

# Val av spänning och frekvens i den svenska järnvägens kontaktledningar

Förutsättningar, möjligheter och problem



LUNDS  
UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg  
Institutionen för teknik och samhälle

Examensarbete: Torkel Höglund



© Copyright Torkel Höglund

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 2018

## Sammanfattning

Den svenska järnvägen har av historiska skäl kontaktledningar med 15 kV/16 $\frac{2}{3}$  Hz som driver tågen emedan den vanligaste standarden i omvärlden är 25 kV/50-60 Hz. Detta leder till högre investeringskostnader vid om- och utbyggnader av järnvägen samt till större energiförluster i eldistributionen till tågen.

För att kunna komma ifrån dessa nackdelar genom att istället investera i 25 kV/50 Hz kontaktledningssystem, så krävs det dock under övergångstiden tågfordon som är kompatibla med båda dessa spänningssystem. Sådana tågfordon är ytterst måttligt dyrare än dagens tågfordon på den svenska järnvägen, förutsatt att de beställs i denna form, redan vid tillverkningen. Däremot så är det mycket dyrt att bygga om befintliga järnvägsfordon till tvåströmsutförande.

Rekommendationen är att snarast styra om nyinköpen av tågfordon till sådana som är kompatibla med både 15 kV/16 $\frac{2}{3}$  Hz och 25 kV/50-60 Hz kontaktledningsspänning samt att vid nyinvesteringar i banmatning välja att satsa på 25 kV/50 Hz banmatningssystem i den största möjliga utsträckning som rimligen kan medges av de vid aktuell bansträckning och tidpunkt förekommande tågfordonen.

Merkostnaden för att beställa alla nyinköpta tågfordon i tvåströmsutförande ligger på c:a 30 MSEK/år och besparingen genom upphörda investeringar i omformarstationer som uppkommer på några års sikt kommer att hamna på c:a 300 MSEK/år. Därtill kommer också minskade energiförluster med en potential upp till c:a 200 GWh/år, om hela Sveriges järnväg skulle spänningsmatas med 25 kV/50 Hz.

Nyckelord: 15 kV/16 $\frac{2}{3}$  Hz, 25 kV/50 Hz, Banelektrifiering, Haparandabanan, järnvägsfordon, kontaktledningsmatning, kostnadseffektivisering, kraftförsörjning, lok, motorvagn, omformare, omformarstation, omriktare, Ostlänken, SVC-filter, traktionsmatning, Öresundsbron.

## Abstract

For historical reasons, Swedish railways use 15 kV/16 $\frac{2}{3}$  Hz overhead contact lines for train traction, while the most common standard worldwide is 25 kV/50-60 Hz. This leads to higher investment costs for railway conversions and expansions, and to greater energy losses in the distribution of electricity to the trains.

Yet to get away from these drawbacks by investing in a 25 kV/50 Hz overhead contact line system, during the transitional period the railways will require rolling stock compatible with both of these voltage systems. This type of rolling stock is only slightly more expensive than the current rolling stock operating on Swedish railways, provided that they are ordered in this form when produced. On the other hand, it is very expensive to retrofit existing rolling stock to accommodate dual voltage.

The recommendation is to reconfigure the procurement of new rolling stock as soon as possible to ensure that purchased assets are compatible with both 15 kV/16 $\frac{2}{3}$  Hz and 25 kV/50-60 Hz overhead contact line voltage, and, when making new investments in railway electrification, to invest in 25 kV/50 Hz railway electrification systems to the greatest extent feasible, with regard to the rolling stock in use on the route in question at present.

The additional cost incurred by procuring all new rolling stock with a dual-voltage configuration is approximately SEK 30 million per year, while the savings that will be achieved by eliminating investments in substations will be approximately SEK 300 million per year in a few years' time. The initiative will also reduce energy losses, with potential savings of up to approximately 200 GWh/year, should the entirety of Sweden's rail network be supplied by 25 kV/50 Hz.

**Keywords:** 15 kV/16 $\frac{2}{3}$  Hz, 25 kV/50 Hz, railway electrification, Haparandabanan, rolling stock, overhead contact line supply, cost efficiency, power supply, locomotive, railcar, converter, substation, inverter, East Link Project, SVC filter, traction supply, Öresund Bridge.

## Förord

Då jag nu kan skönja slutet på en, som det känns, längre tids studier vid Lunds Tekniska Högskola, så har jag stått inför den kanske allra tyngsta delen av min utbildning till järnvägsingenjör, examensarbetet.

Det har varit ett omfattande projekt att ta sig igenom och jag vill här tacka min handledare Per Corshammar för den hjälp jag fått med att komma vidare vid de tillfällen då jag stått inför ansenliga utmaningar att passera. Jag vill också särskilt tacka Svend Brinch vid Banedanmark, som utan tvekan var den som hjälpte mig att komma till detaljerad insikt om hur matningen av 25 kV/50 Hz kontaktledningsanläggningar är uppbyggd och fungerar. Utan denna hjälp, så hade det varit mycket svårt att ro detta projekt i hamn.

Jag vill givetvis också tacka alla medarbetare vid olika svenska myndigheter och företag som varit behjälpliga med allehanda faktaupplysningar och svar på frågor, som jag behövt för att komma vidare. Tack allesammans, ingen nämnd och ingen glömd!

# Innehållsförteckning

<b>1 Inledning</b> .....	<b>1</b>
1.1 Syfte och mål .....	1
1.2 Metod.....	1
1.3 Avgränsningar .....	1
1.4 Nyckelbegrepp.....	2
<b>2 Typer av spänningsförsörjning</b> .....	<b>3</b>
2.1 15 kV/16 <sup>2</sup> / <sub>3</sub> Hz.....	3
2.2 25 kV/50-60 Hz.....	5
<b>3 Fordonen</b> .....	<b>7</b>
3.1 Olika tågfordonstyper .....	7
<b>4 Investeringskostnader för omformarstationer</b> .....	<b>9</b>
4.1 Kapacitetsökningar .....	9
4.2 Kostnader.....	9
<b>5 Energiförluster</b> .....	<b>10</b>
5.1 15 kV/16 <sup>2</sup> / <sub>3</sub> Hz.....	10
5.2 25 kV/50 Hz.....	10
<b>6 Effektiviseringspotential vid nybyggnad</b> .....	<b>12</b>
6.1 BT-system .....	12
6.2 AT-system .....	13
<b>7 Energibesparing</b> .....	<b>16</b>
7.1 Procentuell besparingspotential .....	16
7.2 Reell besparingspotential .....	16
7.3 Ekonomisk besparingspotential.....	17
<b>8 Drivfordonsparken</b> .....	<b>18</b>
8.1 Höghastighetslok .....	18
8.2 Höghastighetsmotorvagnar .....	18
8.3 Konventionella lok.....	19
8.4 Konventionella motorvagnar .....	19
8.5 Totalt.....	19
<b>9 Statliga påverkansmöjligheter</b> .....	<b>20</b>
9.1 Lagstadgade krav .....	20
9.2 Subventionering .....	20
9.3 Utan statlig reglering.....	21
<b>10 Alternativ 1 (nollalternativet)</b> .....	<b>22</b>
<b>11 Alternativ 2 (successiv övergång)</b> .....	<b>22</b>
<b>12 Tillbakablick - hur man kunnat göra</b> .....	<b>23</b>

12.1 Fr.o.m. 1990.....	23
12.2 Fr.o.m. 2000.....	24
13 Exempel ur verkligheten .....	26
13.1 Haparandabanan.....	26
13.2 Ostlänken .....	27
14 Sammanfattning och rekommendationer .....	31
14.1 Ostlänken .....	31
14.2 Sverige i stort.....	33
15 Referenser .....	35
15.1 Elektroniska referenser .....	35
15.2 Övriga referenser .....	35
16 Bilaga .....	36



# 1 Inledning

Sverige är ett av få länder i världen som spänningsförsörjer sina tåg med spännings- och frekvenskombinationen 15 kV/16 $\frac{2}{3}$  Hz. Orsaken är historisk och härrör ifrån en svunnen tid, då det ansågs tekniskt komplicerat att driva stora motorer med den numera så vanliga standardfrekvensen 50 Hz.

Idag är det tvärt om. 50 Hz (eller i vissa världsdelar 60 Hz) är sedan gammalt helt dominerade frekvenser världen över. Lok och motorvagnar för 25 kV/50-60 Hz är billigare än de för 15 kV/16 $\frac{2}{3}$  Hz. Dessutom så innebär vår svenska standard med 15 kV/16 $\frac{2}{3}$  Hz att elektricitet som levereras till den svenska järnvägen, behöver passera genom dyra omformarstationer, för att där kunna omvandlas till denna standard.

## 1.1 Syfte och mål

Arbetet åsyftar till att skapa klarhet i vad som är det mest ekonomiska sättet att gå vidare på, utifrån det läge vi har nu. Bör vi

- fortsätta med att spänningsförsörja alla nya och nyelektrifierade järnvägar med hjälp av omformarstationer och 15 kV/16 $\frac{2}{3}$  Hz kontaktledningsspänning, eller
- är det måhända klokare att spänningsförsörja dessa järnvägar med 25 kV/50 Hz samt hur löser vi, i så fall, problemet med att många av dagens drivfordon inte kan köra på denna drivspänning?

## 1.2 Metod

Tillvägagångssättet är inhämtande av såväl teknisk som ekonomisk fakta om olika typer av anläggningar för spänningsförsörjning av järnvägens kontaktledningar, drivfordon o.s.v. Detta genom allt ifrån litteraturstudier till skriftväxlingar, personliga besök och telefonsamtal med specialister inom olika relevanta sakområden.

## 1.3 Avgränsningar

Arbetet åsyftar till att åskådliggöra de samhällsekonomiska konsekvenserna av ett successivt införande av kontaktledningsspänningen 25 kV/50 Hz i Sverige samt i viss mån denna åtgärds påverkan på den svenska järnvägens energiförbrukning och därmed indirekta miljöpåverkan.

Härvid avhandlas tänkbara tillvägagångssätt i form av åtgärder som krävs vid ett eventuellt genomförande av denna förändring samt i vilken ordning som förekommande problem lämpligen bör angripas.

De juridiska aspekterna kring vilken lagstiftning som kan vara relevant vid förändringarnas eventuella genomförande behandlas ytterst översiktligt och arbetet går inte närmare in på de juridiska aspekterna kring ett eventuellt bredare införande av kontaktledningsspänningen 25 kV/50 Hz i Sverige.

Detsamma gäller de juridiska aspekterna kring sådana bidrag till tågoperatörer som åsyftar till att förmå dessa att successivt övergå till drivfordon av tvåströmstyp i syfte att underlätta ett eventuellt framtida införande av 25 kV/50 Hz i den matande infrastrukturen.

#### 1.4 Nyckelbegrepp

ASEK	Arbetsgruppen för samhällsekonomiska kalkyler
AT	Spartransformator (Autotransformer)
BT	Sugtransformator (Booster transformer)
DKK	Danska kronor
Drivfordon	Samlingsbegrepp för lok och motorvagn, alltså sådana järnvägsfordon som kan köras självständigt.
ERTMS	European Rail Traffic Management System
ETCS	European Train Control System
GWh	Gigawattimmar
Hz	Hertz
KPI	Konsumentprisindex
Ktl	Kontaktledning
Ktl-typ	Kontaktledningstyp
kV	Kilovolt
Lok	Lokomotiv
MDKK	Miljoner danska kronor
MSEK	Miljoner svenska kronor
MVA	Megavoltampere
SCB	Statistiska centralbyrån
SEK	Svenska kronor
Sth	Största tillåten hastighet
SVC	Shuntkompensering för elkvalitet (Static Var Compensators)
SVK	Svenska kraftnät
TrV	Trafikverket

## 2 Typer av spänningsförsörjning

Här jämför vi dagens svenska standard 15 kV/16 $\frac{2}{3}$  Hz med den i övriga världen vanligast förekommande standarden 25 kV/50-60 Hz.

### 2.1 15 kV/16 $\frac{2}{3}$ Hz

Lågfrekvent växelström med frekvensen 16 $\frac{2}{3}$  Hz kan tillverkas på olika sätt. I Sverige görs detta genom att ”vanlig ström” med 50 Hz växelspanning, omvandlas till lågfrekvent växelström. Till denna omvandling används endera en roterande omformare eller en statisk omriktare. Nedan beskrivs dessa närmare. (Thulin, 2012)

#### 2.1.1 Roterande omformare

En roterande omformare kan i princip beskrivas som en elmotor som driver en generator via en gemensam roterande axel. I fallet med de roterande omformare som används för att spänningssätta de svenska kontaktledningarna, så drivs elmotorerna med trefas 50 Hz växelspanning, emedan generatorerna levererar enfas 16 $\frac{2}{3}$  Hz växelspanning. (Thulin, 2012)

#### 2.1.2 Statisk omriktare

Statiska omriktare finns i två olika utföranden, direktomriktare och mellanledsomriktare. (Thulin, 2012)

##### 2.1.2.1 Direktomriktare

I en direktomriktare, omformas 50 Hz växelspanning direkt till lågfrekvent växelspanning om 16 $\frac{2}{3}$  Hz. Detta går till så att man utnyttjar de faktum att den matande sidan har tre faser, att det går att polvända spänning, att man kan välja endera Y- eller D-kopplad anslutning på den matande sidan samt därtill även att den matande sidan har tre gånger högre frekvens än den matade sidan. Matematiskt innebär detta att  $3 \times 2 \times 3 = 18$  positiva spänningar och givetvis även lika många negativa spänningar ( $3 \times 2 \times 3 = 36$ ), inom tidsramen för varje lågfrekvent sinuskurvecykel finns att välja på. Alltså kan man med hjälp av switchar ”tillverka” en sågtandsformad lågfrekvent sinusvåg. Genom filtrering utav denna sågtandsformade lågfrekventa sinusvåg, så uppnås den önskade jämna 16 $\frac{2}{3}$  Hz sinusvågen. (Thulin, 2012)

##### 2.1.2.2 Mellanledsomriktare

I en mellanledsomriktare omformas först från 50 Hz växelspanning till likspanning och därefter från likspanning till lågfrekvent växelspanning om 16 $\frac{2}{3}$  Hz. Först så transformeras den ingående 50 Hz-spänningen till en önskad spänningsnivå. För att sedan likrikta spänningen använder man här tyristor-likriktare som på sekundärsidan är seriekopplade två och två och som på primärsidan matas med D- respektive Y-koppling. Alltså framställs här likström med en ganska hög spänning. Då den Y-kopplade trefasmatningen

ligger 30° före den D-kopplade trefasmatningen och då spänningen därtill likriktas, så innebär detta att en spänning med 12 pulser per period uppnås.

Väl i mellanledet utjämnas denna ännu något ojämna spänning med hjälp av spolar och kondensatorer, så att en helt jämn likspänning uppnås. Därefter tillverkas en lågfrekvent växelspanning med hjälp av switchar. Dessa switchar är så konstruerade att dem slår om väldigt snabbt. De är alltså i princip alltid endera helt öppna eller helt stängda. Detta är av det enkla skälet att en switch i annat läge än helt öppet eller helt stängt, snabbt skulle leda till en kraftig överhettning som skulle skada anläggningen.

Efter att den lågfrekventa ( $16\frac{2}{3}$  Hz) växelspanningen har skapats, så upptransformeras denna till önskad spänningsnivå (normalt c:a 16,5 kV). Denna utgångstransformator har en c:a tre gånger så stor järnkärna som den föregående ingångstransformatorn. Anledningen är den att transformering av lågfrekvent ström kräver en transformator med större kapacitet än vid transformering av normalfrekvent (50 Hz) ström. (Thulin, 2012)

### 2.1.2.3 Direkttillverkning

Direkttillverkning innebär att man tillverkar lågfrekvent spänning för kontaktledningsmatning, direkt i ett kraftverk. Denna lösning förekommer i nuläget inte i Sverige. (Thulin, 2012)

### 2.1.3 Överföring till kontaktledning

I de flesta fall så sker överföringen direkt från omformarstationen och till respektive bandel, varvid det inte sker någon omvandling till annan spänning än de c:a 16,5 kV som omformarstationen producerat. (Thulin, 2012)

Längs järnvägarna mellan Boden i Norrbotten och Hallsberg i Närke samt Häggvik i Stockholm, sträcker sig ett kraftledningsnät med lågfrekvent  $16\frac{2}{3}$  Hz växelspanning, vilken är upptransformerad till hela 132 kV. (Thulin, 2012)

Detta högspännings lågfrekvensnät matas ifrån sju omformarstationer med statiska omriktare, placerade i Boden, Bastuträsk, Mellansel, Ånge, Ockelbo, Borlänge och Tälle (nära Hallsberg) samt ifrån tre stycken roterande omformare i Häggvik (norr om Stockholm).

Det är för övrigt de senare, som styr frekvensen, i hela detta nät. Vid dessa åtta omformarstationer finns det transformatorer som upptransformerar den just omformade strömmen till 132 kV/ $16\frac{2}{3}$  Hz. Därutöver, så finns det också ett 40-tal transformatorer utspridda längs med detta 132 kV-nät. Dessa transformerar ner spänningen till de c:a 16 kV, som matar kontaktledningen. (Thulin, 2012)

## 2.2 25 kV/50-60 Hz

Här redogörs för hur man spänningsförsörjer järnvägens kontaktledningar i t.ex. Danmark, som har 25 kV/50 Hz i järnvägens kontaktledningar.

### 2.2.1 Framställandet

Eftersom i princip alla civiliserade länder har 50 och/eller 60 Hz växelström i de vanliga elnäten så innebär detta att här behövs ingen omformning då spänning från det vanliga elnätet, tas till att mata kontaktledningen. (Brinch, 2012)

#### 2.2.1.1 Uppspliftring i fördelningsstation

På de järnvägar i Danmark som elektrifierats fr.o.m. 1980-talet och fram tills nyligen, så har man löst fördelningen mellan faser, genom att man tar ut spänning till en delsträcka emellan två faser. Sedan tar man spänning till nästa delsträcka ifrån en annan kombination av två faser och till den tredje delsträckan använder man spänning ifrån den tredje tvåfaskombinationen. (Brinch, 2012)

Enkelt uttryckt matas alltså c:a en tredjedel av bansystemet mellan L1-L2, c:a en tredjedel av bansystemet mellan L2-L3 och c:a en tredjedel av bansystemet mellan L3-L1. (Brinch, 2012)

I Danmark tar man alltid ut kontaktledningsspänningen på detta sätt. Spänningsuttag mellan fas och neutralledare för detta ändamål, förekommer aldrig. (Brinch, 2012)

Nyligen kom ett påbud, om att man inte längre får bygga för matning på detta enkla sätt i Danmark. Orsaken är att man oroar sig för snedbelastning mellan faserna. Befintliga anläggningar får dock vara kvar oförändrade. Men vid kommande nyelektrifieringar gäller att lasten ska fördelas helt jämnt mellan faserna med hjälp av ett fördelningsfilter enligt nedan. (Brinch, 2012)

Det finns dock ett undantag ifrån detta påbud. Ty på några orter i Danmark, där järnvägens effektbehov bedöms vara tillräckligt litet, i relation till övrig elkonsument på orten, så har elleverantören medgivit anslutning mellan två faser och utan filter. Detta är dock villkorat med att spårinnehavaren förbinder sig att i efterhand bekosta inrättande av en SVC-filteranläggning, om i fall att energibehovet för tågdrift skulle komma att öka till över den nivå som projekteras för idag. Dessa eventuella framtida SVC-filteranläggningar, är dock inte tänkta att placeras i direkt anslutning till de platser där järnvägen matas ifrån 132 kV-nätet, utan istället kan det vara fördelaktigt att placera dessa anläggningar på helt andra platser i elnätet. T.ex. så finns planer på ett inrättande av en större SVC-filteranläggning som ska täcka hela Köpenhamns elnät. (Brinch, 2013)

### *2.2.1.2 Fördelningsstation med filter*

En fördelningsstation med filter, är i grunden uppbyggd som en vanlig fördelningsstation utan filter, enligt ovan. Dock så är en fördelningsstation med filter, även utrustad med en automatiserad apparatur för avkänning av de spänningsvariationer emellan faserna, som uppkommer vid ojämn belastning.

Vidare så finns en batteripacke med olika kondensatorer och dioder anslutna emellan faserna, vilka har till uppgift att fördröja spänningsvariationerna i just den korta tid som åtgår emellan att två olika faser befinner sig på samma ställe i sinuskurvan (kondensatorerna) samt för att tillse att denna överföring utav spänning mellan faserna, endast sker i den riktning som respektive fördröjningstid passar in i (dioderna). (ABB, 2013)

### *2.2.2 Överföring till kontaktledningen*

Innan anslutningen till kontaktledning respektive S-räl, så passeras också en transformator. I denna transformator tillser man dels att det slutligen blir en önskad spänning. Dels så fungerar transformatorn också som en skyddstransformator, vilket innebär att det inte återstår någon potentialskillnad av betydelse emellan S-rälen och sann jord. Dessutom är S-rälen förbunden med sann jord, genom ett jordtag. (Brinch, 2012)

#### *2.2.2.1 Direkttillverkning*

Direkttillverkning, alltså att man redan i ett kraftverk tillverkar spänning med den frekvens som tågen behöver, förekommer givetvis med automatik alltid då tågen körs på spänning av industrifrekvensen.

## 3 Fordonen

I detta avsnitt behandlar vi de elektrifierade drivfordonen, med avseende på vad som krävs för att kunna framdriva dessa under tråd med 15 kV/16 $\frac{2}{3}$  Hz och/eller 25 kV/50-60 Hz spänningsmatning.

### 3.1 Olika tågfordonstyper

Här behandlas översiktligt de elektrifierade drivfordonstyper som förekommer på järnvägar med 15 kV/16 $\frac{2}{3}$  Hz respektive 25 kV/50 Hz kontaktledningsspänning.

#### 3.1.1 Bara för 15 kV/16 $\frac{2}{3}$ Hz

Då detta är den idag vanligaste drivfordonstypen i Sverige (Thulin, 2013), så är det denna fordonstyp som jämförelserna i denna sammanställning utgår ifrån. Den benämnes nedan såsom nollalternativet.

#### 3.1.2 Både 15 kV/16 $\frac{2}{3}$ Hz och 25 kV/50-60 Hz

Drivfordon för både 15 kV/16 $\frac{2}{3}$  Hz och 25 kV/50-60 Hz är den typ av drivfordon som i realiteten alltid behövs för att med kontaktledningsdrift kunna köra ett tåg som längs sin väg passerar olika delsträckor med sammantaget fler än en av ovanstående kontaktledningsspänningar. Sådana drivfordon kallas också för tvåströmsfordon. (Thulin, 2013)

##### 3.1.2.1 Merkostnad vid nyanskaffning

Att vid nyanskaffning anskaffa tvåströmsfordon för drift med både 15 kV/16 $\frac{2}{3}$  Hz och 25 kV/50-60 Hz, innebär en tämligen ringa merkostnad. Det rör sig om en merkostnad om endast c:a 1 MSEK per lokomotiv eller 1 MSEK per trevagnars motorvagnsenhet. (Malm, 2015)

##### 3.1.2.2 Ombyggnadskostnad

Kostnaden för att bygga om ett befintligt drivfordon, från uteslutande drivning med 15 kV/16 $\frac{2}{3}$  Hz och till tvåströmsfordon för drift med endera 15 kV/16 $\frac{2}{3}$  Hz eller 25 kV/50-60 Hz, ligger på c:a 10 MSEK samt därtill en engångskostnad om c:a 15-50 MSEK per fordonstyp. (Malm, 2015)

#### 3.1.3 Multiströmsfordon

Det finns också drivfordon som förutom ovanstående spänningar också kan drivas med ytterligare spänningstyper, vanligen 1,5 respektive 3 kV likspänning. Dessa drivfordon benämnes multiströmsfordon. (Thulin, 2013) Då multiströmsfordon inte är nödvändiga för en eventuell övergång till 25 kV/50 Hz spänningsförsörjningssystemen i Sverige, så sker ingen närmare redogörelse av sådanas utformning här.

### 3.1.4 Bara för 25 kV/50-60 Hz

Detta är det billigaste standardutförandet av många lok och sådana är vanligt förekommande i länder med 25 kV/50 Hz respektive 25 kV/60 Hz kontaktledningssystem. (Bombardier, 2012)

#### *3.1.4.1 Besparing vid nyanskaffning*

Att vid nyanskaffning anskaffa fordon för drift uteslutande med 25 kV/50-60 Hz, innebär en viss besparing, i jämförelse med nollalternativet. Här sparar man c:a 200 kSEK per trevagnars motorvagnsenhet eller 600 kSEK per lokomotiv. (Bombardier 2012)



## **4 Investeringarkostnader för omformarstationer**

I detta avsnitt åskådliggörs storleksordningen på de investeringar i kapacitet, jämte kostnaderna härför, som, under förutsättande av bibehållen standard med 15 kV/16<sup>2</sup>/<sub>3</sub> Hz traktionsspänning, p.g.a. trafikökningar och krav på redundans, årligen kommer att behövas i omformarstationer i hela Sverige.

### **4.1 Kapacitetsökningar**

Under perioden 2010 till 2020 krävs en total kapacitetsökning om 807 MVA, vilken fördelar sig på 368 MVA p.g.a. utökad trafik och 439 MVA av redundansskäl. (Banverket, 2009) Detta innebär således en årlig kapacitetsökning om, i snitt, 80,7 MVA.

### **4.2 Kostnader**

Kostnaden för ovanstående investeringar i omformarstationer under perioden 2010 till 2020 beräknas till 3 012 MSEK för denna tioårsperiod. (Banverket, 2009) Detta innebär således en årlig investeringskostnad om, i snitt, 301,2 MSEK.

## **5 Energiförluster**

### **5.1 15 kV/16<sup>2</sup>/<sub>3</sub> Hz**

#### 5.1.1 Omformarstationer

##### *5.1.1.1 Roterande omformare*

Den normala verkningsgraden för våra roterande omformare ligger på c:a 88 %. (Biedermann, 2006) Detta innebär alltså en energiförlust på c:a 12 %. För våra modernaste och mest energieffektiva roterande omformare så går det dock att nå en snäppet högre energieffektivitet. Som exempel kan nämnas en omformare av typ Q50 som tillverkats i slutet av 80-talet som importerats begagnad och placerats i Ösmo efter c:a 25 års drift i Tyskland. På denna maskin har man kommit upp i en så hög energieffektivitet som c:a 93,5-94 %. (Jansson, 2015) Energiförlusten i detta fall ligger alltså på c:a 6-6,5 %.

##### *5.1.1.2 Statiska omriktare*

Den normala verkningsgraden för våra statiska omriktare ligger på c:a 94 %. (Biedermann, 2006) Detta innebär alltså en energiförlust på c:a 6 %. Det finns dock exempel på att modernare statiska omriktare kan komma upp till en högre verkningsgrad. Hit hör en nyare omriktare i Kalix på Haparandabanan, som har en verkningsgrad om c:a 98 %. (Taavoniku, 2013) Energiförlusten här ligger alltså på c:a 2 %.

#### 5.1.2 I kontaktledning

Med dagens system med 15 kV/16<sup>2</sup>/<sub>3</sub> Hz kontaktledningsspänning så uppgår energiförlusterna till c:a 10-15 % av den energi som matas ut i kontaktledningen. BT-systemen svarar för de större förlusterna på runt 15 % emedan AT-systemen har lägre förluster på c:a 10 %. (Eriksson, 2016)

### **5.2 25 kV/50 Hz**

#### 5.2.1 I fördelningsstationer

För fördelningsstationer med SVC-filter så ligger energiförlusterna på c:a 2 %. (Friman, 2013)/(Taavoniku, 2013)

#### 5.2.2 I kontaktledning för 25 kV/50 Hz

Då detta arbete åsyftar till att åskådliggöra för- och nackdelar med ett eventuellt införande av 25 kV/50 Hz banmatningssystem i Sverige, så bedöms det inte som helt optimalt att utgå ifrån reella siffror ifrån länder med 25 kV/50 Hz banmatningssystem, då sådant som avstånd, trafikering och olika former av yttre påverkan skiljer sig emellan länderna.

I syfte att få största möjliga klarhet i fråga om vilka energiförluster som kan förväntas i vid ett eventuellt införande av 25 kV/50 Hz banmatningssystem i olika delar av Sverige, så bedöms matematiska beräkningar baserade på

dagens energiförluster med 15 kV/16<sup>2</sup>/<sub>3</sub> Hz banmatningssystem vara den mest rättvisande metoden. Vilka energiförluster som torde vara att vänta här, åskådliggöres i det här på följande kapitlet.

## 6 Effektiviseringspotential vid nybyggnad

I detta avsnitt tittar vi närmare på vilken energieffektivitet, längs vägen fram till loket, som rimligen går att uppnå, vid nybyggnad/nyelektrifiering av järnväg i Sverige. Vi tittar här närmare på såväl AT- som BT-system och i båda fallen, i kombination med såväl 15 kV/16<sup>2</sup>/<sub>3</sub> Hz som 25 kV/50 Hz banmatningssystem. Beräkningarna i detta kapitel grundar sig på de ingångsvärden för nyare installationer som finns redovisade i föregående kapitel.

I fallen med 15 kV/16<sup>2</sup>/<sub>3</sub> Hz banmatningssystem, så tittar vi även på ”lågprisalternativet” med en begagnad roterande omformare och på hur den totala verkningsgraden blir i det fallet.

### 6.1 BT-system

#### 6.1.1 15 kV/16<sup>2</sup>/<sub>3</sub> Hz

##### 6.1.1.1 Uppbyggnad

- Statisk omriktare av modernt snitt, verkningsgrad 98 %. (Taavoniku, 2013)
- Kontaktledningsanläggning av BT-typ, energiförluster 15 %. (Eriksson, 2016) 100-15=85 % återstående energi.

##### 6.1.1.2 Total verkningsgrad

$100 \times 0,98 \times 0,85 = 83,8$  % återstående energi.

#### 6.1.2 25 kV/50 Hz

##### 6.1.2.1 Uppbyggnad

- Transformator med SVC-filteranläggning, verkningsgrad 98 %. (Friman, 2013)/(Taavoniku, 2013)
- Kontaktledningsanläggning av BT-typ, lägre energiförluster än motsvarande för 15 kV, enligt formeln  $P=R \times I^2$ . Ty då kontaktledningens resistans är konstant emedan strömmen, enligt formeln  $P=U \times I$ , blir lägre i fallet med högre matningsspänning till ett drivfordon med samma effektbehov  $P$ , så minskar avsevärt effektförlusten  $P_{\text{Förlust}}$ , såsom en indirekt följd av den högre spänningen.

Formeln  $P=U \times I$  ger att vid ett givet effektbehov  $P$  och spänningen 15 kV, så kan  $I$  bestämmas med hjälp av formeln:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{P}{15 \text{ kV}}$$

Om spänningen därvid förändras till 25 kV, så kommer I på motsvarande sätt att kunna fastställas enligt:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{P}{25 \text{ kV}}$$

Då effektförlusten sedan skall beräknas, så nyttjas formeln  $P_{\text{Förlust}}=R \times I^2$  för såväl 15 kV-alternativet som 25 kV-alternativet. Detta innebär att effektförlusten beräknas enligt

$$P_{\text{Förlust}} = R \times \left( \frac{P}{15 \text{ kV}} \right)^2$$

för 15 kV-alternativet respektive

$$P_{\text{Förlust}} = R \times \left( \frac{P}{25 \text{ kV}} \right)^2$$

för 25 kV-alternativet. Således återstår endast 36 % av energiförlusterna i kontaktledningen då spänningen på detta sätt har höjts med 66⅔ %.

#### 6.1.2.2 Total verkningsgrad

$0,98 \times (100 - 15 \times 0,36) = 92,708$  % återstående energi.

#### 6.1.3 15 kV/16⅔ Hz med roterande omformare

##### 6.1.3.1 Uppbyggnad

- Begagnad roterande omformare från sent 80-tal, verkningsgrad c:a 94 %.
- Kontaktledningsanläggning av BT-typ, energiförluster 15 %.  $100 - 15 = 85$  % återstående energi.

##### 6.1.3.2 Total verkningsgrad

$100 \times 0,94 \times 0,85 = 79,9$  % återstående energi.

## 6.2 AT-system

### 6.2.1 15 kV/16⅔ Hz

#### 6.2.1.1 Uppbyggnad

- Statisk omriktare av modernt snitt, verkningsgrad 98 %. (Taavoniku, 2013)
- Kontaktledningsanläggning av AT-typ, energiförluster 10 %. (Eriksson, 2016)  $100 - 10 = 90$  % återstående energi.

#### 6.2.1.2 Total verkningsgrad

$100 \times 0,98 \times 0,9 = 88,2$  % återstående energi.

## 6.2.2 25 kV/50 Hz

### 6.2.2.1 Uppbyggnad

- Transformator med SVC-filteranläggning, verkningsgrad 98 %. (Friman, 2013)/(Taavoniku, 2013)
- Kontaktledningsanläggning av AT-typ, lägre energiförluster än motsvarande för 15 kV, enligt formeln  $P=R \times I^2$ . Ty då kontaktledningens resistans är konstant emedan strömmen, enligt formeln  $P=U \times I$ , blir lägre i fallet med högre matningsspänning till ett drivfordon med samma effektbehov  $P$ , så minskar avsevärt effektförlusten  $P_{Förlust}$ , såsom en indirekt följd av den högre spänningen.

Formeln  $P=U \times I$  ger att vid ett givet effektbehov  $P$  och spänningen 30 kV, så kan  $I$  bestämmas med hjälp av formeln

$$I = \frac{P}{U} = \frac{P}{30 \text{ kV}}$$

Om spänningen därvid förändras till 50 kV, så kommer  $I$  på motsvarande sätt att kunna fastställas enligt  $I=P/50 \text{ kV}$ .

Då effektförlusten sedan skall beräknas, så nyttjas formeln  $P_{Förlust}=R \times I^2$  för såväl 30 kV-alternativet som 50 kV-alternativet. Detta innebär att effektförlusten beräknas enligt:

$$P_{Förlust} = R \times \left( \frac{P}{30 \text{ kV}} \right)^2$$

för 30 kV-alternativet respektive:

$$P_{Förlust} = R \times \left( \frac{P}{50 \text{ kV}} \right)^2$$

för 50 kV-alternativet. Således återstår endast 36 % av energiförlusterna i kontaktledningen då spänningen på detta sätt har höjts med 66⅔ %.

### 6.2.2.2 Total verkningsgrad

$0,98 \times (100 - 10 \times 0,36) = 94,472$  % återstående energi.

## 6.2.3 15 kV/16⅔ Hz med begagnad omformare ("lågprisalternativet")

### 6.2.3.1 Uppbyggnad

- Begagnad roterande omformare från sent 80-tal, verkningsgrad  $c:a$  94 %. (Jansson, 2015)
- Kontaktledningsanläggning av AT-typ, energiförluster 10 %. (Eriksson, 2016)  $100 - 10 = 90$  % återstående energi.

### 6.2.3.2 Total verkningsgrad

$100 \times 0,94 \times 0,90 = 84,6$  % återstående energi.

## 7 Energibesparing

Den årliga elförbrukningen hos Trafikverket är 2.600 GWh, av vilka totalt 2.000 GWh åtgår till den del av verksamheten som åsyftar till matning av kontaktledningar. (Eriksson, 2016)

### 7.1 Procentuell besparingspotential

Här åskådliggöres energieffektiviteten respektive energiförlusterna mätt i procent av den energi som tillföres omformarstationerna för kontaktledningsmatning.

<b>Ktl-typ</b>	<b>15 kV/16<sup>2</sup>/<sub>3</sub> Hz, begagnad roterande omformare</b>	<b>15 kV/16<sup>2</sup>/<sub>3</sub> Hz, statisk omriktare</b>	<b>25 kV/50 Hz, med SVC-filter</b>
BT	80 % (79,9)	84 % (83,8)	93 % (92,708)
AT	85 % (84,6)	88 % (88,2)	94 % (94,472)

*Tabell 7.1:* Procentuell energieffektivitet

<b>Ktl-typ</b>	<b>15 kV/16<sup>2</sup>/<sub>3</sub> Hz, begagnad roterande omformare</b>	<b>15 kV/16<sup>2</sup>/<sub>3</sub> Hz, statisk omriktare</b>	<b>25 kV/50 Hz, med SVC-filter</b>
BT	20 % (20,1)	16 % (16,2)	7 % (7,292)
AT	15 % (15,4)	12 % (11,8)	6 % (5,528)

*Tabell 7.2:* Procentuella energiförluster

### 7.2 Reell besparingspotential

Här åskådliggöres vilken energibesparingspotential som finns i reella tal, då man väljer att mata kontaktledningen med spänning om 25 kV/50 Hz som har passerat SVC-filter, istället för med 15 kV/16<sup>2</sup>/<sub>3</sub> Hz kontaktledningsspänning från begagnat roterande omformaraggregat respektive från nyare statisk omriktare.

Siffrorna avser hur stor den reella energibesparingen blir om förändringen genomföres i hela landet. Detta avser dels åskådliggöra hur stor den totala besparingspotentialen är, men åsyftar även att tjäna som underlag för överslagsmässiga skillnadsberäkningar vid enskilda projekt. Det senare görs genom att multiplicera respektive tabellsiffra med det aktuella projektets andel av den totala kontaktledningsmatningen i landet.

Som ingångsvärde för framtagandet av dessa uppgifter används det faktum att Trafikverkets totala elförbrukning för kraftförsörjning av kontaktledningar är 2 000 GWh/år. (Eriksson, 2016)



<b>Ktl- typ</b>	<b>Jämfört med 15 kV/16<sup>2</sup>/<sub>3</sub> Hz, begagnad roterande omformare</b>	<b>Jämfört med 15 kV/16<sup>2</sup>/<sub>3</sub> Hz, statisk omriktare</b>
BT	294 GWh	216 GWh
AT	197 GWh (197,44)	125 GWh (125,44)

*Tabell 7.3:* Energibesparing med 25 kV/50 Hz och SVC-filer (per år)

### 7.3 Ekonomisk besparingspotential

Här åskådliggöres den ekonomiska besparingspotentialen utifrån ovanstående värden samt baserat på det senaste årets genomsnittliga totala elpris om 48,9946 öre/kWh. (Trafikverket, 2017)

Här åskådliggöres vilken ekonomisk besparingspotential som finns i reella tal, då man väljer att mata kontaktledningen med spänning om 25 kV/50 Hz som har passerat SVC-filer, istället för med 15 kV/16<sup>2</sup>/<sub>3</sub> Hz kontaktlednings-spänning från begagnat roterande omformaraggregat respektive från nyare statisk omriktare.

Siffrorna avser hur stor den ekonomiska besparingen blir om förändringen genomföres i hela landet. Detta avser dels åskådliggöra hur stor den totala besparingspotentialen är, men åsyftar även att tjäna som underlag för överslagsmässiga skillnadsberäkningar vid enskilda projekt. Det senare görs genom att multiplicera respektive tabellsiffror med det aktuella projektets andel av den totala kontaktledningsmatningen i landet.

Som ingångsvärde för framtagandet av dessa uppgifter används det faktum att Trafikverkets totala elförbrukning för kraftförsörjning av kontaktledningar är 2 000 GWh/år (Eriksson, 2016) samt baserat på det senaste årets genomsnittliga totala elpris om 48,9946 öre/kWh. (Trafikverket, 2017)

<b>Ktl- typ</b>	<b>Jämfört med 15 kV/16<sup>2</sup>/<sub>3</sub> Hz, begagnad roterande omformare</b>	<b>Jämfört med 15 kV/16<sup>2</sup>/<sub>3</sub> Hz, statisk omriktare</b>
BT	144 MSEK	106 MSEK
AT	96,7 MSEK	61,5 MSEK

*Tabell 7.4:* Ekonomisk besparing med 25 kV/50 Hz och SVC-filer (per år)

## 8 Drivfordonsparken

Detta kapitel utgör en kartläggning av de drivfordonsenheter som är i drift på den svenska järnvägen och som är relevanta att ta i beaktande, vad avser en eventuell driftsatt järnväg med 25 kV/50 Hz istället för 15 kV/16<sup>2</sup>/<sub>3</sub> Hz traktionsspänningsförsörjningssystem.

Med ”drivfordonsenheter” avses här självständiga enheter, alltså sådana som har egen strömvtagare och kan framföras utan att behöva vara sammankopplade med ytterligare fordon. Alltså t.ex. ett ensamt Rc-lok eller de permanent ihopkopplade A+B-delarna av en X10-enhet.

Med ”i drift på den svenska järnvägen” avses här sådana drivfordonsenheter som har ett gällande godkännande ifrån behörig myndighet och som inte är avställda.

Avgränsningen har, i övrigt, satts vid de drivfordonsenheter som idag kan trafikera statens spåranläggningar med hjälp av 15 kV/16<sup>2</sup>/<sub>3</sub> Hz kontaktledningsspänning och som ej är museifordon.

Som exempel på drivfordonsenheter som härvid kommit att utelämnas i den nedanstående kartläggningen, kan nämnas dieseldrivna fordon, ånglok, smalspåriga fordon samt därtill även, i och för sig, både normalspåriga och eldrivna fordon, men som detta till trots inte självständigt kan trafikera statens spåranläggningar (t.ex. Saltsjöbanans modifierade tunnelvagnar). Därtill har alltså även renodlade museifordon kommit att utelämnas.

### 8.1 Höghastighetslok

Med höghastighetslok avses lok som är godkända för en Sth om 200 km/h eller högre. Inom denna kategori återfinnes totalt 7 st. drivfordonsenheter, vilka allesammans är tillverkade på 00-talet. (Transportstyrelsen, 2014)

Samtliga dessa 7 st. lok av höghastighetstyp är redan anpassade för att även kunna drivas med 25 kV/50 Hz. (Transportstyrelsen, 2014)

### 8.2 Höghastighetsmotorvagnar

Med höghastighetsmotorvagnar avses motorvagnar som är **godkända** för en Sth om 200 km/h eller högre. Inom denna kategori återfinnes totalt 61 drivfordonsenheter. Av dessa är 56 st. tillverkade på 90-talet och 5 st. på 00-talet. (Transportstyrelsen, 2014)

Utav ovanstående 61 drivfordonsenheter, så är 12 st. redan anpassade för att även kunna drivas med 25 kV/50 Hz. Samtliga dessa 12 tillverkades under 90-talet. (Transportstyrelsen, 2014)

### **8.3 Konventionella lok**

Med konventionella lok avses lok som **inte** är godkända för en Sth om 200 km/h eller högre. Inom denna kategori återfinnes totalt 610 st. drivfordonsenheter. Av dessa är 446 st. tillverkade före 1990, 17 st. på 90-talet, 64 st. på 00-talet och hittills under 10-talet, så har 83 st. hunnit tillverkas. (Transportstyrelsen, 2014)

Utav ovanstående 610 st. konventionella lok, så är 126 st. redan anpassade för att även kunna drivas med 25 kV/50 Hz. Av dessa 126 så tillverkades 14 st. under 90-talet, 43 st. på 00-talet och 69 st. nu under 10-talet. (Transportstyrelsen, 2014)

### **8.4 Konventionella motorvagnar**

Med konventionella motorvagnar avses motorvagnar som **inte** är godkända för en Sth om 200 km/h eller högre. Inom denna kategori återfinnes totalt 567 drivfordonsenheter. Av dessa är 89 st. tillverkade före 1990, 57 st. på 90-talet, 252 st. på 00-talet och hittills under 10-talet, så har 169 st. hunnit tillverkas. (Transportstyrelsen, 2014)

Utav ovanstående 577 st. konventionella motorvagnar, så är 76 st. redan anpassade för att även kunna drivas med 25 kV/50 Hz. Av dessa 76 så tillverkades 65 st. på 00-talet och 11 st. nu under 10-talet. (Transportstyrelsen, 2014)

### **8.5 Totalt**

Inom denna kategori sammanställs alla de fyra uppräknade drivfordonstyperna. Detta blir totalt 1245 st. drivfordonsenheter. Av dessa är 535 st. tillverkade före 1990, 130 st. på 90-talet, 328 st. på 00-talet och hittills under 10-talet, så har 252 st. hunnit tillverkas.

Utav ovanstående 1245 st. drivfordonsenheter, så är 221 st. redan anpassade för att även kunna drivas med 25 kV/50 Hz. Av dessa 221 så tillverkades 26 st. under 90-talet, 115 st. på 00-talet och 80 st. nu under 10-talet.

## 9 Statliga påverkansmöjligheter

Även om det är samhällsekonomiskt lönsamt (inklusive fordonsanpassning) att successivt ändra standarden till 25 kV/50 Hz kontaktledningsspänning, så är det inte med samma självklarhet, lika lönsamt för tågoperatörerna.

Orsaken är den att för att kunna elektrifiera en bana med 25 kV/50-60 Hz kontaktledningsspänning, så måste alla kontaktledningsdrivna drivfordon som ska trafikera banan, vara anpassade härtill, redan från början.

Visserligen så är drivfordon för 25 kV/50-60 Hz kontaktledningsspänning billigare i inköp än sådana för 15 kV/16 $\frac{2}{3}$  Hz. Men detta gäller för renodlade drivfordon för enbart 25 kV/50-60 Hz. Dock så är det så att även om vi idag skulle börja bygga banor med 25 kV/50 Hz i kontaktledningen, så kommer det under överskådlig framtid att finnas kvar befintliga banor med 15 kV/16 $\frac{2}{3}$  Hz i kontaktledningen, som samma drivfordon också kommer att behöva trafikera. Alltså kommer det att behövas drivfordon i tvåströmsutförande, vilka är c:a 1 MSEK dyrare än renodlade 15 kV/16 $\frac{2}{3}$  Hz drivfordon per styck.

Som det fungerar idag, så är det tågoperatören som får stå för merkostnaden då ett drivfordon beställs i tvåströmsutförande. Och även om en merkostnad om c:a 1 MSEK per styck vid inköp av drivfordon, torde kunna vara närmast försumbar i jämförelse med den besparing som härigenom skulle kunna uppnås på infrastruktursidan, så måste vi komma ihåg att den förvisso samhällsekonomiskt betydligt större besparingen, kommer inte att komma tågoperatören tillgodo. Alltså är det, ur en tågoperatörs perspektiv, en ren förlustaffär att investera i ett tvåströmslok.

Så för att kunna göra samhällsekonomiska vinster genom investeringar i billigare system för 25 kV/50 Hz kontaktledningsmatning istället för avsevärt dyrare dito system för 15 kV/16 $\frac{2}{3}$  Hz, så måste det till någon form av reglering, vad avser tågoperatörernas drivfordonsinköp.

### 9.1 Lagstadgade krav

Att man lagstiftar om att nya drivfordon för kontaktledningsdrift, som anmäls för godkännande i Sverige måste vara utformade i tvåströmsutförande, för att kunna få godkännande.

### 9.2 Subventionering

Att staten utger ett bidrag på en viss summa för varje drivfordon i tvåströmsutförande som tas i drift i landet.

Gällande EU-regler på området torde med största sannolikhet innebära att det krävs en notifiering hos EU-kommissionen, för att detta ska vara tillåtet. Detta finns det i realiteten möjlighet till om det kan påvisas exempelvis en energibesparing eller miljönytta. (Andersson, 2015)

### **9.3 Utan statlig reglering**

En aspekt som är värd att beakta i sammanhanget är att de flesta nya lok som tagits i bruk inom rikets gränser under senare år, har varit i tvåströmsutförande, av andra skäl. Bland dito drivfordon av motorvagnstyp som tagits i bruk inom rikets gränser under samma tid, så har det däremot varit vanligast förekommande med utformning för uteslutande 15 kV/16<sup>2</sup>/<sub>3</sub> Hz kontaktledningsspänning. (Transportstyrelsen, 2014)

Utifrån ovanstående kan antagas att en tvingande lagstiftning med krav på tvåströmsutformning, främst skulle få reella ekonomiska och praktiska konsekvenser hos operatörer med motorvagnsflottor. Omvänt kan sägas att om det istället införs subventioner generellt till gagn för inköp av tvåströmsdrivfordon, så kan dessa tänkas gynna tågoperatörer som av andra skäl ändå hade tänkt investera i tvåströmsdrivfordon.

## **10 Alternativ 1 (nollalternativet)**

Detta alternativ innebär att man som idag fortsätter med att vid nyanskaffning av drivfordon, köpa in sådana som uteslutande kan köras på 15 kV/16 $\frac{2}{3}$  Hz kontaktledningsspänning. Sådana som dessutom kan köras på 25 kV/50-60 Hz kontaktledningsspänning, inköpes i princip endast till de tåg som är tänkta att gå i gränsöverskridande trafik till länder med 25 kV/50 Hz-system (t.ex. Öresundstågen) eller då två- eller flerströmsfordon blir det billigaste alternativet (vanligtvis p.g.a. att vissa loktillverkare inte har lok för uteslutande 15 kV/16 $\frac{2}{3}$  Hz i standardutförande).

## **11 Alternativ 2 (successiv övergång)**

I detta alternativ övergår vi successivt till 25 kV/50 Hz, vartefter nyinvesteringar behöver göras. För att förändringen skall vara genomförbar så behöver vi under en övergångsperiod ha drivfordon av tvåströmstyp, i dem omlopp som trafikerar båda systemen.

Vartefter som nya elektrifierade järnvägar byggs respektive befintliga järnvägar elektrifieras, så utförs dessa investeringar enligt 25 kV/50 Hz-standarden.

## 12 Tillbakablick - hur man kunnat göra

Att kunna förutspå de exakta effekterna av en omställning som påbörjas idag och spå dess resultat om t.ex. femton eller tjugofem år, är inte helt lätt. Men baserat på ett antagande, om att det finns likheter som följer med över tiden igenom olika decennier, så kan man få viss kompletterande vägledning inför sitt bildande av en uppfattning om ekonomiska och andra effekter utav en eventuell framtida omställning till 25 kV/50 Hz på järnvägar i Sverige.

Nedan åskådliggörs hur långt omställningen av, i första hand, fordonsparken skulle ha kommit i september 2014, om i fall att, omställningen hade satts igång i med start fr.o.m. år 1990 respektive 2000. Det förutsattes, i båda två fallen, att omställningen börjar med en successiv övergång till drivfordon av tvåströmstyp.

### 12.1 Fr.o.m. 1990

Om arbetet med att ställa om den svenska järnvägen hade inletts fr.o.m. år 1990, så hade vi idag haft ett läge där 719 av de 1245 drivfordonen, alltså 57,8 %, hade varit av tvåströmstyp. Dessa 719 skulle då ha fördelat sig på 549 motorvagnar och 170 lok. Detta kan jämföras med att vi idag har 220 drivfordon av tvåströmstyp, fördelade på 89 motorvagnar och 131 lok. (Transportstyrelsen, 2014)

Merkostnaden för tvåströmsutförande kontra renodlat 15 kV/16 $\frac{2}{3}$  Hz utförande är, i dagens penningvärde, c:a 1 MSEK (gäller både per lok och per trevagnars motorvagnsenhet).

Eftersom 220 st. av de drivfordon som anskaffats fr.o.m. 1990 har kommit att bli av tvåströmstyp av andra skäl än en planerad omställning i Sverige, så hade det, samhällsekonomiskt sett, inte uppkommit några merkostnader vid dessa fordonsanskaffningar. Av detta skäl, så bortser vi här ifrån kostnaden för tvåströmsutrustandet utav dessa.

I och med detta, så återstår här c:a 500 drivfordon, vilka har anskaffats alltsedan 1990 och som uteslutande har utrustats för drift med 15 kV/16 $\frac{2}{3}$  Hz kontaktledningsspänning. Det är således anskaffandet av dessa c:a 500 drivfordon som hade genererat i en merkostnad, om i fall att, dessa istället hade beställts i tvåströmsutförande.

Mot bakgrund av att dessa merkostnader hade kommit att vara utspridda över en 25-årsperiod, så måste hänsyn tas till kostnadsutvecklingen under denna tid, liksom även till den diskonteringsränta som vid var tid råder och som är bruklig att ta hänsyn till vid långsiktiga infrastrukturinvesteringar.

Till saken hör att KPI har ökat med c:a 56 % från ingången av år 1990 och fram till ingången av år 2015 (SCB, 2015). Diskonteringsräntan å sin sida, har istället fallit från 5 % år 1990 och ned till 3,5 % idag. (ASEK 1-5)  
Den merkostnad som skulle varit 1 MSEK idag, låg således på 660 000 SEK år 1990, samtidigt som vi med räntekostnaderna inräknade hade kommit upp till 1 760 000:- kronor idag.

Totalt för det 500-tal drivfordon som hade behövt beställas i tvåströmsutförande för möjliggörande av en framtida övergång till 25 kV/50 Hz, så hade merkostnaden fram till idag blivit c:a 660 MSEK, kostnadsutveckling och räntor inräknade.

Om vi för exemplets skull även räknar in (den redan inträffade) merkostnaden för tvåströmsutförande av de drivfordon som redan idag går att framdriva med både 15 kV/16 $\frac{2}{3}$  Hz och 25 kV/50-60 Hz, så tillkommer i detta fall, en ytterligare kostnad om c:a 280 MSEK, varvid totalkostnaden hamnar på c:a 930 MSEK.

## **12.2 Fr.o.m. 2000**

Om arbetet med att ställa om den svenska järnvägen hade inletts fr.o.m. år 2000, så hade vi idag haft ett läge där 578 av de 1245 drivfordonen, alltså 46,2 %, hade varit av tvåströmstyp. Dessa 578 skulle då ha fördelat sig på 467 motorvagnar och 111 lok. (Transportstyrelsen, 2014)

Detta kan jämföras med att vi idag har 220 drivfordon av tvåströmstyp, fördelade på 89 motorvagnar och 131 lok.

Merkostnaden för tvåströmsutförande kontra renodlat 15 kV/16 $\frac{2}{3}$  Hz utförande är, i dagens penningvärde, c:a 1 MSEK per drivfordon (gäller både per lok och per trevagnars motorvagnsenhet).

Eftersom 201 st. av de drivfordon som anskaffats fr.o.m. 1990 har kommit att bli av tvåströmstyp av andra skäl än en planerad omställning i Sverige, så hade det, samhällsekonomiskt sett, inte uppkommit några merkostnader vid dessa fordonsanskaffningar. Av detta skäl, så bortser vi här ifrån kostnaden för tvåströmsutrustandet utav dessa.

I och med detta, så återstår här 376 drivfordon, vilka har anskaffats alltsedan 2000 och som uteslutande har utrustats för drift med 15 kV/16 $\frac{2}{3}$  Hz kontaktledningsspänning. Det är således anskaffandet av dessa 376 drivfordon som hade genererat i en merkostnad, om i fall att, dessa istället hade beställts i tvåströmsutförande.



Mot bakgrund av att dessa merkostnader hade kommit att vara utspridda över en 15-årsperiod, så måste hänsyn tas till kostnadsutvecklingen under denna tid, liksom även till den diskonteringsränta som vid var tid råder och som är bruklig att ta hänsyn till vid långsiktiga infrastrukturinvesteringar.

Till saken hör att KPI har ökat med c:a 21 % från ingången av år 2000 och fram till ingången av år 2015 (SCB 2015). Diskonteringsräntan å sin sida, har istället fallit från 4,0 % år 2000 och ned till 3,5 % idag (ASEK 1-5).

Den merkostnad som skulle varit 1 MSEK idag, låg således på 830 000 SEK år 2000, samtidigt som vi med räntekostnaderna inräknade hade kommit upp till 1 430 000:- kronor idag.

Totalt för de 382 drivfordon som hade behövt beställas i tvåströmsutförande för möjliggörande av en framtida övergång till 25 kV/50 Hz, så hade merkostnaden fram till idag blivit c:a 460 MSEK, kostnadsutveckling och räntor inräknade.

Om vi för exemplets skull även räknar in (den redan inträffade) merkostnaden för tvåströmsutförande av de drivfordon som redan idag går att framdriva med både 15 kV/16 $\frac{2}{3}$  Hz och 25 kV/50-60 Hz, så tillkommer i detta fall, en ytterligare kostnad om c:a 24 MSEK, varvid totalkostnaden hamnar på c:a 700 MSEK.

## 13 Exempel ur verkligheten

Här ges ett par exempel på projekt som nyligen genomförts respektive står inför att snart genomföras, nämligen Haparandabanan respektive Ostlänken och hur dessa projekt alternativt hade kunnat respektive kommer att kunna utföras.

### 13.1 Haparandabanan

Då Haparandabanan renoverades, elektrifierades och delvis nyanlades med elektrifierad standard härom året, så försågs denna bana med en omformarstation för 15 kV/16 $\frac{2}{3}$  Hz, med placering i Kalix. Denna omformarstation upphandlades för två omriktare med en kapacitet om minst 15 MVA vardera. Såsom ett mervärde levererades dock ett par omformare med en kapacitet om 17 MVA vardera. Totalkostnaden för denna omformarstation uppgick till 140 MSEK. (Taavoniku, 2013)

Om man istället hade valt 25 kV/50 Hz-standarden, så hade man kunnat uppföra en matningsstation inklusive ”filter” med två transformatorer om vardera 23 MVA, för en totalkostnad om c:a 81 MSEK. Här hade man alltså fått ut ett än större ”mervärde” genom 16 istället för ”bara” 4 MVA i överkapacitet. Därtill så, kanske inte helt oväsentligt, så hade man också sparat 59 MSEK i investeringskostnad. (Baserat på ingångsvärden från Brinch, 2012)

Denna besparing får ställas mot att loken som kör på banan hade behövt vara i tvåströmsutförande. Alltså en merkostnad vid nyanskaffning, om c:a 1 MSEK per lok. Mot bakgrund av de fåtal elektrifierade lok som samtidigt befinner sig på Haparandabanan, så skulle merkostnaden för loken kunna sägas ligga långt under 10 MSEK. Riktigt så enkelt är det dock inte. Ty nu är det inte samma lok som ständigt befinner sig på Haparandabanan, utan det rör sig om ett större antal lok som även trafikerar andra banor och som ibland trafikerar Haparandabanan.

Emellertid så har vi, samhällsekonomiskt sett, 59 miljoner att röra oss med, till att hantera eventuell problematik. Och för dessa pengar så skulle man t.ex. kunna...

- Investera i två stycken helt nya tvåströmslok eller
- Finansiera att 59 stycken lok, som nyanskaffas utanför aktuellt projekt, blir utrustade för tvåströmsdrift istället för att uteslutande utrustas för 15 kV/16 $\frac{2}{3}$  Hz.

## 13.2 Ostlänken

Ett just nu pågående projekt, som är intressant att titta närmare på, är Ostlänken, d.v.s. den nya höghastighetsjärnväg som projekteras för framdragning mellan Järna och Linköping.

### 13.2.1 TrV:s och SVK:s överväganden

Inför valet av sätt att mata Ostlänkens kontaktledningar med ström, så har ett visst utredningsarbete genomförts, där man ifrån Trafikverkets sida har tillfrågat Svenska Kraftnät (SVK) om dess inställning i fråga om omformarstationer c:a var femte mil, kontra sådan matning av kontaktledningarna med 25 kV/50 Hz, som tas ut mellan två av tre faser ur SVK:s nät emedan den tredje fasen inte belastas alls av det matade banavsnittet. (SVK, 2013)

Av SVK:s svar på denna förfrågan, så framgår att man från deras sida är negativ till direktmatning av kontaktledning genom uttag, i tvåfaskombinationer, ifrån 130 kV-nätet. Detta eftersom en sådan växelvis anslutning av olika banavsnitt, i tre olika tvåfaskombinationer, skulle utgöra en otillräcklig utjämning av fasbelastningarna och därmed komma att snedbelasta 130 kV-nätet i större utsträckning än vad detta tål utan förhöjd risk för störningar och försämrad ström kvalitet. (SVK, 2013)

Vidare framgår av detsamma svaret att 220 kV-nät saknas i aktuellt område, samt att anslutning direkt till 400 kV-nätet inte heller är önskvärt. Visserligen blir den procentuella påverkan på balansen mellan faserna, i 400 kV-nätets fall, så pass ringa att någon snedbelastningsproblematik av relevant betydelse, inte förväntas uppstå. Utan det som gör SVK negativa till detta är istället det att risken för störningar i, det för rikets elförsörjning mycket viktiga, 400 kV-nätet bedöms öka om man förser detta med många och små utmatningspunkter, utöver de få och stora sådana som finns idag. (SVK, 2013)

### 13.2.2 En "glömd" möjlighet

Då linjelängden blir c:a 15 mil och då det tycks vara otvistigt att matningsställena skall placeras c:a var femte mil, så kan det antagas att det kommer att erfordras tre st. matningsställen längs med denna järnväg.

Ska man då använda sig av 15 kV/16 $\frac{2}{3}$  Hz-alternativet, så erfordras frekvensomvandlare om c:a 20-25 MVA på dessa tre matningsställen. (Trafikverket, 2013)

Det skulle rimligen behövas i medeltal 2 $\frac{1}{3}$  st. frekvensomvandlare per omformarstation. Sådana frekvensomvandlare kostar c:a 100 MSEK/styck

(SVK, 2013). Härmed så skulle det då uppkomma en kostnad om c:a 700 MSEK för dessa tre anläggningar tillsammans.

Ska man istället använda sig av 25 kV/50 Hz-alternativet med matning utan ”filter” så skulle detta erfordra anslutningar direkt till stamnätet (400 kV). Här skulle då erfordras ett dubbelbrytarställverk vid vardera inmatningspunkten. Ett sådant kostar c:a 120 MSEK. Tre sådana skulle alltså komma att kosta c:a 360 MSEK. Vidare så påtalar SVK även att det finns vissa störningsrisker förknippade med det ökade antal anslutningar till stamnätet som härvid skulle bli följden. (SVK, 2013)

Utifrån ovanstående fakta så har SVK, i sitt yttrande, anfört ett resonemang med en innebörd som pekar mot att ett val av 25 kV/50 Hz banmatningsstandard, skulle leda till en driftsäkerhetsmässig problematik i stamnätet och en samtidigt tämligen begränsad ekonomisk besparing i jämförelse med att istället välja 15 kV/16<sup>2</sup>/<sub>3</sub> Hz kontaktledningsspänning. (SVK, 2013) Men är det verkligen så enkelt? Vi ska här nedan titta vidare på ett tredje alternativ, vilket inte har nämnts i SVK:s utlåtande till Trafikverket.

Detta tredje alternativ är den typ av teknisk lösning som man nyligen och av i princip samma skäl, har tvingats till att börja använda vid nyelektrifiering av järnvägar i Danmark. Alltså att man ansluter via ett ”filter” som jämnar ut belastningen emellan faserna så att matning kan ske från 130 kV-nätet och så att olägenheter i elnätet inte uppkommer. (Brinch, 2012)

Då dylika matningsstationer med ”filter” inte tidigare har installerats i Sverige, så finns dem inte som ”hyllvara” där man enkelt kan ringa till exempelvis Trafikverket materielservice och be om ett pris. Så för att kostnadsbestämma denna typ av anläggning som skulle erfordras, så får detta beräknas med utgångspunkt i pågående och nyligen utförda dylika investeringar i Danmark.

Här framkommer att en matningsstation med ”filter” om 2×23 MVA kostar c:a 65 MDKK, varav kostnaden för själva filtret är c:a 50 MDKK. Då en DKK motsvarar c:a 1,25 SEK (Google, 2015) så kan ovanstående omräknas till att en matningsstation med ”filter” om 2×23 MVA kostar c:a 81 MSEK varav c:a 63 MSEK är kostnaden för själva filtret. (Brinch, 2012)

I fallet Ostlänken, så kan antagas att det skulle åtgå motsvarande fyra st. sådana här matningsstationer, för 81 MSEK styck. Här skulle kostnaden alltså uppgå till c:a 325 MSEK. I jämförelse med 15 kV/16<sup>2</sup>/<sub>3</sub> Hz-alternativet á c:a 700 MSEK, så sparar vi alltså här c:a 375 MSEK. I realiteten så är det dock inte säkert att det, vid användning av 25 kV/50 Hz-alternativet, verkligen skulle behövas s.k. ”filter” för c:a 63 MSEK, vid alla dessa fyra stycken

matningsstationer. Ty till den problematik som har anförts av SVK, så hör att man inte önskar få stationer för utmatning ifrån stamnätets 400-kV:s ledningar alltför tätt. Man har som princip att inte bygga sådana utmatningsstationer för mindre anslutningar än 300 MVA, vilket är fem gånger mera än de 60 MVA som järnvägens matningsstationer skulle kräva.

Det kan dock finnas befintliga utmatningsstationer ifrån stamnätet längs med Ostlänkens tilltänkta sträckning, vilket då sannolikt skulle göra det möjligt att slopa ett eller flera av dessa s.k. ”filter” á c:a 63 MSEK/styck.

Huruvida det finns, för ändamålet användbara, sådana här utmatningsstationer i området, går inte att få bekräftat då det föreligger sekretess och SVK inte lämnar ut denna sorts uppgifter om elnätet med hänvisning till säkerhetsskäl.

Vad vi i sammanhanget bör ha i åtanke, är dock att det finns tre städer av inte obetydlig storlek längs den tilltänkta bansträckningen (Linköping, Norrköping och Nyköping). I dessa orter torde det rimligen förekomma en betydande elkonsument. Det kan således rimligen antagas att det med stor sannolikhet redan finns en (eller troligtvis flera) befintliga utmatningsstationer ifrån 400-kV-nätet i området.

Som ett exempel kan nämnas, att då kraftmatningen för Öresundsbrons bananläggning anlades på den svenska sidan, så kom den utredning som gjordes fram till det inte fanns något behov av vare sig omformare eller filteranläggning för utjämning av fasbelastningarna, utan att befintligt elnät tålde att anläggningen anslöts utan sådana åtgärder. (Sundqvist, 2012)

Mot detta skall ställas, att en banmatning med 25 kV/50 Hz skulle kräva drivfordon av tvåströmstyp (merkostnad c:a 1 MSEK/styck vid nyanskaffning). Man skulle alltså, för de ekonomiska medel som kan inbesparas, bara här på Ostlänkenprojektet, kunna finansiera denna merkostnad vid c:a 375 st. drivfordonsinköp. Och detta motsvarar fler än 10 % av de totalt 3 432 st. drivfordon som i skrivande stund finns i hela Sverige.

### 13.2.3 Ytterligare glömd(?) möjlighet

Anledningen till att man skulle behöva SVC-filteranläggningar á c:a 63 MSEK/st. vid många anslutningar av 25 kV/50 Hz banmatningssystem till 130 kV-nätet är, som framgår ovan, att SVK inte godkänner att deras nät snedbelastas med mer än 1 %. (SVK, 2013) SVK godkänner heller inte att anslutningar till 400 kV-nätet göres av mindre laster än c:a 300 MVA. (SVK, 2013)

Vidare så bedöms det, av ekonomiska skäl, inte som aktuellt att, genom Trafikverkets försorg, anlägga en separat 400 kV kraftledning enkom för matningen av Ostlänken. Detta då en sådan kraftledning kostar 7 MSEK/km. (Trafikverket, 2013) Av Trafikverkets utredning framgår också att uppförandet av en 130 kV kraftledning kostar 1,5 MSEK/km. (Trafikverket, 2013)

Det man här tycks ha glömt är att man, i Trafikverkets regi, relativt billigt, skulle kunna bygga en egen 130 kV trefasledning enkom för just kontaktledningsmatning och därmed själva kunna tillåta en lite högre snedbelastning i just denna ledning, vilken i sin tur kan matas vid en utmatningsstation från SVK:s 400-kV-nät, som ju tål denna snedbelastning.

## 14 Sammanfattning och rekommendationer

Någonting som, med all tydlighet, har framkommit under arbetets gång, är att elektrifiering med 25 kV/50 Hz-standarden har betydande ekonomiska fördelar i jämförelse med 15 kV/16 $\frac{2}{3}$  Hz-alternativet.

Ovanstående till trots, så vore det fullkomligen ekonomiskt orealistiskt att genast, här och nu, ändra om hela den övergripande svenska standarden, till 25 kV/50 Hz. Orsaken är den, att flertalet av de idag befintliga drivfordonen i form av lok och motorvagnar, inte är anpassade för 25 kV/50-60 Hz spänningsförsörjning och att bygga om befintliga drivfordon till tvåströmsdrift, torde vara mycket kostsamt. Någonting som däremot är avsevärt billigare, är att vid nyanskaffning av elektrifierade drivfordon, uteslutande anskaffa sådana som är i tvåströmsutförande.

En stark rekommendation är här att snarast tillse att all nyinvestering i kontaktledningsdrivna drivfordon för bruk på statens spåranläggningar blir inriktad mot sådana som även kan drivas med 25 kV/50-60 Hz kontaktledningsspänning.

### 14.1 Ostlänken

Rekommendationen, vad beträffar projekt Ostlänken, är att satsa på standarden 25 kV/50 Hz.

Orsaken härtill, är främst en ekonomisk besparing om, i vart fall, c:a 375 MSEK. Denna siffra framkommer då man räknar lågt, genom att jämföra den lägsta uppskattade kostnaden för 15 kV/16 $\frac{2}{3}$  Hz-alternativet med den siffra som framtagits genom erhållna uppgifter från Banedanmark.

Till saken hör dock att det, vid framställandet av detta examensarbete, inte har varit möjligt att erhålla prisuppgifter på den exakta storlek på filteranläggningar som skulle passa allra bäst här. Detta är orsaken till att kostnadsberäkningen av 25 kV/50 Hz-alternativet i föregående kapitel baserar sig på fyra stycken anläggningar av den typ som kostar c:a 81 MSEK/styck. Sannolikt så skulle det gå att uppnå en lägre kostnad, genom att istället för dessa fyra anläggningar, uppföra endast tre stycken, fast med modellen större filteraggregat i.

Då denna lägre kostnad, dock inte gått att få bekräftad, så har den utelämnats för att inte riskera överdrifter av 25 kV/50 Hz-alternativets besparingspotential.

Trots att kostnaden, för säkerhets skull, har avrundats till nackdel för 25 kV/50 Hz-alternativet, så har detta alternativ ändå med god marginal gått segrande ur jämförelsen, med en kostnadsbesparing om hela 375 MSEK redan i investeringskedet (men kan alltså mycket väl vara 100-tals miljoner SEK större än så).

#### 14.1.1 Egen trefasledning

Då det i Ostlänkens fall skulle åtgå upp till fyra st. SVC-filteranläggningar á c:a 63 MSEK/st. så innebär det en total SVC-filterkostnad om  $63 \times 4 = 252$  MSEK. Enkel matematik ger att denna kostnad motsvarar kostnaden för  $252 / 1,5 = 168$  km sådan 130 kV kraftledning som kostar 1,5 MSEK/km att uppföra.

Således, under förutsättning man kan förbinda samtliga anslutningspunkter längs Ostlänkens sträckning med befintliga dubbelbrytarställverk (utmatningspunkter) längs SVK:s 400 kV-nät, genom byggnation av mindre än 16,8 mil 130 kV "snedbelastningsbar" trefasledning i Trafikverkets regi, blir detta anslutningssätt ännu billigare än med SVC-filter vid samtliga inmatningspunkter, vilket ytterligare kan tala för ekonomiska fördelar med 25 kV/50 Hz-alternativet.

Huruvida ovanstående är möjligt utifrån dubbelbrytarställverkens geografiska belägenheter, kan mot bakgrund av sekretessen kring det senare inte utredas inom ramen för detta arbete, men då motsatsen förefaller rent osannolik, så föreslås detta beaktas av Trafikverket.

#### 14.1.2 Fordonen

Vad sedan beträffar den tilltänkta problematiken kring de drivfordon som ska trafikera bansträckningen, så torde denna vara fullt hanterbar. Skälen härtill är flera:

- Banan byggs för hastigheter som vida överstiger de hastigheter som dagens svenska drivfordon är konstruerade för. Av detta skäl så kommer det behöva nybeställas ett betydande antal tågsätt för denna trafik. Då prisskillnaden mellan tvåströmsfordon och renodlade 15 kV/16 $\frac{2}{3}$  Hz-fordon, vid nyproduktion, är mycket ringa (c:a 1 MSEK per drivfordon), så kommer denna kostnad att vara helt försumbar i jämförelse med besparingen på banmatningssidan.
- Under en övergångstid då banan är ny, så kommer trafikering med äldre och idag redan befintliga fordon att vara aktuell. Problematiken kring detta, torde emellertid, av flera skäl, vara fullt hanterbar. Ty bl.a. så är X2/X2K en av de vanligast förekommande fordonstyperna för persontrafik på den aktuella sträckan. Här ska vi då ha i åtanke att mer än var fjärde tågset av denna fordonstyp redan har underlittera K (X2K), innebärande att dessa är anpassade för trafik i Danmark och följaktligen



redan idag är kompatibla med 25 kV/50 Hz spänningsförsörjnings-system. Det skall också tilläggas att då X2-tåg trafikerar Danmark, så utföres denna trafik vanligtvis inom ramen för de fordonsomlopp som även trafikerar den tilltänkta sträckningen för Ostlänken. Det är följaktligen redan idag en påtaglig överrepresentation av tvåströms-utrustade drivfordon, ibland de X2:or som trafikerar denna sträckning.

## 14.2 Sverige i stort

Rekommendationen blir här att satsa på en successiv övergång mot 25 kV/50 Hz-standarden, vilket dock behöver genomföras utifrån en väl genomtänkt strategi och med särskilt beaktande av att det ur vissa avseenden krävs långtgående åtgärder för undvikande av trafikeringsstörande kompatibilitetsproblem under övergångstiden.

Till det viktigaste i denna strategi hör att omställningen av drivfordonen till tvåströmsutförande behöver ha ett rejält försprång framför omställningen till 25 kV/50 Hz i infrastrukturen samt att omställningen till 25 kV/50 Hz i infrastrukturen, i sin tur, behöver ha ett rejält försprång framför införskaffandet av drivfordon för uteslutande 25 kV/50-60 Hz kontaktledningsspänning.

### 14.2.1 Angreppsordning

#### 14.2.1.1 *Drivfordonsproduktionen*

Steg ett är alltså att snarast ställa om beställandet av nya drivfordon ämnade för den svenska järnvägen till att uteslutande komma att inriktas mot sådana tvåströmsfordon som är inrättade för drivning med både 15 kV/16 $\frac{2}{3}$  Hz såväl som 25 kV/50-60 Hz kontaktledningsspänning.

Detta är någonting som man rimligen gör klokast i att initiera så snart som möjligt. Till fördelarna hör inte bara ett möjliggörande av kostnadseffektivare och energieffektivare kontaktledningsinfrastruktur, utan även att dessa drivfordon ges ett högre andrahandsvärde då den tänkbara andrahandsmarknaden kommer att bestå av avsevärt fler länder.

#### 14.2.1.2 *25 kV/50 Hz på väl utvalda banor*

Det skulle kunna fungera bra att elektrifiera vissa banor med 25 kV/50 Hz redan idag. Emellertid så krävs det en väl genomtänkt strategi vid valet av vilka banor som skulle lämpa sig för detta. Ostlänken och Haparandabanan nämns ovan i detta dokument som exempel på banor där det redan i det initiala skedet hade kunnat fungera bra med 25 kV/50 Hz kontaktledningsspänning, vilket beror på trafikeringsmed stor andel nyanskaffade drivfordon respektive med ytterst få drivfordon.

Det finns emellertid fler banor som tidigt skulle kunna bli aktuella för denna modernare typ av elektrifiering. Hit hör exempelvis flertalet sådana ännu oelektrifierade banor som idag har dieseldriven motorvagnstrafik men där planer på elektrifiering och därmed vidhängande byte till nyanskaffade elektrifierade motorvagnar står för dörren.

En ytterligare bankategori som kan vara aktuell för elektrifiering med 25 kV/50 Hz kontaktledningsspänning är vissa banor utrustade med nyare signalsäkerhetssystem av typ ERTMS. Ty då dessa banor av signaltekniska skäl endast kan trafikeras av ETCS-utrustade tåg, så blir det därigenom med automatik färre drivfordon som initialt behöver ha tvåströmsanpassning.

#### *14.2.1.3 Successivt i övriga landet*

Vartefter som alla drivfordon som trafikerar en viss bana eller viss region successivt har hunnit bli utbytta mot tvåströmsfordon, så blir det möjligt med en successiv övergång till 25 kV/50 Hz kontaktledningsmatning. Exempelvis om banmatningen behöver förstärkas på en sträcka, så kan man välja övergång till 25 kV/50 Hz kontaktledningsspänning, om ifall att detta i det enskilda fallet skulle visa sig vara mest kostnadseffektivt.

Detta är dock ett scenario som ligger åtskilliga decennier framåt i tiden, emedan det, å andra sidan, endast är ett mervärde. Kalkylen tycks av allt att döma gå ihop på ett betydligt tidigare stadium än detta.

#### *14.2.1.4 25 kV/50-60 Hz drivfordon*

Långt fram i tiden, vartefter 25 kV/50 Hz kontaktledningsspänning har hunnit bli så pass dominerande att det förekommer hela drivfordonsomlopp som uteslutande kör på denna drivspänning (d.v.s. helt utan förekomst av "öar" med 15 kV/16<sup>2</sup>/<sub>3</sub> Hz kontaktledningsspänning), så kan man överväga införskaffande av billigare drivfordon för renodlad drift med 25 kV/50-60 Hz kontaktledningsspänning.

Även om det senare ter sig vara ett tämligen avlägset scenario, så kan det avsevärt närmare i tiden uppkomma möjligheter för användning av renodlade 25 kV/50-60 Hz drivfordon, fast då på sådana lokala fordonsflottor vars drivfordon endast trafikerar en mera begränsad bansträckning. I närtid bör den ekonomiska vinningen härav dock ställas mot ett tänkbart lägre andrahandsvärde samt mot eventuella merkostnader för transporter till och från verkstäder.

## 15 Referenser

### 15.1 Elektroniska referenser

Google (2015) Valutakursuppgift

[https://www.google.se/?gws\\_rd=ssl#q=dkk+till+sek](https://www.google.se/?gws_rd=ssl#q=dkk+till+sek)

SCB (2015) Konsumentprisindex

[http://www.scb.se/sv\\_/Hitta-statistik/Statistik-efter-amne/Priser-och-konsumtion/Konsumentprisindex/Konsumentprisindex-KPI/33772/33779/Konsumentprisindex-KPI/272151/](http://www.scb.se/sv_/Hitta-statistik/Statistik-efter-amne/Priser-och-konsumtion/Konsumentprisindex/Konsumentprisindex-KPI/33772/33779/Konsumentprisindex-KPI/272151/)

Trafikverket (2017) Elprisrapport

<https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/teknik/elabonnemang-och-elhandel/nyheter-elprisrapporten/>

### 15.2 Övriga referenser

ABB (2013) SVC Light for rail traktion.

Andersson (2015) Telefonsamtal med Ulf Andersson, Näringsdepartementet.

Banverket (2009) Åtgärdsplanering Kraftförsörjning

Förstärkningsåtgärder och kostnader för perioden 2010-2020 (LAKf 09-006).

Biedermann (2006) Banmatningssystem för höghastighetsjärnvägar, KTH.

Brinch (2012) Muntlig uppgift från Svend Brinch, Banedanmark, vid möte i Köpenhamn.

Brinch (2013) Mailkonversation med Svend Brinch, Banedanmark.

Deremar (2015) Telefonsamtal med Roger Deremar, Trafikverket.

Eriksson (2016) Telefonsamtal med Anders C. Eriksson, Trafikverket.

Friman (2013) Dokument Uhae 13-161, vid Trafikverket.

Jansson (2015) Telefonsamtal med Greger Jansson, Trafikverket.

Malm (2015) Mailkonversation med Sven Malm, Bombardier.

Sundqvist (2012) Telefonsamtal med Rolf Sundqvist, Øresundsbro Konsortiet.

SVK (2013) Brev till Trafikverket från Svenska Kraftnät.

Taavoniku (2013) Mailkonversation med Mattias Taavoniku vid Trafikverket.

Thulin (2012) Föreläsningar vid Trafikverket Järnvägsskolan.

Transportstyrelsen (2014) Lista över drivfordon godkända för trafik i Sverige.

## **16 Bilaga**

Genomsnittligt elpris oktober 2016 – september 2017

## Genomsnittligt elpris oktober 2016 - september 2017

Månad	Elpris öre/kWh	Nätpris öre/kWh	Totalt öre/kWh	Förlustpåslag 14 %	Summa månad
16-okt	36,11	9,12	45,23	1,14	51,5622
16-nov	36,04	8,43	44,47	1,14	50,6958
16-dec	36,43	9	45,43	1,14	51,7902
17-jan	33,65	8,05	41,7	1,14	47,538
17-feb	33,21	8,4	41,61	1,14	47,4354
17-mar	31,43	8,05	39,48	1,14	45,0072
17-apr	29,38	9,1	38,48	1,14	43,8672
17-maj	30,81	9,16	39,97	1,14	45,5658
17-jun	32,47	10,06	42,53	1,14	48,4872
17-jul	35,23	10,75	45,98	1,14	52,4172
17-aug	36,96	9,75	46,71	1,14	53,2494
17-sep	34,64	9,5	44,14	1,14	50,3196
		<b>Medel öre/kWh:</b>			<b>48,9946</b>

Källa: Trafikverkets elprisrapporter