Denne artikel er publiceret i det elektroniske tidsskrift
Artikler fra Trafikdage på Aalborg Universitet
(Proceedings from the Annual Transport Conference at Aalborg University)
ISSN 1603-9696
www.trafikdage.dk/artikelarkiv

Miljøarbejdet ved Movia – Vejen mod elektrificering af busdriften

Joachim Reinhard Danchell, jkd@moviatrafik.dk
Jakob Skovgaard Villien, jsv@moviatrafik.dk
Trafikselskabet Movia

Abstrakt

Movias to-årige elbus forsøgsprojekt beskrives i denne artikel, og ligeledes præsenteres det kommende forsøgsprojekt med lejlighedsopladte elektriske busser som udføres i samarbejde med Københavns Kommune. Movias erfaring med forsøgsprojekter og tradition for miljøarbejde danner rammen for en afsluttende perspektivering som giver et bud for fremtiden for elektriske bussers plads i Movias busdrift.

Indledning

Løsningen til helt at undgå lokale sundheds- og miljøskadelige stoffer i udledningen fra busser, hvilket er særligt vigtigt i den tætte by, kan være den fuld-elektriske bus. CO_2-udledningen er potentielt nul med grøn bæredygtig elektricitet, og i al fald signifikant lavere end ved fossile drivmidler. Movia ser den fremtidige rene bus som værende delvist eldrevet. Nærværende artikel indeholder en beskrivelse af Movias miljøarbejde, og hvorledes Movia arbejder for at fremme elbusser i drift samt arbejder med miljøteknologier generelt. De store forsøgsprojekter med elbusser vil ligeledes blive præsenteret.

Miljøarbejdet ved Movia

Arbejdet med miljøforbedringer i Movia dækker både grønt regnskab for hele Movias drift, samt forsøgsprojekter med test af nye teknologier samt implementering af samme. Arbejdet er struktureret således, at det grønne regnskab danner basis for fastsættelse af reduktionsmål for emissioner forbundet med busdriften. Det sker i forbindelse med den fire årige Trafikplan udarbejdet i samarbejde med kommuner og regioner. Forsøg med teknologier og kørselsmønstre igangsættes for at muliggøre en implementering i drift.

Arbejdet med miljø er placeret i området for Kontrakter og Operatører, idet de fleste miljøgevinster hentes gennem påvirkning af det materiel, som operatørerne benytter til kørsel og påvirkning dermed sker gennem regulering af kravspecifikationer i forbindelse med udbud. Udgangspunktet for arbejdet er, at vælge den bedste teknologi, der er tilgængelig til formålet, hvor kriteriet er at nedbringe miljøbelastningen

med fokus på kundeoplevelse og operatøren. Ved at teste flere forskellige teknologier har Movia gennem en årrække indsamlet en bred erfaring med brugen af forskellige busteknologier, eksempelvis forskellige brændselstyper, størrelser og vægt. Udgangspunktet er, at være på forkant med tilgængelige teknologier samt at fordre en positiv tilvænning af operatørernes brug af ny teknologi. Movia har tidligere fået implementeret mindre busser, letvægtsbusser, hybridbusser samt biobrændsler i driften gennem denne tilgang.

Ligeledes består miljøarbejdet af en afdækning af teknologier, netværksdannelse med øvrige trafikselskaber, aktører inden for miljøteknologi samt forskning. Der er ligeledes fokus på at få formidlet de store fremskridt, som Movia opnår på miljøområdet til den brede offentlighed og fagfolk igennem deltagelse på og afholdelse af messer/foredrag/udstillinger, og desuden at få fremvist teknologierne fysisk overfor interessenter.

Trafikplanen som Movia udgiver hvert 4. år sætter rammen for den miljøambition vi i fællesskab med kommuner og regioner skal planlægge efter. Men kommuner og regioner har også egne mål som også skal inddrages i miljøarbejdet ved Movia. Og nuværende ambition for miljøet står klar med 29 % reduktion af CO_2, og hele 75 % reduktion af partikler og NO_x frem mod år 2020. I samarbejde med kommuner og regioner arbejder vi for at finde den bedst tilgængelige teknologi til formålet.

Movias forsøgsprojekter

Movia har I de foregående år testet og også i mindre grad implementeret flere busteknologier, heraf blandt andet hybridteknologien, flere typer af biobrændsel i mindre og større busser, gasbusser samt fuld-elektriske busser. Nogle forsøg har resulteret i driftsændringer, men langt overvejende køres vores linjer i dag med konventionelle dieselbusser, som ofte vinder som den bedste teknologi tilgængelig på markedet med en afvejning af pris og miljøgevinster samt øvrige faktorer. Igennem funktionskrav (såsom et bestemt brændstofforbrug) og ikke tekniske krav (som gasbusser) sikrer vi, at kommunerne får den bedste tilgængelige teknologi til formålet, og til prisen.

Øvrige forsøgsprojekter (uddrag)

I dette afsnit præsenteres tidligere udførte forsøgsprojekter, samt igangværende forsøg. Formålet er dels at give et indblik i det arbejde med busmateriel og –kørsel, som går forud for arbejdet med elbusser, samt at præsentere hvilket arbejde der også pågår med teknologier som ikke er baseret på el.

Test af mindre og større busser

I Movia testes løbende forskellige bustyper - fra mindre mini og midi busser til store BRT ledbusser med høj kapacitet. Formålet er, at optimere driften til den reelle passagerbelastning. En lille bus kan benyttes på linjer med en generel uniform passagerbelastning gennem driftsdøgnet (dvs. uden store myldretidspeak) og en stor bus kan med fordel benyttes ved meget høj-frekvente A- og S-bus linjer til at erstatte enkelt afgange og transportere samme mængde eller flere passagerer med færre busser. Begge bustyper kan med fordel benyttes til at opnå en lavere miljøbelastning, og Movia søger at finde nye muligheder for benyttelse af forskellige, mere tilpassede, busstørrelser.

- **Ledbusser – Test på linje 5A**: Større ledbusser blev i løbet af 3. kvartal 2013 testet i regulær drift på linje 5A, som er Nordeuropas travleste linje, med kapacitetsudfordringer til følge. Ved at indsætte længere busser, kan der køres med et lavere antal busser på linjen og dermed opnås en brændstofreduktion

trods større brændstofforbrug per bus. Yderligere positive gevinster ved ledbusser er en hurtigere ind- og udstigning og dermed rejsetidsforbedringspotentiale.

- **Mindre midi-busser**: I løbet af 2013 har Movia testet 7-8 meter busser, og arbejdet på at få disse implementeret busdriften. De mindre busser kører væsentligt længere på literen end de større dieselbusser der typisk benyttes i drift. Yderligere har de mindre busser en hurtigere acceleration, er behagelige at køre, og tillader kørsel på mindre veje som af diverse årsager ikke er farbar med de større busser og koster desuden også blot 2/3 af prisen på en standard 12 meter diesel bus. Udledningen af CO_2 er cirka halvdelen af en større bus, og giver dermed en væsentlig forbedring på miljøområdet. Ulempen er, at kapaciteten naturligt er mindre, og at der dermed skal findes muligheder hvor der ikke er spidsbelastninger som kræver en større kapacitet, og der skal selvfølgelig også indarbejdes overvejelser omkring pludselige kapacitetsproblemer som ved skoleudflugter og lignende.

Miljøvenlig kørsel

En metode til at opnå en reduktion af emissioner forbundet med busdriften er ved at oplære chauffører i miljøvenlig kørsel og dermed forbruge mindre brændstof. Miljøvenlig kørsel: I løbet af 2012 og 2013 har der været udført et forsøg med fokus at fremme miljøvenlig kørsel ved operatørerne, med såvel et økonomisk besparelsespotentiale og miljømæssig reduktion af emissioner forbundet med uhensigtsmæssig kørsel. Ved miljøvenlig kørsel har chaufføren et særligt fokus på at optimere kørslen med mindst muligt brændstofforbrug, eksempelvis ved at undgå hastige acceleration og slukke bus ved stop for at undgå tomgang. Som en positiv effekt har denne kørsel også en behageligere kørselsoplevelse for buskunderne. Projektet havde til formål både at belyse reduktionspotentiale samt hvilke initiativer der skulle til for at stimulere chaufførens miljørigtige kørsel, som en permanent ændret kørsel, og ikke blot i projektperioden. Fem operatører deltog i projekt. Forsøget viste, at det var muligt at reducere sit brændstofforbrug med et besparelsespotentiale på 5 %, svarende til cirka 2,5 millioner liter diesel årligt (eller 6.600 tons CO2) ved hjælp af miljøvenlig kørsel. Endvidere viste forsøget et stort besparelsespotentiale ved at reducere tomgang.

Forsøg med hybridbusser

I løbet af 2012/2013 testede Movia 4 hybridbusser i drift frem til medio 2013. Hybridteknologien består af en almindelig dieselbus, hvor der er tilsat et energilager, som kan lagrer energi når busser bremser. Denne energi kan omsættes til kørsel, enten ved acceleration, eller ved løbende at køre på en kombination af vekslende el og diesel. Ved at benytte dog forskellige hybridteknologier, har det været muligt at se et forbrugsbesparende potentiale i forskellige køremæssige betingelser, som eksempelvis bytrafik, let bytrafik, landtrafik og S-bus kørsel. Resultater viser cirka 20 % lavere brændstofforbrug i forhold til en referencebus for én af hybridbustyperne. Prisen er stadig højere end for almindelige dieselbusser.

Busser med lavt brændstofforbrug (eksempelvis med lavere vægt)

En af metoderne til at opnå et lavere brændstofforbrug uden at implementere ny motorteknologi eller benytte alternative drivmidler, er eksempelvis ved at optimere vægten på bussen. En standard dieselbus vejer cirka 11 ton, og et eksempel på en "letvægtsbus" har en reduceret vægt på blot cirka 9,5 ton. Dette giver en 10-15 % brændstofreduktion (og dermed også CO_2 reduktion), hvilket yderligere giver en økonomisk besparelse på cirka 10 kr./køreplantime. Prisen per bus ligger på cirka samme niveau som en standard noget tungere dieselbus, men bussen kan være forbundet med øvrige afvejninger, eksempelvis mindre kapacitet for ind- og udstigning, og er dermed ikke egnet til tung bykørsel (som eksempelvis A-

buslinjer). Ved at stille krav til brændstofforbrug i kravspecifikationerne vil der være mulighed for at opfordre operatører til at benytte eksempelvis ”letvægtsbusser” i driften.

Retrofit-systemer af Euro IV og Euro V norm busser samt EEV

De nyere Euro VI norm busser har en meget lav udledning af sundhedsskadelige stoffer, men langt størstedelen af busserne i Region Storkøbenhavn består af Euro IV og V samt EEV busser. I løbet af 2014/2015 testes systemer fra tre forskellige leverandører, som har til formål at nedbringe de sundhedsskadelige stoffer fra Euro IV og V samt EEV busser således at udledningen fra disse busser nærmer sig udledningen fra de nye Euro VI busser. Igennem forskellige indgreb, som både dækker over substitution af AdBlue, udskiftning af katalysator samt ny filterteknologier forventes det at kunne nedbringe niveauet af udledninger til et niveau som vil nærme sig udledning fra Euro VI busser – med et markant lavere forureningsniveau specielt i Københavns Kommune. Københavns Kommune ligger i forvejen over EU's grænseværdier for byer på NOx luftdensitet, og dermed er det et område med stor politisk fokus. Er projektet en succes og når systemerne er blevet principgodkendt af Trafikstyrelsen kan de potentielt udrulles vha. tillægskontrakter til eksisterende driftsaftaler med operatører. Projektet er udført i et samarbejde med Trafikstyrelsen og Miljøstyrelsen.

Med regeringens ”luftpakke” indsats er der afsat 149 mio. til indsatser i løbet af 2014 for renere luft i København, hvoraf de 74 mio. kr. skal gå til opgradering af cirka 300 busser i Hovedstadsområdet. Movia samarbejder med blandt andre Miljøstyrelsen i dette projekt om at få forvaltet midlerne med mest miljø for pengene, og dette forsøgsprojekt skal danne grundlag for den videre indsats. Det estimeres, at hvis samtlige busser opgraderes til Euro-VI emissionsniveau vil det have en samlet cirka 10 % reduktion af NO_2 koncentrationen ved de meste forurenede lokaliteter i Københavns Kommune. Fokus er desuden på minimering af partikelforurening fra busdriften, men sekundært i regeringens ”luftpakke”.

Test af tre naturgasbusser, Arriva Gladsaxe

I løbet af 2014/2015 testes tre naturgasbusser i et samarbejde med Arriva. Der opsættes et gastankeanlæg ved operatørens garageanlæg i Gladsaxe. Movia samarbejder om at test disse busser i drift, og har også tidligere testet og haft gasbusser i drift. Tidligere erfaringer har peget på en øget økonomisk udgift og uden den store miljømæssige gevinst.

Elbusforsøgsprojekter

I dette afsnit præsenteres de to forsøgsprojekter som Movia arbejder med, nemlig Movias to-årige forsøgsprojekt med natopladte elbusser fra kinesiske BYD på to linjer i København, samt, Københavns Kommunes forsøg med kontinuert opladte elbusser hvor der endnu ikke er valgt teknologi.

Natopladning af elektrisk bus – BYD 12 meter busser

I et samarbejde med Transportministeriet og Københavns Kommune har Movia to fuldskala 12 meter busser i drift på linje 12 og 40 i Københavns Kommune. De to busser vil være i drift i to år, og der logges data igennem hele forsøgsperioden for distance kørt, energiforbrug og øvrige faktorer. Busserne påbegyndt drift i januar 2014. Forsøg afsluttes i maj 2016 med en afsluttende rapport. Teknologisk insitut udfører test af batterier i testperioden, som skal belyse levetid på batterierne. Afsluttende rapport vil desuden levere en samlet økonomi for en elbus sammenlignet med en traditionel dieselbus. Figur A viser et billede af BYD bussen som er i drift ved en offentlig fremvisning på Rådhuspladsen. Under forsøget er der en stand-by tekniker klar i tilfælde af driftfejl, og ligeledes er der oprettet et lokalt lager af diverse reservedele i tilfælde af fejl.

Figur 1: Elektrisk bus i drift ved Movia

Tekniske specifikationer på BYD bussen

Den elektriske bus fra BYD må betragtes som en tidlig model, og dermed er de følgende data som præsenteres ikke nødvendigvis repræsentativt for elbusteknologien, men derimod blot denne model. Udviklingen af teknologi er i en kraftig udvikling, og de nyere modeller er forbedret på en række punkter som vil blive beskrevet nedenfor.

Kriterier for at teste busserne har været at en elektrisk bus skal kunne erstatte en almindelig diesel bus i drift, og kunne køre et helt driftsdøgn på udvalgte linjer. Bussen skulle være en fuld 12 meter bus og passagerkapaciteten skulle være så høj som muligt. Ud over dette er støj et vigtigt punkt. Prisen på busserne har ikke været en udvælgelsesfaktor, da den forventes at falde væsentligt når markedet bliver mere modent. Men det er visionen, at eldrift først bliver et realistisk alternativ til dieselbussen når tilbagebetalingstiden på den forøgede pris ligger inden for en almindelig kontraktperiode på cirka 8-10 år i form af besparelser på brændstof i forventeligt reparations- og vedligeholdsomkostninger og inklusiv omkostninger til eventuelle batteriskift indenfor bussen levetid.

Et kompromis som har været lavet i valget af bussen er, at BYD bussen kører med separat oliefyr, da det ellers i vinterperioden ville være umuligt at køre samme distance med en elopvarmet bus. Det betyder i praksis, at bussen ikke er emissionsfri i vinterperioden, og det er vigtigt, at kravene til emissioner på den oliefyret modsvarer en moderne Euro VI-norm diesel bus' emissionsniveau som absolut minimum, hvis en kommende elektrisk driftsbus skal have opvarmning på ekstern varmer.

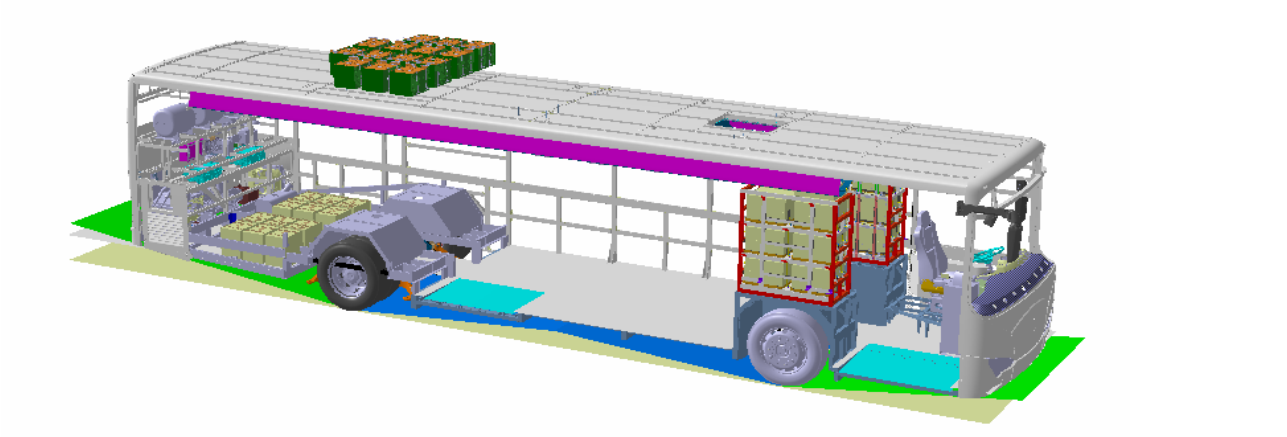
BYD bussen lades på op til fem timer, og batteriernes levetid er estimeret til at holde mellem 6 og 10 år (med et kun minimalt batterikapacitetstab inden udskiftning er nødvendig).

I tabel A kan ses en sammenligning af nøgletal for den elektriske BYD bus og en konventionel dieselbus (Volvo B8RLE-60). BYD bussen vejer 16 ton, hvoraf det estimeres at batteripakker vejer cirka 5 ton. En almindelig dieselbus vil veje cirka 11 ton, og dermed er det en væsentlig vægtforøgelse. Man slæber, med andre ord, rundt med batterier som vejer det samme som svarer til vægten på passagerne i en fyldt 12 meter bus. Batteriplacering kan ses ved figur B. Grundet de store batterier er der desværre også gået på kompromis med passagerkapaciteten i forhold til en almindelig 12 meter bus. Der er en kapacitet på kun 25 siddende passagerer i bussen, modsat 35 i Volvos bus (se tabel nedenfor). Batterierne pakker 324 kWh, som, afhængig af typen af kørsel, rækker til mellem 250 km og helt op til 320 km. I praksis på bylinjerne er det de 250 km rækkevidde vi regner med, hvilket praktiske logninger har vist er realistisk.

Tabel 1 – Sammenligning mellem BYD bus og dieselbus

	BYD	Volvo B8RLE-60
Siddepladser	25	35
Ståpladser	33	44
Vægt (ton)	16	11,1
Støj indv. (dB)	69	72
Støj udv. (dB)	Ikke målt	75

BYD bussen har været relativt støjende i forhold til forventningerne og potentialet i teknologien. Dette tilskrives i vores projekt at være grundet en tidlig model, og at den er bygget fra bunden, og at støjniveau kan blive væsentligt lavere med nyere modeller.



Figur 2: Diagram over placering af batterier, BYD bus

Tilbagemeldinger fra operatører, egne erfaringer og kundebetragtninger af BYD busserne

Projektet har været i gang i godt seks måneder, og der kan allerede uddrages nogle betragtninger fra projektet angående brugen af elektriske natopladte busser.

- Støj er et kritisk punkt som vil være i fokus i fremtidige vurderinger af teknologier. Både kunder og operatører nævner dette som overraskende højt, og der har været lavet modifikationer undervejs i driftsperioden på begge busser som har forbedret, men ikke elimineret, problemet. Det er ikke højere støjniveau end ved en standard dieselbus, men støjen kan beskrives som mere hylende og anderledes, og dette bemærkes negativt af specielt kunder. Der er givetvist noget tilvænning til en ny lyd fra disse busser. Når den væsentligste motorstøj fjernes vil øvrige lyde fremtræde tydeligere, såsom resonans, aircondition og rystelser af diverse udstyr. Det forventes ikke at være et problem i fremtiden.
- Rystelser er minimeret, hvilket giver en roligere og mere behagelig køreoplevelse.
- Acceleration er computerreguleret, og tophastighed er ligeledes computerreguleret (lige præcis 75 km/t maksimalt). Dette bemærkes som givende en rolig og behagelig kundeoplevelse.
- Der har været opstartsvanskeligheder, og specielt elektronikstyringen har krævet tilpasning. Det har resulteret i nogle dage hvor bussen har været taget ud af drift, men antages at være minimeret. Generelt har øvrige årsager til manglende drift været problemer med opladninger (eksempelvis regulære forglemmelser, rengøring, fremvisning i øvrige sammenhæng og så videre). Der er registreret 15 værkstedsdage.

Se tabel 2 og 3 nedenfor for mere data. Bemærk, at potentielle driftsdage er eksklusiv weekender.

Tabel 2 – Overordnet data januar 2014 – juni 2014, driftsomfang, BYD

Operatør	Kørt Km, periode	Kwh forbrug	Kwh pr. km
City-Trafik	10.593	14.535	1,37
Arriva	7.960	10.667	1,34

Tabel 3 – Overordnet data januar 2014 – juni 2014,

	Muligedrift dage i alt	Dage i drift	BYD fejl på bussen, dage	BYD fejl %	Andre årsager i %
City-Trafik	135	96	10	10%	19%
Arriva	135	53	12	22%	39%

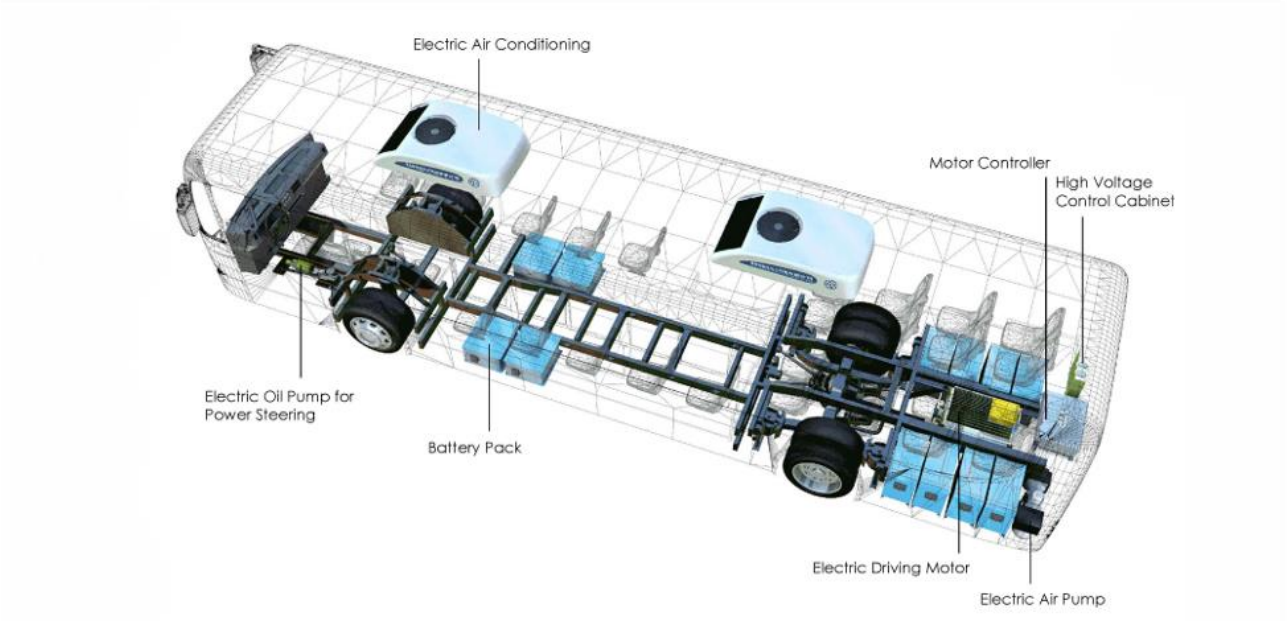
- Alle chauffører er blevet oplært internt i kørsel af bussen, hvilket er sket ved uddannelse af instruktører af BYD, som så udøver sidemandsoplæring.
- Rækkevidden er i nogen grad bedre end forventet, og er tilfredsstillende. Livsforløbsanalyser af batterikapacitet vil vise om der kan påvises nogen tab af kapacitet på batteri igennem de to år busserne er i drift.
- Der er et stykke vej til, at busserne vil kunne klare et fuldt driftsdøgn på hoveddelen af buslinjerne i Region Hovedstaden, og, som bussen er nu, vil der være begrænset brugbarhed i driften alene af den årsag. Hvis kapaciteten øges til 300 er der langt større potentielt brug i hovedstadsområdet.

Perspektivering over BYD projektet og fremtiden for natopladte elbusser

Når Movia tester forskelligt materiel er det et principielt fokus, at der testes teknologi og ikke selve produktet. I tilfælde af BYD bus test er det vores overbevisning, at hvis elektriske busser kommer i drift ved Movia vil bussernes pris, form, indretning, opbygning og funktionalitet være væsentligt anderledes end de nuværende BYD busser. Teknologien er i så heftig udvikling, at der er al mulig grund til at tro, at det produkt der står på hylderne eksempelvis fra BYD vil være forbedret på et væsentligt antal punkter.

Hovedsageligt forventes det, at batterier bliver lettere, mindre og ikke mindst billigere i den kommende årrække, og allerede nu ser vi store fremskridt. Hollandske EbusCo har en model på hylden (YTP-1) med mindre og lettere batterier (blot 1800 kg) på 242 kWh, som giver de samme 250 km (der er hele tre tons batterier sparet, det giver en del mindre energiforbrug per km). Dette kan yderligere øges til 350 kwh kapacitet med forøget batterikapacitet, hvilket giver en rækkevidde på hele 300 km, inklusiv opvarmning. Der er al mulig god grund til at tro at øvrige busleverandører vil følge samme udvikling, og at kapaciteten og rækkevidden vil øge samtidig med at prisen vil falde som udbuddet stiger og teknologien modnes.

Der bliver desuden arbejdet på større elektriske busser (18 meter eksempelvis, og længere ledbus løsninger) ved flere leverandører, som kan have relevans for BRT løsninger, også ved Movia.



Figur 3: Diagram over YTP-1 fra EbusCo

Det er bemærkelsesværdigt, at de fuldelektriske natopladte busser kommer fra to selskaber (og der er flere på markedet allerede), som netop specialiserer sig i batteridreven busdrift, og ikke bygger konventionelle dieseldrevne busser. Når de store leverandører af dieselbusser lancerer fuld natopladte elbusser vil det have en væsentlig påvirkning på markedet, og ikke mindst prisen. Det springende punkt for hvornår vi vil se operatører byde ind med elbusser som alternativ til diesel vil være, når tilbagebetalingstiden ligger væsentlig inden for kontraktperioden. Det vil ske når omkostninger og usikkerheder for batterier og teknologien generelt er minimeret, og prisen på indkøb af materiel falder så meget at gevinsten ved lavere drivmiddelomkostning og forventligt færre vedligeholdelsesomkostninger overstiger udgifterne. Denne tilbagetalingstid er endnu svær at sige noget præcist om, da produktet er så nyt at hver enkelt prisskilt der sættes vil være meget afhængig af antal og kontekst for salg. Et hurtigt estimat for tilbagebetalingstid er på

cirka 10 år (baseret på en cirka 60 % besparelse i forhold til brændstofsomkostninger, lavere vedligeholdsomkostninger, men højere initialomkostninger og batteriskift. Der skal muligvis ikke så meget til før dette springende punkt nås, og det er tænkeligt, at operatører på egen hånd i den nærmere fremtid vil byde ind med elektriske busser til regulær drift. Leverandørers eget estimat er at det er en positiv business-case Det er Movias og øvrige trafikselskabers opgave at være med til at skubbe denne udvikling på vej med test og hands-on erfaring samt tilrettelæggelse af de kontraktuelle forhold på en måde så det muliggøres, og ligefrem kan være en økonomisk fordel i form af honorering af de miljø- og sundhedsgevinster der er forbundet med elbussen, at byde ind med elektrisk natopladet busdrift på egen hånd under fornuftigt tilrettelagte funktionskrav.

Netop funktionskravene har Movia arbejdet aktivt med at tilpasse til en potentiel elektrificering af driften. Det er ikke alene vigtigt, at vi i trafikselskaberne ikke sætter krav som umuliggør øvrige drivmidler end diesel, men også at vi medvirker til at der er incitament til at gøre den i forvejen grønne busdrift endnu grønnere. I økonomisk forstand handler det om, i fællesskab med kommuner, regioner og eventuelt øvrige aktører, at omsætte de gevinster der er for borgere og samfund ved elektrisk drift til en økonomisk gevinst. Dette arbejde pågår løbende. I praksis er det dog ikke altid så let, da miljø- og sun dhedsomkostninger forbundet med lokale og globale emissioner er indirekte omkostninger, og dermed at man i en økonomisk forstand skal gøre indirekte omkostninger til direkte gevinster (som er to vidt forskellige økonomiske systemer, hvis der overhovedet kan sættes et prisskilt på disse omkostninger). I økonomisk forstand kan man kalde det at internalisere eksternaliteterne, eller, med andre ord, at sørge for at de reelle gevinster der er ved et skift til eldrift for borgere og samfund også kapitaliseres for dem som skal vælge teknologien og fremme udviklingen, nemlig leverandører og operatører. Skal man, teoretisk set, lave en såkaldt miljø- og sundhedsmæssig cost-benefit analyse vil resultatet med al sandsynlighed vise et andet resultatet hvis eksternaliteter internaliseres i regnestykket. Og her bærer trafikbestillere og trafikselskabet et ansvar.

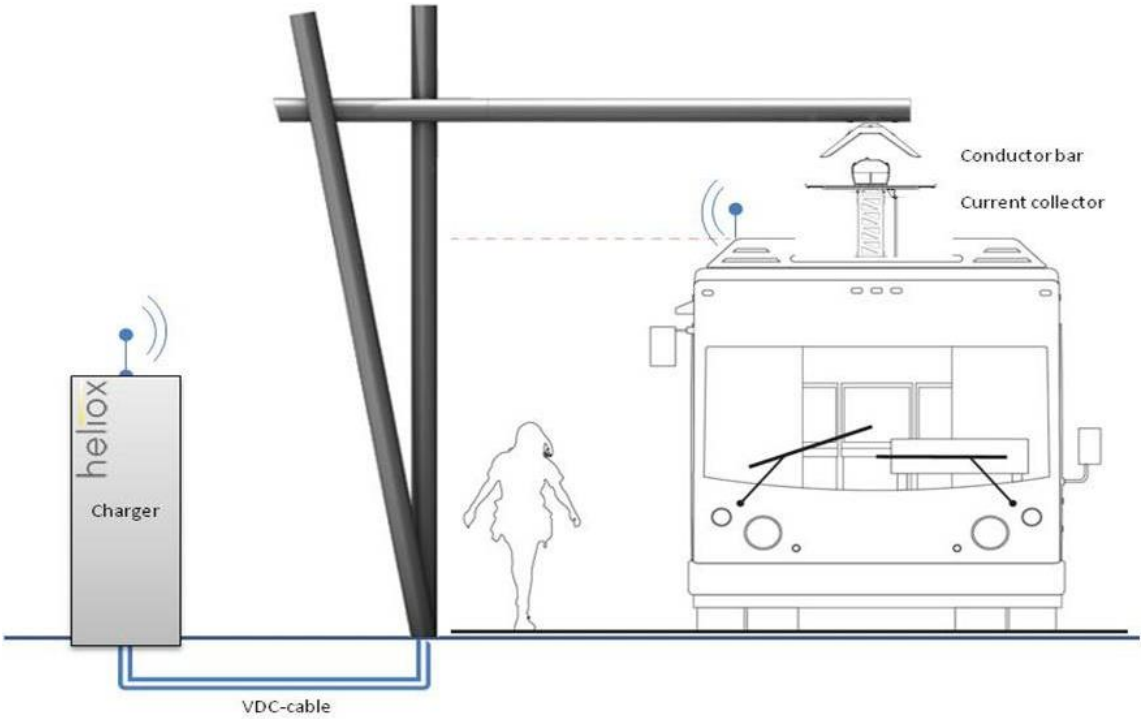
Dagopladning af elektrisk bus – ”opportunity-charged” elbusser i samarbejde med Københavns Kommune

Ulempen ved natopladte busser er beskrevet ovenfor, både ved den konkrete model og teknologien generelt. Ved at have batterier til et fuldt driftsdøgn om bord er der en masse ekstra vægt, og der er kompromis med passagerkapaciteten. Ligeledes er teknologien udelukket for linjer som kører længere i et vognløb end de på nuværende tidspunkt maksimale 250-320 km. A-bus linjerne i Københavns Kommune kører i døgndrift, og er dermed udelukket med natopladning med den nuværende tilgængelige teknologi, også selvom kapaciteten øges væsentligt. Kan man oplade undervejs i vognløb er der derimod tydelige fordele, og visse klare ulemper. I samarbejde med Københavns Kommune og Trafikstyrelsen udfører vi et forsøgsprojekt af den elbusteknologi, som er baseret på hurtige opladninger, enten udelukkende ved endestationer eller undervejs på ruten ved hjælp af såkaldte lyn-opladninger. Projektet er sat til at gå i drift første kvartal 2016, hvor både ladeudstyr og busser skal være klar til drift. Movia og Københavns Kommune er i proces med at afdække markedet og udbydere af primært ladeudstyr, og dernæst elektriske busser. Det er ikke nødvendigvis sådan, at et partnerskab mellem leverandører af ladeudstyr og busser er nødvendige, og kan potentielt udbydes separat. Ladeudstyret er dog potentielt en relativt markant indgriben i byrummet, både i teknisk og æstetisk forstand. Dermed er valget af ladeudstyr det væsentligste punkt. Det antages, at busleverandører vil kunne tilpasse busserne til det valgte ladesystem, og dermed at dette ikke vil være et problem for implementering. En usikkerhed er dog, at man i EU arbejder med at beslutte og fremme et standardiseret ladesystem. Det kan kun betragtes som fornuftigt med en beslutning om en

bestemt ladeform, men det er en risiko at et direktiv i en nær fremtid er anderledes end et system implementeret i et forsøgsprojekt hvor ambitionen er, at der er en værdi på lang sigt af udstyret.

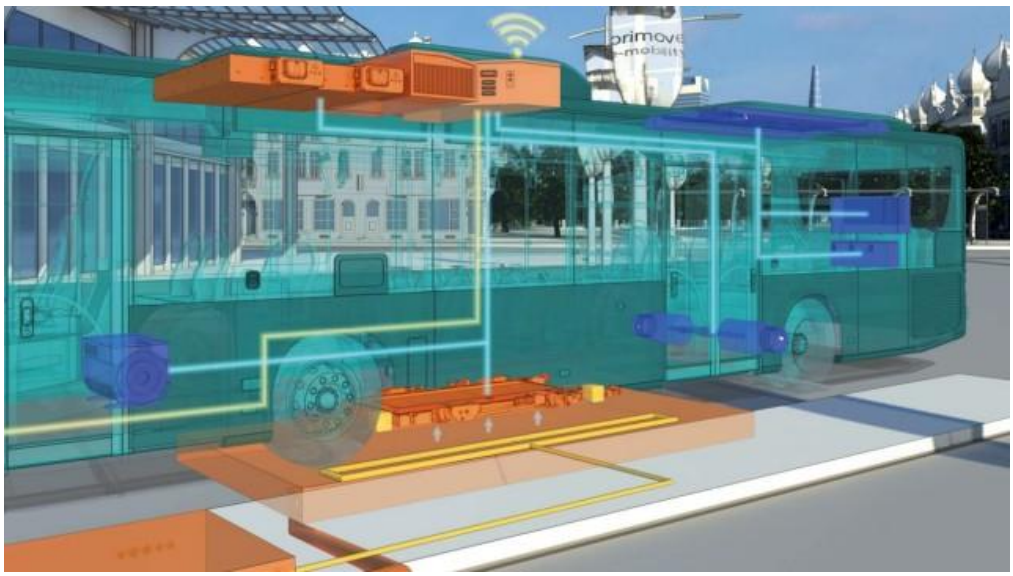
Teknisk er der flere forskellige løsninger, som alle har fordele og ulemper. Grundlæggende kan de inddeles i følgende kategorier:

- **Pantografløsning**: Som man kender det fra trolleybusser bliver strømmen leveret fra en pantograf, men her sker det enten udelukkende ved endestationer eller undervejs ved stop hvor bussen kan udligne i en kortere periode. Ladetiden varierer system til system. Se Figur 4 for et eksempel på en pantograf løsning. Fordelen er, at der kun bruges tid til at lade ved endestationer eller undervejs med plads i køreplanen, og ulempen kan være i tilfælde af forsinkelser hvor der ikke er ladetid i køreplanen. Varianter af denne løsning kan være en opladet hybridbus, som kører delvist på batteri, og også på hybrid teknologi. En pantograf løsning har en lav udgift per bus, og vejer væsentligt mindre end andre løsninger.



Figur 4: Eksempel på pantograf løsning til lejlighedsvis opladning af elektrisk bus. Kilde: Heliox pantograf løsning

- **Induktionsløsning**: Ved hjælp af induktion lades bussen ved endestationer eller undervejs på ruten. Fordelen er at selve ladeudstyr er diskret placeret i vejen, og dermed kan være lettere for kommunen at implementere. Ulempen er, at bussen bærer rundt på mere tungt udstyr end pantograf løsningen, samt at omkostningen per bus også er højere. Ligeledes kan der være sikkerhedsmæssige risici forbundet med løsningen, da metalliske dele fanget mellem induktionspladerne vil blive varme. Dette problem bliver der dog arbejdet på at løse.



Figur 5: Diagram over induktionsladeløsning fra Bombardier/Primove. Kilde: Bombardier

- **Lynopladet pantografløsning:** Med opladningstid helt ned til 15 sekunder lader bussen kontinuert undervejs ved udvalgte stop hvor der er relativt stor sandsynlighed for passageraktivitet. Løsningen er omkostningsfuld, og egner sig bedst til store linjer hvor eventuelt flere forskellige buslinjer kan benytte samme stop, og dermed at omkostning per bus mindskes. Ved at indsætte adskillige stop på linjen vil der være mulighed for at springe stop over hvis der er trængsel ved stoppested eller der ikke er passageraktivitet. Den største ulempe ved løsningen er simpelthen prisen, og det vil koste dyrt at implementere løsningen.

Figur 6: Flash-charging løsning i Geneve fra ABBs TOSA system

Perspektivering over lejlighedsvis opladningsprojektet og teknologien

Teknologien har klare fordele ved at batterierne er væsentligt mindre, og også væsentligt billigere. Batterierne vil også kræve udskiftninger, men omkostningerne er flyttet fra den enkelte bus til ladeudstyret, som der er færre af på en hel linje. Ladeanlæg estimeres at koste mellem 1,0 og 3,0 mio. kr. inklusiv anlæggelsen af infrastrukturen og opkobling til strømnet. I visse tilfælde vil omkostninger være meget højere, men dette vil ikke være aktuelt for forsøgsprojektet og videre drift. Afhængigt af linje kan det estimeres, at der vil være behov for cirka et ladeanlæg for hver 4. bus, og da omkostningen til batterier estimeres at have samme omkostning som et ladeanlæg vil der være en økonomisk besparelse også her.

En ulempe er, at det bedste resultat opnås med en komplet udskiftning, og dermed kræver en væsentlig sikkerhed om teknologiens stabilitet, funktionalitet og virke før et sådan skift er muligt at tage. Skulle selve ladeanlægget mod forventning fejle er det ikke blot en enkelt bus, men alle, som bliver berørt. Konsekvensen for buspassagerne er dermed potentielt meget mærkbare.

Movias primære hensyn vil altid være kundeoplevelsen, og driftsstabiliteten er dermed en meget væsentlig faktor når der skal implementeres ny teknologi, såvel i drift som i forsøg.

Det er i fokus ved Københavns Kommune såvel som ved Movia, at afdække forskellige tekniske løsninger for at de store A-bus linjer kan elektrificeres inden år 2015, hvor Københavns Kommune er planlagt til at være CO_2 neutral. Hvis dette skal lykkes er der på nuværende tidspunkt ikke andre mulighed end lejlighedsvis opladning.

Grundlaget for en potentiel implementering af lejlighedsvis opladning af elbusser vil være, at der dannes nye samarbejder med øvrige aktører, og det vil kræve en ændring af den måde vi udfører udbud på hvis det i praksis skal lykkes. Ejerskab over ladeudstyr, samt ikke mindst ansvar i tilfælde af nedbrud, vil være et vigtigt punkt at klarlægge.

Grundlæggende kræver det meget af byrummet at installere en lejlighedsvis opladning af busserne, idet det er forbundet med en høj initialpris, kan fylde og kan støje, og i nogen tilfælde kan der være sikkerhedsmæssige hensyn at tage (eksempelvis ved induktionsladning). Planlægningen og samarbejdet inden skal være nøje tilrettelagt hvis en sådan løsning skal blive en succes.

Konklusion

Movia ser busdriften i en ikke så fjern fremtid som værende sammensat af forskellige bustyper, størrelser, drivmidler og kørselsmønstre, som alt sammen er tilrettelagt efter behov fra borgere og trafikbestillere. Ved at definere funktionskrav vil Movia have mulighed for at skubbe udviklingen i den ønskede retning uden at diktere den tekniske løsning. Men fremtiden vil også skabe behovet for nye og mere udfordrende samarbejds- og kontraktformer. Denne udvikling er Movia bedst med til at understøtte ved at teste de tekniske løsninger, samarbejde med operatører om at få hands-on erfaring med teknologierne og lytte nøje til borgere og trafikbestilleres ønsker og idéer til fremtidens kollektive trafik.

Og Movia ser bestemt en andel af den fremtidige bustrafik som værende elektrisk, og bestående af forskellige tekniske løsninger skræddersyet til formålet, ganske som det er i dag med forskellige bustyper og størrelser afhængig af driftsbehov. Det vil kræve nye kontraktuelle metoder og samarbejder på tværs med nytænkende løsninger at få implementeret disse nye teknologier i praktisk drift, hvor én grøn elbus vil

erstatte én bus med fossilt brændstof – og tilmed hvor det er en god forretning for alle parter involveret. Men resultatet vil være givende i form af nul lokale emissioner, signifikant lavere CO_2 udledning og en behageligere kollektiv transport for kunder og operatører.

Movia vil fortsætte med at arbejde for en elektrificering af busdriften, men hele tiden med øje for kundeoplevelsen og driftsstabiliteten samt en grundlæggende tro på, at vi stille og roligt arbejder os hen imod en situation hvor elektrisk busdrift er et rentabelt alternativ til dieseldriften – ikke af ønske om at skabe overskrifter i pressen, men derimod fordi det er den bedst tilgængelige teknologi til prisen. Resultatet ved at implementere elektriske busser skal nødig være en forøget pris hvor konsekvensen er mindre busdrift, og flere bilerne på vejene – det vinder hverken kommunen, regionen, borgerne eller miljøet noget på.