

Kontaktledningsavspänning

- En jämförelse mellan fast och rörlig avspänning i spårvägsmiljö



**LUNDS
UNIVERSITET**

Lunds Tekniska Högskola

**LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Institutionen för Teknik och samhälle**

Examensarbete:
Mattias Dalstål
Timothy Jannas

© Copyright Mattias Dalstål, Timothy Jannas

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 2016

Sammanfattning

På initiativ från Sweco Rail har vi gjort en jämförelse mellan fasta och rörliga avspänningsanordningar för att avgöra när det är fördelaktigt att välja fast avspänning och när det är bättre att välja en rörlig avspänningsanordning. Huvudfokus har varit spårväg i stadsmiljö, med extra fokus på Göteborg. Arbetet utgår ifrån följande frågeställningar:

- När ska man välja rörlig avspänning, och när ska man välja fast avspänning?
- Vad kan införandet av rörlig avspänning i ett system med tidigare fast avspänning ge för eventuella problem?
- Kan en rörlig avspänningsanordning förbättra förutsättningarna för underhållet, och förbättra driftsäkerheten jämfört med en fast dito?

För att kunna dra några slutsatser om resultaten har även en nollhypotes (H0) formulerats:

H0: Det föreligger ingen skillnad mellan fasta och rörliga avspänningsanordningar med avseende på:

- Underhållsbehov
- Installationskostnader
- Driftsäkerhet

Undersökningen är gjord med en kombination av litteraturstudie, intervjuer och en internationell utblick mot andra spårvägssystem utanför Sverige, med hjälp av verktyget Google Maps Gatuvy.

Resultaten visar att det finns vinster att få gällande underhållsbehovet från övergång till rörlig avspänning. Dock är inte vinsterna så stora då det handlar om ett hundratal mantimmar om året som kan sparas in. Det går även att konstatera att det är viktigt att framförallt se till att övriga förutsättningar för en rörlig avspänning också tillses för att en rörlig avspänningsanordning ska ha önskad effekt.

Vi kan även konstatera att de flesta problemen uppstår i de situationer där det finns spårvägslinjer som korsar varandra. Här ser vi ingen enskild tydlig lösning på problematiken, men konstaterar att det på många håll internationellt på modernare spårvägar har lösts genom att ta bort kontaktledningen och nyttja batteridrift.

Rapporten riktar sig främst till personer med grundläggande järnvägsteknisk kompetens och viss insyn i spårvägsbranschen.

Nyckelord: Spårväg, spårvagn, avspänning, kontaktledning, underhåll.

Abstract

By initiative from Sweco Rail, we have made a comparison between fixed and automatic tensioning devices for tramways to determine when there is an advantage to choose an automatic device instead of a fixed solution. Main focus has been tramways in city environment, with extra focus on Gothenburg. The report attempts to answer the following questions:

- When should the choice be an automatic tensioning device, and when should it be fixed?
- What types of issues may be encountered when changing a fixed system into a system with automatic tensioning?
- Will an automatic tensioning device improve the possibilities for maintenance and dependability compared to a fixed solution?

To be able to draw conclusions from our results, a null hypothesis (H0) has been formulated:

H0: There is no difference between an automatic tensioning device and a fixed tensioning with respect to:

- Maintenance
- Installation costs
- Dependability

The report is produced with a combination of literature studies, interviews and an international outlook towards other tramway systems using Google Maps Street View.

Results show that there are savings to be had transitioning a fixed system into an automatically tensioned, although the profit will be small due to the fact that only about a hundred man hours are spent each year tensioning the system by hand. We can also see that it is important to ensure that all other necessary changes to the system are made before exchanging the tensioning solution. Otherwise there will be little effect.

Most problems arise when there are two or more tramway lines crossing each other. We find no clear general solution to how to solve the tensioning issue in these situations, but we note that most newly built modern tramways solve the problem by removing the catenary completely from crossings and utilizing battery power instead.

Keywords: Tramway, tram, overhead line, tensioning, maintenance.

Förord

Detta examensarbete har gjorts på Sweco Rail Syd och i samarbete med Sweco Rail Väst.

Upphovsmännen till detta examensarbete har, som avslutande del i utbildningen till högskoleingenjör i byggt teknik vid Lunds Tekniska Högskola, gjort ett examensarbete på 22,5 högskolepoäng. Utbildningen har inriktning på järnvägsteknik och områdena ban-, el-, signal- och teleteknik. Båda två har varit närvarande vid alla tillfällen då arbete utförts och arbetsfördelning har varit jämbördig.

- Ett stort tack ska riktas till Göran Eriksson med medarbetare på Sweco Rail Väst för att i samtal bidragit med insikter, kunskande och engagemang.
- Ett tack till våra handledare Christian Walther, Sweco Rail Syd och Johan Tann handledare från Lunds Tekniska Högskola.
- Vi vill också tacka de intervjupersoner som bidragit med värdefulla insikter.

Helsingborg, maj 2016

Mattias Dalstål & Timothy Jannas

Terminologi

Gatumiljö	Där spårvägen går i blandtrafik med vägfordon.
Kontaktledning	Samlingsbegrepp för kontakttråd, bärtrådar och bärlina.
Mast	Spårvägsuttryck för kontaktledningsstolpe.
Spårmitt	Definieras som punkten mitt emellan rälerna.
STH	Största tillåtna hastighet.
Strömavtagare	Anordning på spårfordon att överföra ström från kontaktledning eller strömskena.
Teknisk handbok	Trafikkontoret i Göteborgs administrativa och tekniska anvisningar för projektering av Göteborgs spårvägar.
Trafikkontoret	Kommunal infrastrukturförvaltare åt Göteborgs Stad.
Utdragsarm	Spårvägsuttryck för ett tillsatsrör.

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.1.1 Historik.....	1
1.1.1.1 <i>Spårvägen internationellt</i>	1
1.1.1.2 <i>Svensk spårvägshistoria</i>	2
1.1.1.3 <i>Göteborgs spårvägshistoria</i>	2
1.2 Syfte och mål	4
1.3 Metod	4
1.3.1 Problemformulering och Hypotes.....	5
1.3.2 Litteraturstudie.....	5
1.3.3 Intervjuer.....	5
1.3.4 Google Maps Gatuvy.....	6
1.4 Avgränsningar	6
2 Nulägesbeskrivning	7
2.1 Beskrivning av kontaktledningen	7
2.2 Beskrivning av upphängningen	9
2.2.1 Fast upphängning.....	9
2.2.2 Rörlig upphängning.....	10
2.3 Kontaktledningsavspänning	13
2.3.1 Varför behövs avspänning.....	13
2.3.2 Avspänningskonfigurationer.....	13
2.3.3 Fast avspänt system.....	14
2.3.4 Rörligt avspänt system.....	15
2.3.4.1 <i>Viktavspänning</i>	16
2.3.4.2 <i>Fjäderavspänning</i>	18
2.3.4.3 <i>Avspänning med gasfylld kolv</i>	22
2.4 Övriga system	23
2.4.1 Alimentation par le Sol (APS).....	23
2.4.2 Batteridrift.....	23
2.5 Göteborgs spårvägars kontaktledningssystem	24
2.6 Norrköpings spårvägssystem	26
2.7 Internationella utblickar över kontaktledningssystem	26
2.7.1 Frankrike.....	27
2.7.1.1 <i>Bordeaux</i>	27
2.7.1.2 <i>Dijon</i>	27
2.7.1.3 <i>Lille</i>	28
2.7.1.4 <i>Marseille</i>	28
2.7.1.5 <i>Nice</i>	28
2.7.1.6 <i>Orléans</i>	29
2.7.2 Tyskland.....	30
2.7.2.1 <i>Dresden</i>	30

2.7.2.2 Köln	31
2.7.3 Övriga	31
2.7.3.1 Valencia	31
2.7.3.2 Helsingfors	31
2.7.3.3 Melbourne	32
3 Intervjuer	33
3.1 Intervjupersoner	33
3.1.1 Hans Cruse	33
3.1.2 Mattias Östman	33
3.1.3 Dennis Sköldborg	33
3.1.4 Ragnar Hedström	33
3.1.5 Daniel Segerdahl	33
3.2 Svarssammanställningar	34
4 Beräkningar för avspänning	44
4.1 Kontaktledningens laster	44
4.1.1 Inspänningskraft	45
4.1.2 Längdutvidgning	46
4.1.3 Horisontella krafter	48
4.1.4 Vertikala krafter	51
4.2 Underhållet	55
5 Analys	56
5.1 Produktjämförelse utifrån beräkningar	56
5.2 Problematiken kring införandet av rörlig avspänning	58
5.2.1 Korsningar	58
5.2.2 I befintlig stadsmiljö	60
5.3 Visuell analys	60
5.3.1 Varför estetiken är viktig	60
5.3.2 Analys	61
5.4 Konstruktionsscenario	63
5.4.1 I korsningar	63
5.4.2 Egen banvall	63
5.4.3 Mitt i centrum/gatumiljö	64
5.4.4 Utanför centrum/gatumiljö	64
6 Diskussion	65
6.1 När fungerar vilken lösning?	65
6.2 Situationen i Göteborg	66
6.3 Inför framtiden	68
6.4 Felkällor och problem	69
7 Slutsatser	70
8 Referenser	72

Bilaga 1. Intervjufrågor	75
Intervju 1: Mattias Östman (2016-05-02)	75
Intervju 2: Hans Cruse (2016-05-03)	76
Intervju 3: Ragnar Hedström (2016-05-09)	77
Intervju 4: Dennis Sköldborg (2016-05-09).....	77
Intervju 5. Daniel Segerdahl (Via mailkonversation 20160509- 20160524)	79
Bilaga 2. Figurer, källor.	82
Bilaga 3. Tabeller, källor.	84

1 Inledning

Ett väl fungerande kontaktledningssystem är en förutsättning för att energiöverföringen till spårvagnarna skall fungera i de flesta städer. För att spårvagnens strömavtagare och kontaktledningen ska kunna ha ordentlig kontakt är det avgörande att kontaktledningen befinner sig i rätt position och är tillräckligt hårt uppspänd. Den rörliga avspänningen är av den typen att den sköter detta på egen hand (Banverket, 2006)

Fast avspänning är ett system som tidigare använts på framförallt bangårdar där hastigheter är låga och kraven lägre än ute på linjen (Banverket, 2006). Detta har också lämpat sig bra för spårväg där hastigheterna ofta är lägre, vilket är fallet spårvagnarna när de delar utrymmet med fordonstrafik. Den fasta avspänning är uppbyggd på det sättet att kontaktråden fäster till en isolerad ställina som i sin tur fästs i kontaktledningsstolpen. För att fast avspänning ska fungera väl över hela året, till följd av temperaturförändringar, måste personal ut i spåret och sköta uppsträckning av kontaktledningen manuellt (Trafikkontoret, 2015).

1.1 Bakgrund

På initiativ från Sweco Rail i Göteborg har vi ombetts att utreda hur och när det vore fördelaktigt att ersätta fasta avspänningar med rörliga sådana på spårväg. Det finns en önskan om att hitta lösningar som minskar behovet av underhåll gällande de fast avspända kontaktledningarna. Helst ska dessa lösningar också vara lätta att montera, både utanför stadskärnan och inne i centrum samt vara visuellt tilltalande. Det finns givetvis en ekonomisk aspekt gällande de kostnader som eventuellt går att minimera vid montering av lösningar som kräver mindre underhåll.

1.1.1 Historik

Detta kapitel behandlar spårvägens historia internationellt, nationell och Göteborgs spårvägshistoria.

1.1.1.1 Spårvägen internationellt

Spårvägen föddes i New York kring 1832. Då bestod den av hästdragna droskor. När väl elektrifieringen tog fart växte spårvägsnäten världen över snabbt och som mest fanns det bortåt 3000 aktiva spårvägar kring år 1920. När sedan utvecklingen av bilen som transportmedel tog över lades många spårvägar ned och år 1980 återstod endast cirka 300 system som var i trafik (Miller, 1960).

Efter oljekrisen på 70-talet vaknade återigen intresset för spårväg till och 1985 invigdes den första moderna spårvägen i franska Nantes (Tricoire, 2007). 1994 sattes spårvägen i Strasbourg i trafik som den första spårvägen som byggts för att på ett aktivt sätt utgöra en tydlig del i stadsplaneringen (Muller, 1994.) . Från 1995 och framåt har det därefter byggts en hel del. I Frankrike finns numera fler än 19 system och även Tyskland och ett flertal andra länder har rustat upp och byggt nytt.

1.1.1.2 Svensk spårvägshistoria

Sveriges första spårvägslinje brukar anses vara sträckningen Ramlösa hälsobrunn till Ramlösa Havsbad. Linjen tillkom 1877 och drogs av häst under sommarmånaderna fram till 1890. Även i Stockholm trafikerades staden för första gången av hästspårvagn år 1877 (Sandin, 2012), Göteborg 1879 (Hammarson, 1979) och Malmö 1887 (Andersson, 2006).

Sveriges första elektrifierade spårväg tillkom 1895 och trafikerade sträckan Humlegården-Djursholm. Därefter gick utvecklingen snabbt och fram till första världskrigets start byggdes elektrifierad spårväg i hela 10 svenska städer. Bland annat Göteborg 1902 (Hammarson, 1979) och Norrköping 1904 (Forsström, 1979).

Under efterkrigstiden tog bilismen i Sverige fart och spårvagnen började på många håll anses alltmer förlegad. Många spårvägar lades ner och ersattes med buss eller trådbuss. I Stockholm gjordes stora delar av spårvägsnätet om till tunnelbana. Kvar blev tillslut bara Göteborg och Norrköping samt ett fåtal linjer i Stockholm.

Under senare år har dock en internationell renässans skett och framgångar med moderna banor i bland annat Tyskland och Frankrike har satt igång framtidsplaner även i Sverige. I Lund och Malmö planeras nya banor och i Göteborg och Norrköping sker utbyggnad (Vårt Göteborg, 2002). Flera andra städer för diskussioner om nya banor eller återupptagande av gamla sträckningar.

1.1.1.3 Göteborgs spårvägshistoria

Göteborg har en lång historia som spårvägsstad. Redan 1879 uppfördes stadens första hästdragna spårväg av britten William Barfoot och Gothenburg Tramway Ltd (Hammarson, 1979). Den fjärde april 1899 beslutar Stadsfullmäktige att lösa in koncessionen som innehavts av det engelska bolaget och Göteborg fick därmed sin egen spårväg. Skiljesumman var 70 000 pund sterling, motsvarande ca 100 miljoner kronor i dagens penningvärde. År 1900 beslutades om elektrifiering av spårvägssystemet och 1902 kunde de första elektrifierade linjerna tas i bruk (Hammarson, 1979).

Kontaktledningen spändes till en början upp sex meter över spåret med hjälp av tvärtrådar, dessa fästes i husfasaderna med en väggrosett. Alternativet var att använda stolpar där möjligheten att använda husfasader inte fanns. Hammarson omnämner kring besväret att få tillstånd från fastighetsägare att fästa tråden i husfasaderna att:

“I något fall lär övertalningsförsöken inte ha lyckats, vilket fick till följd att en stolpe restes utanför den berörda fastigheten, kraftig nog att bli en symbol för ägarens ringa samarbetsvilja” (Hammarson, 1979)

Kontaktledningstråden var från början i koppar av dimensionen 65 mm² med dubbel kontakttråd i de brantaste backarna för att garantera strömförsörjningen. Lite senare övergicks det till att monteras med diameter 85 mm². År 1936 monterades för första gången kontaktledning med indirekt upphängning med hjälp av bärlina inspirerad av konventionell järnväg, och under 1940- och 1950-talet byggdes ett antal sträckor där kontaktledningen monterades upphängd i utliggare. År 1958 monterades ett system av modell System Köln, med indirekt upphängning in på Bräckelinjen som tillät längre avstånd mellan masterna, uppåt 60 meter (Hammarson, 1979).

Under åren fram till 1990-talet skedde en gradvis modernisering och förändring av spårvägsnätet, men den första stora förändringen på länge kom först igen 1998 med inledandet av Kringenprojektet (Sundvall, 2002). Syfte är att bygga en ny ringled kring Göteborg för att avlasta det centrala navet i Brunnsparken. Delar är idag byggt, såsom Chalmerstunneln, medan andra delar fortfarande återstår att slutföra (Aronsson & Gustafsson, 2009).

1.2 Syfte och mål

Vårt projektarbete syftar till att göra en jämförelse mellan fasta och rörliga avspänningsanordningar, med Göteborgs spårvägsnät i huvudfokus. Detta för att avgöra när det är fördelaktigt att välja rörlig avspänning framför fast avspänning samt undersöka vilka för- och nackdelar det finns med respektive lösning.

Arbetet har som mål att besvara följande frågor:

- När ska man välja rörlig avspänning och när ska man välja fast avspänning?
- Vad kan införandet av rörlig avspänning i ett system med tidigare fast avspänning ge för eventuella problem?
- Kan en rörlig avspänning förbättra förutsättningarna för underhållet, och förbättra driftsäkerheten jämfört med en fast avspänning?

1.3 Metod

För att kunna välja en lämplig metod för informationsinsamling, så måste det först avgöras av vilken karaktär informationen som ska samlas in är. Vanligtvis delas den upp i två huvudgrupper: Kvalitativ och kvantitativ (Davidsson & Patel, 1991).

Kvantitativt inriktad forskning är information baserad på mätningar och statistiska bearbetningsmetoder, alltså "hårda" data som kan kvantifieras med exempelvis poängsystem, mätdata eller liknande så att de går att använda matematiskt.

Kvalitativt inriktad forskning fokuserar på "mjuka" data med till exempel tolkande analyser av intervjuer (Davidsson & Patel, 1991).

I vårt fall sker merparten av insamlingen kvalitativt, där vi försöker utreda vad flertalet inblandade parter anser i de frågor vi studerar. Men det görs även en kalkylbaserad analys för att arbeta fram ett antal kravställningar som utrustningen ska klara. Denna kan anses vara av kvantitativ karaktär. Därefter väljs lämpliga metoder för att samla in information och data för att kunna göra en analys. Vi har i vår rapport valt att kombinera insamling av information via litteraturstudier med intervjuer. Vi gör även en okulär besiktning av ett större antal städer i Europa via Google Maps verktyg "Gatuvy".

1.3.1 Problemformulering och Hypotes

För att kunna dra några slutsatser kring våra resultat från våra undersökningar så har vi valt att formulera en nollhypotes, H_0 , till våra resultat.

H_0 : Det föreligger ingen skillnad mellan fasta och rörliga avspänningsanordningar med avseende på:

- Underhållsbehov
- Installationskostnader
- Driftsäkerhet

1.3.2 Litteraturstudie

Litteraturstudier används för att ge en överblick av det valda problemområdet som skall studeras, samt för att samla in information om vad som redan finns skrivet. Den används även för att analysera huruvida det valda problemområdet i sig självt är rätt valt eller om det finns ett behov av att till exempel snäva åt studien ytterligare, eller justera frågeställningen (Davidsson & Patel, 1991).

Vår litteraturstudie syftar till att insamla information om vad som redan finns skrivet på området. Vi har sökt efter och läst akademiskt producerat material, men även tittat en hel del på information från företag, myndigheter och lobbyistorganisationer för att få en så komplett bild av situationen som möjligt.

1.3.3 Intervjuer

Intervjuer kan genomföras både kvalitativt och kvantitativt (Davidsson & Patel, 1991). Vid kvantitativa intervjuer är frågorna strukturerade och med hög grad av standardisering, så att det efteråt går att tydligt jämföra resultaten från intervjupersoner med varandra. Ofta påminner kvantitativa intervjuer till stor del om att muntligt genomföra en enkätundersökning (Davidsson & Patel, 1991). Vid kvalitativa intervjuer ställs istället öppnare frågor och intervjupersonen får ett större utrymme att svara och resonera fritt. Syftet är att belysa ett fenomen och den intervjuade personens egna åsikter och uppfattningar (Davidsson & Patel, 1991).

I just detta fall kan det vara en god idé att genomföra intervjuer. Många av de frågor vi vill besvara kräver information från de tekniskt kunniga på området och det är svårt att få fram en tydlig bild kring varför det byggs som det görs utan att fråga inblandade parter. Våra intervjuer är av kvalitativ karaktär. Frågorna är ställda så att de ska ge en så bred belysning av ämnet som möjligt. För att få in förstahandsinformation angående framförallt situationen i

Göteborg så har vi haft intervjuer med personer som arbetar med antingen projektering eller byggnation/underhåll av Göteborgs Spårvägars kontaktledningsnät. För att även få in aspekten kring estetiken har vi utöver de tekniskt kunniga även intervjuat personer från organisationer som arbetar med att samordna nybyggnation av spårväg i Sverige. Två större organisationer som syns en del är Spårvagnsstäderna och det regionala samarbetet SPIS – Spårvagnar i Skåne.

De frågor som har ställts har anpassats individuellt till intervjupersonen för att belysa just dennes kunskaper inom området.

1.3.4 Google Maps Gaturvy

Vårt arbete handlar till stor del om att försöka avgöra vad som fungerar, varför och när. För att göra detta har vi behövt titta närmare på ett större antal andra spårvägssystem för att få ett bättre grepp om hur det byggs i resten av Europa.

Då vår budget och tid inte räcker till för att resa Europa runt så har istället valet fallit på att ta hjälp av Google Street View, på svenska Google Gaturvy. Verktöget låter användaren panorera runt i en 3D-miljö i större delen av Europas storstäder, vilket har möjliggjort för oss att virtuellt vandra längs spårvägslinjer och studera olika avspänningsanordningar närmre än vad som hade varit möjligt med det fåtal foton som finns tillgängliga.

1.4 Avgränsningar

Rapporten är avgränsad till enbart spårväg, med fokus på avspänningsanordningar för kontaktledning. Vi studerar olika lösningar internationellt i vår litteraturstudie men fokuserar i huvudsak på Göteborg och deras spårvägsnät och dess svårigheter. Vidare undersöks lösningar för att ersätta befintlig fast avspänning med rörlig avspänning, men tittar även på vad som hade varit bästa valet vid nybyggnation. Tyngdpunkten ligger på byggnation i stadsmiljö.

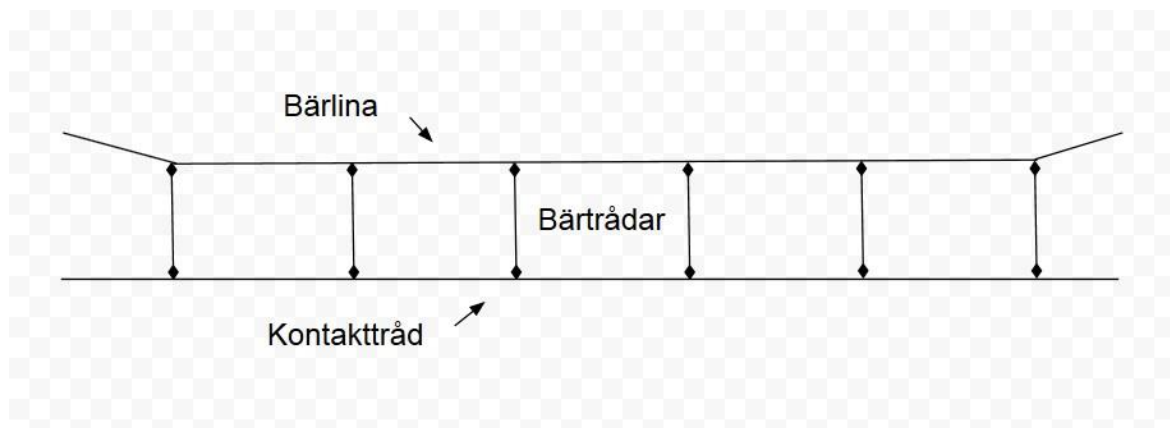
2 Nulägesbeskrivning

Kontaktledningsavspänning syftar till att ge kontaktledningen korrekt inspänningskraft. Detta gäller för alla typer av luftledningar som finns i samhället idag, men kraven är högre på en kontaktledning än övriga luftledningar, eftersom fordonets strömavtagare ligger an mot kontaktråden. Problem uppstår då kontaktledningen inte befinner sig inom givna toleransnivåer. Detta avsnitt behandlar kontaktledningen samt de delar som syftar till att minska dessa problem det vill säga upphängningen samt den rörliga eller fasta avspänningen.

En kontaktledning är maximalt 1320 meter lång och benämns då som en sektion. Sektionen är i sin tur indelad i ett antal spann, spannlängden varierar från 20-30 meter på spårväg och avgränsas av sina upphängningspunkter (Trafikkontoret, 2015).

2.1 Beskrivning av kontaktledningen

Kontaktledning är samlingsnamnet på kontaktråd, bärlina och bärtrådar. Kontaktledningens huvuduppgift är att etablera kontakt med strömavtagaren.



Figur 1. Indirekt upphängd kontaktledning sett ifrån sidan

Det ställs höga krav på kontaktrådens ledningsförmåga. Kontaktråden består idag oftast av någon form av koppar exempel elektrolytkoppar (E-Cu), koppar (Cu) eller någon form av kopparlegering (CuMg0,5, m.fl.). Valet av koppar som material bygger på att den klarar av höga inspänningskrafter, temperaturskillnader och förlorar inte sin ledningsförmåga till följd av korrosion. När metaller utsätts för korrosion bildas ett korrosionslager som i koppars fall har hög konduktivitet. Bärlinan ska också kunna leda ström och försök har gjorts med andra material än koppar men utan större framgång.

Bärtrådar görs allt som oftast i en kopparlegering och leder ström mellan bärlina och kontakttråd (Kiessling et al., 2001).

Det finns idag två grundmetoder för upphängning av kontaktledningssystem på järnväg, där den enklaste varianten innebär att kontakttråden hänger för sig själv, det kallas för direkt upphängning och är ett vanligt system på banor med låga hastigheter, så som spårväg. Den andra metoden är indirekt upphängning, vilket bildar ett hängverk bestående av kontakttråd tillsammans med en eller två bärlinor. Dessa sammankopplas med bärtrådar för att minska nedhäng mitt i spannet vilket leder till att avståndet mellan upphängningspunkterna kan ökas (Kiessling et al., 2001).

2.2 Beskrivning av upphängningen

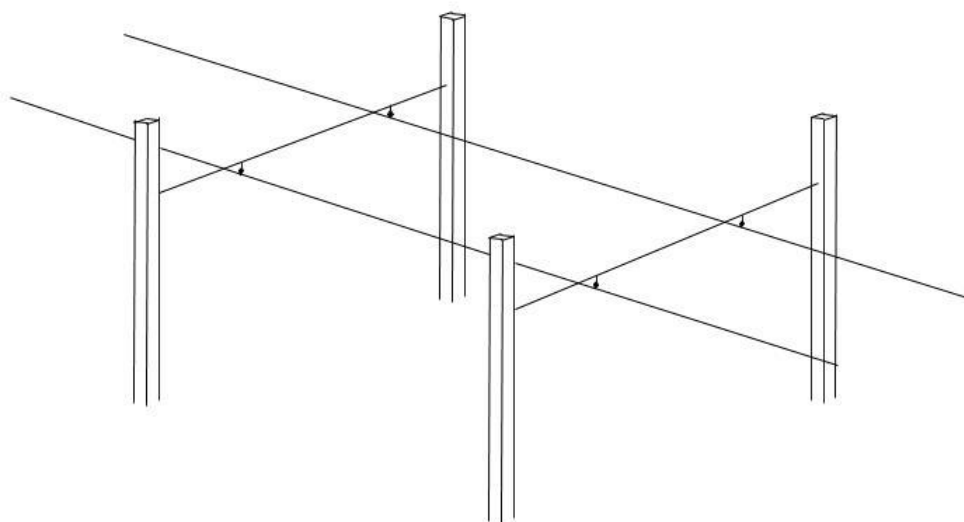
Upphängningen karaktäriseras av sina upphängningspunkter och delas in i fast upphängning eller rörlig upphängning. Den fasta upphängningen ska hålla kontakttråden på en given höjd över spåret och fixerad i längdled. Den rörliga upphängningspunkten har två uppgifter, den ena är att hålla kontaktledningen på en given höjd över spåret den andra är att möjliggöra rörelse i längdled. Det är önskvärt att upphängningspunkterna sick-sackar ledningen över spårmit

(Kiessling et al., 2001).

2.2.1 Fast upphängning

Kontaktledningen är monterad i utliggare eller tvärtrådar med fasta upphängningspunkter. Dessa fasta upphängningspunkter är av typen linhängare som har till uppgift att isolera kontakttråden från tvärtrådar samt fixera kontakttråden i närheten av spårmit

Linhängare möjliggör inte rörlighet i längdled. Vill man kompensera för trådens längdutvidgning krävs aktivt underhåll i form av lossning av upphängningspunkter (Trafikkontoret, 2015).



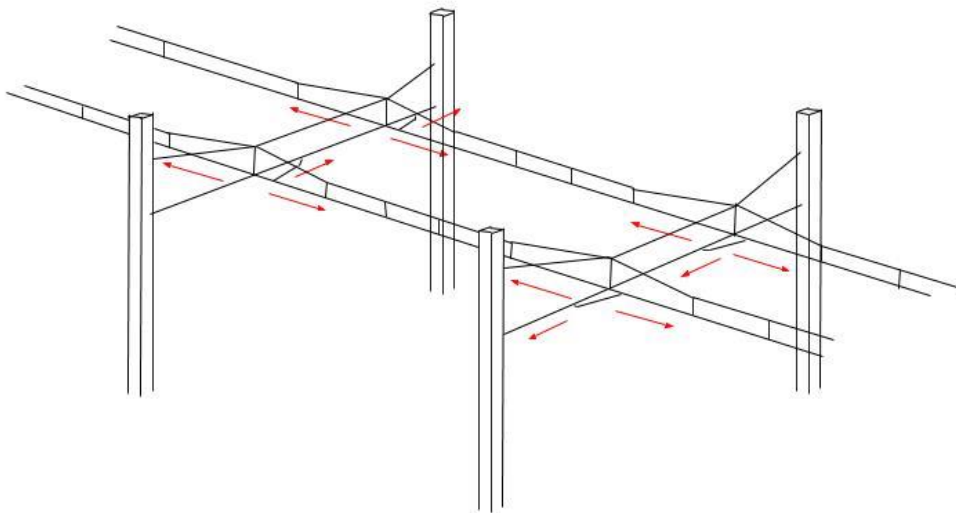
2.2.2 Rörlig upphängning

Vid införandet av rörlig avspänning måste hänsyn tas till trådens rörlighet i längdled. Om den rörliga avspänningsanordningen ska ha möjlighet att ta upp över- och underskott av kontaktledning måste hela sektionen kunna röra sig i upphängningspunkterna. Skulle en rörlig avspänning ha fasta upphängningspunkter förlorar avspänningen sin funktion. Alltså måste det till någon form av upphängningslösning som medger en viss rörlighet i längdled för kontaktledningen. Detta kan ske på ett flertal olika sätt, men det handlar egentligen om ett fåtal typer:

- Rörlig upphängning med bärlina
- Deltalina
- Pendelupphängning
- Utliggare med rörligt tillsatsrör

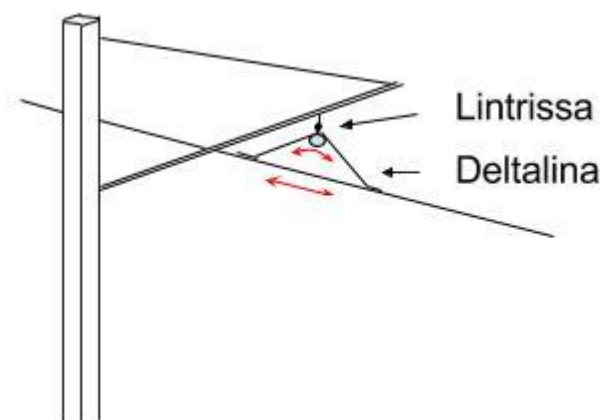
Rörlig upphängning med bärlina

Vid indirekt upphängning skapas rörligheten av att både bärlina och kontakttråd tillåts röra sig i längdled detta görs genom tillsatsrör för kontakttråden och en trissa i bärlinans upphängningspunkt. Detta är en vanlig syn på tyska spårvägar (Naegeli et al., 2012).



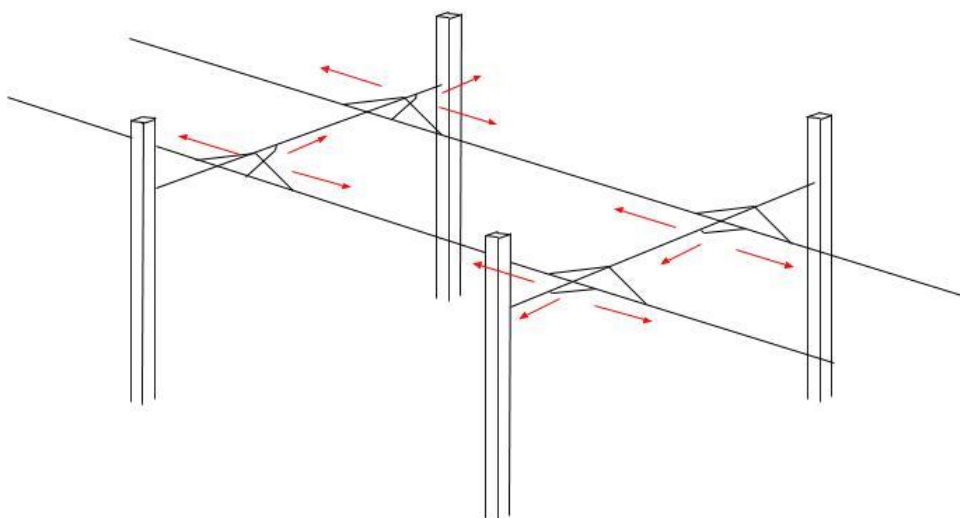
Deltaupphängning

Deltalina är det vanligaste som byggs idag, internationellt, på moderna spårvägar. Den består av en trissa monterad i isolator på tvärtråd eller utliggare och en kortare deltalina som är infäst på två punkter av kontakttråden i en triangelform. Detta medger att kontakttråden kan röra sig i längdled genom deltalinan rullar på trissan se figur 4.



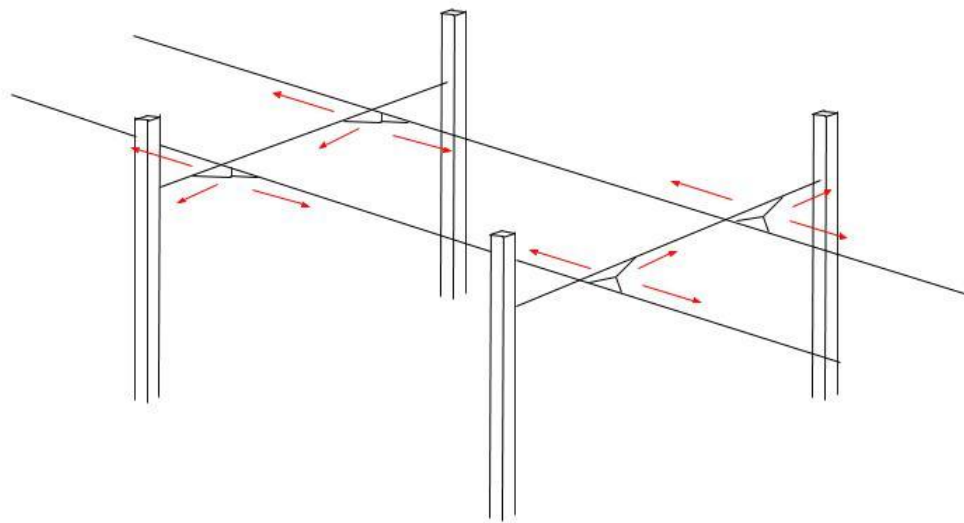
Figur 4. Deltaupphängning i närbild

Monteras ett tillsatsrör möjliggör denna ett drag i sidled för att skapa sick-sack se figur 5. Då deltalinan har egenskaper som kan liknas vid bärlinan kan den möjliggöra längre spannlängder (Kiessling et al., 2001). Detta är en vanlig syn på modernare kontaktledningssystem.



Figur 5. Deltaupphängning med deltalina och tillsatsrör

Pendelupphängning

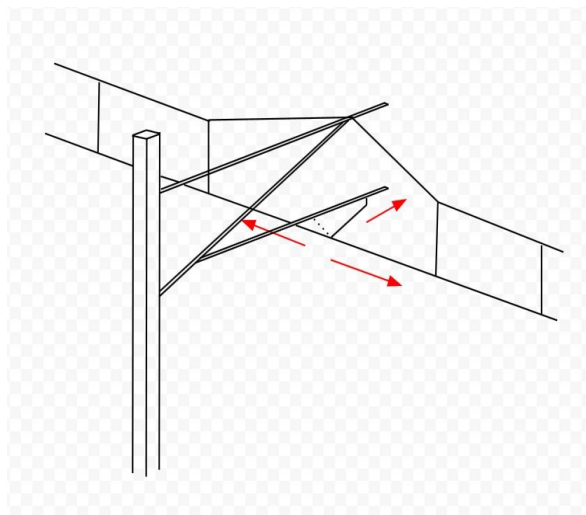


Figur 6. Pendelupphängning i tvärtrådar

Pendelupphängning är en variant där den fria rörelsen skapas av en liten isolerad tråd mellan tvärtråden och kontakttråden. Den möjliggör sick-sack samt rörelse i längdled.

Utliggare med rörligt tillsatsrör

Rörliga tillsatsrör till utliggare kan också användas för att skapa rörlighet i kontakttråden. Då ansluts kontaktledningen till utliggaren via ett rör som i sin tur är anslutet till utliggaren via ett rörligt fäste och därmed kan svänga i sidled. Detta är den absolut vanligaste varianten på konventionell järnväg med lite olika utföranden för bland annat trådföring.



Figur 7. Kontaktledning i utliggare med tillsatsrör

2.3 Kontaktledningsavspänning

En kontaktledningsavspänning är en mekanisk anordning som används i järnvägs- och spårvägssammanhang för att se till att kontaktledningen spänns upp på ett korrekt sätt med lämplig inspänningskraft. Det finns några olika typer av avspänningsanordningar där de vanligaste är vikt-, fjäder-, gas- och fast avspänning. En sektion som är rörligt avspänd i båda ändar ska förankras på mitten med en mittpunktsavankring (Banverket, 2006).

2.3.1 Varför behövs avspänning

Huvudprincipen är att kontaktledningen spänns upp tillräckligt hårt för att fungera väl med fordonets strömavtagare. Kontaktledningens avspänningsanordning ska klara att dra kontakttråden en viss längd inom ett givet temperatur-intervall. För kontaktledningen innebär detta att man vill undvika nedhäng och vågutbredning som kan skada både anläggning och fordon. Kontakttrådens upphängning, material, längd, tjocklek samt spårets största tillåtna hastighet (STH) är avgörande för behovet av inspänningskraft. Generellt gäller att med lägre inspänningskraft följer lägre STH (Banverket, 2006). Behovet av inspänningskraft är generellt lägre för spårvagn än för reguljär tågtrafik, då hastigheter, energibehov och trådlängder är mindre (Kiessling et al., 2001).

2.3.2 Avspänningskonfigurationer

Det görs en indelning med avseende på om gemensam eller separat avspänning föreligger. Vid gemensam avspänning fördelar en vågarm, även kallad balans, inspänningskraften mellan bärlina och kontakttråd. Vid separat avspänning är det en avspänning för bärlinan och en för kontakttråden. Separat avspänning möjliggör korrekt inspänningskraft för olika ledningskaraktär på kontakttråd och bärlina såsom det ofta är i en kontaktledning, separat inspänning används därför på banor med hög hastighet (Kiessling et al., 2001).

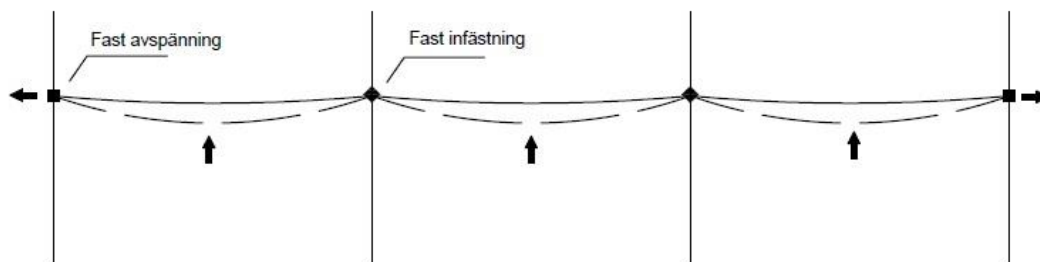
2.3.3 Fast avspänt system

I ett fast avspänt system spänns kontaktledningen upp mellan två eller flera fasta punkter, antingen i stolpe eller i väggfäste. Ledningen bärs sedan upp med hjälp av tvärtrådar eller utliggare där den är fast monterad i upphängningspunkterna med isolatorer. Vanligast i stadsmiljö är tvärtrådar spända mellan stolpar eller fasader.



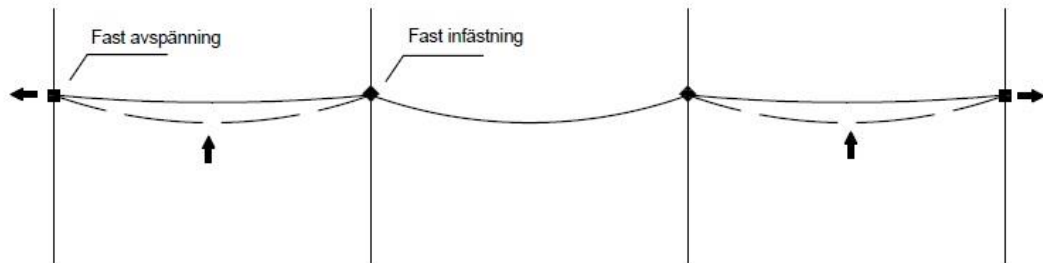
Figur 8. Bild på fast avspänning

Vid längdutvidgning eller sammandragning på grund av temperaturförändringar får kontaktledningen lossas från sina upphängningspunkter för att manuellt spännas eller slackas till önskad längd (Trafikkontoret, 2015). Detta illustreras i figur 9 där dragkraft appliceras i ändarna och drar upp den sträckade kontaktledningen till den heldragna linjen.



Figur 9. Fast avspänning. Inspänning av kontaktledning med lossning av upphängningspunkter

Det som annars skulle uppstå är en situation där nedhäng kvarstår i det spann som inte fått sina infästningar lossade se figur 10.



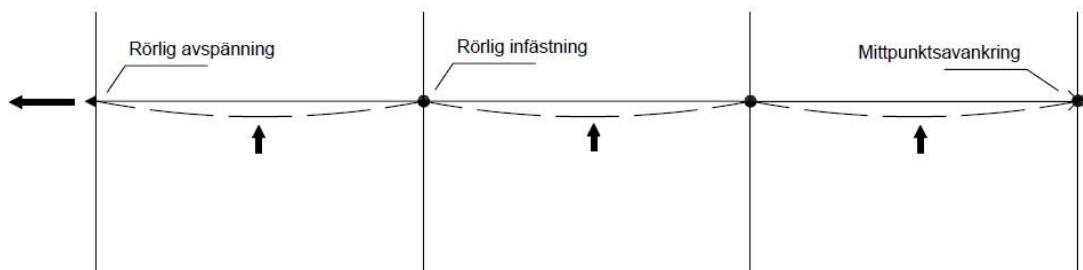
Figur 10. Fast avspänning. Inspänning av nedhäng utan lossning av upphängningspunkter.

2.3.4 Rörligt avspänt system

Rörligt avspända system är konstruerade för att kontaktledningen ska kunna röra sig i längdled vid längdförändringar. De är i minst en ände belastade med någon form av rörlig avspänningsanordning som ser till att inspänningskraften bibehålls trots längdförändringen.

Idag finns det ett relativt stort antal modeller av rörliga avspänningsanordningar, men de flesta kan delas upp i några få kategorier:

- Viktavspänning monterad utanpå stolpe
- Viktavspänning monterad inuti stolpe
- Fjäderavspänning av rak typ
- Fjäderavspänning av rund typ
- Avspänning med gasfylld kolv



Figur 11. Rörligt avspänning. Rörligt fästa upphängningspunkter och mittpunktsavankring

2.3.4.1 Viktavspänning

Viktavspänning är av typen rörlig avspänning där dragkraften hos anordningen kommer från ett antal vikter som hängs fast i änden på kontaktledningen genom ett linspel.

Genom vikten och ett antal lindhjul, vanligen 1-3 stycken, eller ett spärrhjul får vi en utväxling 1:1,5, 1:2 eller 1:3. Ju fler lindhjul vi har desto mindre behöver vikten väga, men desto mer kommer vikten att röra på sig längdled till följd av längdutvidgningen (Banverket, 2006).



Figur 12. Viktavspänning. Lindhjul och utväxling.

Stopp/fall-teknik utrustas de allra flesta viktavspänningar med idag vilket innebär att lindhjulen låser sig då brott på kontaktledningen uppstår. Följden blir att vikten inte trillar ner på backen vid kontaktledningsbrott.

Viktavspänning utanpå stolpe

Viktavspänning utanpå stolpe är, precis som det låter, en avspänningsanordning som är baserad på hängande vikter monterade utanpå stolpen som löper längs en skena. Detta är den absolut vanligaste avspänning på konventionell järnväg. Dock kan vikterna vara mindre och diskretare vid användning till spårväg, då behovet av inspänningskraft på spårväg eller i gatumiljö är mindre än på konventionell järnväg till följd av lägre hastigheter. Lösningen används på flera håll i Europa där den då oftast är designad i en diskret färg som ska smälta in i omgivningen. Fördelarna är framförallt att systemet kan leverera höga inspänningsvikter vid behov, har hög kapacitet för att hantera större längdförändringar hos kontaktledningen, samt att själva stolpen kan designas med en relativt liten diameter. De funkar över hela banan även i tunnlar där vikterna istället kan löpa längs med skenor utmed tunnelns innervägg (Kiessling et al., 2001).



Figur 13. Viktavspänning utanpå stolpe. Viktpaket och sträva.

Viktavspänning inuti stolpe

Viktavspänning kan, istället för att monteras utanpå, även hängas upp inuti kontaktledningsstolpen. Den stora fördelen är att vikterna kan gömmas i stolpen vilket minimerar risken för sabotage och vandalisering. Det enda synliga blir linhjulen i toppen av masten där utförandet varierar mellan tillverkare. Stolpen måste tillverkas med relativt stor diameter för att rymma vikterna. Hänsyn bör tas vid montering av annan utrustning på samma stolpe, för att inte riskera att infästningen av utrustningen påverkar rörligheten hos vikterna. Det är viktigt att vikterna går att nå för justering, antingen genom luckor i stolpen eller om vikterna placeras i H-balk och förtäcks med plåtar. I figur 14 ses en H-balk utan skyddsplåtar.



Figur 14. Viktavspänning med viktpaket monterat i H-balk.

Siemens

Tabell 1. Produktdata. Viktavspänningar från Siemens

	8WL5078-0A	8WL5078-2	8WL5078-3
Kraft	<24	<24	<24
Utväxling	1:3	1:3	1:1,5
Draglängd	1500mm	1500mm	2300mm
Vikt	28,5kg	31,5kg	33,5kg
Storlek	609mm	235mm	235mm

Siemens viktavspänning är olika spärhjulen som har stopp/fall-teknik där kuggarna på spärhjulet hackar i och förhindrar vikter att gå i botten eller lämna sitt utrymme. Utväxlingen är 1:3 vilket får anses normalt för viktavspänning idag men erbjuder även en 1:1,5 som lämpar sig då viktens rörelse är begränsad. De tre modellerna går att få i flera olika utföranden beroende på om man vill ha i vikter inuti eller utanpå stolpen. Siemens är leverantör av komponenter till Göteborgs spårvägar idag vilket framgår i trafikkontorets standardritningar över dagens viktavspänningar (Trafikkontoret, 2014).

SAS Galland

Tabell 2. Produktdata. Viktavspänningar från SAS Galland

	JG2072	JG1892
Kraft	<21kN	<26kN
Utväxling	1:3	1:3
Draglängd	900mm	900mm
Storlek	1700mm	1750mm

SAS Galland har en gedigen erfarenhet av viktavspänningar och har tillverkat dessa i över 50 år. Gallands viktavspänningar använder små hjuldiametrar i lintrissan vilket anses ge större friktionsförluster än stora hjuldiametrar (Banverket, 2006). Modellerna används på spårvägar i Frankrike där de ofta är integrerade i stolpen. Viktavspänningarna kan utrustas med stopp/fall-teknik som förhindrar vikter att gå i botten, vid brott på kontaktledningen. Det går enkelt att överblicka draglängden genom måttstocken som finns monterad på avspänningen. Då det är 3 linhjul på dessa modeller är det en utväxling 1:3.

Elektroline CZ

Likt Siemens använder Elektroline CZ sig av spärrhjul till sin viktavspänning. Det är av samma typ som de två första modellerna av Siemens, inget produktdatablad har kunnat fås men de antas vara likvärdiga Siemens, med en utväxling på 1:3. Elektroline är leverantörer av komponenter till Göteborgs spårvägar enligt sin egen hemsida där kontaktledningsmaterial levererats inom ett brett spektrum.

2.3.4.2 Fjäderavspänning

Fjäderavspänning användes tidigare nästan uteslutande på bangårdar med korta ledningar och låga hastigheter där kraven på inspänningskraft var låga. Spiralfjädern var den första varianten och väldigt enkel i sin konstruktion där kontaktledningen tilläts expandera men inspänningskraften hölls konstant, verkningsområdet är förhållandevis lågt och mindre kontaktledninglängder är vanligast. Därefter kom hydraulfjädringen som med en något tyngre variant som klarar av Trafikverkets samtliga system. Senaste tillskottet är fjäderavspänning av rund typ.

Fjäderavspänning rund typ

Finns enbart en fjäderavspänning rund typ idag, den tillverkas av Pfisterer och har lyckats kombinera god draglängd med hög inspänningskraft i en liten modell.

Pfisterer Tensorex C+

Tabell 3. Produktdata. Pfisterer Tensorex C+

	TR C+
Inspänningskraft	7,5kN
Draglängd	450-900mm
Vikt	80-120kg
Storlek	571-619mm
Pris	31500kr



Figur 15. Tensorex C+.

Tensorex C+ är en klockfjäder, det vill säga en rund fjäder som sedan med hjälp av två stycken cirkulärskivor med föränderlig radie, reglerar inspänningskraft med längdutvidgningen. Tensorex C+ är utrustad med stopp/fall teknik som gör om enheten till en fast avspänning då fel som kontaktledningsbrott skulle uppstå. Relativt lätt att montera och hissas upp till önskad höjd där den sätts fast i stolpen. Den har ett tekniskt godkännande hos Trafikverket. Spanska Adif uppger att den fungerat felfritt sedan 2012 i deras system. I Sverige används den bland annat på SL i Stockholm och totalt finns det ungefär 230 stycken installerade i Sverige. Föregångaren är Tensorex Phantom som hade samma cirkulärskivor men använde vanlig rak fjäder integrerad i stolpe.

Fjäderavspänning av rak typ

Den raka fjädern är den kanske absolut enklaste lösningen att montera. Det finns gott om modeller som kan användas baserat på behovet av inspänningskraft upp till cirka 22,5kN med draglängder upp till 750mm. I förhållande till vikt utanpå stolpe minskas utrymmesbehovet. Dock blir de relativt stora och utrymmeskrävande vid högre inspänningskrafter. Men placerade korrekt så kan även dessa smälta in väl i den övriga konstruktionen.

Pfister Tensorex TR 450/TR 750

Tabell 4. Produktdata. Pfisterer Tensorex TR 450 och TR750.

	TR450	TR750
Kraft	7,5kN	7,5kN
Draglängd	450mm	750mm
Vikt	100kg	160kg
Storlek	3000mm	4600mm
Pris	25000kr	25000kr



Figur 16. Tensorex 450.

Tensorex TR 450 och TR 750 är raka fjädrar med hög inspänningskraft mellan 6-22,5kN (för TR 450) och 5-22,5kN (för TR 750). Göteborgs spårvägar ligger i det nedre spannet på inspänningskraft och får således en variant som väger mellan 100-160kg beroende på önskad draglängd. Fjädern blir ungefär 3 m till 4,6 m lång vilket får anses som en skrymmande lösning. Har tidigare använts i tunnlar där äldre varianter av viktavspänning inte varit möjlig och är också tekniskt godkänd av Trafikverket för deras system (Banverket, 2006).

Pfister Tensorex Phantom

Tabell 5. Produktdata. Tensorex Phantom

	Phantom
Kraft	7kN
Draglängd	1000mm
Vikt	Integrerad
Storlek	ca. 300mm
Pris	115000kr

Tensorex Phantom är en fjäderavspänning som löper inuti stolpen med en vanlig fjäder cirka 2 meter lång. Utrustad med likadana cirkulärskivor som i C+. Den levereras med sin egen stolpe och är därför inte kompatibel med andra stolpar. Den funkar på så sätt att den övre delen av stolpen kan justeras några grader för att få rätt vinkel mot första upphängningspunkten. Tillverkaren uppger att modellen är utgående då C+ är en vidare utveckling.



Figur 17. Tensorex Phantom.

Siemens fjäder

Tabell 6. Produktdata. Siemens raka fjädrar.

	8WL8037-1	8WL8037-2	8WL8037-3
Kraft	6-10kN	6-10kN	6-10kN
Draglängd	90mm	160mm	230mm
Storlek	425mm	820mm	1210mm
Vikt	10,58kg	18,82kg	27,72kg

Siemens fjäder går att få i många varianter då det är fjäderkonstanten som är avgörande för längden och inspänningskraften på enheten. Används framför allt på Göteborgs spårvägar vid och i närheten av vändplatser där kraven är låga. De används också vid spärkorsningar och depåer uppger tillverkaren. De kan också sättas i fasader då de har en relativt låg vikt i förhållande till andra avspänningsmetoder.



Figur 18. Rak fjäder, inkapslad.

SAS Galland fjäder

Tabell 7. Produktdata. SAS Galland, rak fjäder.

	JG1447/103
Kraft	10-15kN
Draglängd	142,8mm
Storlek	882mm

Fjädrarna som SAS Galland erbjuder är liksom Siemens ett alternativ till vändhållplatser, kryss och depåer. Liksom övriga fjädrar av rak typ är de beroende av fjäderkonstanten och går att tillverka lite som man önskar. Används bland annat på "Bytrikken", spårvägen i Oslo, och deras kontaktledningssystem med dubbel kontakttråd.

Tekki fjäder

Tabell 8. Produktdata. Tekki fjäder

	NS80-1
Kraft	7,84kN
Draglängd	510mm
Vikt	130kg
Storlek	1950mm
Pris	28000 kr

Tekkis fjäder är en något kraftigare variant på fjäder. Men håller då också för draglängder som genast kan användas på längre sträckor. Finns inte så mycket information om just denna fjäder men då pris från tillverkare erhållits fungerar den bra som ett referensobjekt för en prisjämförelse.



Figur 19. Tekki, fjäder.

2.3.4.3 Avspänning med gasfylld kolv

En trycksatt behållare med gas vanligtvis kvävgas och möjliggör en automatisk avspänning, då gasen expanderar pressar den en kolv som spänner upp kontaktledningen. Då temperaturen sjunker kontrakterar gasen och trycket på kolven sjunker som släpper ut kontaktledningen.

SAS Galland

Tabell 9. Produktdata. SAS Galland gasfjäder.

	Aero480	Aero1000
Kraft	<40kN	<40kN
Draglängd	480mm	1000mm
Storlek	1630mm	2470mm

Gasen i denna gasavspänning från SAS Galland består av kvävgas och den omgivande luften i en blandning. Avspänningen har integrerad ackumulatortank. Således tillkommer det ingen extra utrustning. Modellen har sensorer för temperatur, tryck och draglängd. Kopplingen mellan antalet hjul och vikt i en viktavspänning är i den här varianten längden på pistongen kopplat till trycket i kolven. Denna variant klarar av höga inspänningskrafter och draglängder. Används på franska spårvägar i Dijon, Nice och Grenoble.

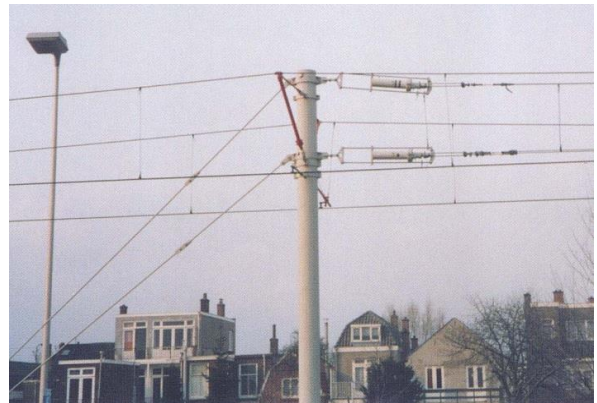


Figur 20. SAS Galland gasfjäder

Brecknell Willis

Tabell 10. Produktdata. Brecknell Willis gasfjäder.

	GT
Kraft	<30kN
Draglängd	500mm
Storlek	2418mm
Vikt	95kg



Figur 21. Brecknell Willis gasfjäder.

En första generationens gasavspänning tillverkad i England och är egentligen inte ett alternativ då Brecknell Willis drar ner på produktionen. Finns med som ett referensobjekt till nyare varianter av gasavspänning. Figur 21 visar två stycken GT för separat avspänning med indirekt upphängning.

2.4 Övriga system

De system som listas här används ofta i en kombination med ett vanligt kontakttledningssystem för att underlätta korsningar och minska de visuella intrånget i äldre stadskärnor.

2.4.1 Alimentation par le Sol (APS)

Alimentation par le Sol, eller APS som det vanligtvis förkortas till, är ett system för att förse spårvagnarna med ström direkt från en skena placerad mellan rälerna. Skenan är uppdelad i sektioner om cirka åtta meter med tre meter långa neutrala sektioner mellan. Med hjälp av ett radiosystem avgörs tågets position och sedan matas ström till just den sektion som spårvagnen befinner sig över vid det ögonblicket, vilket garanterar att ingenting annat än spårvagnens kontaktsko (strömavtagare) kommer i kontakt med den strömförande skenan (Railway Gazette, 2004). Det första systemet byggdes i Bordeaux, och efter en period av barnsjukdomar fungerar det nu bra och byggs i andra städer (Railway Gazette, 2006).

2.4.2 Batteridrift

Batteridrift är en relativt ny lösning där spårvagnen drivs med energi från ett antal avancerade batteripack monterade i spårvagnen. Laddning sker antingen vid ändhållplatser eller på delar av sträckan som då är utrustad med konventionell kontakttledning som laddar batteripacken via spårvagnens strömavtagare. Bombardier är den ledande producenten och satte nyligen ett distansrekord för batteridrift på spårväg där en spårvagn körde hela 41,6 km på en och samma laddning (Bombardier, 2015).

2.5 Göteborgs spårvägars kontaktledningssystem

Trafikkontoret ansvarar för spårvägen i Göteborg där underhålls sköts av Göteborgs Spårvägar. Det kontaktledningssystem som används är i grund och botten ett system från Trafikverket nämligen ST 7,1/7,1kN. Detta är ett system dimensionerat för största tillåtna hastighet (STH) på 140km/h (Trafikverket, 2014) vilket kan jämföras med Göteborgs spårvägar där STH är 60km/h på egen banvall (Trafikkontoret, 2015).

Trafikkontoret uppger några avvikelser från Trafikverkets system bland annat avseende sektionslängd, kontaktledningshöjd och tillåten lateral förskjutning är mindre (Trafikkontoret, 2015). Kravet avser nedhäng är också lägre¹.

Då ingen rörlig avspänning är möjlig används fast avspänning. Här får underhållet manuellt sköta uppsträckning och slackning till följd av temperaturförändring (Trafikkontoret, 2015). Där ledningen inte kan förankras kopplas kontakttråden till en annan kontakttråd genom speciella skarvklämmor och fungerar då som avankring. På vissa sträckor finns det ingen avspänning utan kontakttråden hänger enbart i sina uppspanningspunkter².

Kontakttråden genomgår en uppdatering till grövre tråddiameter, vid direkt upphängning ska 80 mm² bli 100 mm² och vid indirekt upphängning ska kontakttråden uppdateras från 100 mm² till 120 mm² för att tillgodose den ökande krafttillförseln som de nya vagnarna behöver (Trafikkontoret, 2015). Göteborgs spårvägars upphängningspunkter genomgår en uppdatering från fast upphängning till att istället utformas med deltalinor, med detta kan också tidigare fast avspända delar bytas till rörlig avspänning³.

Göteborgs spårvägssystem delas enklast in i gatumiljö och på egen banvall.

På egen banvall avser förortslinjer i Göteborg exempel är Angeredsbanan samt några delsträckor bland andra Munkebäckstorget - Östra sjukhuset, Munkebäckstorget – St. Pauli där STH är 60km/h. Här finns indirekt upphängning i stolpe med utliggare. Sektionerna är viktavspända där en vågarm fördelar inspänningskraften. På den nyligen dragna sträckan Gamlestaden - Ånäsvägen används direkt upphängning, stolpar, utliggare och viktavspänning i form av ett spärrhjul.

Gatumiljö är där blandtrafik, det vill säga spårvagnar och fordon i samma gatu

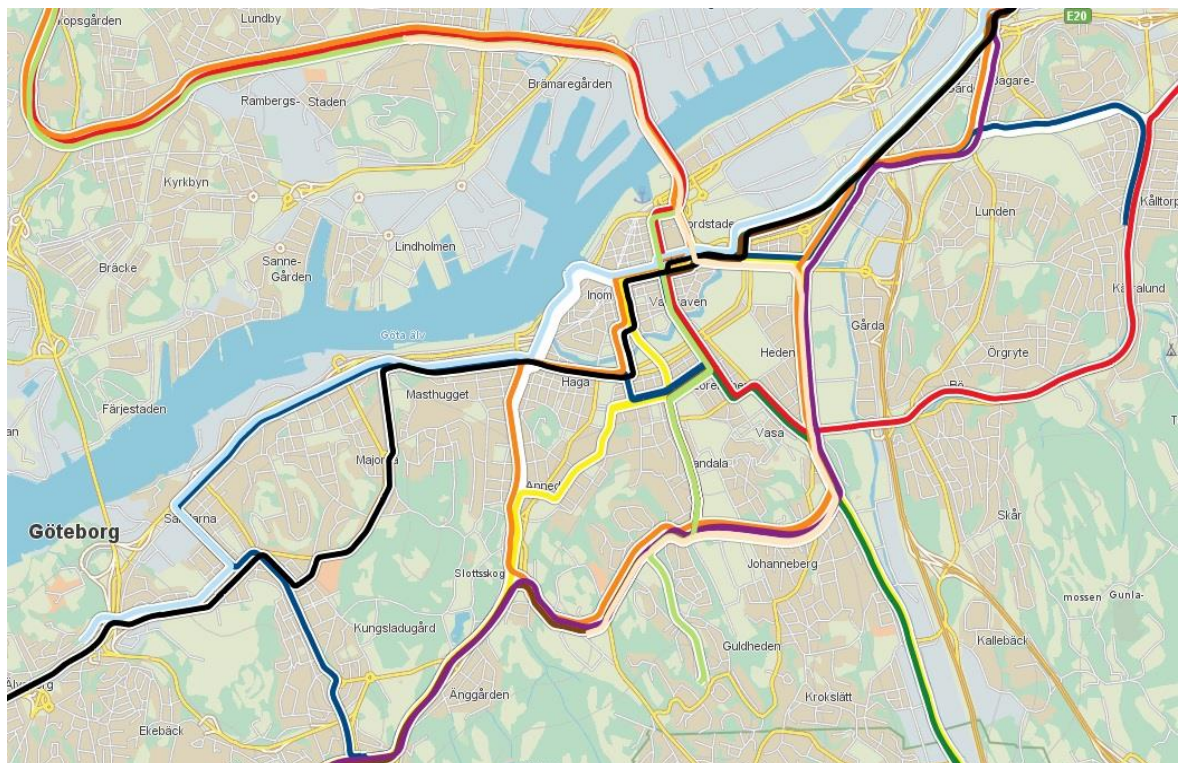
¹ Intervju Dennis Sköldborg

² Intervju Dennis Sköldborg

³ Intervju Dennis Sköldborg

utrymme och då är STH samma som för andra fordon med andra ord 50km/h samt 30km/h inom vallgraven (Trafikkontoret, 2015). Här används framförallt fast avspänning med inspänningskrafter om 400-700kg. Fjädrar används vid vissa vändplatser där inspänningskrafter är mindre och sektionerna uppgår till 200-300 meter. Det är framförallt fasta upphängningspunkter i tvärtrådar mellan fasader och/eller stolpar. Det används också utdragsarmar då kurvradierna är små (Trafikkontoret, 2015).

Det som kännetecknar Göteborgs spårvägssystem är många spårkryss där dubbla spår korsar varandra för att möjliggöra ett agilt system med många linjer. Det finns en hel del kurvor samt många situationsanpassade kontaktlednings lösningar. I figur 22 över Göteborgs spårvägar kan en grov uppskattning göras över antalet spårkorsningar som existerar. Korsningar saknar rörlig avspänning och bygger på ett fast monterat system med fast avspänning och fast upphängning genom isolatorer.



Figur 22. Göteborgs spårvägslinjer.

2.6 Norrköpings spårvägssystem

Norrköping fick sin spårväg byggd 1904 och har idag två linjer (Norrköpings kommun, 2016). Systemet bygger i grunden på Göteborgs spårvägsstandard, men har utformats lite annorlunda än i Göteborg.

Långa sträckor går spårvägen på egen banvall, men går i blandtrafik inne i centrum. I huvudsak är systemet fast avspänt och upphängt med direktmonterade tvärtrådar. Ute på linjen förekommer en hel del lösningar med viktavspänning, och vid senaste utbyggnaden så användes en nyare hybridlösning där vikterna monterades i livet på en H-formad balk.

2.7 Internationella utblickar över kontaktledningssystem

Här nedan beskrivs ett antal andra spårvägsstäder och hur de har valt att bygga sina kontaktledningssystem. Vi har framförallt valt att fokusera på att visa vad de har valt för avspänningsanordningar samt former av upphängning detta genom Google Maps Street View.

2.7.1 Frankrike

Frankrike har i många år satsat på utbyggnad av spårväg i många av sina större städer. Kännetecknande generellt är ett högt fokus på estetiskt tilltalande lösningar (Spårvagnsstäderna, 2016).

2.7.1.1 Bordeaux

Bordeaux var första staden i Frankrike att 2003 utrustas med en spårväg som i de centrala delarna strömförsörjdes via APS (Alimentation par Sol). Strömförsörjningen sker alltså via strömskena i marken (Railway Gazette, 2006). Utanför stadskärnan används stolpar och deltaupphängning med utdragsarm i kombination med viktavspänning monterad inuti stolpe. Ett APS-spårkryss visar hur det kan se ut i en korsning utan kontaktledning i luften enligt figur 23.



Figur 23. APS-utrustad korsning vid torget Place Pey Berland

2.7.1.2 Dijon

Dijon har en av Frankrikes senast byggda spårvägar, den byggdes så sent som 2012 (Railway Gazette, 2012). Använder en blandning av fasta avspänningar över kurviga delar och vikter monterad utanpå stolpe på långa raka sträckor. Uphängningen är framförallt deltaupphängning med utdragsarm som också används på de fast avspända sektionerna.

2.7.1.3 Lille

Lille är tillsammans med Marseille och St. Etienne tre av de äldre spårvägarna i Frankrike (Spårvagnsstäderna, 2016). Kontaktledningen består framförallt av viktavspänning inuti stolpe med deltaupphängning och utdragsarmar i stolpar.

2.7.1.4 Marseille

Spårvägen i Marseille har genomgått en modernisering av systemet med nya dragningar (Spårvagnsstäderna, 2016). Kontaktledningen är viktavspänd inuti stolpe. Där det dyker upp kurvor tycks man ha en fjäderavspänning till fast avankring för att sedan ta vid med en ny viktavspänning. Upphängningen sker med utliggare i stolpe där det finns plats och i trångare utrymmen används framförallt tvärtrådar. Deltaupphängning och utdragsarmar är vanligt.

2.7.1.5 Nice

Spårvägen i Nice byggdes 2007 och är konstruerad för en kombination av batteridrift och kontaktledning. Större delen av sträckan är utrustad med kontaktledning, men på ett antal platser kring korsningar och torg övergår vagnarna till batteridrift, likt bilden där det kontaktledningsfria torget Place Massena trafikeras av spårvagnar med batteridrift. Systemet är upphängt med en kombination av stolpar med utliggare där det finns plats och tvärtrådar mellan husfasaderna. Deltaupphängning används generellt. Avspänningen består till största delen av viktavspänning monterad i stolpe, men kompletteras på sina håll av små, ibland fasadmonterade, fjädrar.



Figur 24. Torget *Place Massena* i Nice.

2.7.1.6 Orléans

Orléans byggdes 2002 och är framförallt känd för sina kreativt designade stolpar. Systemet använder i stor utsträckning kontaktledningsstolpar med integrerad gatubelysning och avspänningen sker här med vikter monterade i stolparna. I stadens ytterområden används stolpar med vikter monterade externt. Dock målade så att de ska smälta in väl med omgivningen. Det är framförallt deltaupphängning i tvärtrådar eller utliggare med eller utan utdragsarm. Det är också ett system med kombination av kontaktledningsfria sträckor som figur 25 visar.



Figur 25. Kontaktledningsfri korsning i Orléans.

2.7.2 Tyskland

I Tyskland återinförde man spårvägen redan innan Frankrike och det är en mer järnvägsliknande lösning där kontaktledningen är rörligt avspänd och indirekt upphängd även inne i staden. Spårvagnens återkomst i Tyskland symboliseras av att många städer införde en variant av spårvagn, där en typ av spårvagnar skulle trafikera både spårväg och konventionell järnväg, då med extra utrustning för att hantera olika kraftmatning (Naegeli et al., 2012).

2.7.2.1 Dresden

Spårvägen i Dresden har anor från 1800-talets mitt men har likt andra städer moderniserats sedan dess. Dresden använder indirekt upphängning vilket bidrar till att minska stolpavståndet men ökar antalet trådar i luften. Avspänningen består av fast avspänning samt rörliga avspänningar med fjädrar och vikter monterade utanpå stolpe, dock ofta dolda i utanpåliggande korg eller liknande. Det finns även nybyggda linjer, och där har det gamla systemet helt frångåtts och det används istället enkel kontakttråd, deltaupphängning och vikter i stolpe likt många franska städer.



Figur 27. Korsning i Dresden där två spårvägslinjer möts.



Figur 27. Viktavspänning med vikter utanpå stolpe i Dresden. Viktpaket döljs i dekorativ korg.

2.7.2.2 Köln

I Köln används stolpar med vikter monterade inuti stopen. Kontaktledningen är indirekt upphängd men har på sina platser direkt upphängning då med dubbel kontakttråd eller grövre tråddiameter. Den direkta upphängningen är då försedd med fast avspänning.

2.7.3 Övriga

2.7.3.1 Valencia

Valencia är ett spårvägssystem som går på egen banvall inne i centrum, detta övergår till blandtrafik i korsningar. Det används tvärtrådar och stolpe med utliggare, samtliga sträckor är rörligt avspända med vikter inuti stolpe.

2.7.3.2 Helsingfors

Helsingfors spårväg har stora likheter med Göteborg i sitt utförande och har en del korsningar. Kontaktledningen använder sig av fast avspänning med fast upphängning genom linhängare. I stadskärnan ses framförallt en kombination med tvärtrådar som övergår till indirekt upphängning i stolpe på förortslinjer. Förortslinjer är utrustade med indirekt upphängning, fast avspänning och utliggare med tillsatsrör. Det finns exempel på raksträckor där pendelupphängning används.

2.7.3.3 Melbourne

Melbourne är världens största spårvägssystem med sina 250 km dubbelspår och ca. 1750 spårvagnshållplatser och därtill många spårvägs-kryss (Yarra Trams, 2016). Figur 28 visar ett spårkryss mellan Spencer St. och Collins st. med snarlik utformning den i Brunnspar-ken. Systemet är fast avspänt med pendelupphängning, men även med vanliga linhängare. Tvärtrådar går mellan stolpar och inte i husfasader. Det finns en tydlig historia över de olika dragningarna då det används många olika stolptyper.



Figur 28. Melbourne

3 Intervjuer

I det här kapitlet redovisar vi resultaten från de intervjuer som har genomförts för att ge en större insikt i hur det idag arbetas med spårvägsnätet i Göteborg samt hur det resoneras kring framtiden. Vi försöker även ge en bild av hur det resoneras kring kontaktledningens estetik.

3.1 Intervjupersoner

3.1.1 Hans Cruse

Hans Cruse är kanslichef på Spårvagnsstäderna, som är en förening som arbetar för att det ska bli lättare att bygga spårvägar. Medlemmar är framförallt kommuner, myndigheter inom kollektivtrafik samt intresseorganisationer och företag inom sektorn.

3.1.2 Mattias Östman

Mattias Östman är bygglédare inom el och kontaktledning på konsultföretaget Crabat som till stor del arbetar med projektering av Göteborgs spårvägsnät. Han har även tidigare arbetat för Göteborgs Spårvägar och har god insikt i hur kontaktledningsnätet är uppbyggt och hur man har arbetat med det i Göteborg de senaste tio åren.

3.1.3 Dennis Sköldborg

Dennis Sköldborg är arbetsledare på kontaktledning på Göteborgs Spårvägar sedan flertalet år tillbaka och har därmed god kunskap om kontaktledningsnätet och dess förutsättningar.

3.1.4 Ragnar Hedström

Ragnar Hedström är forskningsingenjör vid VTI – Statens Väg- och Transportinstitut. Han har tidigare författat den ofta citerade rapporten ”Attraktiv och effektiv spårvägstrafik” (VTI, 2004).

3.1.5 Daniel Segerdahl

Daniel Segerdahl arbetar på Atkins i Göteborg och har varit delaktig i flera projekt kring Göteborgs spårvägs kontaktledningsnät.

3.2 Svarssammanställningar

Här nedan sker en sammanställning av de svar vi fått i intervjuerna. I de fall där vi har ställt samma fråga till alla eller flera intervjupersoner så redovisas alla svar under samma fråga. I de fall där frågan enbart har ställts till en person redovisas den enskilt.

Vilka anledningar finns till att man behållit den fasta avspänning i gatumiljö så länge?

Mattias Östman: Jag har inget svar, men kan spekulera i att det är av slentrian och det som fungerade igår fungerar säkert idag. Det är ju ingen som helst utveckling i det tänket, men jag tror att det kan bero på det. Tyvärr har det inte bedrivits något riktat arbete med utveckling av anläggningen så vitt jag vet.

Dennis Sköldborg: Kontaktledningsnätet är uppbyggt sen väldigt många år tillbaka och består till väldigt stor del av tvärtrådar med direktupphängning. Då gör inte en viktavspänning speciellt mycket nytta. Det är huvudorsaken. Sen finns det litegrann ur den synpunkten att man inte vill ha viktpaket hängande på publika ytor, men det finns ju lösningar på det idag.

Finns det några fördelar med fast avspänning?

Mattias Östman: Möjligtvis enkelheten i att man inte behöver växla av ledningen var 600e meter.

Dennis Sköldborg: Ja det är ju billigare och en mindre krånglig upphängning.

Daniel Segerdahl: Det är svårt att se några större fördelar med det, det man sparar i investering, får man betala igen på reparation och underhåll. Kunskap ang. service och underhåll är väl känt och kompetensen finns redan hos funktionsentreprenören.

Vilka svårigheter finns med att byta ut den nuvarande fasta avspänningen mot rörlig?

Mattias Östman: Infästningspunkter för avspänningsutrustningen och kompletteringar med trådar för avvaxlingar. Men framförallt behöver man bygga om hela upphängningen så att den tillåter rörelse i längdled.

Dennis Sköldborg: Svårigheterna ligger i att det är väldigt mycket väggfästen. För att kunna sätta på en rörlig upphängning så måste man höja alla upphängningspunkter. Det innebär ju att väggfästen måste borras om och det är inte säkert att man kan sätta dem på plats där. Så konstruktionsmässigt får man titta på varje yta för sig. Om man inte väljer att gå över till mittmaster som ni förordar att sätta. Då får man bort de problemen.

Daniel Segerdahl: Rörlighet över spårkryss, växlar. Separation av de olika sektionerna.

Vilka fördelar har man med en rörligt avspänd kontaktledning gentemot en fast avspänd?

Mattias Östman: Den direkta fördelen är att funktionsentreprenören slipper kontrollera nedhäng och justera inspänningen på kontaktledningen vår, sommar och höst.

Daniel Segerdahl: Mindre slitage och underhåll.

Finns det några nackdelar med rörlig avspänning?

Mattias Östman: Nej, inte ur underhållssynpunkt.

Daniel Segerdahl: Dåligt med riktlinjer och styrande dokument, detta gör det svårt för en projektör som har järnvägsvana att projektera spårväg.

Vilka underhållskrävande åtgärder kan inte en rörlig avspänning avhjälpa?

Mattias Östman: Alla förutom det som redan är nämnt. Men en mjuk upphängning som är en förutsättning för att få ut något av rörlig avspänning gör att det blir mindre korta slitage (punktslitage) på kontaktledningen och därmed mindre slitage på pantografen också.

Daniel Segerdahl: Kopparstöld.

Vad bör man tänka på när man utformar moderna kontaktledningssystem till spårväg?

Mattias Östman: Att man tar höjd för extrem trafik och framtida effektkurvor på vagnar.

Estetiken, är den viktig?

Mattias Östman: Jag är själv praktiskt lagd och tycker att god funktion är snyggt. Mittmaster med utliggare är bäst enligt mig. Skånegatan i Göteborg och Hagebylinjen i Norrköping är ett bra exempel men de är ju inte talande för centrala delar i städer. Tvärtrådar med korta deltaliner och sidohållare är nog enda alternativet i gatumiljö om man ska få flexibilitet i upphängningen.

Daniel Segerdahl: Viktigt, kommer oftast före funktion i projekten. Får leva kvar så länge man inte uppdaterar Banstandard (tyvärr).

Hur mycket tid och arbete läggs på att underhålla kontaktledningen när den omgivande temperaturen förändras vid fast avspänning?

Mattias Östman: Det kan handla om 120 arbetstimmar per år kanske.

Dennis Sköldborg: Ja jag kan inte säga att jag har några exakta siffror, men varje vår eller tidig sommar så läggs det väl kanske 20 timmar i ren arbetstid, om vi pratar mantimmar så är det 100 timmar på våren och 100 timmar på hösten.

Daniel Segerdahl: Man spänner in, men släpper aldrig ut (alltså utsätts kontaktledningen för hög stress).

Vilken del av banan är mest tidskrävande?

Dennis Sköldborg: Korsningspunkter är ju det som är svårast. Vissa saker är nästan omöjliga att få till, framförallt på de platserna där kontaktledningen inte är separat avankrad utan den är pålagd på den andra ledningen. Om du tänker dig ett trevägskryss så har man lagt på kurvorna på raksträcksledningen. Där blir det ju väldigt komplicerat många gånger att göra insträckningen.

Vilka moment görs från avspänning till avankring?

Dennis Sköldborg: Ja egentligen är det att man helt enkelt mäter upp vilken höjd du får när, har man mer än 20 cm nedhäng så bör man se att, och beroende på vad det är för temperatur, så sträcker man ju in de delarna. Då är det egentligen att du har en skarv på kontaktledningen som du då pumpar in emot. En omlottskarv som du sträcker in den emot och kortar ledningen. Det är inte speciellt mycket du behöver flytta den, oftast ett par centimeter så har du tagit upp det nedhäng som är.

Hur mycket tid och arbete läggs på att släppa ut kontaktledningen när den omgivande temperaturen sjunker?

Dennis Sköldborg: Ja vi släpper nästan aldrig ut kontaktledningen, men det kan bli vissa platser där man sträckt in så mycket att man märker att kontaktledningsläget har ändrat på sig eller att tvärtrådar är orimligt spända. Och där släpper man ut då. Men normalt sett blir det bara större tryck.

Fast avspänning är ju bekant en underhållskrävande lösning med sträckning varje sommar. Följden blir ju ett slitage men vilken del är det som slits och behöver bytas?

Dennis Sköldborg: Ja det är ju upphängningen, med upphängningen av kontaktledningen vid upphängningspunkterna. Det är mestadels det som behöver åtgärdas. Det är där som det slits. Själva kontaktledningen vid upphängningspunkterna som slits.

Införandeprocessen

Hur ser införandeprocessen ut för nya lösningar till Göteborgs spårvägar?

Mattias Östman: Oftast sker det genom funktionsentreprenören som prövar och utvärderar nytt material. Jag tror inte att det finns någon formell kanal eller något riktat arbete för den typen av utveckling.

Dennis Sköldborg: Det är trafikkontoret som är ägare av anläggningen. Vi lämnar förslag till trafikkontoret på nya lösningar. Sen får vi ett svar på om de är villiga att köpa den nya lösningen eller inte. Om andra företag har en idé på ett utförande så lämnar vi en granskningssynpunkt till trafikkontoret. I slutänden är det trafikkontoret som avgör om ändringen ska genomföras eller inte.

Daniel Segerdahl: De godkänns via en ev. driftsgranskning, lösningen i sig tas fram i projekten (men inte alltid helt okomplicerat).

Vad ska en ny lösning tillföra Göteborgs spårväg? Nämn några av de viktigaste kriterierna?

Mattias Östman: Jag tycker själv att den ska tillföra mindre slitage och lättvindigare montage och underhåll som i sin tur ger bättre ekonomi.

Dennis Sköldborg: En av de viktigare bitarna är ju att den är ekonomiskt bättre, mer fördelaktig och förmånlig. En billigare upphängning eller billigare material. Det är nog den stora biten. Sen är det ett minskat underhållsbehov och ett enklare bytesförfarande. Att när man behöver byta något så går det väldigt snabbt att byta detaljen. Vi har såpass korta uppehåll i trafiken så att det är väsentligt att man kan utföra byte av komponenter på väldigt kort tid.

Daniel Segerdahl: Mindre underhåll.

Framtiden

Vad jobbas det mest på när det kommer till att utveckla spårvägens infrastruktur i Göteborg?

Mattias Östman: För tillfället handlar det mesta om att dimensionera anläggningen för nya vagnar och ett större energiuttag.

Dennis Sköldborg: Just nu är det frågan om att stärka upp kontaktledningsnätet för de nya vagnarna som kräver mer ström. Både nya likriktare och större area på kontaktledningsnätet. Och med det en uppgradering av upphängningen dessutom. Sen förekommer det ett antal projekt här med nybyggnation. Dels en ny vagnhall för att härbärgera

ytterligare ett antal fordon. Sen är det den nya sträckan för spårvagn. Buss 16s linje på Eriksberg och upp till Vårväderstorget. Sen pratar man om spårväg till Backa.

Daniel Segerdahl: Inte så mycket vad gäller kontaktledning, det diskuteras bland annat strömskena i tunnlar. Systemet upprustas i talande stund, för att möta nya modeller av spårvagnar som drar mer ström pga. ökad trafiktäthet. Ny Vagnhall på Ringön kanske (1000 m lång).

Vilka visioner har Göteborgs Spårvägar med sitt kontaktledningsnät?

Mattias Östman: Att det ska kunna förse trafiken med den energi som krävs. Idag ligger uttaget nära eller på gränsen för vad som klaras av. Inom några få år kommer vi ha en betydligt tyngre vagnpark och högre trafikdensitet.

Vad hade varit den optimala lösningen avseende kontaktledning?

Mattias Östman: Att den hade fått det utrymme den behöver.

Dennis Sköldborg: Det vi försöker få till nu är att vi får separat avankrat alla ledningar så att de går att spänna in var för sig. Som jag sa har det ju varit pålagt på många ställen, så vi ser till att få de bitarna separerade. Sen efter det så är det att få en upphängning med någon form av utdragsarm eller deltaliner på de sträckor som det går.

Daniel Segerdahl: Laddskena vid hållplatser och mer batteridrift i innerstaden.

Visuellt

Är det viktigt att ett kontaktledningssystem för en spårväg har en enhetlig design?

Mattias Östman: Bandel för bandel tycker jag inte att det har betydelse. Men det skulle se tokigt ut om det blandades hej vilt. Ur ett underhållsperspektiv är det mer intressant att hålla sig till en och samma standard.

Dennis Sköldborg: För mig och för de flesta tekniker, så är det så att vi anser att mittmaster är väldigt visuellt tilltalande. Det är enhetligt och du får en symmetri i upphängningssystemet och det blir likvärdigt. Det är det vi tycker är mest tilltalande. Du får dessutom en väldigt bra konstruktion som är lätt att justera och underhålla.

Hans Cruse: Nej det är väl inget självändamål i sig. Jag tycker att kontaktledningsanläggningen ska passa in där den byggs. Om du har en spårväg som går mycket på egen banvall till exempel, lite mer järnvägsliknande, så ställer det andra krav än en spårväg som går in i en stad där det är hus på båda sidorna där man kan spänna i husen istället. Så det är

ingen enhetlig grej i sig. Så det är inget självändamål att det ska passa in på omgivningen där den är.

Ragnar Hedström: Ja det tycker jag absolut.

Bör den vara visuellt tilltalande?

Mattias Östman: Ja

Dennis Sköldborg: Ja. Man kan jämföra det med evenemangsstråket på Skånegatan. Där har man gjort på det sättet.

Hans Cruse: Ja det tycker jag. Det ska den ju absolut vara. Det hänger ihop med att spårvägen har en förmåga att smälta in väldigt bra i en stadsbyggnad där du har till exempel historiska kärnor som ska köras spårvagn igenom. Om man tittar på Frankrike till exempel så lägger de väldigt mycket tid på att få det snyggt. Det är inte bara en anläggning som tekniskt ska fungera utan det ska även vara något tilltalande för de som bor där. Så att det är jätteviktigt.

Ragnar Hedström: Ja det bör den vara.

Daniel Segerdahl: Ja, den är en del av staden

Borde den kombineras med stadens andra installationer, till exempel stolpar för gatubelysning?

Mattias Östman: Ja, för att minimera antalet stolpar, men bara om kontaktledningens funktion inte behöver lida

Dennis Sköldborg: Det tycker jag. För det är frågan om att minimera antalet master.

Hans Cruse: Det är jättesnyggt tycker jag om man kan göra det på ett estetiskt och tilltalande sätt. Det finns ju exempel på när man har satt det i belysningsstolpar och så. Jag har hört att man inte alltid är jätteförtjust i att göra det på grund av jordningsfrågor men det har jag inte riktigt koll på hur det funkar.

Ragnar Hedström: Ja det är en poäng att kunna utnyttja samma stolpe till flera saker.

Daniel Segerdahl: Man måste vara medveten om att båda systemen ska underhållas, blir omständligt att ha två funktionsentreprenörer på plats för att till exempel byta en lampa.

Är det viktigt att kontaktledningen syns så lite som möjligt?

Mattias Östman: Till viss del, men jag tror inte att den syns mycket alls i en stadsmiljö med närliggande hus och växtlighet mm. Det finns skräckexempel på fula kontaktledningssystem, men de är ofta gamla och påbyggda i efterhand.

Dennis Sköldborg: Nej. Det tycker inte jag. Anledningen är att om den är mer synlig så är det lättare för lastbilar och annat att upptäcka den.

Hans Cruse: Ja, både ja och nej. Dels så vill man kunna identifiera var spårvägen är någonstans. Men samtidigt så är det bra om man kan få bort gigantiska stolpar och liknande, utan att man får det att smälta in på andra sätt. Sen är det bra om man kommer med väldigt höga fordon att den syns. Iallafall i korsningar med vägtrafik.

Ragnar Hedström: I vissa fall så kan jag tänka mig det många gånger har det varit så att man tycker att ledningarna stör, så det är klart att syns de lite och smälter in på ett bra sätt i miljön så tänker man inte på dem på samma sätt.

Finns det risk för att trafikolyckorna ökar om kontaktledningen blir mindre synlig?

Mattias Östman: Det tror jag inte. De som river ner ledning är inte omedvetna om ledningen utan snarare omedvetna om sin egen höjd.

Dennis Sköldborg: Ja. Det är som jag sade innan att det är det. Vi har dessutom med trafikkontorets godkännande hängt upp extra flaggspel ute i Mölndal på en korsning där det är stor risk att det kommer höga transporter. Just för att markera att här hänger det en kontaktledning. Då har vi hängt upp gula flaggor som markerar kontaktledningen.

Hans Cruse: Det som är mest signifikant för spårvägen är ju spåren, och ledningarna ska ju gå på en säker höjd. Så jag vet faktisk inte om det skulle öka eller inte. Jag har svårt att tro att det skulle öka väldigt markant.

Ragnar Hedström: nej det tror jag inte att det har någon koppling. Vad det skulle ha någon koppling med är i sådana fall de lastmaskiner med kranar som är för högt uppe i luften eller arbetsredskap helt enkelt. För nedrivning alltså.

Daniel Segerdahl: Den är redan svår att se, behöver markeras bättre där olika trafikslag korsar varandra, till exempel kranbil.

Finns det risk att en mindre synlig kontaktledning minskar avgränsningen mot övriga trafikslag?

Hans Cruse: Ja där tror jag att den mindre synliga kontaktledningen kanske minskar avgränsningen något. Men samtidigt har man ju ganska mycket annat i anläggningen som fortfarande syns. Spåren till exempel och hållplatser och liknande som ändå syns. Jag tror inte kontaktledningen är det man sitter och tittar efter.

Daniel Segerdahl: Nej.

Tror du att det är lättare för stadens invånare att acceptera ny spårväg om kontaktledningssystemet tar mindre plats i gaturummet?

Mattias Östman: Nej, det tror jag inte gör någon skillnad.

Dennis Sköldborg: Jag tror inte det är någon annan än arkitekter och vi som tittar på vad det är för kontaktledningsupphängning. Frågar du turister om det så är det ingen som lägger någon större vikt vid hur kontaktledningen ser ut.

Hans Cruse: Ja det tror jag absolut. Framförallt om man får den anläggningen att smälta in i gaturummet på ett annat sätt genom att man till exempel spänner ledningar mellan husen istället för att köra med jättestora betongfundament. Så det tror jag absolut, och det återigen ser man ju i Frankrike där man har kört med andra elförsörjningslösningar som till exempel APS. Då har ju motståndet minskat rätt rejält. Men det är kanske ingenting man ska satsa på i Sverige.

Ragnar Hedström: Ja det tror jag absolut. Spårvägen tar ju sin plats, och ska man dessutom ha alla kontaktledningar som stör. Det finns många exempel på när det är ett gytter av ledningar kors och tvärs. Det tror jag kan störa. Vissa personer i alla fall. Ja där tror jag när det gäller den här biten med kontaktledningen och designen och upplevelsen av gaturummet så tror jag att man ska koppla in arkitekter. Så att man får en helhetssyn på det.

Daniel Segerdahl: Ja, men gnissel är ett mycket värre problem, kontaktledning är sekundärt. Både ja och nej. Ingen vill ha ett väggfäste i sin fasad, men heller inte en kontaktledningsmast framför sitt hus. Men generellt, ja det hade varit bra.

Har man kunnat konstatera att ett onormalt högt slitage på kolsslitsskena/strömavtagare på Göteborgs Spårvägar?

Dennis Sköldborg: Nej, det kan jag nog inte säga. Dels har vi inte den uppföljningen så att man hade kunnat jämföra vilka vagnar som går var. Det hänger nog mer i så fall på sick-sack-fördelningen som gör att du får ett slitage på skenan. Det som man skulle kunna tänka sig är att strömavtagaren får

mekaniska skador på själva nedfunktionen och alltså får ett annat motstånd. Men vi har inte den uppföljningen så att vi skulle kunna avgöra vad orsakerna kommer ifrån.

Daniel Segerdahl: Finns ingen direkt återkoppling mellan projektör och vagnens underhåll, men gnistbildning återkopplas i viss mån och där försöker man bygga bort problemområden. Slutsatsen är: i stor beror det på fast avspänning, men med skarpa radier hjälper det inte alltid med rörlig avspänning. Man bör titta på att separera ifrån kryss mm. Och där använda sig av korta sektioner som antingen är fast- eller rörligt avspända (vi har ofta för långa sektionslängder för att fast avspänning ska bli hanterbart).

Har man kunnat konstatera fall av nedriven körtråd till följd av fast avspänning?

Dennis Sköldborg: Nej. Det kan jag inte säga.

Daniel Segerdahl: Ja, men sällsynt (kommer inte ihåg var senaste ras pga. detta hände).

Vilken är den maximala sektionslängden för en fast avspänd körtråd?

Dennis Sköldborg: 800 meter. Men om man ska prata sektionslängd så finns det vissa platser i staden där det egentligen inte finns någon sektion, ack vare att den egentligen bara är pålagd och så hänger den hela vägen utan någon avväxling eller avspänning alls på tråden. Så att i dessa lägen prata om sektionslängder är svårt, men annars är det 800 meter som är en maxsträcka.

Daniel Segerdahl: Fungerar inte så (inga riktlinjer). Man spänner av kontaktledningen vid kryss och skarpa radier.

Vilket är det maximala tillåtna nedhänget som tillåts vid projektering?

Dennis Sköldborg: Vid projektering? Vid projektering så räknar man nog med att det vid montering inte finns större nedhäng än 10 cm. Men vi tillåter 25 cm nedhäng innan vi gör en åtgärd.

Daniel Segerdahl: Vid montage av bärtrådar, indirekt upphängning: Till skillnad från järnväg så tillåts 0 mm nedhäng (även negativt nedhäng, man justerar efter spår och varje bärtråd justeras på plats). För direktupphängd regleras upphängningspunkten till 5,20 m. Med andra ord, lite si och så med det.

Vilket temperaturområde ska en avspänning klara?

Dennis Sköldborg: Där räcker det med plus minus 40 grader när man konstruerar det. Fast här i Göteborg mäter vi nog inget annat än plus minus 20. När vi monterar och när vi mäter här i Göteborg så tittar vi aldrig på mer än plus minus 20. Konstruktionsmässigt när du bygger och konstruerar den så tittar man på större temperaturvariation.

Daniel Segerdahl: Finns inget, men jag följer Trafikverkets regler.

Den maximala laterala förskjutning nämns till +/-400mm inklusive vindhastigheten, vilken vindhastighet räknar Göteborgs Spårvägar på då?

Dennis Sköldborg: Nej det vet jag inte, men det är inget bekymmer. För att plus minus 400 är i upphängningspunkten, och allting däremellan är mindre än 400 mm.

Daniel Segerdahl: Finns inget, men jag följer Trafikverkets regler.

4 Beräkningar för avspänning

I det här kapitlet reder vi ut vilka krav som ställs på ett kontaktledningssystem och vilka specifika krav som gäller för avspänningsanordningar på Göteborgs spårväg.

4.1 Kontaktledningens laster

Kontaktledningen utsätts för naturens påfrestningar där vind, temperatur och isbildning har en betydande roll i utformningen av en korrekt inspänd kontaktledning. Kontaktledningar är liksom vanliga ledningar kopplade till Svensk Elnätsstandard SS EN 50149:2012 som i sin tur grundar sig i Europa normen EN 50149:2012. Dessa ligger till grund för hur man räknar på kontaktledningar ibland annat Siemens bok *Contact Lines for Electric Railway* (Kiessling et al. 1995) samt *Lärobok i kontaktledning* utgiven av Banverket numera Trafikverket (Banverket, 2006). Kontaktledningens laster delas in i vertikala och horisontella laster, som beskrivs i det här kapitlet.

För exempelberäkningar har vi satt följande ingångsvärden, dels med avseende på klart fastställda krav samt genom intervjuer och en del beräkningar.

Inspänningskraft (H): 7100N

Sektionslängd/2 (L): 500m

Tvårsnittsarea (A): 100mm²

Elasticitetsmodul (E): 117 GPa

Längdutvidgningskoefficient koppar (α): $17 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

Temperaturområde (ΔT): 80°C ($\pm 40^\circ\text{C}$)⁴

Spannlängd (l): 30 meter

Inspänningsförlust: max 10 %

⁴ Intervju Dennis Sköldborg

4.1.1 Inspänningskraft

Följderna av inspänningskraften är att ju hårdare inspänd kontaktledningen är desto snabbare kan du köra på systemet. Nackdelen med en hårt inspänd kontaktledning är att stolpar och annan utrustning längs med kontaktledningen utsätts för högre laster (Banverket, 2006). Den maximala inspänningskraften genom kontaktledningens maximala stresstålighet och tvärsnittsarea, formel 1.

$$F_{per} = \sigma_{per} * A \quad (1)$$

Faktorer som spelar roll är för den maximala stresståligheten är ledningens minimala stresstålighet (min), temperatur och vind (temp) och islast (load) samt en del komponenters effektivitet (eff) såsom skarvar (joint) och klämmor (clamp) och trådens utmattning (wear). Detta är inget som kommer att få en grundligare förklaring men är värt att känna till att man dimensionerar för enligt rådande Europa normer. Den maximala stresståligheten fås genom att ta hänsyn till ovannämnda laster och kan ses i formel 2.

$$\sigma_{per} = \sigma_{min} * 0,65 * k_{temp} * k_{wear} * k_{load} * k_{eff} * k_{clamp} * k_{joint} \quad (2)$$

Den tillåtna inspänningskraften i kontakttråden får inte överstiga 65 % av den nominella draghållfastheten då får Göteborgs spårvägars kontakttråd inte utsättas för mer än ca 23kN. Detta förhåller sig till relativt högt mot den inspänningskraften som används idag, hänsyn är då inte tagen till säkerhetsmarginaler. Räknar man på ett hypotetiskt scenario fås följande, med värden plockade ur (Kiessling et al., 2001) som härstammar i krav från EN 50119, insatt i formel 2.

För rörlig avspänning:

$$\sigma_{per} = 355 * 0,65 * 0,9 * 0,8 * 0,9 * 1 * 1 * 1 * 1 = 149,526 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{per} = 149,526 * 100 = 149526 \text{ N}$$

För fast avspänning:

$$\sigma_{per} = 355 * 0,65 * 0,9 * 0,8 * 0,77 * 0,8 * 1 * 1 * 1 = 102,342 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{per} = 102,342 * 100 = 102342 \text{ N}$$

Det är önskvärt att kontaktledningsavspänningen ger rätt inspänningskraft som framgått för indirekt upphängning på egen banvall uppgå till 7,1 kN för kontakttråd och 7,1 kN för bärlina, alltså totalt 14,2 kN. Då fast avspänning föreligger har via kommit fram till att man drar till stolparna böjer sig vilket sker vid ungefär 4-7 kN. Vid direkt upphängning med rörlig avspänning har vi

med hänvisning till EN 50119 genom (Kiessling et al., 2001) kunnat konstatera att kontakttråden på Göteborgs spårvägar klarar vid rörlig avspänning max nästan 15 kN. Vid fast avspänning fås då ungefär 10 kN. Vi har ändå valt att räkna med 7,1 kN för att undvika komplikationer med stolpars böjningsmoment oavsett vilken standard- eller rundmast som används. Där framgår att maximalt böjningsmoment för olika stolpar varierar från 57-157 kNm för en infästning av avspänningsanordning på 7 meter vilket ger maximala inspänningskrafter om cirka 8-22kN (Trafikkontoret, 2002).

4.1.2 Längdutvidgning

En viktig del att ta hänsyn till när man väljer avspänningsutrustning eller dimensionerar sin avspänningsutrustning är den termiska längdutvidgning, genom denna vet man vilken draglängd avspänningsutrustningen måste klara. Den termiska längdutvidgningen uppstår då temperaturen sjunker eller ökar vilket leder till en expansion eller kontraktion av ledningen (Kiessling et al., 2001).

Det finns också en elastisk längdutvidgning som uppstår till följd av att kontaktledningen utsätts inspänningskraft/dragpåkänning, då kommer den att töjas ut (Kiessling et al., 2001).

Termisk längdutvidgning formel 3: α längdutvidgningskoefficient [K^{-1}], L kontaktledningslängd [m] och T temperatur [$^{\circ}C$].

$$\Delta L_w = \alpha L (\Delta T) \quad (3)$$

En kables längdutvidgning är beroende av längden på kontaktledningen och längdutvidgningskoefficienten inom ett givet temperaturintervall. Använder vi formel 3 ska en avspänningsutrustning som monteras med Göteborgs Spårvägars montagekrav om $\pm 40^{\circ}C$ projekteras, kopparns längdutvidgningskoefficient samt en kontaktledningslängd på 500 m ska då klara en draglängd på 0,68 meter.

$$\Delta L_w = 17 * 10^{-6} * 500(40 - (-40)) = 0,68 \text{ m}$$

Tabell 11 visar olika kontaktledningslängder och temperaturintervall. I samtal med Sweco Rail Väst är det önskvärt att projektera längre sektioner för 500 meter och den är gråmarkerad.

Tabell 11. Termisk längdutvidgning

Kontaktledningslängd (m)	200	300	400	500	600	700
ΔT (°C)	Termisk längdutvidgning (m)					
40	0,133	0,199	0,266	0,332	0,398	0,465
50	0,166	0,249	0,332	0,415	0,498	0,581
60	0,199	0,299	0,398	0,498	0,598	0,697
70	0,232	0,349	0,465	0,581	0,697	0,813
80	0,266	0,398	0,531	0,664	0,797	0,93
90	0,299	0,448	0,598	0,747	0,896	1,046
100	0,332	0,498	0,664	0,83	0,996	1,162

Elastisk längdutvidgning är till följd av att kabeln utsätts för ett drag i ena änden medan den hålls fixerad i den andra genom en avankring. Kontaktledningens längd ökar elastiskt till följd av belastningen.

Elastisk längdutvidgning formel 4: L kontaktledningslängd [m], H inspänningskraft [N], E elasticitetsmodul [Pa] och A tvärsnittsarea [m²].

$$\Delta L_E = L \frac{(H - H_0)}{(EA)} \quad (4)$$

I formel 4 för vi in koppars elasticitetsmodul, tvärsnittsarea, kontaktledningslängd samt den föränderliga inspänningskraften från 0 till 7,1 kN. Då fås ett uttöjning på 0,3 meter. I Tabell 12 framgår uttöjningen för några olika kontaktledningslängder där kontaktledningen utsätts för dragpåkänning från att inte ha varit spänd överhuvudtaget.

$$\Delta L_E = 500 \frac{(7100 - 0)}{(117 * 10^9 * 100 * 10^{-6})} = 0,3034 \text{ m}$$

Tabell 12. Elastisk längdutvidgning

Kontaktledningslängd (m)	200	300	400	500	600	700
Elastisk längdutvidgning (m)	0,121	0,182	0,243	0,303	0,364	0,425

4.1.3 Horisontella krafter

Horisontella krafter uppstår i kurvor, då tråden sick-sackas (lateral förskjutning), när kontaktledning går till avankring eller avspänning. Denna horisontella kraft påverkar stolpar då kraften är vinkelrät mot stolpen. Det uppstår också horisontala krafter på grund av vinden vilket inte tas i beaktning. Beaktar man dessa horisontella krafter och med deras vridmoment på stolpar med utliggare och tillsatsrör så kan man också beräkna inspänningsförluster till följd av dessa. Upphängningspunkter och mekanisk viktavspänning bidrar till inspänningsförluster då de består av rörliga delar som ger friktionsförluster (Kiessling et al., 2001).

Sick-sack är namnet på lateral förskjutning och bidrar till inspänningsförluster genom att stolparna utsätts för en kraft som skapar ett böjmoment då de drar kontaktledningen i sidled. En rak sektion är det optimala fallet med enhetliga spannlängder och jämn sick-sack (Kiessling et al., 2001).

Formel 5 används för att beräkna denna horisontella reaktionskraft H inspänningskraft [N], b lateral förskjutning [m] och l spannlängd [m].

$$\text{Horisontal reaktionskraft}_i = 4 * H * \frac{b}{l} \quad (5)$$

Den horisontella kraften till en stolpe från sick-sack på rakspår utifrån formel 5 vid tillåten lateral förskjutning b på 0,4m, inspänningskraft H på 7,1kN och spannlängd l på 30 meter.

$$\text{Horisontal reaktionskraft}_i = 4 * 7100 * \frac{0,4}{30} = 378 \text{ N/m}$$

Alternativet är där spannlängder och lateral förskjutning varierar:

$$\text{Horisontal reaktionskraft}_i = 4 * H * \left(\frac{b_i - b_{i-1}}{l} + \frac{b_i - b_{i-1}}{l_{i+1}} \right) \quad (6)$$

Tabell 13. Horisontal reaktionskraft. Rak trådföring.

Horisontal reaktionskraft (kN)						
Sick-Sack (mm)	Spannlängd (m)					
	15	20	25	30	35	40
100	0,187	0,140	0,112	0,093	0,080	0,070
200	0,373	0,280	0,224	0,187	0,160	0,140
300	0,560	0,420	0,336	0,280	0,240	0,210
400	0,747	0,560	0,448	0,373	0,320	0,280
Inspänningskraft 7kN						

Som kan ses i tabell 13 utifrån formel 5 fås horisontella krafter i upphängningspunkter som varierar med avseende på sick-sack och spannlängd samt inspänningskraft. Längre spannlängder och minskat sick-sack ger att de horisontella krafterna minskar.

I Tabell 14 visas på problemen med rörligt avspänd kontaktledning i kurva och vad som händer med den horisontella reaktionskraften mot stolpen. Detta förtydligas genom tabell 14 över några olika radier och spannlängder. Formel 7 avser en förenklad kurva med några olika spannlängder utan ytterliga lateral förskjutning H inspänningskraft [H], l spannlängd [m] och R radie [m]. Exempelberäkning gäller inspänningskraft på 7000 N, spannlängd 30 meter och radie 400 meter då fås en horisontal reaktionskraft på 525 N, gråmarkerad i tabell 14..

$$\text{Horisontal reaktionskraft}_i = H \frac{l}{R} \quad (7)$$

$$\text{Horisontal reaktionskraft}_i = 7000 * \frac{30}{400} = 525 \text{ N}$$

Alternativt vid olika spannlängder:

$$\text{Horisontal reaktionskraft}_i = H \frac{(l_i - l_{i+1})}{2R} \quad (8)$$

Tabell 14. Horisontal reaktionskraft. Vid trådföring i kurvor.

Horisontal reaktionskraft (kN)						
Spannlängd (m)						
Radie (m)	15	20	25	30	35	40
100	1,050	1,400	1,750	2,100	2,450	2,800
200	0,525	0,700	0,875	1,050	1,225	1,400
300	0,350	0,467	0,583	0,700	0,817	0,933
400	0,263	0,350	0,438	0,525	0,613	0,700
Inspänningskraft 7kN						

Enligt tabell 14 ökar de horisontella krafterna i upphängningspunkterna med ökande spannlängder och mindre radier.

Mot fast avspänning och rörlig avspänning.

$$\text{Horisontal reaktionskraft}_i = H \frac{(l_{Ai} - z_i + z_{i+1})}{l_{i+1}} \quad (9)$$

När kontaktledningen går till en mittpunktsavankring använder vi istället.

$$\text{Horisontal reaktionskraft}_i = H \frac{(l_{Ai} - z_i + z_{i+1})}{l_i} + \frac{(l_{Ai} - z_i + z_{i+1})}{l_{i+1}} \quad (10)$$

Summeras dessa horisontella krafter ut i stolpar på rakspår och i kurvor kan vi ta reda på hur mycket inspänningsförluster geometri och sick-sack ger totalt. Denna totala förlust, innan mittpunktsavankringen, ska inte överstiga 7-8 % därför att viktavspänning bidrar till egna inspänningsförluster (Kiessling et al., 2001). Trafikverket uppger att den maximala inspänningsförlusten får uppgå till 10 % (Banverket, 2006). Det som ger kraftförlust är till följd av snedställningen hos utliggare med tillsatsrör och att längdutvidgningen förs in i beräkningen. Utan någon närmare inblick i hur detta beräkningsflöde går till använder vi den maximala inspänningsförlusten som dimensionerande värde i kravanalysen. Formel 11 används vid beräkning av total inspänningsförlust och beräknas spann för spann (Kiessling et al., 2001).

$$\Delta H_R = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{F_{Hi} * \Delta L_i}{l_{Ai}} \quad (11)$$

4.1.4 Vertikala krafter

Kontaktledningens permanenta eller statiska vertikala last inkluderar sin egen vikt benämns som död last, hänsyn tas till bärlina, bärtrådar, klämmor och skarvar i ett hängverk som sedan approximeras för alla spann. Isbildning spelar en viktig roll då den ökar ledningens vikt och därmed också den last som påverkar upphängningspunkter. Följden av kontaktledningens egen vikt bidrar till nedhäng som är direkt kopplat till olika fenomen i kontakten mellan strömvtagare och kontakttråd. Då vi har valt att fokusera på direkt upphängning så räknas det bara på kontakttråden.

Död last

För kontakttråden som används på Göteborgs spårvägar för nyprojektering med avseende på gatumiljö och direkt upphängning är en E-Cu 100mm² kabel med en död last om 8,73 N/m. Används för beräkning av nedhäng vilket går in på här. Det används också vid dimensionering av upphängningspunkter och tvärtrådsberäkningar vilket rapporten inte går in närmre på.

Tabell 15. Produktdata kabel typ E-cu 100mm²

E-Cu (Cu-ETP) 100mm ²		
m'	0,89	kg/m
g	9,81	m/s ²
G'	8,73	N/m

$$G' = m' * g \quad (12)$$

Isbildning på kontaktledningen förekommer vid låga temperaturer och ger ett tillägg till ledningens egen vikt.

$$G'_{is} = 5 + 0,1d \quad (13)$$

Då hänsyn tas till isbildning summeras formel 12 och 13.

$$G'_{is} = G' + G'_{is} \quad (14)$$

Nedhäng

Nedhäng uppstår till följd av kontaktledningens egenvikt och är en av de viktigaste följderna av den vertikala lasten.

Kontaktledningens nedhäng är störst på spannmitt och beräknas utifrån formel 13 med hänsyn till formel 12. En sammanställning över olika spannlängder och inspänningskrafter ges i tabell 16.

$$G' = m' * g \quad (12)$$

$$f_{max} = l^2 \frac{G'}{8 * F_{per}} \quad (13)$$

$$G' = 0,89 * 9,81 = 8,73 \text{ N/m}$$

$$f_{max} = 30^2 \frac{8,73}{8 * 7100} = 0,138 \text{ m} \approx 138 \text{ mm}$$

Tabell 16. Nedhäng vid varierande spannlängd och kraft

Nedhäng (mm)								
	Spannlängder (m)							
Kraft (kN)	15	20	25	30	35	40	50	60
6	41	73	114	164	223	291	455	655
7	35	62	97	140	191	249	390	561
8	31	55	85	123	167	218	341	491
9	27	49	76	109	149	194	303	437
10	25	44	68	98	134	175	273	393
12	20	36	57	82	111	146	227	327
15	16	29	45	65	89	116	182	262

Med maximal tillåten 10 % minskning i inspänningskraften då friktionsförluster uppstår i kontaktledningen till följd av avspänning, sick-sack och kurvor fås en ökning av kontaktledningens nedhäng. Formel 13 används här med 10% minskning av inspänningskraften.

$$f_{max} = 30^2 \frac{8,73}{8 * (7100 - (0,1 * 7100))} = 0,1537 \text{ m} \approx 154 \text{ mm}$$

Detta relaterar inte till det maximala nedhäng enligt systemtoleransen för systembeskrivning för ST 7,1/7,1 kN som ger ett nominellt värde på 40mm nedhäng som vid 30 meters spann ger ett maximalt nedhäng på 20mm, detta gäller för en kontaktledning med både bärlina och kontaktråd samt STH

140km/h (Trafikverket, 2014). Kravet är lägre vid projektering på Göteborgs spårväg där nedhäng projekteras till max 100mm⁵.

Med hjälp av upphängningspunkter i form av deltalina spannets nedhäng minskas genom att förflytta infästningen (Kiessling et al., 2001). Vid en 5 meters upphängningsanordning fås istället en skenbar spannlängd som är totalt 5 m kortare inom varje spann. Långa deltaliner, som de på 16 meter som snarare liknar bärlina med bärtrådar, som används på vissa ställen i Göteborg uppvisar dock problem med att klara detta då upphängningen blir alltför mjuk⁶.

$$f_{max} = 25^2 \frac{8,73}{8 * 7100} = 0,096 m \approx 96mm$$

$$f_{max} = 25^2 * \frac{8,73}{8 * (7100 - (0,1 * 7100))} = 0,1067m \approx 107mm$$

⁵ Intervju Dennis Sköldborg

⁶ Intervju Mattias Östman

Vågutbredning

Vågutbredning uppstår till följd av friktion mellan kontakttråd och strömvtagare. Då strömvtagaren ligger an mot kontakttråden utan att massa förflyttas kommer en våg att starta. Den våg som bildas i kontaktledning får en viss hastighet som beräknas enligt formel 14. Spårvagnens hastighet får inte vara större än 70% av vågutbrednings-hastigheten (Banverket, 2006).

$$v = \sqrt{\frac{H}{m}} \quad (14)$$

$$v = \sqrt{\frac{7100}{0,89}} = 89,3 \text{ km/h}$$

$$v * 0,7 > STH$$

Tabell 17. Vågutbredningshastighet för olika inspänningskrafter

Vågutbredningshastighet							
Inspänningskraft (kN)	15	10	8	7	6	5	4
STH Max (km/h)	91	74	66	62	57	52	47

Som kan ses i tabell 17 utgör vågutbredningshastigheten inget problem för spårväg då STH är maximalt 60km/h.

4.2 Underhållet

Utifrån de få uppgifter vi har kunnat få fram via intervjuer så kan vi konstatera att underhållsbehovet på Göteborgs spårvägars kontaktledning i form av justering av nedhäng inte är så stort som vi hade väntat oss. Utifrån intervjuer har vi kunnat konstatera vissa oklarheter finns men att det handlar om 120 arbetstimmar⁷ till 200 arbetstimmar⁸. Med utgångspunkt från att en arbetad timme borde ge en totalkostnad inklusive arbetsgivaravgifter på 500-1000kr, där uppgett i samtal att timpriset är 604kr/h⁸, kan vi göra ett enklare räkneexempel för att väldigt grovt bilda oss en uppfattning om hur mycket pengar som läggs på att justera den fasta avspänningen per år:

Tabell 18. Kostnadsuppskattning underhåll av fast avspänning

Antal timmar	500kr/h	604kr/h	1000kr/h
120	60000 kr	72480 kr	120000 kr
200	100000 kr	120800 kr	200000 kr

Vi kan alltså konstatera att enligt vår uppskattning så läggs någonstans mellan 60000–200000 kr i arbetskostnad på att justera in kontaktledningen, exklusive eventuella maskinkostnader för korgliftar och dylikt.

I intervjuerna framkommer det även att det även att det i den fastmonterade upphängningspunkterna uppstår punktslitage på kontaktledningen⁸. Detta medför kostnader för underhåll och material, men hur mycket har vi inte haft möjlighet att utreda.

I våra intervjuer och i vår analys framkommer det att vi kan förvänta oss ett minskat underhållsbehov med en rörlig avspänning, åtminstone på de sträckor där det går att nyttja den rörliga avspänningen ordentligt utan att den begränsas av korsningar eller alltför många kurvor eller för långa ledningar.

I en rapport angående underhåll på europeiska spårvägar konstaterar konsultfirman Trivector att Göteborg både har flest spårkilometer, och framförallt överlägset flest spårväxlar bland de städer som ingått i studien. I rapporten anges även underhållskostnaden för Göteborg till 77 miljoner kronor per år, och en totalkostnad inklusive drift på ca 160 miljoner kr/år. Då staden har ca 160 km spårväg ger det en snittkostnad på 1 miljon kr per spårkilometer. För Norrköping anges denna siffra till ca 440 000 kr per spårkilometer, vilket alltså är mindre än hälften av Göteborgs kostnad. I

⁷ Intervju Mattias Östman

⁸ Intervju Dennis Sköldborg

rapporten spekuleras kring varför skillnaden är så stor, och investeringstakt och förmodade skillnader i vilka kostnadsposter och kontering som bokförs var tas upp om möjliga anledningar (Trivector, 2009).

5 Analys

Här sammanställs de beräkningar som utförts och kommentarer kring underhållet. Vi försöker även beskriva problematiken kring avspänningen av korsningar, analysera hur en avspänningsanordning påverkar sin omgivning visuellt samt analysera ett antal scenarion där rörlig avspänning skulle kunna vara aktuellt att installera.

5.1 Produktjämförelse utifrån beräkningar

Utifrån givna exempelberäkningar sett utifrån kontaktledningens laster har vi kunnat komma fram till följande vad som avser kraven på en rörlig avspänning med hänsyn tagen till erforderlig inspänningskraft för att väga upp nedhäng och draglängd till följd av termisk längdutvidgning. De gråmarkerade avspänningsanordningarna klarar att spänna av 500 meter.

Tabell 19. Produktjämförelse viktavspänning

Viktavspänning					
	utväxling	Inspänningskraft	Draglängd	Sektionslängd	Spannlängd
Elektroline TMKR100a	1:3	<24kN*	1500mm*	<1130m*	35m*
Elektroline TMKR100b	1:3	<24kN*	1500mm*	<1130m*	35m*
SAS Galland JG2072	1:3	<21kN	900mm	<678m	35m
SAS Galland JG1892	1:3	<26kN	900mm	<678m	35m
Siemens 8WL5078-0A	1:3	<24kN	1500mm	<1130m	35m
Siemens 8WL5078-2	1:3	<24kN	1500mm	<1130m	35m
Siemens 8WL5078-3	1:1.5	<24kN	2300mm	<1732m	35m

*Har ej gått att få tag på produktdatablad men antas vara likartad Siemens modeller.

Tabell 20. Produktjämförelse Fjäderavspänning

Fjäderavspänning				
	Inspänningskraft	Draglängd	Sektionslängd	Spannlängd
Tensorex TR450	7,5kN	450mm	<339m	25m
Tensorex TR750	7,5kN	750mm	<565m	25m
Tensorex C+	7,5kN	450mm/750mm	<339m/<565m	25m
Tensorex Phantom	7,5kN	1000mm	<753m	25m
Siemens 8WL8037-0	6-10kN	90mm	<68m	25m
Siemens 8WL8037-1	6-10kN	160mm	<120m	25m
Siemens 8WL8037-2	6-10kN	230mm	<173m	25m
Tekki NS80-1	7,84kN	510mm	<384m	25m

Tabell 21. Produktjämförelse gasavspänning

Gasavspänning				
	Inspänningskraft	draglängd	Sektionslängd	Spannlängd
SAS Galland 480Aero	<40kN	480mm	<361m	35m
SAS Galland 1000Aero	<40kN	1000mm	<753m	35m
Brecknell Willis GT	<30kN	500mm-1250mm	<377-941m	35m

5.2 Problematiken kring införandet av rörlig avspänning

5.2.1 Korsningar

Att införa rörlig avspänning på sträckor med korsningar som i övrigt är fast avspända är inte helt okomplicerat. Införs enbart rörlig avspänning i en enskild riktning riskeras att korsningens kontaktledningscentrum förskjuts i förhållande till spårmit, vilket kan vålla stora problem om en spårvagns strömavtagare hamnar vid sidan om kontaktledningen och trasslar in sig, med nedrivning och skador som följd. För att undvika detta måste således denna potentiella förändring tas i beaktning när rörlig avspänning ersätter fast avspänning. Nedan går ett antal typfall igenom och analyseras. Dock ska nämnas att det i verkligheten sällan är så enkelt som dessa figurer visar.

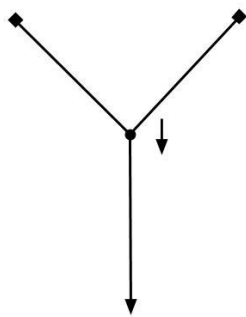
Det som sker vid temperaturförändring hos kontaktledningen är att den ändrar längd i längdled. Vid helt fast monterad kontaktledning blir då konsekvensen att den antingen spänns upp mer när temperaturen minskar, eller att den ökar i längd (vid temperaturökning) och börjar hänga ner mer. Vid rörlig avspänning är tanken att denna längdförändring ska tas upp och neutraliseras av avspänningsanordningen. Problemen uppstår när det blandas både fast och rörlig avspänning i samma system.

I första, enklaste situationen har vi en enkel ledning med fast montering i ena änden (fyrkant), och rörlig i andra (pil). Kontaktledningscentrum är markerat med en prick. Här uppstår inget problem av att det monteras en rörlig avspänning i ena änden. Även om centrum flyttas (liten pil) så påverkar det inte kontaktledningens läge i förhållande till spårmit.

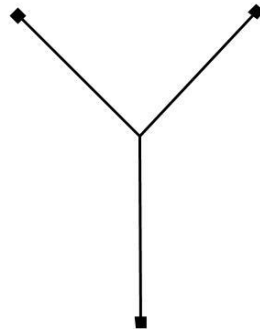


Figur 29. Rörlig avspänning, en linje.

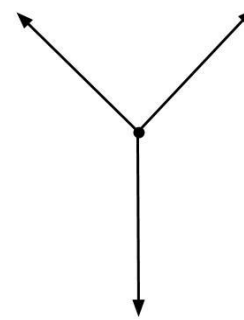
Ersätts däremot en av tre fasta med en rörlig vid en trevägskorsning uppstår problem. Då syns det tydligt att korsningscentrum riskerar att förflyttas när det sker längdutvidgning i alla tre ledningarna, men överskottet bara tas upp i den rörliga avspänningen. Samma problem uppstår även när två av tre ersätts med rörlig avspänning.



Figur 32. Trevägskorsning. En rörlig avspänning.

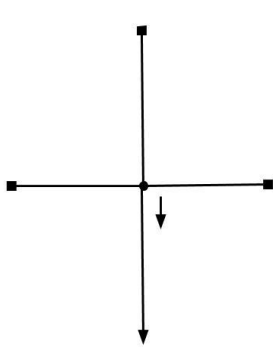


Figur 32. Trevägskorsning. En rörlig avspänning.

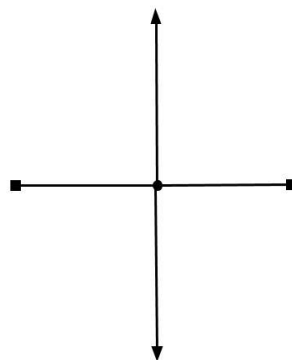


Figur 32. Trevägskorsning. Rörlig avspänning i alla riktningar.

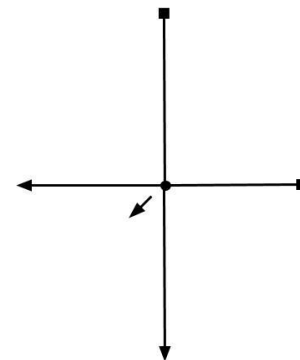
Problemet blir ytterligare komplext i fyrvägskorsningar. Fördelen där är dock att det är fullt möjligt att ha rörlig avspänning i endast två riktningar utan att det förflyttar rörelsecentrum, förutsatt att de placeras så att rörelseriktningarna är motsatta varandra.



Figur 35. Fyrvägskorsning. En rörlig avspänning.



Figur 35. Fyrvägskorsning. Två motsatta rörliga avspänningar.



Figur 35. Fyrvägskorsning. Två ej motsatta rörliga avspänningar.

I verkligheten begränsas problemet till viss del av dels de korta spannlängder som används i korsningar, dels den stora mängd tvärtrådar som kontaktledningen vanligtvis bärs upp av i större korsningar. Men det är trots det viktigt att problematiken tas i beaktning vid projektering.

5.2.2 I befintlig stadsmiljö

Det finns ett antal svårigheter med att bygga i befintlig stadsmiljö. Då det ofta anses förfulande att montera modern teknik i gamla stadsmiljöer uppstår ett problem med att få anordningarna att passa in i den estetik som gällde då gaturummet uppfördes. Det kan vara trångt i gaturummet vilket begränsar möjligheterna ytterligare. Många gamla fasader är inte i skick för att det ska kunna monteras väggfästen utan att dessa skadas och många fastighetsägare är negativa till att det görs åverkan i fasader. Därtill tillkommer att det ofta finns träd och annan plantering som önskas skyddas.

5.3 Visuell analys

5.3.1 Varför estetik är viktig

En stor del i hur en spårväg uppfattas i en stad handlar om hur väl spårvägens komponenter samverkar med den befintliga stadsmiljön. För kontaktledningen och dess komponenter innebär alltså detta att de ska smälta in. Besier omnämner i artikeln "Kontaktledningar i stadsbilden" (Besier, 2015) att "Grundinställningen bör vara att tekniska installationer för spårvagnarnas krafttillförsel ska dra till så lite uppmärksamhet som möjligt. Om arkitektoniskt viktiga fasader helt eller delvis skymms, eller stadsbilden i övrigt påverkas negativt, får hela trafiksystemet dålig image." och att "Hur kontaktledningen för en spårväg, och dess komponenter, utformas är av stor betydelse för stadsbilden" (Besier, 2015).

I Rapporten "Reducing the visual impact of overhead contact systems" (Kulpa et al. 1995) tar författarna upp konceptet "nonintrusive overhead contact system design", alltså icke inkräktande kontaktledningsdesign och listar upp sex punkter som ett icke inkräktande system skall uppfylla:

1. Det är välintegrerat med gatumiljön och upplevs ha varit en del av den ursprungliga designen för gaturummet
2. Det bidrar inte till virrvarret av stolpar och kablar mer än nödvändigt.
3. Det minimerar det visuella intrycket genom att använda material som upplevs som visuellt "lättare" i textur och form. Till exempel genom att måla stolpar i en färg som smälter in med bakgrunden och genom att använda så smala stolpar som möjligt.
4. Det interagerar med befintlig gatuutrustning såsom trafiksignaler, gatubelysning och busskurer så att olika utrustningsslag kan dela exempelvis stolpe.

5. Enbart helt nödvändiga element skall designas för. Strävan ska inte vara att designa för en eventuell framtida utbyggnad eller liknande, utan enbart optimera för nuvarande situation.
6. Det ska vara responsivt mot hur omgivningen förändras vartefter sträckningen passerar olika stadsmiljöer. Exempelvis kan stolpmodell förändras när gatubelysningen gör det för att smälta in bättre.

Även föreningen Spårvägar i Skåne (SPIS) menar på att “Kontaktledningen bör ägnas stor estetisk omsorg för att den inte ska upplevas som ett störande moment i stadsmiljön”(Andersson, et al. 2010). I rapporten *Den goda staden: Guide för spårvägsetablering* beskriver Johansson och Lange (Johansson & Lange, 2009) om staden Nice som ett gott exempel på hur störande avspänningsanordningar kan döljas genom att monteras inne i stolpar.

Utifrån detta kan det alltså härledas att den estetiska aspekten hos en avspänningsanordning är av betydelse. Att välja en lösning som smälter in i stadsbilden är av stor vikt för att den skall bli accepterad av invånarna.

5.3.2 Analys

Här görs en analys av hur väl olika lösningstyper smälter in i sin gatubild. Analysen görs med hjälp av bilder sammanställda via Google Maps och från produktblad. Liknande gatubilder från olika platser med olika avspänningsanordningar jämförs utifrån hur de påverkar sitt gaturum visuellt. Analysen tar stöd i rapporten “Reducing the visual impact of overhead contact systems” (Kulpa et al. 1995) och dess definition av icke-intruisiv design. Anordningarna bedöms och poängsätts utifrån följande kriterier:

1. **Hur väl smälter den in i gatubilden?**
Synlig mekanik som skiljer sig från många andra vanliga former i staden.
2. **Kan den kombineras med annan utrustning?**
Möjliggör eller försvårar den för exempelvis tvärtrådar, annan avspänning eller gatubelysning i samma stolpe.
3. **Hur mycket plats tar den visuellt?**
Storlek, vikt och hur mycket den syns i förhållande till sin upphängning i stolpe eller fasad.
4. **Kan den monteras på många olika sätt?**
Hur anpassningsbar är den till sin omgivning? Går den att monteras på/i många olika stolptyper eller fasader?

Tabell 22. Visuell analys av avspänningstyper

Vår visuella analys						
Typ	Fast avspänning	Rak fjäder	Rund fjäder	Gas-avspänning	Viktavspänning inuti stolpe	Viktavspänning utanpå stolpe
1. Hur väl smälter den in i gatubilden?	+++	++	+	0	0	---
2. Kan den kombineras med annan utrustning?	+	+	+	+	-	+
3. Hur mycket plats tar den visuellt?	+++	+	0	0	0	--
4. Kan den monteras på många olika sätt?	++	++	++	+	--	+
Totalt	9	6	4	2	-3	-3
Max: +++, Min: ---						

Utöver detta har vi även genomfört intervjuer med en expertpanel som fått uttala sig om de olika lösningarna och dess visuella intryck. Dessa presenteras under egen rubrik tillsammans med vårt egna resultat.

Tabell 23. Sammanställning av egen och intervjuades visuella ranking.

Resultat visuell ranking				
	Visuell analys	Hans Cruse	Ragnar Hedström	Mattias Östman
1	Fast avspänning	Viktavspänning inuti	Fast avspänning	Fast avspänning
2	Fjäder rak	Gas avspänning	Fjäder rak	Fjäder rak
3	Fjäder rund	Fjäder rak	Fjäder rund	Gas avspänning
4	Gasavspänning	Viktavspänning utanpå	Gasavspänning	Fjäder rund
5	Viktavspänning inuti*	Fast avspänning**	Viktavspänning inuti	Viktavspänning inuti
6	Viktavspänning utanpå*	Fjäder rund**	Viktavspänning utanpå	Viktavspänning utanpå
*Delad plats				
**Ej övervägda/utgår				

Utifrån dessa data kan vi dra lite slutsatser kring avspänningsanordningarnas visuella påverkan. Resultatet av vår egen visuella analys är att de små enkla lösningarna som rak fjäder och fast avspänning, ur ett rent visuellt perspektiv, har en mindre påverkan på gatumiljön än de större mekaniska lösningarna såsom vikter. Näst därefter hittar vi den runda fjädern och sämst ur ett visuellt perspektiv blir vikter monterade utanpå stolpe.

I den rankning som vi ombad våra intervjudeltagare att göra kan vi se att även här dominerar de lösningar som tar liten plats och innehåller lite rörliga delar hamnar högt i samtliga rankningar, medan vikter utanpå stolpe hamnar längst ned i samtliga.

5.4 Konstruktionsscenario

Under den här rubriken tas ett antal scenarion upp där vi utifrån tidigare framkomna fakta i rapporten resonerar kring vilka typer av avspänningsanordningar som är lämpliga i vilken typ av situation. Vi har valt att dela upp det i fyra typfall. I och utanför stadskärnan, på egen banvall och i korsningar. Just dessa har vi valt för att under våra studier av olika städer och lösningar tycks dessa vara de fyra situationer där det tydligast går att se en skillnad i vad som är en lämplig lösning. Vi är dock medvetna om att det givetvis finns gott om andra situationer där detta sannolikt hade kunnat appliceras annorlunda, men anser ändå att dessa 4 scenarion täcker de allra flesta vanliga situationer.

5.4.1 I korsningar

Som tidigare i rapporten konstaterats så är det i dessa situationer som det är som mest komplext att finna en heltäckande lösning på avspänningsproblemet. Ju fler spår som korsar varandras väg, desto svårare blir det att montera in en rörlig avspänning utan att skapa fler problem än som löses med bytet. Speciellt besvärligt blir det såsom i Göteborg kring de platserna med fyrvägs korsningar för dubbelspår. Här fungerar det väldigt bristfälligt att enbart byta ut befintlig fast avspänning mot rörlig, oavsett om det samtidigt monteras in deltaupphängning samtidigt eller inte då lösningen begränsas av att kontaktledningskryssens lägen i förhållande till spår och varandra inte får rubbas.

De enda tekniska lösningar som verkligen eliminerar problemet i korsningar som dessa är att antingen dra om vissa linjer så att det uppstår färre korsningar, eller att montera in en teknisk lösning så att kontaktledningen inte behövs alls. Det kan då handla om APS, batteridrift eller superkondensatorer, och vilken lösning som väljs kan bero på flertalet andra faktorer. Men slutresultatet blir ändå detsamma: Att det inte uppstår problem med nedhäng i dessa komplexa korsningar längre, eftersom det inte finns någon kontaktledning som kan hänga ned.

5.4.2 Egen banvall

Vid spårvägstrafik på egen banvall finns alla möjligheter att välja en teknisk lösning för avspänning som ger ett mer eller mindre underhållsfritt system. I vår utblick har vi tydligt kunnat se att det i större delen av Europa byggs på detta sätt i så stor utsträckning som möjligt vid nybyggnation. Det bör byggas

med egna fristående master där det finns möjlighet att montera rörlig avspänning i form av vikter som ger en fullgod inspänningskraft. De främsta valen förefaller vara vikter monterade antingen i stolpe eller utanpå, alternativt hybridlösningar såsom det har byggts i Norrköping. Fördelarna med att ha vikterna monterade i sidan på en H-balk, alternativt utanpå stolpen är att underhållet underlättas, men det blir å andra sidan oftast lite svårare att bygga det vackert. Här bör en avvägning göras så att det blir så bra som situationen tillåter.

På egen banvall färdas dessutom fordonen ofta i betydligt högre hastigheter än i blandtrafik, vilket även det ställer högre krav på avspänningen än vad de flesta fjäderlösningar kan leverera.

5.4.3 Mitt i centrum/gatumiljö

Inne i staden längs linjerna utgörs det största hindret mot en rörlig avspänning av den direktmonterade upphängningen, vanligtvis i tvärtrådar. Så för att överhuvudtaget kunna övergå till att använda rörlig avspänning så måste det först ändras i upphängningspunkterna till delta- eller pendelupphängning som tillåter mer rörelse i kontaktledningen. I de fall där stolpar eller master används kan även upphängning med tillsatsrör användas för att ge rörligheten. Därefter måste, åtminstone i Göteborg, kontaktledningen sektioneras i tillräckligt korta sektioner för att rörlig upphängning ska ha effekt. Först när detta är åtgärdat är det någon vinning i att börja fundera över rörliga lösningar. Om det på sträckan är tätt mellan kurvorna och dessa dessutom har relativt små radier så tycks vinsten med rörlig avspänning till stor del gå förlorad, då det mesta av överskottet tas upp i den del av upphängningen i kurvorna som har till uppgift att dra kontaktledningen i sidled mot kurvans utsida. För att få effekt i dessa situationer bör sektionenslängden kortas ned ytterligare.

Det vanligaste valet i dessa miljöer har länge varit den raka fjädern, men då den oftast inte räcker till för att uppnå tillräckliga draglängder så är den inte alltid ett bra val, även om den är väldigt diskret. Ett bättre alternativ i dessa fall är den runda fjädern, exempelvis Tensorex C+, som erbjuder tillräcklig inspänningskraft och draglängd utan att bli alltför klumpig. Den kan dessutom monteras i de flesta typer av stolpar och fasader som redan finns i staden. Dock bör det vid fasadmontering noga utvärderas huruvida hållfastheten i själva fasaden är hög nog för att klara krafterna.

5.4.4 Utanför centrum/gatumiljö

Utanför stadskärnan är oftast husen lägre, gatorna bredare och det är ofta svårt att använda tvärtrådar som upphängning för kontaktledningen. Här är det ofta både fördelaktigt och nödvändigt att använda master med utliggare. Då

raksträckorna ofta är längre än inne i centrum så finns det gott om fördelar med att använda en rörlig avspänning.

Där det är möjligt att på ett diskret sätt placera stolpar för ändamålet är viktbaserad avspänning oftast det bästa valet, men det räcker ofta gott och väl med en fjäderbaserad lösning av rund typ för att täcka behovet då hastigheterna sällan är höga. Här får en avvägning göras i enskilda fall för att avgöra vad som är bäst. Finns det gott om plats är mittmonterade master med viktavspänning en stor fördel ur underhållssynpunkt och kan oftast byggas relativt vackert, men saknas utrymmet får tvärtrådsupphängning med deltaupphängning och Tensorex C+ bli första valet.

6 Diskussion

I vår rapport har vi försökt besvara frågor om när och var det lämpar sig att välja fast avspänning respektive rörlig, och hur detta skulle kunna påverka underhållet ur kostnads- och arbetssynpunkt. Det har dock visat sig svårare än vi från början hade föreställt oss. Nedan försöker vi reda ut det hela så gott det går utifrån våra analyser.

6.1 När fungerar vilken lösning?

Utifrån den information vi har lyckats få in, både via litteraturstudien, intervjuerna och våra besiktningar i Google Maps så kan vi dra en del slutsatser, även om frågeställningen har visat sig vara mycket mer komplex än vad vi trodde vid första anblicken.

De största problemen med avspänningen uppstår i situationer där det finns korsande spår eller växlar som gör att kontakttrådar måste kopplas samman i kryss som ofta omöjliggör, eller åtminstone kraftigt försvårar för, rörlig avspänning. I dessa situationer finns det ingen enkel lösning på problemet. Ibland fungerar det att ersätta en fast avspänning med en mindre fjäder eller en rund typ Tensorex C+, ibland ger det ingen effekt. I många av de nyaste spårvägarna i Europa har problemet istället löst genom att bygga bort kontaktledningen helt från platser där den anses vara för störande eller kräva för omfattande upphängningslösningar. Vi håller med om att detta hade varit den bästa lösningen vid nybyggnation, men att den kan bli väldigt kostsam som uppgraderingsmetod. Dock kommer det allt bättre fordon utrustade med batteridrift som förmodligen ändå hade fungerat utmärkt även i Göteborg.

På de sträckor där det går att ha spårvägen på egen banvall är det den överlägset bästa lösningen ur kontaktledningssynpunkt, då det möjliggör för användandet av master och viktupphängning, vilket fungerar utmärkt som

lösning där det finns plats för den. Det finns idag gott om företag som säljer lämpliga stolpar för viktavspänning i stadsmiljö och de används flitigt på kontinenten.

Vi kan också konstatera att det största hindret vid införande av rörlig avspänning är att hela upphängningen först måste åtgärdas. Det är mycket sällan någon nytta i att åtgärda enbart avspänningen utan att samtidigt se till att kontaktledningen får möjlighet att röra sig i längdled vid längd- förändringar. Detta görs framförallt genom att använda deltaupphängning eller pendelupphängning när det kommer till tvärtrådar, där det används stolpar är det utliggare med tillsatsrör. Det läggs också större fokus på att få till sick-sack utomlands där användandet av utdragsarmar är mycket vanligt.

Gällande frågan om den visuella aspekten är och förblir det en fråga om smak och tänk. Generellt antar vi att desto mindre en avspänningsanordning är desto mindre syns den, och det är väl egentligen huvudmålet när det kommer till estetiken. En större visuell analys på avspänningsanordningar hade kunnat genomföras med ett stort underlag ur stadens invånare hade kunnat genomföras. Svårigheter hade dock uppstått då en avspänning inte riktigt gör sig på bild, svaret skulle nog blivit ju mindre desto bättre, vilket även expertpanelen intygat att just fast avspänning är det minst visuellt intruisiva designen på själva avspänningen. Därtill bör tilläggas att avstånden mellan tvärtrådar eller utliggare blir något kortare vid val av fast avspänning och att det gärna hängs upp fler än för få upphängningspunkter. Detta ökar antalet ledningar i luften som kan orsaka problem med nedrivning.

Avspänningsanordningar omnämns ofta i sina produktblad att de är utformade på ett sådant sätt att de försvårar för vandalism. Vandalismsäkrade avspänningar avser viktavspänning där vikterna är placerade inuti stolparna, fjäderavspänning rund och gasavspänning omnämns som vandalismsäkrad och därtill bör fjäderavspänning rak sättas som inte heller har några rörliga delar i markplan.

6.2 Situationen i Göteborg

Kraven på Göteborgs spårvägar från Trafikkontorets Tekniska handbok har inte förfallit sig så tydligt beskrivna som de som anges i Trafikverket systembeskrivning, då Göteborg vid en första anblick inte når upp till dessa krav. Det visade sig emellertid att det var kraven på den fast avspända kontaktledningen som var otydliga, och när man sedan ska dimensionera för en direkt upphängd rörligt avspänd kontaktråd saknas det helt och hållet beskrivna krav.

För att kunna ställa några som helst krav på våra avspänningsutrustningar har vi tagit hjälp av teori och fakta på området dels förvärvade genom utbildningens gång men även tyngre litteratur på området. En kravbild som tar hänsyn till de vanligaste fenomen har kunnat ställas och denna har sedan utgjort underlag för val av avspänningsutrustning. Utifrån denna har vi kunnat konstatera att alla rörliga typlösningar utom de raka fjäderlösningarna uppfyller alla krav. De raka fjädrarna uppfyller inte kraven på draglängd för maximala sektionslängder, men kan ändå användas vid kortare sektionslängder då dragstyrkan uppfyller kraven i övrigt.

Från våra intervjuer med Mattias Östman och Dennis Sköldborg framkommer det att de anser att en hel del av problemen med kontaktledningen, dess upphängning och avspänning grundar sig i att Göteborg är en stad som har ett väldigt gammalt spårvägssystem som långsamt utökats allteftersom med många (olika), till viss del nödartade, lösningar som följd. Spårvägen har helt enkelt byggts efter behovet just då, och uppgraderats bit för bit efter behov. Men inget övergripande arbete har skett för att lyfta standarden till en enhetlig nivå.

De största problemen med kontaktledningsnätet står att finna i de områden som har många korsande spår och hög trafikering i stadskärnan. Som vi i vår analys har visat så är det problematiskt att lösa nedhäng i dessa korsningar med rörlig avspänning utan att göra andra stora korrekationer på upphängning och övrigt montage.

Utifrån vad vi har kunnat observera utomlands, är metoden för att lösa korsningsproblematiken helt enkelt ta bort kontaktledningen helt på vissa sträckor, varit väldigt framgångsrikt. Det som skulle kunna vara ett hinder för att göra det i Göteborg är att staden, som Mattias Östman antyder i sin intervju, har ett kapacitetsproblem och därmed eventuellt inte i dagsläget skulle klara den typen av spårvagnar som klarar av att gå delvis på batteridrift. Dock nämner både Östman och Sköldborg i sina intervjuer att Göteborgs stad i dagsläget rustar upp sin kapacitet, vilket skulle kunna möjliggöra för mer energikrävande lösningar.

De flesta tillverkare av avspänningsutrustning i Europa finns representerade i undersökningen och samtliga har någon modell som klarar Göteborgs krav på rätt inspänningskraft. Huruvida de ger rätt draglängd beror helt på hur lång sektionen är, vilken kabel som används samt vilket nedhäng som är tillåtet. Några är absolut mer anpassade för spårväg då de är små och lättare i sin egen konstruktion och fungerar med många olika sorters stolpar, främst fjäder- och gasavspänning samt viktavspänning utanpå stolpe. Viktavspänning inuti stolpe

blir lite mer komplicerat, då modifiering av Göteborgs stolpar sannolikt påverkar stolpens hållfasthet.

Sett ur ett direkt kostnadsperspektiv så är det inte jättelätt att motivera några större ingrepp för att uppgradera avspänningen i Göteborg. Utifrån de uppskattningar om antalet arbetstimmar som vi har fått och de prisuppgifter vi har kunnat få in så handlar det inte om några jättestora monetära vinster på kort sikt. Särskilt inte med tanke på att de största problemområdena är korsningarna där vi konstaterat att det inte är särskilt enkelt att åstadkomma någon förbättring.

6.3 Inför framtiden

När det ska byggas helt nya spårvägssystem så står man inför många valmöjligheter som beror på ett flertal faktorer. I ett första läge måste det beslutas hur många linjer som ska byggas och om dessa kommer att korsa varandra någonstans. Handlar det bara om en enda linje utan korsande spårväg behöver valet inte bli alltför komplicerat. Finns utrymmet för att ge spårvägen egen banvall med master med rörlig upphängning eller i vissa fall tvärtrådar med rörlig upphängning så finns goda möjligheter att bygga ett system med mer eller mindre underhållsfri rörlig avspänning. Används master eller stolpar så är det mest fördelaktiga valet ur en underhållssynpunkt att använda viktbaserad avspänning. Som vi tidigare har visat kan den med modern teknik bli diskret nog för att smälta in fint i staden. Om det finns flera linjer som sammanstrålar eller korsar varandra så uppstår snabbt mer komplicerade situationer. Utifrån vad vi har sett byggas de senaste åren i södra Europa, så är den modernaste och minst störande lösningen att bygga bort kontaktledningen från korsningar och torg och istället nyttja batteridrift eller superkondensatorer och låta spårvagnarna rulla genom utan kontaktledning. Detta ger dock mer kostsamma spårvagnar då de behöver utrustas med mer avancerad teknik, men det är svårt att sja om hur den kostnaden skiljer sig mot kostnaden för att bygga och underhålla dessa komplicerade korsningar. Här hade det varit önskvärt att göra ytterligare undersökningar om hur den kostnadskalkylen ser ut.

Det som bäst lämpar sig för Göteborgs spårvägar är att införa rörlig avspänning på de sträckor i gatumiljön som är långa och raka. Egentligen handlar det bara om införa en rörlig avspänning som tar hänsyn till rådande förhållanden vad avser sektionering sedan dra om kontakttråden i dessa punkter. Kurviga partier kan spännas av med relativt enkla avspänningsanordningar såsom fjädrar och då över kortare sektioner. För att detta ska vara möjligt måste det till en rörlig infästning i form av deltaupphängning eller pendelupphängning gärna med utdragsarm för att möjliggöra sick-sack. Spårkryss och stora hållplatser på torg där stort

resandeutbyte sker håller generellt låga hastigheter, de kan utformas i relativt korta sektioner där längdutvidgning och nedhäng blir ett mindre problem här tror vi att dessa kan förbli fast avspända med fast infästning för att på sikt bytas ut mot kontaktledningsfria lösningar med hänsyn tagen till den visuella biten. Sådana Spårkryss och torg har vi kunnat hitta goda exempel på hur det kan se ut i Frankrike både genom batteridrift och kontaktskena.

6.4 Felkällor och problem

Att granska avspänningsanordningar genom litteratursökning, intervjuer, visuell analys och en kravanalys visade sig vara svårare än tänkt. Grundidén när projektet började var även att jämföra avspänningarna med en kostnadsanalys. Den fick dock slopas när det visade sig att en majoritet av företagen hade som policy att inte lämna ut dessa uppgifter och de som lämnade ut kostnader för sina modeller uppgav att fraktkostnader spelar roll, den ena tillverkaren fanns i Japan.

Litteratursökning på områden har gett mycket fakta om hur man går tillväga för att projektera kontaktledning utifrån ett järnvägsperspektiv. Utifrån detta har vi sedan i största möjliga mån försökt fylla i de luckor som finns angivna i hur man tänker och bör gå tillväga i Göteborg. Komplement till litteratursökningen har varit att intervjua personer som är aktiva inom spårväg antingen på ett större plan eller mer handfasta underhåll på spårvägen. En del svar är svävande och bygger på olika erfarenheter av att jobba med just Göteborgs Spårvägar varför ingen direkt tydlig kravbild kunnat ges. Vi har under hela våren haft ett generellt problem med att erhålla svar från intressanta personer, myndigheter och företag. Detta har definitivt påverkat rapportens innehåll negativt. De flesta tillverkare saknar direkta kontaktpersoner och när det väl framkommit att vi var studenter vid en högskola och inte företag med intresse att köpa slutade svaren snabbt att komma alls.

Av de få företag som faktiskt svarade intresserat på våra frågor kring deras produkter, så var det ännu färre som kunde eller ville lämna ut uppgifter kring produktpriser. Detta grundar sig till stor del i att priset varierar väldigt mycket beroende på mängden som köps, men också i att många hade som policy att bara lämna ut kostnader vid offertförfrågan från köpande företag. Då vi varken kunde efterfråga en specifik mängd eller begära en offert i egenskap av ett företag så ville nästan ingen lämna ut prislistor.

Det hade varit önskvärt att ha fått kontakt med representanter från trafikkontoret för att få en åsikt ur beställarens synvinkel. Vi gjorde flertalet försök att nå lämpliga representanter, men misslyckades tyvärr. Framåt slutet

av vårt arbete har vi även insett att det hade varit bra att få kontakt med representanter för de spårvägssystem ute i Europa som har implementerat moderna avspänningsanordningar. Tyvärr har det visat sig besvärligt att komma i kontakt med myndigheter utomlands.

Även vår visuella analys blir till viss del problematisk. Vi lyckades inte få in så många svar som vi hade önskat och att jämföra avspänningar rent visuellt i förhållande till varandra visar inga tydliga signifikanta resultat utifrån vår expertpanel då flera av de intervjuade ofta kände särskilt för någon speciell lösning som just de jobbat med tidigare.

7 Slutsatser

I vår nollhypotes anger vi att vi inte tror att det finns någon skillnad mellan fast och rörlig avspänning beträffande underhåll, installationskostnader och driftsäkerhet. Med det faktaunderlag vi har lyckats sammanställa är det svårt att dra några helt säkra slutsatser, men vi kan se att det i många fall minskar underhållsbehovet att gå över till rörlig avspänning. Installationskostnaderna för rörlig avspänning är dyrare än fast dito, men kan på sikt minska underhållskostnaderna. Beträffande driftsäkerheten verkar det inte skilja något åt. Vi kan inte hitta belägg för att det sker fler nedrivningar med fast avspänning. Det enda vi kan se skillnad i beträffande driftsäkerheten är att det på vissa fast avspända sträckor, vid ett fåtal tillfällen om åren, måste göras korrigeringar i kontaktledningslängden. Detta ger då driftstopp på sträckan på ett fåtal timmar.

I de fall där vi har väldigt komplexa korsningar kan vi inte hitta någon tydlig lösning för hur en övergång till rörlig avspänning skulle vara genomförbar, eller ekonomiskt bättre, än nuvarande lösning. Den bästa lösningen ur en underhållssynpunkt hade varit att bygga bort kontaktledningen från dessa komplexa korsningar och satsa på batteridrift.

För Göteborgs spårväg så ser vi ett antal åtgärder som hade förbättrat situationen på linjerna:

- Inför rörlig upphängning där det är möjligt i form av delta- eller pendelupphängning.
- Sektionera upp de sträckor som idag är påläggskarvade i sektioner korta nog att avspänna rörligt.
- Satsa på Tensorex C+ på sträckor med tvärtråsupphängning och vikter monterade i stolpe eller H-balkslösning likt Norrköpings på de sträckor som egna master används.

Vid nybyggnation av spårväg rekommenderar vi att i så stor utsträckning som möjligt bygga linjer som tillåter att kontaktledningen monteras med egna master samt att undvika korsningar i största möjliga mån. Behövs korsningar så bör det byggas med fokus på att använda en fordonspark som tillåter kontaktledningsfria korsningar och batteridrift. Att bygga ny spårväg med komplicerade kontaktledningskryss är inte en god idé för framtiden.

Framtida frågor att studera närmare:

- Klarar Göteborgs nuvarande stolpar av att användas för viktavspänning inuti stolpe med avseende på böjningsmoment och underhåll av vikter?
- Hur stort är underhållet på Göteborgs Spårvägar med avseende på kontaktledningsunderhåll till följd av fast avspänning?
- Hur mycket mer kostar tekniken för kontaktledningsfri spårväg kontra kostnaden för att bygga och underhålla komplexa korsningar?

8 Referenser

Andersson, Per Gunnar; Anders Forsberg (2006). Malmö elektriska spårväg 100 år. TNF-bok;41. Saltsjöbaden: Trafik-nostalgiska förlaget.

Anderson Miller, John. (1960) Fares please! A popular history of trolleys, horse-cars, street-cars, buses, elevateds and subways. New York: Dover Publications Inc.

Aronsson, Bo., Gustafsson, Jan. (2009). K2020: Kollektivtrafikprogram för Göteborgsregionen. Göteborg: Typoprint.

Banverket (2006) Lärobok i kontaktledning – Introduktion. Borlänge: Trafikverket.

Besier, S. (2015). En utmaning: Kontaktledningar i stadsbilden. Modern stadstrafik, 2015:04 ss. 26-29.

Bordeaux tram extensions underway. (2006). *Railway Gazette*, 01 juni.

Davidson, Bo., Patel, Runa. (1991). Forskningmetodikens grunder: Att planera, genomföra och rapportera en undersökning. Linköping: Studentlitteratur.

Dijon tram network opens six months early. (2012). *Railway Gazette*, 03 september.

Forsström, Willy; Hägglund, Bo (1979). Gula faran: spårvägen i Norrköping 75 år. Malmö: Stenvall.

Hammanson, Stig (1979). Zeppelinare, Limpor och Mustangar: Spårvägen i Göteborg 100 år. Malmö: Stenvall.

Hansson, J., Andersson, PG., Möller, M. & Petersson, B. (2010). Handledning för spårvägsplanering i Skåne. Lund: Spårvägar i Skåne (SPIS) 2010:09.

Johansson, T. & Lange, T. (2009). Den goda staden: Guide till spårvägsetablering. Banverket 2009:7.

Kiessling, F., Puschmann, R & Schmieder, A. (2001). Contact Lines for Electric Railways. München: Publicis Corporate Publishing, Munich Erlangen.

Kulpa, John S., Schwartz, Arthur D. (1995) Reducing the visual impact of overhead contact systems. Washington, DC: National Academy Press.

Muller, Georges. (1994). L'Anné du Tram. Les Editions Ronald Herlé. Strasbourg.

Naegeli, Lorenzo., Nash, Andrew., Weidmann, Ulrich. (2012). A checklist for successful application of tram-train systems in Europe. Vienna: Nash publications.

Sandin, Gunnar (2012). Vägen till Citybanan: Spårfrågan mellan norr och söder under 150 år. Hässleholm: Stockholmia förlag.

Sundvall, P. (2002). Chalmerstunneln invigd. *Vårt Göteborg*, 2 februari. http://www.vartgoteborg.se/prod/sk/vargotnu.nsf/1/trafik,chalmerstunneln_invgd

Third rail trams across the Garonne. (2004). *Railway Gazette*, 01 februari.

Trafikkontoret (2002) Standardritning 20791 – Standardmast, Rundmast. Göteborgs Stad: Atkins

Trafikverket (2014). *Systembeskrivning av kontaktledningssystem ST 7,1/7,1* (TDOK 2014:0849). Borlänge: Trafikverket.

Tricoire, Jean. (2007). Le Tramway en France. Paris : La vie du Rail.

Internetkällor:

Bombardier. (2015). *Bombardier battery powered tram sets range record*. <http://www.bombardier.com/en/media/newsList/details.BT-20151103-Bombardiers-Battery-Powered-Tram-Sets-Range-Record-01.bombardiercom.html> [2016-05-22]

Norrköpings kommun. (2016). *Spårväg*. <http://www.norrkoping.se/bo-miljo/trafik/sparvag/>. [2016-05-21]

Trafikkontoret (2015) Banstandard i Göteborg, Konstruktion. Göteborg Stad: Trafikkontoret. <http://www.bana.tkgbg.se/meny2.htm> [2016-05-22]

Spårvagnsstäderna (2016) Den moderna spårvägens historia <http://www.sparvagnsstaderna.se/historik> [2016-06-09]

Yarra Trams (2016) Facts & Figures <http://www.yarratrams.com.au/about-us/who-we-are/facts-figures/> [2016-06-09]

Bilaga 1. Intervjufrågor

Beroende på exakt kompetensområde så har frågeställningarna till alla intervjuobjekt inte varit identiska. Detta för att kunna nyttja alla personernas kompetens maximalt för att få ut så mycket information som möjligt till vår sammanställning. Nedan redovisas vilka frågor som ställts och till vem.

Intervju 1: Mattias Östman (2016-05-02)

Kontaktledningsavspänning

Vilka anledningar finns till att man behållit den fasta avspänning i gatumiljö så länge?

- Finns det några fördelar?
- Vilka svårigheter finns med att byta ut den nuvarande fasta avspänningen?

Vilka fördelar har man med en rörligt avspänd kontaktledning gentemot en fast avspänd?

- Finns det några nackdelar?
- Vilka underhållskrävande åtgärder kan inte en rörlig avspänning avhjälpa?

Vad bör man tänka på när man utformar moderna kontaktledningssystem till spårväg?

- Estetiken

Hur mycket tid och arbete läggs på att underhålla kontaktledningen när den omgivande temperaturen förändras vid fast avspänning?

Införandeprocessen

Hur ser införandeprocessen ut på nya lösningar till Göteborgs Spårvägar?

Vad ska en ny lösning tillföra Göteborgs Spårvägar? Nämn några av dom viktigaste kriterierna?

Framtiden

Vad jobbas det mest på när det kommer till att utveckla spårvägens infrastruktur i Göteborg?

Vilka visioner har Göteborgs Spårvägar med sitt kontaktledningsnät?

Vad hade varit den optimala lösningen avseende kontaktledning?

Visuellt

Är det viktigt att ett kontaktledningssystem för en spårväg har en enhetlig design?

Bör den vara visuellt tilltalande?

Borde den kanske kombineras med stadens andra installationer, till exempel stolpar för gatubelysning?

Är det viktigt att kontaktledningen syns så lite som möjligt?

Finns det risk för att trafikolyckorna ökar om kontaktledningen blir mindre synlig?

Finns det risk att en mindre synlig kontaktledning minskar avgränsningen mot övriga trafikslag?

Tror du att det är lättare för stadens invånare att acceptera ny spårväg om kontaktledningssystemet tar mindre plats i gaturummet?

Intervju 2: Hans Cruse (2016-05-03)

Är det viktigt att ett kontaktledningssystem för en spårväg har en enhetlig design?

Bör den vara visuellt tilltalande?

Borde den kanske kombineras med stadens andra installationer, till exempel stolpar för gatubelysning?

Är det viktigt att kontaktledningen syns så lite som möjligt?

Finns det risk för att trafikolyckorna ökar om kontaktledningen blir mindre synlig?

Finns det risk att en mindre synlig kontaktledning minskar avgränsningen mot övriga trafikslag?

Tror du att det är lättare för stadens invånare att acceptera ny spårväg om kontaktledningssystemet tar mindre plats i gaturummet?

Intervju 3: Ragnar Hedström (2016-05-09)

Är det viktigt att ett kontaktledningssystem för en spårväg har en enhetlig design?

Bör den vara visuellt tilltalande?

Borde den kanske kombineras med stadens andra installationer, till exempel stolpar för gatubelysning?

Är det viktigt att kontaktledningen syns så lite som möjligt?

Finns det risk för att trafikolyckorna ökar om kontaktledningen blir mindre synlig?

Finns det risk att en mindre synlig kontaktledning minskar avgränsningen mot övriga trafikslag?

Tror du att det är lättare för stadens invånare att acceptera ny spårväg om kontaktledningssystemet tar mindre plats i gaturummet?

Intervju 4: Dennis Sköldborg (2016-05-09)

Kontaktledning med avseende på avspänningar

Vilka anledningar finns till att man behållit den fasta avspänning inne i stadsmiljön så länge?

-Vi tänker oss positiva fördelar?

-Vilka svårigheter finns med att byta ut den nuvarande fasta avspänningen?

Har man kunnat konstatera att ett onormalt högt slitage på kolsslitsskena/strömavtagare på Göteborgs Spårvägar?

-Till följd av fast avspänning?

-Till följd av annan anledning? Vilken?

Har man kunnat konstatera fall av nedriven körtråd till följd av fast avspänning?

Hur mycket tid och arbete läggs på att sträcka upp kontaktledningen när den omgivande temperaturen höjs?

- Vilken del av banan är mest tidskrävande?
- Vilka moment görs från avspänning till avankring?

Hur mycket tid och arbete läggs på att släppa ut kontaktledningen när den omgivande temperaturen sjunker?

Lite mer specifika frågor

Vilken är den maximala sektionslängden för en fast avspänd körtråd?

Vilket är det maximala tillåtna nedhänget som tillåts vid projektering?

Vilket temperaturområde ska en avspänning klara?

Den maximala laterala förskjutning nämns till +/-400mm inklusive vindhastigheten, vilken vindhastighet räknar Göteborgs Spårvägar på då?

Fast avspänning är ju bekant en underhållskrävande lösning med sträckning varje sommar. Följden blir ju ett slitage men vilken del är det som slits och behöver bytas?

Införandeprocessen

Hur ser införandeprocessen ut på nya lösningar till Göteborgs Spårvägar?

Vad ska en ny lösning tillföra Göteborgs Spårvägar? Nämn några av dom viktigaste kriterierna?

Framtiden

Vad jobbas det mest på när det kommer till att utveckla spårvägens infrastruktur i Göteborg?

Vilka visioner har Göteborgs Spårvägar med sitt kontaktledningsnät?

Vad hade varit den optimala lösningen?

Visuellt

Är det viktigt att ett kontaktledningssystem för en spårväg har en enhetlig design?

Bör den vara visuellt tilltalande?

Borde den kanske kombineras med stadens andra installationer, till exempel stolpar för gatubelysning?

Är det viktigt att kontaktledningen syns så lite som möjligt?

Finns det risk för att trafikolyckorna ökar om kontaktledningen blir mindre synlig?

Finns det risk att en mindre synlig kontaktledning minskar avgränsningen mot övriga trafikslag?

Tror du att det är lättare för stadens invånare att acceptera ny spårväg om kontaktledningssystemet tar mindre plats i gaturummet?

Intervju 5. Daniel Segerdahl (Via mailkonversation 20160509-20160524)

Kontaktledningsavspänning

Vilka anledningar finns till att man behållit den fasta avspänning i gatumiljö så länge?

- Finns det några fördelar?

- Vilka svårigheter finns med att byta ut den nuvarande fasta avspänningen?

Vilka fördelar har man med en rörligt avspänd kontaktledning gentemot en fast avspänd?

- Finns det några nackdelar?

- Vilka underhållskrävande åtgärder kan inte en rörlig avspänning avhjälpa?

Vad bör man tänka på när man utformar moderna kontaktledningssystem till spårväg?

- Estetiken

Hur mycket tid och arbete läggs på att underhålla kontaktledningen när den omgivande temperaturen förändras vid fast avspänning?

Införandeprocessen

Hur ser införandeprocessen ut på nya lösningar till Göteborgs Spårvägar?

Vad ska en ny lösning tillföra Göteborgs Spårvägar? Nämn några av dom viktigaste kriterierna?

Framtiden

Vad jobbas det mest på när det kommer till att utveckla spårvägens infrastruktur i Göteborg?

Vilka visioner har Göteborgs Spårvägar med sitt kontaktledningsnät?

Vad hade varit den optimala lösningen avseende kontaktledning?

Visuellt

Är det viktigt att ett kontaktledningssystem för en spårväg har en enhetlig design?

Bör den vara visuellt tilltalande?

Borde den kanske kombineras med stadens andra installationer, till exempel stolpar för gatubelysning?

Är det viktigt att kontaktledningen syns så lite som möjligt?

Finns det risk för att trafikolyckorna ökar om kontaktledningen blir mindre synlig?

Finns det risk att en mindre synlig kontaktledning minskar avgränsningen mot övriga trafikslag?

Tror du att det är lättare för stadens invånare att acceptera ny spårväg om kontaktledningssystemet tar mindre plats i gaturummet?

Kontaktledning med avseende på avspänningar

Vilka anledningar finns till att man behållit den fasta avspänning inne i stadsmiljön så länge?

- Vi tänker oss positiva fördelar?
- Vilka svårigheter finns med att byta ut den nuvarande fasta avspänningen?

Har man kunnat konstatera att ett onormalt högt slitage på kolsslitsskena/strömavtagare på Göteborgs Spårvägar?

- Till följd av fast avspänning?
- Till följd av annan anledning? Vilken?

Har man kunnat konstatera fall av nedriven körtråd till följd av fast avspänning?

Hur mycket tid och arbete läggs på att sträcka upp kontaktledningen när den omgivande temperaturen höjs?

- Vilken del av banan är mest tidskrävande?
- Vilka moment görs från avspänning till avankring?

Hur mycket tid och arbete läggs på att släppa ut kontaktledningen när den omgivande temperaturen sjunker?

Lite mer specifika frågor

Vilken är den maximala sektionslängden för en fast avspänd körtråd?

Vilket är det maximala tillåtna nedhänget som tillåts vid projektering?

Vilket temperaturområde ska en avspänning klara?

Den maximala laterala förskjutning nämns till +/-400mm inklusive vindhastigheten, vilken vindhastighet räknar Göteborgs Spårvägar på då?

Fast avspänning är ju bekant en underhållskrävande lösning med sträckning varje sommar. Följden blir ju ett slitage men vilken del är det som slits och behöver bytas?

Införandeprocessen

Hur ser införandeprocessen ut på nya lösningar till Göteborgs Spårvägar?

Vad ska en ny lösning tillföra Göteborgs Spårvägar? Nämna några av de viktigaste kriterierna?

Framtiden

Vad jobbas det mest på när det kommer till att utveckla spårvägens infrastruktur i Göteborg?

Vilka visioner har Göteborgs Spårvägar med sitt kontaktledningsnät?

Vad hade varit den optimala lösningen?

Bilaga 2. Figurer, källor.

Figurer

1. Indirekt upphängd kontaktledning sett ifrån sidan. Egen figur.
2. Modell av fast upphängning med fasta upphängningspunkter. Egen figur.
3. Indirekt upphängning med tillsatsrör och bärlina på trissa. Egen figur.
4. Deltaupphängning i närbild. Egen figur.
5. Deltaupphängning med deltalina och tillsatsrör. Egen figur.
6. Pendelupphängning i tvärtrådar. Egen figur.
7. Kontaktledning i utliggare med tillsatsrör. Egen figur.
8. Bild på fast avspänning. Egen bild.
9. Fast avspänning. Inspänning av kontaktledning med lossning av upphängningspunkter. Egen figur.
10. Fast avspänning. Inspänning av nedhäng utan lossning av upphängningspunkter. Egen figur.
11. Rörlig avspänning. Rörligt fästa upphängningspunkter och mittpunktsavankring. Egen figur.
12. Viktavspänning. Linhjul och utväxling. Egen bild.
13. Viktavspänning utanpå stolpe. Viktpaket och sträva. Egen bild.
14. Figur 36. Viktavspänning med viktpaket monterat i H-balk. Källa: SWECO
15. Tensorex C+. Källa: Pfisterer
16. Tensorex 450. Källa: Pfisterer
17. Tensorex Phantom. Källa: Pfisterer
18. Rak fjäder, inkapslad. Egen bild.
19. Tekki, fjäder. Källa: Tekki.
20. SAS Galland gasfjäder. Källa: SAS Galland.
21. Brecknell Willis gasfjäder. Källa: Breckner Willis
22. Göteborgs spårvägslinjer. Producerad med hjälp av västtrafiks linjekarte-app.
23. Korsning i Bordeaux vid torget Place Pey Berland. Källa: Google Maps
24. Torget Place Massena i Nice. Källa: Google Maps
25. Kontaktledningsfri korsning i Orléans. Källa: Google Maps
26. Korsning i Dresden där två spårvägslinjer möts. Källa: Google Maps
27. Viktavspänning med vikter utanpå stolpe i Dresden. Viktpaket döljs i dekorativ korg. Källa: Google Maps
28. Melbourne. Källa: Google Maps
29. Rörlig avspänning, en linje. Egen figur.
30. Trevägskorsning, en rörlig avspänning. Egen figur.
31. Trevägskorsning. Fast avspänning. Egen figur.
32. Trevägskorsning, rörlig avspänning i alla riktningar. Egen figur.

33. Fyrvägskorsning. En rörlig avspänning. Egen figur.
34. Fyrvägskorsning. Två motsatta rörliga avspänningar. Egen figur.
35. Fyrvägskorsning. Två ej motsatta rörliga avspänningar. Egen figur.

Bilaga 3. Tabeller, källor.

Tabeller

1. Produktdata. Viktavspänningar från Siemens. Källa: Produktblad Siemens
2. Produktdata. Viktavspänningar från SAS Galland. Källa: Produktblad SAS Galland
3. Produktdata. Pfisterer Tensorex C+. Källa: Produktblad Pfisterer
4. Produktdata. Pfisterer Tensorex TR 450 och TR750. Källa: Produktblad Pfisterer.
5. Produktdata. Tensorex Phantom. Källa: Produktblad Pfisterer.
6. Produktdata. Siemens raka fjädrar. Källa: Produktblad Siemens.
7. Produktdata. SAS Galland, rak fjädrar. Källa: produktblad. SAS Galland
8. Produktdata. Tekki fjädrar. Källa: Produktblad Tekki.
9. Produktdata. SAS Galland gasfjädrar. Källa: Produktblad SAS Galland
10. Produktdata. Brecknell Willis gasfjädrar. Källa: Produktblad Brecknell Willis
11. Termisk längdutvidgning. Källa: Egna beräkningar
12. Elastisk längdutvidgning. Källa: Egna beräkningar
13. Horisontal reaktionskraft. Rak trådföring. Källa: Egna beräkningar
14. Horisontal reaktionskraft. Vid trådföring i kurvor Källa: Egna beräkningar
15. Produktdata kabel typ E-cu 100mm². Källa: Produktblad NKT Cables
16. Nedhäng vid varierande spannlängd och kraft. Källa: Egna beräkningar.
17. Vågutbredningshastighet för olika inspänningskrafter. Källa: Egna beräkningar.
18. Produktjämförelse viktavspänning. Källa: Sammanställning av tidigare information i rapporten.
19. Produktjämförelse Fjäderavspänning. Källa: Sammanställning av tidigare information i rapporten.
20. Produktjämförelse gasavspänning Källa: Sammanställning av tidigare information i rapporten.
21. Visuell analys av avspänningstyper. Källa: Egen tabell
22. Sammanställning av egen och intervjuades visuella ranking. Källa: Sammanställning från intervjuer.
23. Kostnadsuppskattning underhåll av fast avspänning. Källa: Egen uppskattning.