

# Bensínbíl breytt í rafbíl - uppgjör verkefnis og reynsla af notkun bílsins

Helgi Þór Ingason prófessor við Tækni- og verkfræðideild HR og Einar Sigurðarson framkvæmdastjóri Bifreiðaverkstæðis Reykjavíkur

Árið 2009 birtist í Árbók verkfræðingafélagsins kynningargreinin „Að breyta bensínbíl í rafbíl“ - um verkefni sem hafði það markmið sem fram kom í titlinum. Nú er verkefni þessu formlega lokið eftir 8 ár, og í þessari grein verður gefið stutt yfirlit yfir verkefnið - með sérstakri áherslu á seinni hluta þess og einkum og sér í lagi þá reynslu sem fengist hefur af notkun bílsins í borgarumferð. Bakgrunnur verkefnisins þegar til þess var stofnað 2009 var sú staðreynd að rafbílar virtust vera ákjósanlegur kostur sem annar bíll á heimili á höfuðborgarsvæðinu, en á þeim tíma voru rafbílar ekki til sölu á almennu markaði nema með örfáum undantekningum. Hins vegar komust greinarhöfundar yfir upplýsingar um að í Bandaríkjunum hefði það verið stundað um árabíl að breyta bensínbílum í rafbíla. Samfélag áhugafólks um slíkar breytingar hafði verið búið til í Kaliforníu og hægt var að nálgast upp-

lýsingar um þær, auk þess sem finna mátti fyrirtæki sem sérhæfðu sig í að bjóða búnað til breytinga. Í upphafi gekk verkefnið út á að sýna fram á að hægt væri að breyta bensínbíl í rafbíl, skoða umfang slíkrar breytingar og láta reyna á að bíllinn gæti virkað í borgarumferð í Reykjavík, haldið 80 km/klst umferðarhraða upp Ártúnsbrekku og boðið ásættanlega drægni, eða að minnsta kosti 60 km á hleðslu.

Þegar horft er tilbaka má skipta þessu verkefni í tvö meginhluta. Fyrri hlutinn átti sér stað árin 2009-2011. Eftir nokkurt hlé var aftur hafist handa árið 2014 og verkefninu var lokið sumarið 2016. Til einföldunar má líta svo á að í verkefninu hafi verið búnar til tvær frumgerðir. Sú fyrri var einfaldasta mögulega útfærsla á breytingu bensínbíls í rafbíl. Bíllinn var knúinn 72 V jafnstraumsmótor og í honum voru sex lyftararafgeymar sem vögu samtals yfir 400 kg. Verkefninu var fylgt

**Tafla 1 Dagbókarbrot frá ágúst og september 2015**

Dagur	Vikud.	Ekið	Eknir km	Upplifun	Mála-miðlun	Dagbók
26/08/2015	Mið	Grafarvogur - HR - HÍ - Skemmuvegur - Árbær	30	1	-1	Góð tilfinning að keyra bíllinn, lenti í smá veseni á Miklubraut, bíll datt úr áframgír. Fékk leiðbeiningu hjá ES og komst til hans að láta lagfæra. Fór heim, hleð í nótt.
27/08/2015	Fim	Árbær - HR - Bæjarlind - HR - Árbær	40	0	0	Stórfínt, ekin drjúg vegalengd og allt eins og í sögu. Bíll settur í hleðslu með kapli úr skúr. Tók samt eftir að hraði efst í Ártúnsbrekku var 68 km/klst.
28/08/2015	Fös	Árbær - HR - Árbær	20	-1	-1	Komst allt sem þurfti en bíllinn missti afl á Vesturlandsvegi og hraði fór niður í 60 km/klst. Fann líka aðeins fyrir afleysi að fara upp brekku, sérstaklega ef lagt er af stað úr kyrrstöðu.
29/08/2015	Lau	Bíllinn stendur kyrr				
30/08/2015	Sun	Árbær - Bauhaus - Árbær	12	1	-1	Farið með frúnna í bíltúr í Bauhaus. Allt í gekk vel. Á jafnsléttu náði ég 88 km hraða við 160 A (rétt áður en komið er að hringtorginu við Bauhaus) en það er svolítið leiðinlegt að finna aflíð dvína upp mjög aflíðandi brekku (t.d. þegar beygt er af Vesturlandsvegi upp á Suðurlandsveg í átt að Rauðavatni) og hraðann fara niður í 55 km/klst.
31/08/2015	Mán	Árbær - HR - Ármúli - Byko - Árbær - Bílanaust - Árbær	35	1	0	Fór snemma í vinnu, lítill umferð. Allt gekk vel og það kom ekki að sök þó bíllinn sé vissulega lengi að ná upp ferð á gatnamótum.
1/9/2015	Pri	HR-Toppstöð-Árbær-Skeiðavogur-Árbær-Fiskislóð-Dugguvogur-Árbær	58	2	0	Mér leið vel að keyra hann í dag. Lét ekki fara í pírurnar að hann er seinn upp. En á leiðinni heim, eftir 55 km, fannst mér hann reyndar áberandi máttlausari, trúlega vegna þess að rafhlöðurnar eru að tæmast.
2/9/2015	Mið	Árbær - HR - Árbær - Skeifa - Árbær - Síðumúli - Árbær	54	1	-1	Allt gekk vel. Tvær „observasjónir“. a) Ég ók bílnum í fyrsta sinn í myrkri og ljósín lýsa lítið fram - sem er skrýtin tilfinning. b) Ég stúderaði afleysið upp Ártúnsbrekkuna því ég ók sömu leið þrisvar. Botna bíllinn áður en ég kem að Elliðaám og hann tekur vel við sér og nær 94 km/klst hraða við rætur Ártúnsbrekku. Hraðinn er kominn niður í 68 við N1 og hann er að taka 140 A straum. Svo nær hann ekki að auka hraðann neitt fyrr en við Shell og er áfram að taka 140 A. Hraðinn vex aðeins og fer í kannski 80 þegar ég er kominn í beygjuna til hægri upp í átt að Rauðavatni. Þegar ég kem úr beygjuni er hraðinn kominn niður fyrir 70 og svo missi ég hann alveg niður í 47 km síðustu 100 m áður en ég beygi til hægri inn í Árbæ - og hann er að taka bara 140 A.
3/9/2015	Fim	Árbær - HR - Árbær	22	1	0	Allt í fínu í sjálfu sér. Í „spretinum“ sem ég lýsti hér að ofan (Ártúnsbrekka osfrv) fór hann niður í 40 km/klst hraða áður en ég beygði upp í Árbæ. Botnstend hann alla leið, kannski er það rangt af mér?
4/9/2015	Fös	Árbær - HR - Árbær	22	1	0	Fór í vinnuna og heim, allt í fína :-)



fast eftir í fyrri áfanga þess og þessi frumgerð varð ökufær um mitt ár 2009. Bíllinn var fjarri því að uppfylla væntingar um hraða og drægni. Hann lúsaðist áfram á 60 km/klst hraða upp Ártúnsbrekkuna og drægni hans var einungis um 40 km við allra bestu aðstæður. Ljóst var að þessi útfærsla bílsins gæti aldrei verið raunhæfur valkostur í borgarumferðinni; bíllinn þyrfti að verða léttari, drægni hans þyrfti að aukast og leiðin að þessu marki var sú að fjárfesta í léttari rafgeymum, svonefndum Liln rafgeymum.

Seinni hluti verkefnisins var með allt öðrum hætti. Heldur var slakað á í eftirfylgninni og smíði annarrar frumgerðar tók á annað ár, en með styrk Landsvirkjunar var hægt að kaupa sett af 24 Liln rafgeymum og einnig þriggja fasa 72V riðstraumsmótor, því fyrir misgáning var brætt úr hinum upphaflega jafnstraumsmótor í lok fyrri áfanga verkefnisins. Ekkert kælikerfi er í bílnum og engin miðstöðvarhitun. Komið var fyrir rafmagnsstýri og sérstök vakumdæla var sett í bílinn til að búa til nauðsynlegar undirþrýsting fyrir bremsurnar. Rúðupurrkur, ljós, bílflauta og fleiri rafknúin kerfi eru knúin með 12V rafgeymi sem tekur rafmagn af 72V rafhlöðukerfinu í gegnum straumbreyti. Mótorstýring fær merki frá inngjöf, sem virkar eins og venjuleg bensínjök. Stýringin ákvarðar hve mikið af orkunni frá rafhlöðum á að fara inn á mótorinn. Að öðru leyti vísuð við í grein í Árbók VFÍ árið 2009 þar sem fyrir

frumgerð bílsins var lýst með almennum hætti. Útfærslan með AC mótor er hliðstæð en þó skapast sá möguleiki að bíllinn framleiði rafmagn og skili því inn á rafgeymana þegar hægt er á ferðinni, og með þessu má auka drægni bílsins um allt að 15%. Þegar horft er tilbaka á seinni áfanga verkefnisins er áhugavert að sjá að mesta flækjustig þess varðaði innflutning á rafgeymum. Þeir eru flokkaðir sem hættuleg vara og það tók langan tíma að finna flutningsaðila sem var tilbúinn að flytja rafgeymana með hagkvæmum hætti til landsins.

Bíllinn var tilbúinn til prófana haustið 2015 og þá var hann tekinn til formlegrar notkunar og um leið haldin ítarleg dagbók þar sem menn skráðu samviskusamlega niður reynsluna af rekstri hans og þau atriði sem bæta þyrfti úr. Notendur bílsins voru þeir, greinarhöfundar og Sigurður Gísli Karlsson vélaverkfræðingur. Þessir þeir aðilar hafa haldið utan um verkefnið allt frá upphafi. Sett var upp einföld dagbók þar sem nokkur atriði voru skrásett á hverjum degi. Í fyrstu dálkum eru mánaðardagur og vikudagur en í þriðja dálki var skráð hvert bílnum var ekið og í þeim fjórða hve langt hafði verið ekið þann dag. Tvær breytur voru skilgreindar til að ná utan um reynslu notanda af notkun bílsins. Sú fyrri fékk heitið „upplifun“ en þar var hægt að velja alls 5 möguleika. -2 endurspegladi vandamál eða bilun bílsins, -1 endurspegladi neikvæða upplifun, til dæmis ef bílstjóri hafði verið lestarstjóri og haldið röð bíla á eftir sér. 0 endurspegladi að allt væri með eðlilegum hætti, 1 endurspegladi góða tilfinningu og 2 endurspegladi frábæra tilfinningu. Breytan „málamiðlun“ endurspegladi upplifða málamiðlun notandans af notkun rafbílsins, í samanburði við notkun hefðbundins bensínbíls. Hægt var gefa tvenns konar gildi. Gildið 0 endurspegladi að notandi hafði ekki þurft að gera neina málamiðlun. Gildið -1 endurspegladi hins vegar að notandinn hafði þurft að gera málamiðlun og sætta sig við lakari virkni og eiginleika, í samanburði við hliðstæðan bensínbíl. Í aftasta dálki gat notandi skráð almenna punkta, atriði sem bent var á og tækifæri til umbóta eða annað það sem máli þótti skipta. Til gamans birtum við tvö tímabil úr dagbókinni, annars vegar frá því haustið 2015 og hins vegar frá því vorið 2016.

Á fyrra tímabilinu kemur stundum í ljós að notandinn upplifir málamiðlun miðað við bensínbíl og stundum lenda menn í vandræðum, til dæmis þegar bíllinn verður aflvana eða bilar. Einnig er safnað mikilvægum upplýsingum um það sem betur má fara, bæði tæknileg mál

Dagur	Vikud.	Ekið	Eknir km	Upp-lifun	Málamiðlun	Dagbók
31/5/2016	mán	Tek við bílnum á Skemmuvegi síðdegis, ek í Árbær	5	1	0	
1/6/2016	mið	Árbær- HR - Árbær - Heiðargerði - Árbær	30	1	0	Farið í vinnuna, snattað á heimleið. Hann er flottur. Kannski má enn laga stillingu á stýringu, var kominn í 50 km/klst. við Rauðavatnsafleggjarann. Fór á honum á hljóm sveitaræfingu um kvöldið.
2/6/2016	fim	Árbær - HR - Árbær - Borgartún - Árbær	35	2	0	Frábær. Engin málamiðlun í borgarumferð. Búinn að finna út úr því hvernig ég vinn með mótorstýringuna og held 250 A straum upp brekkuna af Vesturlandsvegi á Suðurlandsveg. Fór í vinnuna, heim og aftur á fund oní bæ síðdegis.
3/6/2016	fös	Árbær - Breiðholt - Árbær	8	1	0	Góður, lenti þó í því að í upphafi fékk ég ekki tenginguna við mótor, drap á og ræsti og fékk tengingu í 3. tilraun.
4/6/2016	lau	Árbær - Bakkagerði - Árbær	10	2	0	Óaðfinnanlegur
5/6/2016	sun	Árbær - Ártúnsbrekka - Kópavogur - Háaleitisbraut - Árbær	50	2	0	HPI og ES þvælast um bæinn og taka upp kynningarvideó. Bíllinn óaðfinnanlegur.
6/6/2016	mán	Árbær - Breiðholt - Árbær - Dalvegur - Árbær	20	2	0	Óaðfinnanlegur
7/6/2016	þri	Árbær - HR - Árbær - HR - Árbær	44	1	0	Góður, lenti einu sinni í því á ljósum að það rofnaði tenging við mótor, drap á honum og ræsti aftur. Fékk tengingu í annarri tilraun. Finnum út úr þessu.

og mál sem snúa að upplifun notandans. Lítil atriði skipta máli fyrir notandann. Til dæmis var nauðsynlegt að einfalda eins og kostur var ferlið við að setja bílinn í hleðslu að kvöldi til. Þessi athöfn reyndist vera þröskuldur sem stundum gleymist að stíga yfir. Þá gátu menn komið að bílnum rafmagnslitlum að morgni dags og óhæfum til notkunar. Með því að koma fyrir útdraganlegu rafmagnskefli í bílinum var þetta gert eins einfalt og kostur var og hafði þetta mjög jákvæð áhrif á upplifun notenda. Settar voru LED framljósaperur í bílinn sem lýsa vel en eyða einungis 10% orku miðað við halogen perur. Einnig komu í ljós atriði varðandi stillingu mótorstýringar sem hægt var að lagfæra. Athuganir sýndu að þegar bíllinn var botnstiginn í tiltekinn tíma, meira en 2 mínútur, virkjaðist hemill í mótorstýringu sem dró úr afl, því hámarks straumstyrkur datt úr 250 kA í 100 kA sem það þýddi að hraði bílsins lækkaði mjög. Bein afleiðing af þessu var til dæmis sú að þegar bílnum var gefið duglega inn á Vesturlandsvegi á leið til austurs, til að halda umferðarhraða upp Ártúnsbrekku, kom að því að bíllinn missti afl. Hraði hans datt þá niður í 50 km og til að forðast að vera „lestarstjóri“ þurfti að aka bílnum á neyðaragrein á Suðurlandsvegi í átt að Rauðavatni. Þetta vandamál reyndist auðleyst með því að breyta stillingum í mótorstýringu þannig að á ofangreindri leið þurfti aldrei að draga úr straumstyrk. Eftir þetta var aldrei vandamál að missa afl í borgarumferðinni. Fleiri atriði mætti hér nefna en til fróðleiks sýnum við dagbókarfærslur frá júní 2016.

Hér sést að upplifun notandans er mun betri og greitt hefur verið úr flestum vandamálum.

Til að taka saman verkefnið má segja að því hefur nú verið lokið þannig að bíllinn uppfyllir nú þær kröfur sem settar voru fram í ársbyrjun 2009. Drægni hans er nú allt að 100 km við góðar aðstæður og hann getur vel haldið meðalhraða á Vesturlandsvegi eða allt upp í 100 km/klst. Þess má geta að þegar þetta er ritað er bílnum ekið daglega milli Grafarvogs og Keflavíkur. Það er frábær tilfinning að aka bílnum og vita að mengun af hans völdum er lítil og aðstandendur eru sáttir, enda þótt teygst hafi úr þessu verkefni.

Það verkefni sem hér er lýst er ekki hið eina sinnar tegundar. Í Háskólanum í Reykjavík var svipað verkefnið unnið á árunum 2009 og 2010, og lesa má um það í lokaritgerðum í tæknifræði við HR. Fleiri dæmi um breytingar á bensínbíl í rafbíl eru til. Þær verða ekki raktar hér en látið duga að nefna að okkar verkefni, og önnur áþekk verkefni sýna, að það er tæknilega vel gerlegt að breyta bensínbíl í rafbíl, og notkun hans í umferð höfuðborgarsvæðisins er vandræðalaus, jafnt vetur sem sumar. Að vísu skal viðurkennt að á köldum vetrardögum getur verið nokkuð kalt í bílnum því engin miðstöðvarkynding finnst í honum. Þetta vandamál hefur verið leyst að hluta með því að rafhita bílinn yfir nóttina til að bílstjóri komi að bílnum heitum að morgni.

Ekki verður þó undan því vikist að nefna þá staðreynd að á meðan á verkefninu hefur staðið hafa orðið gríðarlegar breytingar í viðskiptaumhverfinu og í dag eru rafbílar markaðsvara; velflestir bílafram-



*Ekið upp Ártúnsbrekku til að kanna hvort bíllinn standist upphaflegar hönnunarforsendur.*

leiðendur bjóða fleiri en eina útfærslu af rafbílum og útbreiðsla þeirra fer hratt vaxandi hér á landi. Þetta er þróun sem aðstandendur sáu ekki fyrir þegar verkefnið var hafið og því má segja tæknin hafi farið framúr þessu þróunarverkefni. Það er gleðileg staðreynd og rafbíllinn á framtíðina fyrir sér á Íslandi, enda gera áætlanir stjórnvalda ráð fyrir því að innan nokkurra áratuga verði stærstur hluti bílaflotans rafknúinn. Metnaður frænda okkar Norðmanna í þessu efni er enn meiri því þar í landi er gert ráð fyrir að stærstur hluti bílaflotans verði rafknúinn strax árið 2025.

Að leiðarlökum má benda á að í verkefninu hafa verið búin til tvö kynningarmyndbönd sem eru aðgengileg á youtube. Fyrri myndbandið var gert um mitt ár 2009, það fjallar um fyrri áfanga verkefnisins og má nálgast það á YouTube með því að leita að fyrirsögninni „Að breyta bensínbíl í rafbíl.“ Seinna myndbandið er frá sumrinu 2016 og gefur það yfirlit yfir verkefnið í heild, með áherslu á seinni hluta þess og notkun bílsins. Þetta myndband má nálgast á YouTube með því að leita að fyrirsögninni „Bensínbíl breytt í rafbíl - yfirlit verkefnis.“ Einnig er vísað til greinarinnar „Að breyta bensínbíl í rafbíl“ í Árbók Verkfræðingafélagsins árið 2009, auk þess sem haustið 2015 birtist greinin „Mestu skiptir rétt samsett teymi með ástríðu fyrir viðfangsefninu“ í bókinni Toppstöðin, þar sem lögð var megináhersla á nýsköpunarþátt þessa verkefnis.

Að síðustu viljum við greinarhöfundar þakka kærlega þeim sem stutt hafa verkefnið. Fyrst og fremst ber þar að nefna Orkurannsóknasjóð Landsvirkjunar sem gerði okkur kleyft að ljúka við seinni áfangann og smíða seinni frumgerð bílsins með riðstraumsmótor og LiIb rafgeymum. Í þessum áfanga náðist sá árangur að bíllinn stóðst hinar upphaflegu hönnunarforsendur um hraða og drægni. Án framlags Landsvirkjunar hefði þessi árangur aldrei náðst. Sigurði Gísla Karlssyni þökkum við dygga þátttöku í verkefninu, frá upphafi til enda.