

Spårkonstruktioner och byggmetoder för spårväg

– Inventering och utvärdering av svenska nybyggnadsprojekt



LUNDS
UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Institutionen för Teknik och Samhälle

Examensarbete:
Andreas Arvidsson
Gustav Olsson

© Copyright Andreas Arvidsson, Gustav Olsson

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Lunds universitet
Box 882
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering
Lund University
Box 882
SE-251 08 Helsingborg
Sweden

Tryckt i Sverige
Media-Tryck
Biblioteksdirektionen
Lunds universitet
Lund 2012

Sammanfattning

I Sverige introducerades spårvägen i slutet av 1800-talet som hästspårväg. Entreprenörer runt om i landet såg fördelarna med det nya transportmedlet som på grund av lågt friktionsmotstånd i kontakten mellan hjul och räl kunde transportera en stor mängd människor med låg dragkraft. Kring det nittonde sekelskiftet byttes hästarna ut mot elmotorer och spårvagnar rullade i allt fler städer. Bilen och bussens intåg på 30-talet medförde att spårvägen inte längre ansågs nödvändig. Vid högertrafikomläggningen 1967 fanns spårvägen endast kvar i två svenska städer.

De senaste årtionden har spårvägen kommit tillbaka, mycket på grund av elmotorernas goda miljöegenskaper. Två andra starka argument för spårvägen är dess goda kapacitet och de strukturbildande egenskaper spårvägen får i samhället.

Syftet med denna rapport är att sammanställa och utvärdera olika typer av spårkonstruktioner och byggmetoder för spårväg. Detta genomförs med en litteraturstudie samt inventering av fyra olika svenska spårvägsprojekt: Tvärbanan – Solnagrenen och Spårväg City i Stockholm, Kringenprojektet i Göteborg samt utbyggnaden till Navestad i Norrköping. Inventeringen har genomförts med hjälp av ritningsgranskningar och intervjuer med nyckelpersoner i projekten samt spårvägsexperter.

De byggmetoder som används är att bygga på plats och att använda prefabricerat spår. Spårkonstruktionen kan delas in i tre grupper beroende på vilket material en eventuell sliper vilar på: makadamspår, asfaltspår och betongspår. En annan viktig definition är hur spårvägs miljön ser ut. Dessa definieras som: spår på egen banvall, spår i gatumiljö på avskild bana och spår i gatumiljö med blandad trafik.

Tvärbanan - Solnagrenen går genom olika spårvägs miljöer, tunnlar och broar. Till största del är banan byggd på egen banvall med makadamspår. Sträckan genom Sundbyberg och Solna Business Park är dock byggd med asfaltspår. Det andra projektet inom spårväg i Stockholm är Spårväg City. Banan går mitt i centrala Stockholm och är delvis byggd med prefabricerat betongspår av typen embedded-rail. Återstående del är ett upprustat asfaltspår.

Kringenprojektet i Göteborgs första och sista del är Skånegatan respektive Skeppsbron. Skånegatan är byggd med makadamspår och en ytbeläggning av gräs. Skeppsbron ska stå klar 2015 och är tänkt att byggas med betongspår och ytbeläggning av betong, asfalt och gatsten.

Utbyggnaden till Navestad i Norrköping är byggd som avskilt spår i gatumiljö och spår på egen banvall. Till största delen är bankroppen uppbyggd med ett makadamspår och ytskikt av gräs.

Litteraturstudien och inventeringen resulterar i en sammanställning av olika parametrar och värden. Dessa utvärderas och slutsatser dras kring vilka motiv som använts för val av spårkonstruktioner och byggmetoder.

Asfaltspår används framför allt av traditionella motiv. Makadamspår väljs av enkelhet och den nära relationen till sättet att bygga järnväg. Betongspår har bra hållbarhet och kan prefabriceras för att minska byggtiden.

Ytbeläggning av asfalt, betong och gatsten är körvänliga ytor med olika fördelar och nackdelar. Gräs är ett populärt och tilltalande ytskikt för att avskilja spårområdet.

Vilka byggmetoder och spårkonstruktioner som väljs när spårväg byggs skiljer sig stort och beror på platsens förutsättningar. Betongkonstruktioner är populärt i Frankrike och ser ut att bli allt vanligare i Sverige. Det tidigare så populära asfaltspåret verkar istället försvinna allt mer.

Kostnader för de olika spårkonstruktionerna och byggmetoderna är svåra att definiera och ett förslag på framtida studier är att jämföra kostnader mellan olika spårkonstruktioner och byggmetoder.

Nyckelord: Spårväg, Spårvagn, Spårvägsmiljö, Spårkonstruktion, Byggmetod, Spårväg City, Tvärbanan, Kringen

Abstract

In Sweden, the tramway was introduced in the late 19th century as horse tramways. Entrepreneurs around the country saw advantages of the new mean of transport which, due to low frictional resistance could transport a large amount of passengers with low traction force. In the beginning of the 20th century the horses were replaced by electric motors and the tramway spread to more cities. The entry of cars and buses in the 30's meant that the tramway was no longer considered necessary. After the shift to right-hand traffic in 1967 the tramway only survived in two Swedish cities.

In recent decades, the tramway is coming back, because of the electric motors and their good environmental attributes. Strong arguments are also the tramways' high capacity and its structure-forming attributes in urban areas.

The purpose of this report is to summarize the different types of track constructions and construction methods for tramways used. This is accomplished by a literature review and inventories of four different Swedish tramway projects: Tvärbanan - Solnagrenen and the Spårväg City in Stockholm, The Kringen project in Gothenburg and the tramway expansion to Navestad in Norrköping. The inventories were conducted by means of drawing analyses and interviews with key informants in the projects and experts of tramway.

The construction methods used are divided into building on location or as prefabricated track. Track construction can be divided into three groups depending on the material a potential sleeper rests on: macadam track, asphalt track and concrete track. Another important definition is how the tramway environment looks like. These we define as: track on its own embankment, separate track in the street and track in the street with mixed traffic.

Tvärbanan - Solnagrenen runs through several tramway environments, tunnels and bridges. Most parts are macadam track on its own embankment but also asphalt track is used on the part in Sundbyberg and Solna Business Park.

Spårväg City, in the center of Stockholm, is partly built with prefabricated concrete segments of the type embedded rail. Remaining parts are reconditioned asphalt track from the old Djurgårdslinjen.

The Kringen project in Gothenburg's first and last part is Skånegatan and Skeppsbron. Skånegatan is constructed with macadam track and a surface coating of grass. Skeppsbron on the other hand will be completed in 2015 and will be built with concrete track with surface coating of concrete, asphalt and paving stones.

The tramway expansion to Navestad in Norrköping was built as separate track in the street and as track on its own embankment. Overall the track was constructed with macadam track with a surface layer of grass.

The literature review and inventory result in a summary of parameters and values. These are evaluated and motives for the track construction and construction methods used are stated.

The asphalt track is used mainly because of traditional motives. Macadam track is used of simplicity and the close relationship to the means of building railway. Concrete track has good sustainability and can be prefabricated to reduce construction time.

Surface coating of asphalt, concrete and paving stones are all drivable coatings with different advantages and disadvantages. Grass is a popular and attractive coating to separate the track area.

The choice of construction methods and track constructions differs and depends on the conditions on site. Concrete structures for tramways are popular in France and looks to become increasingly more common in Sweden. The previously popular asphalt track seems to disappear rather than increasing.

Costs for the different track constructions and construction methods are difficult to estimate and a suggestion for future studies is to compare costs between different track constructions and construction methods.

Keywords: Tramway, Tram, Tramway environment, Track constructions, Construction methods

Förord

Denna rapport är resultatet av ett examensarbete genomfört av Andreas Arvidsson och Gustav Olsson under våren 2012. Arbetet är utfört efter initiativ från Sweco Infrastructure i Malmö.Handledare för arbetet har varit Mats Fredriksson på Sweco och examinator Anders Wretstrand på Institutionen för Teknik och Samhälle på Lunds Tekniska Högskola.

Vi vill framför allt tacka vår handledare, examinator och personalen på Sweco Infrastructure i Malmö. Även stort tack till (i bokstavsordning):

Faegh Adelpour	SL
Lars-Olof Andersson	Trafikkontoret
Tommy Backman	Project Partner
Per Drago	PDO Konsult
Rune Feldt	
Willy Forsström	
Petter Hedin	Skanska
Ragnar Hedström	VTI
Lena Jogersten	Anker
Thomas Johansson	Modern Stadstrafik
Jan-Olof Petersson	Atkins
Alberto Pina	Crabat
Adam Webber	Sweco

För deras tålamod och vilja att hjälpa.

Innehållsförteckning

1	Bakgrund	3
1.1	Spårvägens historia	3
1.1.1	Stockholm	4
1.1.2	Göteborg	5
1.1.3	Norrköping	7
1.2	Spårvägen idag	8
1.2.1	Stockholm	9
1.2.2	Göteborg	9
1.2.3	Norrköping	9
2	Definition av spårväg	11
2.1	Skillnad light rail – spårväg	11
2.2	Skillnad järnväg – spårväg/light rail	12
3	Spårvägens infrastruktur	13
3.1	Historia	13
3.2	Spårvägsmiljöer	13
3.2.1	Spår på egen banvall	13
3.2.2	Spår i gatumiljö på avskild bana	14
3.2.2.1	<i>Placering i gatan</i>	14
3.2.3	Spår i gatumiljö med blandtrafik	15
3.3	Spårkonstruktioner och byggmetoder	16
3.3.1	Banans uppbyggnad	16
3.3.2	Banöverbyggnad	17
3.3.2.1	<i>Makadamspår</i>	17
3.3.2.2	<i>Asfaltsspår</i>	17
3.3.2.3	<i>Betongspår</i>	18
3.3.3	Byggmetoder	20
3.3.4	Vägövergång	20
3.3.5	Cirkulationsplats	21
3.3.6	Ytbeläggning	21
3.3.7	Geotekniska åtgärder	23
3.3.8	Buller- och vibrationsdämpande åtgärder	23
3.3.9	Ekonomi	24
4	Nutida svenska nybyggnadsprojekt inom spårväg	26
4.1	Tvärbanan	26
4.1.1	Bakgrund	26
4.1.2	Solnagrenen	27
4.1.2.1	<i>Byggtekniska förutsättningar</i>	27
4.1.2.2	<i>Spårkonstruktion</i>	28
4.2	Spårväg City	30
4.2.1	Bakgrund	30

4.2.2 Byggtekniska förutsättningar	31
4.2.3 Spårkonstruktion	31
4.3 Kringen	33
4.3.1 Bakgrund	33
4.3.2 Skånegatan (Evenemangsstråket)	33
4.3.2.1 <i>Byggnadstekniska förutsättningar</i>	34
4.3.3 Spårkonstruktion	34
4.3.4 Skeppsbron	35
4.3.4.1 <i>Byggnadstekniska förutsättningar</i>	35
4.3.4.2 <i>Spårkonstruktion</i>	36
4.4 Utbyggnaden till Navestad	38
4.4.1 Bakgrund	38
4.4.2 Byggnadstekniska förutsättningar	39
4.4.3 Spårkonstruktion	39
5 Slutsats/Analys	42
5.1 Parametrar och värden	42
5.2 Motiv	43
5.3 Utvärdering	43
5.3.1 Bankroppsbyggnad	44
5.3.2 Ytbeläggning	45
5.3.3 Byggmetod	47
5.3.4 Vägkorsning	47
5.4 Avslutande diskussion	49
6 Källförteckning	51

Inledning

I spårvägens begynnelse var syftet att transportera rika människor mellan innerstadens fina delar. Att vara ett attraktivt kollektivtrafikmedel är en av spårvägens hörnstenar men andra fördelar som hög kapacitet och miljövänlig eldrift har fått all större betydelse.

Idag finns ingen standard för hur man bygger spårväg likt den som finns för järnvägen. Europeiska Unionen har europanormer och Trafikverket har föreskrifter, standarder och handböcker för hur järnväg ska byggas. Hur spårvägen ska byggas bestäms istället individuellt av respektive ägare/förvaltare. Standardiserat byggande ger ofta möjlighet till enklare och billigare lösningar.

Syfte

Syftet är att sammanställa valda byggmetoder och spårkonstruktioner för nutida svenska nybyggnads- eller ombyggnadsprojekt inom spårväg.

Sammanställningen ska resultera i en utvärdering som visar varför vissa typer av byggmetoder och spårkonstruktioner väljs. Även motiv ska konstateras för varför olika värden väljs.

Metod

För att få en grundläggande förståelse för spårvägens uppbyggnad har en litteraturstudie genomförts. Litteraturstudien inkluderar förutom teknik även en historisk tillbakablick på spårvägen.

De fyra projekt vi valt att inventera och utvärdera är Tvärbanan och Spårväg City i Stockholm, Kringenprojektet i Göteborg samt utbyggnaden till Navestad i Norrköping. Dessa är projekt på 2000-talet med olika förutsättningar som grund vid valet av byggmetoder och spårkonstruktioner.

Som grund för inventering av de olika projekten har ritningsgranskningar och intervjuer genomförts. Ritningarna som granskats är exempelvis planritningar och normalsektioner. Intervjuer är gjorda med sju personer med olika spårvägskunskaper. Fem av intervjupersonerna är på olika sätt involverade i de fyra projekten. De återstående två är generalist respektive forskare inom spårväg.

Parametrar, värden och motiv har tagits fram och med dem har valet av byggmetoder och spårkonstruktioner utvärderats.

Avgränsningar

- Rapporten sträcker sig till att utvärdera svenska nybyggnadsprojekt på 2000-talet.
- Rapporten behandlar projekt från projekteringskedan.
- Ekonomiska aspekter behandlas endast översiktligt.
- Teknik över rälsöverkant (el, signal, tele) behandlas översiktligt.

Begreppsbestämning

Ord	Förklaring
Spårvägsmiljö	Den miljö spårvägen går i: På egen banvall, som avskilt spår i gatumiljö, blandad trafik i gatumiljö.
Banöverbyggnad	Definieras i denna rapport som bankroppen upp till rälsöverkant. Alltså inte signal, el, tele mm.
Dimensionerande hastighet	Den maximala hastighet banan är konstruerad för att klara. Generellt är medelhastigheten betydligt lägre.
Parameter	Huvuddelar i spårbyggnation, i denna rapport: bankropp, ytbeläggning, byggmetod och vägkorsning.
Värden	Varianter av en parameter; ex. ytbeläggning: gräs, asfalt, betong osv.
Motiv	Anledning till varför olika värden väljs.

1 Bakgrund

I detta avsnitt presenteras spårvägens uppkomst i världen och Sverige. De tre städer (Stockholm, Göteborg och Norrköping) som fokus är lagt på presenteras ur ett historiskt perspektiv.

1.1 Spårvägens historia

Spårvägen föddes i New York 1832. Vid denna tid drogs vagnen längs spåret av häst och kallades hästspårvagnar. Detta sätt att transportera människor kollektivt spred sig över världen och under sista delen av 1800-talet introducerades hästspårvagnen även i Sverige. Första linjen öppnades juni 1877 i Helsingborg och för 10 öre fick badgästerna åka de 10 minuterna mellan Ramlösa hälsobrunn och hafsbadhuset (Spårvägsstäderna, 2012; Rigstam, 1993).



Figur 1: Hästspårvagn i Manchester år 1877. Källa: Wikipedia Commons 1 (2012).

De tidiga spårvägarna var innerstadsspårvägar som till största del framfördes på stadens gator med blandad trafik. I början av 1900-talet elektrifierades spårvägen efter hand och på 1920-talet nådde spårvägen sin topp med cirka 3000 system runt om i världen. I Sverige fanns då 13 spårvägsstäder (bl.a. Malmö, Uppsala, Gävle och Kiruna).

På trettioalet fick bilen allt större plats i människors medvetande. Fördelarna ansågs många med flexibilitet som den största faktorn. Spårvagnarna ansågs ta stor plats i stadsmiljön och bussen blev kollektivtrafikens nya lösning.

Spårvägssystemen världen över började avvecklas i allt snabbare takt i samband med bilens och bussens intåg. I Sverige skulle omläggningen till högertrafik 1967 få flera spårvägssystem på fall och endast två av de tretton spårvägsstäderna (Göteborg och Norrköping) behöll spårvägen som kärnan i

sin kollektivtrafik. I världen fanns år 1980 endast tio procent kvar av de tidigare 3000 spårvägssystemen (Hedström, 2004a).

Oljekriserna på 1970-talet fick dock världen att titta efter alternativa energikällor och återigen börja fundera på elektriskt drivna spårfordon. Detta tillsammans med dagens miljöproblem med ändliga resurser och växthuseffekt har gjort att spårvägen är tillbaka på politikernas agenda.

1.1.1 Stockholm

Följande historiska sammanfattning är författad med utgångspunkt i J.L. Östlunds rapport: *Reglering av kollektivtrafik* (1995) och Lightrail (2012).

Den 10:e juli 1877 invigdes Stockholms första spårvägsnät bestående av två linjer med utgångspunkt från Slussen till Roslagstull respektive Grevbron (nuvarande Grevgatan/Strandvägen). Det privatägda bolaget Stockholms Nya Spårvägsaktiebolag (SNS) var de som bedrev verksamheten. Spårvägen kompletterade till en början det tidigare nätet av hästdragna bussar, s.k. hästomnibussar som hade varit i drift sedan 1835.

Vid sekelskiftet hade spårvägsnätet expanderat till sex linjer, alla med utgångspunkt från Slussen åt norr, öster och väster. Uppför Södermalms branta backar krävdes det många hjälphästar för att dra spårvagnen och det ansågs därför inte ekonomiskt lönsamt att bygga spårväg söder om Slussen. Detta problem löstes av ett annat företag, Stockholms Södra Spårvägsaktiebolag som 1887 öppnade linjen Slussen – Hornskroken (senare vidare till Hornstull) med hjälp av ångdrivna spårvagnar.

När trafiken ökat till att det krävdes 700 hästar började ledningen i SNS undersöka möjligheten till elektrifiering av systemet. I februari 1904 togs den första eldrivna vagnen i drift och 1905 ställdes den sista hästvagnen av. I samband med elektrifieringen och det ökande resandet ville Staden ha del av bolagets vinster. Detta resulterade inte i att staden fick del av ägandet utan parterna kom överens om att SNS fick köpa elektriciteten av staden till överpris.

Utvecklingen av nätet gick efter elektrifieringen mycket fort. Från 16 miljoner resenärer 1903 till att 1915 vara uppe i 61 miljoner. 1916 tog Aktiebolaget Stockholms Spårvägar (SS) över trafiken norr om Slussen och senare även i den södra delen. Fyra år senare beslutade kommunfullmäktige i Stockholm att köpa upp samtliga aktier i bolaget och göra spårtrafiken kommunal.

År 1923 startade den första motorbusstrafiken i staden och blev relativt omgående uppköpt av SS som såg fördelarna med bussen. På 50-talet

öppnades den första tunnelbanelinjen (gröna linjen), även den i drift av Stockholms Spårvägar. I förortererna fanns fortfarande flera privata trafikföretag med olika biljettsystem vilket gjorde resandet till stadens utkanter problematiskt. Detta löstes genom bildandet av Stockholms Lokaltrafik (SL) som enade trafikföretagen och 1973 blev helägt av landstinget.



Figur 2: Karta över spårvägs- och omnibuslinjer i Stockholm från 1926. Röda linjer visar spårvägar. Upphov: Stockholms Spårvägar. Källa: Spårvägmuseet (2012).

Med den nya tunnelbanan tillsammans med busstrafiken ansågs spårvägen i Stockholm omodern. Kollektivtrafiken skulle finnas under jord och i gaturummet skulle göras plats för en modern stadsbyggnad där bilen stod i centrum. Spårvagnstrafiken avvecklades i samband med högertrafikomläggningen 1967 (Östlund, 1995; Lightrail, 2012).

1.1.2 Göteborg

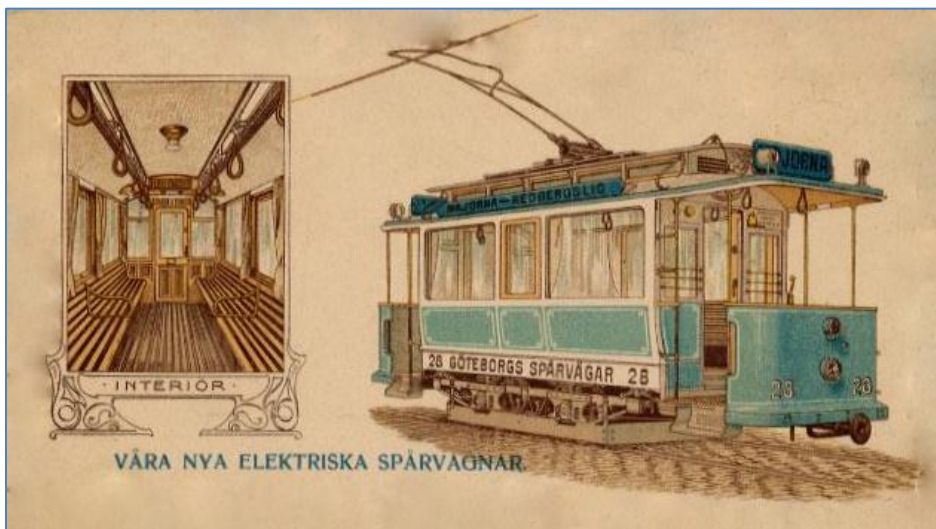
Följande historiska sammanfattning är författad med utgångspunkt S. Hammarssons bok: *Zeppelinare, Limpor och Mustangar* (1979).

Redan 1873 fick Göteborgs Stad en ansökan från Herr Löjtnanten Carl Wettergren om tillstånd att anlägga och trafikera hästspårvägar i staden. Hans ansökan avslogs på grund av den långa koncessionstid (tillstånd att bedriva viss verksamhet) Wettergren ansökte om. Istället tilldelades år 1877 ett 40-årigt tillstånd till Kapten C.C. Juell.

De linjer som Juell förhandlade sig fram till var tre grenar med utgångspunkt från Redbergslid förbi Centralstationen och vidare mot Majorna, Slottsskogen respektive Mölndal. Inledningsvis ville staden att linjen mot Majorna skulle fortsätta mot Klippan genom stadsdelen. Kapten Juell ansåg dock att backarna i Majorna var för branta för effektiv spårvagnstrafik med hästar.

Juell sökte finansiärer och sålde koncessionsrättigheterna till den engelske spårvägsbyggaren William Barfoot som grundade Gothenburg Tramways Company Limited (GTC). Den 24 september 1879 kunde Göteborgs första spårvägslinje invigas.

År 1895 började elektrifiering av spårvägen diskuteras på allvar. Göteborgs stad och GTC, som fortfarande hade koncession i 20 år till, kunde inte komma överens om villkoren för elektrifiering. Detta ledde till att staden valde att lösa ut företagens resterande koncessionstid och tog över drift och kommande elektrifiering. År 1902 kunde de första elektriska vagnarna rulla ut från sin depå.



Figur 3: Vykort på Göteborgs nya elektriska spårvagnar 1902. Källa: Wikipedia Commons 2 (2012).

Antalet spårvägslinjer var 1929 tio stycken, en spårförbindelse över Göta älv till Hisingen saknades dock. Den dåvarande enda stadsförbindelsen över älven var Hisingsbron, byggd på 1870-talet och inte anpassad för spårvagnar. Istället startades 1923 en linje med omnibusstrafik som gick mellan Hultmans Holme (nuvarande Gullbergsvass) och Lundby på Hisingen.

Göteborgs spårväg levde kvar, vilket enligt Hammarsson (1979) berodde på en kombination av anledningar. En större stad behöver ett kollektivtrafiksystem som klarar av stora resmängder. Då Stockholm fick sin tunnelbana på 50-talet valde Göteborg istället att behålla sin välunderhållna spårvägsanläggning som hade stora moderniseringsmöjligheter. Att stadskärnan hade breda gator spelade också stor roll då det fanns plats för den nya kategorin bilister att samsas med spårvagnarna (Hammarsson, 1979).

1.1.3 Norrköping

Följande historiska sammanfattning är författad med utgångspunkt i W. Forsströms bok: *Gula faran rullar vidare* (2004).

Det första försöket till kollektivtrafik i Norrköping gjordes av Eskilstunasonen E.E. Landgren som år 1898 startade upp en hästomnibusslinje mellan Norra stationen (nuvarande Centralstationen) och Kneippbaden väster om centrum. Landgren ansökte samma år om att få anlägga och under 50 år driva en hästspårväg med tre linjer. Ansökan avslogs dock av stadsfullmäktige med hänsyn till den långa koncessionstiden.

Förutom Landgrens hästspårväg inkom flera andra ansökningar om koncession på en elektrifierad spårväg till stadsfullmäktige i Norrköping. I konkurrens med bland andra Svenska AB Siemens & Halske, ASEA och Östergötlands Elektriska Kraftaktiebolag fick år 1902 tyska AEG kontraktet på en elektrisk spårväg samt ett kraftverk med tillhörande kabelnät. Kontraktet gällde en smalspårig spårväg (891 mm) som under planeringsstadiet ändrades till normalspår (1435 mm).

Den 10 mars 1904 öppnades Norrköpings första spårväg. Linjen som anlades gick centralt från Trädgårdsgatan via Stortorget, Drottninggatan, Norra Promenaden, Kungsgatan över Bergsbron och avslutades vid S:t Persgatan. Samma år förlängdes ändhållplatsen från S:t Persgatan till nuvarande Söder Tull och bildade då en ringlinje, som ansågs bättre ur trafikeringssynpunkt. Förlängningen drogs via Nygatan istället för S:t Persgatan som inte ansågs lämplig för spårvagnstrafik. Nästa utvidgning av spårvägsnätet skedde 1906 i och med Borgslinjen som utgick från Väster Tull via Linköpingsvägen till dåvarande Kneippbadens järnvägsstation.



Figur 4: Norrköpings spårvägar på Drottninggatan 1930. Källa: Norrköpings Stadsmuseum (2012).

År 1909 utgick AEGs bruksrätt och då spårvägen gått med förlust några år, framförallt Borgslinjen, valde stadsfullmäktige att överta både spårvägen och elverket för att säkra driften. De kommande årtionden skedde dubbelspårutbyggnad i centrum och vissa omläggningar. Förutom åren kring första världskriget var ekonomin ofta skral för Norrköpings Spårvägar vilket är en förklaring till varför alla spårvagnar som köptes in fram till 1948 var begagnade, många kom från Göteborg (Forsström, 2004).

Trots dålig ekonomi levde Norrköpings spårväg kvar och enligt Willy Forsström, spårvägsfantast och författare till *Gula Faran – Norrköpings Spårvägar 100 år* finns flera anledningar till det:

- Anläggningen av dubbelspår 1912-14.
- Linjenätsomläggningen 1926.
- Spårvägens chef Sven A Anderssons vilja att utveckla spårvägen.
- Inköp av nya vagnar på 1940–50-talet.
- Utbyggnad av linjer till nya bostadsområden.
- Flera framsynta politiker under 1960–80-talet (Forsström, 2012).

1.2 Spårvägen idag

Oljekriserna på 1970-talet blev en första indikation på att spårvägen trots allt hade en framtid. De ökade bränslepriserna tillsammans med miljörörelsens uppsving på 90-talet fick återigen de fossilbränslefria spårvagnarna att rulla ut ur sina depåer.

I och med ett större miljömedvetande och växande storstäder har kollektivtrafikresandet ökat vilket kräver fordon med högre kapacitet. I en jämförelse med bussen är spårvagnen i detta avseende överlägsen. Enligt Johansson & Lange (2008; 2009) har en spårvagn dubbla kapaciteten jämfört med en buss. De menar också att spårvägen ger en attraktiv infrastruktur i staden och att en omläggning från busstrafik ger en genomsnittlig ökning av kollektivtrafikresandet med 25 %. Avseende utrymmesutnyttjande skulle en 30 m lång spårvagn med 180 passagerare ge en bilkö på 900 m om passagerarna istället valt bilen (Johansson & Lange 2008;2009).

Spårvägens goda miljöegenskaper är en av dess största fördelar. Den elektriska driften ger minimalt med skadliga utsläpp och med moderna elmotorer fås hög effektivitet jämfört med motsvarande dieseldrift. Moderna spårvagnar återmatar också elkraft vid bromsning som exempelvis i Hannover där hela 29 % av spårvägselen återanvänds (Hedström, 2004a).

Både enligt Johansson & Lange (2008) och Hedström (2004a) har spårvägen även en strukturerande effekt på stadsmiljön. Principen ”lagt spår ligger” gäller och sänder därmed signaler om långsiktighet, tydlighet och struktur. På många platser, framför allt i Frankrike, har införandet av spårväg även gett ett återuppväckt gatuliv.

”I kampen om gatan måste de effektivaste fordonen prioriteras”
– Johansson & Lange, 2008.

Spårvägens syfte har dock förändrats från att en gång i tiden försörja tätt bebyggda innerstadsområden till att idag vara avsedda för att rakt och snabbt förbinda stadens yttre delar med centrum (Johansson & Lange, 2008).

1.2.1 Stockholm

Storstockholms Lokaltrafik (SL) driver stadens kollektivtrafik och har idag fem light rail-banor och en spårvägsbana samt museibanan Djurgårdslinjen. Nockebybanan, Lidingöbanan, Roslagsbanan och Saltsjöbanan är äldre järnvägar från det förra sekelskiftet som på senare år, av SL, blivit omklassificerade som light rail. Tvärbanan och Spårväg City är nybyggda light rail- respektive spårvägsbanor som byggs ut i etapper (Stockholms Lokaltrafik, 2012).

1.2.2 Göteborg

Göteborgs Spårvägar kör spårvagnstrafiken i Göteborg på uppdrag av Västtrafik och Trafikkontoret i Göteborg Stad (Göteborgs Spårvägar, 2012). Staden har ett väl utbyggt spårtrafiknät bestående av tolv linjer samt Lisebergslinjen som är en museibana i drift av Spårvägssällskapet Ringlinjen.

Tre nyare projekt från 2000-talet är Skånegatan, Chalmerstunneln och Linnéplatsen-Sahlgrenska som samtliga ingår i utvecklingsprojektet Kringens första etapp. Andra etappen är en förlängning av spårvägen från Järntorget via Skeppsbron till Lilla torget. Fortsättningsvis finns planer på den så kallade Operalänken som är en avgrening vid Skeppsbroplatsen mot Operan och vidare mot Drottningtorget (Centralstationen). Operalänken är dock inte möjlig innan järnvägstunneln Västlänken är färdigbyggd (Söderberg, 2011).

1.2.3 Norrköping

Norrköpings spårvägssystem drivs av Östgötatrafikerna på uppdrag av Norrköpings kommun. Linjenätet består av Linje 2 och Linje 3 som tillsammans försörjer 46 % av resenärerna i stadens kollektivtrafik (Norrköpings kommun, 2012). På sommaren och vid speciella evenemang rullar även museilinjen ”Gamla ettan”. 2010 öppnade en förlängning av Linje

2 söderut till Hageby som 2011 förlängdes ytterligare till Navestad. Vidare finns planer på en utbyggnad av den nya linjen från Navestad söder ut till Söderköping.

2 Definition av spårväg

Några karaktäriserande egenskaper för spårväg:

- *Ofta i gatumiljö i konflikt med andra trafikanter.* Spårvagnar i blandad trafik har dock ofta företräde i trafiksignaler för att öka framkomligheten.
 - *Låg STH* (största tillåtna hastighet), 30-70 km/h.
 - *Små axellaster*, 7-12 ton. Högre axellaster krävs inte med dagens spårvagnar då huvuduppgiften är att transportera människor.
 - *Små kurvradier*, ner till 18 m. Med små kurvradier kan spårvagnar ta sig fram i tätbebyggda områden med smala gator.
 - *Branta stigningar*, upp till 10 % lutning i jämförelse med järnväg.
 - *Hög kapacitet*, i jämförelse med buss.
 - *Föraren kör oftast på sikt*, utan signalsystem. Signalsystem kan förekomma i tunnlar och vid annan kort siktsträcka.
 - *Kort avstånd mellan hållplatser*, i jämförelse med järnväg.
- (Johansson & Lange, 2009)

Karaktäristiskt för spårvägen är så kallad gaturäl. Sådan räl är konstruerad för att rälshuvudet ska vara i höjd med kringliggande gatubeläggning för att andra trafikanter lätt ska kunna dela körbanan med spårvagnarna. Flänsutrymmet är därför inbyggt i rälen och är anledningen till att gaturälen ibland kallas ränskena.

2.1 Skillnad light rail – spårväg

Enligt Girnau & Krüger (2007) finns termen light rail inte definierad utan bestäms individuellt av olika transportföretag. Trafiktypen liknas mer vid tunnelbana än spårväg och kallas ibland snabbspårväg. Light rail kännetecknas med följande egenskaper i jämförelse med spårväg:

- *Går på egen bana*, separerad från annan trafik.
- *Högre medelhastighet*. Beror på högre STH samt att konflikter med annan trafik undviks på grund av den egna banvallen.
- *Större kurvradier*.
- Fordonen har *starkare motorer och bättre passagerarkomfort*. Light rail-tåg går ofta längre sträckor och har därför bättre passagerarkomfort.
- *Ofta någon form av signalsystem*. Det krävs på grund av att förarens siktsträcka inte blir tillförlitlig vid de högre hastigheterna (Girnau & Krüger, 2007).

2.2 Skillnad järnväg – spårväg/light rail

Några karaktäriserande egenskaper för järnväg i jämförelse med spårväg/light rail:

- *Högre STH.*
- *Större axellaster*, vanligen 20-25 ton. Järnvägen är byggd för att klara både person- och godstrafik och klarar därför av betydligt högre axellaster.
- *Större kurvradier*, vanligtvis inte under 1000 m.
- *Flackare stigningar*, upp till 1 % lutning.
- *Ofta mer avancerat signal- och säkerhetssystem* (ATC i Sverige).

Kraven på hög hastighet och hög säkerhet ökar också järnvägens kostnader gentemot spårvägens enklare lösningar.

3 Spårvägens infrastruktur

Detta avsnitt inleds med en historisk tillbakablick på tekniken och hur den skiljer sig mot idag. Avsnittet innefattar även litteraturstudiens resultat av byggmetoder och spårkonstruktioner.

3.1 Historia

Under hästspårvägens dagar förekom flera olika spårvidder och dagens 1435 mm var ännu inte klassat som normalspårvidd. Exempelvis hade Sveriges första bana i Helsingborg en spårvidd av 891 mm och William Barfoots hästspårväg i Göteborg hade spårvidden 1000 mm (Spårvägssällskapet, 2012).

När elspårvagnarna sattes i drift i början av 1900-talet var de liksom hästspårvagnarna små och lätta. Vanligtvis var spårvagnarnas axellast inte större än fyra ton och hastigheten låg. Detta medförde inga större krav på spårkonstruktionens stabilitet, hållbarhet eller motstånd mot slitage. Spåren kunde utan större problem stängas av och repareras när det behövdes.

Spårvägarna var vanligtvis innerstadsbanor i gatumiljö med blandtrafik. Banorna byggdes på plats utan något prefabricerat (Johansson & Lange, 2009).

3.2 Spårvägsmiljöer

Enligt Hedström (2004b) och Johansson & Lange (2009) går det att dela in spårvägens lokalisering i tre kategorier:

3.2.1 Spår på egen banvall

Spår på egen banvall är fysiskt avskild från all annan trafik, ofta med exempelvis stängsel eller räcke. Vanligtvis är dessa spår, liksom järnvägen, uppbyggda med vignolräl, sliprar och makadamballast. I jämförelse med spår i gatumiljö är hastigheten för spårvagnsfordonen högre och det är ofta längre mellan hållplatserna. I stadsmiljön ger spår på egen banvall barriäreffekter och ses ofta som tekniskt tyngre och mindre attraktivt. Vanligtvis används sådant spår utanför stadskärnorna (Hedström 2004b; Johansson & Lange 2009).



Figur 5: Spår på egen banvall i Göteborg. Källa: Rune Feldt (2012).

3.2.2 Spår i gatumiljö på avskild bana

Spår i gatumiljö som på något sätt är avskilt från övrig trafik, exempelvis med målade linjer eller förhöjd kantsten som i vissa fall kan passeras av gummihjulsfordon (då i låg hastighet). Det avskilda spårområdet kan ibland användas av exempelvis utryckningsfordon för att öka deras framkomlighet.

Ett tilltalande sätt att avskilja spårområdet är med så kallat grässpår. Annan vanlig ytbeläggning för att avvika från övrig gata är betong eller gatstan. Vid avskilt spår används i huvudsak gaturäl men ibland även vignolräl (Hedström 2004b; Johansson & Lange 2009).



Figur 6: Spår i gatumiljö på avskild bana i Göteborg. Källa: Rune Feldt (2012).

3.2.2.1 Placering i gatan

Vid avskilt spår i gatumiljö är placeringen i gaturummet en intressant och viktig faktor. Vid nybyggnad av spårväg på en smal stadsgata placeras spårvägen vanligtvis i sidoläge för att ha ett körfält öppet för bilister. Detta medför att varutransporter får svårare att nå fram till eventuella butiker på

”spårvägssidan” och sidogator ges sämre framkomlighet. I bredare gator förläggs spårvägen ofta i mittläge då körfält kan anläggas på båda sidor av spåren. I detta fall stör inte spårvägen eventuella sidogator eller butiker längs gatan.

Övergångar mellan sido- och mittläge eller tvärtom anläggs vanligtvis när spårvägen svänger in på en annan gata för att undvika onödiga konflikter med övrig trafik (Johansson & Lange 2009).

3.2.3 Spår i gatumiljö med blandtrafik

Klassiskt byggnadssätt från spårvägens barndom där överkanten av gaturälen är i jämnhöjd med gatan. Vanligast är att en yta av asfalt används men även andra ytskikt som exempelvis gatsten och betong förekommer.

Gummihjulsfordon har inga problem att köra längs spåren eller korsa dem. Spårvagnar samsas med bilister, cyklister och fotgängare och hastighetsbegränsningen är samma som för övrig trafik (Hedström 2004b; Johansson & Lange 2009).



Figur 7: Spår i gatumiljö med blandtrafik. Källa: Mats Fredriksson (2012).

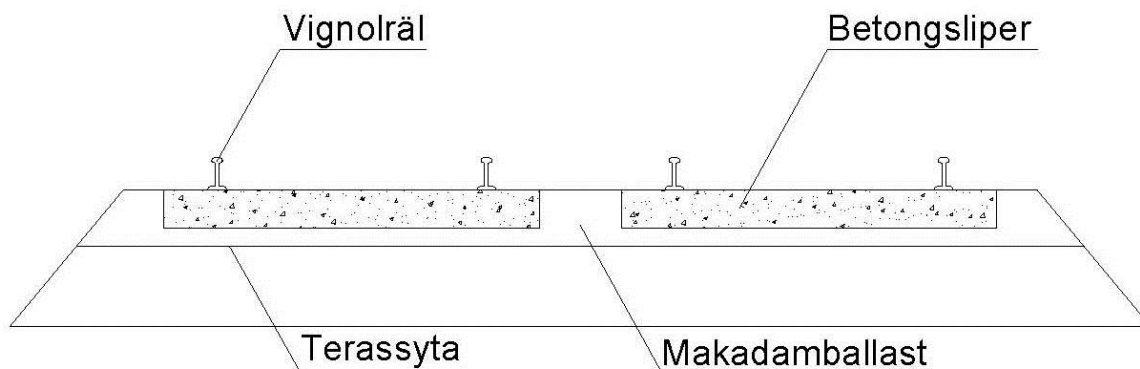
3.3 Spårkonstruktioner och byggmetoder

Kraven på dagens spårvägsspår är betydligt högre än på det tidiga 1900-talet. Idag ska spåren anpassas för axellaster på 7-12 ton, hastigheter på upp till 100 km/h och minimalt underhåll. Detta ställer högre krav på spårkonstruktionen som måste vara robust och hållbar.

3.3.1 Banans uppbyggnad

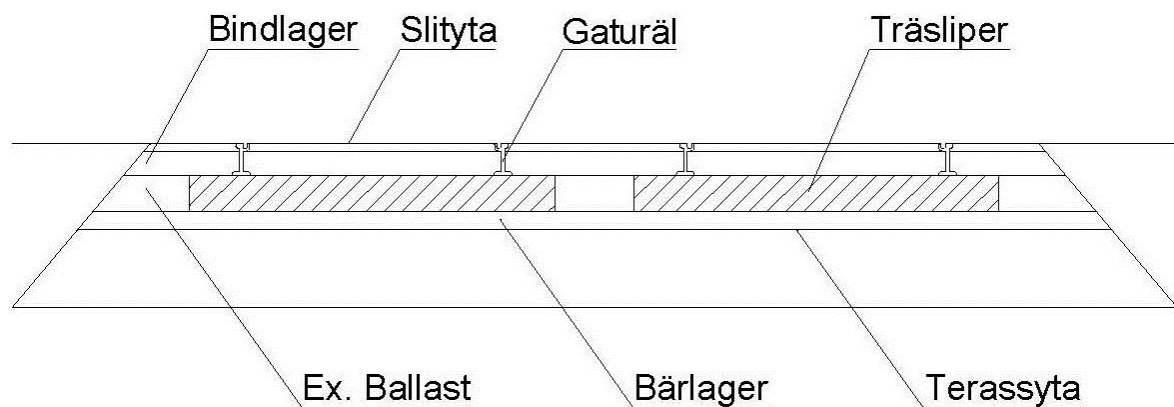
Bankroppen delas in i överbyggnad och underbyggnad som skiljs (ofta med materialskiljande geotextil) vid terrassytan. Överbyggnadens uppgift är att utjämna krafterna från hjulen utan att deformeras och med rälerna styra fordonet samt att dränera vatten från överbyggnaden. Underbyggnaden (under terrassytan) ska vara dimensionerad för att stödja överbyggnaden, föra vidare krafterna samt att leda vidare dräneringsvatten. Vanligtvis består underbyggnaden av ett tjockare lager krossmaterial med kornfraktionen 0-100 mm.

Med konventionell järnvägsmetod består överbyggnaden av vignloräler, fastsatta i sliprar med befästningar. Sliprarna ligger i en bädd av makadamballast som i sin tur är placerad på någon slags undergrund. Denna typ av spårkonstruktion används vanligtvis när spårvägen är placerad på egen banvall.



Figur 8: Tvärsnitt av bankropp på egen banvall med makadamspår, vignloräl och betongslipers.

När spårväg byggs för att trafikeras av blandtrafik används räler med rännskena, så kallade gaturäler. Dessa är på olika sätt fastsatta på en bankropp av vanligtvis asfalt eller betong. Vanligt är att fästa gaturälen på sliprar eller med gjutasfalt. Enligt Petter Hedin, produktionschef på Skanska, finns ingen bra infästning för gaturäl på betongsliprar. Därför används alltid träsliprar när gaturäl är fastsatta med sliprar.



Figur 9: Tvärsnitt av bankropp i gatumiljö med slityta, gaturäl och träsliper.

3.3.2 Banöverbyggnad

Det finns många olika sätt att konstruera spår på med olika för- och nackdelar. Ett sätt att urskilja tre huvudgrupper är att definiera vilket material slipern eller rälen (då slipers inte används) vilar på.

I de tre huvudgrupperna används oftast ballast av någon fraktion. Vanligaste ballasttypen är makadam som delas in i två klasser. Klass 1 har fraktionen 32-64 mm och är vanlig vid byggande av järnväg. Klass 2 (16-32 mm) används för järnvägen vid de platser spårområdet ofta beträds, exempelvis stationsområden. Vid spårvägsbyggnad används fördelaktigen klass 2-makadam då den mindre fraktionen är lättare att hantera vid finjustering och stoppning av spåret. Generellt är makadam av klass 1 billigare (Hedin, 2012).

3.3.2.1 Makadamspår

Den vanligaste typen av makadamspår är den konventionella järnvägsmetoden med sliprar på en ballastbädd av makadam. Fördelen med denna konstruktionstyp är att den är relativt billig och väl beprövad. En annan fördel med makadamspår är den goda möjligheten till underhåll. Exempelvis spårriktas makadamspår enkelt utan att något slitlager behöver tas bort (Pina, 2012).

3.3.2.2 Asfaltspår

Vid byggande av spår med gaturäl är det vanligt att använda en bankropp av asfalt. För att säkerställa rälen horisontella läge är ett traditionellt sätt att gjuta fast rälsfoten med gutasfalt i den underliggande bädden. Spårviddsavståndet (avståndet mellan rälen) säkras då med hjälp av spårstag. Byggsättet är snabbt men problem med att justera rälen i rätt höjd- och sidoläge kan uppstå vid hantering av varm gutasfalt. En annan nackdel med att använda gutasfalt är att den är mycket svår att reparera (Pina, 2012).

Vid en vanlig uppbyggnad av asfaltsspår placeras ett lager med ballast runt gjutasfalten. Ballastlagret övertäcks med ett bärlager av asfalt och i höjd med räls huvudet anläggs ett slitlager av lämpligt material (ex. asfalt, betong eller gräs). Mellan slitlagret och räls huvudet kan ett elastiskt material kallat TOK-band placeras som tillåter vibrationer utan att asfalten spricker (Hedström, 2004b).

En annan variant som är en kombination av makadam- och asfaltsspår är den så kallade Göteborgsmetoden. I denna metod placeras ett lager av asfaltsgrus (AG) underst och täcks med ett 150 mm lager av obunden ballast. Rälerna placeras i ballasten och korrekt spårvidd säkras med spårstag. På ballasten läggs ett slitlager av asfalt (Johansson, 2012).



Figur 10: Spårbyggnad med "Göteborgsmetoden" på Tvärbanan. Källa: Thomas Johansson (2012).

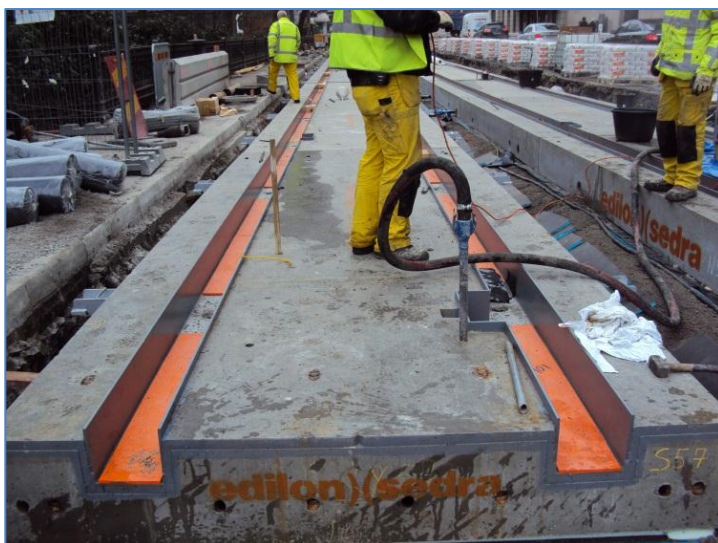
Enligt Hedström (2004b) är ett asfaltsspår med räler i makadam ungefär hälften så dyrt att anlägga som en spårkonstruktion av betong.

3.3.2.3 *Betongspår*

Betongspår finns i många olika utföranden som ibland kan byggas i prefabricerade sektioner. Enligt Hedström (2004b) är ett vanligt sätt att bygga betongspår med räler fastsatta med gjutasfalt och spårstag. På bankroppen av betong läggs ett lager av obunden ballast som täcks med lämpligt slitlager.

En annan typ av betongspår är slab-track där ballasten är utbytt mot ett mer stabilt material (ex. betong, asfalt). Detta ger en solid betongkropp och ska resultera i minimalt underhållsbehov och bra hållbarhet. Slab-tracktekniken är applicerbar i alla tre typer av spårvägs miljöer men vanligast för spår på avskild bana och spår i blandtrafik.

Embedded-rail (inbäddat spår) är en typ av betongspår där rälerna placeras i formgjutna kanaler, exempelvis Edilon-spåret. Spåret kan både gjutas på plats på en betongbädd eller vara prefabricerat från fabrik.



Figur 11: Prefabricerade betongsegment av typen embedded-rail. Källa: Edilon-Sedra (2012).

Mellan rälsfot och botten av kanalen klistras ett elastiskt rälunderlägg och det återstående utrymmet fylls med en korkmassa med vibrations- och ljudnedsättande egenskaper.



Figur 12: Utrymmet mellan räl och betong fylls med en korkmassa. Källa: Edilon-Sedra (2012).

Embedded-rail kräver mindre underhåll, har lång livslängd och kan byggas snabbt med prefabricerade betongsegment eller glidformsgjutning. Den kan också byggas upp på så sätt att den blir fördelaktig på platser där en låg spårkonstruktion krävs. Anläggningskostnaden är dock hög och spåret är ofta krångligt att underhålla. Detta beror delvis på giftiga ångor som kan bildas vid arbete med korkmassan (Hedström, 2004b; Backman, 2012; Petersson, 2012).

3.3.3 Byggmetoder

Det finns två generella sätt att bygga spårväg. Det konventionella sättet är att bygga allt på plats där olika delar sätts samman till ett spårvägsspår. En avgrening till denna metod är att använda så kallad glidformsgjutning där betong gjuts på plats med hjälp av formar. Detta ger i jämförelse med det konventionella sättet ett snabbt byggande.

Den andra metoden är att använda prefabricerade spår som tillverkats i fabrik och sedan transporterats till byggplatsen i olika långa sektioner. Prefabricerat spår utesluter inte möjligheten till olika typer av ytskikt för att anpassas till omgivande gatuyta. Byggmetoden är snabb och rationell och passar därför bra vid kritiska platser där avstängning av närområdet skapar stora problem, exempelvis vägkorsningar (Hedström, 2004b; Johansson & Lange, 2009).

3.3.4 Vägövergång

När bil-/busstrafik och spårvagnar använder samma gatuutrymme krävs en mer stabil spårkonstruktion. Den måste klara högre belastning och vara anpassad för korsande gummihjulsfordon.

En vanlig konstruktion vid vägövergångar är att använda en hårdgummibeläggning. Hårdgummibeläggning levereras i block som placeras på sliprarna i jämnhöjd med vägbana och rälsöverkant. Gummisegmentens huvudfördel är att de är enkla att installera och ta bort vilket exempelvis minskar störningstiden vid underhållsarbeten.



Figur 13: Exempel på hårdgummibeläggning av typ Strails. Källa: Mats Fredriksson (2012).

3.3.5 Cirkulationsplats

Här liksom vid vägövergångar krävs en konstruktion som klarar av de högre belastningar som bil- och busstrafiken ger. Enligt Petter Hedin (produktionschef vid utbyggnaden i Norrköping) är packningen av material mellan sliprarna extra viktig då spårvägen skär bilvägen i cirkulationsplatser. Detta utförs för att undvika ”tvättbräda” i asfalten.

Vanligt för dagens spårvägar är att banan dras igenom rondellen och ges en högre prioritet än biltrafiken. Detta ökar framkomligheten för spårvagnarna.

3.3.6 Ytbeläggning

Valet av ytbeläggning beror ofta på vilken typ av spårvägsmiljö som förekommer. För spår på egen banvall är ett ytskikt av makadam vanligt förekommande. Makadamytskikt har fördelen att det är lätt att underhålla då de flesta komponenter är synliga. Det vanligaste när spårvägen går i blandad trafik är att asfalt används som ytbeläggning.

Ett ofta förekommande problem är enligt Alberto Pina (materialupphandlande konsult inom spårväg för Trafikkontoret i Göteborg) sprickbildningar i fogen mellan gaturälen och kringliggande ytbeläggning. Sprickbildningarna uppstår för alla typer av hårdgjorda ytbeläggningar och är oberoende av undergrund. Enligt Pina beror sprickorna på rörelser i rälen. Rörelsen uppstår dels på grund av rälsunderlagets flexibilitet och dels de vibrationer som uppstår i kontakten mellan hjul och räl.



Figur 14: Sprickbildning, asfaltsyta. Källa: Alberto Pina (2012).

Enligt Per Drago (bygg- och projektledare inom spårväg) sliter dubbdäck speciellt hårt på underlaget. En lösning på problemet med slitage är att anlägga ett slitlager av asfalt som enkelt kan rivs upp och bytas ut när det blivit

nerslitet. En annan lösning, enligt Drago, är att använda cementstabiliserad asfalt. Asfalt med en större fraktion används då för att skapa hålrum där en cementblandning hålls i och härdar. Denna typ av ytbeläggning får en hårdare yta och passar bra vid platser utsatta för stort slitage.

Gräsytskikt

Spår med gräsytskikt är ett estetiskt och tilltalande sätt att avskilja spårvägen från övrig gatumiljö. Istället för ett ytskikt av asfalt eller betong fylls skiktet med organiskt material (humus) som gräset kan gro i. Gräset har dessutom den goda egenskapen att verka ljuddämpande. Att underhålla makadamspår med gräsytskikt kan ses som dess största nackdel då växtbädden måste tas bort för att exempelvis spårrikta (Pina, 2012). Ett annat problem är vagabonderande strömmar, som kan uppstå kring rälen för returström då strömmen följer oönskade banor är de avsedda. Detta kan uppstå när gräset blir fuktigt och kommer i kontakt med rälen för returström (Johansson & Lange, 2009).

I Sverige har man vanligtvis använt sig av en spårkonstruktion med makadam och träsliprar under gräsbeläggning. I Frankrike och övriga Europa är det dock vanligare med ett betongspår under gräsbeläggningen (Pina, 2012).

En variant på gräsbeläggning är att använda konstgräs istället för naturgräs. En fördel i jämförelse med naturgräs är det minskade underhållet. I Mölndal har det dock visat sig att partiklar från kontakten mellan hjul och räl missfärgar konstgräset längs rälerna (Pina, 2012)



Figur 15: Missfärgat konstgrässpår i Mölndal. Källa: Alberto Pina (2012).

3.3.7 Geotekniska åtgärder

Spårvägen går vanligtvis centralt i städer där marken från början är väl stabiliserad. Det finns dock platser för spårvägsbyggnad där marken inte är tillräckligt stabil, vilket kan leda till sättningar och därmed öka risken för exempelvis rälsbrott.

Ett vanligt sätt att förstärka undergrunden är med hjälp av kalkcementpelare (KC-pelare). En speciell bormaskin sprutar ut kalkcementblandningen på vägen upp till ytan vilket skapar en cylinderformad KC-pelare som senare stelnar i marken. KC-pelare används för att reducera risken för sättningar genom att exempelvis stabilisera lerjordar vid järnvägsbyggande.

En annan metod för att bygga på ostabil mark är att använda pålning. För att komma förbi lösa jordarter (ler, silt) pressas pålar av olika material (ex. betong, stål, trä) ner till berg eller stabilare jordarter.

Ett tredje sätt att öka markens bärighet är att placera ut geonät i överbyggnadens obundna lager. Nätet hindrar jordpartiklarna från att röra sig horisontellt och ökar därmed stabiliteten (ViaCon 2012).

3.3.8 Buller- och vibrationsdämpande åtgärder

I vissa fall ställs krav på buller och vibrationsnivåer för spårvägen. Kritiska platser kan vara i kurvor med små radier och då fastigheter ligger nära spåret. Ofta krävs där speciella åtgärder i spårkonstruktionen för att minska buller- och vibrationspåverkan.

Buller från spårvägen kan minskas genom att anlägga större kurvradier, grässpår eller att använda spår med en ljudisolerande korkmassa. Även asfalt har bullerdämpande egenskaper i jämförelse med betong och gatsten. Ett annat sätt att minska bullret i kurvor är att placera gummiblock runt rälerna (Pina, 2012; Hedin, 2012).

För att minska vibrationer och stomljud är det vanligt är att lägga ut en vibrationsdämpande matta under slipers eller betongkonstruktioner. Mattan kan bestå av olika material, exempelvis gummi eller stennull. När betong används i spårkonstruktionen är detta extra viktigt eftersom vibrationer enkelt fortplantar sig i betongen (Pina, 2012).

3.3.9 Ekonomi

Kostnaden för ett nybyggnadsprojekt inom spårväg skiljer sig stort beroende på förutsättningarna. Kostnaderna skiljer sig stort även på de fem projekt vi inventerat:

Projekt	Kronor per kilometer
Tvärbanan – Solnagrenen	486 miljoner
Spårväg City	86 miljoner
Skånegatan	160 miljoner
Skeppsbron	100 miljoner
Utbyggnaden till Navestad	39 miljoner

De kostnader som presenteras ovan är inte helt jämförbara då fordon, depåkostnader, vägomläggningar och annat är inkluderat i olika omfattning. Tvärbanan sticker ut med 486 Mkr/km, mycket beroende på de många konstbyggnader som finns längs banan.

Det finns några speciellt viktiga faktorer som påverkar kostnadsmässigt:

- *Byggmetod*, beroende på om spårvägen byggs med prefabricerade sektioner eller byggs på plats skiljer priset stort. Byggnadstekniskt är prefabricerat spår dyrare.
- *Spårkonstruktion*, vilken typ av spårvägsspår som byggs ges stora kostnadsvariationer. Enligt Hedström (2004b) är ett betongspår generellt dubbelt så dyrt som ett asfaltspår.
- *Andel konstbyggnader*, en bana med många broar och tunnlar är betydligt dyrare än en utan liknande konstbyggnader.
- *Spårvägsmiljö*, byggs en spårväg mitt i city ökar generellt priset mot om den byggs i kringliggande glesare bebyggelse. Detta beror ofta på utrymmesbrist och kostnaden för att stänga av vältrafikerade gator.
- *Omläggning av ledningar*, för att undvika framtida underhåll på ledningar som går under spåret och därmed trafikstopp flyttas oftast ledningarna vid byggnad av spårväg.
- *Estetik och gestaltning*, en väl estetiskt utformad spårväg kostar ofta mer än rent teknisk spårväg.

Enligt Hedström (2004b) består i vissa fall en tredjedel av kostnaderna för infrastrukturen vid spårvägsprojekt av omläggning av ledningar i marken (el, vatten, avlopp). En annan viktig kostnadsfaktor vid byggande av spårväg är tiden för avstängning av gator. I vissa fall kan det vara mer ekonomiskt försvarbart att bygga med dyra prefabricerade spår för att minska byggtiden och därmed avstängningstiden.

Viktigt att ta hänsyn till vid planering av en nybyggd spårväg är det framtida underhållet. Den billigaste anläggningskostnaden behöver inte bli billigast i ett livstidsperspektiv. I Frankrike används ofta spårvägsbyggnad som ett medel för att förändra hela den kringliggande stadsmiljön. Stora summor av själva spårvägsbudgeten går då också till estetiskt tilltalande stadsbyggnad.

Johansson & Lange (2008) ger ett prisexempel från de nybyggda franska spårvägarna som byggs med hög standard och lång livslängd. Om man bortser från den ofta inkluderade kringliggande stadsbyggnaden blir kostnaden cirka 180 miljoner kr/kilometer.

4 Nutida svenska nybyggnadsprojekt inom spårväg

I detta kapitel sammanställs vilka byggmetoder och spårkonstruktioner som valts utifrån projektinventeringar för fyra olika nybyggnadsprojekt.

Inventeringen utgår från fyra valda parametrar:

- Bankroppsbyggnad
- Byggmetod
- Ytbeläggning
- Vägövergång

4.1 Tvärbanan

4.1.1 Bakgrund

Tvärbanan är en light rail-bana som ska knyta samman kollektivtrafiken ”på tvären” runt centrala Stockholm. År 2002 stod första etappen klar mellan Sickla Udde i Hammarby sjöstad och Alvik. Banan är elva kilometer lång, har 17 hållplatser samt innefattar flera broar och tunnlar.



Figur 16: Tvärbanan, Sickla Udde – Alvik. Källa: www.openstreetmap.org.

I denna rapport inventeras inte första etappen av Tvärbanan då det varit svårt att få tag i bra underlag. Detta beror till största del på att banan färdigställdes för tio år sedan och ritningar har därmed arkiverats.

Etapp två av Tvärbanan, kallad Solnagrenen, är en utbyggnad från Alvik till Solna med planerad trafikstart 2013. Banan ska bli knappt sju kilometer lång och förväntas ha nio hållplatser. Det finns även planer på en nordlig utbyggnad till Kista förbi Bromma flygplats och en östlig från Sickla udde till Slussen (Johansson, 2010).

4.1.2 Solnagrenen

Projektdata

- Banans längd: ca 7 km
 - Byggtid: 2009-2012
 - Kostnad: 3,4 miljarder (byggkostnad utan fordonsinköp eller depåkostnader)
 - Dimensionerande hastighet: 80 km/h
- (Backman, 2012)

Solnagrenen av Tvärbanan är i byggskedet och inventeringen är sammanställd utifrån granskning av bygghandlingsritningar och litteraturstudie. Även en intervju med Tommy Backman (Project Partner), projekteringsansvarig för Solnagrenen, är utförd.



Figur 17: Tvärbanan, Alvik - Solna Station. Källa: www.openstreetmap.org.

4.1.2.1 Byggtekniska förutsättningar

Banan går norrut från Alvik i en cirka 800 meter lång tunnel under Traneberg. Över Ulvsundasjön byggs en ny bro till Johannesfred som förutom spårvägen även ska rymma en GC-väg. Genom Ulvsunda industriområde nyttjas ett gammalt industrispår fram till Karlsbodavägen som följs upp till Bällsta bro. Över Bällstaån ska spårvägen gå på en egen bro och vidare förbi Sundbybergs Centrum.

Banan fortsätter på ännu en nybyggd bro över Mälarbanan och vidare i Svetsarvägen med en hållplats vid Solna Business Park. Därefter följer spårvägen Frösundaleden förbi Råsunda fotbollsstadion, under Solnavägen och har ändhållplats i närheten av Solna Station (Johansson, 2011).

Geoteknik

Banan byggs genom områden med varierande undergrunder bestående av berg och olika jordarter. Sträckan förbi Ulvsunda Industriområde har förhållandevis fast mark men längs Karlsbodavägen blir markförhållandena byggtekniskt sämre ju närmre vattnet spårvägen går. I Solna Business Park och vidare längs Frösundaleden består marken till stora delar av lera och lermäktigheterna uppgår vid vissa platser till 17-18 meter (Backman, 2012).

4.1.2.2 Spårkonstruktion

Solnagrenen är uppdelad i tre etapper med två entreprenadgränser, vid Bällsta bro och där spårvägen möter Frösundaleden. Etapp två särskiljer sig som spår i gatumiljö medan de andra två etapperna byggs på egen banvall med makadamspår, vignolräl och makadamytskikt. Längs banan byggs flera konstbyggnader, exempelvis den 800 meter långa tunneln under Traneberg och bron över Ulvsundasjön.

Bankropp

Beroende på om undergrunden är jord eller berg används två typer av spårkonstruktioner. Gemensamt för etapp ett och tre är att makadamspår med vignolräl och betongsliprar används. För jordskärning och jordbank ligger en geotextil på schaktbotten och över packas 600 mm underballast av krossmaterial. Spårballasten av makadam placeras över i ett drygt 500 mm tjockt lager (se bilaga 4.1a). Då spåret byggs på berg jämnas istället schaktbotten av cirka 200 mm krossmaterial.

Längs sträckningen finns flera broar och tunnlar som påverkar bankroppens konstruktion. Den 800 meter långa Tranebergstunneln från Alvik till Ulvsundasjön är en bergtunnel. På den tätade berggrunden ligger en stomljudsisoleringmatta var på ett lager underballast av krossmaterial är packat. På underballasten läggs 500 mm makadam som sliprarna av betong är placerade i (se bilaga 4.1b).

Tunneln under Norrbyvägen och tunnlarna längs Frösundaleden är byggda på samma sätt med inledande och avslutande tråg. Både trågen och tunneln är betongstrukturer placerade på ett krossmaterial vars uppgift är att jämna ut underliggande schakt. På betongstrukturens botten placeras en vibrationsdämpande matta var på ett makadamlager läggs upp till slipers överkant.

Broarna över Ulvsundasjön och Bällstaån är konstruerade på olika sätt. Bron över Ulvsundasjön är en klassisk betongbro fylld med cirka 500 mm makadamballast som betongsliprarna vilar i. Bällstabron är ballastfri (slab-

track) med makadamytskikt. Vignolrälerna är där placerade i betongkanaler som fylls med en korkmassa runt rälerna.

Anledningen till att slab-track används för Bällstabron är enligt Tommy Backman för att klara höjdkraven för den GC-väg som går under bron. Detta medförde krav på brokonstruktionens höjd och då ett ballastfritt spår generellt är 1-2 dm tunnare än ett vanligt ballastspår valdes det.

Etapp två, mellan Bällsta bro och Frösundaleden, går genom Sundbybergs Centrum och Solna Business Park som gatuspår i blandtrafik. Spårkonstruktionen är vid dessa platser en blandning av asfalts- och makadamspår.

Underbyggnaden består av 150 mm asfaltsgrus (AG) varpå 150 mm makadam läggs. Makadamen stoppas var på rälerna placeras utan att vara fastsatta i sliprar eller gjutasfalt. Som slitlager används asfalt och korrekt spårvidd erhålls med spårstag mellan rälerna. Byggnadstekniken kallas Göteborgsmetoden och är snabbare och därmed billigare än konventionell metod med gjutasfalt (Johansson, 2012).

Buller- och vibrationsdämpande åtgärder

Både i bergstunneln under Traneberg och betongtunnlarna har stomljuds- och vibrationsdämpande mattor använts.

Geotekniska åtgärder

I området kring Solna Business Park där lermäktigheterna är stora har marken på vissa platser fyllts ut med lättfyllnad (se bilaga 4.1c). Vid hållplatsen längs Frösundaleden har undergrunden fyllts ut med så kallat skumglas. Vissa betongstrukturer har även pålats längs banan där undergrunden varit ostabil (Backman, 2012).

Ytbeläggning

För etapp ett och tre används makadam upp till slipers överkant och därmed även som ytskikt. Där etapp två går i gatumiljö används ett ytskikt av asfalt.



Figur 18: Asfaltsbeläggning vid Solna Business Park. Källa: Mats Fredriksson (2012).

Vätkorsning

Plankorsningar med hårdgummibeläggning finns på flera ställen vid hållplatsen Ulvsunda och längs Karlsbodavägen. Vid Solna Business Park går spårvägen i blandad trafik och passerar rakt genom en cirkulationsplats.

För etapp tre korsar spårvägen vägen vid två ställen. Ankdammsrondellen i korsningen Frösundaleden-Ankdammsgatan/Gränsgatan byggs om till en fyrvägs-korsning. Spårvägen kommer där passera över en av vägarna. Vid dessa vägovergångar används hårdgummibeläggning.

4.2 Spårväg City

Projektdata

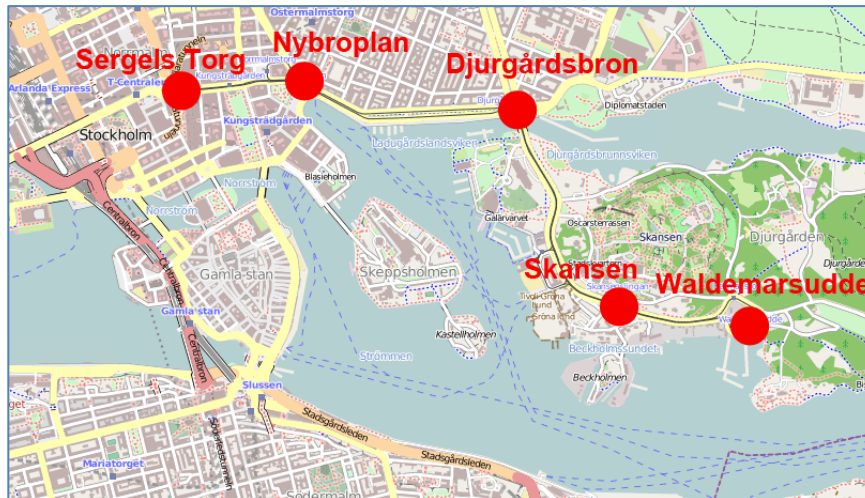
- Banans längd: ca 3,5 km
- Byggtid: 2009-2010
- Kostnad: Drygt 300 miljoner inklusive Alkärrsdepån
- Dimensionerande hastighet: 80 km/h för Hamngatan, övrig 50 km/h (Drago, 2012)

Analysen av Spårväg City baseras på en förstudie från 2010, ritningsgranskningar samt intervju med Per Drago, bygg- och projektledare inom spårväg.

4.2.1 Bakgrund

Spårväg City är ett spårvägsprojekt i Stockholm som byggs i etapper och första etappen invigdes 2010. Den invigda delen går mellan Sergels torg och

Waldemarsudde på Djurgården. Delsträckan mellan Norrmalmstorg och Skansen är sedan 1991 trafikerad av museibanan Djurgårdslinjen.



Figur 19: Spårväg City: Sergels Torg – Waldemarsudde. Källa: www.openstreetmap.org.

Spårväg City är tänkt att i en andra etapp förlängas från Djurgårdsbron norrut via Frihamnen till Ropsten och där kopplas samman med Lidingöbanan. Vidare finns planer på spårbyggnad väster från Sergels torg via Centralstationen till Hornsbergs strand på Kungsholmen.

4.2.2 Byggtekniska förutsättningar

Hamngatan som går mellan Sergels torg och Nybroplan är en av Sveriges mest gångtrafiktäta gator och en viktig länk i öst-västlig riktning för biltrafik. Detta medför att små störningar ger stora konsekvenser för trafiken. För byggande av spårväg i en sådan gata ställs höga krav på snabbt effektivt byggande. Den vidare sträckningen från Norrmalmstorg till Djurgården har sedan 1991 varit en museibana med låg standard (Spårväg City, 2010).

Geoteknik

Spårväg City går centralt i Stockholm och marken under består av asfalt och andra hårdgjorda ytor.

4.2.3 Spårkonstruktion

Spårväg City är dubbelspårig förutom de knappt 100 meterna vid ändhållplatsen Sergels Torg som är enkelspårig samt sträckan förbi Norrmalmstorg där tre spår ligger i bredd. Banan är till största del spår på avskild bana, centrerad mellan körbanorna. I Strandvägen ligger spåren bredare isär och mellan dem har ett parkliknande stråk med GC-väg inrymts.

Bankropp

Sträckan i Hamngatan är till största del byggd med prefabricerade betongsegment enligt embedded-railmetoden. Betongsegmenten ligger på ett 250 mm förstärkningslager av bergskross. Mellan segment och bergskross har en 20 mm matta placerats ut som har till uppgift är att minska vibrationer. Även spåren över Djurgårdsbron är byggda med embedded-rail (se bilaga 4.2a).

Mellan dubbelspåret två betongsegment, på bergskrossen, ligger först ett bärlager av grus som är övertäckt av två bindlagerskikt av asfaltsgrus (AG 22) och asfaltsbetong (ABB 16).

Den tidigare museibanan mellan Nybroplan och Waldemarsudde har fått bättre standard med bl.a nya växlar. Detta är gjort för att klara av den ökade trafikeringen som Spårväg City utgör.

Buller- och vibrationsdämpande åtgärder

Under de prefabricerade betongblocken ligger en matta med vibrationsdämpande egenskaper. Även korkmassan i embedded-rail-kanalerna har buller- och vibrationsdämpande egenskaper.

Ytbeläggning

På den nybyggda sträckan mellan Sergels torg och Nybroplan har till största del ett slitlager av tät asfaltsbetong (ABT 16) valts. För den uppgraderade delen ligger sedan tidigare en ytbeläggning av asfalt. På vissa ställen längs banan har även cementstabiliserad asfalt valts som toppbeläggning (Drago, 2012).

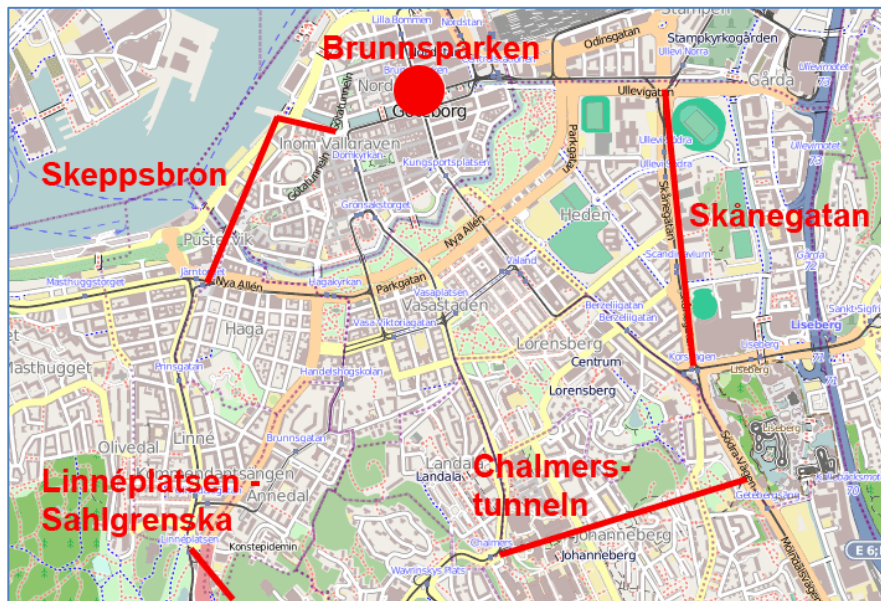
Väggkorsning

Spårväg City korsar bilvägar på flera ställen. För dessa har inga speciella spårkonstruktioner valts utan de befintliga spårkonstruktionerna ska klara av belastningar från övrig trafik.

4.3 Kringen

4.3.1 Bakgrund

I Göteborg pågår sedan 1998 ett utvecklingsprojekt kallat Kringen för att förbättra kommunikationerna i innerstaden. Spårnätet är i grunden uppbyggt som ett cykelhjul där hållplatsen Brunnsparken varit navet med ekrar ut mot förorterna. Kringen står för Kollektivtrafikringen och har som syfte att minska belastning på hållplats Brunnsparken genom en ringlinje i innerstaden (Trafikkontoret, 1995).



Figur 20: Kringenprojektet. Källa: www.openstreetmap.org.

Första etappen i Kringen är färdigbyggd och därmed projekten Chalmers-tunneln, Skånegatan och Linnéplatsen – Sahlgreńska. Nästa etapp som planeras är spårvägsspår från Järntorget via Skeppsbron till Lilla Torget (Söderberg, 2011).

4.3.2 Skånegatan (Evenemangsstråket)

Projektdata

- Banans längd: ca 1 km
 - Byggtid: 2002 - 2003
 - Kostnad: 160 miljoner kronor
 - Dimensionerande hastighet: 50 km/h
- (Andersson, 2012)

Analysen av Skånegatan baseras på typsektioner från Trafikkontoret i Göteborg och en förstudie från 1995. Även en intervju med Alberto Pina (Crabat), materialupphandlare inom spårväg för Trafikkontoret i Göteborg, är gjord.

4.3.2.1 Byggnadstekniska förutsättningar

Det så kallade Evenemangsstråket, Skånegatan, mellan Stampen vid Ullevi och Korsvägen är ett område med mycket trafik. Korsvägen är en knutpunkt för spårvagnstrafiken med flera korsande linjer som gör Korsvägen till en stor bytespunkt (Trafikkontoret, 1999).

4.3.3 Spårkonstruktion

Spårvägen är byggd som spår på egen banvall med gräs som huvudsakligt ytskikt. Den dubbelspåriga spårvägen ligger mitt i Skånegatan mellan två motriktade tvåfiliga vägar. De två spåren är avskilda med hjälp av ett meterhögt staket. Staketet utgör en barriär mitt i gatan.

Bankropp

Spårvägen längs evenemangsstråket är byggd med makadamspår, betongsliprar och vignolräl. Överbyggnaden skiljs från underbyggnaden med en geotextil. Upp till slipersöverkant ligger ett 300 mm lager av makadam klass 1 (se bilaga 4.3a).

Ytbeläggning

Spårvägens mittläge i gatan är avskild mot övrig körbana med grässpår. På makadambädden ligger en geotextil och på denna ett bärlager av växtjord som gräset gror i (se bilaga 4.3b).



Figur 21: Nylagt grässpår på Skånegatan vid invigningen av spårvägen 2003. Källa: Rune Feldt (2012).

Väggkorsning

Förutom korsningarna vid Korsvägen och Stampen korsar spårvägen vägbanan vid tre platser. Vid väggövergångarna används hårdgummibeläggning (Pina 2012).

För gång- och cykeltrafikanter finns avskilda övergångar med rödfärgad ytbeläggning. Övergångarna är också uppmärksammade med säkerhetsräcken innan passagen över spåren.

4.3.4 Skeppsbron

Projektdata

- Banans längd: ca 1 km
- Byggtid 2012-2015 (beräknad byggtid)
- Kostnad: 100 miljoner (endast spårvägsbyggnad)
- Dimensionerande hastighet: 30 km/h
(Petersson, 2012)

Projektet Skeppsbron är i planeringsstadiet och nedstående inventering är baserad på ritningsgranskningar av förfrågningsunderlag, en planbeskrivning samt intervjuer med Alberto Pina (Crabat), materialupphandlare inom spårväg för Trafikkontoret i Göteborg och Jan-Olof Petersson, projektör för spårvägsdelen i projektet Skeppsbron.

I och med att Götatunneln blev klar 2006 flyttades cirka 80 % av trafiken som gick i marknivå vid Södra Älvstranden ner i tunneln (Söderberg, 2011). Detta frigjorde utrymme och möjliggjorde den länge planerade etapp två av Kringen.

4.3.4.1 Byggnadstekniska förutsättningar

Spårvägen är tänkt att gå från Järntorget över Vallgraven till Esperantoplatsen och vidare i Stora Badhusgatan. Anslutning till Skeppsbron görs innan Skeppsbroplatsen där spårvägen fortsätter i Södra Hamngatan fram till Lilla Torget.

Skeppsbron och Stora Badhusgatan är relativt vältrafikerade gator och området mellan dem är idag till största del parkeringsplatser. Spårvägen kommer gå på den befintliga bron över Vallgraven. Vid Esperantoplatsen planeras spåren anläggas nära elektricitetsverket.

Förlängningen av spårvägen kommer få en hållplats vid Stenpiren (Skeppsbroplatsen). Stenpiren är tänkt att byggas ut och få en terminalbyggnad med hållplatser för både buss och spårvagn (Söderberg, 2011).

Geoteknik

Banan kommer gå på gammal vassmark utfylld med sand, silt, lera och gamla byggmaterial. Sträckan består av lera med en varierande tjocklek 10-25 m ner till berget. Vid det blivande hållplatsläget på stenpiren är lerans mäktighet 50-60 meter till berg (Söderberg, 2011).

4.3.4.2 Spårkonstruktion

Mellan Järntorget och Skeppsbroplatsen planeras spårvägen gå som avskilt spår i gatumiljö, centrerad mellan två bilkörfält. I Södra Hamngatan mot Lilla Torget ska spårvägen gå i blandad trafik. Vid den tänkta cirkulationsplatsen efter Vallgraven planeras spårvägen gå centrerad genom rondellen.

Bankropp

Två olika typer av spårkonstruktioner med gaturäl är tänkta att användas. Gemensamt för de två konstruktionerna är undergrunden som består av ett schakt med geotextil i botten. Förstärkningslagret ovanpå består av ett minst 250 mm tjockt krossmaterial (0-40 mm) som är täckt av 50 mm krosslager av fraktion 0-18 mm. Det finare krosslagret används för att få en jämnare yta att gjuta betongen på.

På sträckan mellan Järntorget och Skeppsbron används betongspår av typen embedded-rail. De cirka 400 mm tjocka betongblocken planeras att glidformsgjutas med kanaler för gaturälerna. Mellan Skeppsbron och Lilla Torget används en spårkonstruktion med så kallad Rippenbefästning.

Rippenbefästningen skruvar samman rälen med rälsunderlägg och armering. Dessa placeras ut i rätt höjd- och sidoläge med lecablock. Kring lecablocken och upp till rälsfot gjuts betong som med armeringen befäster rälenas position (se bilaga 4.3c).

Då busstrafik även ska trafikera spårvägsområdet är ett betongspår valt för att få en god hållbarhet (Petersson, 2012). Embedded-rail används mellan Järntorget och hållplatsen Skeppsbron med anledning av dess goda buller- och vibrationsdämpande egenskaper samt för att minska underhåll (Pina, 2012)

Tidigare erfarenheter från Göteborg har visat att det är svårt att få bra vidhäftning mellan asfaltsslitlagret och fogen som ligger på korkmassan. Detta har enligt Jan-Olof Petersson varit en viktig anledning för att använda en spårkonstruktion med Rippenbefästning för asfaltsslitlager i blandtrafik. Två andra fördelar i jämförelse med embedded-railspåret är att Rippen ska vara billigare att bygga och lättare att underhålla, dock kräver den mer underhåll (Petersson, 2012).

Ytbeläggning

Tre olika typer av ytbeläggning är tänkta att användas i det planerade Skeppsbroprojektet. Den sträcka fram till Skeppsbron som går på avskild bana används inget speciellt slitlager utan betongsegmentens betongyta når upp till gatunivå.



Figur 22: Exempel på ytbeläggning av betong. Källa: Mats Fredriksson (2012).

Vid spårkonstruktion med Rippenbefästning planeras för blandtrafik och två olika ytbeläggningar, asfalt och gatsten. Vid ytskikt med asfalt läggs 90 mm bärlager av asfalt på betonggrunden. På bärlagret läggs ett 78 mm bindlager av asfaltsgrus och ovanpå 32 mm slitlager av en asfaltsblandning.

För Rippenkonstruktion med gatsten anläggs ett obundet bärlager av 50 mm krossmaterial (2-4 mm) på betongen. I bärlagret placeras gatstenen.

Väggkorsning

Den tänkta spårvägsdragningen går rakt genom en cirkulationsplats och korsar vägar på ett flertal ställen. I Södra Hamngatan kommer spårvägen även gå i blandtrafik. De två planerade spårkonstruktionerna är tillräckligt stabila för att användas även för bil- och busstrafik (Pina, 2012).

4.4 Utbyggnaden till Navestad

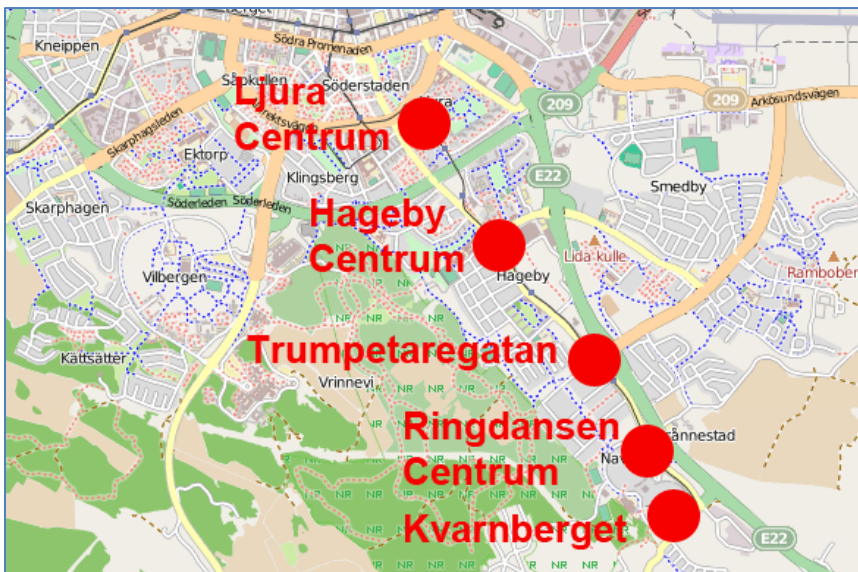
Projektdata

- Banans längd: ca 4 km
- Byggtid: 2009 - 2011
- Kostnad: 155 miljoner
- Dimensionerande hastighet: 70 km/h (Hedin, 2012).

Analysen av utbyggnaden till Navestad är baserad på ritningsgranskningar, VTI-rapporten ”Spår faktorn på spåret” samt intervju med Petter Hedin, produktionschef för Skanska vid utbyggnaden.

4.4.1 Bakgrund

Förlängningen av Norrköping spårvägars linje två till Navestad stod klar hösten 2011. Projektet var uppdelat i två etapper och den första delen till Hageby stod klar 2010. Första delsträckan är drygt två kilometer med sex hållplatser. Året efter stod hela utbyggnaden till Navestad klar och den totala sträckan för de båda etapperna är cirka fyra kilometer.



Figur 23: Förlängningen av linje 2 till Kvarnberget.

Spårvägsutbyggnaden ersatte till stor del den busstrafik som försörjde de södra stadsdelarna med kollektivtrafik till centrum. Projektet att bygga ut spårvägen till Navestad har även innehållit investeringar i övrig stadsmiljö för de södra stadsdelarna med bland annat renovering av Hageby Centrum som också fick en väl integrerad spårväghållplats. (Johansson & Svensson, 2011)

4.4.2 Byggnadstekniska förutsättningar

Spårvägen följer Ljuragatan, går över Söderleden på en nybyggd bro och länkas samman med Hagebygatan. Vidare fortsätter spårvägen förbi Hageby Centrum till Trumpetaregatan där Hagebygatan övergår till Navestadsgatan och avslutas vid Hållplatsen Kvarnberget. Gatorna som spårvägen följer är breda med utrymme vid sidorna. Både Hageby och Navestad är stadsdelar med flera grönområden.

Dessa förutsättningar ställer relativt låga krav på snabbt byggande då bil- och G/C-trafiken inte störs nämnvärt. Söderleden är dock en vältrafikerad väg och en avstängning av den leder till störningar.

Geoteknik

Undergrunden består mestadels av olika moränsorter med vissa mindre sträckor med siltig morän. Generellt en relativt bra mark att bygga på.

4.4.3 Spårkonstruktion

Spårvägen är skild från övrig trafik på egen banvall och på avskild bana. Till största del är spårvägen sidoställd från bilvägar med ett gång- och cykelstråk (G/C-stråk) på motsatt sida. På så sätt är spårvägen centrerad mellan bilväg och G/C-stråk. I de flesta cirkulationsplatser som passeras går spårvägen rakt igenom. Byggandet av bron över Söderleden krävde en sänkning av vägen. Bron är byggd med naturlig då även busstrafik trafikerar bron.

Bankropp

Norrköpings kommun har till största del valt att använda makadamspår med vignolräl på sliprar av trä och betong. Bankroppens uppbyggnad under sliprarna ser olika ut för betongslipers och träslipers. Gemensamt är att mot undergrunden ligger en geotextil och på den ett förstärkningslager av bergskross (0-65 mm). För betongslipers används ett bärlager av makadam klass 1 (32-64 mm) upp till slipers överkant. För träslipers används ett bärlager av makadam klass 2 (16-32 mm).

Vid hållplatsen Hageby C har en konstruktion med asfaltspår valts. Rälerna är där fastsatta med gjutasfalt på en asfaltsbädd med spårstag för att erhålla rätt spårvidd. Denna konstruktion har valts med förutsättning att även busstrafik ska trafikera hållplatsen vilket ställer högre hållbarhetskrav. Asfaltspåret har även valts för att minimera risken för sättningar och ge mindre underhåll. Vid flera hållplatser har sliprarna kapats för att få plats med plattformen. Därför har spårkonstruktioner med träsliprar valts på dessa platser på grund av möjlighet till enklare kapning (Hedin, 2012).

För samtliga konstruktioner se bilaga 4.4a.

Buller- och vibrationsdämpande åtgärder

I de fall fastigheter ligger närmare än 25 meter från spåret har Norrköping använt sig av en stomljudsisoleringsmatta som läggs ut under sliprarna för att minimera vibrationer från banan. Varianten de använde sig av kallas RockDelta (Hedin, 2012).



Figur 24: Utläggning av RockDelta stomljudsisoleringsmatta. Källa: Petter Hedin (2012).

Geotekniska åtgärder

För delarna med siltig morän användes geonät för att förstärka undergrunden.

Ytbeläggning

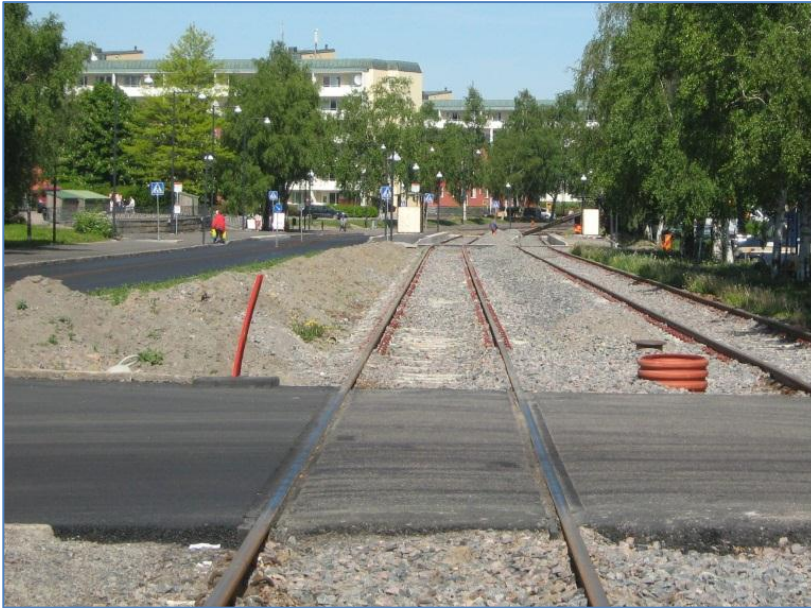
Sträckans ytbeläggning är huvudsakligen gräs men även asfalt och makadam används. För grässkiktet placeras en geotextil ut på bärlagret och slipern. Textilen täcks med 110 mm organisk jord som gräset gror i upp till rälsöverkant.

Vid asfaltsskikt täcks bärlagret med ett asfaltlager (AG 32) och överst ett 40 mm tjockt slitlager av asfalt (ABS 11). Makadamytskikt har utförts på två olika sätt där det dominerande sättet är med klass 1 makadam med blottade rälsliv, likt konventionell järnvägs metod. Vid det andra sättet har makadam klass 2 fyllts på upp till rälsöverkant.

Väggorsning

Då spårvägen mestadels är förlagd vid sidan av bilvägar krävs många anslutningar till tvärgator med vägövergångar. Huvudsakligen har vägövergångarna en ytbeläggning av asfalt. Kring rälen ligger ett slags gummiblock som ansluts direkt till ytbeläggningen. Gummiblocket togs fram speciellt för detta projekt som ett alternativ till hårdgummibeläggning för att

spara pengar. I vanliga fall används liknande gummiblock för att ljudisolera i kurvor (Hedin, 2012).



Figur 25: Gummiblock i Norrköping. Källa: Petter Hedin (2012).

I flera cirkulationsplatser har spårvägen dragits rakt igenom rondellen. Innan spårvägen går in i dessa cirkulationsplatser sker det en övergång från vignolräl till gaturäl och ytskiktet ändras naturligt till asfalt. Inne i rondellen har spårvägen ett ytskikt av gräs vilket ger ett homogent utseende.

5 Slutsats/Analys

Vilka typer av spårkonstruktioner och byggmetoder som används för olika byggprojekt inom spårväg är en komplex fråga och beror på olika motiv för olika projekt. Detta understryks av Thomas Johansson, journalist och redaktör för tidskriften Modern Stadstrafik, som tillägger att valet av spårkonstruktioner även är trendkänsligt.

Ett exempel på detta är användandet av gjutasfalt som tidigare var en av de vanligaste konstruktionerna för gatuspår. I denna studie av de senaste årens byggnadsprojekt inom spårväg har gjutasfalt endast använts vid hållplatsen Hageby C i Navestad-projektet.

5.1 Parametrar och värden

De parametrar (fylld punkt) och värden (ihålig punkt) som behandlas i denna rapport är följande:

- Bankroppsbyggnad
 - Asfaltspår
 - Betongspår
 - Makadamspår
- Ytbeläggning
 - Asfalt
 - Betong
 - Gatsten
 - Gräs
 - Makadam
- Byggmetod
 - Bygga på plats
 - Prefabricerat
- Västkorsning
 - Förstärkt bankropp med gummiblock
 - Planskild korsning
 - Hårdgummibeläggning

5.2 Motiv

De vanligaste motiven för val av värden vid olika projekt är:

- anläggningskostnad
- byggtid
- underhållsaspekter
- hållbarhet
- krav på konstruktionens höjd
- estetik
- buller- och vibrationsaspekter
- tradition/trend
- speciella motiv.

Tradition kan ibland ha en något negativ betydelse men menas här som sedvänja eller ”så man gör i branschen”. Trendmotivet är inte lika starkt som tradition men kan ha viss betydelse då olika värden väljs.

5.3 Utvärdering

Tillvägagångssätt

Utvärderingen är gjord på följande sätt. Vi har:

1. Delat upp inventeringen av projekt i parametrar.
2. Tagit fram värden för de olika parametrarna.
3. Listat motiv.
4. Utvärderat varje parameter för sig.
5. Konstaterat möjliga värden efter typ av spårvägsmiljö.
6. Konstaterat motiv till val av värde.

Utvärderingen sker utifrån de inventerade projekten med litteraturstudien som grund. De flesta värden finns med i projektinventeringen men vissa möjliga värden kommer från litteraturstudien. Denna utvärdering är en sammanställning av framför allt projektinventeringen och delvis litteraturstudien. Motiven presenteras i ordning efter vår bedömning av relevans.

Spårvägsmiljön som parameter och motiv

Denna rapport behandlar projekt från projekteringsskedet. Innan projekteringsskedet har spårvägsmiljön (spår på egen banvall, spår i gatumiljö på avskild bana, spår i gatumiljö med blandtrafik) valts. När detta värde är valt ligger det som grund för vilka olika värden som är möjliga att väljas i projekteringsskedet.

Med hänsyn till detta utvärderas projekten i denna rapport med utgångspunkt från valet av spårvägsmiljö.

5.3.1 Bankroppsbyggnad

Parameter	Spårvägsmiljö	Värde
Bankroppsbyggnad	Spår på egen banvall	Betongspår Makadamspår
	Spår i gatumiljö på avskild bana	Asfaltspår Betongspår Makadamspår
	Spår i gatumiljö med blandtrafik	Asfaltspår Betongspår

För spår på egen banvall är makadamspår det vanligast förekommande. Betongspår är också en möjlig konstruktion vid spår på egen banvall, dock har inget av de inventerade projekten i denna rapport använt sig av betongspår.

För spår i gatumiljö på avskild bana används alla typer av spårkonstruktioner. Då spårvägen går i blandtrafik är asfalts- och betongspår det vanligast förekommande.

Motivbeskrivning

Vid projektinventeringen har asfaltspår varit mindre förekommande än de två andra typerna. Följande är de motiv vi bedömer vara viktigast för att använda olika bankroppsbyggnader.

Asfaltspår:

- *Tradition.* Bankroppsbyggnad av asfalt var dominerande på 70- och 80-talet och lever kvar idag (Pina, 2012).
- *Hållbarhet.* Asfaltspår är relativt hållbart för att klara både gummihjuls- och spårfordon.
- *Byggtid.* Vissa typer av asfaltspår (Göteborgsmetoden) går snabbt att bygga på plats.

Betongspår:

- *Hållbarhet.* Ofta väljs betongspår för att det är en hållbar konstruktion.
- *Underhållsaspekter.* Den hållbara konstruktionen ger minskat underhåll.
- *Byggtid.* Vissa betongspår kan prefabriceras vilket då ger en snabb byggtid där det behövs.
- *Krav på konstruktionens höjd.* Att betongspår kan göras tunnare än andra konstruktioner kan också vara fördelaktigt vid vissa platser.

- *Buller- och vibrationsaspekter.* Varianten embedded-rails korkmassa ger konstruktionen goda buller- och vibrationsdämpande egenskaper. Dock fortplantas vibrationer enkelt i betongkonstruktioner utan det dämpande materialet.
- *Trend.* Betongkonstruktioner är ”modern” inom spårbyggnad idag.

Makadamspår:

- *Anläggningskostnad.* Generellt har makadamspår låg anläggningskostnad i jämförelse med betong.
- *Underhållsaspekter.* Att makadamspåret byggs som järnvägen ger möjlighet till beprövad underhållsteknik. Dock kräver makadamspår ofta mer underhåll än andra typer av spårkonstruktioner.
- *Tradition.* Traditionen att anlägga makadamspår är väl utarbetad då järnvägens anläggningsteknik kan användas.

5.3.2 Ytbeläggning

Parameter	Spårvägsmiljö	Värde
Ytbeläggning	Spår på egen banvall	Betong Makadam
	Spår i gatumiljö på avskild bana	Asfalt
		Betong Gräs
	Spår i gatumiljö med blandtrafik	Asfalt Gatsten

Då spårvägen går på egen banvall används ofta ingen särskild ytbeläggning och rälerorna ligger blottade. De projekt som använder spår på egen banvall i projektinventeringen har en ytbeläggning av makadam.

Vid spår i gatumiljö på avskild bana är ytbeläggningen viktig för att avskilja spårområdet. Därför används ofta ett ytskikt som skiljer sig från övrig gata. Asfalt, betong och gräs är i vår studie lika vanliga som avskiljande ytbeläggningarna. För spår i blandtrafik används samma ytbeläggning som kringliggande väg.

Valet av ytbeläggning beror ibland på vilken typ av bankroppsbyggnad som används. Detta är typiskt för spår på egen banvall men gäller även för andra spårvägsmiljöer.

Motivbeskrivning

Asfalt:

- *Tradition.* Asfalt är den vanligaste ytbeläggningen för vägar och därför starkt traditionsbundet.
- *Underhållsaspekter.* Ett slitlager av asfalt kan relativt enkelt rivas upp och läggas om.
- *Buller- och vibrationsaspekter.* Asfalt har viss bullerdämpande effekt i jämförelse med andra gummihjulskörbara ytor som betong och gatsten.

Betong:

- *Hållbarhet.* En betongytbeläggning har lång livslängd. Motivet är vanligt på platser där även busstrafik ska trafikera spårområdet.
- *Underhållsaspekter.* Betong har lång livslängd och kräver mindre underhåll. Dock är den krånglig att underhålla när det väl krävs.

Gräs:

- *Estetik.*
- *Buller- och vibrationsaspekter.* Gräs har mycket god bullerdämpande effekt.
- *Trend.* En ytbeläggning av gräs anses öka attraktiviteten och är därmed populär.

Gatsten:

- *Estetik.*

Makadam:

- *Anläggningskostnad.* Billig anläggningsmetod och är vanligt att anlägga vid makadamspår.
- *Underhållsaspekter.* En ytbeläggning av makadam gör att komponenterna kring spårvägen ligger synliga och är därmed lätta att underhålla.
- *Tradition.* Traditionell ytbeläggning vid spår på egen banvall.

5.3.3 Byggmetod

Parameter	Spårvägsmiljö	Värde
Byggmetod	Spår på egen banvall	Bygga på plats
	Spår i gatumiljö på avskild bana	Bygga på plats Prefabricerat
	Spår i gatumiljö med blandtrafik	Bygga på plats Prefabricerat

Spår på egen banvall används ofta för längre sträckor i mer glesbebyggt område vilket medför att prefabricerat spår inte är nödvändigt. I projektinventeringen har prefabricerat spår endast förekommit i Spårväg City.

Prefabricerat spår används endast för betongspår. För betongspår används också glidformsgjutning som är en kombination av de två byggmetoderna. Det är även vanligt att prefabricera vägkorsningar.

Motivbeskrivning

Bygga på plats:

- *Anläggningskostnad.*
- *Tradition.* Traditionell byggmetod. Byggandet anpassas till platsens förutsättningar.

Prefabricerat:

- *Byggtid.* Byggmetoden används på platser som kräver snabb byggtid och korta trafikavbrott.
- *Trend.* Nyare byggmetod, följer övrig byggtrend.

5.3.4 Vägkorsning

Parameter	Spårvägsmiljö	Värde
Vägövergång	Spår på egen banvall	Planskild korsning Hårdgummibeläggning
	Spår i gatumiljö på avskild bana	Förstärkt bankropp med gummiblock Hårdgummibeläggning
	Spår i gatumiljö med blandtrafik	-

För vägkorsningar är det vanligt att spårkonstruktionen ändras för att klara även belastning från gummihjulsfordon. För spår i blandtrafik förekommer

givetvis inga speciella plankorsningar då spårvägen ligger i samma körbana som övriga trafikanter.

Motivbeskrivning

Motivet hållbarhet gäller för alla värden.

Förstärkt bankropp med gummiblock:

- *Anläggningskostnad.* En billigare variant än hårdgummibeläggningen Strails som i Navestad-projektet sparade in 2,5 miljoner för etapp 1.
- *Estetik.* Med förstärkt bankropp med gummiblock kan samma ytbeläggning behållas för vägen och därmed ge ett homogent uttryck.

Planskild korsning:

- *Speciella motiv.* Säkerhet och möjlighet till bibehållen hastighet.

Hårdgummibeläggning:

- *Byggtid.* Beläggningen kan prefabriceras och installeras snabbt.
- *Underhållsaspekter.* Hårdgummibeläggningen är enkel att byta ut vid underhåll.

5.4 Avslutande diskussion

De typer av spårkonstruktioner och byggmetoder vi har sammanställt och utvärderat har olika fördelar beroende på vilka förutsättningar som finns på det aktuella området. Detta betyder att det inte går att göra en enkel standard för spårvägsbyggande likt den som finns för järnväg. En av dessa förutsättningar är att spårvägen ofta byggs i befintlig infrastruktur.

Under arbetets gång har vi blivit övertygade om att det är viktigt att göra en ordentlig utredning om den blivande spårvägsplatsens förutsättningar för att kunna välja rätt spårkonstruktion (och byggmetod). Vi hoppas att denna rapport kan vara till hjälp vid detta svåra val.

Framkomligheten är en av de viktigaste faktorerna för spårväg och påverkas därmed av i vilken miljö spårvägen läggs i. I rapporten och de intervjuer vi genomfört har vi fått uppfattningen att spårväg med blandtrafik är mindre populärt idag. Detta eftersom det är viktigt att spårvägen blir prioriterad för att höja medelhastigheten och därmed attraktiviteten.

Utbyggnaden till Navestad i Norrköping är ett exempel vi vill lyfta fram där en gång- och cykelväg är byggd längs spårvägen. Spårvägen skiljer där bilvägen från GC-stråket vilket vi anser vara ett attraktivt sätt att öka framkomligheten även för fotgängare och cyklister.

Ett intressant motiv som inte är helt självklart är vad som är trendigt inom spårvägsbyggnad idag. I Frankrike byggs nästan uteslutande med betongkonstruktioner, gärna med gräsytskikt. Vår bedömning är att denna hållbara konstruktion även kommer byggas allt mer i Sverige.

Idag är det vanligt att busstrafik tillåts i spårområdet. Från flera håll har vi fått bekräftat att detta verkar nedbrytande på spårkonstruktionen och bör undvikas för att minska underhållskostnader, avstängning av spår samt slippa problematiken kring plattformshöjder.

En annan viktig aspekt att ta hänsyn till vid val av spårkonstruktion är Life Cycle Cost (LCC). En spårkonstruktion med låg anläggningskostnad kan på sikt ge höga underhållskostnader. Därför är det även här viktigt att ta hänsyn till kostnader i det långa loppet och inte bara stirra sig blind på anläggningskostnader. Ett exempel skulle kunna vara betongspår som ger högre anläggningskostnad men som kan löna sig i längden då underhållsbehovet minskar.

Idag upphandlas ofta byggande och underhåll separat. Vi menar att det vore intressant om man i ett projekt upphandlade både byggande och underhåll samtidigt. Detta hade troligtvis gett lägre LCC.

Att urskilja vad som endast är kostnad för själva spårvägen är svårt. De anläggningskostnader som anges i denna rapport är ofta summor för hela projekt inklusive omläggning/upprustning av gator och ledningar, depåer och fordonsinköp. Ett förslag på vidare studier är att jämföra kostnader mellan olika spårkonstruktioner och byggmetoder, genom att ta fram och analysera mer detaljerade kostnadsfakta.

6 Källförteckning

- Forsström, W, (2004). *Gula faran rullar vidare – Norrköpings spårvägar 100 år*.
- Girnau, G & Krüger, F, (2007). *Fahrwege der bahnen - Local and regional railway tracks in Germany*.
- Hammarsson, S, (1979). *Zeppelinare, Limpor och Mustangar – Spårvägen i Göteborg 100 år*.
- Hedström, R, (2004a). *Attraktiv och effektiv spårvägstrafik*. VTI rapport 504.
- Hedström, R, (2004b). *Spårvägens infrastruktur*. VTI notat 47.
- Johansson, T, (2010). *Modern Stadstrafik nr 6, 2010*.
- Johansson, T, (2011). *Modern Stadstrafik nr 3, 2011*.
- Johansson, T, (2012). *Modern Stadstrafik nr 2, 2012*.
- Johansson, T & Lange, T, (2008). *Den goda staden – Persontransporter i långa banor*.
- Johansson, T & Lange, T, (2009). *Den goda staden – Spårväg*.
- Johansson, T & Svensson, T, (2011). *Spårfaktorn på spåret – Förutsättningar för spårväg i Svenska städer i ett internationellt perspektiv – en förstudie*.
- Rigstam, U, (1993). *I fäderns spår - 90 år med spårväg och buss i Helsingborg*.
- Spårväg City, (2010). *Spårväg City – Ny stadsspårväg i Stockholm*. Förstudie.
- Söderberg, F, (2011). *Detaljplan för Spårväg Skeppsbron inom stadsdelen Inom Vallgraven i Göteborg*.
- Trafikkontoret, (1995). *Kringen – Ett kollektivtrafikprojekt inom Göteborgsöverenskommelsen. Kollektivtrafikringen 1995, Huvudrapport*.
- Trafikkontoret, (1999). *Kringen, Evenemangsstråket Stampgatan – Södra Vägen. Förstudiehandling maj 1999*.
- Östlund, J. L, (1995). *Reglering av kollektivtrafik – Striden på 1910-talet om tillkomsten av AB Stockholms Spårvägar*.

Intervjukällor:

- Andersson, Lars-Olof (Trafikkontoret i Göteborg). Projektledare. Intervju via mailkorrespondens 2012-05-21.
- Backman, Tommy (Project Partner). Projekteringsansvarig för Solnagrenen. Telefonintervjuer 2012-04.
- Drago, Per (PDO Konsult). Bygg- och projektledare inom spårväg. Telefonintervjuer 2012-04.
- Forsström, Willy. Spårvägsfantast och författare till *Gula Faran – Norrköpings Spårvägar 100 år*. Intervju via mailkorrespondens 2012-02-26.
- Hedin, Petter (Skanska). Produktionschef för utbyggnaden i Navestad i Norrköping. Intervju via mailkorrespondens 2012-03/04.

Johansson, Thomas (Modern Stadstrafik). Journalist och redaktör för tidsskriften Modern Stadstrafik. Telefonintervju och Intervju via mailkorrespondens 2012-04.

Petersson, Jan-Olof (Atkins). Projektör för spårvägsdelen i projektet Skeppsbron. Intervju via mailkorrespondens 2012-04.

Pina, Alberto (Crabat). Materialupphandlare inom spårväg för Trafikkontoret i Göteborg. Personlig intervju, telefonintervjuer och intervju via mailkorrespondens 2012-04/05.

Elektroniska källor:

Göteborgs Spårvägar (2012).
<<http://www.sparvagen.goteborg.se/Om%20Foretaget/9055/Default.aspx>>
(Hämtad 2012-03-12).

Lightrail, (2012).
<http://www.lightrail.se/index.php?page=exempel#se_stockholm> (Hämtad 2012-03-08).

Norrköpings kommun (2012). < <http://www.norrkoping.se/bo-miljo/trafik/kollektivtrafik/sparvag/>> (Hämtad 2012-03-12).

Spårvägsstäderna, (2012). <<http://www.sparvagsstaderna.se/historik>>
(Hämtad 2012-02-16).

Spårvägssällskapet (2012).
<https://www.sparvagssallskapet.se/atlas/svenska_sparvagsstader.php>
(Hämtad 2012-04-10).

Stockholms Lokaltrafik (2012). <<http://www.sl.se>> (Hämtad 2012-05-09).

ViaCon (2012). < <http://www.viacon.se/geonat.aspx>> (Hämtad 2012-05-04).

Figurkällor:

Figur 1: Wikipedia Commons 1 (2012).
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:First_Horsecar_in_Manchester,_NH.jpg> (Hämtad 2012-04-24).

Figur 2: Spårvägmuseet (2012).
<http://media.sparvagsmuseet.se/kartor/Karta_1926/1926.html> (Hämtad 2012-04-24).

Figur 3: Wikipedia Commons 2 (2012).
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Elektriska_sp%C3%A5rvagnar_G%C3%B6teborg_1902.jpg> (Hämtad 2012-04-24).

Figur 4: Norrköpings Stadsmuseum (2012).

Figur 5: Rune Feldt (2012). www.rune-feldt.nu

Figur 6: Rune Feldt (2012). www.rune-feldt.nu

Figur 7: Mats Fredriksson (2012). Sweco

Figur 10: Thomas Johansson (2012). Modern Stadstrafik.

Figur 11: Edilon-Sedra (2012). www.edilonsedra.com

Figur 12: Edilon-Sedra (2012). www.edilonsedra.com

Figur 13: Mats Fredriksson (2012). Sweco
Figur 14: Alberto Pina (2012). Crabat
Figur 15: Alberto Pina (2012). Crabat
Figur 16: www.openstreetmap.org (2012)
Figur 17: www.openstreetmap.org (2012)
Figur 18: Mats Fredriksson (2012). Sweco
Figur 19: www.openstreetmap.org (2012)
Figur 20: www.openstreetmap.org (2012)
Figur 21: Rune Feldt (2012). www.rune-feldt.nu
Figur 22: Mats Fredriksson (2012). Sweco
Figur 23: www.openstreetmap.org (2012)
Figur 24: Petter Hedin (2012). Skanska
Figur 25: Petter Hedin (2012). Skanska