Karlsruhe och Freiburg.

Varje spårvägsresenär är också en fotgängare. Spårvagnen förlänger fotgängarens aktionsradie genom att låta denne resa längre än vad han klarar av till fots men utan att använda bilen. Spårvagnar kan som enda fordonstyp för lokal kollektivtrafik tillåtas att köra rakt in i centrums mest attraktiva gågator. De eldrivna vagnarna går tyst och avgasfritt; så tyst att en diskret klocka kan behövas för att påkalla fotgängarnas uppmärksamhet.

Spårvagnar är sannolikt det mest lämpade kollektivtrafikfordonet för äldre och funktionshindrade. Den exakta angöringen vid plattformskanten, det bekväma låggolvsinsteget och den mjuka gången gör det lätt även för övriga resenärer att utnyttja spårvagnen. Detta understryker behovet av övergångsställen och smidigt tillträde till hållplatserna: direkt, hinderfritt och utan steg eller trappor. Hållplatserna får heller inte hindra passerande fotgängare. Resenärerna förväntar sig att hållplatserna placeras i direkt anslutning till bostäder, arbetsplatser och centra. Gångvägar fram till hållplatserna skall leda direkt till dessa på ett tydligt sätt. Ju bättre detta kan arrangeras, desto större blir upptagningsområdet. Avståndet mellan hållplatser i gatumiljö, speciellt om det gäller en linje som ersatt busslinjer, bör inte vara längre än 500 m. Hållplatser längs förortslinjer eller där annan kollektivtrafik kompletterar, kan ligga med längre avstånd sinsemellan.

Nya sträckningar, som byggs utanför gaturummet, kan med fördel ha gång- och cykelvägar längs sträckningen.

Skall en spårvägslinje byggas längs en tidigare järnvägssträcka bör extra uppmärksamhet riktas mot hur den lokala befolkningen använt det frigjorda utrymmet för den tidigare järnvägen. Förlusten av attraktiva promenadstråk och lekutrymmen kanske inte uppvägs av den nya spårvägslinjen. Politiskt kan det möjligen vara lättare att bygga på park- eller industrimark i stället för att ta av bilisternas gatuutrymme, men något bidrag till ett långsiktigt hållbart samhälle lämnar inte ett sådant beslut.

3.2 Spårvägstrafik och trafikledning, trafikteknik

För att spårvagnen ska rulla störningsfritt behöver den stöd av en god planering och trafikledning för övrig trafik. Samtidigt är spårvagnen ett bra stöd för denna trafikledning i strävandena att tillgodose miljövänliga persontransporter med stor frekvens.

Spårvagnar kan utnyttja gaturummet effektivt. I detta gaturum är det därför trafikplanerarens uppgift att prioritera effektiva fordon (som spårvagnar) framför ineffektiva (bilar). Att trafikera en spårvägslinje genom tätbebyggda stadsdelar går utmärkt med en väl genomtänkt trafikföring. Att riva hela kvarter för att åstadkomma särskilda körbanor för spårvagnar är att ta till större våld än nöden kräver och accepteras sannolikt inte av den lokala opinionen. Det finns i stället flera goda möjligheter att underlätta för spårvagnar.

En del av det befintliga gaturummet kan reserveras för spårvagnar. Där utrymmet medger kan två bilkörfält reserveras för dubbelriktad spårvägstrafik. Vissa gator kan stängas för genomfartstrafik eller göras om till gågator, där fotgängare och spårvagnar utmärkt kan samsas.

I blandade trafikmiljöer kan spårvägsspåren med fördel läggas mitt i gatan, vilket tillåter spårvagnarna att dominera trafikflödet, hålla högre hastighet och undvika konflikter med cyklister längs trottoarkanterna.

Spårvägshållplatser kan också med fördel läggas mitt i gatan, vilket underlättar snabb på- och avstigning och minskar störningarna för övriga gångtrafikanter.

Trafiksignaler kan programmeras för att ge spårvagnen förtur genom att slå om till "kör" exakt när spårvagnen behöver det. Köer kan flyttas från trånga platser till platser där spårvagnen kan få eget körfält.

Infartsparkeringar borde vara ett användbart sätt att minska antalet bilar i innerstäderna. Sådana parkeringar i anslutning till befintliga järnvägsstationer har haft varierande framgång, oftast störst i anslutning till stationer för mer långväga resande.

Några försök, bl.a. i Uppsala, har gjorts för att locka bilister till särskilda parkeringsplatser, varifrån särskilda bussar kör vidare in i citykärnorna. Framgångarna för dessa system tycks hänga samman med säkerhetsarrangemangen på parkeringsplatserna och turtätheten i anslutande buss- eller spårtrafik.

Figur 3.1 *Spårvagnen kan erbjuda en bekväm, lättillgänglig och säker angöring, alltid på exakt samma avstånd från plattformskanten. Ett kort och rakt insteg är till glädje inte bara för rullstolsburna och passagerare med barnvagn utan betyder också korta hållplatsuppehåll och effektivare trafik. Bilden är från Strasbourg 1998.*

3.3 Spårvägstrafik – kapacitet och flexibilitet

Kapaciteten per timme för olika fordonsslag anges vanligen till 0–10 000 per timme för buss, 2 000–25 000 för spårvagn samt 15 000 och uppåt för tåg. I de flesta sammanhang där spårväg övervägs är den önskvärda kapaciteten betydligt lägre än den maximala. Kapacitet är bara en fråga vid avgörandet av fordonsslag – miljöskäl kan vara det som fäller avgörandet till spårvägens fördel även vid lägre kapacitetsnivåer. Den maximala kapaciteten utnyttjas bara under några få timmar vid högtrafik, och även då kan variationerna vara stora. Hur variationerna uppträder beror till stor del på demografiska och sociala förhållanden längs linjen.

Eftersom spårvagnar konstrueras för att klara många stående passagerare är andelen stående i förhållande till sittande rätt stor. Ståplatsutrymmena är också väsentliga för rullstolsburna, resenärer med barnvagnar eller shoppingvagnar, och för den som vill ta med sig cykeln. Normalt räknar man med fyra personer per kvadratmeter. Några tillverkare kalkylerar med kapacitetsmåttet sex personer per kvadratmeter medan åtta personer per kvadratmeter används för att beräkna kraven på vagnens lastförmåga och motorernas dragkraft.

Ytterligare en faktor är att vissa resenärer föredrar att stå även om det finns lediga sittplatser. Detta kan bero på att man endast ska åka några få hållplatser, att man vill sträcka på benen eller att man helt enkelt föredrar att stå. En spårvagns komfortkapacitet bör därför anges till antalet sittplatser plus antal frivilligt stående, som kan antas utgöra 10–15 procent av största tillåtna antalet stående i vagnen.

Skillnaden mellan den genomsnittliga passagerarbelastningen vid en given tidpunkt och maxkapaciteten ger spårvägen en gynnsam elasticitetsfaktor. Detta gör att spårvägssystemet på ett helt annat sätt än busstrafik kan klara en plötslig tillströmning av resenärer. Stående resa accepteras sannolikt lättare av spårvagnsresenärer jämfört med bussresenärer genom att spårgeometri och fordonsegenskaper kan optimeras så att resenärerna utsätts för endast små rörelsekrafter.

Även om det kan vara attraktivt att erbjuda varje resenär en egen sittplats, är det spårvägssystemets förmåga att ta ett stort antal resenärer som gör det till ett miljömässigt överlägset alternativ i och med förmågan att transportera dessa utan lokal miljöpåverkan (snarare anses spårvägen kunna förbättra stadens förutsättningar och långsiktiga hållbarhet).

Det är stadskärnorna med flera linjer som kräver den största kapaciteten. Ett exempel från Karlsruhe visar att på stadens gågata med sex linjer i tiominuterstrafik rullar 36 dubbelkopplade spårvagnar som vardera kan medföra 225 resenärer, vilket ger en nominell timkapacitet om 16 200 resenärer. Denna kapacitet kan ökas till 25 200 utan att extra fordon behöver anskaffas. Spårvägen har således en unik förmåga att transportera ett stort antal människor i gaturummet utan att belasta de omgivningar som systemet betjänar.

Figur 3.2 *Spårvagnar är stadens mest effektiva fordon när det gäller att utnyttja gaturummet. Bussar kräver en till två meter bredare stråk. Foto från Paris 1998.*

Ytterligare en faktor som påverkar vilka fordonsresurser som skall sättas in på systemet är ett eventuellt beslut att locka bilister att lämna sina bilar. Ju svårare trafikförhållanden desto mer fullsatta spårvagnar accepteras. Men fullsatta vagnar kan bara accepteras på enstaka turer, annars växer missnöjet bland resenärerna och systemets inbyggda elasticitet går om intet.

Ett framgångsrikt spårvägssystem ska kunna klara plötsliga förändringar i efterfrågan, till exempel på grund av väderförsämringar. Det är bl.a. denna elastiska förmåga som gör att spårvägssystemet kan svara mot snabba förändringskrav på ett ekonomiskt försvarbart sätt. En spårvagn kan bli fullsatt, men det är många gånger bättre att komma med en sådan än att bli lämnad kvar vid en hållplats i väntan på att eventuella extrabussar kallas in i trafik.

Spårvägssystemet erbjuder sammanfattningsvis trafikplanerarna ett komplett system med följande egenskaper för att komma till rätta med trängselproblem:

- Stora fordon med hög kapacitet.
- God framkomlighet genom egna körfält som åtnjuter stor respekt från andra trafikanter.
- Inneboende auktoritet.
- Effektivt utnyttjande av gaturummet.
- Företräde i korsningar.
- Direkttrafik in i citykärnan utan omstigningar.
- Möjlighet att trafikera gågator där annan trafik är olämplig.
- Välplanerade långsiktigt hållbara lösningar.

4 Samhällsekonomi

4.1 Transporter och samhällsutveckling - en allmän introduktion

Historiskt sett har ett samband mellan transportinfrastruktur och ekonomisk tillväxt varit ett etablerat faktum. Under den tidiga industrialiseringsfasen uppfattades den underutvecklade transportinfrastrukturen som en bromsande faktor vad gällde industriell expansion och samhällsutveckling.

Transporter av människor och varor kännetecknades alltså av otillräcklig kapacitet och dålig kvalitet därför att de var mycket långsamma, osäkra och starkt begränsade i omfattning. Dessa förhållanden sågs av ekonomer och andra intressenter som ett bevis för att det råder ett samband mellan tillväxt och sysselsättning på den ena sidan, och tillgång till en välutvecklad transportinfrastruktur på den andra.

Redan under tidiga fasen av den moderna ekonomiska vetenskapens utveckling, uppmärksammade nationalekonomen, Smith (1776) och senare, Marshall (1891) ett systematiskt samband mellan transportsystemkvalitet och samhällsutveckling. Smith menade att transportsystemet hade en avgörande betydelse för en utvidgad marknad för olika sorts varor. Detta gav incitament till en ökad produktion genom arbetskraftens specialisering och produktivitetshöjning.

Marshall fokuserade sitt intresse på transportsystemets påverkan om lokalisering av industri, bostäder och annan kommersiell verksamhet. Med andra ord innebär detta synsätt att ett starkt samband mellan samhällsekonomisk effektivitet och transportsystemkvalitet existerar.

Det starkaste resonemanget som används för att framhäva detta fenomen brukar ofta vara att en utvidgad transportinfrastrukturkapacitet och förbättrad kvalitet skapar förutsättningar för säljare och köpare att få tillgång till nya marknader för naturtillgångar, slutprodukter och tjänster. Dessa nya förutsättningar sätter i gång en industriell expansion och specialisering, vilket gör det möjligt att utnyttja stordriftsfördelar i produktion med en ökad nytta som följd.

En sådan uppfattning om transporters roll i samhällsutveckling bygger naturligtvis på möjligheter till transportsatsningar i ett vidare nationalekonomiskt perspektiv. Å andra sidan tycks transportsystemförbättringar endast utgöra ett nödvändigt men ej tillräckligt villkor för ekonomisk utveckling. Faktum är att en industriell expansion ställer också krav på ett effektivt utnyttjande av existerande resurser såsom kapital, arbetskraft, naturtillgångar.

Som ett alternativ kan en liknande tillväxt i ekonomin åstadkommas genom att eventuellt lediga resurser utnyttjas eller också helt nya resurser sätts in i produktionen. Transportsystemets bidrag i denna process är att människor och varor snabbt och säkert kan förflyttas mellan olika platser, marknader och regioner.

Det är alltså genom sin roll i den bemärkelsen som transportsystemet tycks påverka ekonomiska förutsättningarna i ett samhälle. Hur kan man då i praktiken mäta de förändringar i välfärd, som t.ex. ett införande av ett lokalt eller regionalt spårvägsystem kan ge upphov till? I avsnittet nedan diskuteras huvuddragen i en sådan ansats.

4.2 Praktiska modeller för nytto-kostnadskalkyler

Sedan mitten av 1950-talet har en modell kallad "*social cost-benefit analysis*" använts för att genomföra samhällsekonomiska bedömningar av transportinfrastruktursatsningar. Denna ansats som bygger på välfärdsekonomiska teorin har utvecklats i USA och första gången användes i bedömning av ett vägprojekt i delstaten, Oregon. Sedan dess har metoden varit ett gängse hjälpmedel för investeringsbedömningar i samband med utbud av skattefinansierade offentliga tjänster.

Grundtanken är att resurser i ett samhälle skall sättas in där de mest behövs, dvs., måste användas på ett sätt som skapar maximal nytta. För att kunna välja mest lönsamma projekt behöver man därför definiera en utgångspunkt som står för samhällsekonomisk effektivitet. Ett sådant läge definieras av "*Pareto-optimalitet*", vilket innebär att välfärd av någon individ i ett samhälle inte kan förbättras utan att göra det sämre för en annan. Kalkylmodeller som bygger på dessa tankegångar kan därför belysa de renodlade aspekterna av samhällsekonomisk effektivitet i samband med rangordning av olika projekt.

Men det som också är centralt för denna teori är slutsatsen att effekter av en ekonomisk policy eller åtgärd går att mäta i de marknader som berörs av den policyn eller åtgärden. En viktig förutsättning som teorin bygger på är dock att det inte förekommer några fall med odelbarheter, kollektiva nyttigheter, stordriftsfördelar och externa effekter i ifrågavarande ekonomin.

I den praktiska tillämpningen inom transportinfrastrukturplaneringen tolkas denna ansats så att transportkostnadsbesparingar för existerande trafik plus nyttan hänförlig till nygenererad trafik på en förbättrad transportförbindelse skall motsvara en god approximation av totalnyttan av en transportinvestering.

Realismen i detta påstående är naturligtvis beroende

av den precision med vilken de externa effekterna och övriga störningarna beaktas i nytto-kostnadsanalysen (Hussain, 1990).

I Sverige har samhällsekonomiska kalkylmodeller som bygger på dessa tankegångar utvecklats i samband med transportinfrastrukturplaneringen och används sedan länge av Banverket och Vägverket.

Bristande kunskaper om operationaliserbara transportefterfrågemodeller gör att man väljer en ansats med generaliserade transportkostnader för trafik som utgångspunkt. I det fallet är det möjligheten att färdas mellan start- och målpunkten som är slutprodukten, eftersom det antas att något substitut av betydelse inte finns.

Först och främst kan en förbättrad trafikled leda till ökad framkomlighet och minskningar i restid, driftkostnader och olycksrisker för den existerande trafiken på den aktuella förbindelsen. Det är normalt så att nytta för nygenererad trafik, som i princip kan avspegla rumsliga förändringar, uppfattas som obetydlig och därför inte beaktas i en sådan nyttoanalys.

Här bör man påpeka att en sådan kalkylmodell bortser från fördelningskonsekvenser av ett projekt. Beslutsfattare är ofta intresserade av hur kostnader och nyttointäkter fördelas inom samhället. Det är därför viktigt att en kalkylmodell också på något sätt fokuserar på projektens fördelningsmässiga aspekter.

4.3 Dynamiska struktureffekter

Inte sällan talas det om att de praktiska kalkylmodellerna försummar regionala utvecklingseffekter eller dynamiska effekter i form av en ökad sysselsättning och tillväxt i näringslivet etc. (Hussain, 1996).

Som det påpekades ovan, är en passagerares möjlighet att smidigt och obehindrat åka genom högt trafikerade områden och stadsdelar, särskilt under rusningstid, kanske den viktigaste nyttovinst som ett spårvägssystem förväntas resultera i. Dock är det realistiskt att tro att en sådan transportsystemförbättring också skapar förutsättningar för effektivare allokering av resurser i en rumslig mening, vilket kan leda till en omlokalisering av kommersiella verksamheter (restauranger, kiosker och butiker etc.), bostäder, fritidsparker och industrier.

Det finns bevis för att också modal split påverkas så att användning av bil ersätts av resor med spårvägstrafik. Sådana effekter brukar i princip reflekteras av observerbara förändringar i sammansättning av den trafik som passerar den aktuella rutten eller förbindelsen.

I samband med duospårvägssystem kan dessutom en lägre transportkostnadsnivå attrahera resurser från andra regioner i en interregional scenario, vilket kan ge upphov till ökad sysselsättning och ekonomiska aktiviteter med en omfördelning av inkomster mellan olika regioner som följd. Slutsatser från tidigare internationella studier av spårvägstäder och erfarenheter i övrigt ger anledning att tro det finns en potential för att exploatera sådana fördelar även i Sverige. Några exempel på studier i den tradition är t.ex., Cardiff och Newcastle upon Tyne (England), Graz (Österike), Saarbrucken (Tyskland) och Strasbourg (Frankrike). I Strasbourg beräknas spårvägen svara för en tredjedel av alla lokala resor som genereras i området (Hedström, 1999).

Det är alltså mot denna bakgrund diskussionen skall föras vad gäller de struktureffekter som införande av ett light-rail och/eller duospårvägssystem i Sverige kan tillföra ekonomin som helhet men också dess berörda regioner.

4.4 Den finansiella aspekten

Det är ett välkänt faktum att transportsystemförbättringar i allmänhet gör anspråk på stora resurser och införandet av ett system med spårvägstrafik är därför förknippat med höga och till en stor del också irreversibla investeringskostnader.

Knappheten av resurser innebär att finansieringsaspekterna har stor betydelse för möjligheten att införa ett modernt spårvägssystem. En intressant frågeställning är hur beslutsprocessens tidshorisont kan tänkas påverka den slutliga totalkostnaden. Ju mer man arbetar med ett projekt desto mer byggs in i projektet och det därmed tenderar bli dyrare över tiden.

Kostnaderna för såväl infrastrukturen som för fordonen är en viktig del i den totala finansieringsbilden. Frågan är vilken potential det finns för att påverka kostnaderna för dessa objekt speciellt under antagande att införande av spårvägstrafik på nationell nivå skulle ske i en ökad omfattning.

När det gäller investeringar i transportinfrastruktur i allmänhet har stat och kommuner överallt i världen varit dominerande beställare. Under sistone har andelen privat finansiering ökat markant. Sådana finansieringslösningar har redan prövats i städer som Karlsruhe och Strasbourg där upp till 15% respektive 22% av investeringskostnaden har finansierats av privata resurser (Hedström, 1999).

Det som egentligen bör styra finansieringsfrågor kan vara tre huvudsakliga riktlinjer: (i) en investering i ett transportsystem måste i omfattning matcha de behov som finns, (ii) projektet måste realiseras på ett effektivt sätt, och (iii) kostnader för projektet måste fördelas på ett sätt som inte leder till en snedvriden inkomstfördelning.

En kombination av skatter, avgifter och privata sektorns medverkan kan därför vara en grundläggande strategi för att hitta realistiska finansieringslösningar. Här bör det också finnas möjlighet att på nationell nivå kunna enas om en enhetlig spårkonstruktion för att därigenom pressa

kostnaderna för såväl infrastruktur som för fordonen.

Hur finansieringen skall fördelas mellan olika intressenter är en mycket intressant och viktig fråga i dagens samhälle och borde utredas i ett nationalekonomiskt och regionalt perspektiv. De som har ett självklart intresse för en attraktiv kollektivtrafik är naturligtvis staten, berörda kommunerna, näringslivet liksom vissa industriföretag.

En variant kan vara att ett sådant trafiksystem byggs i olika etapper. Detta ställer dock krav på att det totala linjenätet är väl genomtänkt så att man inte bygger fast sig i sådana alternativ som i ett senare skede blir svåra och kostsamma att lägga om eller förändra.

Finansieringsproblem måste därför ses i kombination med nytänkande där frågor som en god miljö, hållbar samhällsutveckling och den framtida stadsbilden beaktas.

4.5 Särskilt FoU-behov

Det finns ett särskilt behov av samhällsekonomisk forskning inom detta området vad gäller utveckling av lämpliga principer och metoder för att monetärt värdera olika komponenter av restid, som ofta utgör en tung andel av den totala trafikantkostnaderna.

5 Miljöaspekter

5.1 Miljöaspekter på spårvägstrafik

Miljö är ett begrepp som kan innefatta många olika aspekter. Till miljöaspekter bör räknas alla faktorer som har betydelse för vår långsiktiga överlevnad på jorden. Biologisk mångfald, gröna ytor, den ekologiska väven, olika biotoper, dvs. grön naturvård är mycket väsentlig. Intrång av infrastruktur i gröna områden är en viktig effekt i detta sammanhang. Luft, mark, vatten är också viktiga och påverkas av transportsektorns utsläpp. Den ursprungliga betydelsen av miljön är den omgivning vi vistas i, där begrepp som närmiljö, arbetsmiljö, boendemiljö, stadsmiljö närmare kan definiera vad det rör sig om. I detta vävs både estetik, känsla, luftkvalitet, buller och funktionalitet m.m. in. Psykosocial miljö (där de mänskliga relationerna betonas) är ytterligare en aspekt. Stadsmiljö behandlas i kommande kapitel.

Miljöaspekterna på spårvägstrafik i stadsbygd är av ett antal olika typer, enligt bl.a. Ryberg & Eriksson (1997):

- Emissioner.
- Resursutarmning.
- Buller.
- Estetik och stadsbild.
- Barriäreffekter.
- Service och underhåll av vagnar.
- Service och underhåll av spår och anläggningar.
- Tillverkning, byggande och resthantering av vagnar och anläggningar.
- Slitage.
- Uppvärmning och drift av tillhörande byggnader.

5.2 Spårvägen och utsläpp

De flesta diskussioner om miljön kommer förr eller senare att handla om föroreningar. Detta är ett globalt problem uppmärksammat inte minst av de internationella miljökonferenserna år 1994 och 1998. Spårvägar torde ha relativt liten global miljöpåverkan och även ganska måttlig lokal dito i jämförelse med t.ex. bilen och bussen. Detta till trots är det viktigt att arbeta för att minska miljöpåverkan ytterligare. Framför allt kan införandet av spårvägssystem på ett påtagligt sätt medverka till att minska luftföroreningarna i stadsmiljön genom att bilresor kan ersättas med spårvägsresor. Detta torde vara den viktigaste infallsvinkeln vad gäller spårvägstrafik och luftföroreningar.

På nästa sida (tabell 5.1) ges exempel på beräkningar av emissioner från framdrivningen från Ryberg & Eriksson (1997), där de jämför dagens spårvagnstrafik i Göteborg med samma trafikering ersatt med bussar. Ryberg & Eriksson konstaterar att spårvägen i alla avseenden har mindre miljöpåverkan än bussen, utom i ett fall, nämligen vid ett visst sätt att beräkna utnyttjande av ändliga resurser. Vari skillnaden mellan de två olika beräkningssätten består, redovisas emellertid inte.

Från slitaget på hjul och räler, från strömavtagarna och från bromsbeläggen förekommer emissioner av metaller. Lindström & Rossipal (1987) redovisar sådana siffror för järnvägstrafik, men eftersom de kan skilja sig avsevärt från spårväg i stadsmiljö med helt andra hastigheter, nöjer vi oss här med att konstatera den sannolika förekomsten av dylika emissioner.

Stockholms trafikkontor har i en utredning konstaterat att eldriven kollektivtrafik ger miljövinster. Kostnaderna vägs dock inte upp av vinsterna om inte miljövärderingen ökar till det dubbla för trådbuss och det fyrdubbla för spårväg (Trafikkontoret, 1988). I det sistnämnda fallet har utredningen inte satt något värde alls på den högre åkkomforten och den positiva inverkan på stadsbilden. Som exempel kan nämnas att om nuvarande busstrafik på t.ex. Odengatan i Stockholm ersätts av eldriven trafik skulle det i maxtimmen medföra en reduktion av den mutagena aktiviteten i luften motsvarande bidraget från 2 000–20 000 katalysatorbilar. Om eldrivna fordon trafikerade stomnätet skulle busstrafikens andel av vägtrafikens NOx-utsläpp reduceras från 15% till 2% i innerstaden (Trafikkontoret, 1988).

Fordonens långa livslängd, 30 år och mer, kan ses som en miljöfördel för spårvägen. I vissa avseenden har denna långa livslängd också nackdelar: i vårt samhälle behövs en ständig förnyelse av kollektivsystemens fordon för att de ska kunna hävda sig. Status och fräschör är en viktig faktor vid färdmedelsval. Detta behov kan tillfredställas genom renovering, byte av inredning etc. på begagnade vagnar. *Bombardier* förbereder för sådana renoveringar genom montering av inredning på ett sådant sätt att det ska gå lätt att byta. *Adtranz* talar på liknande sätt om möjligheter att byta front på fordonen för att de ska följa modet och få en ny image.

5.3 Buller och vibrationer

Statens naturvårdsverk har gett ut riktlinjer för vägtrafikbuller i nybyggd miljö (gäller alltså ej befintlig miljö):

Inomhus: 30 dBA Ekvivalent ljudnivå/dygn
45 dBA Max ljudnivå
Utomhus: 55 dBA Ekvivalent ljudnivå/dygn

I Göteborg utsattes 1992 ca 250 lägenheter för sådana bullernivåer att den maximala ljudnivån inomhus sannolikt är högre än 55 dBA. Målet var då att åtgärda dem före 1995. Den maximala ljudnivån på 10 m avstånd vid hastigheten 60 km/tim är 85 dBA (frifältsvärde, dvs. värde utan påverkan av reflexer). Vid 30 km/tim är mot-

Tabell 5.1 *Emissioner i Göteborg för den totala spårvagnstrafiken och jämförbar busstrafik (Källa: Ryberg & Ericsson).*

Emissioner till luft	**Spårvagn** (svensk medelel) kg/år	**Buss** (dagens mix av diesel och naturgas) kg/år
CO_2	1 500 000	73 700 00
CO	407	7 110
CO_x	1 460	714 000
SO_2	1 220	14 300
HC	469	22 300
PAH	$4{,}23 \cdot 10^{-3}$	(uppgift saknas)
CH_4	1 230	36 000
N_2O	13,5	1 550
Stoft	458	(uppgift saknas)
NH_3	$8{,}46 \cdot 10^{-3}$	(uppgift saknas)
Rn-222[Bq]	1 890 000	(uppgift saknas)
Emissioner till vatten		
Tot-N	17,1	126
COD	0,0251	769
Olja	0,0692	263
Upplöst fast material	4,23	(uppgift saknas)
Icke förnyelsebar energi		
Olja	1 170 000	16 500 000
Naturgas	25 900	2 480 000
Kol	167 000	(uppgift saknas)
Uran	443	(uppgift saknas)

svarande värde 75 dBA. Variationer runt dessa värden förekommer beroende på konditionen hos rälen och/eller hjulet. Upp till 7–8 dB högre värden än ovanstående har uppmätts och även några dB lägre. (Göteborgs stad, 1992).

Det primära bullret från spårvagn utgörs av rulljud som uppstår på grund av friktionen mellan hjul och räl, vilket huvudsakligen beror på hjulet. I kurvor kan skrikljud uppstå och i korsningar mellan linjer en tredje typ av ljud som kan vara mera störande än rulljud trots att det är lägre. Fläktar, kompressorer, reaktorer, drivsystem, dörrar (pysljud) och ljud från strömavtagaren är ytterligare exempel på ljudalstrande källor som kan hänföras till spårvägstrafik (Göteborgs stad, 1992). Erfarenhetsmässigt anses att bullret är ett större problem vid nybyggda spår än vid befintliga spår. Det centrala problemet torde vara att begränsa bullret vid källan, dvs. med åtgärder på vagn och räler.

Exempel på möjliga åtgärder är (Göteborgs stad, 1992):

- att svarva hjulen oftare, slipa rälen oftare, smörjning och annat underhåll,
- ljuddämpande "kjolar",
- fönsterbyte i utsatta bostäder,
- bullerskärmar,
- ljuddämpande ytbeläggning, t.ex. gräsmatta (kan dämpa 3–4 dBA),
- ljudabsorbenter på vagnens undersida,
- annan typ av hjul,
- specialskärmar, så kallade spaltdämpare, dvs. låga vagnnära skärmar.

När det gäller att begränsa bullret genom åtgärder i själva spårkonstruktionen kan nämnas att man i bl.a. Nürnberg, München och Bremen gjort försök med att gjuta in rälen i kork-gummi-blandning. Fenomen som exempelvis räffelbildning på rälen ger upphov till både buller och vibrationer.

Effekterna av vibrationer är avhängigt av de geotekniska förhållandena. Ofördelaktiga geotekniska förhållanden kan innebära att känsliga byggnader i angränsning till spårområdet kan få sprickbildningar eller att boende drabbas av olägenheter.

Angeläget är därför att konstruktion och underhåll av spårkonstruktionen utvecklas för att så kostnadseffektivt som möjligt hålla buller och vibrationer på en acceptabel nivå.

Figur 5.1 *Att införa ett spårvägssystem är sannolikt ett effektivt sätt att påskynda den nödvändiga miljöanpassningen av transportsystemet. I tyska Freiburg fick man en grönare stad med spårvagnarna, som här går i bullerdämpande gräsmatta.*

6 Stadsbild

6.1 Planeringsprocessen vid införande av spårvägstrafik

Även om det tidigare funnits spårvägstrafik i flera svenska städer kan man med stor säkerhet påstå att det – för den stora allmänheten – finns en begränsad kunskap om vad spårvägstrafik egentligen innebär. Återtagningsprocessen, dvs. återupprättande av spårvägstrafik kan därför bli en besvärlig process, där själva planeringsprocessen blir av stor betydelse för allmänhetens acceptans av detta kollektivtrafiksystem.

Utrymmet i staden är en bristvara. En klar uppdelning av gaturummet mellan olika transportslag är viktig. Spårvägen är ett flexibelt transportmedel genom att vagnarna ibland kan köras fort på egna spår och ibland långsamt i gågatumiljö.

Återinförandet av spårvägstrafik kräver samordning mellan stadsbyggnad och trafikplanering. Organisationsstrukturen kan vara avgörande; en svårighet kan exempelvis vara kopplingen mellan bostadsplanering och trafikplanering. Oklara ansvarsförhållanden kan också verka kostnadsdrivande. Internationella erfarenheter talar för att spårvägen kan vara positiv för stadsmiljön.

Det är angeläget att gå igenom sambandet mellan stadsmiljö, stadsstruktur och kollektivtrafiksystem. Strukturerande effekter bör inkluderas i modellerna.

6.2 Estetik och stadsbild

Med utgångspunkt från spårvägssystemet som konstruerades i Tasmankorridoren i mitten av 1990-talet redogör Barnes m.fl. (1995) för hur designfrågor framgångsrikt och kostnadseffektivt kan integreras i planeringsprocessen. Målet var bl.a. ett samarbete mellan dem som designade och befolkningen i de städer som skulle förbindas av spårvägen. Syftet var att försöka bibehålla respektive stads kulturella identitet trots projektets storskalighet.

När Metro Link, spårvägssystemet i St. Louis, konstruerades i början av 1990-talet, anlitades konstnärer för utformningen av de funktionella delarna i systemet. Sedan länge har det varit vanligt att konstnärer får smycka speciella delar av ett kollektivtrafiksystem, som t.ex. T-banan i Stockholm, men det nya i det här fallet var att konstnärerna fick samarbeta med ingenjörerna för utformning av broar, bropelare, stationer etc. Den genomgående formen i systemet representerades av kurvlinjen. Svängda konturer hos p-platserna vid stationerna följer naturens linjer (Ruwitch, 1992).

Målen vid utformningen var att åstadkomma rena enkla linjer som ger ett dynamiskt, böljande och även tredimensionellt intryck. Ett centralt tema som gör Metro Link karakteristiskt och dess olika delar igenkännbara

Figur 6.1 *Exempel på modernt spårvägssystem i Strasbourg.*

skulle användas. Kostnaden fick inte heller bli avsevärt högre än för ett konventionellt byggande (Ruwitch, 1992).

I San Diego konstaterade man att det mest estetiska systemet för elmatning är att ha en enda kontaktledning under jord. På grund av kostnaden valde man dock luftledningar, men man utvecklade en "lågprofil"-ledning för att göra den mer estetiskt tilltalande. Likaledes övergick man så småningom till standardstolpar för att undvika det röriga utseende som blev resultatet när varje stolpe anpassades till sin specifika belastning (Thorpe, 1992). I känsliga miljöer bör man dock inte dra sig för att sätta upp specialdesignade stolpar även om det kostar extra, på liknande sätt som gatubelysningen i många fall har hanterats under senare år (Trafikkontoret, 1988).

I en idéskiss till spårvägstrafik i Stockholm konstateras att spårväg påverkar stadsbilden mest av de kollektiva trafikmedlen, p.g.a. fordonens storlek och de fasta anläggningarna: spår och kontaktledning. Däremot framstår den för många som ett tilltalande inslag i stadsbilden eftersom den har en historisk bakgrund i Stockholm och är kopplat till stadens expansion runt förra sekelskiftet (Trafikkontoret, 1988).

Ytbeläggningen kring spåren kan utgöras av exempelvis betong, makadam eller gräs. Gräs är dyrt att underhålla men ljuddämpande och vackert (Trafikkontoret, 1988).

6.3 Barriäreffekter

Barriäreffekterna av spårväg i befintlig gata kan förmodas vara måttliga. När spåren byggs på egen banvall utgör de däremot en större barriär. Om sedan spårvägen ska drivas med automatiska förarlösa vagnar måste banvallen avskärmas så att inte människor och djur kan förirra sig in där varvid den med nödvändighet blir en stark barriär.

Vissa lösningar i gator, t.ex. i Oslo, har utformats för hög trafiksäkerhet med staket längs spåren och tillåtna övergångar för fotgängare endast i vissa punkter. Detta utgör då en barriär som gör det omöjligt för gatan att fungera väl som en handelsgata. Förutsättningen för en väl fungerande handel är att man kan gå mellan affärer även om de ligger på var sin sida om gatan. Trafiksäkerhetseffekterna av denna lösning är också omdiskuterad, olyckor i övergångspunkterna tycks inte vara ovanliga (Nielsen, 1998).

En annan lösning, som förekommer bl.a. i Norrköping (Zetterberg, 1998) och Freiburg, Tyskland, är något som liknar en gårdsgata och som reducerar barriäreffekten betydligt. Det är tillåtet att gå på hela gatan och spårvagnen får sänka hastigheten kraftigt för att fotgängarna ska hinna undan när den kommer. Detta är en lösning som kan passa för de allra centralaste delarna av staden. Den lägre hastigheten på en begränsad sträcka i centrum kompenseras av att spårvagnen kan komma ända in i centrum med möjlighet till kortare gångavstånd för många passagerare (Nielsen, 1998). I Norrköping har endast en olycka hänt efter två års drift (i samband med ett evenemang som gick av stapeln på gatan).

En liknande lösning för buss, kombinerad buss- och gågata, finns i centrala Odense och tycks fungera väl där.

7 Säkerhetsfrågor i spårvägstrafik

7.1 Allmänt

De risker som är förknippade med spårvägar är nära förbundna med bl.a. spåranläggningens placering i gaturummet/stadsmiljön, utformningen av hållplatser/plattformar, trafikupplägg, regeltillämpningar samt val av fordon. Dessa risker har i sin tur implikationer för den samhällsekonomiska analysen och för värderingen av spårvagnstrafik kontra busstrafik.

Att spårvägar har en viss "katastrofpotential" visas av den svåra spårvagnsolyckan i Göteborg 1992 när 10 personer omkom och 30 skadades. Efter denna olycka har riskerna i spårvagnstrafiken i Göteborg varit föremål för flera studier/utredningar (Hedelin, Björnstig & Brismar, 1995; Lindberg & Fredén, 1995; Pålsson & Davidsson, 1993; Trafikkontoret i Göteborg, 1995). Studien av Lindberg och Fredén (1995) begränsas dock inte till Göteborg utan omfattar samtliga svenska trafikutövare med kommersiell spårvagnstrafik (exklusive museispårvägar).

7.2 Säkerhetsaspekter vid spårvägstrafik

En s.k. duospårväg innefattar inte enbart "spårvägsmässiga" risker utan även "järnvägsmässiga" sådana. Ett "worst case-scenario" beträffande den förstnämnda typen av risker skulle kunna vara att ett höghastighetståg till följd av tekniska och/eller mänskliga fel sammanstöter med ett betydligt lättare spårvägsfordon. Även om sannolikheten för en sådan olycka torde vara synnerligen liten kan det ändå vara befogat att överväga ifall någon typ av riskanalys behöver göras för denna typ av risker.

När det gäller mera vardagliga olyckstyper (kollisioner med vägfordon och oskyddade trafikanter, fall i vagn samt vid av- och påstigning, dörrklämning, urspåringar, sammanstötningar mellan spårvagnar samt övriga händelser) finner man tämligen stora skillnader mellan olika befintliga trafikutövare (Lindberg & Fredén, 1995). Dessa skillnader kan åtminstone till viss del förklaras av skillnader i trafikmiljö, fordonskonstruktion och trafikeringsförutsättningar, men förklaras troligen även delvis av skillnader i rapporteringsrutiner. Det svenska dataunderlaget är dock alltför begränsat för att ge några säkra indikationer på hur säkerhetsfrågorna bör lösas vid nyanläggning av spårväg.

Förutom de problem av säkerhetsmässig art som man har erfarenheter av hos dagens verksamhetsutövare inom svensk spårvagnstrafik, kan särskilda problem uppstå genom att ett nytt trafikslag införs i en befintlig modern trafikmiljö. En nyanlagd spårväg innebär att man tvingas samsas om gatuutrymme med "icke spårvagnsvana" bilister och oskyddade trafikanter.

Särskild uppmärksamhet bör ägnas åt de speciella problem som kan uppstå vid trafik på gågator. I vissa fall torde trafikering av gågator kunna undvikas utan att alltför långa gångavstånd blir följden, medan det i andra fall knappast går att undvika. Vid beslut om eventuell projektering av spår i gågata är det viktigt att förutom säkerhetsaspekterna även väga in de tidsförluster som kan bli följden av exempelvis en hastighetsnedsättning. Här kan nämnas att då spårvägen i Strasbourg öppnades för trafik framfördes fordonen till en början med mycket låg hastighet för att sedan successivt höjas. Syftet med detta förfarande var att vänja övriga trafikantgrupper med detta "nya" trafikslag.

Till säkerhetsfrågorna kan förutom trafiksäkerheten även räknas frågor som har med "security" att göra. Våld eller hot om våld mot förare och/eller medresenärer, sabotage eller allmänt störande uppträdande bland vissa resenärer kan utgöra ett problem för somliga turer, vissa tider på dygnet, framförallt under vissa veckodagar. Även om de direkta skadeföljderna vid denna typ av händelser oftast torde vara begränsade kan förekomsten av denna typ av problem bidra till att minska attraktiviteten hos light-rail i resenärernas ögon.

De "barriäreffekter" som en nyanlagd spårväg (särskilt där den går på egen banvall) kan tänkas medföra måste också beaktas. Att redan under projekteringsstadiet försöka minimera antalet ställen där "spring över spåret" kan komma att utgöra ett säkerhetsproblem är en viktig uppgift. Att i efterhand försöka åtgärda denna typ av problem genom olika typer av skyddsanordningar/avspärrningar visar sig ofta kostsamt och når sällan fullständig effektivitet.

7.3 Signalsystem

Även om den klassiska spårvägen alltid kördes på sikt ("hastigheten får aldrig vara högre än att spårvagnsföraren kan stanna på den siktsträcka som denne kan överblicka") fanns det nästan alltid några signaler inom varje spårvägsnät. Dessa signaler kunde indikera växelläge, reglera spårvägstrafiken i någon trafikknut eller vara ett skydd mot sammanstötningar i någon skymd kurva. När gatutrafiken började styras med fasta ljussignaler fick spårvagnarna antingen följa dessa eller, när detta var olämpligt, ha egna signaler. Man noterar att dessa signalers funktion i viktiga avseenden skiljer sig från järnvägens och huvudsakligen är baserade på vägtrafikpraxis. Snabbspårvägar har i allmänhet någon form av linjeblockering med huvudsignaler och för reglade växlar (järnvägsmässig signalering) på förortslinjerna medan man kör på sikt inne i staden. Det har

debatterats huruvida detta innebär en risk när föraren skall ställa om sig mellan de två olika rörelseformerna. Vissa snabbspårvägar har någon form av hastighetsövervakning ("ATC") kombinerat med hyttsignalering (t.ex. Lidingöbanan). Utöver signalsystemets säkerhetshöjande effekt kan det, lämpligt utformat, bidra till att öka trafikens regularitet och vara ett hjälpmedel för att minska effekten av störningar.

7.4 Helhetsperspektivet

Det är viktigt att säkerhetsfrågorna belyses ur ett helhetsperspektiv och inte bara från ett ensidigt "light-rail perspektiv". Risker som drabbar tåg-, väg-, gång- och cykeltrafik måste belysas. Det faktum att definitions-, gränsdragnings- och ansvarsfrågor inom/mellan olika trafikslag (och även mellan olika myndigheter) inte alltid är så klara och entydiga som man skulle önska gör det hela till en komplex men icke desto mindre angelägen uppgift.

Att säkerhetsfrågorna beaktas redan på planeringsstadiet är av stor betydelse. Om detta inte görs finns stor sannolikhet för att det under resans gång ställs nya säkerhetskrav. I sin tur kan detta innebära fördyrade kostnader för det planerade projektet, liksom det kan ge estetiskt negativa effekter på stadsbilden. Därmed torde det finnas en stark koppling mellan otydligt ställda säkerhetskrav och minskade möjligheter att skapa acceptans för ett i övrigt attraktivt kollektivtrafikmedel.

Även om det till viss del finns nationella erfarenheter vad gäller säkerhetsfrågor i samband med spårvägstrafik finns det anledning att göra internationella utblickar beträffande olycksmönster och trafikmiljö. En inventering av hur säkerhetsfrågor har hanterats på orter runt om i världen där spårvägstrafik har införts bör vara av stort intresse för att kartlägga i vad mån de internationella säkerhetsmässiga erfarenheterna kan överföras till svenska förhållanden.

Figur 7.1 *Exempel från Freiburg im Breisgau i Tyskland på en trafikmiljö med integrerad spårvägs-, gång- och cykeltrafik.*

8 Regelverk för spårvägstrafik

8.1 Introduktion

Regler för spårvägstrafik har – liksom motsvarande regelverk för järnvägar – egentligen två syften. Dessa formulerades av 1914 års säkerhetskommitté på följande sätt: ... bestämmelser för reglerande av rörelsen med järnvägsfordon ... i syfte att dels förekomma skador å människor och materiel i anledning av denna rörelse, dels trygga rörelsens regelbundna gång (SJ, 1918).

Regelverket skall således såväl förhindra olyckor som ge spårvägen en hög tillförlitlighet (förmåga att utföra en önskad prestation). Att utforma ett bra regelverk är en svår och intrikat uppgift. Här skall dock denna problematik endast beröras helt flyktigt. Tyngdpunkten ligger på en rent deskriptiv redovisning av sådana externa regler som i något väsentligt avseende har inflytande på den svenska spårvägens teknik, administration eller trafik. Därutöver berörs något den process som föregår en regels tillblivelse samt även hur regelsystemet är utformat i Tyskland (där huvudparten av Europas spårvägsnät finns) och exempel på den kunskapsbas som där utgör reglernas underlag.

En regel är en handlingsföreskrift. Formella regler – endast sådana är aktuella här – har uppbyggnaden om A, gör B, där A är beskrivning av en situation och B är en åtgärd (som givetvis kan vara noll). En regel syftar till att uppnå ett visst handlingsmönster som i sin tur främjar ett givet mål (här oftast säkerhetsökning). Regelns förmåga att bidra till detta mål beror primärt på tre faktorer:

- regelns teoretiska effektivitet, dvs. om regeln följs i vilken utsträckning bidrar detta till måluppfyllelsen?
- hur klar och entydig är beskrivningen av situation (hur väldefinierat är A)?
- hur klar och entydig är beskrivningen av åtgärden (hur väldefinierat är B)?

Sekundärt bidrar sådana faktorer som aktörernas möjlighet att tillgodogöra sig beskrivningarna A och B samt deras intresse för att följa reglerna (de här kallade sekundära faktorerna aktualiseras i första hand när reglerna är avsedda för operativa beslut).

Dessa frågor diskuteras sällan – trots att de har en avgörande betydelse för reglernas verkliga effekt – och så kommer inte heller att ske här. Det finns dock all anledning att aktualisera problemen vid en kommande diskussion av sådana regler eller förslag till regler där innehåll, formulering och effekt ej är helt triviala.

8.2 Svenska regler för spårvägstrafik

Dessa regler återfinnes huvudsakligen i järnvägssäkerhetslagen (1990:1157) och lag om ändring av järnvägssäkerhetslagen (1996:736) och i de regler och föreskrifter som Järnvägsinspektionen utfärdat med stöd av järnvägssäkerhetslagen. Generellt gäller inte regler för vägtrafik spårvägstrafiken eftersom spårvagnen inte är fordon i juristernas fackspråk. Vissa regler som berör spårvägstrafik i gatumiljö samt regler rörande plankorsningar med vägtrafik återfinnes dock i vägtrafikförordningen (SFS 1990:1165) och i vägtrafikkungörelsen (1972:603). Vidare kan vissa av kommerskollegium utgivna regler rörande starkströmsinstallationer vara tillämpliga.

8.3 Reglernas mål och omfattning

Regler, som avser att begränsa och styra en verksamhet, motiveras utifrån ett eller flera olika syften. Utformningen av regeln sker (eller bör ske) utifrån en analys av det scenario man önskar påverka. Därigenom kan man förhoppningsvis skapa en regel som dels gör att syftet uppnås, dels att oundvikliga, icke önskade biverkningarna är acceptabla. Detta innebär att det har begränsat intresse att diskutera regler som fristående företeelser. Det väsentliga är givetvis de processer som föregår regelskapandet – hur formuleras regelns syfte, hur är analysen av regelns effekter genomförd och dokumenterad etc.

8.4 Nuvarande regler

De nuvarande reglernas syfte är att säkerställa att spårvägstrafiken sker med lägst en säkerhet som är accepterad av samhället och med acceptabla störningar för övrig trafik. Tidigare fanns även regler som avsåg att reglera resenärernas rättigheter och skyldigheter. Dessa regler är i dag nästan helt ersatta av generella bestämmelser såsom allmän ordningsstadga och civilrättsliga lagar. Varken de regler som finns i vägtrafikförordningen och andra förordningar som berör vägtrafiken eller regler rörande elektriska installationer inskränker i något väsentligt avseende spårvägens verksamhet. Järnvägslagens bestämmelser, såsom dessa tolkas av Järnvägsinspektionen, syftar i första hand till garantera att verksamhetsutövarna har de resurser, den organisation och den målsättning som behövs för att säkerställa en hög säkerhet. Hela det nuvarande regelverket finns samlat i Järnvägsinspektionens handbok (J, 1999).

Huvudrubrikerna är:

JH 2.1	Regler om ansökan om tillstånd
JH 3	Regler om säkerhetsordning
JH 4.3	Regler om trafiksäkerhetsinstruktion för spårväg (TRI)
BV-FS 1991:2	Banverkets föreskrifter om hälsokrav m.m. för personal med säkerhetstjänst Järnvägsinspektionens kommentar till järnvägssäkerhetslagen (nr 1992:1): Kompetenskrav på trafiksäkerhetspersonal
BV-FS 1996:1	Järnvägsinspektionens föreskrifter om internkontroll genom säkerhetsstyrning
BV-FS 1997:1,	
JH 8.2	Regler om godkännande av spåranläggning
JH 8.3	Regler om besiktning och underhåll av spåranläggning
JH 12.1	Regler om rapportering av olyckor

Utöver dessa hittills publicerade regler är ytterligare några rubriker planerade.

JH 6.3	Regler om fordon, krav på besiktning och underhåll (remissutgåva finns)
JH 8.4	Regler om hastighetsövervakning i spåranläggning (remissutgåva finns)

8.5 Reglernas utformning

Reglerna har som nämnts nästan uteslutande till syfte att främja en säker trafik. Reglernas värde kan därför endast bedömas utifrån en analys av deras riskminskande effekt vilken skall jämföras med de kostnader samma regel förorsakar spårvägen, dess trafikanter och samhället i övrigt. Regler går egentligen inte att diskutera utan att samtidigt diskutera spårvägens riskbild. Eftersom merparten av de regler som Järnvägsinspektionen utfärdat är av generell natur, allmänt hållna och uppenbart riskminskande och de kostnader som är förknippade med dem små, har veterligen inga krav på en cost-benefit-analys ställts.

Reglerna föreskriver emellertid att trafikföretaget skall utfärda ett antal interna regler som behandlar olika säkerhetsfrågor och dessa interna regler skall godkännas av Järnvägsinspektionen. Därigenom har Järnvägsinspektionen stora möjligheter att i detalj styra verksamheten utan själv behöva skriva regler för denna. Den mest omfattande interna regelsamlingen är trafiksäkerhetsinstruktionen (TRI). Utformningen av denna kan och bör diskuteras.

Bland de aviserade tillkommande reglerna skiljer sig Regler för hastighetsövervakning från de övriga. Den behandlar ett teknikområde och den kräver ett dyrbart tekniskt system som väsentligen kan inskränka, försvåra eller fördyra spårvägsverksamhet. Fel utformad kan den även ha ringa eller negativ effekt på trafiksäkerheten. Om och i vilken omfattning dessa krav kommer att aktualiseras för spårvägar är svårt att utläsa ur förslaget till regeltext. Det är därför angeläget att bevaka denna fråga.

Järnvägsinspektionen har vid förfrågan uppgett att de inte har planer på ytterligare regler som kan ha väsentligt inflytande på förutsättningarna för spårvägstrafik. Man kan dock gissa att nya regler kommer att bli aktuella om och när spårvägs- och järnvägstrafik kommer att förenas på samma spår.

Frånvaron av i förväg givna, detaljerade regler för spårvägar är positiv, såtillvida att det därigenom finns stora möjligheter att diskutera sig fram till ett optimalt regelverk för varje enskild anläggning. Olägenheterna är emellertid också tydliga. Det kan vara svårt att tekniskt och ekonomiskt planera en anläggning när man inte vet vilka säkerhetsregler som kommer att gälla eller ens vilken säkerhetsnivå som skall uppnås. Det är dessutom inte otroligt att det inom myndigheterna utbildas en praxis för vilka bestämmelser som skall gälla men att denna praxis av olika skäl aldrig offentliggöres och därmed aldrig ifrågasätts.

Det kan vara värt att notera att i många länder utfärdar de centrala myndigheterna långtgående och detaljerade regler för spårvägstrafiken. Det kanske bästa exemplet är Tyskland. *BOStrab – Verordning über den Bau- und Betrieb der Straßenbahnen* (VÖV, 1987) – är inte endast ett regelverk utan även en handbok för spårvägsföretagen och den berör i stor omfattning rent tekniska frågor. Den kompletteras vad avser spårteknik av *Spurführungs-Richtlinien* (Kurz, 1986) (den behandlar utförligt och med flera intressanta analyser de problem som uppstår när man vill köra spårvagnar både på gatuspår och på konventionella järnvägsspår).

8.6 Framtiden

I framtiden kommer säkert ytterligare regler för spårvägstrafiken att tillkomma. Dessa tillkommande regler kommer säkerligen att motiveras av det vällovliga skälet minskad risk. Den aktuella anledningen kan vara tillfälligheter – en svår olycka får ofta utgöra motivet för nya regler – eller ökade, generella krav på säkerhet, ändrade tekniska förutsättningar för säkerhetsanordningar eller ändrade trafikeringssätt (spårvagnar blandade med järnvägsfordon m.m.). Det är alltså intressantare och mer produktivt att diskutera det beslutsunderlag som så småningom kan ligga till grund för en regel än regeln som en färdig produkt.

I den svenska traditionen, där framtagande av un-

derlag och utformning av regler i stor omfattning överlåts till den enskilde aktören, och tillsynsmyndigheten – i detta fall Järnvägsinspektionen – endast tilldelats rollen som kontrollör (eller kanske rättare överkontrollör), har underlaget ofta varit bristfälligt (obefintligt?) och svårt att få ta del av. Som en följd har egentligen ingen debatt eller forskning om säkerhetsreglernas effektivitet skett i Sverige. Det vore önskvärt att de framtida reglerna, t.ex. i fråga om utformningen av fordon för s.k. blandad trafik och signalsystem för denna och annan spårvägstrafik, kunde utformas på grund av publicerade analyser och experiment. Underlaget för regelskrivningen skulle då bli tillgängligt för debatt på det sätt som i dag sker i Tyskland.

Några exempel på publicerade studier rörande spårvägssäkerhet:

Bugarcic, v Helmut: **Die vorläufige Fassung der Empfehlungen für die Festigkeitsauslegung von Personenfahrzeugen nach BOStrab**. Nahverkehr. 1987.

Sharf, S; Marek, H.: **Kollisionssicherheit von Schienenfahrzeugen – Erfahrungen bei der Entwicklung und Erprobung kollisionsgerechter Fahrzeugkonstruktionen**. ZEV+DET 121. Nr 12. 1997.

Böhlke, J; Grauf, H-H: **Die Zulassung des Verkehrs mit leichten Nahverkehrstriebwagen auf Strecken der Eisenbahn des Bundes aus der Sicht der Aufsichtbehörden**. ETR 43. 1994. H. 11.

Günter, S: **Eisenbahntechnische und –betriebliche „Regelwerke" für die Nichtbundeseigenen Eisenbahnen**. ETH 37. 1988, H 11.

Mahr, A; Lehna, H; Kühnel A: **Betrachtungen zur Entgleisungssicherheit und besonderer Berücksichtigung der Spurkrantz-Rückenführung**. ZEV+DET 121. 1997. Nr. 8.

VDV-Schriften nr. 340, 1991: **Richtlinien für die Planung und den Bau von Stadtbahn- und U-Bahn-Zugsicherungsanlagen**.

VDV-Schriften nr. 343, 1991: **Weichensteurungen im Sichfahrbetrieb**.

9 Fordonsaspekter i spårvägssystem

9.1 Allmänt

Spårvagnar kännetecknas av att de kan användas inom följande tre områden: i gaturummet, på egen banvall och integrerat med järnvägstrafik. De kan byta från det ena området till det andra, dvs. låg hastighet med korta hållplatsavstånd i cityområden och hög hastighet på egen banvall i ytterområdena.

Gemensamt för t.ex. snabbspårvagnar är att fordonen har en låg axellast (10–12 t), hög accelerations- och retardationsförmåga (>1,5 m/s^2), kan klara snäva kurvradier, etc. När det gäller spårvagnar i allmänhet har en snabb utveckling skett under det senaste decenniet. Framförallt har spårvagnar med större eller mindre andel av golv på låg- eller mellanhög nivå utvecklats (Hondius 1995, Hondius 1998). Detta har skett tillsammans med innovativa (och kostbara) lösningar på drivsystem, styrbara löpverk.

Ett stort antal olika fordon har under de senaste decenniet kommit ut på marknaden. Moderna vagnar kännetecknas av lång driven modularisering, där antal enheter kan väljas relativt fritt, se figur 9.1. Då kan varje spårvagnssystem välja lämplig vagn för sina behov utifrån krav på turtäthet, antal passagerare, fordonslängd, etc. Exempel på moderna light – rail fordon finns i tabell 9.1

9.2 Fordonskostnader

Kostnaderna för spårvägsfordon utgör en stor del av den totala investeringskostnaden. Detta faktum kan vara ett problem vad gäller att få acceptans för införandet av spårvägstrafik.

Fordonsindustrin är intresserade av att sälja sina egna modeller utifrån ett företagsekonomiskt perspektiv och utifrån den konkurrenssituation som råder vad gäller spårvägsfordon. Man vill sälja och sedan slippa problem! Det samhällsekonomiska perspektivet är industrin primärt inte intresserad av.

Från köparens perspektiv är det av intresse att ställa sina egna krav och definiera sin egen "modell". Det finns alltså ett behov från avnämarsidan att profilera sig för att få ökad acceptans för spårvägstrafiken från allmänhetens sida.

Det finns alltså ett revirtänkande från både köpare och säljare som med stor sannolikhet påverkar kostnaderna för spårvägsfordon.

Det finns uppfattningar om att nuvarande fordonspriser bör kunna sänkas med ca 25% vilket i kronor räknat kan innebära ca 3 miljoner kronor per fordon. Ett sätt att sänka fordonskostnaden är att minska revirtänkandet både från båda parter, dvs. köpare och säljare.

Det bör observeras att linjeföringen kan vara avgörande för fordonsvalet. Det kan i vissa lägen vara billigare att ändra infrastrukturen än att välja ett fordon som klarar den givna linjeföringen (Hasselbacken, 1998).

Spårvägsindustrin sneglar på bilindustrin för att få ner kostnaderna. I detta fall är det frågan om produktionstekniska omdaningar. Grundpris för ett basalternativ, därutöver prisuppgift på önskade fordonstillbehör. I detta fall är det frågan om upphandlingsteknik.
Lösningen är kanske RoadLiner (f.d. TRAM), som finns i ett exemplar i Blackpool för provkörning där. Denna vagn har tagits fram som en lågprisvagn och priset förväntas bli under 1 miljon pund, dvs. under 12 miljoner

Tabell 9.1 Exempel på moderna light – rail fordon (enligt Domstad 1998)

Tillverkare	Namn	Stad	Anm.
GEC/Alstrom	Citadis	Grenoble	Endast mock-up
Simens	Combino	Wien, Potsdam, Barcelona	
Adtranz	Eurotram Variotram Bremen-vagn	Strasbourg, Milano Chemnitz, Melbourne, Helsinki Bremen, München	 fd. MAN/AEG
Ansaldo		Oslo Köpenhamn	 Atomatvagn
Bombardier	A32	Stockholm	Samarbete med Adtranz
Schindler	Cobra	Zürich	

kronor. Andra vagnar som sålts på senare tid har haft priser på 13–15 miljoner kronor. Detta gäller ca 30 m långa vagnar (Domstad, 1998).

Breda fordon ger bättre ekonomi, är billigare per resenär. Om det finns plats bör man välja det 2,9 m breda fordonet istället 2,65 m, vilket den tyska normen hittills har accepterat (Hondius 1998).

Prisnivån på Adtranz produkter har sjunkit, bl.a. beroende på överkapacitet. Många sammanslagningar har skett i branschen under senare tid.

För att kunna bemästra kostnaderna har ett modultänkande uppkommit, där förarmodulen sammankopplas med mellandelsmoduler, motormoduler etc. Den tidigare nämnda Combino-vagnen är bara ett exempel bland många varianter. Ett annat exempel är att bygga mellandelar till fordon man redan har, exempel finns i Göteborg (spårvagn av typ M31, figur 9.3).

Nuvarande korg har delats och en ny sektion med låggolv har satts in mellan de två vagnhalvorna. Vagnen blir ca 40% längre, vilket om arbetena fullföljs för alla M21, innebär 640 m nya "spårvagnsmetrar" för de 80 stycken M21 som Göteborgs lokaltrafik har. Liknade ombyggnad sker av vagnar i Graz och på andra håll i Europa.

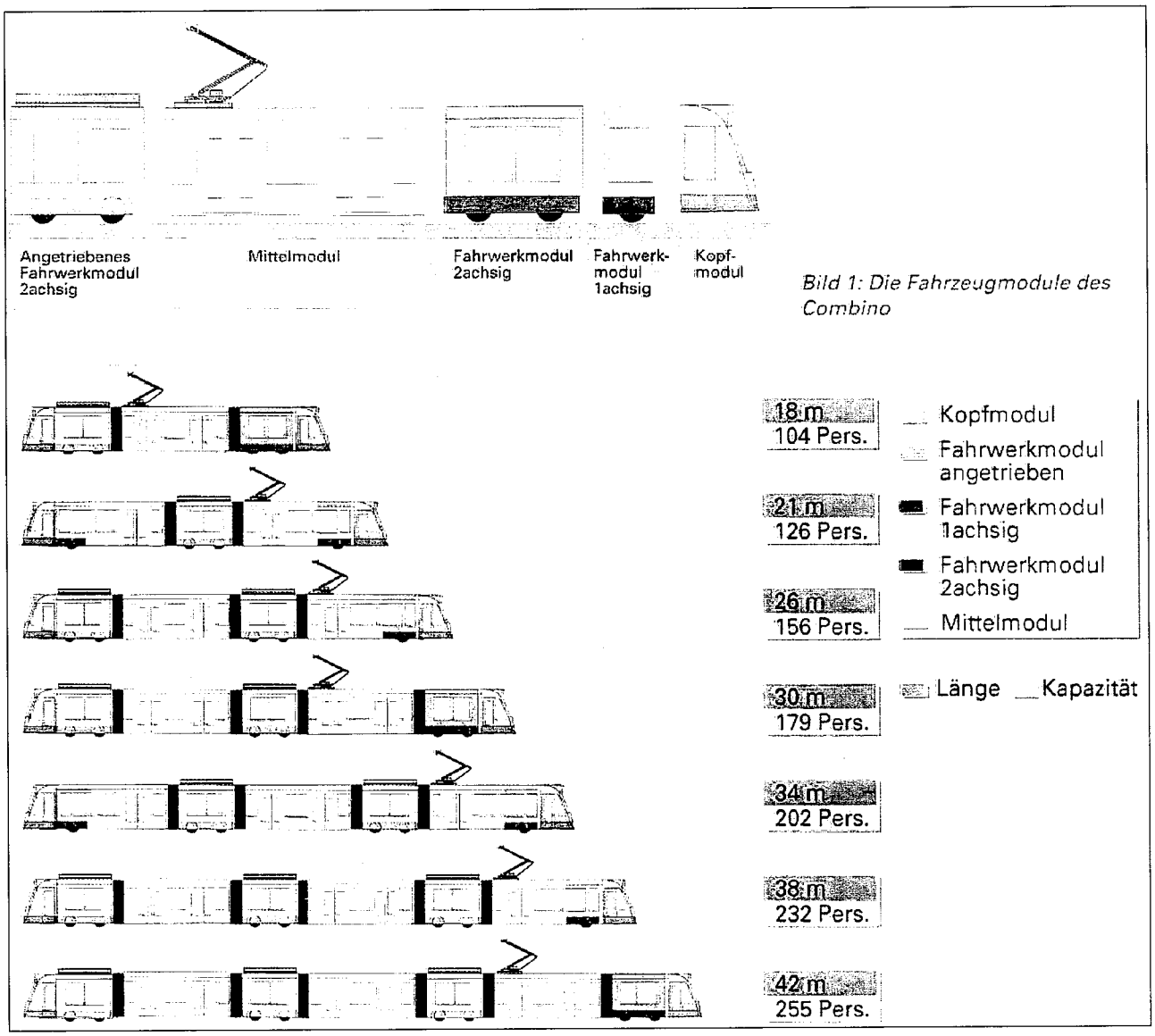
9.3 Fordonsdesign

Allmänt

Design förenar såväl estetiska aspekter som nyttoaspekter på ett föremål. Design ingår i fysiska produkter, kommunikation och rumsmiljö och behandlas inom ämnesområdena industridesign, grafisk design och arkitektur.

Fysiska produkter – nyttoföremål – kräver industridesign om de ska tillverkas i serie och, som i vårt fall, inriktas på användarna i kollektivtrafiken (resenärer och den personal som arbetar i kollektivtrafikföretaget eller vistas i kollektivtrafiksystemet).

Det grundläggande är resenärernas krav på bekvämt utrymme. Utformning, färger och mönster måste samverka till en funktionell och estetisk helhet. God sitt-



Figur 9.1 *Ett exempel på moduliserat fordon, där olika enheter kan kombineras. (Källa: ZEV+DET Glasers Annalen 2/3-1997)*

komfort, rimligt utrymme för benen, armstöd, plats för bagage, utrymme för tidningar och handväska är väsentliga faktorer. Kompletterat med bra belysning, gott inomhusklimat och god sikt ut ur fordonet kan resenären uppleva ett eget utrymme, även vid gemensam resa med andra i kollektivtrafiken.

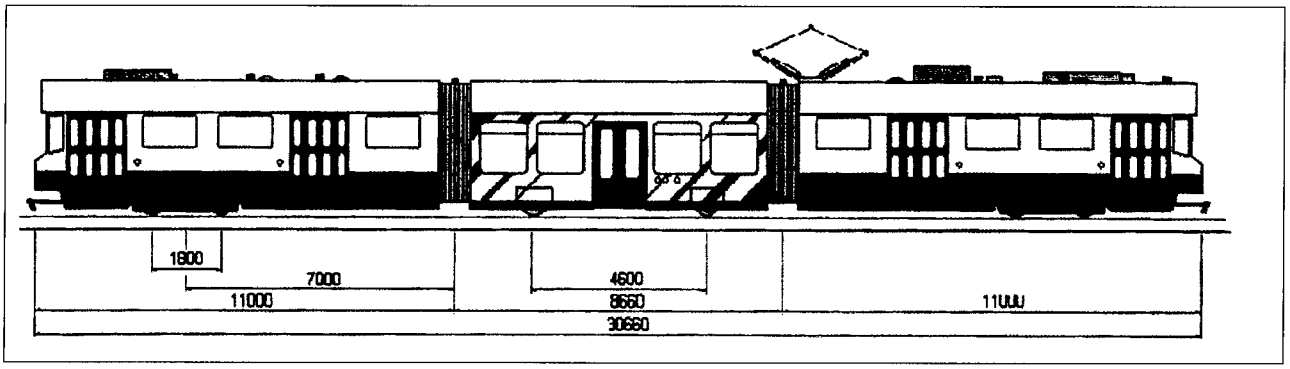
Även som stående ska man kunna erbjudas en någorlunda bekväm resa. Man ska till exempel inte riskera ramla omkull när fordonet gör en tvär sväng. Behov och önskemål från människor med nedsatt rörelseförmåga ställer särskilda krav på de fysiska produkternas utformning. Tillfredsställandet av dessa önskemål innebär även fördelar för övriga resenärer.

Prestige

I attraktiva produkter och miljöer känner resenären delaktighet i den status som tillkommer fordonet eller rummet (jämför X2000). Status är kopplad till utformningen såväl i det lilla som det stora perspektivet. Medvetet kvalitetstänkande i designarbetet kan öka status.

Positiva värden kan ytterligare skapas genom aspekter som bland annat omtanke, renlighet, modernitet, miljövänlighet och kultur, men också enkelhet och stil (ovanstående ur handboken Resa i design, 1998)

Designansvaret tillhör beslutsprocessen hos såväl tillverkarna och trafikhuvudmännen som operatörerna.



Figur 9.2 *Exempel på förlängning av befintlig spårvagn. De ursprungliga vagnhalvorna har kompletterats med en mellandel i låggolvsutförande. (Källa: Resor och Trafik nr 2 • 1998)*

Figur 9.3 *Den förnyade spårvagnen av typ M31 i Göteborg har försetts med en rymlig mellandel av låggolvsutförande.*

Det är emellertid enligt nämnda handbok en underskattad resurs för att skapa en attraktiv kollektivtrafik.

Med referens till den hearingserie (Hasselbacken, 1998) som genomfördes som en del i denna förstudie listas några synpunkter som framfördes av spårvägens aktörer:

Buller/vibrationer
Fordonskonstruktion och spårkonstruktion i samverkan kan påverka bullernivåerna.
Rälsprofil och hjulprofil är viktiga faktorer; speciellt vid rännskeneräl (gaturäl).

Komfort
Komfortvärderingar är dåligt beaktade i kostnad/nyttoanalyser, mycket beroende på att grundläggande kunskap saknas.
Kriterier för god komfort/attraktivitet behöver utredas. Effektivt utnyttjande av fordonsutrymmet väsentligt för ekonomin.

Låggolv
Låggolv kan ge kortare av- och påstigningstid och därmed öka kapaciteten i systemet.
Låggolv/icke låggolv är ett både samhällsekonomiskt och företagsekonomiskt (produktionstekniskt) spörsmål.
Hög plattform och höggolv (som ofta i USA) kan vara den totalt sett bästa lösningen; i princip ger detta ett låggolvssystem.
Låggolv kräver tidigare insatser vad gäller snöröjning, i vissa fall kan det vara svårt att öppna dörrarna.

9.4 Potential för sänkta fordonskrav

Inom det nordiska samarbetet talades ofta om vikten av beprövad teknik. Senare har man diskuterat vad som menas med detta och om man kan kalla det för beprövad teknik om delarna var för sig är beprövade men inte har suttit ihop i en vagn. Genom begäran om LCC-kostnad (livscykelkostnad) kan man troligen klara denna bedömning. De tekniska lösningarna går numera inte att helt förutsäga. Med en funktionell specifikation blir det leverantören som mest avgör vilka tekniska lösningar som föreslås.

I stället för att specificera ett antal tekniska krav som fordonet ska uppfylla, specificerar fordonsbeställaren funktion hos fordonet och låter fordonstillverkaren komma med tekniska lösningar som uppfyller de ställda kraven. Risken finns att de tänkta resenärernas önskemål och krav inte är de samma som operatörens. Resenärernas önskemål kommer fram till sist, t.ex. hur attraktiv en resa med detta färdmedel är jämfört med andra färdmedelsval.

Med fortsatt referens till Hasselbacken (1998) listas ytterligare några synpunkter vad gäller nödvändiga och/eller önskvärda funktionskrav och som framfördes av spårvägens aktörer:

- Korta leveranstider är viktiga.
- Ljudnivåer bör utredas ytterligare. Är kraven för höga och därmed kostnadsdrivande? Var ligger gränsvärdena för acceptans?
- Mycket individuella bedömningar vad gäller viktiga fordonsegenskaper, bl.a. med avseende på komfort.
- Är säkerhetskraven för höga och hur återspeglar sig detta i fordonskostnader? Styva fordon anses öka risken för personskador (nackskador) medan elastiska fordon med deformationszoner anses minska risken för personskador.
- Ökat intresse för LCC-upphandling på fordonssidan. Är det optimalt att dimensionera spårvägssystemet för en livslängd på 30 år? Kortare livslängd med option på uppgradering kan vara en framkomlig väg.
- Är investeringskostnaderna onödigt höga? Vem erbjuder ett baskoncept för X antal kronor utifrån vilket önskvärda tillval kan göras som passar användarens systemkoncept?
- Ett väl fungerande fordonsunderhåll är en nödvändighet. En lätt spårvagn med fåtal komponenter med hög tillförlitlighet är önskvärd. Återanvändning av fordonskomponenter kan vara intressant. Utveckla reservdelshållningen. Tillverkarna kan komma att hålla reservdelslager hos operatörerna.
- Önskvärt med en ökad harmonisering.

10 Spårvägens infrastruktur

10.1 Kostnader

I dagsläget saknas tillfredsställande kunskap om de egentliga kostnaderna för spårvägstrafikens infrastruktur. I litteraturen redovisas kostnader som ligger i intervallet 20 till 60 miljoner kronor per kilometer spår. Det finns förmodligen flera orsaker till den stora variationen i kostnadsbilden. Bakgrundmaterialet till de siffror som redovisas i litteraturen är mycket bristfälligt. Det framgår inte alltid om det är gatuspår eller spår på egen banvall som avses, liksom inte heller om det är frågan om dubbelspår eller enkelspår. Det har i något sammanhang påpekats att kostnader för att ett enkelspår är ca 67% av kostnaden för ett dubbelspår. Vidare framgår det inte alltid om fordonskostnader ingår eller inte ingår och vilka andra kostnadsposter redovisade slutsiffror bygger på.

Eftersom kostnaderna för infrastrukturen ingår som en delpost i den kalkyl som avgör lönsamheten med ett spårvägsprojekt innebär den stora kostnadsvariationen att utfallet av kalkylen kan komma att bli mycket osäkert. Behovet av fördjupade studier vad gäller kostnaderna för konstruktion och underhåll av spårvägstrafikens infrastruktur framgår tydligt av ovanstående iakttagelser.

Med tanke på att de miljöer där spårvägssystem planeras eller har genomförts är av mycket varierande karaktär blir naturligtvis kostnaderna för bl.a. infrastrukturen varierande. Detta faktum är dock inte skäl till att inte försöka se vilka möjligheter det finns att påverka kostnaderna för infrastrukturen både vad gäller konstruktion och underhåll. Det är inte frågan om att bygga det billigaste alternativet utan det som är mest kostnadseffektivt där kopplingen mellan produktionskostnad och kostnaden för framtida underhållsbehov blir av stor betydelse.

Den produktionstekniska processen kommer att starkt påverka kostnaderna för det planerade spårvägssystemet vilket i sin tur innebär krav på hur projektet planeras och genomförs för att en acceptabel kostnadsnivå skall erhållas.

Följande uppgifter angavs av representanter för SL vid en hearing (Hasselbacken 1998):
Snabbspårvägen kostar drygt 2 miljarder kronor för ca 10 km, varav 9 km på egen banvall och 1 km i gatumiljö.
Kostnaden fördelar sig enligt dessa andelar:
Underbyggnad ca 50% (t.o.m. underkant av sliper) inklusive broar & tunnlar
Överbyggnad ca 7%
Signalsystem/elkraft/kontaktledning ca 15%
Fordon ca 10%
Depåanläggning ca 6%
Projektering/utredningar ca 10%
Summa ca 98%
Den kalkylerade livslängden är ca 100 år på konstbyggnader. Konventionell järnvägsteknik har utnyttjats vid dimensionering. Övriga anläggningsarbeten som följd av spårvägsprojektet (el- och va-ledningar) påverkar totalkostnaden. Enklare konstruktion skulle ge högre underhållskostnader.

Med anledning av ovanstående restes följande frågeställning: "Hur tydliggör man för beslutsfattare på vilket sätt initialkostnaderna påverkar framtida underhållskostnader?"

Figur 10.1 *Utanför stadskärnan är spårvägsförbindelsen livlinan till centrum — en långsiktigt pålitlig relation jämfört med den flyktiga busslinjen, som nästa dag kan gå på en annan gata eller inte alls.*

10.2 Över- och underbyggnad

Syftet med överbyggnaden är att bära och fördela lasten. Överbyggnaden måste vara optimalt anpassad för att bära den last och klara det klimat som den utsätts för. Idag är kännedomen liten om bra beräkningsmodeller för att dimensionera en optimal överbyggnad för spårburen trafik i stadsmiljö. Dimensioneringen är ofta uppbyggd på lokal erfarenhet. En mer systematisk modell är önskvärd.

Överbyggnaden kan delas in i tre funktionella delar:

En del är det "slitlager" som bär den spårburna trafiken. Den består av räler och något system av slipers eller liknande för att hålla rälerna på plats med ett konstant avstånd mellan dessa.

Nästa del i samma nivå är ett ytskikt som antingen endast är en ytbeklädnad eller också är avsedd att fungera som slitlager åt icke spårburen trafik.

Den sista delen är den bärande konstruktionen som kan bestå både av bundna och obundna material.

Alla dessa delar samverkar. Nedbrytningen av konstruktionen syns på någon av de två övre skikten men orsaken är ofta den bärande konstruktionen under dessa. Två principiellt olika faktorer påverkar nedbrytningen, trafiken på ytan och rörelser i materialet orsakade av tjälprocessen. Lasten på ytan åstadkommer antingen ett slitage eller en omlagring i underliggande lager. Tjälen leder till tjällyft (vilket kan vara ojämnt) eller till en förhöjd vattenkvot i materialet som i sin tur kan leda till permanenta deformationer förorsakade av trafiken på ytan.

Materialet måste vara kemiskt och mekaniskt stabilt samt tjälsäkert även på lång sikt. Materialet får inte orsaka korrosion på betong och stål och får inte heller orsaka miljöskador på omgivningen. De vanligaste materialen som utnyttjas i överbyggnaden i samband med spår i gatutrafik är markbetong, asfalt eller gatsten. Valet av beläggningsmaterial beror bl.a. på:

- förekommande trafiklast från spårvägstrafiken och övrig gatutrafik,
- vilken bullernivå till omgivningen som respektive beläggningsmaterial ger upphov till,
- beläggningens estetiska utseende.

Figur 10.2 Exempel på ytbeläggning i spårområdet.

I korsningar där spåren utsätts för stora trafiklaster används markbetong som slitlager. Markbetong är dyrare än asfalt men har som slitlager också betydligt bättre bärighet och större motståndskraft mot slitage.

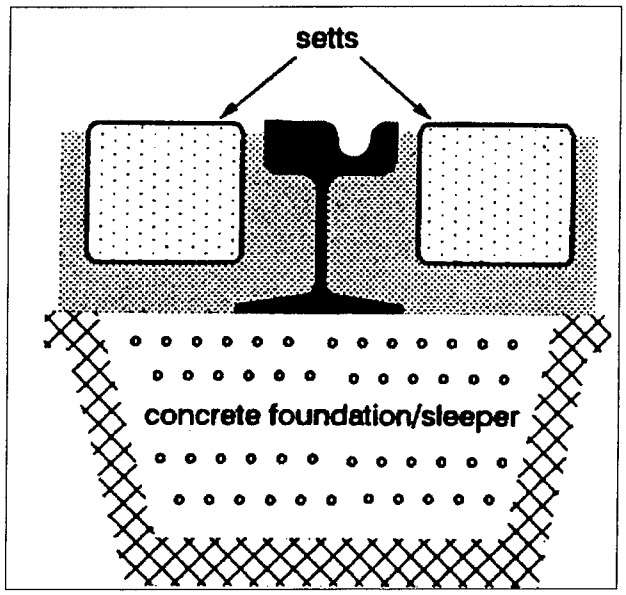
Asfalt är vanligt som slitlager i spårområdet. Materialet är billigt men kräver mer underhåll än markbetong.

Spårområdet kan även beläggas med gatsten eller marksten. Sten som beläggning blir mycket tålig med minimalt underhåll. Dessutom är den vacker och passar oftast bra i äldre stadsmiljöer. Nackdelen med gatsten är att den är dyr och läggningen kräver manuellt arbete. Vid blandtrafik ger gatsten upphov till mer buller än asfalt. Marksten är stabilare och ger bättre friktion, framför allt vid fuktig väderlek. En fördel med gatsten och marksten är att detta beläggningsmaterial enkelt kan utnyttjas för att tydliggöra spårområdets utbredning. En ytterligare fördel är att stenen underlättar smärre arbeten som exempelvis ledningsdragning.

Anläggningskostnad, framtida underhållsbehov och därmed kostnaderna för denna verksamhet, det estetiska utseendet liksom risken för sättningar i förhållande till omgivande gatunivå är exempel på faktorer som måste beaktas i valet av beläggningsmaterial.

10.3 Exempel på spårkonstruktioner

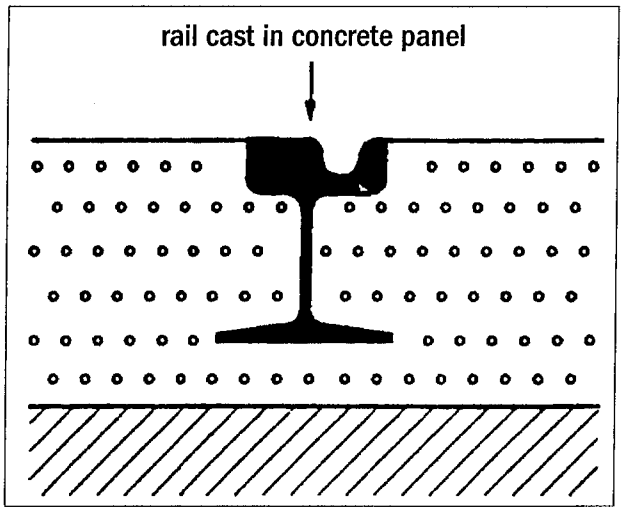
Generellt sett finns det tre olika system vad gäller gatuspår för spårvägstrafik. Den största erfarenheten har man av det så kallade "Phoenix"-systemet, vars principiella tvärsektion framgår av figur 10.3. Systemet är uppbyggt av en kontiuerlig längsgående betongsliper på vilken rälen placeras. Ytbeläggningen (det skuggade området i figuren) kan exempelvis utgöras av ett rent asfalt- alternativt betongskikt, eller som i detta fall, gatsten ingjutna i ett betongskikt.



Figur 10.3 Tvärsektion av system "Phoenix" (Källa: Lesley, 1991)

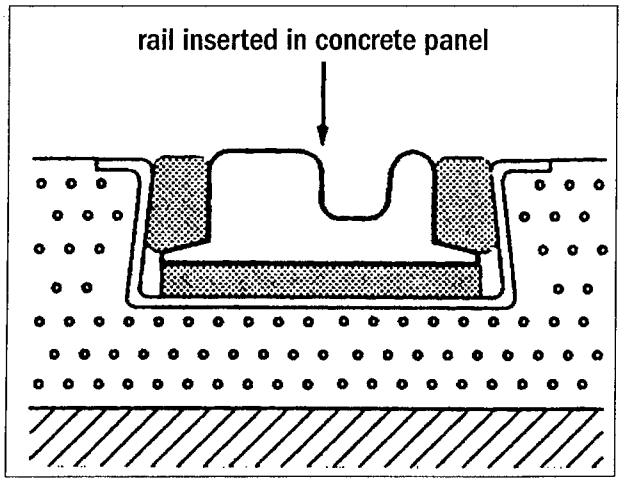
"Phoenix"-systemet är dyrt att anlägga eftersom det kräver ett grundläggningsdjup på ca 500 mm eller mer beroende på undergrundens beskaffenhet. I vissa fall kan detta medföra att befintliga ledningar i gatan måste justeras.

I slutet av 1950-talet utvecklades det så kallade "East German"-systemet vars principiella uppbyggnad framgår av figur 10.4. Gaturälen i system "East German" är ingjuten i en ca 20 m lång betongplatta vars höjd är något högre är själva rälen (180 mm) vilket innebär att lasten till undergrunden sprids via betongplattans undersida och inte så koncentrerat som i system "Phoenix". En nackdel med detta system är att betongplattorna gjuts i standardformar vilket begränsar valmöjligheten beträffande kurvradier.



Figur 10.4 Tvärsektion av system "East German". (Källa: Lesley, 1991)

Under 1960-talet utvecklades ett tredje system, det så kallade "Budapest-systemet", vars utseende framgår av figur 10.5.

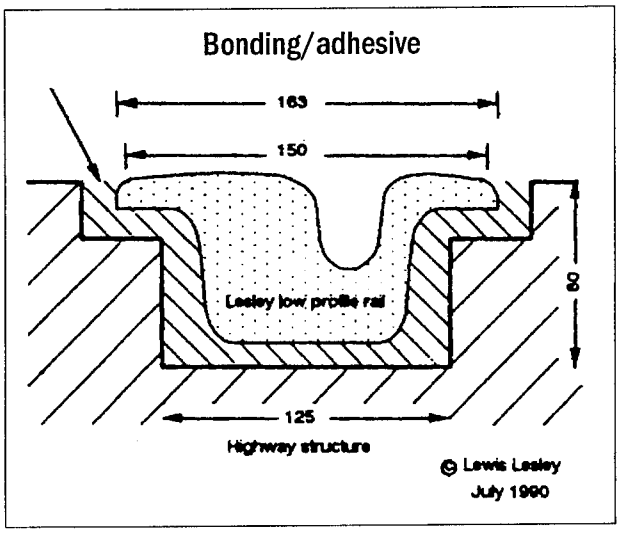


Figur 10.5 Tvärsektion av system "Budapest". (Källa: Lesley, 1991)

Betongplattans tjocklek är även i detta fall ca 180 mm men längden på betongplattan kan varieras. I betongplattan gjuts en u-formad stålränna in i vilken sedan en lågprofilerad gaturäl placeras och som hålls fast med hjälp av gummimellanlägg. I kurvorna läggs betongplattor vars utseende påminner om tårtbitar vilket ger möjlighet till större variation av kurvradier jämfört med system "East German". Eftersom kurvorna är uppbyggda av ett antal mindre "tårtbitar" ställs stora krav på undergrundens beskaffenhet. En dålig undergrund ökar risken för att dessa spårpartier blir svagare (och därmed ökad sättningsrisk) jämfört med system "East German".

Under 1990-talet har ett nytt koncept (system "Lesley") för spårkonstruktioner i gatumiljö utvecklats. Detta system bygger på att utnyttja bärförmågan i det befintliga vägnätet som i många fall är dimensionerat för att klara axellaster i nivå med vad som är aktuellt för spårvägstrafik.

Tanken med detta system är att i befintlig asfaltbeläggning göra urfräsningar och i dessa urfrästa spårkanalerna sedan placera en lågprofilerad räls vars utseende framgår av figur 10.6. Utrymmet mellan rälen och den urfrästa spårkanalens kanter fylls med en typ av material som har god vidhäftningsförmåga.



Figur 10.6 Rälens placering i det så kallade "Lesley-systemet". (Källa: Lesley, 1991)

Inom ramen för de tre generella system ("Phoenix", "East German" och "Budapest") som redovisats ovan finns ett flertal varianter där olika delkonstruktioner har utvecklats.

Som nämnts i tidigare avsnitt har exempelvis försök gjort att gjuta in rälen i en kork-gummi-blandning i syfte att bl.a. reducera buller. Man kan dock konstatera att det inte råder någon samstämmighet rörande olika spårkonstruktioners fördelar och nackdelar. Detta gör det angeläget med fördjupade studier i syfte att analysera olika spårkonstruktioner utifrån ett såväl tekniskt som ekonomiskt perspektiv.

10.4 Kontaktledning/strömförsörjning

I dag använder alla spårvägar kontaktledning för överföring av strömmen till fordonen. Tidigare har funnits flera andra system för underjordisk strömförsörjning men de är alla förknippade med höga anläggningskostnader, mycket höga underhålls- och driftskostnader och låg tillförlitlighet och icke försumbara risker varför de knappast är aktuella. Något helt nytt system har veterligen inte presenterats. Detta betyder emellertid inte att dagens kontaktledningskoncept är optimalt. Av historiska skäl har man på innerstadsspårvagnar oftast en mycket låg spänning (ca 700 volt likström). Förortsspårvägar har ofta haft (även i Sverige) 1 500 volt, vilket sänker kostnaden för strömmatningen kraftigt. Man kan notera att förortslinjens vagnar i flera fall (även i Sverige) använt den högre spänningen på sträckningen utanför staden och den lägre (tillsammans med innerstadsspårvagnarna) inne i staden.

10.5 Linjeföring

Precis som för konventionella järnvägssystem är linjeföringen en viktig egenskap för spårvägssystem. Linjeföring vid nybyggnad är förknippad med byggkostnad, eftersom projektering av linjeföring till stora delar handlar om att undvika kostsamma ingrepp i "hinder", såsom befintliga byggnader och installationer i bebyggd miljö (Kufver, 1997b). Linjeföringen har sedan lång livslängd och överlever i regel många underhålls- och upprustningsinsatser för såväl banöverbyggnad som banunderbyggnad. Linjeföringen kan begränsa spårvägssystemets prestanda, i termer av komfort, tillåten hastighet och kapacitet. Slutligen, att ändra en befintlig linjeföring innebär att både de ursprungliga hindren och de senare spårvägsinstallationerna måste beaktas och eventuellt åtgärdas.

Några skillnader mellan linjeföring för järnväg och linjeföring för spårväg kan vara intressanta att lista upp: Spårvägssystemen går i bebyggd miljö i högre utsträckning än järnväg. Hindren är därför fler, terrängkorridorerna snävare. Spårvägssystemen ligger bitvis i gatumark, där möjligheterna att välja lämplig rälsförhöjning kan vara mindre beroende på att gatutrafiken ställer andra krav. Spårvägssystem har bitvis mycket mindre horisontalradier. Vid val av horisontalradier måste således beaktas att vissa fordon (inklusive arbetsfordon och inspektionsfordon) ställer krav på minsta radie.

Något som däremot talar för att linjeföring för spårvägssystem är mindre problematisk än linjeföring för järnvägssystem, är att kraven på tillåten hastighet inte är lika höga och inte heller kan förväntas öka i tiden med samma snabbhet.

SL Bansystem har så sent som mars 1997 givit ut information om projektering av spårväg (SL Bansystem, 1997). Denna information är ganska spartanskt utformad, innehåller i regel inga motiveringar, resonemang och heller inga referenser. I samtal med ansvariga hos SL Bansystem har det också framkommit att man för spårgeometriska bedömningar för tunnelbanan ofta utgår från Banverkets föreskrifter i avsaknad av egna. Föreskrifter finns således, men deras relevans kan i viss utsträckning ifrågasättas.

Spårgeometriska föreskrifter

Ett generellt problem med spårgeometriska föreskrifter är att de i alltför hög grad baserats på snabba slutsatser på erfarenheter från det förgångna än på analys: En viss kurva har ansetts ge upphov till alltför dålig tåggång och gränsvärden har satts för att undvika sådana fordonsreaktioner på andra platser. Problemet är att många faktorer tillsammans gett den dåliga tåggången (fordonstyp, hastighet, kurvradie, rälsförhöjning, övergångskurva, spårvidd, friktion, spårlägesfel, ...) och att "förbjuda" vissa kombinationer av exempelvis radie och rälsförhöjning för alla typer av övriga förhållanden är därmed onödigt konservativt.

Generellt gäller att alltför hårda gränsvärden på någon enstaka spårgeometrisk storhet, kan tvinga fram lösningar som totalt sett är sämre. Exempel på detta visas i Kufver (1997b) där i vissa fall alltför stränga krav på rampstigningshastighet tvingar fram onödigt långa övergångskurvor vilket i sin tur leder till onödigt små kurvradier.

Spårgeometriska föreskrifter har ofta baserats på successivt ökade marginaler. Ett exempel på detta är att det mest använda gränsvärdet för sidokrafter på spåret, det s.k. Prud´homska kriteriet, är validerat för spår med 46 kg räler, träsliprar och grusballast omedelbart efter en spårjustering med den s.k. souflagemetoden. Det råder konsensus om att tyngre räler, tyngre betongsliprar, makadamballast och moderna justeringsmetoder ger ett starkare spår, men tillåtna sidokrafter har ej tillåtits öka trots starkare spårkonstruktioner.

Kunskapsläget för spårgeometriska föreskrifter för järnväg är inte helt tillfredsställande och vid VTI pågår sedan början av 1990-talet forskning på området. Kunskapsläget för spårvägssystem bedöms vara ännu mindre tillfredsställande.

I många fall hänvisas till åkkomforten när spårgeometriska lösningar accepteras eller förkastas. I Kufver (1997a) finns en genomgång av komfortforskning med relevans för spårgeometrisk optimering. Där återfinns enbart en studie som gjorts i lokaltrafiksystem (Johansson, 1991), finansierad av KFB (dåvarande TFB), SJ och SL. I Kufver (1997a) kritiserades denna studie därför att den lagts upp på ett sådant sätt att det rått stark samvariation mellan lateral sidoacceleration och lateralt ryck. Den ger därmed inget underlag för avvägning mellan kurvradiers storlek och längd på övergångskurvor. Att ta forskningsresultat från järnvägssystem kan vara missvisande eftersom i spårvägssystem förekommer relativt många stående resenärer, resenärerna rör sig ej i restaurangvagnar, resenärerna har andra komfortförväntningar, resorna har kortare varaktighet, osv.

För att nämna några konkreta frågeställningar där ökad kunskap kan leda till bättre lösningar för given investeringskostnad (alternativt billigare lösningar för samma trafikuppgift), kan man utgå från SL Bansystem (1997):

"En sidoacceleration om 1,0 m/s^2 får endast undantagsvis användas och får ej överstigas" (sid 23). Större sidoacceleration accepteras exempelvis av norska Jernbaneverket (1998).

"Minsta vertikalradie är 1 000 m" (sid 24). Norska Jernbaneverket (1998) tillåter 500 m vertikalradie och kan lämna dispens under vissa betingelser ner till 250 m.

"Minsta vertikalradie i rälsförhöjningsramp är 2 000 m" (sid 24). För flacka ramplutningar förefaller detta krav orimligt strängt.

"Största lutning för bansträcka är 5%" (sid 24). Järnvägen Myrdal–Flåm (norska Flåmsbanan) har upp till 5,5% längslutning. En spårväg borde klara minst lika mycket. Snabbspårvägen i Stuttgart har som mest 6,5% längslutning.

"Eftersom tåggången även är beroende på tillämpad rälsförhöjning är det omöjligt att ange matematiska formler som tillgodoser alla önskemål" (sid 24). Nej, det är inte omöjligt att formulera krav och riktlinjer i matematisk form.

På sidan 25 förekommer olika formler för god och låg standard för övergångskurvorna. Formeln för låg standard [$Lt=v^3/(11 \cdot R)$] ger inte ett ryck om 0,67 m/s^3 såsom det står i texten, utan vid noll i rälsförhöjning ger formeln ett ryck om 0,236 m/s^3. Detta är en anmärkningsvärt god standard i järnvägsdrift och med anordnad rälsförhöjning kan rycket sänkas ytterligare. (Samtidigt kan man i och för sig konstatera att höga ryckvärden är ett problem för många befintliga spårvägssystem.)

"Ytterrälens överkant får aldrig ligga under innerrälens överkant" (sid 26). Sådan rälsförhöjning accepteras i järnvägsssammanhang, dels i anslutning till växlar i kurva, dels i provisoriska spår. Det bedöms troligt att det även i gatumiljö kan finnas situationer där sådana lösningar kan sänka byggkostnaden avsevärt.

10.6 Spårunderhåll

Underhåll av spårvägens infrastruktur är av stor betydelse för att spårvägen verkligen skall bli ett attraktivt och konkurrenskraftigt kollektivtrafikmedel. Regularitet och högt ställda krav på tidsintervall ställer höga krav på att hålla driftstörningar på en så låg nivå som möjligt.

Det finns en stark koppling mellan spårvägens tillgänglighet och driftstörningar, vilket i sin tur har ett tydligt samband med ett effektivt underhåll av spårvägens infrastruktur. Det finns även en stark koppling mellan underhåll och komfort.

En aspekt när det gäller spårunderhåll är att det dels

skall minska driftstörningarna i själva spårvägstrafiken, dels måste underhållsverksamheten bedrivas på ett sådans sätt att det inte i alltför stor omfattning stör det övriga trafiksystemet. Det senare är av störst betydelse då spårvägtrafiken går på spår i gata i kombination med övriga trafikantgrupper, främst bilister och cyklister.

Ett vanligt och många gånger stort problem är räffelbildning på rälerna. Räffelbildningen genererar buller och vibrationer som dels orsakar komfortstörningar, dels kan orsaka sättningar i själva spårkonstruktionen. I vissa lägen (dålig undergrund och betongplatta) kan vibrationerna ge upphov till oönskade sättningar (med åtföljande sprickbildning) i närliggande byggnader. För boende i denna typ av vibrationskänsliga områden kan detta innebära obehag.

Sättningar i spårkonstruktionen kan vara speciellt problematiska med tanke på eventuella snöröjningsbehov. Sättningar kan även generera skador på ytbeläggningen i spårkonstruktionen, exempelvis krackelering i asfaltbeläggningen.

Att räffelbildning uppstår kan vara förorsakat av själva spårkonstruktionen och/eller boggiernas utformning, materialtekniska orsakssamband i själva rälsmaterialet. (Inom den konventionella järnvägstekniken finns det flera teorier om varför räffelbildning uppstår, vilket dock inte kommer att behandlas här).

Kurvskrik är ett annat problem och som uppkommer i kurvor med liten radie. Förekomsten av kurvskrik kan reduceras med hjälp av smörjning men tyvärr saknas bra smörjmedel för detta ändamål. En aspekt är att smörjmedlet inte får åstadkomma halkrisk för fotgängare/cyklister och att det inte ger upphov till "nedsmutsning" som ur estetisk synvinkel blir oacceptabelt.

Spårväxlar är en mycket störningskänslig spårkomponent. Växelproblem kan diskuteras med avseende på förslitning på i spårväxeln förekommande delkomponenter (som exempelvis växeltunga och korsningsparti) vilket är starkt kopplat till materialaspekter av metallurgisk karaktär. Snö kan även ge problem med spårväxlar, speciellt vid omväxlande perioder med kall och varm väderlek med isbildning som följd.

11 Sammanställning av FoU-behov

I detta avsnitt redovisas exempel på problemområden för vilka det föreligger behov av fortsatta forskningsinsatser.

Spårvägens attraktivitet och acceptans

- Kartläggning av faktorer, krav och behov (turtäthet, regularitet, linjedragning, biljett- och informationssystem, komfort, etc.) av betydelse för spårvägstrafikens attraktivitet och acceptans hos olika trafikantgrupper.
- Värdering av fordonsutformning och/eller kringanläggningar (hållplatser, infartsparkeringar, etc.) bl.a. med avseende på tillgänglighet och eventuella barriäreffekter.
- Värdering av och attityd till en förändrad stadsmiljö till följd av nyetablerad spårvägstrafik eller vid utveckling av befintlig spårvägstrafik.

Ansvar och rollfördelning

- Betydelsen av en tydligare ansvars- och rollfördelning mellan olika myndigheter för införandet av spårvägstrafik.
- Samspelet mellan samhälls- och trafikplanering med avseende på kollektivtrafiken.
- Beslutprocessen vid införandet av spårvägstrafik. Befintlig spårvägstrafik alternativt nyetablering av spårvägstrafik kan ge upphov till olika värderingar, kostnader och acceptans etc.

Ekonomi

- Värdering av kollektiva nyttigheter som upplevda miljövinster och stadsrummets attraktivitet.
- Alternativa finansieringsformer i samband med införandet av spårvägstrafik.
- Lokala och regionala effekter av spårvägssystem.
- Investeringskostnader och framtida drift- och underhållskostnader med avseende på infrastruktur och fordon.

Värdering av effekter

- Värdering av estetik och stadsbild i befintliga beräkningsmodeller för samhällsekonomiska lönsamhet. För det första är då behovet att klarlägga vilken värdering effekterna på stadsbilden får jämfört med alternativa transportsätt. Eftersom detta sannolikt kan skilja sig avsevärt mellan olika städer med olika traditioner är det också viktigt att utveckla metoder för att så effektivt som möjligt göra en värdering för varje stad där spårväg kan vara aktuellt.
- Monetär värdering av linjeföringsrelaterad komfort i relation till hastighet och restid.

Miljöaspekter

- Beräkningsmetoder för emissioner från spårvägens energianvändning.
- Buller och vibrationer till följd av spårvägstrafik. Det centrala problemet torde vara att begränsa bullret vid källan, dvs. med åtgärder på vagn och räler. Åtgärder på bostäder är dyrt och har begränsad effekt. Konstruktion och underhåll av räl, hjul och rälsbädd behöver utvecklas för att så kostnadseffektivt som möjligt hålla bullernivåerna nere.
- Möjligheten att minimera barriäreffekterna men samtidigt hålla hög trafiksäkerhet.

Säkerhet

- Utländska erfarenheter vad gäller säkerhetsfrågor i samband med nyanläggning av spårvägstrafik.
- Kunskaper om, attityd till, acceptans av och respekt för spårvägstrafik/-fordon bland andra trafikantgrupper.
- Effekten av åtgärder med avseende på ökad trafiksäkerhet vid spårvägstrafik.
- Olika signalkoncepts påverkan på säkerhet och trafikkvalitet, t.ex. med avseende på signalprioritering av spårvägstrafik.
- Analys av det beslutsunderlag som kommer att ligga till grund för regelverk och säkerhetsarbete i samband med spårvägstrafik.

Infrastruktur och fordon

- Förhållandet mellan förekommande spårkonstruktioner (teknik, kostnader, anläggningsproblem, etc.) och dokumenterade (eller upplevda) driftserfarenheter (funktion, drift och underhåll).
- Olika prövade underhållsstrategier och underhållstekniker i relation till olika spår- och överbyggnadskonstruktioner
- Fordonsdesign kopplad till faktorer som; säkerhet, plattformshöjd, komfort, harmonisering, kostnader, effektivt utnyttjande av fordonsutrymme, etc.
- Grundläggande kunskaper om komfort och attraktivitet saknas.
- Förfarande för dimensionering, framför allt där det är blandad trafik av tunga fordon och spårburna fordon.

12 Referenser

Andersson, T: **Impulsartade rörelser och deras betydelse för resenärernas bekvämlighet**. TFB-meddelande nr 59, KFB. Stockholm.

Amundsen, C (1995): **Public Art and Public Transportation, Seventh National Conference on Light Rail Transit**. Proceedings, Volume 1, Transportation Research Board. National Research Council.

Barnes, W L; Mackie, J; Bertini, R L (1995): **Art Integration: An Essential Design Component and Vehicle for Community Commitment in Santa Clara County**. Seventh National Conference on Light Rail Transit, Proceedings, Volume 1, Transportation Research Board. National Research Council.

BOStrab: **Verordning über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen**.

Bugarcic, v Helmut (1987): **Die vorläufige Fassung der Empfehlungen für die Festigkeitsauslegung von Personenfahrzeugen nach BOStrab.** Nahverkehr.

Böhlke, J; Grauf, H-H (1994): **Die Zulassung des Verkehrs mit leichten Nahverkehrstriebwagen auf Strecken der Eisenbahn des Bundes aus der Sicht der Aufsichtbehörden.** ETR 43. 1994. H. 11.

Domstad, R (1998): **Personlig kommunikation**. Göteborgs stads trafikkontor.

Feldhusen, J (1997): **Combino – Kundennutzen durch design-to-cost**. Zeitschrift für Eisenbahnwesen und Verkehrstecknik, Nr. 2/3, sid 181–186.

Günter, S (1988): **Eisenbahntechnische und – betriebliche "Regelwerke" für die Nichtbundeseigenen Eisenbahnen.** ETH 37. 1988, H 11.

Göteborgs stad (1992): **Hur minska bullret från spårvagnar?** Rapport nr 9:1992, Trafiknämnden, Trafikkontoret. Göteborg.

Hasselbacken (1998): Opublicerat material från **hearing**, Stockholm.

Hedelin, A; Björnstig, U; Brismar, B (1995): **Spårvagn i stadsmiljö – stor skaderisk för oskyddade trafikanter**. Beredskapsenheten för Bohuslandstinget och Göteborgs Sjukvård (rapport nr 1). Göteborg.

Hedström, R (Red.) (1999): **Exempel på några spårvägssystem i Tyskland och Frankrike**. Reserapport från en studieresa den 14–18 oktober 1998. VTI notat 17-1999. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.

Hondius, H (1995): **Zehn Jahre Entwicklung der eletrisch angetriebeben Nieder- und Mittelfluhrfahrzeuge für Strassen- und Stadtbahnen: Markt, Technik, Erfahrungen, Kosten und Ausblick**. Zeitschrift für Eisenbahnwesen und Verkehrstecknik, Nr. 9/10, sid 351–371.

Hondius, H (1998): **What is Light Rail?: Its orgins, today's state of the art and its importance throughout the world**, Railway technical review, Ed 48, nr 1, sid 2–11.

Hussain, I (1990): **Road Investment Benefits Over and Above Transport Cost Savings and Gains to Newly Generated Traffic**. Proceedings of Seminar J Held at the PTRC, Transport and Planning Summer Annual Meeting, University of Sussex, England.

Hussain, I (1996): **Benefits of transport infrastructure investments – A spatial computable general equilibrium approach**. Umeå Economic Studies No. 409. Umeå Universitet.

Jernbaneverket (1998): **Overbygning – Regler for prosjektering – Sporets tracé**. Jernbaneverket. Oslo.

Johansson, B (1991): **Komfortmätning på tunnelvagnar och tåg**. Meddelande 49, Institutionen för Transportteknik, CTH. Göteborg.

Järnvägsinspektionen (1983): **Rapport** J94-244/83.

Järnvägsinspektionen (1999): **Handbok**, version januari 1999.

KFB (1998): **Resa i design**. Sammanfattning av handbok. KFB. Stockholm.

Korpanec, I (1998): **Personlig kommunikation**. European Railway Research Institute (ERRI).

Kufver, B (1997a): **Methods for evaluation of ride comfort as a function of vehicle reactions caused by railway alignment**. TRITA-FKT Report 1997:31, KTH, Stockholm/VTI rapport 424A, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.

Kufver, B (1997b): **Optimisation of single horizontal railway curves – Procedures involving evaluation of vehicle reactions**. TRITA-FKT Report 1997:46, KTH. Stockholm.

Kurz, K et al (1986): **Richtlinien für die Spurführung von Schienenbahnen nach der Verordning über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (BOStrab) – Spurfürungs-Richtlinienen (SpR)**. Shriftenreihe für V+T nr 75.

Lesley, L (1991): **A new light rail track system and the "Lesley"-low-profile rail**. Modern Tramway. September.

Lindberg, E; Fredén, S (1995). **Riskhantering inom svensk spårvagnstrafik**. Järnvägsinspektionen. Borlänge.

Lindström, A; Rossipal, B (1987): **Emissioner från landsvägs- och järnvägstrafik**. Meddelande Trita-Kut 3039, examensarbete, Kungliga Tekniska Högskolan, Institutionen för Kulturteknik. Stockholm.

Mahr, A; Lehna, H; Kühnel, A (1997): **Betrachtungen zur Entgleisungssicherheit und besonderer Berücksichtigung der Spurkrantz-Rückenführung** ZEV+DET 121. 1897. Nr. 8.

Marshall, A (1891): **Principals of Economics, 8th edition**. The Macmillan Press Ltd. London.

Nielsen, G (1998): **Seminarium** 980428, EKI, Linköpings universitet. Linköping.

Pålsson, I; Davidsson, G (1993): **Spårvagnstrafik i Göteborg – En analys av risker och säkerhetshöjande åtgärder**. FB Engineering AB. Göteborg.

Ruwitch, A R (1992): **Building Bridges: Artists Collaborate as Designers for a Light Rail System**. Transportation Research Record 1361.

Ryberg, A; Eriksson, E (1997): **Miljöpåverkan av att ersätta Göteborgs spårvagnstrafik med bussar**, CIT Ekologik, Chalmers Industriteknik

Sharf, S; Marek, H (1997): **Kollisionssicherheit von Schienenfahrzeugen – Erfahrungen bei der Entwicklung und Erprobung kollisionsgerechter Fahrzeugkonstruktionen**. ZEV+DET 121. Nr 12.

SJ (1918): 1914 års säkerhetskommitté. **Betänkande och förslag för säkerhetsbestämmelser för driften å järnvägar.**

SJ Banavdelning (1987): **Allmänna riktlinjer – Spårets geometriska form**. SJF 540.2 (Utgåva 2), SJ. Stockholm.

SL Bansystem (1997): **Spårvägar i befintligt gatunät – Information om planering och utformning av spårväg samt hållplatser i gatunät efter år 1990**. SL. Stockholm.

Smith, A (1937): **The Wealth of Nations**. Fifth Edition, Modern Library. New York.

Thorpe, R D (1992): **San Diego LRT System: Ten Years of Design Lessons**. Transportation Research Record 1361.

Trafikkontoret i Göteborg (1995): **Säkrare spårväg i Göteborg.** Rapport nr 2:1995. Göteborg.

Trafikkontoret i Stockholm (1988): **Spårväg i morgondagens Stockholm**. Idéskiss, Regionplane- och trafikkontoret. Stockholm.

VDV-Schriften nr. 340 (1991): **Richtlinien für die Planung und den Bau von Stadtbahn- und U-Bahn-Zugsicherungsanlagen**.

VDV-Schriften nr. 343 (1991): **Weichensteurungen im Sichfahrbetrieb**.

Verband Öffentlicher Verkehrsbetriebe (1987): **Verordning über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (BOStrab)**.

Zetterberg, J (1998): **Förhållandena i Norrköping**. Personlig kommunikation och seminarium 1998-04-15, Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.

Ytterligare litteratur med särskild inriktning på regelverk för spårvägstrafik redovisas i avsnitt 8.

Väg- och transport-
forskningsinstitutet

VI FORSKAR FÖR ETT LIV I RÖRELSE

Statens väg- och transportforskningsinstitut (VTI) har kompetens och laboratorier för kvalificerade forskningsuppdrag inom transporter och samhällsekonomi, trafiksäkerhet, fordon, miljö samt för byggande, drift och underhåll av vägar och järnvägar.

The Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI) has laboratories and know-how for advanced research commissions in transport and welfare economics, road safety, vehicles and the environment. It also has research capabilities for the construction, operation and maintenance of roads and railways.

Adress	Telefon	Fax	E-post
Postal address	Telephone		E-mail
SE-581 95 Linköping, Sweden	Nat 013-20 40 00	Nat 013-14 14 36	vti@vti.se
	Int +46 13 20 40 00	Int +46 13 14 14 36	

Om dokumentet skall kostas: Separera plastemsladet från pappryggen. Plasten kan då till copförbränning. Pappryggen och inlagan inklusive limsträngen kan då till pappersåtervinning.