



Åren 2017–2018 pågår i Stockholm en omfattande utredning om införande av elbussar. Några av dem som vid trafikförvaltningen i Stockholms läns landsting arbetar med frågorna är från vänster Maria Övergaard, Anna Forsmark och Johan Böhlin.

Elbussar i Stockholm:

Stor utredning under två år

Elbussar ses av många som en dellösning på städernas miljöproblem. Frågan är vilken typ av elbussteknik som ska väljas. Batterier har lågt energiinnehåll

jämfört med dagens bränslen som ska ersättas. Tråd är inte lösningen för alla linjer. I Stockholm utreds nu under två år elbussfrågan i grunden.

Av Thomas Johansson

Vid trafikförvaltningen, som ansvarar för SL-trafiken hos Stockholms läns landsting, SLL, pågår sedan början av 2017 en omfattande utredning med titeln "Övergång till eldriven busstrafik i Stockholms län".

Trafikförvaltningen genomförde 2014–2015 en behovsanalys av eldriven busstrafik. Analysen visade att sådan skulle kunna bidra till flera av Stockholms läns landstings miljömål.

Utredningen genomförs på uppdrag av

trafiknämnden och syftar till att ta fram ett underlag till inriktningsbeslut. Den ska beskriva val av huvudalternativ, ge en översiktlig investeringskalkyl och driftskalkyl, göra bedömning av nyttor, ange tidplan för genomförandet, samt identifiera möjligheter och risker.

Arbetet pågår under två år och ska således avrapporteras i slutet av 2018.

– Vårt arbete avser elektrisk busstrafik i hela Stockholms län, men koncentreras till innerstaden och Lidingö, det så kallade

E22-avtalet, berättar *Anna Forsmark* som är projektledare vid trafikförvaltningen och huvudansvarig för utredningen.

Hon tillägger att det är i innerstaden som man kan få ut flest nyttor av en elektrifiering. Även andra tätorter i länet är aktuella.

– Det är därmed stadsbussar för lägre hastigheter som är aktuella, maximalt 70 km/h, således inte klass 2-bussar, som måste ha överrullningsskydd och säkerhetsbälten på alla platser, tillägger *Maria Övergaard*, bussfordonsstrateg vid trafikförvaltningen.

Viktiga utgångspunkter för utredningen är även att minska energiåtgången i buss-trafiken, samtidigt som krav på förnybarhet behålls beträffande bränslen och energikällor. Under senhösten 2017 offentliggjordes en gedigen rapport från utredningens "halvtid".

Energieffektivisering

Rapporten framhåller att Stockholms buss-trafik sedan 2017 är fossilfri. Energieffektivisering blir därmed en av de viktigaste anledningarna till att elektrifiera busstrafiken. De övriga miljömålen är på god väg att uppnås på andra sätt.

– Förnybara bussbränslen används i form av biogas och biodiesel, bullerminskning sker på många olika sätt och med Euro 6-motorer nås en hög reduceringsgrad av skadliga utsläpp, förklarar Maria Övergaard.

– Energieffektivisering är därför den stora vinsten med elektrifiering av busstrafiken, och också tydligt mätbar, tillägger Anna Forsmark.

Som bekant har en elektisk motor väsentligt högre verkningsgrad än en förbränningsmotor. I rapporten anges att i driftskedet ger elektrisk drift en sänkning av energianvändningen på omkring 60 till 80 procent jämfört med dieseldrift.

Variationen beror på om man baserar beräkningarna på uppmätta värden eller på tekniska värden från tillverkare samt var i överföringskedjan mellan energikälla och fordon som man mäter. Rapporten nämner att länets busstrafik använder runt hälften av all energi inom kollektivtrafiken, inkluderat spår, sjö och färdtjänst.

Om busstrafiken i hela Stockholms innerstad och Lidingö skulle elektrifieras skulle det motsvara en energieffektivisering på omkring tio procent för hela länet, vilket vore ett gott bidrag till målet om 15 procents energieffektivisering till år 2030.

Ur ett livscykelperspektiv är de miljömässiga fördelarna med batterifordon dock inte lika självklara som under enbart driftskedet.

Rapporten hänvisar här till den utredning som i maj 2017 presenterades av IVL Svenska miljöinstitutet och som **Modern Stadstrafik** skrev om i nr 3-2017.

I denna framgår att tillverkning av batterier är mycket energikrävande och att i elektriska komponenter används mer eller mindre sällsynta metaller.

Detta medför att tillverkningen av elfordon ger större negativ klimatpåverkan än motsvarande tillverkning av fordon med förbränningsmotor, främst till följd av dagens batteritillverkning.

Det finns också ett socialt perspektiv som handlar om att de sällsynta metallerna ofta framställs under oacceptabla förhållanden. Detta kommer utredningen att belysa



Depåladde (nattladdade) bussar är den studerade elbussteknik som beträffande flexibilitet mest påminner om förbränningsmotordrivna bussars, dock med ett stort och viktigt undantag: räckvidden.

framöver. Flera livscykelanalyser har dock visat att helelektriska fordon medför lägre utsläpp totalt sett och att det finns potential till ytterligare förbättringar genom att exempelvis nyttja förnybar el vid tillverkningen.

I rapporten framhålls att en satsning på eldriven busstrafik exempelvis kan höja aktiviteten hos kollektivtrafiken, och även för bostadsområden som trafikförsörjs med elektriska bussar.

– Ett exempel är att det går att bygga tätare och att köra bussar i inomhusmiljöer, kommenterar Anna Forsmark. Här finns många möjligheter till nya och attraktiva stadsmiljöer, som jag tror att många ännu inte har insett.

Införande av elbussar måste garantera robust trafik. Rapporten påpekar att detta gärna kan samordnas med andra förbättringar av kollektivtrafiken avseende exempelvis framkomlighet och punktlighet.

Elektrifierad busstrafik med god framkomlighet borde ha potential att ge mer nöjda resenärer vilket kan påverka kollektivtrafikens marknadsandel positivt.

I trafikförsörjningsprogrammet anges att den årliga kostnadsutvecklingen inte får överstiga ökningen av index och resandeutveckling tillsammans. Rapporten påpekar att införande av eldriven busstrafik måste kunna motiveras ur såväl samhällsekonomiskt som företagsekonomiskt perspektiv.

Det konstateras att eldrift generellt ger lägre driftkostnader, men samtidigt är fordonen dyrare än konventionella bussar. Även infrastruktur för elbussar innebär investeringar.

I vissa fall krävs också fler bussar för att klara samma utbud, framför allt på grund av inläsningseffekter av olika slag, exempelvis köer av bussar som väntar på att få ladda vid ändhållplats. Detta är ineffektivt.

Studerade tekniker

– Det vi studerar nu är de tekniker som skulle kunna handlas upp idag och som beställaren kan få flera anbud på, säger Anna Forsmark. Vi får inte heller öka riskerna i busstrafiken och göra så att det blir sämre för passagerarna. Vi måste kunna transportera fler passagerare än idag.

Rapporten framhåller att teknikutvecklingen beträffande elbussar för närvarande är snabb och att det ibland kan vara svårt att bedöma i vilket utvecklingsstadium en viss teknik befinner sig i.

Rapporten delar in så kallade nollemissionsbussar i fyra olika tekniker beroende på hur den elektriska motorn får kraftförsörjning:

- Helelektrisk buss med enbart långsamladdning av batterier i depå
- Helelektrisk buss med hållplatsladdning av batterier
- Helelektrisk buss med kontinuerlig tråd-drift eller laddning av batterier under färd
- Bränslecellsbuss

Utöver dessa nollemissionsbussar, som är i fokus för arbetet, noteras även att olika hybridbussar finns på marknaden. Hybridbussarna delas in i två huvudtyper:

- Hybridbuss
- Laddhybridbuss

Därutöver beskrivs kortfattat några tekniker som är under utveckling; i utredningen kallas de elvägar:

- Induktiv laddning under färd
- Elektrisk skena i vägbanan
- Elektrisk kontaktledning över vägbanan

Depåladde bussar

De fyra förstnämnda elbusstyperna beskrivs tämligen ingående, med redovisning av för- och nackdelar.

Beträffande depåladde, främst natt-

laddade, elbussar nämns att bussarnas begränsade räckvidd och behovet av laddning under längre tid gör att tekniken bäst lämpar sig för trafik med kortare dagliga körsträckor eller för förstärkningstrafik (exempelvis vid högtrafik) där laddning även dagtid är möjlig.

För att kompensera den kortare räckvidden är ett alternativ att tursätta fler bussar, så att fordonen kan bytas ut under trafikdygnet. Detta leder dock till problem med depåplatser, högre fordonskostnader och mindre effektiva omlopp med ökad andel tomkörning, högre förarkostnader och därmed mindre effektivt nyttjande av fordonen.

Rapporten skriver att batteriernas livslängd är en osäkerhetsfaktor av stor betydelse som det gör det svårt att beräkna vilken avskrivningstid bussarna har. Det finns idag tillverkare som åtar sig att följa upp batteriernas prestanda och stå för kostnaderna vid ett batteribyte. Operatören hyr då batterierna från leverantören. Med batteribyte förlängs livslängden för själva fordonet.

Det framhålls att beroende på antalet bussar som ska laddas i depån kan effektbehovet bli högt. Detta ställer krav på elförsörjning och infrastruktur i depån och kan medföra investeringar till höga kostnader. Dessa kostnader kan inte uppskattas generellt utan måste avgöras från fall till fall.

Hållplatsladdning

Rapporten beskriver därefter bussar med så kallad hållplatsladdning, främst vid ändhållplatser. Fördelen med snabb hållplatsladdning under dagen är att batterivikten kan minskas samtidigt som räckvidden inte begränsas.

En nackdel är att uppehållstiden på hållplatser längs linjen normalt är kort. Det kan därför krävas justeringar av omloppstider och uppstå behov av extra fordon för att det ska fungera i praktiken.

Likaså kan laddningstider mellan turerna medföra längre omloppstider med ökade förarkostnader som följd.

Kostnadsskillnaden mellan depåladdade och hållplatsladdade bussar varierar beroende på fordonsleverantör men kan generellt anses som marginell.

Kostnader för infrastrukturen varierar beroende på laddeffekt i stolpen, behov av markarbeten och avstånd till närmaste nätanslutning. Schablonmässigt kan det handla om 3–4 miljoner kronor per laddstolpe.

Den faktiska livslängden (avskrivningstiden) på komponenterna i fordonen och laddinfrastrukturen är okänd då inga system har funnits i drift så länge som batterierna och laddstolparna antas hålla.

Även trådbussar och batteritrådbussar som laddar under färd är föremål för närmare betraktelse.



Hållplatsladdade bussar läser ändhållplatsplaceringarna, men ger flexibilitet för sträckan däremellan. Men tiden som åtgår för laddning kan medföra ökat behov av fordon och förare om samma trafikuppgift ska utföras som med förbränningsmotor drivna bussar. På bilden kö till laddstationen vid ändhållplatsen Chalmers på linje 55 i Göteborg.

Det kan nämnas att en batteritrådbuss som kan ladda under färd under kontaktledning sedan flera år är i trafik i Landskrona inom projektet Slide In. Nyligen har företaget Kiepe Electric varumärkesskyddat beteckningen *In Motion Charging* (IMC), som i princip är samma sak.

I rapporten nämns att med IMC kan batteribussar köras som trådbussar under kontaktledning på delar av linjen, för att därefter köra på ren batteridrift. Genom att installera kontaktledning på sträckor som trafikeras av många busslinjer kan infrastrukturen samutnyttjas av flera linjer. Således finns potential att elektrifiera ett antal linjer med en relativt kort trådsträcka.

Ett riktvärde är att vid en medelhastighet om 20 km/h behöver 15–35 procent av en linje ha tråd; det lägre värdet gäller för 12-metersbussar och det högre för dubbelledade 24-metersbussar.

För närvarande är det av olika anledningar inte möjligt att använda 24-metersbussar i Stockholms innerstad. Det är bland annat en fråga om hur depåer utformas; verkstadsplatser bör utformas för genomgående trafik. Likaså måste hållplatser anpassas till den ökade längden.

Rapporten nämner att IMC-bussar måste stå stilla när de ansluts till kontaktledningen. Vanligen sker detta vid hållplats, med hjälp av ”trattar” på tråden som guidar strömavtagarna rätt när de fälls upp. Anslutningen tar ca 15 sekunder.

Det påpekas att trådbussens huvudsakliga nackdelar är höga investeringskostnader i infrastruktur och fordon samt att kontaktledning påverkar stadsbilden. Det finns möjligheter att med design och vegetation motverka det sistnämnda samt att undvika komplicerade korsningar (”spindelnet” i luften) genom att köra känsliga sträckor med batteridrift.

Kontaktledning kan å andra sidan anses

strukturerande och signalerar att kollektivtrafik finns på plats även om ett fordon inte syns. Några trådbusstäder talar om ”spårren i luften”.

Rapporten noterar att trådbussteknik idag är den enda tekniskt välbeprövade och över lång tid utvärderade lösningen för elbusstrafik som dessutom bygger på en världsomspännande de facto-standard.

Bränslecellsbussar

Rapporten tar även upp bränslecellsbussar. Nackdelen anges i första hand vara att det krävs vätgastankar i bussen (säkerhetsfråga) och tillgång till tankstationer för vätgas.

Vidare kräver framställning av vätgas mycket energi, om den inte finns som restprodukt. I nuläget är också priset och den låga tekniska mognaden betydande nackdelar för bränslecellsbussar.

Bränslecellernas livslängd är en viktig faktor. Baserat på årlig körsträcka och cellens möjliga drifttid antas att för en stadsbuss i linjetrafik gäller en livslängd på ca tre år. Bränslecellerna måste därför bytas minst en gång, antagligen fler, under bussens livslängd, vilket är kostsamt.

Rapporten skriver att det inom branschen finns en tro på att priset på bränsleceller ska sjunka inom en femårsperiod. Detta kan dock inte hävdas med säkerhet. Bränsleceller är idag ett dyrt alternativ, vilket det också har varit under många år, utan förändring. Därtill är det idag dyrt att framställa vätgas på ett hållbart sätt.

Hybridbussar

Rapporten konstaterar att dieseldrivna hybridbussar idag är ett etablerat alternativ på den europeiska marknaden. Hybridbussar med gasdrift är däremot mer sällsynta.



Trådbussar med måttligt stort batteri kan trafikera sträckor utan kontaktledning. Återanslutning sker vid hållplatser utrustade med "trattar" monterade i kontaktledningen som på bilden från Zürich.

Vidare nämns att tekniken troligen inte kommer att genomgå några större förändringar under de kommande åren. Viss teknisk utveckling är möjlig och priset kan sjunka när eltekniken blir mer etablerad på marknaden, men i stort kommer tekniken sannolikt mer eller mindre motsvara dagens. Elmotorn är redan idag mycket effektiv varför förbättringspotentialen troligtvis inte är så stor.

Kortfattat nämns även tekniker som är under utveckling och om vilka man idag knappast vet något om möjliga framgångar.

Tekniken med kontinuerlig trådmatning påminner om trådbussprincipen men skiljer sig i flera avseenden, bland annat används pantograf istället för trådbusspröt vilka kan ansluta till, eller koppla från, ledningen under färd.

Tekniken möjliggör också högre hastigheter än konventionell trådbussteknik.

Även system för elkraftöverföring med



Bränslecellsbussar provades i Stockholm mellan 2003 och 2005. Tekniken studeras inte ingående i den aktuella utredningen eftersom den alltjämt bedöms ha för låg mognadsgrad för de krav som gäller för robust stadsbusstrafik.

skena nedsänkt i marken beskrivs kortfattat.

Flexibilitet

Mycket kommer att förändras i samband med introduktion av elbussar. En ny "kultur" inom bussbranschen måste anammas.

Rapporten noterar klarsynt att beroende på vilken omfattning och teknik av elektrifiering som väljs kommer busstrafikens ofta prisade flexibilitet att minska jämfört med trafik med konventionella bussar.

Ett välkänt argument mot särskilt trådbusstrafik är just att den är mindre flexibel än trafik med bussar med förbränningsmotor. Detta gäller dock alla former av elektriska bussar, som måste "tanka" oftare än konventionella bussar.

Rapporten framhåller vidare att den minskade flexibiliteten kan vara både en styrka och en svaghet. En fördel med fasta linjedragningar och stråk är att det blir tydligt var busstrafiken finns. Linjedragningen blir mer permanent och strukturbildande på samma sätt som vid spårtrafik.

Stora investeringar garanterar samtidigt kollektivtrafik under lång tid framöver. I de fall det krävs infrastruktur för laddning

längs busslinjen uppstår ytterligare likheter med spårtrafik.

Samtidigt måste viss flexibilitet i busstrafiken garanteras så att exempelvis ombyggnader av gator är möjligt; staden måste kunna förändras och busstrafik samtidigt upprätthållas.

En närliggande fråga att belysa, påpekas i rapporten, är hur ersättningstrafik för exempelvis tunnelbanan ska kunna garanteras om de flesta bussarna i innerstaden drivs elektriskt. Problem med begränsade körsträckor accentueras när "flexibel" trafik krävs.

Elförsörjning

Rapporten konstaterar att den mängd elkraft som skulle behövas för att försörja alla Stockholms innerstadsbussar, om dessa vore elbussar, skulle motsvara någon promille av hela länets elanvändning.

Dimensioneringen av det övergripande elnätet är således tillräcklig för att hantera en elektrifiering av busstrafiken.

– Vi ser dock möjliga kapacitetsproblem framför allt i innerstaden, men troligtvis har dessa byggts bort i mitten av 2020-talet. Svenska Kraftnät har två pågående in-



Den 16 mars 2015 invigdes trafiken med laddhybridbussar på linje 73 i Stockholm. Den upphörde vid årsskiftet 2016-2017. De åtta bussarna körs därefter som konventionella hybridbussar, bilden till höger.

