

# Elvägar – En studie av elförsörjningen för landsvägsbaserad trådbunden transport

---



Elfrågor/Strömförsörjning  
Säkerhet/Tillgänglighet  
System/Affärsmodeller

Sten Bergman  
**Elforsk**

Nov 2011

## Innehåll

|   |    |
|---|----|
| Elvägar – En studie av elförsörjningen för landsvägsbaserad trådbunden transport..... | 1  |
| 1 Sammanfattning.....   | 3  |
| 2 Bakgrund.....   | 5  |
| 3 Trafikuppskattning.....   | 6  |
| 3.1 Val av studiesträcka.....   | 6  |
| 3.2 Belastningsanalys.....  | 7  |
| 3.3 Trafikvolym och effektbehov.....  | 10 |
| 3.4 Belastningsprofiler.....  | 11 |
| 4 Transmissionsnätet.....   | 14 |
| 4.1 Stamnätet.....  | 14 |
| 4.2 Regioner.....   | 14 |
| 5 Distributionsnät.....   | 15 |
| 5.1 Lokala nät.....   | 15 |
| 6 Elsäkerhet och tillgänglighet.....  | 16 |
| 6.1. Elsäkerhet.....  | 16 |
| 6.2 Tillgänglighet.....   | 16 |
| 6.2.1 Alternativ konstruktion för ökad tillgänglighet.....                            | 16 |
| 7 Kostnadsuppskattningar.....   | 18 |
| 7.1 Transmission/Regionnät.....   | 18 |
| 7.2 Distributionsnät och transformatorstationer.....                                  | 18 |
| 7.3 Fordonens strömförsörjning.....   | 19 |
| 7.3.1 DC.....   | 19 |
| 7.3.2 AC.....   | 19 |
| 8 Affärs- och betalningsmodeller.....   | 21 |
| 8.1 Tariffer.....   | 21 |
| 8.2 Distanstariff.....  | 21 |
| 8.3 Elförbrukningstariff.....   | 21 |
| 8.4 Ett exempel på en möjlig affärsmodell för Svenska Elvägar.....                    | 22 |
| 9 Slutsatser.....   | 23 |

## 1 Sammanfattning

Den tunga trafiken ökar nu snabbt och bidrar till allt högre utsläpp av växthusgaser. Medan vissa förespråkar överflyttning av tungt gods till järnväg finns andra tänkbara alternativ. Ett sådant är att istället elektrifiera landsvägstransporterna.

Att transportera gods på landsväg med el som drivmedel omfattar förutom själva fordonen och den teknik som används för överföringen av el en lämpligt utformad infrastruktur, som idag saknas. Bland de eltekniska frågorna, som Elvägar påkallar finns bl.a.:

- Utformningen (dimensionering) av elförsörjningen ur ett tekniskt och säkerhetsmässigt perspektiv
- Val av systemspänning och val mellan likspänning/växelspänning
- Mätning/Avräknings/Debiteringssystem (Affärsmodeller)

Denna studie visar att utbyggnad av infrastrukturen rörande elförsörjning av fordonen inte är speciellt komplicerad, ej heller så kostsam, som en utbyggnad av järnvägen skulle bli. Flera faktorer samverkar till detta.

Överföring av el till fordonen kan ske på olika sätt. Den vanligast förekommande metoden är via ovanliggande tråd och likströmsöverföring på två trådar för buss och en tråd för exempelvis spårbunden trafik. (Här har dock endast två-tråds systemet diskuterats, avseende DC drift). Överföring med högspänd Växelspänning är tekniskt möjlig men helt andra regelverk än de som nu förekommer blir då styrande.

Resultatet från studien pekar på följande:

- Den tekniska lösningen kring överföring av el till dedikerade fordon (bussar, spårvagnar) är förhållandevis enkel och innebär ofta bara att en operatör är inblandad. I fallet med publik transport i ett öppet system måste affärsmodellen, operatören/operatörerna och betalningssystemen dock definieras i någon form.

Den affärsmodell som behandlas utgår från att en operatör äger infrastrukturen och driver Elvägarna operationellt. Energi köps från en eller flera elbolag. Anslutningar sker mha av vanliga högspänningsabonnemang längs linjesträckan. Utbyggnaden av elnätet kan ske genom de lokala elbolagens försorg (Leveransplikt) alt. i egen regi. Olika betalmodeller kan användas. Den enklaste är att endast debitera fordonen för den körda sträckan och under den tid man är ansluten. Andra modeller kan bygga på fasta abonnemang och rörlig elkostnad. Mha GPS baserad positionering och indikation på eldriften kan olika förslag till debiteringsmodeller studeras.

- Studien visar på att måttliga volymer fordon (500-2000 per dygn) knappast kommer att påverka dimensioneringen av elförsörjningen. Lastprofilerna är i regel mycket lokala och i de sektorer där många fordon kan förväntas ansamlas kan olika åtgärder vidtagas för att effekttoppar skall hållas nere.
- Genom en utbyggd kommunikation kan systemet tillhandahålla körinformation till fordon liksom avräkningsinformation till operatören. På samma sätt som flyget regleras med "slot-tider" kan landsvägstrafiken regleras om så skulle vara önskvärt.

- Ett förslag som diskuteras i studien är att istället för den traditionella ”banmatningen” som sker för trådbussar, skulle en lokal energiförsörjning kunna ske. **Där i princip intelligenta elstolpar spänningssätter endast de segment där fordon finns för stunden.** Ett sådant system skulle troligen inte bara bli billigare än ett konventionellt utan även mer driftsäkert och troligtvis mycket mer personsäkert vid eventuella ”tråd-haverier”.

Sammanfattningsvis kan sägas att elektrifiering av motorvägar ger stora möjligheter för både logistikoptimering och trafikflödesstyrning rörande den tunga trafiken. Genom ett intelligent kommunikationssystem med fordonen kan operatören kontinuerligt övervaka den tunga fordonstrafiken, som drivs på el samtidigt, som incitament finns för att flytta viss transport till låglastperioder.

Det kan vidare kommenteras att med ett utbyggt Elvägssystem längs våra större motorvägar finns **automatiskt tillgång till elförsörjning för vanliga elfordon och laddhybrider.** Synergieffekten av detta är dock svår att i dagsläget bedöma hela konsekvensen av.

Förstudien pekar på några ännu oprövade metoder att dels energiförsörja tung godstrafik, bussar m.m. **En fördjupad analys av dessa möjligheter förslås** i ett fortsatt projekt, där olika teknibaserade affärsmodeller konkretiseras.

## 2 Bakgrund

Svenska Elvägar AB presenterade under 2009 ett förslag till hur överflyttning av tungt gods till elektrifierade vägar skulle kunna ske med hjälp av i princip redan känd teknik. Viss nytutveckling erfordras dock för att möta krav om anslutning under färd etc.

I en förstudie rörande ” Elektriska vägar – elektrifiering av tunga vägtransporter<sup>1</sup>”, sammanställd av Per Ranch, Grontmij på uppdrag av Trafikverket och Enregimyndigheten beskrivs syftet med elektrifieringen av våra större vägar. Syftet med elektrifieringen är bl.a.:

- Elfordon reducerar effektivt energiförbrukningen
- Reducerad energiförbrukning minskar klimatpåverkan (oavsett hur elen produceras)
- Minskade utsläpp från tunga fordon bidrar till att de nationella klimatmålen uppfylls. Minskat nationellt fossilberoende minskar de politiska säkerhetsriskerna som uppstår när oljeproduktionen minskar
- Man uppnår bättre totalt utnyttjande av transportinfrastrukturen.
- Man kan utnyttja redan befintliga investeringar bättre

Den infrastruktur som behövs består väsentligen av vägar och elförsörjning. Vägarna finns för närvarande och elförsörjning längs vägarna saknas. Dock finns tillgång till elförsörjning i samtliga tänkta regioner.

Förutom den rent tekniska aspekten av elvägsdrift kan andra faktorer vägas in i en satsning. Detta rör naturligtvis hur själva affärsmodellen runt elvägsdriften är tänkt och den övervakning/trafikstyrning som erfordras och görs tillgänglig. Aspekter finns också kring sekundära effekter som att tillgång till el längs våra större motorvägar också indirekt skulle innebära en mindre kostsam utbyggnad av elförsörjning till rena elfordon längs de aktuella vägarna.

Projektet som drivs omfattar minst fyra specifika faser:

- Förstudie (Genomförd 2010)
- Analyser och bedömningar kring teknik/ekonomi/miljö etc.
- Pilotanläggning/Teknikdemonstration
- Demonstrationsprojekt i verklig miljö

---

<sup>1</sup> Elektriska vägar- elektrifiering av tunga vägtransporter; Per Ranch, Grontmij, 2010-04-30.

### 3 Trafikuppskattning

I Sverige finns enligt SCB drygt 4,3 miljoner personbilar och 447 000 lätta transportfordon (1- 3,5 ton). Med tunga fordon avses fordon som väger över 3,5 ton. I intervallet 4-20 ton var antalet 2009 ca 37 000, i intervallet 20-30 ton fanns drygt 36 000 fordon och i intervallet 50-60 ton uppgick fordonsflottan till dryga 5 000 fordon. Totalt finns alltså närmare 80 000 tunga fordon i Sverige. Antalet tunga fordon, i de högre viktklasserna ökar också snabbare än tidigare, liksom antalet tonkilometer.

De riktigt tunga fordonen uppskattas i huvudsak vara transportfordon inom gruv- och skogsnäringen och transporterar därför gods enbart på speciellt utvalda sträckningar. De övriga ca 70 000 tunga fordonen kan sägas vara allmäntransporter som går mer eller mindre fullastade över hela landet, men företrädesvis längs transportsträckor mellan de större städerna i mellan och Sydsverige med förgrening längs Norrlandskusten upp till Luleå.

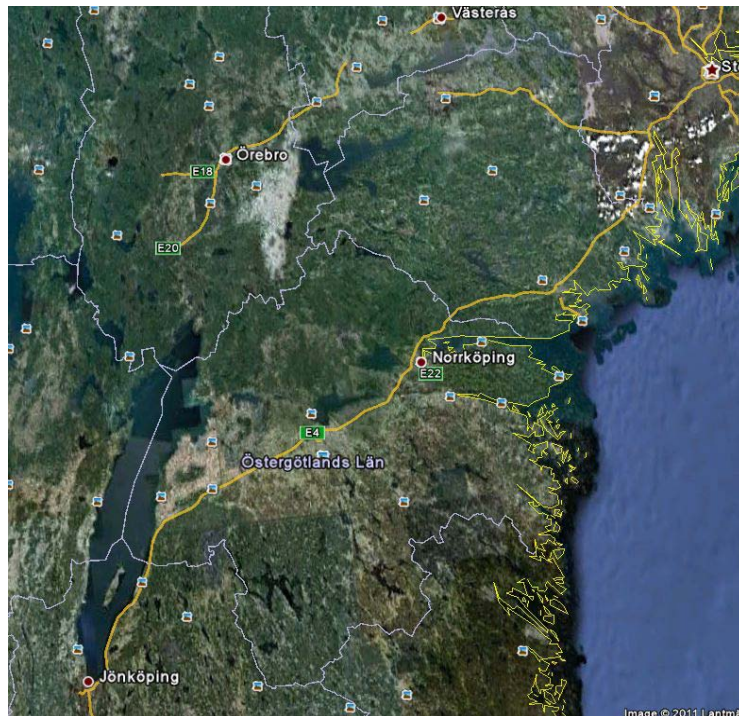
I denna studie antas att lastbilstrafiken för sträckningen Helsingborg-Södertälje, en sträcka på 558 km uppgå till mellan 500 – 12 000 fordon per dygn dubbelriktat. Det innebär att medeltätheten för tunga fordon på E4 således skulle kunna uppgå till mellan 16 och 400 fordon per timme i nordlig respektive sydlig riktning.

#### 3.1 Val av studiesträcka

I denna studie har en modellsträckning antagits för elektrifieringen av sträckan Helsingborg-Södertälje.

Studien kan lätt expanderas till sträckningen Malmö-Helsingborg-Jönköping-Stockholm, samt Göteborg-Jönköping och Göteborg Helsingborg. Valet kan naturligtvis kunnat göras annorlunda, men högst troligt är att de generella slutsatser som dras ur analysen är giltiga för vilken sträckning som helst. Studien tar heller inte upp i vilken takt utbyggnad skall ske eller vilka regioner/områden som skall prioriteras i en eventuell utbyggnad. Andra systemanalyser för dras med den frågan. I denna analys har fokus varit att få en grov uppfattning kring de infrastrukturella frågorna rörande själva elförsörjningen och diskutera någon lämplig affärs/betalmodell.

Resultaten får därför inte tolkas för djupt, då de är behäftade med vissa osäkerheter. För att i viss mån redan från start ta hänsyn till att en mängd parametrar kan variera har modellsimuleringar gjorts med det statistiska plug-in programmet till Excel, @RISK, vilket möjliggör att parametervärden ersätts med olika statistiska fördelningar.



I beräkningarna nedan studeras i första hand sträckningen  
Södertälje-Helsingborg, en sträcka på 558 km.

### 3.2 Belastningsanalys

Belastningsanalysen, som ligger till grund för hur infrastrukturen kan planeras bygger på vilket antal fordon som rimligen kan belasta en given sträcka. Denna sträcka är här satt till 1 km. Valet är gjort med hänsyn till traditionell distributionsnätsutformning för lågspänning och de maximala spänningsfall som kan uppstå när fordonen belastar nätet. I ett framtidsperspektiv skulle dock en noggrann spänningsreglering på varje segment kunna hantera större belastningsvariationer än vad som antagits i denna studie. Denna möjlighet bör dock noteras som en framtida tänkbar forskningsuppgift.

Utgångspunkten för belastningsanalysen baseras på en statistisk simulering m.h.a EXCEL och plug-in programmet @RISK (Palisades Corp.). Som utgångspunkt används en uppskattad totalvolym fordon per dygn, varierande från 500 upp till 12 000. Eftersom fordonstrafiken är dubbelriktad ansätts det verkliga trafikflödet till hälften av denna volym.

Fig. 1: Excel modell för belastningssimulering

| <b>Simulering ELVÄGAR 558 km</b> |                  |             |
|----------------------------------|------------------|-------------|
| Antal fordon per dygn            | 2000             |             |
| Medelhastighet                   | 95 km/tim        |             |
| Antal körtimmar dygn             | 16,7             |             |
| Antal fordon per minut           | 1,00             |             |
| Avstånd mellan fordon            | 60 sek           |             |
| Fordonent hastighet m/s          | 26,38888889 m/s  |             |
| Avstånd mellan fordon            | 1583,333333 m    |             |
| Antal fordon per km sträckning   | 0,631579         |             |
| Antal fordon verkligt            | 1,0              |             |
| Effektbehov fordon               | 100 kW           |             |
| Total effekt fordon i drift      | 100              |             |
| Antal fordon som startar         | 0                |             |
| Effekt för startande fordon      | 0                |             |
| Totalt effektbehov               | 100              |             |
| Energibehov per fordon           | 1174,74 MWh/dygn |             |
| Antalet kördygn per år           | 220              |             |
| Årsenergiförbrukning EL          | 258,4 GWh        |             |
| Årsenergiförbrukning (Diesel)    | 85932000 liter   |             |
| Drivmedelsförbrukning per mil    | 3,5 l/mil        |             |
| Energiförbrukning drivmedel      | 842 GWh          |             |
| Kostand för diesel               | 14 kr/l          |             |
| Kostnad för el                   | 1 kr/kwh         |             |
| Kostnad per körd km              | 0 kr/km          |             |
| <br>                             |                  |             |
| Körkostnad km                    | 0                |             |
| Körkostnad el                    | 258442105        |             |
| Total körkostnad 558 km          | 258442105 kr     |             |
| <br>                             |                  |             |
| Körkostnad per fordon (el)       | 129221 kr        | 1 kr/km     |
| Körkostnad per fordon (diesel)   | 687456 kr        | 4,9 kr/km   |
| Besparing per fordon/år          | 558235 kr        |             |
| <br>                             |                  |             |
| Utsläppsminskning CO2            | 110484 ton/år    |             |
| <br>                             |                  |             |
| Värdet av utsläppsminskning      | 27621000 kr      | 250 SEK/ton |

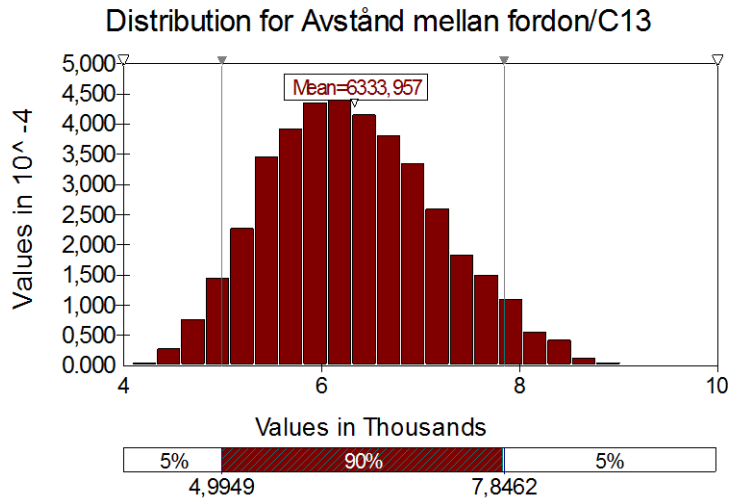
Ur simuleringen ses att en marginal finns mellan drift på el resp drivmedel med närmare 3,9 kr/km. Med 2000 fordon på vägaran uppgår marginalen till dryga 800 miljoner per år.

Resultaten från simuleringarna, i detta fall 5000 iterationer, visas som statistiska fördelningar. Nedan visas hur avstånd mellan fordon varierar med data enligt ovan. I fallet 500 fordon per dygn varierar således medelavståndet mellan fordonen mellan 4 och 9 km i medel.



Medelvärdet ligger på 6,3 km. Det innebär att endast 1 fordon behöver kraft försörjas (per km sträcka) om ingen förtätning uppstår. Det är därför troligt att just förtätningar kommer att vara dimensionerande för effektbehovet och inte trafikvolymerna över dygnet.

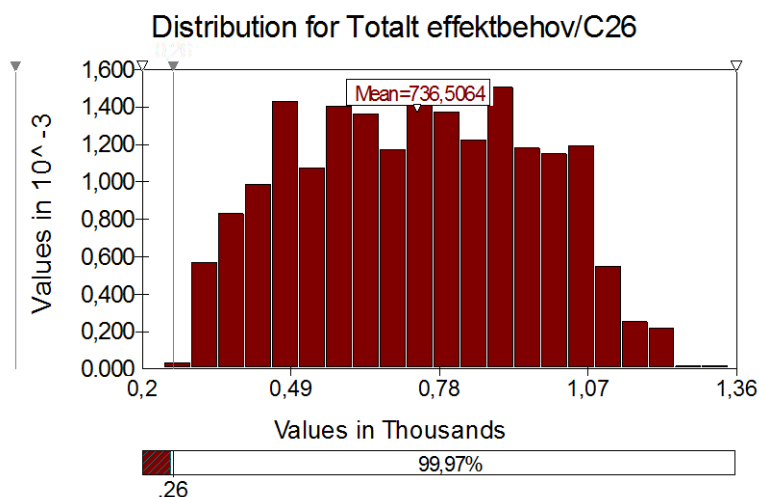
Resultaten visar också på möjligheten att vid låga trafikvolymerna förlänga segmenten från 1 km till säg 2-3 km utan att effektnivåerna märkbart höjs.



Det bör dock påpekas att olika förslag finns för att effektivisera den tunga trafiken. Ett sådant rör exempelvis kolonnkörning av tunga fordon. Principen är att via precis IT baserad (och GPS) kopplas flera fordon ihop i kolonner. Det första fordonet i kolonnen kör hela fordonskolonnen. System finns för att koppla isär och ihop kolonner under färd samt hantera olika störningar som kan förekomma. I sådana fall skulle ett kolonset kunna spara upp mot 10% energi genom att bakomliggande fordon upplever ett lägre luftmotstånd. I fallet med eldrivna kolonner blir påverkan endast som en ökad effektutlösning för kolonnen och påverkar alltså effektuttaget, men behöver ej påverka energiuttaget annat än att det förmodligen blir lägre. En kolonn om 5 fordon skulle alltså öka effektuttaget till 4,5 ggr.

### 3.3 Trafikvolym och effektbehov

De trafikvolym som simulerats har antagit mellan 500 och 12 000 fordon per dygn. Effektbehovet per km sträckning varierar i dessa fall mellan 730 – 1360 kW. Huvudskälet är att ett antal fordon kan komma att starta samtidigt. Detta är dock kanske exceptionella fall vid något fel på fordonet eller stopp i trafiken (inom segmentet). För att hantera sådana situationer kan områden där många fordon stannar (rastplatser m.m.) strömförsörjas för att ta hand om ett stort antal fordon.



Simulering med 12 000 fordon per dygn. Upp till 4 samtidigt startande fordon.

Tabell 1 Samband mellan antal fordon/dygn och maximalt effektbehov, samt energibehovet vid upp till 4 samtidigt startande fordon

| Antal fordon per dygn | Maximalt antal fordon per km | Effektbehovet (kW) | Energibehovet (GWh/år) | Sammanlagrat effektbehov MW |
|-----------------------|------------------------------|--------------------|------------------------|-----------------------------|
| 500                   | 4                            | 730                | 64,6                   | 20                          |
| 1000                  | 4                            | 730                | 129,2                  | 50                          |
| 2000                  | 4                            | 730                | 258,4                  | 100                         |
| 4000                  | 4                            | 850                | 516,9                  | 200                         |
| 6000                  | 5                            | 970                | 775,3                  | 300                         |
| 12 000                | 6                            | 1360               | 1550,7                 | 600                         |

Slutsatsen från studien visar med all tydlighet att effektbehovet bestäms av antalet startande fordon upp till volymer kring 2000 fordon per dygn därefter i större omfattning av själva trafikflödet. Det kan kommenteras att en trafikvolym om 12 000 fordon per dygn, dvs. 6 000 norrgående och 6 000 sydgående fordon i praktiken skulle innebära ett fordon var 12 sekund under hela dygnet. Detta ter sig naturligtvis orealistiskt. Men, ett fordon var 12 sek innebär faktiskt (om dessa kör runt 90 km/tim) att fordonen kör med ca 350 m lucka. Inte helt ovanligt kan man då och då uppleva fordonskolonner med mindre luckor än så. Med andra ord sett ur ett systemperspektiv är

fordonstätheter upp mot säg 30 000 – 40 000 fordon/dygn ingalunda någon omöjlighet om vi enbart nöjer oss med att enbart betrakta effektbehoven och konsekvenser av "förtätningar".

**Strategin för utbyggnad av infrastruktur skulle således kunna bestämmas av den högsta fordonstäthet som kan uppskattas inträffa.**

Möjligheten finns dock att på samma sätt som för flyget låta fordonen få s.k. slot-tider och alltså inte få starta samtidigt, pga. effektbegränsning. Metoden för detta bygger på kommunikationslösning och GPS positionering av fordon. Genom detta förfarande skulle topplasten kunna begränsas i kritiska sektor, alltså där man kan befara att många fordon stannar och möjligen vill strata samtidigt. Med normalhastigheten 25/sek (90 km/tim) befinner sig ett fordon endast 40 sekunder i ett kilometersegment.

Konsekvensen av eventuella fordonskolonner kan hanteras på flera sätt. Vid måttliga trafikvolymmer skulle fordonskolonnerna knappast påverkas all. Ej heller skulle behovet av högre dimensionering av strömförsörjningen behöva ske. Vid höga transportvolymmer, kan viss särskillnad mellan kolonnerna behövas.

En enkel beräkning visar att med kolonner om säg 5 fordon åt gången och att det endast får finnas en kolonn per km samtidigt, så får vi på sträckan Helsingborg-Södertälje rum med 558 kolonner. Räknar vi med körtid på 8 tim finns teoretiskt utrymme för  $3 \cdot 558$  kolonner dvs. 8370 fordon per dygn i varje körriktning. Alltså en transportvolym på 16 740 fordon per dygn. Dvs. i paritet med maxvärdet i denna studie.

### 3.4 Belastningsprofiler

Belastningsprofiler kan göras i flera dimensioner. Bland tänkbara scenarier är fordonskolonner som startar exempelvis någorlunda samtidigt i norr resp. söder. Effektbehovet kommer i detta fall att uttrycka sig som ett effektpulståg som samtligt utbreder sig i två riktningar. När kolonnerna möts (uppskattningsvis någonstans i närheten av Jönköping) dubblas effektbehovet (om näten är sammankopplade). I detta fall är också terrängen relativt kuperad med både uppförs/utförsbackar. I fallet att fordon eller fordonskolonner befinner sig samtidigt i segmenten kan återmatning svara mot ökade effektbehov. I fallet enskilda fordon eller kolonner i någon av riktningarna kan större effektbehov erfordras .

En 20-tons lastbil som kör säg 60 km/tim uppför en 100 m hög och 1000 m lång backe kräver en tillskottseffekt om drygt 330 kW. En effekt som antingen kan vis elnätet eller via tillskottseffekt från ICE motor. På samma sätt kan ett fordon som rullar med "motorbroms" återmata närmare 300 kW i samma backe.

Belastningsprofiler för vägsträckningar handlar därför mycket om fördelning av fordon och den aktuella sträckan. Variationerna i effektbehov för samma fordon kan alltså komma att variera starkt under körcykeln (fordonet vikt, start, konstant färd, backe upp/ner och inbromsning). Det sammanlagrade effektbehovet är inte entydigt en summa av maximala effektbehovet, vilket

vanligtvis används för elnätsdimensionering, utan en mer komplex summering där aktuell körcykelsekvens ingår för fordonen.

I analysen nedan rörande behovet av installerad effekt kan därför ett antal typsträckor identifieras, nämligen:

- Vägsträcka utan höjdvariation och utan stoppmöjligheter
- Vägsträcka utan höjdvariation med stoppmöjlighet (rastplats m.m.)
- Vägsträcka med höjdskillnader utan stoppmöjlighet
- Vägsträcka med höjdskillnad och stoppmöjlighet (rastplats m.m.)

Effektbehovet för dessa sträckor kan beräknas teoretiskt och för den aktuella valet Helsingborg-Södertälje kan en uppskattning göras hur stor andel som resp. typsträcka utgör. En effekt/och energikorrigeringsfaktor kan därefter göras.

Tabell 2: Uppskattade korrigeringsfaktorer

| <b>Sträck typ</b>   | <b>Korrigeringsfaktor</b> |
|---|---------------------------|
| Vägsträcka utan höjdvariation och utan stoppmöjligheter           | 1                         |
| Vägsträcka utan höjdvariation med stoppmöjlighet (rastplats m.m.) | 3                         |
| Vägsträcka med höjdskillnader utan stoppmöjlighet                 | 4                         |
| Vägsträcka med höjdskillnad och stoppmöjlighet (rastplats m.m.)   | 5                         |

Korrigeringsfaktorerna som används för den aktuella vägsträckan Helsingborg-Södertälje kan uppskattas enligt tabell 3 nedan

Tabell 3: Viktad sammanställning över aktuell vägsträcka Helsingborg-Södertälje

| Sträck typ  | Korrigeringsfaktor | Andel av sträcka (%) | Viktat      |
|---|--------------------|----------------------|-------------|
| Vägsträcka utan höjdvariation och utan stoppmöjligheter           | 1                  | 80                   | 0,8         |
| Vägsträcka utan höjdvariation med stoppmöjlighet (rastplats m.m.) | 3                  | 10                   | 0,3         |
| Vägsträcka med höjdskillnader utan stoppmöjlighet                 | 4                  | 6                    | 0,24        |
| Vägsträcka med höjdskillnad och stoppmöjlighet (rastplats m.m.)   | 5                  | 4                    | 0,2         |
| <b>Sammantaget</b>  |                    | <b>100%</b>          | <b>1,54</b> |

Detta innebär att det sammanvägda resultat från samtliga delsträckor skulle svara mot 54% högre effektbehov än om fordonen enbart kör raksträcka och utan stoppmöjlighet. Vid höga trafikflöden kommer troligtvis det viktade värdet att minska pga. sammanlagringseffekter och återmatningar i kuperade områden. Uppskattningsvis kan värdet komma att sjunka mot 1,2-1,3.

Det ökade effektbehovet på grund av variationer i vägtyp kan i viss mån kompenseras av en naturlig överdimensionering av kraftsystemet som oftast innebär 30-40% överlastförmåga. I fallet med Elvägar torde dock det naturliga vara att redan från början ta hänsyn till belastningsprofilen vid aktuellt vägavsnitt. I denna studie tjänar resonemanget endast som en korrigeringsfaktor av de sammanlagrade värden för att få en bättre uppskattning av effekt och energibehov för hela sträckan.

## 4 Transmissionsnätet

Elektrifieringen av Sverige började tidigt, redan i slutet av 1800-talet fick vissa städer elektrisk belysning. När sedan vattenkraften började byggas en bit in på 1900-talet växte ett stamnät fram för den el som skulle transporteras från kraftverken. Idag är det svenska elnätet cirka 48 200 mil (13,2 varv runt jorden) varav 29 700 mil är jordkabel och 18 500 mil luftledning. Leveranssäkerheten i det svenska nätet ligger på 99,99 procent.

### 4.1 Stamnätet

Stamnätet består idag av 15 000 kilometer högspänningsledningar. Ledningarna närmast de större kraftverken är kraftiga högspänningsledningar och ingår i stamnätet. Här har elektriciteten en mycket hög spänning, 400 000 volt (400 kV). Elektriciteten transporteras långa avstånd i stamnätet för att sedan ledas vidare i regionnätens ledningar med spänningar från 130 kV ner till 20 kV.

Innan elen förs in i regionnätet har den transformerats från spänningsnivån 220 kV eller 400 kV till regionnätens nivå. Elintensiva industrier som smältverk och pappersbruk får oftast sin el direkt från regionnätet

### 4.2 Regioner

Det är 116 företag som äger elnäten i Sverige. Varje företag har inom sitt geografiska område ensamrätt att tillhandahålla elnätet till kunderna. Stamnätet har bara en ägare; det statliga affärsverket och myndigheten Svenska Kraftnät (förkortat SVK). Stamnätets kunder är nästan uteslutande de energibolag som äger regionnäten.

Tre elnätsföretag; E.ON Sverige AB, Vattenfall AB och Fortum Power and Heat AB, äger större delen av de svenska regionnäten.

Baserat på effektbehovet från enbart den tunga trafiken är bedömningen att regionnäten i Sverige kan klara en ökad belastning av den omfattning som kommit fram här.

Förstärkningar av regionnäten kan dock vara påkallade av andra orsaker, som t.ex. utbyggnad av vindkraft etc. I fallet förstärkning och utbyggnad planeras bör dock hänsyn tas till en eventuell introduktion av elfordon på våra huvudvägar.

## 5 Distributionsnät

### 5.1 Lokala nät

De lokala elnäten tar vid efter regionnäten och skickar elektriciteten vidare till mindre industrier, hushåll och övriga användare. Innan elen når våra vägguttag har den stegvis transformerats till 230 volt, vilket är den spänning vi har i våra hem.

Om vi utgår från att distributionsnätet i Sverige, längs den aktuella vägen (E4) endast sträckvis behöver uppgraderas kan vi få en grov uppskattning vad kostnaden för det lokala nätet skulle kunna komma att kosta.

Två alternativ kan dock diskuteras, nämligen om distributionsnätet skall sammankopplas för båda körfälten (nord resp. sydriktning.) I sammankopplingsfallet torde kostnaden kunna halveras då endast ett distributionsnät behöver byggas.

Det lokala nätet som erfordras för försörjning av tung trafik innebär högst troligt ett uttag från befintliga landsbygdsledningarna och installation av ett kabelnät längs vägen. Kabelnätet skulle kunna vara exempelvis ett 12 kV nät

**Kabelnätet skulle förses med transformatorstationer om 1,5 MVA per km i fallet separerade nät och 3 MVA i fallet dubbelmatade sträckor.**

Det bör dock påpekas att vissa punkter skulle kunna behövas förstärkas ytterligare om en massiv elbilsintroduktion äger rum vilka kommer att behöva ladda under färd på de aktuella vägsträckningarna. En snabbladstation med kapacitet för säg fyra fordon kräver 250 MVA ytterligare. Merkostnaden för transformatorstationer för uppgradering säg från 1,5 till 2 MVA är dock inte så stor.

Trådnätet för Elvägar drivs ytterst av likriktarstationer. En typisk konstruktion innebär en anläggning placerad exempelvis var 5 km med matningsförmåga upp till någon eller några MW.

## 6 Elsäkerhet och tillgänglighet

Elsäkerhet kan innebära olika saker. Dels elsäkerheten i relation till personskador eller skador på egendom. Eller så kan den handla om säkerheten till leverans och benäms då ofta som Tillgängligheten.

### 6.1. Elsäkerhet

En viktig fråga för användning av el i publik miljö är elsäkerheten. Vad händer om ledningar ramlar ner? Finns det risk för skador och dödsfall?

Elsäkerheten är mycket hög i Sverige vilket också bekräftas av statistiken kring elolyckor. I fallet med överliggande trådförsörjning och högspänd el av likström eller växelström torde det vanligaste säkerhetsrelaterade felet kunna vara att ledningen rivs ned och att systemskydden av någon anledning inte löser ut.

Det torde dock finnas flera metoder för att minska risken för eventuella personskador om t.ex. systemt sektioneras hårt, vilket skulle begränsa skedområdet. Likaså skulle ett "smart inforamtionssystem" kunna detektera om lasten plötsligt försvinner alt ökar dramatiskt. I dessa fall skulle intelligent bortkoppling kunna säkra av skadeområden.

### 6.2 Tillgänglighet

Tillgängligheten hos elsystemet är mycket hög i Sverige även om det understundom råkar uppstå elavbrott. Många kan säkert dra sig till minnes den stora stormen Gudrun som drabbade Sydsverige på våren 2007.

Beträffande tillgänglighetsaspekterna (leveranssäkerheten) hos elförsörjning längs våra vägar får man framförallt bedöma tillståndet hos de regionnät samt de lokala landsbygdsnät som kommer att vara matande. Likaså kommer matningsvägar att få en avgörande betydelse för den totala tillgängligheten, samt i vilken mån lokala nät kan sammankopplas för att tillfälligt ersätta lokala matningsproblem. Elsystemet kan således utformas på en rad olika sätt även om s.k. radialmatning är det vanligaste försörjningssättet.

#### 6.2.1 Alternativ konstruktion för ökad tillgänglighet

Den traditionella elförsörjningen av trådbundna system innebär sektionerade ledningar och omriktarstationer utplacerade på lämpliga avstånd. Omriktarstationerna är oftast dimensionerade i MVA klassen och effekter kan uppgå till 1-3 MW. Kostnaderna för stationerna rör sig om ca 5 MSEK för en anläggning kring 1,5 MVA.



Ett alternativ till den traditionella banmatningen skulle kunna avvara att förse varje ledningsstolpe med transformator, automatbrytare, likriktare och kommunikation. Effektnivån torde kunna hålla sig inom 25-50 kW. Med Stolpavstånd kring 40-50 m skulle således ett antal omriktare kunna försörja ett enskilt fordonsekipage. Korthållskommunikation mellan stolpar (även optisk fiber) är då möjlig. Genom automation skulle således banmatningen kunna ske endast där fordon befinner sig. Med sektionerade ledningar kan felaktiga matningar lätt kopplas bort utan att det behöver påverka fordonsdriften.

En översiktlig bedömning är att en lokalt placerad likriktare plus automatik skulle innebära påtagliga fördelar. Bland dessa kan vi se förbättrad driftekonomi, mindre förluster, ökad tillförlitlighet och en förhöjd säkerhet vid eventuella fel. Genom sektioneringen, säg runt 160 m samverkar 4-5 lokala strömriktare och bidrar med upp till 200 kW. Med kommunikationsteknik kan framförvarande omriktare kopplas in då fordon närmar sig och kopplas från då fordonet(en) kommit ur försörjningssträckan.

- En grov uppskattning av kostnaden för lokal strömförsörjning jämfört med konventionell matning är att den borde kunna sänkas radikalt. Möjligtvis med minst 30%. Kanske ända till 50%. Fortsatta studier kring denna teknik förelås.



## 7 Kostnadsuppskattningar

### 7.1 Transmission/Regionnät

Kostnader för utbyggnad av 400 kV resp. 220 kV friledning uppskattas enl. SVK till 4,0 resp. 1,5 MSEK/km. I detta projekt antas att det ej föreligger behov för utbyggnad av stamnätet eller några av regionnäten.

### 7.2 Distributionsnät och transformatorstationer

Distributionsnätet som föreslås är ett standard kabelnät med stjärnmatning. Uppskattningsvis 12 eller 24 kV. I ett alternativ försörjs vardera sidan från separata matningar och därmed kan exempelvis redundans erhållas om överbryggning installeras. I andra alternativet matas båda sidorna från samma nät och samma transformatorstation. Kostnaderna uppskattas i tabell 4 nedan.

Tabell 4. Kostnader för eldistribution till elvägar SEK/km

| Delsystem   | Enkelsidig (separat) distribution | Dubbelsidig (gemensam) distribution |
|---|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Kabelsystem 24 kV inkl. installation                  | 330 000                           | 660 000                             |
| Transformatorstation med övervakning (1,5 resp 3 MVA) | 300 000                           | 500 000                             |
| Anslutning överliggande nät                           | 100 000                           | 100 000                             |
| Överkoppling  | 50 000                            |                                     |
| <b>Totalt</b>   | <b>780 000</b>                    | <b>1 260 000</b>                    |

Totala kostnaden för fallet med separata matningar för nord resp. sydgående trafik blir alltså  $558 \cdot 2 \cdot 0,78 = 870$  Mkr. Totala kostnaden för dubbel matning (Syd+nord) från samma nät uppgår till  $558 \cdot 1,26 = 703$  Mkr

- I det första fallet blir således kostnaderna för distributionsnätet 1,56 Mkr/km
- I det andra fallet blir kostnaden 1,25 Mkr/km.

Underhållskostnader brukar normalt räknas som 2,5% per år av installationskostnaden. Detta svarar då mot 39 000 SEK/år/km respektive 31 000 SEK/år/km.

Den aktuella sträckan som studeras i detta projekt omfattar passage av ett antal samhällen. Högst troligt är att redan gjorda infrastrukturinvesteringar kan användas. Ovanstående beräkning utgår dock från att hela sträckningen behöver nyanläggas. Kostnadsuppskattningen är därför konservativ och överskattar troligen det faktiska utfallet vid en eventuell byggnation.

## 7.3 Fordonens strömförsörjning

Studien omfattar i princip endast elförsörjningssystemet till fordonen oavsett hur överföringen till fordonen slutligen sker. Här kan antas både tråd, slide-in med underliggande kontakter eller induktivt från vägbanan.

### 7.3.1 DC

Trådlastbilar med överliggande försörjningssystem kan dock försörjas på minst två principiellt olika sätt, även om man hittills har föredragit likströmsöverföring med två trådar och spänningsnivåer runt 750 resp 1500 V.

Likströmsdriften förutsätter omriktarstationer. Eftersom dessa förutsätts försörja ett km långt segment borde transformatorstationen och omriktarstationen kunna integreras i samma byggnadskropp. Härigenom kan en del kostnader sparas. Alternativ till den traditionella likströmsmatningen har diskuterats under kapitel 6.2.1

### 7.3.2 AC

Även om den traditionella matningsformen för trådmatade bussar etc. utgörs av likströmssystem om 750 eller 1500 V spänningsnivå, kan man göra en grov uppskattning vad ett AC två- eller tre-fas system skulle kunna innebära.

Högspänningsmatning av fordonen med låt säga 3 kV matningsspänning, 50 HZ frekvens skulle kunna innebära en rad konkreta fördelar. Bland dessa kan uppmärksammas:

Den högre spänningsnivån, 3 KV, skulle minska strömmen till 25% av vad en motsvarande 750 V DC matning, samt till närmare hälften av en 1500 V DC matning. Den minskade strömmen påverka förlusterna åt gynnsamt håll och troligen också slitaget på avtagarkomponenter. Minskade strömmar ger också möjlighet till användning av robustare kraftelektronik om dessa skulle användas i någon form av konverterare.

En fråga är om fordonet behöver någon transformator? Elmotorer för växelströmsdrift borde kunna uppbringas med matningsspänning 3 kV. I så fall blir motortekniken synnerligen enkel och förmodligen billigare än de motorer som avses under fallet DC matning.

En trefas-matning skulle kräva tre anslutningspunkter och tre ledningar, då ingen jordförbindelse finns mellan nät och fordon. Detta kan komplicera avtagaren och innebära praktiska svårigheter vid anslutningar etc.

AC matning skulle med andra ord kunna bli en tekniskt sätt mer tilltalande lösning med lägre totalkostnader till följd. Bl.a. skulle alla likströmsstationer kunna utgå. Genom detta sparas uppskattningsvis närmare 1-2 miljoner/km (20 % av kostnaden). Andra typer av motorer går att använda och med modern kraftelektronik torde motorstyrning, övervakning etc. inte vara en omöjlighet.

Att detta inte kommit fram i bedömningen i förstudien är nog snarast en effekt av att man velat få en så välprövad teknik som möjligt. Gissningsvis var DC lösningar för fordonstrafik ett tidigt självklart alternativt. Idag med modern kraftelektronik borde en studie kring detta systemalternativ utredas närmare då det kan få stora konsekvenser på systemdesign och framförallt kostnader.

## 8 Affärs- och betalningsmodeller

### 8.1 Tariffer

För att styra effektlöde till perioder med god tillgång till resp. begränsa uttag vid brist på el kan olika tidsstyrningstariffer tänkas. Detta kan ske på olika sätt. En variant, som redan förekommer i bl.a. Stockholm är att styra tariffen till högre värden under vissa tidsperioder. I Stockholm varierar exempelvis trängselskatten mellan 10 och 30 kr beroende på tidpunkt på dygnet. På samma sätt skulle lastfordon som kör få betala ett högre pris under den tid som tariffen är hög.

### 8.2 Distanstariff

Distanstariffen, dvs. att elfordon endast betalar för en körd sträckning är det enklaste systemet och används flitigt runt om i världen där man exempelvis har vägavgifter. Man registrerar inkörspunkt och debiteras beroende på var man lämnar betalvägen. En dylik tariff för tunga fordon skulle låta sig göras med kännedom om var olika fordon kopplar in resp. kopplar ur strömförsörjningen. Med lokal GPS och en kommunikationslösning kan information föras till systemoperatören som debiterar fordonsägaren eller den som är registrerad för transporten. Systemet har vissa fördelar som också behandlas nedan under exempel på affärsmodell. En sådan fördel skulle vara att fördelningen av infrastrukturens kostnader slås ut på den sträcka som fordonet tillryggalägger. Kostnad för infrastrukturen är också starkt korrelerad till just sträckningen och inte så mycket till själva energiförbrukningen. I framtiden finns dock många möjligheter att studera optimala tariffkonstruktioner baserade på både distanser, energiförbrukning, körmosnter, tid på dygnet, tillgång till billig el etc.

### 8.3 Elförbrukningstariff

Tariff för aktuell energiförbrukning är också möjlig. I detta fall erfordras energimätning i fordonet och likaså en kommunikationslösning för informationsöverföring till systemoperatören. I detta fall mäts endast fordonets energiförbrukning och systemförluster etc. måste fördelas ut på tariffen. Elförbrukningstariffen kan innebära energibesparingar, men också leda till suboptimeringar då ex.vis icke fullastade transporter får lägre kostnader (indirekata besparingar för åkerier m.fl.)

## 8.4 Ett exempel på en möjlig affärsmodell för Svenska Elvägar

Ett förslag till affärsmodell för Svenska Elvägar skulle kunna vara baserad på en enkel distanstariff kombinerad med tidsvarierande prissättning. Genom GPS positionering av fordonen och en kommunikation till en systemoperatör (liksom Trafikverket för bantrafiken) finns flera affärsmässiga möjligheter och möjligheter till energioptimering av systemet. Operatören skulle via realtidsinformation ha en klar bild över trafikflödet på vägsträckningarna. Vid störningar kan systemet med slot-tider lätt tillämpas så att elsystemet ej överbelastas. Vid höga trafiktätheter och vissa tidpunkter kan trafiken regleras genom ökad tidstariff för specifika sträckor. Härigenom finns möjligheter att via ekonomiska medel eventuellt styra tunga transporter i vissa kritiska lägen (Infartstrafik/utfartstrafik speciella dagar etc.)

Genom övervakning av fordonens rörelsemönster finns möjligheter att kontrollera en mängd faktorer förutom det enskilda fordonet. Transportmönster kan ligga till grund för ytterligare förfinad logistikoptimering etc.

Genom utbyggnad av elförsörjning längs motorvägar finns vidare en förberedd infrastruktur för laddning av rena elfordon och laddhybrider. I det senare fallet skulle konsekvenserna av en utbyggd elinfrastruktur längs motorvägar kunna innebära en klar minskning av räckviddsoron även hos de som kör rena elfordon förutsatt att snabbladningsstationer installeras på strategiska platser. Denna sekundära verksamhet skulle även kunna hanteras inom ramen för affärsverksamheten.

Affärsmodellen bygger således på en central/regional trafikoperatör som övervakar driften av elvägarna och som sköter debiteringen baserad på in/utfartspunkter kommunicerade via exempelvis GSM systemet. Fordonen skulle ex.vis kunna debiteras för den el som förbrukas och med fritt vala av elbolag. Här krävs ett avräkningssystem och clearingsystem likt det som Svenska Kraftnät tillämpar på elmarknaden generellt. Detta system kan vidare lätt arrangeras som dubbelriktad information och också ge trafikflödesinformation till fordonsförarna, samt även annan önskvärd information.

Affärsmodellen bygger på att fordon är registrerade användare och har godkända anslutningsdon (certifierade av någon lämplig instans). Endast dessa fordon får trafikera systemet. Via TV monitorer och GPS/RFID identifiering kan kontroll lätt ske om andra, icke godkända fordon skulle ansluta sig.

Via kontrollstationer kan fordonsidentifiering via exempelvis Video och GPS avstämmas. Systemet skulle vara så uppbyggt att debitering sker per km ansluten färd. Debiteringen kan ske enl olika affärsmodeller och omfatta sträcka, energi eller kombinationer. Framtida studier kan bedöma optimala lösningar. För att hantera kortare avbrott (t.ex. vid passage av broar, korsningar etc.) kan en återanslutning inom viss tidsrymd betraktas som pågående färd medan om avbrottet är längre än givet intervall betraktas som en ny påbörjad transport. Systemet bör kunna göras relativt robust

### **Vad krävs för att affärsmodellen skall fungera?**

Systemet utgörs av centrala/regionala driftledningscentraler som tar emot information om fordon som kopplar in resp. kopplar ur sig från systemet. Baserad på sträckningen och tidpunkten beräknas en debitering för fordonet och systemet "skickar" informationen vidare till avräkning och kunddebitering. Driftledning av systemet övervakar nätet och kan via informationskanaler till fordon ge information om uppkommande problem, olyckshändelser, trafikarbeten, nerrivna ledningar etc.

Likaså kan systemet ge fortlöpande information om det allmänna trafikläget. Föraren kan även informeras över rådande pristariff för den aktuella sträckan. Operatören kan med prisstyrning försöka ändra körbeteende etc.

## 9 Slutsatser

I denna föreklade studie kring elnätens betydelse för drift av Elvägar samt de affärsmöjligheter som kan öppnas upp för framtida operatörer av ett sådant nät kan följande slutsatser dras:

- Det svenska elnätet är idag kapabelt att förse el till framtida elvägar. Vissa lokala förstärkningar kan dock behövas vid en tidpunkt då trafikvolymerna blir höga. Studien visar på måttlig påverkan på dimensionering upp till 2000 fordon per dygn och en liten påverkan upp till 16 000 fordon per dygn på den aktuella sträckan.
- Kostnaden för utbyggnaden av elnätet har bedömts mha EBR 2011: Kostnads katalog Lokalnät 12-24 kV. En grov uppskattning är att mellanspänningselnätet för att försörja sträckan Helsingborg-Södertälje skulle kunna komma att kosta mellan 700- 900 MSEK, dvs kring 1,25- 1,5 MSEK/km. Till detta kommer vidare kostnader för omriktarstationer, ca 1 MSEK/km.
- Drift och underhållskostnader för elnätet torde kunna uppgå till mellan 30 000 – 40 000 SEK/km per år. Utöver detta tillkommer drift och underhållskostnader för matning och kommunikation.
- En översiktlig ansats om nerskalning av omriktartekniken pekar på signifikanta möjliga kostnadsbesparingar, men detta behöver ytterligare verifieras och utvecklas.
- Många affärsmodeller för ägande, drift och underhåll av Elvägar är tänkbara. I denna studie visas på ett exempel på en överordnad ägare med ansvar för drift, övervakning och debitering av fordonskunderna. Elnäten kan ägas av resp eldistributör med koncession och Elvägar betalar endast abonnemangsavgift för höspänningsanslutning. Elavtal kan täckas på de öppna marknaden.
- Affärsmodellerna och deras tekniklösningar kan medge stora potentiell möjligheter till laststyrning liksom trafikstyrning och effektiviseringar inom transportområdet. Mer studier kring detta föreslås i kommande studier.

