

EL-DOKUMENT

EL 06/45



Giltig från
2006-09-01

Versionsnummer
01

Antal sidor
45

Diarienummer

Antal bilagor
0

Beslutsfattare
CBKL

Handläggande enhet, Handläggare
BKL, Marten Reijm, 0243-44 56 88

Ersätter
-



Lärobok kontaktledning

Introduktion

Innehållsförteckning

1	Inledning	5
1.1	Allmänt.....	5
1.2	Historik	5
1.2.1	Allmänt	5
1.2.2	Historiska fakta	5
1.3	Olika spänningsnivåer	6
2	Uppbyggnad av kontaktledning – elektrisk	8
2.1	Elförsörjning.....	8
2.2	Omformare	8
2.3	Distribution	8
2.3.1	System med sugtransformator	8
2.3.2	Autotransformatorsystem	9
2.3.3	Spåret	10
2.4	Hjälpkraftledning	10
2.5	Tågvärme	10
2.6	Växelvärme.....	10
3	Uppbyggnad av kontaktledning – mekanisk	12
4	Fundament	13
4.1	Funktion	13
4.2	Utförandet	13
4.3	Kraftbilden	14
4.4	Jordning	14
5	Stolpar	15
5.1	Funktion	15
5.2	Utförandet	15
5.3	Dimensioneringsfall	15
5.4	Laster.....	16
5.4.1	Allmänt	16
5.4.2	Egenvikt.....	16
5.4.3	Islast	16
5.4.4	Vindlast.....	17
5.4.5	Brytlaster	17
6	Bryggor	18

6.1	Funktion	18
6.2	Uppbyggnad	18
6.3	Laster	19
6.4	Kraftbilden	19
7	Friledningar	20
7.1	Återledning	20
7.1.1	Allmänt	20
7.1.2	Materiel	20
7.2	Förbildning	20
7.2.1	Allmänt	20
7.2.2	Materiel	20
7.3	Matarledning	20
7.3.1	Allmänt	20
7.3.2	Materiel	20
7.4	Förstärkningsledning	21
7.4.1	Allmänt	21
7.4.2	Materiel	21
7.5	AT-matarledning	21
7.5.1	Allmänt	21
7.5.2	Materiel	21
7.6	Hjälpkraftledning	21
7.6.1	Allmänt	21
7.6.2	Materiel	22
7.7	Avspänning	22
7.7.1	Allmänt	22
7.7.2	Fasta avspänningar	22
7.8	Najning	22
7.9	Linberäkning	22
8	Utliggare	24
8.1	Uppbyggnaden	24
8.2	Geometriska krav	26
8.3	Tillsatsrör	26
9	Kontaktledning	28
9.1	Mekanisk uppbyggnad	28
9.1.1	Kontaktledningssektioner	28
9.1.2	Avspänning	29
9.1.3	Förankring	31
9.1.4	Hängverk	32
9.2	Olika system	33

9.2.1	Allmänt	33
9.2.2	Utan tillsatsrör	33
9.2.3	Med tillsatsrör	34
9.2.4	Med Y-lina	34
9.3	Karakteristisk data	35
9.3.1	Statisk elasticitet	35
9.3.2	Kontakttrådstyper	36
9.3.3	Inspänningskrafter	37
9.3.4	Egenfrekvenser	37
9.3.5	Vågutbredningshastighet	38
9.4	Trådföring	38
9.4.1	Allmänt	38
9.4.2	Spannlängder	38
9.4.3	Rakspår och kurvor	39
9.4.4	Sektionsövergångar	39
9.4.5	Växlar	40
10	Strömavtagning	41
10.1	Strömavtagare	41
10.2	Strömavtagning	41
10.2.1	Funktionskrav	41
10.2.2	Mätning	42
10.2.3	Beräkning	42
10.3	Detektoranläggningar för strömavtagare	42
10.3.1	Allmänt	42
10.3.2	Upplyftsdetektor	42
10.3.3	Kolslitskenedetektor	42
11	Underhåll	43
11.1	Strategier	43
11.1.1	Allmänt	43
11.2	Övervakning	43
11.2.1	Allmänt	43
11.2.2	Säkerhetsbesiktning	43
11.2.3	Underhållsbesiktning	44
11.2.4	Mätvagn	44
11.2.5	Termografering	44
11.2.6	Radiopejling	44
11.2.7	Kontaktledningsmätning med förhöjt upptryck	44
11.2.8	Kontrollvagn	44
12	Referenser	45

1 Inledning

1.1 Allmänt

Syftet med det här dokumentet är att ge nyanställda och intresserade en snabb introduktion i kontaktledningstekniken. Vill man fördjupa sina kunskaper hänvisas till kursen BEIÖKTL på Banskolan och till den litteratur som redovisas i referenslistan.

1.2 Historik

1.2.1 Allmänt

Ett viktigt argument för elektrifierad järnvägstrafik är att den är miljövänlig och att framställningen av energin kan ske under kontrollerade former. Vid elektrifieringens början var skillnaden mellan gamla tiders ånglok och de nya elloken vad gällde dragkraft dessutom väldigt stor.

Svensk järnvägsdrift utan eldrift skulle idag vara närmast otänkbar.

Kontaktledningssystemets funktion i den elektrifierade järnvägstrafiken är att distribuera ut energin från källan till loket. I Sverige spänningssätts kontaktledningen med enfas växelström, där spänningen är 15kV och frekvensen 16,7 Hz.

1.2.2 Historiska fakta

Europa

- 1879 Werner Siemens visade ett elektriskt tåg vid en utställning i Berlin. En 300 m lång rundbana hade byggts till utställningen.
- 1883 Första elektriska järnvägen i USA visades vid en utställning i Chicago och de följande åren inleddes en omfattande utbyggnad av elektriska spårvägar över hela USA.
- 1899 Den första egentliga järnvägen med trefaselektrifiering togs i drift, nämligen Burgdorf - Thunbanan.

Norden

- 1978 Första elektrifieringen i Danmark.

Sverige

- 1890 Första permanenta elektrifierade järnvägen började utnyttjas i Sverige vid Boxholms Bruk.
- 1890 Djursholmsbanan öppnades för trafik, kan sägas vara den första elektrifierade järnvägen i egentlig mening i Sverige.

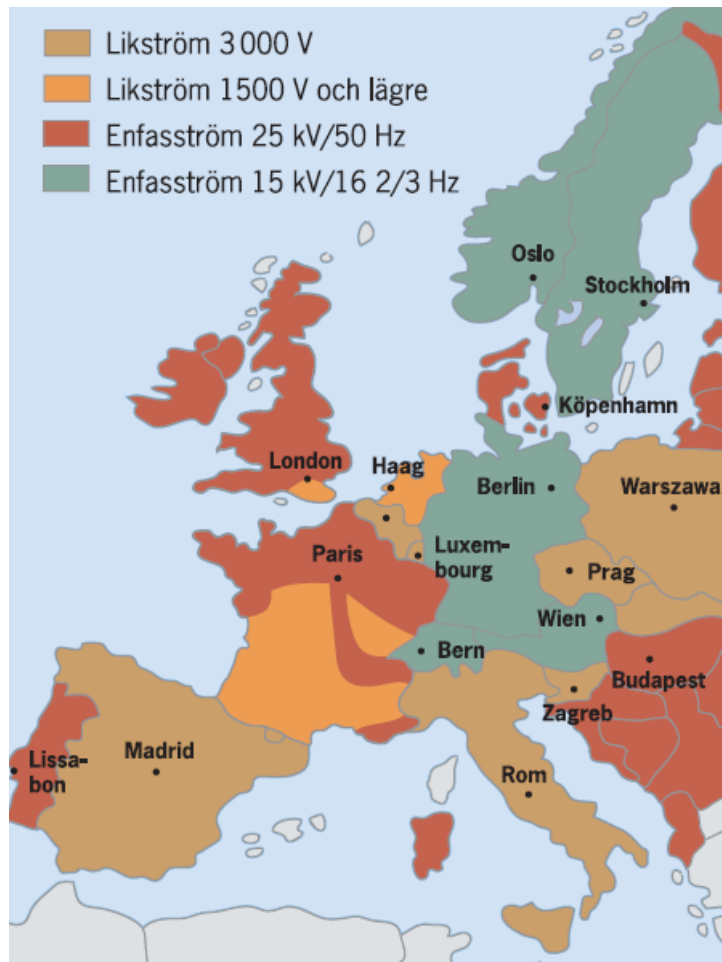
- 1901 Stockholms södra Spårvägsbolag genomförde första svenska elektrifieringen av spårvägar. Samtliga spårvägar i Sverige var elektrifierade till 1907.
- 1905 Prov med enfas växelspänningssystem startar i Tomtebodas.
- 1905 Kontoret för elektrisk järnvägsdrift inrättas inom järnvägsstyrelsen som en enhet inom maskinbyrån.
- 1908 Smalspårsbanan Klockrike - Borensberg togs i bruk som den första permanenta enfasväxelspänningsbanan i Sverige.
- 1915 Provelektrifiering av malmbanedelen Riksgränsen - Kiruna startar. Resultaten är så positiva att beslut tas att fortsätta elektrifieringen av malmbanan, hela sträckan är klar 1923.
- 1923 Elektrifieringen av västra stambanan påbörjas, klart 1926.
- 1925 Moholms omformarstation togs i bruk som statens järnvägars första omformarstation.
- 1942 Möjligt att åka med eltåg Trelleborg - Riksgränsen.

1.3 Olika spänningsnivåer

Av olika anledningar har inte alla länder samma spänning i kontaktledningen. Den viktigaste anledningen är tidpunkten för första elektrifieringen.

Länderna som började tidigast med elektrifieringen, byggde likströmssystem, med relativt låga spänningsnivåer därför att det var enkelt och för att det inte krävdes så stora mängder energi.

Länderna som elektrifierade lite senare och som hade behov av större mängder energi byggde lågfrekventa växelströmssystem. Frekvensen tvingades vara låg på grund av tekniska begränsningar i dåtidens lokomotiv. Den standard som gäller idag är 25 kV/50 Hz och har byggts i de länder som har påbörjat elektrifieringen sent (t.ex. Danmark), men även i länder som har börjat om (t.ex. England). Figur 1 nedan ger en översikt av de olika system som finns i Europa.



Figur 1. Översikt elektriska system i Europa.

2 Uppbyggnad av kontaktledning – elektrisk

2.1 Elförsörjning

Banverket köper elkraft, till stor del så kallad ”grön el”, från de stora kraftbolagen. Denna kraft levereras som 132 kV, 3-fas högspänning med frekvensen 50 Hertz. Tågen drivs med 15 kV, 1-fas med frekvensen 16 2/3 Hz.

Omformarstationer omvandlar elkraften från 50 Hz till 16 2/3 Hz. Elkraften matas sedan in till kontaktledningen som i sin tur för den vidare till ett fordon via en strömavtagare.

Utöver det här krävs 50 Hz elenergi för signalanläggningar, teleanläggningar, belysning samt till att värma spårväxlar.

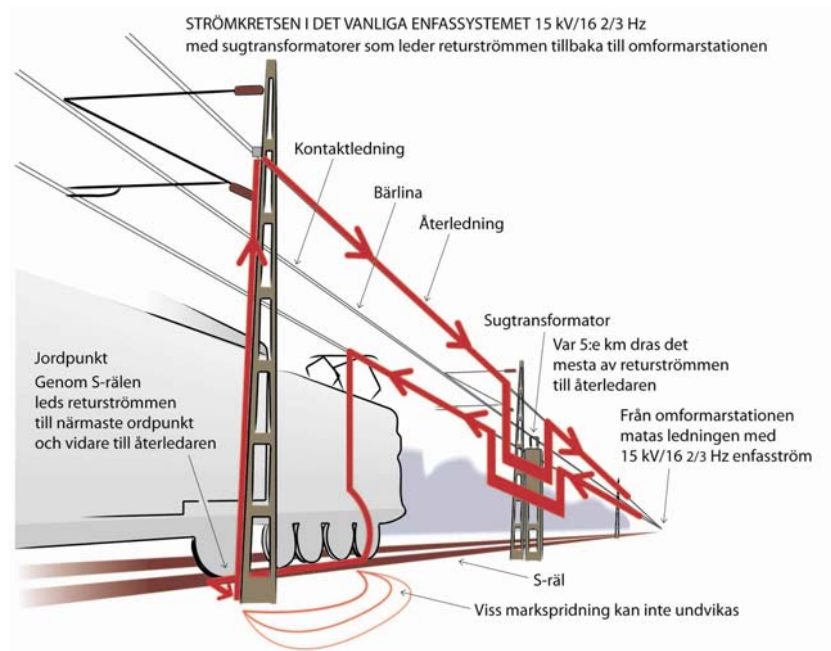
2.2 Omformare

Elkraften måste frekvensomvandlas i så kallade omformarstationer, som finns med jämna mellanrum utmed järnvägen. I stationerna finns det två typer av omformare: roterande maskiner eller statiska omriktare med kraftelektronik.

2.3 Distribution

2.3.1 System med sugtransformator

Strömmen från matarstationerna går genom kontaktledningen till fordonets strömavtagare. Därifrån passerar den motorn och sedan går den genom fordonets hjul ner i rälen, se figur 2.

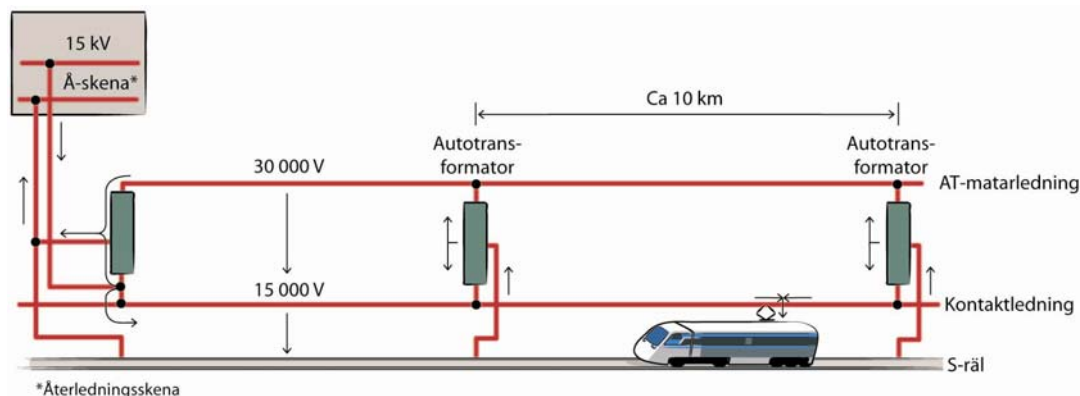


Figur 2. Strömkretsen i kontaktledningssystemet.

Det system som har använts i det svenska järnvägsnätet ända sedan elektrifieringen av järnvägen påbörjades på 1920-talet, kallas BT. BT står för Booster Transformer. I BT-tekniken används så kallade sugtransformatorer för att återleda returströmmen. Sugtransformatorerna är en speciell sorts transformatorer som tvingar strömmen att passera dess lindningar och ”suger” därmed returströmmen till återledningen. Detta är nödvändigt för att inte få störningar i tele- och signalkablar som ligger i banvallen.

2.3.2 Autotransformatorsystem

På bland annat Malmbanan och Botniabanan har en för Sverige ny teknik installerats för att distribuera elenergi till tågen. Det nya systemet går under benämningen AT, där AT står för Autotransformer. Autotransformatoren är en spartransformator, dvs en transformator med bara en lindning där man ansluter strömmatningskretsen på en del av lindningen. I detta fall tar man ut strömmatningen på halva transformatorlindningen och får därmed en utspänning till loket på 15 kV. Fördelen med AT-systemet är att man kan mata med dubbla spänningen, 30 kV mot normalt 15 kV för BT-systemet. Överföringsförlusterna blir mindre, vilket ger mer kraft till tågen. Tekniken möjliggör inte bara tyngre tåglaster utan möjliggör dessutom att avstånden mellan transformatorstationerna eller omformarstationerna kan ökas. Se figur 3 för den elektriska kretsen.



Figur 3. Elektrisk översikt AT-systemet.

2.3.3 Spåret

Spåret ingår som en del av strömmens returkrets för både BT-systemet och AT-systemet. Blir det avbrott i returströmskretsen så kan en farlig spänning bildas över avbrottsstället. Vid spårarbeten måste därför strömmen ledas förbi avbrottsstället innan räl kapas eller rälskarvjärn lossas.

Driftjordningar, som är en förbindelse mellan räl och återledning för returströmmen, är anslutna till räl och får inte brytas innan en ledare monterats över avbrottsstället.

2.4 Hjälpkraftledning

Högst upp i kontaktledningsstolparna finns hjälpkraftledningen som används för att distribuera elenergi till signaler, växelvärmeposter och stationsbyggnader. Där elkraften behövs finns en transformator som sänker spänningen från 11 eller 22 kV till 230/400 V. Spänningen för hjälpkraft omformas inte utan distribueras med frekvensen 50 Hz.

Saknas hjälpkraftledning används det allmänna elnätet. Om avståndet till det allmänna nätet är stort, transformeras kontaktledningsspänningen så att den kan användas som hjälpkraft, t ex till signalanläggningar.

2.5 Tågvärme

På stationer där person- och specialvagnar ställs upp behöver man tågvärme. En tågvärmeanläggning består av en transformator och tågvärmeposter med eluttag. Till tågvärmeposterna kan man ansluta vagnarnas elsystem för uppvärmning eller kylning. Spänningen från tågvärmeposten är 1 000 Volt och frekvensen är 16 2/3 Hz.

2.6 Växelvärme

Snö och is i spårväxlar kan göra att växeln inte fungerar helt. För att förhindra att snö och is packas i spårväxlar är samtliga fjärrstyrda växlar försedda med elvärme. Installerad effekt i växlar är mellan 5 och 23 kW och matningsspänningen är 230/127 V trefas eller 2 x 115 V enfas. Värmeelementen,

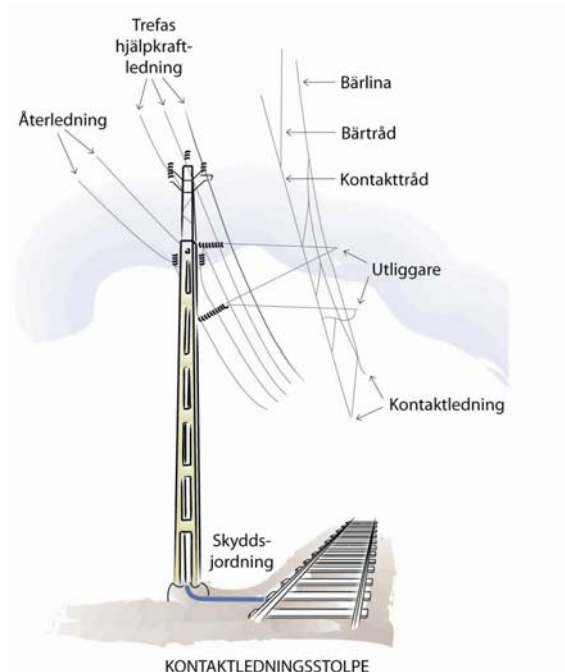
som är monterade på rälerna, har en längd på 3 till 5 meter. Växelvärmen är mycket effekt- och energikrävande och kopplas därför in via ett styrsystem som tar hänsyn till temperatur och nederbörd.

3 Uppbyggnad av kontaktledning – mekanisk

Ström med rätt spänning och frekvens matas ut i kontaktledningarna. Kontaktledningen består av kontaktråd med bärlina och bärtrådar, se figur 4. Ledningen hängs upp i utliggare, som låter ledningen gå i sicksack över spåret för att man skall få så jämnt slitage som möjligt på lokets strömvtagare.

Kontaktledningen måste vara på samma nivå över spåret. Generellt gäller att ju högre inspänningskraften är, desto högre hastighet tågen kan hålla. Kontaktledningen delas upp i sektioner, med en längd av ca 1,2 km. I ändarna på varje sektion hängs vikter som håller kontaktledningen spänd. Inspänningskraften i kontaktråden har i Sverige länge varit 7 kN, men i samband med utbyggnaden för snabbtåg har inspänningen ökat till 9,8-15 kN.

Kontaktledningens normalhöjd är 5,5 meter över spåret men kan variera upp eller ned en halv meter vid broar, plankorsningar och industrispår. Stolpavståndet är normalt 60 till 65 meter. Det minskas vid kraftiga kurvor eller på särskilt vindutsatta ställen för att inte vindpåverkan av kontaktledningen ska göra att den hamnar utanför lokets strömvtagare.



Figur 4. Kontaktledningsstolpen med olika trådar och linor.

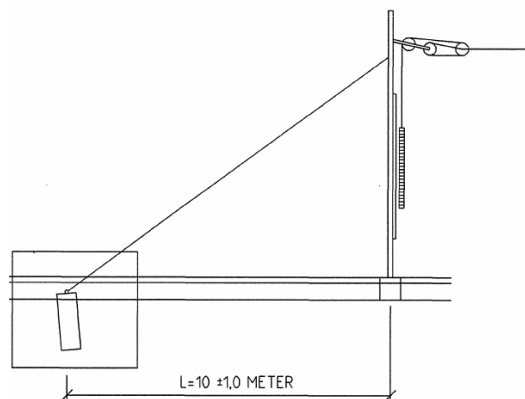
4 Fundament

4.1 Funktion

Fundamentets primära funktion är att se till att stolpen står stabilt och håller sig i rätt position.

Det är viktigt att fundamentet är stadigt därför att kontaktråden som via utliggarna är upphängt i stolpen inte får röra sig mer än 70 mm i sidled vid upphängningen. Små rörelser i fundamentet kan ge upphov till stora rörelser uppe i stolpen. När fundamentet t.ex. vrider sig med endast en grad innebär det att kontaktråden rör sig 95 mm i sidled.

Fundament skall kunna ta upp både horisontella krafter, vertikala krafter och böjmoment. Normalt tillåts dock böjmomentet inte bli så stort, och i de fall (till exempel vid avspänningar och sidbyte) stagar eller strävar man stolpen (se figur 5), och gör därmed om momentet till två vertikala krafter.



Figur 5. Stagad avspänningsstolpe.

4.2 Utförandet

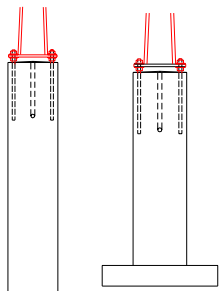
Det finns olika typer av fundament. En första indelning man kan göra är mellan prefabricerade fundament och borrarade fundament.

Det finns även olika typer av prefabricerade fundament men alla dessa är utförda i betong, är mellan 2,6 och 3 meter långa, har toppbredd på 650 x 650 mm och väger mellan 2,2 och 2,9 ton.

Vid nybyggnation där det inte finns någon befintlig banvall väljer man oftast prefabricerade fundament.

I en befintlig banvall skall man helst inte gräva. Om man skall göra det i alla fall, tvingas man spanta för att hålla banvallen på plats. I de fall man placerar ett fundament i en befintlig banvall väljer man därför ofta ett borrarat fundament där man borrar ett hål i marken, stoppar i ett stålrör eller ett prefabricerat cirkulärt betongfundament, och gjuter in betongen på plats.

Prefabricerade fundament kan utföras med eller utan fotplatta, se figur 6. Utförandet med fotplatta används oftast vid fundament för stolpe med brygga, sträva eller vid avspänningar. Fotplattan gör att fundamentets kontaktyta med jorden blir större så att den kan ta upp högra vertikala krafter.

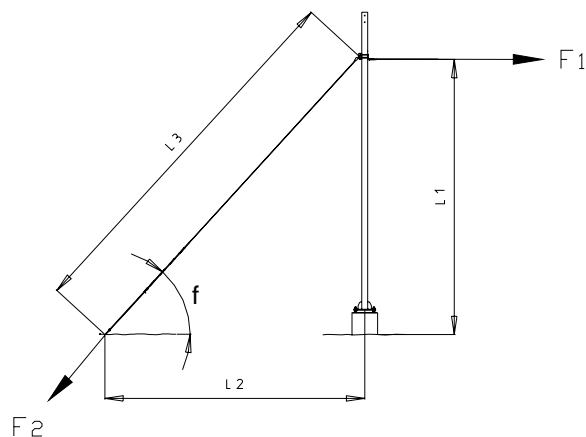


Figur 6. Fundament med och utan fotplatta.

4.3 Kraftbilden

Då det endast finns en stolpe utan stagning eller sträva, tar stolpens fundament upp samtliga krafter och moment.

I det fallet stolpen stagas, tar stagfundamentet upp hela den horisontala kraften. Både stag- och stolpfundamentet tar i det här fallet upp vertikala krafter. Dessa vertikala krafter tar upp kraftmomentet från stolpen.



Figur 7. Stagad stolpe

4.4 Jordning

Ett fundament ingår i jordningssystemet och har således även en elektrisk funktion. Om stolpen spänningssätts, t.ex. genom att en isolator är trasig, skall strömmen ledas genom stolpen och fundament in i jorden. För att säkerställa att jordningen sker på ett så säkert sätt som möjligt, skall armeringen vara helsvetsad och vara förbunden med grundbulten.

5 Stolpar

5.1 Funktion

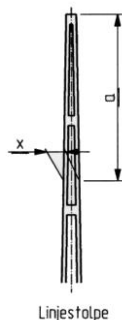
Stolparnas primära funktion är att bära ett antal olika typer av ledningar på rätt höjd- och sidoläge ifrån spåret. I Sverige handlar det om kontakttråden och bärplanen samt i förekommande fall hjälpkraftledningen, återledningen, förstärkningsledningen, AT-ledningen och jordlinan.

5.2 Utförandet

Det finns olika typer av stolpar; trästolpar, betongstolpar och stålstolpar. I Sverige och även i de flesta europeiska länder byggs det idag främst stålstolpar, se figur 8.

Utförandet av dessa stålstolpar är ganska varierande, allt från designade stolpar till vanliga raka I-balkar förekommer. I Sverige har vi valt en fackverksliknande konstruktion som består av två långa U-balkar, förbundna med ett antal brickor.

På stolparna går det sedan att montera fästen där man kan hänga upp upphängningsanordningar till de olika ledningarna.



Figur 8. Stålstolpe.

5.3 Dimensioneringsfall

Stolparna utsätts för en del olika laster och skall därför dimensioneras för att motstå dessa laster. Vid dimensioneringen skall i första hand hänsyn tas till:

Brott Risk för brott sker när böjmomentet blir större än det maximalt tillåtna momentet. Det maximalt tillåtna momentet uppstår när ytspänningen i stolpens eller U-balkarnas utkant blir större än det dimensionerade värdet för ytspänningen (f_{ud}). Det maximala momentet beräknas med följande formel, där I är stolpens tröghetsmoment och e_{max} halva stolpbredden.

$$M \cdot \frac{e_{max}}{I} > f_{ud} \quad (1)$$

Knäckning Knäckning är ett instabilitetsfenomen i en axiellt tryckbelastad balk, vilket innebär att denna vid en viss kritisk last, knäcklasten, förlorar sin rätta form, där den lastbärande förmågan minskar. Knäckningsgränsen går att beräkna med hjälp av följande formel, där E är elasticitetsmodul, I tröghetsmomentet, A tvärsnittsarean och l balklängden.

$$\sigma_{kn} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{A \cdot l^2} \quad (2)$$

Böjning Böjning orsakas av en last (F) riktad vinkelrätt mot stolpen samt av ett moment (M) i samma punkt. Stolpen ska dimensioneras så att stolpens utböjning i kontaktledningshöjd på grund av de dynamiska laster, inte överskrider 35 mm. Utböjning beräknas med följande formel, där E är elasticitetsmodul, I tröghetsmomentet och l kontaktledningshöjden

$$utböjning = \frac{F \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{M \cdot l^2}{2 \cdot E \cdot I} \quad (3)$$

5.4 Laster

5.4.1 Allmänt

I normalfallet är lasterna på stolparna inte så stora, men stolparna ska dimensioneras för att klara av extrema situationer med islast, vind och låga temperaturer. Hur beräkningarna skall gå till beskrivs i SS 436 01 01 och även EN 50 119.

För att kunna dimensionera en stolpe så att den inte kommer att utsättas för brott, skall det maximala momentet som förekommer i stolproten beräknas. I denna beräkning görs följande antaganden:

- Stolpar belastas av linornas egen tyngd, islast, vindlast samt brytlaster
- Temperaturområde -40 °C till + 50 °C
- Maximal vindtryck är 500 N/mm²
- Det dimensionerande lastfallet i SS436 01 01 är lastfall 2, islast med vind och 0 °C
- Obs! Enligt SS 436 01 01 behöver man inte ta hänsyn till den extrema situation där is- och vindlaster förekommer vid -40 °C.

5.4.2 Egenvikt

Bidraget av egenvikten till momentet i stolproten beräknas som vikten av de olika linorna multiplicerat med det horisontella avståndet till stolpinfästningen.

5.4.3 Islast

Bidraget av islasten till momentet i stolproten beräknas som den totala islasten multiplicerat med det horisontella avståndet till stolpinfästningen. Islasten är beroende på trådens diameter samt ledarens

klass, se tabell 1. I Sverige klassas kontaktledning och bärlinan som klass B och de övriga ledningar som klass A.

Klass	Islast vid vind, q_w
	N per m ledare
A	$9,2 + 0,51 \cdot d$
B	$1,4 + 0,2 \cdot d$

d = ledarens diameter utan isbeläggning i mm

Tabell 1. Islast beroende på klass.

5.4.4 Vindlast

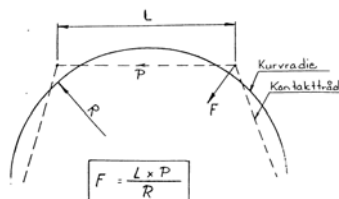
Bidraget av vindlasten till momentet i stolproten beräknas som vindlasten på isbelagda ledare multiplicerat med det vertikala avståndet till stolpinfästningen. Även islasten är beroende av trådens diameter samt ledarens klass, se tabell 2.

Klass	Vindlast på isbelagd ledare q_{vi} , N/m ledare
A	$q_k / 100 \cdot (1,80 + 0,050 \cdot d)$
B	$q_k / 100 \cdot (0,70 + 0,050 \cdot d)$

Tabell 2. Vindlast på isbelagda ledare.

5.4.5 Brytlaster

Bidraget av brytkrafterna till momentet i stolproten beräknas som brytkrafterna multiplicerat med det vertikala avståndet till stolpinfästningen. Brytkrafterna uppstår i de fall ledarna inte följer en rak linje, men ändrar riktning vid en stolpe. Till exempel i de fall där stolparna byter sida, där stolparna står i en kurva eller vid sicksackföringen av kontaktråden.



Figur 9. brytkrafter

6 Bryggor

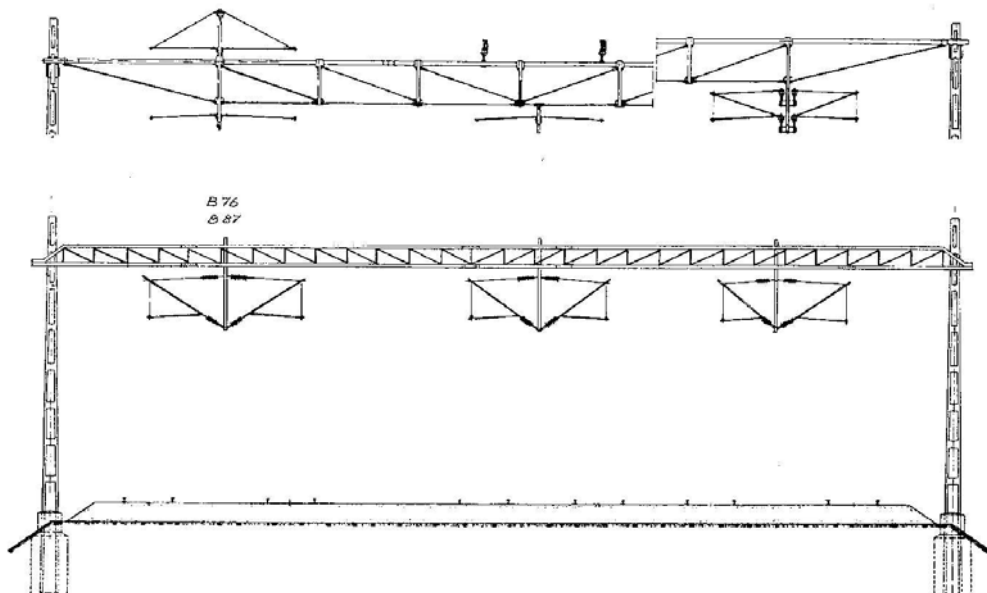
6.1 Funktion

Ledningsbryggan är en del av den bärande konstruktionen som håller kontaktledningarna uppe. Bryggor används på bangårdar och på sådana platser där man inte kan ha stolpar mellan spåren.

6.2 Uppbyggnad

Bryggor, se figur 10, förekommer i tre olika grundutförande:

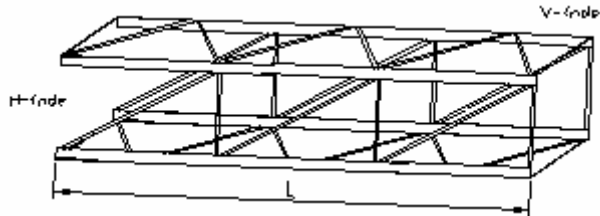
- Fackverksbryggor där bärlinan går över och kontakttråden under bryggan.
- Linbryggor där kontaktledningen är upphängd i linor som går tvärs över spåret.
- Morabryggor där både bärlinan och kontakttråden monteras i en utliggare som monteras under bryggan.



Figur 10. Fackverksbryggor. Nederst en Morabrygga.

I Sverige byggs idag endast morabryggor även om fackverksbryggor förekommer på många ställen. Morabryggor bärs av två stolpar på var sin sida av en grupp spår.

En bryggdel, se figur 11, är uppbyggd av 4 stycken längsgående vinkeljärn som är förbundna med rundstänger till en fackverkskonstruktion.



Figur 11. Bryggdel.

6.3 Laster

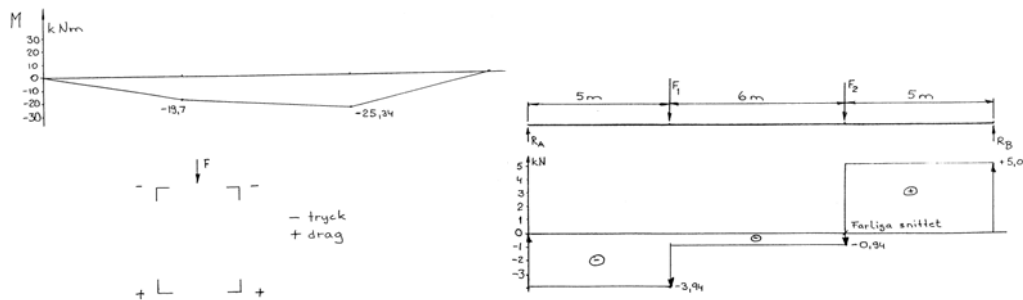
En brygga belastas i första hand av sin egenvikt, men även av de laster som kommer från olika ledningar som är upphängda i bryggan. En brygga skall därför dimensioneras för att kunna ta upp egenvikten, brygglasten, islasten och vindlasten från dessa ledningar.

Bryggan och stolparna som bär bryggan dimensioneras erfarenhetsmässigt efter bryggans längd. I speciella fall där bryggan har många upphängningspunkter eller där bryggan är exceptionellt lång, skall en kontrollberäkning göras för att säkerställa bryggans hållfasthet.

6.4 Kraftbilden

En brygga utsätts för ett moment som orsakas av egenvikten och lasterna från ledningarna, se kraftbild i figur 12. Momentet har sitt maximala värde i närheten av bryggans mitt, och bärs av de längsgående vinkeljärnen. Risken för brott eller knäckning av dessa vinkeljärn är därför störst vid bryggans mitt.

En brygga utsätts även för vertikala krafter som också orsakas av egenvikten och lasterna från ledningarna. Dessa vertikala krafter är maximala vid stolpen, och bärs av rundstängerna. Riskens för brott eller knäckning av dessa rundstänger är därför störst vid stolpen.



Figur 12. Kraftbild.

7 Friledningar

7.1 Återledning

7.1.1 Allmänt

En återledning är en ledning för kontaktledningens returström. I återledningen och kontaktledningen är sugtransformatorer inkopplade. Återledningen ansluts till S-räl i driftjordpunkten, som är centrerad mellan sugtransformatorerna. Avståndet mellan driftjordpunkt och sugtransformator får inte överstiga 3 km.

7.1.2 Materiel

Återledningen förläggs som friledning bestående av en eller två 212 mm² Al-linor förlagda på – för ändamålet avsedda – isolatorer alternativt som kabel. Normalt utförs återledningen ”dubblerad”, det vill säga med två parallellkopplade linor.

7.2 Förbiledning

7.2.1 Allmänt

Förbiledning används normalt på bangårdar för att möjliggöra mer tid för arbete på bangården, men med elektrisk tågdrift på linjen. Samkörningen mellan omformarstationer behöver härmed inte brytas och enkelmatning kan undvikas.

7.2.2 Materiel

En förbiledning förläggs som kabel i mark, som kabel i ränna eller som hängkabel i kontaktledningsstolpe. Förbiledningar har på många ställen byggts som friledningar. Detta skall dock undvikas i samband med nyprojektering.

7.3 Matarledning

7.3.1 Allmänt

En matarledning förbinder en omformarstation med en transformatorstation eller en kopplingscentral. Den kan också utgöra en förbindelse mellan två kontaktledningssträckor.

7.3.2 Materiel

En matarledning förläggs som kabel i mark, som kabel i ränna eller som hängkabel i kontaktledningsstolpe. Matarledningar har på många ställen byggts som friledningar. Detta skall dock undvikas i samband med nyprojektering.

7.4 Förstärkningsledning

7.4.1 Allmänt

För att öka kontaktledningens totala area används förstärkningsledning. Detta görs genom att förstärkningsledningen på linjeavsnitten parallellkopplas med kontaktledningen och ersätts med dubblerad förbiledning på bangårdar. Förstärkningsledningen bidrar till att minska spänningsfallet på banor med hög belastning.

7.4.2 Materiel

Förstärkningsledning förläggs som friledning bestående av en 212 mm² Al-lina förlagd på –för ändamålet avsedda – isolatorer.

7.5 AT-matarledning

7.5.1 Allmänt

En AT-matarledning har samma spänning som kontaktledningen, men spänningen är 180° fasförskjuten gentemot kontaktledningen.

7.5.2 Materiel

AT-matarledningen förläggs som kabel alternativt friledning bestående av två stycken 212 mm² Al-linor; vanligtvis förlagda på isolatorer på – för ändamålet avsedd – konsol.

7.6 Hjälpkraftledning

7.6.1 Allmänt

För att förse objekt som är nödvändiga för järnvägsdriften med elkraft, monteras normalt ett separat ledningssystem utmed banan. Detta ledningssystem benämns hjälpkraftledning. Följande – för järnvägsdriften nödvändiga – objekt matas från hjälpkraftledningen via transformatorer i kontaktledningsstolpar, i kontaktledningsbryggor eller på mark:

- Signalanläggningar
- Teleanläggningar
- Belysningsanläggningar
- Växelvärmeanläggningar
- Egna fastigheter och byggnader

En hjälpkraftledningsanläggning är antingen ett 2- eller ett 3-fassystem med en nominell spänning på 11 kV ± 10 % eller ett 3-fassystem med en nominell spänning på 22 kV ± 10 %. Båda systemen har en frekvens på 50 Hz.

7.6.2 Materiel

Längs banan förläggs hjälpkraftledningen som friledning bestående av 2- eller 3- fasledningar eller som kabel. Förläggning av hjälpkraftledningen som friledning görs på pinnisolatorer i toppkonsoler i kontaktledningsstolparna. I samband med projektering av ny anläggning används Fe-Al-linor med arean 99 mm^2 .

7.7 Avspänning

7.7.1 Allmänt

Avspänningar i kontaktledningssystemen har till uppgift att ge kontaktledning och bärlina konstant inspänningskraft. De olika kontaktledningssystemen har olika inspänningskraft eftersom de har olika hastighetskrav.

Avspänningar behövs även i övriga system såsom åter-, hjälpkrafts-, förstärknings- och matarledningar. Avspänning sker t.ex. vid utmatningar från en omformarstation eller vid kabelöverföring på grund av en bro eller liknande.

7.7.2 Fasta avspänningar

Linor som avspänns i en stolpe monteras med rätt inspänningskraft. Inspänningskraften beror på ledningstypen, jämnviktsspänningen, spännvidden och montagetemperaturen.

Det är viktigt att montera ledningen med rätt inspänningskraft för att förebygga att stolparna belastas för hårt på vintern när det är kallt eller att ledningen hänger ner för mycket på sommaren när det är varmt.

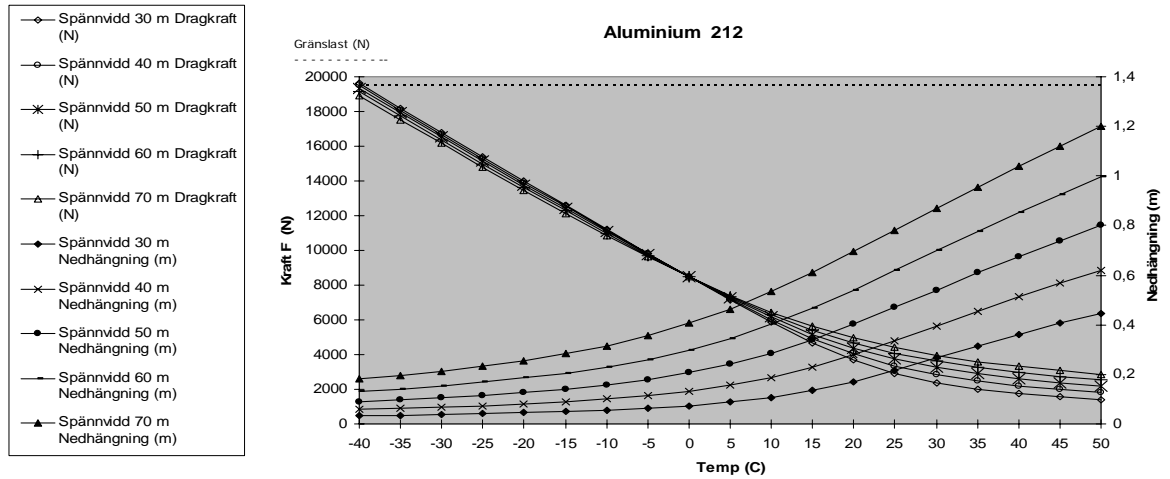
7.8 Najning

Fast inspända linor är upphängda i konsoler vid stolpen. För att hålla linorna fixerade i upphängningspunkten najas de fast på isolatorerna med hjälp av en spiral eller en bygel. Najningsspiralen eller najningsbygeln kan ta upp krafter i längsriktning och håller därmed linan på plats även om den skulle gå av i ett angränsande spann.

7.9 Linberäkning

För varje metallisk lina finns det ett linjärt samband mellan temperatur och längdutvidgning. För fast inspända linor innebär det att en lina kommer få ett ökat nedhäng samt minskad inspänningskraft vid höga temperaturer samt minskat nedhäng och ökad inspänningskraft vid låga temperaturer.

Sambandet mellan temperatur, nedhäng och inspänningskraft är inte linjärt, men det finns tabeller och figurer framtagna som beskriver detta samband. Figur 13 nedan gäller för en 212 mm^2 Al-lina med jämnviktsinspänning på 40 N/mm^2 (jämnviktsinspänning är den spänning linan har vid 0 grader Celsius).

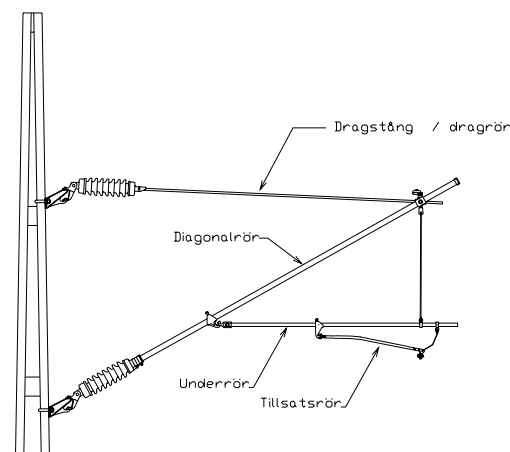


Figur 13. Inspänningstabell för en 212 mm² Al-lina med jämviktsinspänning på 40 N/mm².

8 Utliggare

8.1 Uppbyggnaden

Upphängningspunkten kallad utliggaren är den delen som håller kontaktledning och bärlinan uppe. Utliggaren är också en konstruktion som håller ledningen i rätt sido- och höjdläge. Utliggaren är uppbyggd av rör och stänger vilka har olika benämningar, se figur 14.

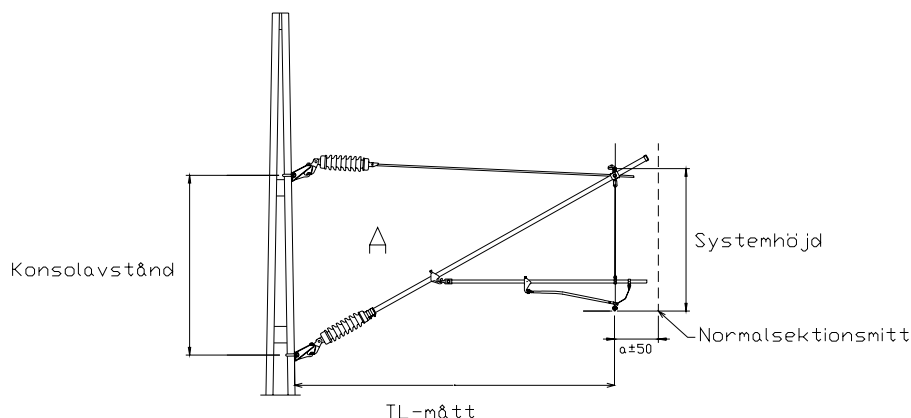


Figur 14. Utliggare med namn på rör och stänger.

Dragstång	-	den övre horisontella stången i utliggaren.
Dragrör	-	det övre horisontella röret i utliggaren.
Diagonlrör	-	det diagonala röret i utliggaren.
Underrör	-	det undre horisontella röret i utliggaren.
Tillsatsrör	-	det lilla böjda röret under underröret.

Utliggarna finns i olika längder och i olika utföranden. Kontakttråden placeras i olika lägen ovanför spåret. Tråden har också en begränsad längd och går även genom växlar. För att kunna uppnå detta i alla lägen finns det många olika modeller av utliggare, t.ex. enkelutliggare, sektionutliggare, växelutliggare, bryggutliggare och tunnelutliggare.

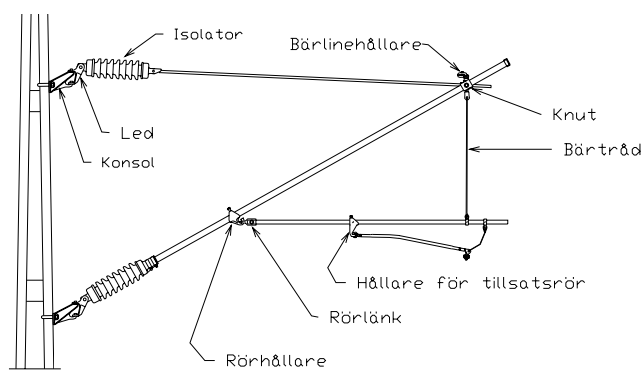
I en utliggare finns det en del mått och avstånd som man bör känna till. Dessa redovisas i figur 15.



Figur 15. Utliggare med namn på mått.

Konsolavstånd	-avstånd mellan konsolerna på stolpen.
TL-mått	-avstånd mellan stolpens framkant och trådläget.
Systemhöjd	-avstånd mellan kontaktledningen och bärlinan i utliggaren.
Trådföring	-mått mellan spårmittpunkt och hållaren till kontaktledningen.

En utliggare består främst av rör och stänger, men även av andra detaljer som t.ex. konsoler, knutar, länkar och hållare. De vanligaste visas i figur 16 nedan.



Figur 16. Utliggare med namn på detaljer.

En enkelutliggare är en utliggare som bär upp en ledning och finns i A- och B-utförande. En A-utliggare drar tråden mot stolpen, och en B-utliggare trycker tråden från stolpen. Vid ett rakspår monteras dessa utliggare växelvis för att uppnå rätt trådföring, så kallad hel zick-zack.

I sektionsövergångarna (kallas också sektionspunkter) möts två kontaktledningar. Detta innebär att utliggaren i varje stolpe måste bära upp två ledningar som ligger på olika höjder över rälsens överkant (RÖK). Dessa speciella utliggare finns i fyra olika modeller och de har en bokstav som

kännetecken (C, D, E och F). Utliggarna D och E är de som liknar linjeutliggaren B, med tryck mot stolpen medan C och F liknar A-utliggaren med drag från stolpen.

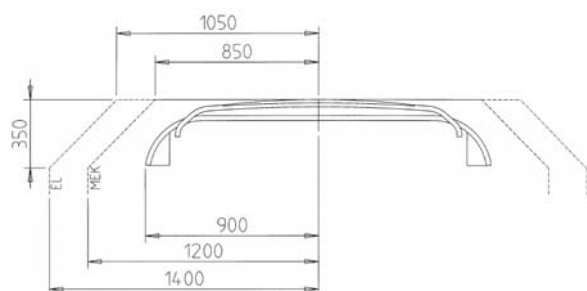
När ett eldrivet fordon går från ett spår till ett annat, över en växel, måste det hela tiden finnas strömförsörjning från kontaktledningen. Utliggaren som håller trådarna just före växlingspunkten från grenspåret till huvudspåret, kallas för växelutliggare.

8.2 Geometriska krav

En utliggaren är en konstruktion som håller upp kontakttråden och bärlinan på en viss höjd. Det är viktigt att utliggaren inte placeras så att strömvtagaren riskerar att kollidera med den.

Kravet på utliggaren är att ingen konstruktionsdel (som t.ex. ett underrör eller en isolator) får inkräkta i strömvtagarens mekaniska profil. Detta gäller både i statiskt läge och vid maximalt tillåtet strömvtagarupplyft.

När det gäller den elektriska profilen får endast spänningssatta konstruktionsdelar inkräkta i denna profil, se figur 17.



Figur 17. Elektriska och mekaniska profilen.

8.3 Tillsatsrör

Tillsatsröret är den rörliga delen av utliggaren som förbinder kontakttråden med utliggarens underrör. I äldre kontaktledningssystem finns inga tillsatsrör och därför hängs kontaktråden i dessa system upp direkt i underröret.

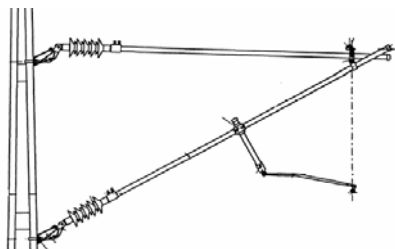
Tillsatsrörets funktion är att öka elasticiteten vid utliggaren samt att minska den massa som strömvtagaren behöver lyfta vid en strömvtagarpassage. Tillsatsröret monteras normalt så att tillsatsröret lutar nedåt. Vinkeln mellan underröret och tillsatsröret är en funktion av draget i tillsatsröret. Lutningen av tillsatsröret tenderar att vara liten när draget är högt (gäller t.ex. i tvära kurvor).

En för liten tillsatsrörlutning är inte bra därför att risken finns att tillsatsröret kan ta i utliggarens underrör, speciellt vid strömvtagarpassager av en strömvtagare med för högt upptryck. Lyckligtvis minskar dock även elasticiteten vid tillsatsröret vid högt drag och därmed trådlyftet vid en strömvtagarpassage.

För liten tillsatsrörlutning gör också att underröret i A-utliggare kan börja ”lyfta”. Detta sker när den tänkta linjen genom kontaktrådets upphängningspunkt och tillsatsrörets infästning i underröret korsar diagonalröret under underrörets infästning i diagonalröret.

Ett sätt att minska ovannämnda problem och som även görs hos andra järnvägsförvaltningar är att låta underröret i A-utliggare luta något uppåt (och neråt för B-utliggare) istället för att montera underröret horisontellt.

I Sverige väljer man i tvära kurvor ibland utliggare utan underrör, se figur 18, och därmed försvinner problemet.



Figur 18. Utliggare utan underrör.

9 Kontaktledning

9.1 Mekanisk uppbyggnad

9.1.1 Kontaktledningssektioner

Allmänt

En *sektion* är en ledningssträcka mellan två avspänningspunkter, se figur 19. Den består av kontaktledning, bärlina, bärtrådar och cirka 20 upphängningspunkter.



Figur 19. Kontaktledningssektion.

Sektionslängd

En vanlig sektionslängd begränsas på grund av trådens längdutvidgning. Avståndet mellan viktavspänningen och förankringspunkten begränsas därför i Sverige till 750 m.

Sektionslängden definieras som avståndet mellan två sektionsövergångars mittpunkter. Sektionslängden för system med 3 spans sektionsövergångar begränsas därför till 1320 m ($2 \cdot 750$ m - 180 m) och system med 5 spans sektionsövergångar till 1200 m ($2 \cdot 750$ m - 300 m). Avspänningen till en sådan sektion har en viktavspänning i var ände och en förankring av bärlinan på mitten.

Vid kortare sektioner kan man ha en viktavspänning på ena sidan av sektionen och en fast avspänning på andra sidan. I dessa fall begränsas sektionslängden till 570 m (750 m - 180 m) för 3-spannssektionsövergångar och till 450 m (750 m - 300 m) för 5-spannssektionsövergångar.

I tvära kurvor skall sektionslängden begränsas ytterligare av andra skäl. Utliggarna står nämligen endast vid en bestämd temperatur (vid ungefär $+5$ °C) helt rakt. När det är varmt rör de sig mot avspänningen och när det är kallt rör de sig mot förankringen. En A-utliggare som pekar mot avspänningen gör att inspänningskraften i kontakttråden och bärlinan minskas. För B-utliggare gäller motsatsen och där minskar inspänningskraften istället när utliggaren pekar mot förankringen

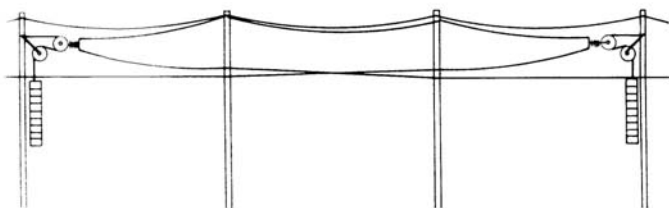
Inspänningskraftförlusten i en utliggare beräknas med följande formel där "Drag" är draget i tillsatsröret i [N], Δl är utliggarens snedställning vid kontakttråden i [m] och $L_{\text{utliggare}}$ utliggarens längd i [m].

$$\Delta F = Drag \cdot \frac{\Delta l}{L_{utliggare}} \quad (4)$$

Sektionsövergången

En sektionsövergång är den plats där man byter ledningar från en sektion till en annan. Man bygger Sektionsövergångar över 3 eller 5 spann, med 2 respektive 4 sektionsutliggare. Själva växlingen mellan trådarna sker på en sträcka av ca 10 m, fast hela sektionsövergången är mellan 150 m och 300 m lång.

Den avvikande tråden lyfter totalt mellan 70 – 500 mm. Ju högre hastighet desto fler spann är lyftet delat på för att få en bra strömvtagning.



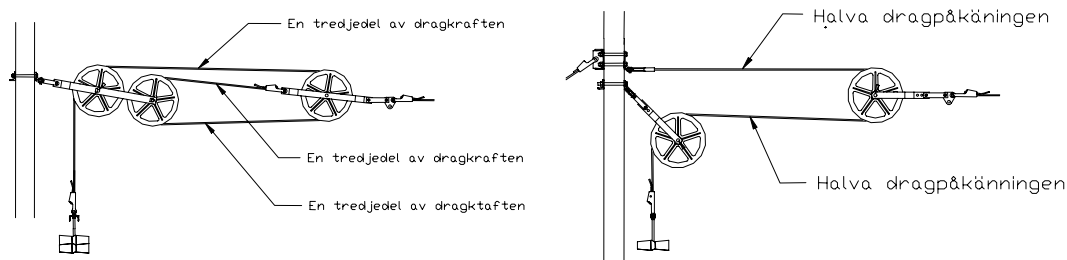
Figur 20. Sektionsövergång.

9.1.2 Avspänning

Allmänt

Temperaturskillnaderna regleras av viktavspänningar eller fjäderavspänningar som är monterade i änden på varje sektion. En viktavspänning reglerar ledningens nerhång genom att vikten åker uppåt vid kyla och nedåt vid värme men med samma dragpåkänning hela tiden.

Viktens massa och antalet hjul i utväxlingen bestämmer dragkraften i ledningen, fler antal hjul ger större utväxling, se figur 21. Vid tre hjul och en utväxling 1:3 rör sig vikten 3 gånger mer än ledningen, samtidigt som vikten bara väger en tredjedel av dragpåkänningen.

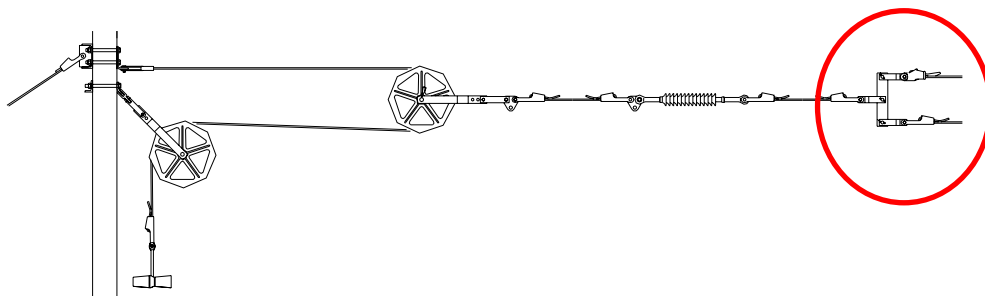


Figur 21. Olika sorters avspänningsanordningar.

Friktionen i viktavspänningen gör att inspänningskraften minskas med en viss procentsats. I Sverige bidrar viktavspänningen till en inspänningskraftförlust på ungefär 2,5 %. Viktavspänningar med fler hjul eller med hjul som har mindre diameter, leder till mer friktion och därmed till större inspänningskraftförlust.

Gemensam avspänning

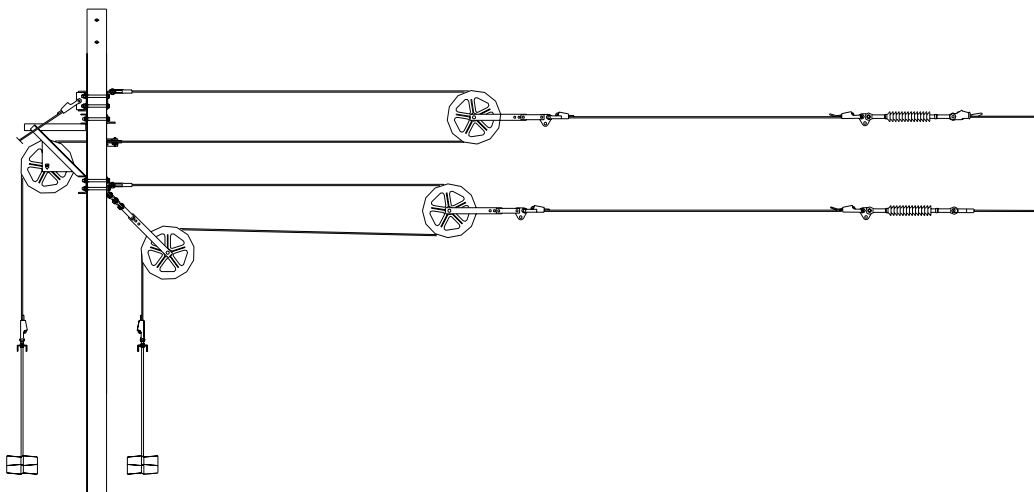
Med gemensam avspänning menas att kontaktledningen och bärlinan har en vikt gemensamt. Krafterna fördelas med hjälp av en vågarm. Detta gör att viktens totala massa är summan av dragkraften i kontakttråden och bärlinan delat med ett antal hjul, eller rättare sagt antalet linor som kraften fördelar sig på.



Figur 22. Vågarm, inringad.

Separata avspänningar

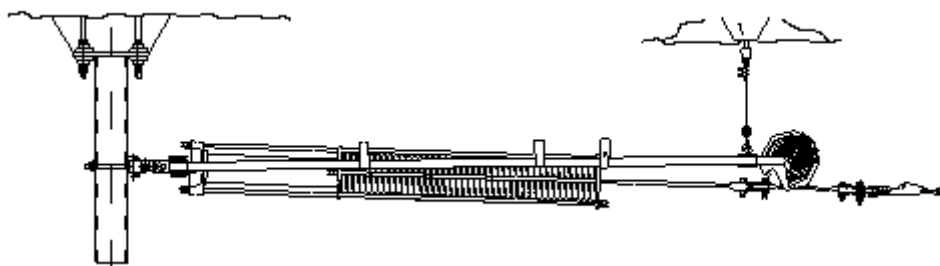
Nyare system med högre inspänningskrafter har separata viktavspänningar. Det vill säga, en viktavspänning till kontaktledningen och en till bärlinan. Dessa system har ingen balans som fördelar kraften till kontaktledning och bärlina.



Figur 23. Separata avspänningar.

Fjäderavspänning

Ett alternativ till viktavspänningar är en fjäderinspänning vilket syns i figuren 24.



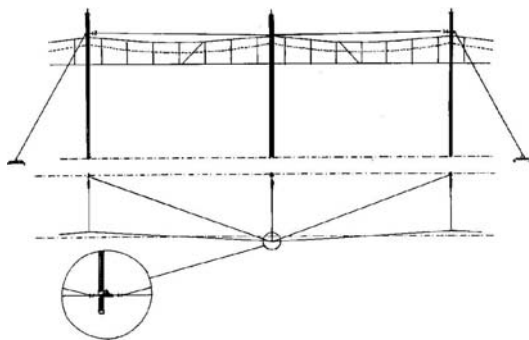
Figur 24. Fjäderavspänning.

9.1.3 Förankring

Förankringen är den punkt som låser sektionen och därmed förhindrar att den rör sig längs med spåret mellan vikterna. Friktionen mellan strömvtagaren och kontakttråden skulle annars dra med sig sektionen åt det håll som tåget kör.

Det är alltid bara bärlinan som man låser i en förankring. Beroende på om ledningen har separata avspänningar måste en diagonallina monteras mellan bärlinan och kontaktledningen på ömse sidor av förankringen.

Förankringen är monterad mitt på kontaktledningssektionen och uppdelad på 3 stolpar, se figur 25. Ytterstolparna är stagförankrade i marken och en ställlina är uppspänd mellan ytterstolparna och över mittenutliggaren.



Figur 25. Förankring.

9.1.4 Hängverk

Allmänt

Kontaktledningens funktion är att ge bra strömavtagning till strömavtagare på järnvägsfordon. För att strömavtagningen ska kunna fungera bra, skall hängverket som innefattar bärlinan, bärtrådar, kontaktråden samt en eventuell Y-lina, utformas på ett speciellt sätt.

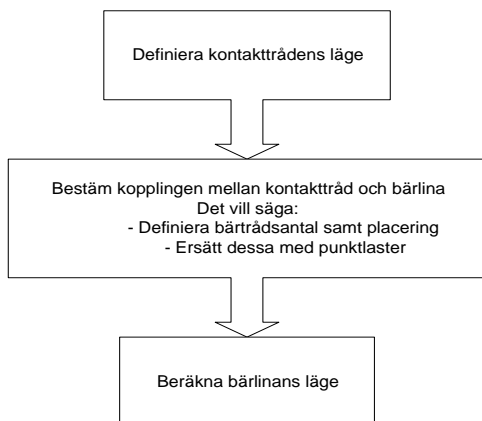
Det viktigaste är att kontaktrådets upplevda höjd över spåret är så jämnt som möjligt. Med upplevda höjd menas den höjd som strömavtagartoppen har i förhållande till spåret när den trycks på kontaktledningen.

I praktiken innebär det att kontaktråden skall ha ett nedhäng på spannmitt på mellan 0 och 80 mm beroende på bl.a. spannlängden och kontaktrådets inspänningskraft. I kurvor med rälsförhöjning krävs ytterligare nedhäng. För att kunna uppnå rätt höjd på kontaktråden skall bärtrådslängden beräknas för varje spann.

Kontaktledningshöjden skall inte heller variera för mycket därför att strömavtagningen skall kunna fungera på ett tillfredställande sätt. För samtliga kontaktledningssystem finns därför begränsningar för kontaktledningshöjden samt höjdändringar.

Bärtrådsberäkning

Bärtrådsberäkningen bryts sönder i tre konkreta beräkningssteg, se figur 26.



Figur 26. Bärtrådsberäkningens steg.

Definiering av kontaktrådens läge är en ren designprocess. Här specificeras hur nedhänget för kontaktledning ska se ut, vilket sedan blir en inparameter till efterföljande beräkningssteg.

Bärtrådarna svarar för överföring av laster mellan kontaktråd och bärlina. Först måste antalet bärtrådar samt deras placering bestämmas. Sedan ersätts bärtrådar och kontaktrådslast med punktlaster som ger indata till det sista beräkningssteget.

Bärlinans läge beräknas. Från detta steg kan bärtrådarnas längder erhållas när man vet bärlinans och kontaktrådens läge.

9.2 Olika system

9.2.1 Allmänt

Den vanligaste formen för kontaktledning är den indirekt upphängda, där kontaktråden genom bärtrådar är upphängd i bärlinan. Bärlinan kommer att belastas förutom av sin egenvikt, även av vikten från kontaktråden och bärtrådarna.

9.2.2 Utan tillsatsrör

Den enklaste formen av indirekt upphängd kontaktledning är den där kontaktråden monteras direkt med en kontaktrådshållare i underröret. I Sverige kallas dessa system för S-system.

S-system finns idag kvar på äldre linjer och på bangårdar. Fördelen med systemet är att det är ett relativt enkelt system som speciellt lämpar sig för avsnitt med små kurvradier. Systemet underlättar även trådföringen då man inte behöver ta hänsyn till draget.

Nackdelen är att sth är begränsad till 120 km/h.

9.2.3 Med tillsatsrör

Det mest utbredda indirekt upphängd kontaktledningssystemet i Sverige är den där kontaktråden monteras i ett rörligt tillsatsrör som i sin tur är upphängd i underröret. I Sverige kallas de system ST-system.

Inspänningskraften i dagens ST-system varierar mellan 7 100 och 15 000 N och sth mellan 140 och 200 km/h

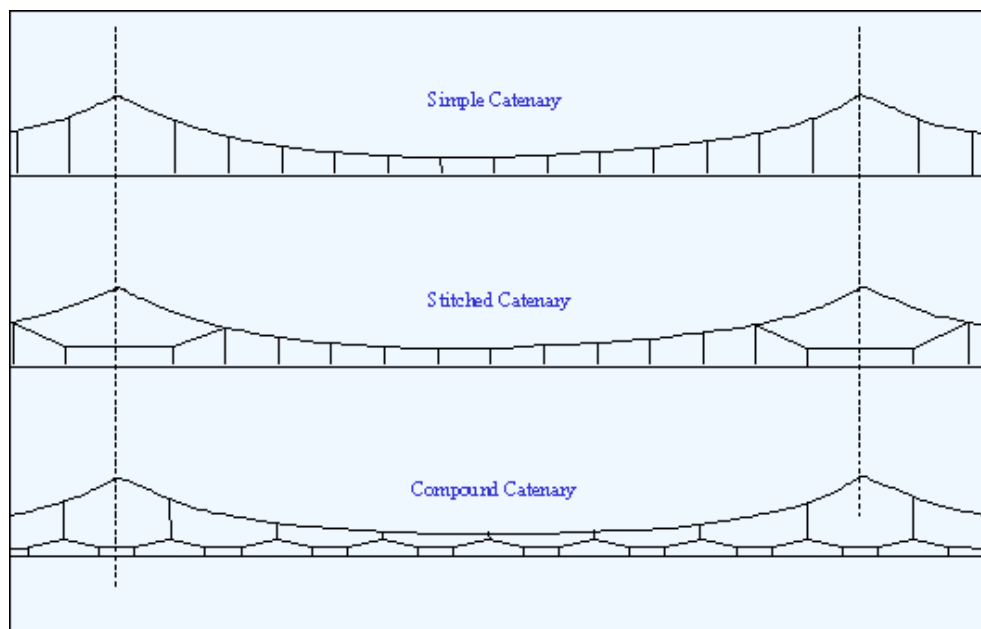
9.2.4 Med Y-lina

En tredje form av indirekt upphängda kontaktledningssystem är SYT-system.

Precis som i ST-system monteras kontaktråden vid utliggaren i ett tillsatsrör, men i motsats till ST-system, hängs kontaktråden vid första och sista bärtråden inte direkt upp i bärlinan, men däremot i en Y-lina.

Fördelen med detta är att en Y-lina som hängs upp i en bärlinan är mjukare än bärlinan. Resultatet blir att kontaktrådets elasticitet i området runt utliggaren blir högre.

Inspänningskraften i dagens SYT-system varierar mellan 9 800 och 15 000 N och sth mellan 200 och 250 km/h.



Figur 27. Olika varianter av system.

9.3 Karakteristisk data

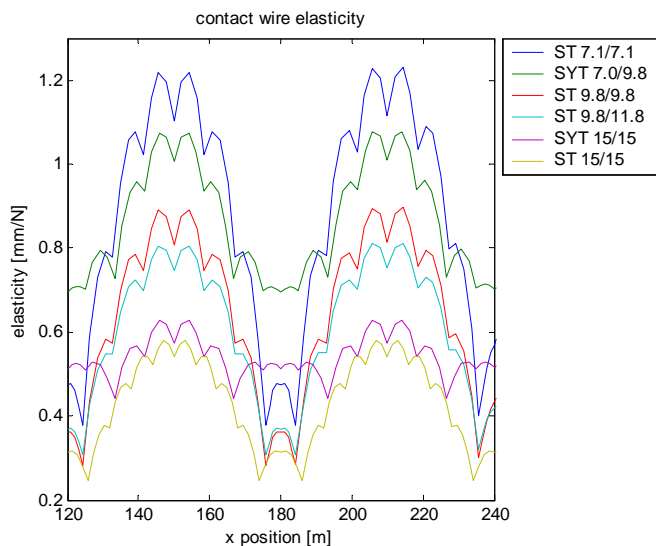
9.3.1 Statisk elasticitet

Statisk elasticitet är ett mått för kontaktledningens ”mjukhet” och mäts genom att trycka upp ledningen med en bestämd kraft och mäta upplyftet. Ju jämnare elasticiteten är längs spannet desto bättre eftersom ledningen då rörs minst i höjddled vid upptryck av en strömavtagare.

Den maximala elasticiteten uppträder på spannmitt. För att kompensera avvikelser i elasticiteten monteras kontakttråden med ett nedhäng vilket minimerar strömavtagarens vertikala rörelse. Minimal elasticitet erhålls intill utliggaren. Den maximala elasticiteten kan beräknas med nedanstående formel där L är spannlängden och F_a och F_b kontakttrådens respektive bärlinans inspänningskrafter.

$$e_{\max} = \frac{L}{4 \cdot (F_a + F_b)} \quad (5)$$

Variationen i elasticitet kan minskas genom att antingen öka inspänningskrafterna vilket minskar elasticiteten på spannmitt eller genom att använda sig av system med Y-lina vilka höjer kontaktledningens elasticitet vid upphängningen. Figur 28 beskriver elasticiteten för de olika kontaktledningssystem.



Figur 28. Kontaktledningselasticitet för olika system.

Ett annat mått på hur ”bra” ett kontaktledningssystem är, är elasticitetsfaktorn som beräknas enligt formel 6. Låga värden för elasticitetsfaktorn tyder på att systemet är ”bra”, men formeln ska användas med viss försiktighet, speciellt för högt inspända system då elasticitetsfaktorn för dessa system kan vara hög trots att systemet är ”bra”.

$$u = \frac{e_{\max} - e_{\min}}{e_{\max} + e_{\min}} \cdot 100 \quad (6)$$

9.3.2 Kontakttrådstyper

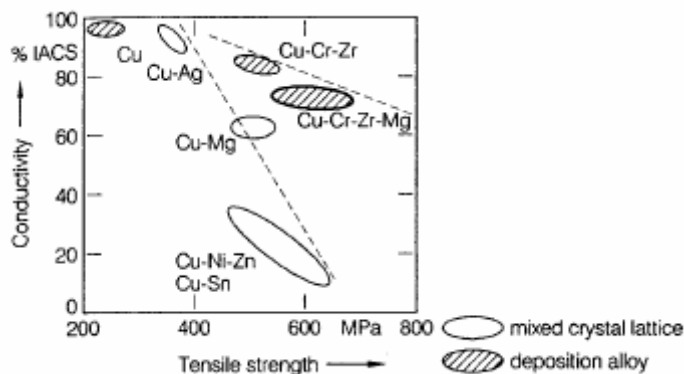
En skillnad mellan olika kontakttrådar är tvärsnittsarean, som kan variera mellan 80 – 150 mm². I Sverige används dock inga storlekar över 120 mm². Profilen beskrivs i figur 29.



Figur 29. Kontakttrådsprofil.

En annan parameter som skiljer kontakttrådar åt är materialet. Det finns ren koppar och det finns kopparlegeringar. Ren koppar leder strömmen bra med lågt motstånd. Koppar är dock ett mjukt material med en begränsad draghållfasthet. Draghållfastheten kan ökas genom att blanda koppar med andra material.

Figur 30 visar konduktiviteten uttryckt i % av konduktiviteten för rent koppar mot legeringens draghållfasthet. Man strävar efter hög draghållfasthet och samtidigt hög konduktivitet.



Figur 30. Konduktivitet för olika legeringar.

En nackdel med ett material som CuMg, som har en hög draghållfasthet, är att materialet är hårt och att kontakttråden är svår att räta ut i samband med montage.

Valet av material är en kompromiss där man strävar efter att ha en lätt tråd med hög draghållfasthet, eftersom man då får en hög vågutbredningshastighet i tråden, samtidigt som man vill ha en så hög konduktivitet som möjligt.

9.3.3 Inspänningskrafter

En kontakttråd eller bärlina får sin inspänningskraft genom vikter eller genom en fjäder. Ju tyngre vikter eller hårdare inspänd fjäder, desto hårdare inspänd blir tråden eller linan och desto snabbare kan man köra på systemet.

Att öka inspänningskraften har dock även nackdelar. Höga inspänningskrafter ökar lasten på stolpar och utliggare, speciellt i kurvor. I tvära kurvor måste därför inspänningskraften begränsas.

I Sverige används kontaktledningssystem med inspänningskrafter mellan 4 900 N upp till 15 000 N.

9.3.4 Egenfrekvenser

Egenfrekvens eller resonansfrekvens kallas den frekvens ett elastiskt föremål börjar svänga med om det utsätts för en fysisk kraft och som sedan snabbt släpps.

Hos en spänd sträng av ett givet material och av given tjocklek är egenfrekvensen framför allt en funktion av längden (ju längre sträng desto lägre egenfrekvens) och spänningen (ju hårdare spänd sträng desto högre egenfrekvens).

Alla objekt som har en egenfrekvens har även flera andra, högre egenfrekvenser. Dessa högfrekventa svängningar blir dock ofta av så liten amplitud jämfört med grundfrekvensen att man ofta inte märker av dem.

Kontaktledningens egenfrekvens beräknas genom formel 7, där K är en konstant som är 0,48 för system utan Y-lina och 0,46 för system med Y-lina. m är den totala massan [kg/m] på ledare, bärtrådar och klämmor. L är spannlängden [mm], F_a och F_b är kontakttrådens respektive bärlinans inspänningskrafter [N].

$$f_e = \frac{K}{L} \cdot \sqrt{\frac{F_a + F_b}{m}} \quad (7)$$

Eftersom bärlinan påverkar egenfrekvensen relativt lite kan man också använda den förenklade formeln 8 som bara tar hänsyn till kontakttråden, där L är spannlängden, F_a är inspänningskraften i kontakttråden och m är massan per meter kontakttråd.

$$f_e = \frac{0,5}{L} \cdot \sqrt{\frac{F_a}{m}} \quad (8)$$

När strömavtagarens frekvens för stolppassager sammanfaller med kontaktledningens egenfrekvens får man en kritisk hastighet som kommer att orsaka excitering av en svängning i tråden vilket ej är bra för strömavtagningen. Det innebär att tiden det tar för tåget att färdas mellan två upphängningspunkter är samma tid som det tar för ledningen att svänga en period. När detta sker kommer nämligen alla svängningar i ledningen att förstärkas av strömavtagaren vilket leder till stora kontaktkraftsvariationer och dålig strömavtagning.

9.3.5 Vågutbredningshastighet

En våg utbreder sig med en viss hastighet v . En våg transporterar energi utan att massa förflyttas. För en kontaktledning kan vågutbredningshastigheten beräknas med formel 9 där m är kontakttrådens massa per meter.

$$v = \sqrt{\frac{F_a}{m}} \quad (9)$$

Den maximala hastigheten för ett tåg som kör under en kontaktledning skall aldrig vara högre än 70 % av vågutbredningshastigheten.

9.4 Trådföring

9.4.1 Allmänt

Trådföringen är till för att dels hålla tråden spänd i sidled, och dels för att ge en jämn förslitning på strömvtagarnas kolslitskenor. Trådläget vid trådföringen är trådens placering i sidled i förhållande till spårmit mitt vid utliggaren. Storleken på detta mått beror på vilken radie det aktuella spåret har.

Vid projektering av trådföringen i vanliga spann finns fem krav att ta hänsyn till:

- Trådläget skall vara lika med eller mindre än 400 mm.
- Trådläget skall vara större än eller lika med 200 mm, för 800 mm tillsatsrör.
- Vindavdriften skall vara mindre än 500 mm för system anpassade till dagens strömvtagare. För kontaktledningssystem S 4.9/5.9 och ST 7.1/7.1 accepteras en vindavdrift på 600 mm respektive 550 mm på rakspår och ner till radie 2500 m. Vindavdriften skall vara mindre än 400 mm för system anpassade till europaströmvtagaren. (För kontaktledningshöjder över 5300 mm och i kurvor skall den tillåtna vindavdriften för europaströmvtagaren ytterligare reduceras).
- Draget skall vara större än 70 N.
- Draget skall vara mindre än 900 N.

9.4.2 Spannlängder

Spannlängderna begränsas på grund av vindavdrift. Med vindavdrift menas den position tråden kan få på grund av trådens och kurvans geometri samt sidvinden.

Vindavdriften på spannet beräknas med följande formel, där x är positionen i spannet, p vindtrycket, R radie och F inspänningskraften i kontakttråden.

$$e = \frac{(a_2 - a_1) \cdot x}{S} + a_1 - \frac{1}{2} x \cdot (x - S) \left(\frac{1}{R} + \frac{p}{F} \right) \quad (10)$$

För att förhindra att strömvtagartoppen hamnar utanför kontakttråden vid hård sidvind skall därför spannlängden begränsas för given radie och valt trådföring.

9.4.3 Rakspår och kurvor

Det vanliga idag är att hel zick-zack, används vid nybyggnation. Det leder till att man får ett jämnt slitage på strömvtagaren och därmed en bättre strömvtagning.

På rakspår uppnår man detta genom att projektera utliggarna av typen A och B växelvis. I kurvor med små radier monteras i ytterkurvor endast A-utliggare och i innerkurvor endast B-utliggare. Se skillnaden i figur 31.

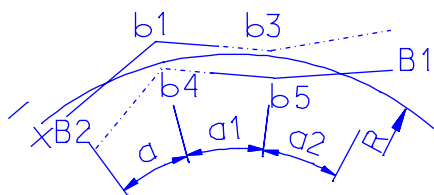


Figur 31. Till vänster zick-zack (varannan A- och B-utliggare) och till höger enkelsidig förläggning.

9.4.4 Sektionsövergångar

För att uppnå rätt trådföring i en sektionspunkt på ett rakspår kombineras sektionsutliggare C med E. I kurvor med små radier väljs C och F för ytterkurvor och E och D för innerkurvor.

Avgörandet vid valet av vilken sektionsutliggare som kommer först beror på utliggarens trådläge just innan sektionspunkten.



Figur 32. Trådföring i sektionsövergångar på rakspår.



Figur 33. Trådföring vid sektionsövergångar i kurvor.

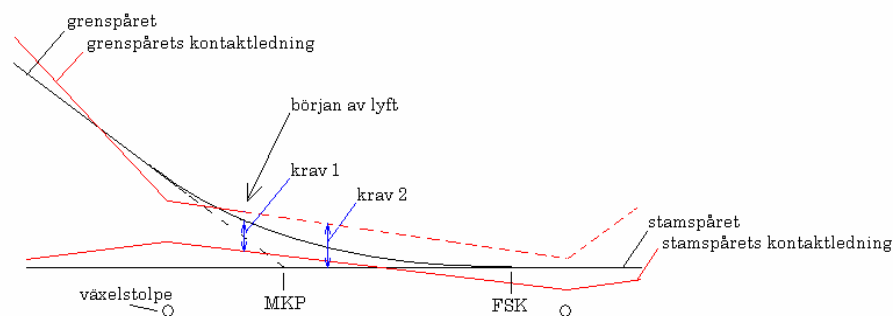
9.4.5 Växlar

Trådföring i växlar kan i princip ske på två sätt. Det ena sättet är en lösning med parallella kontakttrådar och den andra är med korsande kontakttrådar.

Parallella kontakttrådar

Trådföringen i en växel med parallella kontakttrådar, skall vara utformad så att en strömvtagare endast har kontakt med en kontakttråd när den kör på huvudspåret. Vid körning från grenspåret in på huvudspåret är det viktigt att strömvtagaren får en så mjuk kontakt med huvudspårets kontakttråd som möjligt.

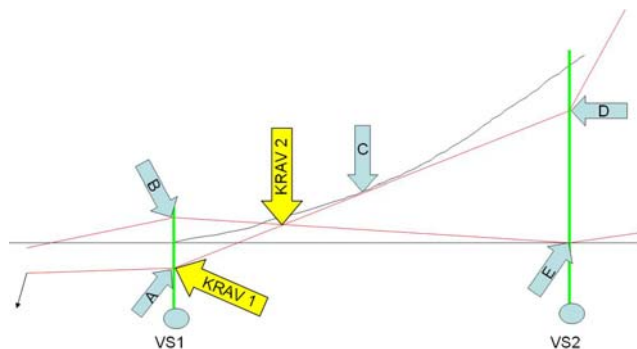
En grafisk presentation visas i figur 34.



Figur 34. Skiss på växel byggd med parallella trådar.

Korsande kontakttrådar

Trådföringen i en växel med korsande kontakttrådar, skall vara utformad så grenspårets kontakttråd korsar över huvudspårets kontakttråd. Kontakttrådarna sitter sedan ihop med ett så kallat ”svävande kryss”. I hängverket monteras också två korsande bärtrådar som gör att både system lyfts vid en strömvtagarpassage.



Figur 35. Skiss på växel byggd med korsande trådar.

10 Strömavtagning

10.1 Strömavtagare

Strömavtagarens funktion är att förse fordon med energi. Det är viktigt att detta sker kontinuerligt och utan avbrott. Det sistnämnda gör att det ställs en hel del mekaniska krav på strömavtagaren.

Strömavtagare förekommer i olika varianter, men det de har gemensamt är att de har en större konstruktion längs ner som skall ta upp de stora, långsamma rörelser och ett toppaket som tar upp de små och snabba rörelserna.



Figur 36. Strömavtagare.

10.2 Strömavtagning

10.2.1 Funktionskrav

Det ställs många krav på strömavtagare och strömavtagningen. De viktigaste kraven är dock följande:

- Krav på strömavtagarhuvudets geometri. Beroende av vilken strömavtagarbredd kontaktledningen är dimensionerad för ställs olika krav på strömavtagarens geometri. I Sverige tillåts idag endast en 1800 mm bred strömavtagare
- Krav på det vertikala arbetsområdet. En strömavtagare dimensioneras för ett visst arbetsområde, I Sverige ligger det vertikala arbetsområdet mellan 4800 och 6100 mm.
- Krav på kolslitskenan. En kolslitskena är den del av strömavtagaren som har kontakt med kontaktledningen. Kolslitskenan är gjord av kol (även om andra material förekommer i Europa) och har en bredd som täcker området där det kan finnas kontakt mellan strömavtagare och kontaktledningen.
- Krav på kontaktkrafter. Kontaktkrafterna mellan en strömavtagare och kontaktledning varierar en del på grund av dynamiska och aerodynamiska krafter och får varken vara för stor eller för liten. I Sverige skall kontaktkrafterna ligga mellan 0 och 200 N för hastigheter ≥ 200 km/h. För lägre hastigheter sänks maxvärdet.

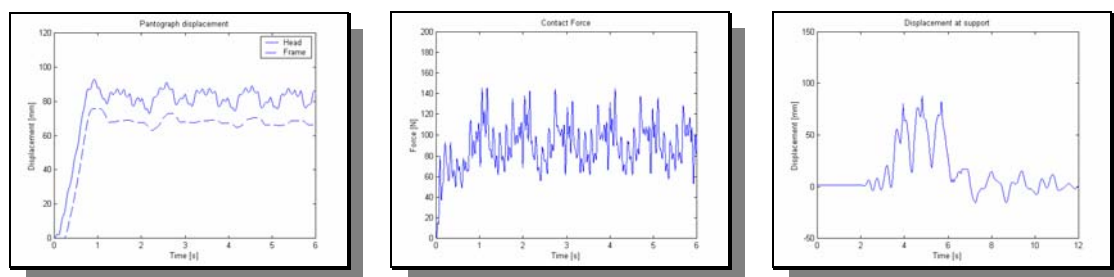
10.2.2 Mätning

För att veta om kontaktledningen är i bra skick mäter man kontaktkrafter och trådlägena med vissa intervaller. Kontaktkrafterna mäts med kraftgivare och accelerometrar som monteras just under kontaktskenan. Krafterna skall ligga inom gränsvärdena.

10.2.3 Beräkning

För att kunna uppskatta hur kontaktledningen kommer att uppföra sig vid olika hastigheter och strömavtagarkombinationer finns det också möjlighet att simulera kontaktledningsdynamiken med hjälp av finita elementprogram.

Före simuleringen anger man kontaktledningens geometri och uppbyggnad, fordonets hastighet m.m. Resultatet visar sedan kontaktkraftsvariationen samt kontaktrådets och strömavtagarens vertikala rörelser, se figur 37.



Figur 37. Strömavtagarens rörelse, kontaktkraft samt upplyft vid utliggaren.

10.3 Detektoranläggningar för strömavtagare

10.3.1 Allmänt

Detektoranläggningar registrerar felaktigheter på tågfordonens strömavtagarutrustning och skickar felmeddelanden till berörd bandriftledning.

10.3.2 Upplyftsdetektor

En upplyftsdetektor mäter den vertikala lägesförändringen av kontaktråden vid strömavtagarpassage, upplyftet. Syftet med detektorn är att kunna mäta upplyftet och rapportera resultatet till operatören som därmed kan förebygga skador och underlätta underhållet på strömavtagarna. Vid larm stoppas tåget direkt av bandriftledningen.

10.3.3 Kolslitskenedetektor

En kolslitskenedetektor registrerar defekta kolslitskenor. Syftet med detektor är att under drift kontrollera strömavtagarens kolslitskenekondition och minska antalet skador på kontaktledningen.

11 Underhåll

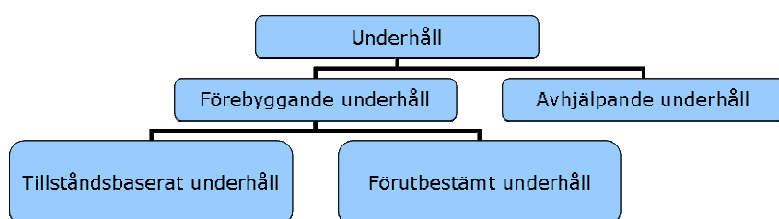
11.1 Strategier

11.1.1 Allmänt

För Banverket som innehavare av kontaktledningsanläggningen är det viktigt att det finns en utarbetad underhållsstrategi som leder till hög driftsäkerhet.

Underhållet kan delas in enligt nedanstående figur och bygger på ett förebyggande underhåll av anläggningen bestående av det tillståndsbaserade och det förutbestämda underhållet samt ett avhjälpande underhåll.

Strategin är att minimera det avhjälpande underhållet (akuta insatser) och att i det förebyggande underhållet i så stor utsträckning som möjligt övergå från förutbestämt underhåll till tillståndbaserat underhåll.



Figur 38. Underhåll.

11.2 Övervakning

11.2.1 Allmänt

För att kunna övergå till tillståndbaserat underhåll, krävs att det finns bra och tillförlitliga besiktningsmetoder som visar anläggningens aktuella tillstånd. I följande stycken redovisas de besiktningsmetoder Banverket använder.

11.2.2 Säkerhetsbesiktning

Säkerhetsbesiktning är tillsyn av anläggningen så att den är i sådant skick att den ger nödvändig säkerhet för person, husdjur och egendom. Säkerhetsbesiktningen ska utföras minst en gång per år.

11.2.3 Underhållsbesiktning

Underhållsbesiktning är en detaljerad kontroll vars främsta syfte är att skapa ett underlag för planering av underhållsåtgärder på medellång sikt. Periodiciteten på underhållsbesiktningen bestäms av det tekniska systemet, banklassen, anläggningens ålder samt ingående komponenter. Underhållsbesiktning kan ersättas av besiktning med förhöjt upptryck, termografering eller kontrollvagn.

11.2.4 Mätvagn

Mätvagnen mäter kontaktledningens dynamiska geometri och strömavtagarens kontaktkrafter. Besiktning med mätvagn utförs minst två gånger per år. Syftet är att kontrollera ledningens kvalitet ur strömavtagningssynpunkt samt dess aktuella status för att kunna förebygga haverier. Med hjälp av mätningarna kartläggs eventuella justeringsbehov främst med avseende på höjd- och sidoläge.

11.2.5 Termografering

Termofotografering är en metod som beskriver anläggningens termiska tillstånd vid utmatning av 300 A. Termografering bör göras när anläggningen uppnått en ålder av 30 år och avser att identifiera felaktiga komponenter genom att upptäcka dolda fel med temperaturmätning. Syftet är att förlänga livslängden på anläggningen.

11.2.6 Radiopejling

Radiopejling är en metod som registrerar radiostörningar genererade av gnisturladdningar. Gnisturladdningar förekommer bl.a. vid dålig kontakt.

11.2.7 Kontaktledningsmätning med förhöjt upptryck

Kontaktledningsmätning med förhöjt upptryck kontrollerar om strömavtagarens begränsningsområde är fritt från främmande föremål. Mätningen utförs i samband med det första planerade förebyggande underhållet, därefter vart tionde år. Syftet är att kontrollera om strömavtagarens mekaniska profil och elektriska profil är fria från främmande föremål.

11.2.8 Kontrollvagn

En kontrollvagn mäter kontaktledningens statiska geometri. Besiktning med kontrollvagn bör utföras vart femte år.

12 Referenser

Contact Lines for Electric Railways - Siemens

EN 50119 - Järnvägsanläggningar - Fasta installationer -
Kontaktledningar

EN 50367 - Järnvägsanläggningar – strömvagningsystem – Tekniska
villkor för samspel mellan strömvagnare och kontaktledning
(för att uppnå fri tillgång)

BVH 543.3501 - Projektering av Banverkets Högspänningsledningar

Övrigt FDOK - <http://ida/bvdok/>