



MANNVIT



# ÁHRIF SJÁLFVIRKNI Í BÍLUM Á UMFERÐARRÝMD

SKÝRSLA

VERKEFNI STYRKT AF RANNSÓKNARSJÓÐI  
VEGAGERÐARINNAR

ÁGÚST 2019

## Efnisyfirlit

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Inngangur .....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2. Skilgreiningar á sjálfvirkni í bílum.....</b>                | <b>1</b>  |
| 2.1 Skilgreiningar á hugtökum.....                                 | 1         |
| 2.2 Sex stig sjálfvirkni í bílum.....                              | 2         |
| 2.3 Skynjarabúnaður tengdur sjálfkeyrandi bílum .....              | 4         |
| 2.4 Dæmi um sjálfvirknitækni í bílum og flokkun hennar .....       | 5         |
| 2.4.1 0. stigs tækni .....   | 5         |
| 2.4.2 1. stigs og 2. stigs tækni .....                             | 5         |
| 2.4.3 3. stigs tækni .....   | 6         |
| 2.4.4 4. stigs tækni .....   | 6         |
| 2.4.5 5. stigs tækni .....   | 7         |
| <b>3. Framtíðarsýn, ávinningar og áskoranir .....</b>              | <b>7</b>  |
| 3.1 Áhrif á ferðamynstur .....                                     | 8         |
| 3.2 Áhrif á umferðaröryggi .....                                   | 9         |
| 3.3 Áhrif á kostnað.....   | 11        |
| 3.4 Áhrif á umhverfi.....  | 13        |
| 3.5 Félagslegir þættir, ábyrgð og siðferði.....                    | 14        |
| 3.6 Áhrif á umferðarrýmd.....                                      | 16        |
| <b>4. Sviðsmyndir um þróun sjálfkeyrandi bíla .....</b>            | <b>19</b> |
| 4.1 Sýn KPMG á þróun sjálfkeyrandi bíla.....                       | 19        |
| 4.2 Osló rannsóknin.....   | 19        |
| 4.3 Sýn ráðgjafafyrirtækisins SBD á þróun sjálfkeyrandi bíla ..... | 23        |
| <b>5. Helstu niðurstöður .....</b>                                 | <b>25</b> |
| 5.1 Hagsmunaárekstrar og ráð .....                                 | 25        |
| <b>6. Heimildaskrá.....</b>  | <b>27</b> |

## 1. Inngangur

Fjórða iðnbyltingin er hugtak sem vísar til tækniframfara undanfarinna ára og þeirra sem eru í vændum. Þar er aðallega átt við gervigreind, róbótatækni, samskiptanet hlutanna (Internet of Things, IoT), sjálfvirknivæðingu þ.m.t. farartækja og fleira sem mun líklega valda víðtækum samfélagsbreytingum á næstu árum og áratugum.

Það sem hefur drifið áfram síaukna sjálfvirknivæðingu og þróun sjálfkeyrandi bíla eru væntingar um

- **aukið öryggi:** Fækkun slysa vegna mannlegra mistaka.
- **meiri skilvirkni og minni umhverfisáhrif:** Að nýjar samgöngulausnir auki skilvirkni samgöngukerfa og minnki tafir ásamt því að jafna akstur sem minnkar umhverfisáhrif.
- **aukin þægindi og tímavirði:** Gefi farþegum möguleika á að „gera annað“ meðan kerfið sér um aksturinn.
- **félagslegt frelsi:** Bætt aðgengi og hreyfanleiki einstaklinga sem ekki geta keyrt sjálfir.

Þróun sjálfvirknitækni bíla hefur því fleygt fram og nokkrir bílaframleiðendur hafa þegar tilkynnt um komu sjálfvirkra bíla eða jafnvel sjálfkeyrandi bíla á markað árið 2020. Slíkt setur pressu á skipulags- og samgönguyfirvöld og löggjafann varðandi það að kanna hvort, hvernig og hvenær beri að undirbúa innviði fyrir slíka tækni. Þó er enn óljóst hvaða stefnu þróunin mun taka. Munu bílar hafa innbyrðis samskipti um götuval til að dreifa umferðinni betur um vegakerfið eða mun hún einungis snúa að því að bæta viðbragstíma bifreiða? Mun þróunin nýta sér kosti deiliahagkerfisins, þ.e. að einkabílaeign minnki til muna, farþegar panti sér far gegnum miðlun og fjölskyldur samnýti bíl t.d.? Mun þróunin hafa áhrif á eignamynstur? Þessum vangaveltum hefur verið velt upp í fjölda erlendra rannsókna sem leiða til mismikilla áhrifa á samfélagið, sumar sýna algjöra byltingu á meðan aðrar eru hófsamari.

Markmið verkefnisins er að skoða nýlegar rannsóknir á viðfangsefninu og reyna að leggja mat á það hvaða áhrif tilkoma sjálfvirkni í bílum mun hafa á afkastagetu stofnvega höfuðborgarsvæðisins.

Höfundar skýrslunnar bera ábyrgð á innihaldi hennar. Niðurstöður hennar ber ekki að túlka sem yfirlýsta stefnu Vegagerðarinnar eða álit þeirra stofnana eða fyrirtækja sem höfundar starfa hjá.

## 2. Skilgreiningar á sjálfvirkni í bílum

### 2.1 Skilgreiningar á hugtökum

Í þessari skýrslu munu verða notuð nokkur hugtök tengd sjálfvirkni í bílum og annarri tækni tengd henni. Enn eru ekki komnar fastmótaðar skilgreiningar á mörg hugtök þannig að þau eru því sérstaklega skilgreind hér.

Nokkur stig eru til á sjálfvirkni í bílum (stig 0-5) og þegar notast er við hugtakið **sjálfvirknivæddur bíll (e. automated vehicle)** er átt við að bíllinn sé á stigi 0-2. En á þessum stigum er til staðar ýmis sjálfvirkur búnaður sem aðstoðar ökumann við aksturinn en ökumaðurinn er alltaf við stjórn. Þegar átt er við hugtakið **sjálfkeyrandi bíll (e. autonomous vehicle)** þá er átt við að bíllinn sé á stigum 3-5 og á þeim stigum sér sjálfkeyrandi búnaður tímabundið eða alfarið um akstur.

Annað hugtak sem verður notað er **tengdir bílar (e. connected vehicles)**, en þá eru bílar í samskiptum við hvern annan og ýmsan búnað tengdum innviðum. Rauntímaupplýsingum er deilt milli bíla/sjálfvirknikerfis um hvað sé að gerast í umferðinni með það að markmiði að auka skilvirkni í umferðinni. Vísir af þessu er nú þegar kominn með snjallsímaforritinu Google maps þar sem hægt er að sjá besta leiðarvalið út frá mismunandi umferðarþunga á leiðum.

Hugtak sem kemur mikið fyrir þegar fjallað er um sjálfkeyrandi bíla er enska orðið „platooning“, sem verður kallað **aksturshópun** á íslensku í þessari skýrslu. Aksturshópun er þegar bílar hópa sig þétt saman og keyra á jöfnum hraða oft til þess að ná grænum bylgjum á umferðarljósum eða bara einfaldlega til þess að minnka vistspor með jafnari akstri, samlegð vegna minni loftmótstöðu ofl. .

Ýmis hugtök hafa verið að skjóta upp kollinum í tengslum við nýjar snjallar leiðir til að ferðast sem margar eiga rætur innan deiliahagkerfisins. Almennt þegar hugtakið **deilipjónusta** er notað er átt við einstaka þjónustu sem gengur út á að leigja farartæki t.d. hjól, rafmagnshlaupahjól eða bíl eins og Zip car. Hins vegar þegar hugtakið **snjallsamgöngur** eða **fjölförðamatakerfi** (e. Mobility as a Service, MaaS) er notað er átt við snjallar samþættar samgöngur sem ganga út á það að algrími reikni út hagstæðasta ferðamatann fyrir mismunandi ferðir sem getur í mörgum tilfellum verið mismunandi í sömu ferð. Hugtakið gerir ráð fyrir að notandi hafi aðgang að mörgum deilipjónustum í gegnum sama pöntunar/greiðslukerfið eins og t.d. hjólaleigu, almenningsamgöngum, deilibilþjónustu, vespuleigu svo eitthvað sé nefnt.

Þegar hugtakið **farveita** er notað er átt við þjónustur sem selja far með bíl t.d. leigubíl. Fyrirtæki eins og Uber og Lyft eru hvað þekktust sem í dag bjóða upp á þennan samgöngumáta.

**Umferðarrýmd (e. critical density)** eða afkastageta götu er skilgreind sem hámarksumferð sem kemst um götuna á gefnu tímabili við ríkjandi aðstæður. Verði breyting á þessum aðstæðum, á götunni eða í umferðarstýringu breytist einnig umferðarrýmd götunnar.

**Línulegar samgöngur** eru samgöngur sem keyra fyrir fram ákveðnar leiðir oft eftir tímatöflu. Strætó er gott dæmi um þetta.

## 2.2 Sex stig sjálfvirkni í bílum

Sjálfkeyrandi tækni í bílum hefur verið að ryðja sér til rúms síðustu ár og fyrst um sinn var misræmi varðandi það hvenær tæknin er orðin nægjanleg svo hægt sé að tala um að bíll sé orðinn sjálfkeyrandi. Af þessum sökum hafa bílaframleiðendur og aðrir tækniframleiðendur komið sér saman um flokkunarkerfi sem skilgreinir betur í sex flokkum hvar sjálfkeyrandi tæknin er stödd. Þetta kerfi var þróað af alþjóðlegum samtökum verkfræðinga í samgönguiðnaði (SAE) og er sýnt hér í eftirfarandi töflu og texta á eftir töflunni. Þýðing á texta fékkst m.a. úr blaðagrein á [www.kjarninn.is](http://www.kjarninn.is).

Tafla 1) Flokkun sjálfkeyrandi tækni samkvæmt SAE-kerfinu.

| SAE - stig                                       | Heiti                 | Stýri, bensínjölf og bremsur | Eftirlit með umhverfi | Yfirtaka aksturs* við erfið skilyrði | Möguleikar og færni kerfisins** |
|--|-----------------------|------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| <b>Mannlegur ökumaður fylgist með umhverfinu</b> |                       |                              |                       |                                      |                                 |
| 0  | Engin sjálfstýring    | Ökumaður                     | Ökumaður              | Ökumaður                             | Ekkert kerfi                    |
| 1  | Aðstoð við ökumann    | Ökumaður og tölvukerfi       | Ökumaður              | Ökumaður                             | Fært við sumar aðstæður         |
| 2  | Sjálfstýring að hluta | Tölvukerfi                   | Ökumaður              | Ökumaður                             | Fært við sumar aðstæður         |
| <b>Tölvukerfi fylgist með umhverfinu</b>         |                       |                              |                       |                                      |                                 |
| 3  | Skilyrt sjálfstýring  | Tölvukerfi                   | Tölvukerfi            | Ökumaður                             | Fært við sumar aðstæður         |

|   |                            |            |            |            |                             |
|---|----------------------------|------------|------------|------------|-----------------------------|
| <b>4</b>  | <b>Mikil sjálfstýring</b>  | Tölvukerfi | Tölvukerfi | Tölvukerfi | Fært við sumar aðstæður     |
| <b>5</b>  | <b>Algjör Sjálfstýring</b> | Tölvukerfi | Tölvukerfi | Tölvukerfi | Fullfært við allar aðstæður |
| <p>* Með akstri er átt við stjórn ökutækisins (stýra, bremsa, innspýting, eftirlit með ökutækinu og veginum) og ákvörðunum við akstur (bregðast við aðstæðum, skipta um akrein, nota stefnuljós og svo framvegis).</p> <p>** Möguleikar og færni kerfisins varða ákvarðanatöku við flóknari aðstæður (aðrein/frárein á hraðbraut, umferðaröngþveiti, keyrsla á miklum hraða).</p> |                            |            |            |            |                             |

**Stig 0 – Engin sjálfstýring** - Bíllinn er að öllu leyti og undir öllum kringumstæðum undir stjórn ökumannsins.

Dæmi: Kerfið er í besta falli „aðvörunarkerfi“ og aðstoðar t.a.m. ökumann við að bakka inn í þröng stæði með því að gefa frá sér hljóð ef eitthvað verður á vegi bílsins en öll stjórnun (stýra, bremsa, innspýting og svo framvegis) er í höndum ökumanns.

**Stig 1 – Aðstoð við ökumann** - Sjálfvirka tölvukerfið getur *stundum aðstoðað* ökumanninn við afmarkaða hluta keyrslunnar, t.d. getur kerfið aðstoðað við að stýra ökutækinu og hraða þess (cruise control).

Dæmi: Kerfið stýrir bílnum inn í bæði venjuleg og samsíða bílastæði, og einnig út úr samsíða bílastæðum. Kerfið sér hér um að **stýra** bílnum á sem bestan hátt við þessar ákveðnu aðstæður en bremsa og bensínjölf er áfram undir stjórn ökumannsins.

**Stig 2 – Sjálfstýring að hluta** - Sjálfvirka tölvukerfið getur *stýrt* ökutækinu við ákveðnar aðstæður en eftirlit með aðstæðum er enn í höndum ökumannsins, sem einnig sinnir þeim hluta akstursins sem tölvukerfið ræður ekki við. Þetta þýðir að tölvukerfið getur leyst ökumanninn af hólmi við aksturinn, og ökumaðurinn þarf því ekki að stíga á bensínjölf eða halda um stýrið. Hann þarf aftur á móti að vera viðbúinn og tilbúinn að taka yfir stjórnina ef þörf krefur.

Dæmi: Kerfið getur stýrt hraða bílsins í hægri umferð (umferðarteppu), og hægir á bílnum eða gefur í eftir því sem umferðin leyfir. Líta má á þetta stig sem uppfærslu af „cruise control“, þar sem kerfið getur nú einnig hægt á sér eða aukið hraðann, og stöðvað bílinn eða tekið af stað (en ekki skipt um akrein). Tesla Autopilot má flokka sem stig 2 í dag.

**Stig 3 – Skilyrt sjálfstýring** - Sjálfvirka tölvukerfið getur bæði stýrt ökutækinu við ákveðnar aðstæður og fylgst með umhverfinu við ákveðnar aðstæður, en bílstjórinn verður að vera reiðubúinn að taka við stjórninni þegar tölvukerfið kallar eftir því. Helsta breytingin á milli stiga 0-2 og 3-5 er sá að á efri stigum getur tölvukerfið fylgst með og metið umhverfið.

Dæmi: Á hraðbraut getur kerfið stýrt hraða og einnig tekið framúr og skipt um akrein. Ef aðstæður verða kerfinu ofviða þá getur það kallað eftir því að ökumaður taki við stjórninni.

**Stig 4 – Mikil sjálfstýring** - Sjálfvirka tölvukerfið getur stýrt ökutækinu og fylgst með umhverfinu, og ökumaðurinn getur aðeins stýrt við ákveðnar aðstæður í ákveðnu umhverfi.

Dæmi: Á hraðbraut getur kerfið stýrt hraða og einnig tekið framúr og skipt um akrein. Ökumaður getur slökkt á kerfinu, en tölvukerfið mun ekki þurfa að kalla eftir því að ökumaður taki við stjórn.

**Stig 5 – Algjör sjálfstýring** - Sjálfvirka tölvukerfið getur stýrt ökutækinu að öllu leyti við allar þær aðstæður sem ökumaður gæti. Ökutæki á þessu stigi þarf ekki stýri.

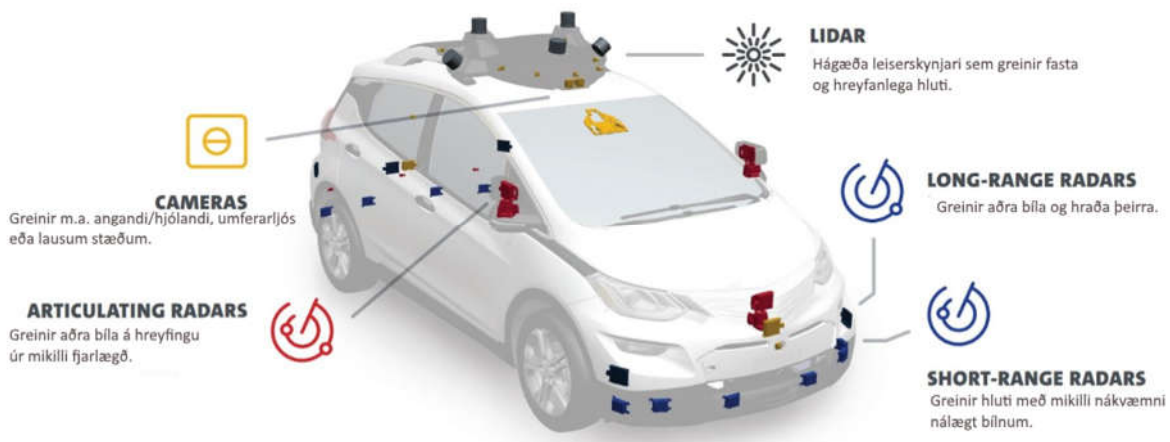
Dæmi: Tölvukerfið stjórnar bílnum að öllu leyti, við allar aðstæður, frá upphafspunkti A til endastöðvar B.

## 2.3 Skynjarabúnaður tengdur sjálfkeyrandi bílum

Eins og staðan er í dag eru það aðallega þrjár gerðir skynjara sem gera bílum mögulegt að skynja umhverfi sitt og þar af leiðandi aka án bílstjóra. Þetta er mögulegt með því samnýta upplýsingar úr þessum skynjurum líkt og maðurinn notar mörg skynfæri til að túlka umhverfi sitt (sjá mynd að neðan).

Þetta eru;

- **Myndavélar** – Myndavélar sem þekja öll sjónarhorn bílsins hjálpa við að sjá og greina atriði í umhverfinu eins og til dæmis gangandi/hjólandi, aðra bíla, fasta hluti eða umferðarljós.
- **Radar** – Greinir hluti með útvarpsbylgjum, fjarlægð og hraða.
- **LiDAR** – Tækni sem greinir ljós og fjarlægðir, býr til þrívíddarmyndir af umhverfinu allt í kringum bílinn.



**Mynd 1) Þrjár gerðir skynjara gerir sjálfkeyrandi bílum í dag kleift að skynja umhverfi sitt.**

Þessir skynjarar eru tengdir hugbúnaði með öflugum myndgreiningarbúnaði og gervigreind sem verður sífellt betri í því að greina hluti í kringum sig í mismunandi aðstæðum. Þetta mun krefjast umtalsverðra gagna frá mörgum bílum í mismunandi aðstæðum sem tölvur munu vinna úr til að þróa áfram gervigreindina í akstri. Þessu til viðbótar þurfa bílar öflugan vélbúnað til að drífa áfram rauntímavinnslu á öllu þessu mikla upplýsingaflæði.

Annar búnaður sem bílar búa yfir eru háupplausnar-kort sem búa yfir mun nákvæmari kortum en hefðbundin gps-vegakort eins og t.d. nákvæmar breiddir á vegum. Þá þarf mjög öflugan GPS ásamt stuðning frá INS (e. inertial navigation system) sem með hröðunarmæli og gíróskóp sem nemur átt og hraða sem bíllinn keyrir. Þá mun ýmiskonar fjarskiptabúnað þurfa fyrir samskipti við aðra bíla (V2V e. vehicle to vehicle) og / eða V2I (e. vehicle to infrastructure) til að fá upplýsingar frá vegum og umferðarljósum.

Enn sem komið er á þessi búnaður mjög erfitt með að greina yfirborð vega t.d. þegar, regn, snjór eða laufblöð hylja vegmerkingar og skilti. Þá á búnaðurinn erfitt með að draga ályktanir um hvað sé undir snjó sem mannlegur ökumaður á einfalt með út frá reynslu og minni. Ný tækni frá Wavesense nýtir jarðsjá til að skanna það sem er undir yfirborðinu ásamt gervigreind til að greina mismunandi lög og uppbyggingu vegarins og álykta hvað sé hvað (sjá mynd að neðan).



**Mynd 2) Greining yfirborðs vega með jarðsjá.**

Eins og sést á myndinni þá greinir búnaðurinn einungis það sem er undir bílnum sem takmarkar að einhverju leyti notagildið því líttill tími væri til að bregðast við einhverju óvæntu þegar keyrt er á miklum hraða. Hugmyndin er því að þessum upplýsingum verði deilt milli bíla t.d. með V2V/V2I í rauntíma til að allir bílar fái sem bestar upplýsingar um yfirborðið. Hugbúnaður Wavesense sér því einnig um að safna þessum upplýsingum saman og búa til nákvæm kort af yfirborði sem deilt sé og uppfærð milli bíla.

## 2.4 Dæmi um sjálfvirknitækni í bílum og flokkun hennar

Nú þegar er komin á markað margvísleg sjálfvirk tækni sem hjálpar til við akstur og gefur bílum jafnvel fulla stjórn á ákveðnum svæðum og má þar með teljast til 4-stigs tækni. Hér á eftir eru talin upp dæmi um sjálfvirknitækni og flokkun hennar samkvæmt SAE-kerfinu.

### 2.4.1 0. stigs tækni

Með 0-stigs tækni er átt við hefðbundna bíla eins og þeir hafa verið síðustu tugi ára.

### 2.4.2 1. stigs og 2. stigs tækni

*Háuljósastýring (1. stig)* – Þegar keyrt er í myrkri sér búnaðurinn um að taka háu ljósin af þegar bíl er mætt.

*Akreinastýring (1. stig)* – Hjálpar ökumanni að halda sig milli akreinalína. Búnaðurinn skynjar málaðar línur á veginum og getur stillt bílinn af innan þeirra.

*Hliðarskynjari (1. stig)* – Hjálpar ökumanni að skipta um akrein með því að skynja nálæga bíla og láta vita með lýsandi ljósi.

*Hálfsjálfvirkur búnaður til að leggja í stæði (2. stig)* – Búnaður sem aðstoðar bílstjóra við að leggja bíl í og úr stæði í bílakjallara eða heima fyrir. Bílstjórinn getur verið inni í bílnum eða fyrir utan og virkjar

þá búnaðinn t.d. með snjallsíma. Bílstjóri ber ábyrgð á aðgerðinni, fylgist með og er reiðubúinn að stoppa aðgerð ef eitthvað gerist.

*Umferðarteppu-aðstoð (2. stig)* – Búnaður sem stjórnar bíl í langferð, þ.e. skiptir ekki um akrein í aðstæðum eins og umferðarteppu (<60km/h). Búnaðurinn er sérstaklega virkjaður og sér um að fylgja umferðarstaum meðan á umferðarteppu stendur þ.e. stoppa og keyra. Bílstjóri þarf að hafa gætur á og vera tilbúinn að grípa inn í.

*ACC (e. adaptive cruise control) (2. stig)* – Sama og fyrir ofan, þ.e. búnaður sem stjórnar bíl í langferð, þ.e. skiptir ekki um akrein í aðstæðum eins og umferðarteppu (<60km/h). Búnaðurinn er sérstaklega virkjaður og sér um að fylgja umferðarstaum meðan á umferðarteppu stendur, þ.e. stoppa og keyra. Bílstjóri þarf að hafa gætur á og vera tilbúinn að grípa inn í.

*V2V eða V2I (e. vehicle to vehicle eða vehicle to infrastructure) (2. stig)* – Búnaður um borð í bílum sem sendir þráðlaus skilaboð um staðsetningu, akstursteftu og hraða milli bíla. Með V2I hafa bílar samband við innviði (vegir og umferðarljós) til að fá upplýsingar um ástand vega, t.d. umferðarpunga, slys og annað sem hefur áhrif t.d. á vegval eða valinn umferðarhraða.

*CACC (e. cooperative adaptive cruise control) (2. Stig)* – Hugmyndin gengur út á að í langkeyrslu á hraðbrautum tengi bílar sig við „stýribíl“ líkt og vagnar á lest þar sem bílstjóri stýribílsins sjái um aksturinn. Búnaður eins og V2V og ACC sem greint er frá hér að ofan gerir þetta mögulegt og fyrst um sinn mun þetta vera búnaður í vöruflutningabílum á sérstökum akreinum.

*Hjálparbúnaður í þéttbýli fyrir rútur (2. stig)* – Búnaður sem hjálpar bílstjóra við vandasaman akstur í þéttbýli eins og að keyra á þröngum akreinum og leggja við erfið skilyrði.

### 2.4.3 3. stigs tækni

*Umferðarteppustýring (3. stig)* – Búnaður sem stjórnar bíl í langferð og þverleið á hraðbraut þar sem umferðarteppa er og hraði er ekki yfir 60 km/klst. Búnaðurinn er sérstaklega virkjaður og sér um að fylgja umferðarstraum meðan á umferðarteppu stendur, þ.e. stoppa og keyra og skipta um akrein. Kerfið sér að mestu um aksturinn og bílstjóri getur gert annað á meðan. Búnaðurinn lætur bílstjóra vita ef hann þarf að grípa inni og ef bílstjóri svarar ekki mun búnaðurinn fara í öryggisfasa og stöðvast á öruggum stað.

*Hraðbrautarstýring (3. stig)* – Búnaður sem stjórnar bíl í langferð og þverleið á hraðbraut frá aðrein til fráreinar á hraða allt að 130 km/klst. Búnaðurinn er sérstaklega virkjaður og sér um allan akstur og þar með talið að taka fram úr. Kerfið sér að öllu leyti um aksturinn og bílstjóri getur gert annað á meðan. Búnaðurinn lætur bílstjóra vita tímanlega ef hann þarf að grípa inn í og ef bílstjóri svarar ekki mun búnaðurinn fara í öryggisfasa og stöðvast á öruggum stað.

### 2.4.4 4. stigs tækni

*Sjálfvirkur búnaður til að leggja í stæði í bílastæðakjallara (4. stig)* – Búnaður sem aðstoðar bílstjóra við að leggja bíl í og úr stæði í bílastæðakjallara. Bílstjórinn getur verið inni í bílnum eða fyrir utan og virkjar þá búnaðinn t.d. með snjallsíma. Bílstjóri þarf ekki að fylgjast með aðgerðinni heldur virkjað hana og farið svo. Búnaður í bílastæðakjallaranum gæti tekið að sér einhvern hluta aðgerðarinnar.

*Sjálfvirkur búnaður til að leggja í stæði innan ákveðins svæðis (4. stig)* – Búnaður sem aðstoðar bílstjóra við að leggja bíl í og úr stæði á afmörkuðu svæði þar sem aðgangur og hraði er takmarkaður. Bílstjórinn skilur við bíllinn við inngang að svæði og virkjar þá búnaðinn t.d. með snjallsíma. Bílstjóri þarf ekki að fylgjast með aðgerðinni heldur getur virkjað hana við innganginn að svæðinu og farið og kallað svo eftir bílnum þegar hann snýr aftur til að sækja hann.

*Svæðisbundin sjálfstýring (4. stig)* – Búnaður sem sér um allan akstur á ákveðnum svæðum þar sem hraði er takmarkaður eins og til dæmis í miðbæjarumhverfi eða innan úthverfis. Búnaður getur séð



um akstur í hvaða umferðarmagni sem er. Hægt er að slökkva og kveikja á búnaðinum og bílstjóri sér um aksturinn utan þessara svæða.

*Svæðisbundin sjálfstýring (4. stig)* – Búnaður sem sér um allan akstur á ákveðnum svæðum þar sem hraði er takmarkaður eins og til dæmis í miðbæjarumhverfi eða innan úthverfis. Búnaður getur séð um akstur í hvaða umferðarmagni sem er. Hægt að slökkva og kveikja á búnaðinum og bílstjóri sér um aksturinn utan þessara svæða.

*Hraðbrautarsjálfstýring (4. stig)* – Búnaður sem stjórnar bíl í langferð og þverleið á hraðbraut frá aðrein til fráreinar á hraða allt að 130 km/klst. Búnaðurinn er sérstaklega virkjaður og sér um allan akstur og þar með talið að taka framúr. Kerfið sér að öllu leyti um aksturinn og bílstjóri getur gert annað á meðan. Ekki er gert ráð fyrir að bílstjóri þurfi að grípa inn í ef hraðbrautin er búin stoðkerfum sem styðji aksturskerfin.

*Sjálfstýring á ákveðnum akreinum (4. stig)* – Búnaður sem sér td. um allan akstur strætisvagns á ákveðnum akreinum þar sem hraði er takmarkaður (40 km/klst). Enginn ökumaður væri um borð í slíkum farartækjum.

#### 2.4.5 5. stigs tækni

Alsjálfvirkur búnaður sem kemur fararæki frá A til B hvar sem er í hvaða skilyrðum sem er án nokkurrar aðstoðar farþega. Enn er ekki kominn búnaður á markað sem getur undir öllum kringumstæðum keyrt án aðkomu bílstjóra.



Mynd 3) Farþegar sinna öðrum erindum meðan á akstri stendur (Heimild: Rinspeed AG).

### 3. Framtíðarsýn, ávinningar og áskoranir

Hingað til hafa bílaframleiðendur þróað sjálfvirkni fyrst og fremst til að auka þægindi og öryggi bílstjóra og farþega. Síðustu ár hefur þó orðið ljóst að sjálfvirknin muni einnig hafa víðtæk áhrif á aðra þætti svo sem umferðarrýmd, umhverfi og ýmsa félagslega þætti.

### 3.1 Áhrif á ferðamynstur

Hvernig samgöngumynstur mun breytast með tilkomu sjálfkeyrandi bíla mun hafa mikið að segja um hversu mikil áhrifin verða á t.d. umferðarrýmd, innri/ytri kostnað og svo umhverfisáhrif. Einhverjir þættir verða til þess að auka ekna kílómetra meðan aðrir munu verða til þess að fækka þeim. Í meðfylgjandi töflu eru taldir til nokkrir þættir sem munu hafa mikil áhrif á ferðamynstur okkar með tilkomu sjálfkeyrandi bíla.

Tafla 2) Þættir sem hafa áhrif á ferðamynstur fólks með tilkomu sjálfkeyrandi bíla.

| Þættir sem auka ekna kílómetra  | Þættir sem fækka eknum kílómetrum   |
|---|---|
| Aukinn akstur þeirra sem geta/mega ekki keyra bíl í dag.  | Aukin þægindi deilibílaþjónustna/farveitna fækkar einkabílum og ferðum með þeim.    |
| Aukin þægindi og framleiðni meðan á ferð stendur mun auka akstur (fólk býr fjær vinnu/erindum sínum). | Sjálfkeyrandi almenningsamgöngur verða ódýrari og aðgengi að þeim verður þægilegra. |
| Bílar aka tómir eftir að hafa skutlað, eða eru að sækja farþega.                                      | Fækkun bílastæða stuðlar að þéttari byggð sem eykur notkun virkra ferðamáta.        |

#### Þættir sem auka ekna kílómetra

Sjálfkeyrandi bílar munu fjölga bílferðum hjá þeim sem ekki keyra í dag, eins og börnum undir bílprófsaldri og öðrum sem sökum fötlunar, hás aldurs eða annarra ástæðna geta ekki eða mega ekki keyra bíl. Þessi hópur er nokkuð stór en ef bara er horft til fjölda barna 16 ára og yngri á Íslandi er það 22% þjóðarinnar. Þessi hópur reiðir sig í dag á skutl með fjölskyldumeðlimum eða að ferðast með öðrum ferðamátum. Talið er að bílferðum þessa hóps muni fjölga til muna með tilkomu sjálfkeyrandi bíla hvort sem það sé eitt í bíl eða í samfloti með öðrum. Rannsóknir hafa sýnt fram á að bara þessi þáttur geti aukið heildarakstur um allt að 11% (Michael Sivak, 2015).

Það að geta „gert annað“ á meðan á ferð stendur eins og að vinna eða sinna öðrum erindum eykur framleiðni og þægindi ferðamáttans sem mun ýta undir frekari útpenslu byggðar. Fólk mun ekki setja eins mikið fyrir sig langan ferðatíma milli heimilis og erinda sem mun líklega auka meðallengd bílferða (Stephens, o.fl., 2016).

Einnig er talið að sjálfkeyrandi bílar muni keyra að einhverju ráði tómir t.d. þegar þeir eru að sækja eða skila af sér eiganda sínum. Sem dæmi þá skilar billinn af sér eiganda sínum fyrir framan vinnu hans miðsvæðis þar sem bílastæði eru dýr en keyrir nokkra vegalengd þar sem bílastæði eru ódýrari eða ókeypis. Þetta getur líka átt við deilibíl sem keyrir frekar um í leit að farþega heldur en að leggja því það sé ódýrara (ITF, Urban Mobility System Upgrade, 2014).

#### Þættir sem fækka eknum kílómetrum

Það sem fær ferðamynstur til að breytast á þann veg að eknum kílómetrum fækkar er að eignamynstur fólks á bílum mun breytast. Fólk mun minnka bílaeign sína og ferðast meira með deilibílum eða farveitum því það verði ódýrara, aðgengilegra og þægilegra. Eignamynstrið er mikilvægt í þessu samhengi því að eiga bíl sem hefur háan fastan kostnað en lágt kílómetra gjald er hvati fyrir fólk að keyra mikið til að „réttlæta“ fjárfestinguna. Til samanburðar þá mun deilibíll eða farveita ekki hafa neinn fastan kostnað fyrir farþega en á sama tíma mun lægra kílómetragjald en leigubíll í dag. Þetta mun draga úr bílaeign en í þess stað muni fólk leigja sér bílferðir í meira mæli með deilibílaþjónustum eða farveitum. Kílómetragjaldið mun þá einnig vera hvati fyrir fólk til að ferðast minna með bíl og meira með virkum ferðamátum í mörgum ferðum. Þetta breytta eignamynstur fær heimilin til að minnka ferðir með einkabíl til muna með því að rétta samkeppnisstöðu annarra ferðamáta og bæta val. Rannsókn hefur sýnt fram á það að bílferðum geti fækkað um 25-75% í borgum með því að heimilin fari frá því að eiga bíl yfir í það að nota deilibílaþjónustu eða farveitu (Kristin Lovejoy, 2013).

Snjallsamgöngur eða fjölfærðamatakerfi (e. Mobility as a Service, MaaS) er einnig taldar hafa miklar breytingar á færðamynstur en hugtakið er átt við snjallar samþættar samgöngur sem ganga út á það að algrími reikni út hagstæðasta færðamátann fyrir mismunandi færðir sem getur í mörgum tilfellum verið mismunandi í sömu færð (heimili->bíll->strætó->hjól->vinna). Hugtakið gerir ráð fyrir að notandi hafi aðgang að mörgum farveitum í gegnum sama pöntunar/greiðslukerfið eins og t.d. hjóla- og vespuleigu, almenningssamgöngum, deilibíla svo eitthvað sé nefnt. Talið er að slík kerfi geti aukið vinsældir færðamáta sem nýti pláss á þéttbýlum svæðum betur eins og hjól, hlaupahjól og almenningssamgöngur. Þá er einnig talið að kerfið geti aukið skilvirkni sjálfkeyrandi línulegra almenningssamgangna með því að tengja síðasta kílómetrann frá/til stoppistöð með öðrum færðamáta t.d. farveitu eða deilihjóli.

Með tilkomu farveitna og annarra skilvirkari leiða til samgangna eins og snjallsamgöngur er talið að ekki verði eins mikil þörf fyrir bílastæði þannig að hægt verður að nýta þau svæði betur t.d. undir þéttari byggð. Mikil fylgni er milli þéttari byggðar og notkun virkra færðamáta sem leiðir til fækkunar á eignum kílómetrum (Norheim, 2006).

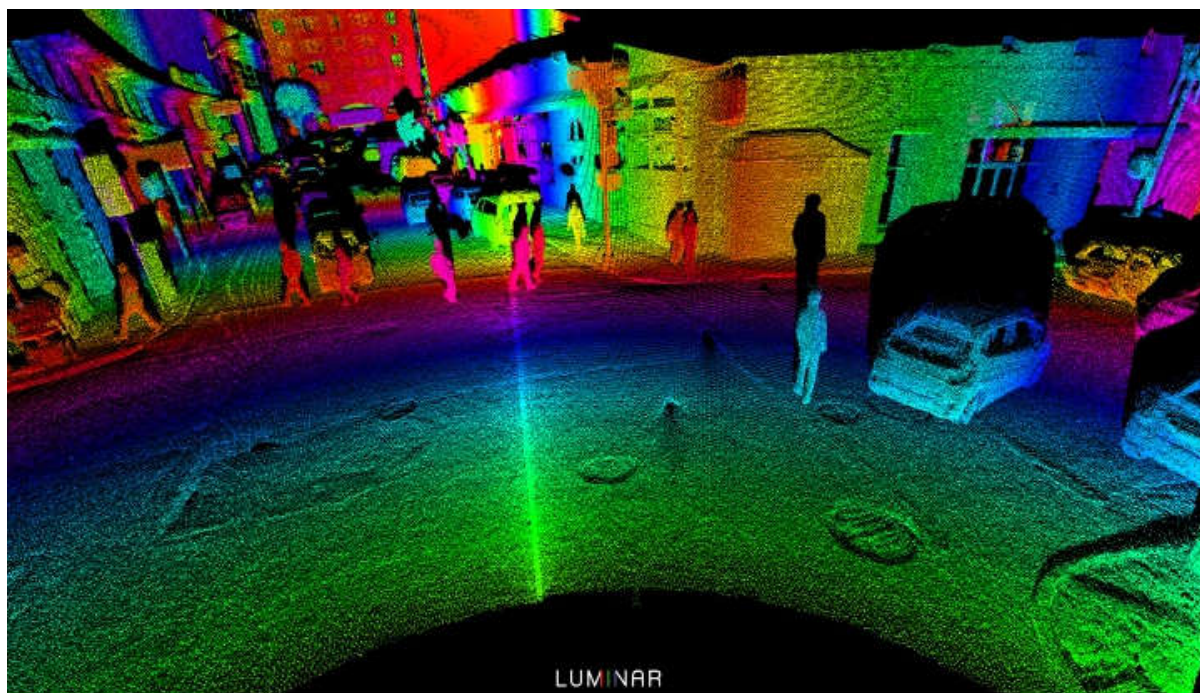
Talið er að farveitur, verði vinsæll færðamáti en sumir hafa gengið mjög langt í framtíðarsýnum sínum og boðað algjöra byltingu. Bjartsýnustu spár gera ráð fyrir að árið 2030 verði 95% allra farþegakílómetra í Bandaríkjunum farnir með farveitum sem eiga og reka sjálfkeyrandi hreinorkubíla. Þær muni geta boðið farþegum sýnum hágæða þjónustu, hraðar, öruggar og tíðar færðir á einungis 10% þess verðs sem það kostar að eiga bíl (Kok, Zou, Gordon, & Mercer, 2017) (Keeney, 2017). Bent hefur þó verið á að þessar spár séu líkast til of bjartsýnar og mikið til byggðar á vanáætluðum forsendum eins og bent hefur verið á í köflum 3.2 og 3.3 þessu til stuðnings má einnig nefna eftirfarandi atriði sem fær fólk frekar til þess að eiga sinn eigin bíl:

- **Þægindi.** Fólk geymir hluti í bílum sínum sem það vill hafa við höndina eins og t.d. bílstóla, verkfæri eða íþróttabúnað.
- **Hraði og áreiðanleiki.** Við bestu skilyrði kemur leigubíll í dag á undir 5 mínútum eftir að hafa verið pantaður sem gæti verið svipað eða aðeins betra í framtíðinni. Að fá leigubíl tekur hins vegar miklu meiri tíma í dag á háannatímum og í dreifbýlum úthverfum.
- **Kostnaður.** Farveita eða deilibílaþjónusta er ábatasöm fyrir fólk sem keyrir undir 10.000 kílómetra á ári. Mjög hátt hlutfall þeirra sem búa í dreifðum byggðum eða aðrir sem af einhverjum ástæðum keyra mjög mikið í dag eru líklegir til að gera það áfram.
- **Stolt.** Bílar er áhugamál hjá mörgum og að eiga bíl er mikið tengt stolti. Þetta gerir það að verkum að það verður alltaf mikil eftirspurn eftir því að eiga bíl.

Þegar horft er til allra þessara sjónarmiða þá er líklegasta sviðsmyndin að mörg heimili muni áfram eiga bíl en draga verulega úr fjölda þeirra t.d. eiga bara einn bíl í stað tveggja áður. Einnig er líklegt að fólk velji einnig aðra færðamáta en bíl fyrir margar af sínum færðum.

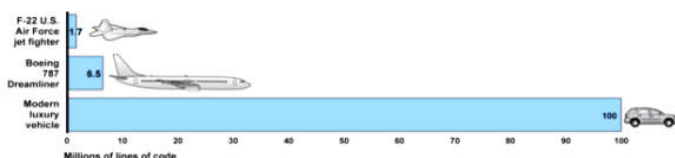
### 3.2 Áhrif á umferðaröryggi

Talið er að 90% allra banaslysa í umferð stafi af mannlegum mistökum og bjartsýni ríkir um að sjálfkeyrandi bílar muni alfarið koma í veg fyrir þessi slys. Stærsta stökk í auknu öryggi með tilkomu sjálfkeyrandi bíla er það að róbot/tölvamuni sjá um aksturinn en ekki manneskja. Róbotinn er forritaður til að fylgja umferðarreglum og heldur fullkominni athygli við aksturinn allan tímann. Róbotinn mun ekki truflast af tilkynningum á símanum sínum, leiðinlegu lagi í útvarpinu eða af samfarþegum sínum. Fullkominn skynjarabúnaður mun geta skynjað umhverfi sitt jafn vel í myrkri og í birtu og viðbragðstíminn mun verða mun betri en þekkt hjá mannlegum ökumanni (sjá mynd að neðan tekna um nótt með Lidar skanna um borð í bíl).



**Mynd 4) Á myndinni sést hvernig Lidar tæknin greinir umhverfi sitt (TechCrunch).**

Af þessum sökum hefur því verið haldið fram að tryggingakostnaður og kostnaður samfélagsins muni minnka sem því nemur. Nýjustu rannsóknir benda til þess að þó að ný tækni fyrirbyggji mikið af slysum muni henni þó fylgja möguleikar á annarskonar slysum (Kockelman, Avery, Bansal, & Boyles, 2016), (Koopman & Wagner, 2017). Sem dæmi má nefna flækjustig þess að láta tölvu greina samspils bíls við flókið umhverfi og ófyrirsjáanlegra atvika sem mun kalla á margfalt flóknari hugbúnað en þekktist í dag. Á meðfylgjandi mynd er flækjustig hugbúnaðar sem þyrfti fyrir sjálfkeyrandi bíl borin sama við sjálfvirkniþúnað flugvéla í dag. Þróun og viðhald slíks hugbúnaðar er mjög krefjandi og kostnaðarsamur og ómögulegt er að tryggja að aldrei komi upp villa (Litman, 2018).



**Mynd 5) Flækjustig sjálfvirknihugbúnaðar bíla borin saman við sambærilegan hugbúnað flugvéla í dag.**

Nokkur dæmi um „annars konar“ slys:

- **Bilun í hugbúnaði eða vélbúnaði.** Flókin tölvukerfi geta bilað, jafnvel einfaldur búnaður getur valdið því að kerfin geri vitleysu. Sem dæmi mætti nefna fólks boð frá skynjara, lélegt merki frá umhverfi eða villa í hugbúnaði. Þetta gæti valdið alvarlegum slysum.
- **Árásir frá tölvuþrjótum.** Líkt og með tölvur og snjallsíma í dag er alltaf hættu fyrir hendi á að þrjótur geti gert árásir á sjálfkeyrandi bíla til þess eins að valda skaða.
- **Aukin áhættuhegðun.** Þegar farþegar upplifa sig öruggari hafa þeir tilhneigingu til að taka meiri áhættu. Þetta er þekkt hegðun í umferð og má nefna dæmi um þessa hegðun að ökumenn eiga það til að keyra hraðar í björtu samanborið við myrkur. Hætt er við því að þessi tilhneiging fái fólk t.d. til þess að sleppa bílbelti um borð í sjálfkeyrandi bílum, og aðra óvarða vegfarendur til að taka meiri áhættu (Millard-Ball, 2017).

- **Áhætta vegna aksturshópa (e. platooning).** Aksturshópun er þegar bílar hópa sig þétt saman og keyra á jöfnum auknum hraða til að auka skilvirkni og þægindi. Fyrst um sinn mun þetta vera á hraðbrautum á sérakreinum þar sem sjálfkeyrandi bílar tengjast „stýribíl“. Ákveðin áhætta fylgir því ef mannlegir ökumenn myndu bætast í aksturshópin, það gæti valdið alvarlegum slysum.
- **Auknir aksturskílómetrar.** Með auknum þægindum sjálfkeyrandi bíla er talið að eknum kílómetrum muni fjölga sem tölfræðilega mun fjölga slysum (Trommer, Kolarova, & Phleps, 2016).
- **Aukin hætta annara vegfarenda.** Sjálfkeyrandi bílar geta ekki haft sambærileg samskipti við gangandi og hjólandi líkt og við aðra bíla og eiga þar af leiðandi erfiðara með að skynja þá. Þetta felur í sér aukna áhættu fyrir óvarða vegfarendur (PBIC, 2017).

Nokkuð ljóst er þó að ný tækni muni hafa mikil áhrif í þá átt að auka öryggi vegfarenda en hversu mikil hún verður getur bara tíminn látið í ljós (ITF, Safer Roads with Automated Vehicles?, 2018).

### 3.3 Áhrif á kostnað

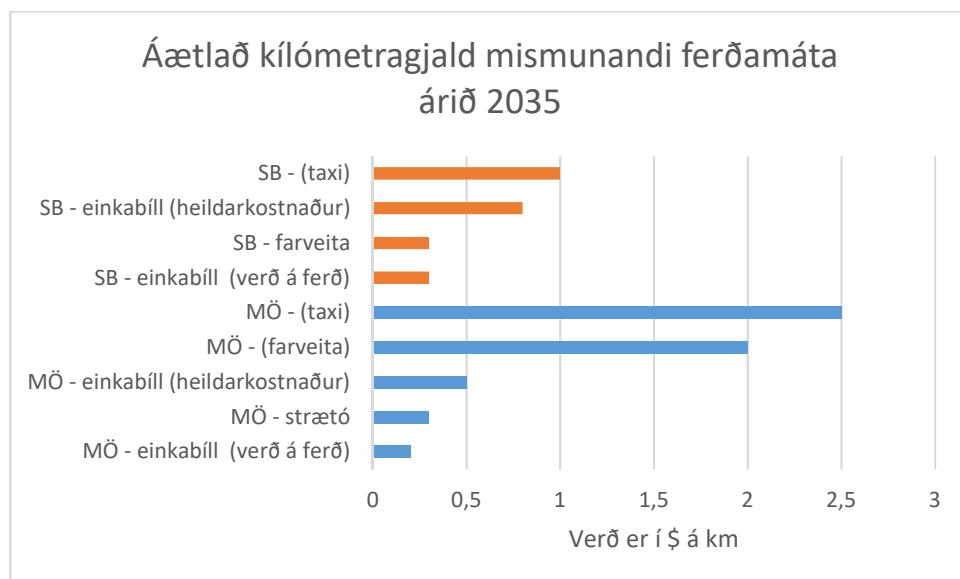
Sjálfkeyrandi bílar munu þurfa ýmsan aukabúnað og þjónustu umfram það sem hefðbundnir bílar þurfa í dag (sjá töflu fyrir neðan). Þetta mun bæta umtalsverðum kostnaði við grunnverð bílsins. Til dæmis munar talsvert á verði í dag á bíl með grunnbúnað og sem dæmi þá kosta í dag aukapakkar með t.d. fjarlæsingu, ACC (e. *adaptive cruise control*), hliðarskynjara, akreinastýringu og umhverfismyndavél um 800 þús. (skv. verðlista fyrir Audi Q7). Þar sem bilun á skynjarabúnaði sjálfkeyrandi bíla getur haft mjög alvarlegar afleiðingar eru gerðar strangari framleiðslukröfur. Einnig þarf búnaðurinn að vera harðgerður og þola mikið álag. Einnig verða gerðar strangari kröfur um eftirlit og viðhald. Ef eigandi ætlar að leigja bílinn út þarf hann einnig að koma fyrir eftirlitsbúnaði til að tryggja öryggi farþega og minnka líkur á skemmdarverkum. Þá þarf hann einnig að gera ráð fyrir auknum þrifum vegna fjölda notenda..

Tafla 3) Þættir sem auka við kostnað sjálfkeyrandi bíla.

| Öll sjálfkeyrandi farartæki   | Að auki fyrir sjálfkeyrandi deilibíla                     |
|---|---|
| Skynjarar, (optikal, innrauðir, radar, laser o.s.frv.).             | Aukin þrif og viðhald.                                    |
| Sjálfvirknibúnaður (beygja, bremsa, ljós o.s.frv.).                 | Aðgangur að flotastýringarþjónustu.                       |
| Ýmis tölvubúnaður og hugbúnaður.                                    | Ýmis leyfi og viðbótartrygging.                           |
| Ýmis samskiptabúnaður (þráðlaust net, bíl til bíl (V2V) samskipti). | Öryggisbúnaður (eftirlitsmyndavélar).                     |
| Leiðsögubúnaður (gps, aðgangur að hágæða kortum o.s.frv.).          | Kostnaður vegna keyrslu tómur að sækja og skila farþegum. |
| Meiri kröfur á eftirlit með búnaði og viðhald.                      |   |

Þegar allt er upp talið þá mun allur þessi aukabúnaður sem fylgir sjálfkeyrandi bílum á 4. eða 5. stigi gera þá mjög dýra og rekstrarkostnað háan. Til að byrja með munu þessir bílar vera aukabúnaður í dýrum bílum og það munu líða um 10 til 30 ár þar til búnaðurinn verði kominn í ódýra til miðlungsóðýra bíla (Litman, 2018).

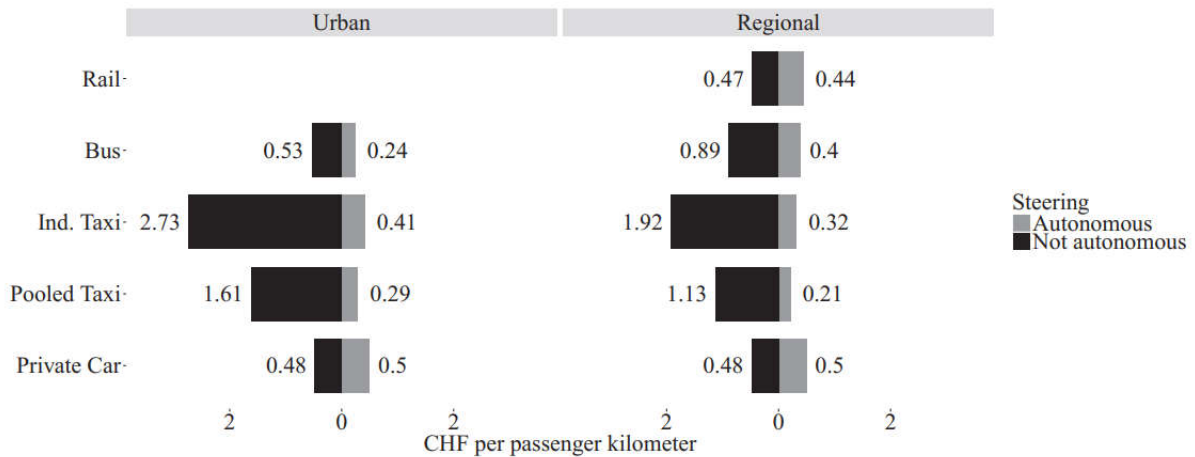
Spár hafa verið gerðar um það hvað mismunandi ferðamátar muni kosta í framtíðinni og á meðfylgjandi mynd má sjá samanburð á áætluðu kílómetragjaldi árið 2035 þar sem ferðamátar eru bornir saman, þá bæði sem sjálfkeyrandi þjónusta eða með mannlegum bílstjóra. Á myndinni eru tvær súlur fyrir einkabíl eða ein fyrir heildarkostnað (Notkun, tryggingar, afskriftir fjármagnskostnaður) og önnur fyrir „kostnaður á ferð“ (bensín, viðhald, hjólbarðar) en þetta er gert til að einfalda samanburð við aðra ferðamáta ef þú átt nú þegar bíl.



**Mynd 6) Samanburður á kostnaði á ekin kílómetra mismunandi ferðamáta, bláar súlur þegar ökumaður er mannlegur(MÖ) og appelsínugular þegar um er að ræða sjálfkeyrandi bíll (SB) (Litman, 2018).**

Komið hafa fram rannsóknir sem sýna fram á mun lægra kílómetragjald sjálfkeyrandi deililílabjónustu eða allt niður í 0,1\$ per mílu (Keeney, 2017) (Kok, Zou, Gordon, & Mercer, 2017). Þessar rannsóknir vanmeta að öllum líkindum viðhaldskostnað, þrífakostnað, arðsemiskröfu og gera ekki ráð fyrir að hluta aksturs sé bíllinn tómur. Einnig er tryggingakostnaður mjög lágur, líklega vegna ofmats á öryggi sjálfkeyrandi bíla í framtíðinni (Litman, 2018). Þá er ekki gert ráð fyrir notendagjöldum líkt og með rafbíla í dag sem borga ekki eldsneytisgjald, þetta er þó talið breytast í framtíðinni með auknu hlutfalli rafbíla og annarra hreinorkubíla. Ein rannsókn sýndi fram á að heildarkostnaður yfir árið deilt á kílómetra gæti kostað á bilinu 0,8-1,2\$ per mílu á næstu 10-20 árum en gæti farið niður í 0,6-1,0\$ per mílu árið 2035 (Stephens, o.fl., 2016). Ein rannsókn sýndi fram á að sjálfkeyrandi deililílar muni kosta á bilinu 0,2-0,4\$ per mílu m.v. meðalfarþegafjölda á bilinu 3-6 (Bösch, Becker, Becker, & Axhausen, 2018). Til samanburðar kostar hefðbundinn strætó um 0,2-0,4\$ per mílu og hefðbundinn leigubíll um 2-3\$ per mílu. Hefðbundinn einkabíll er áætlaður í þessum samanburði að kosti 0,5\$ per mílu m.v. 12 þús mílna akstur á ári (Litman, 2018).

Annar áhugaverður samanburður á kostnaði mismunandi ferðamáta með sjálfkeyrandi tækni var rannsókn unnin af vísindamönnum í ETH Zurich (sjá mynd hér á eftir).



**Mynd 7) Samanburður á kostnaði mismunandi ferðamáta með eða án sjálfkeyrandi tækni (Bösch, Becker, Becker, & Axhausen, 2018).**

Í þessum samanburði líkt og þessum hér á undan er aftur verið að lýsa „operating cost per passenger kilometer“ eða rekstrarkostnaði á mannkilómetra (afskriftir, tryggingar og fjármagnskostnaður ekki tekinn með) og samkvæmt honum er einkabíllinn ódýrasti ferðamátinn án sjálfkeyrandi tækni. Í núverandi samgöngukerfi er dýrustu ferðamátarnir þeir sem eru með bílstjóra eða hefðbundinn leigubíll (ind. Taxi) og/eða farveita (e. pooled taxi). Litlu dýrari en einkabíllinn er hefðbundinn strætó.

Myndin breytist umtalsvert þegar bílar eru orðnir sjálfkeyrandi hjá öllum ferðamátum fyrir utan einkabíllinn og hefðbundnar lestir. Þegar bílstjóri er úr myndinni hjá farveitum og leigubílum eru þeir orðnir ódýrari en einkabíllinn. Ódýrasti ferðamátinn þegar ekki er þörf fyrir bílstjóra er sjálfkeyrandi strætó en hann er þó ekki langt frá farveitum.

### 3.4 Áhrif á umhverfi

Mannlegir bílstjórar hafa hverjir sitt lag á akstrinum, sumir gefa vel í á milli umferðaljósa og bremsa svo á næstu meðan aðrir hafa tamið sér vistakstur, keyra jafnar og nýta þar af leiðandi betur eldsneyti bílsins. Sjálfkeyrandi bílar verða að öllum líkindum forritaðir til að keyra í vistakstri til að auka hagkvæmni í akstri, vera sparneytnari á eldsneyti sem þar af leiðandi eru taldir minnka losun á gróðurhúsalofttegundum. Til viðbótar við forritaðan vistakstur verða bílar jafnvel orðnir tengdir. Þegar bílar eru einnig orðnir tengdir munu þeir virka sem ein heild þ.e. taka af stað og stoppa á sama tíma og bíll milli þeirra minnka. Bílar munu þá einnig vera tengdir við umferðaljós og vita hvort þeir muni lenda á rauðu ljósi eða ekki og velja sér leið út frá því. Með þessu ferðast bílar hlutfallslega oftár á svokölluðum grænum bylgjum sem leiðir til þess að bílar muni sjaldnar þurfa að stoppa og ferðahraði verða jafnari og ferðatími minnkar.

Til að kanna hugsanleg áhrif sjálfkeyrandi bíla á eldsneytisnotkun var gerð rannsókn á vöuf lutningabílum sem keyra í aksturshóp (e. platoon) á þjóðvegum. Tveir sjálfkeyrandi trukkanar keyrðu mjög þétt saman og eldsneytisnotkunin var mæld, þetta var svo borið saman við tvo trukka í hefðbundnum akstri með mannlegum ökumanni og hraðastilli (e. cruise control). Niðurstaða rannsóknarinnar var sú að seinni trukkurinn minnkaði eldsneytisnotkun sína um 8-13% og fyrri trukkurinn um 2-8%. Það sem skýrir mismuninn er loftmótstaðan. Þetta hefur talsverð áhrif á losun koltvísýrings sem er um 2,6 kg á hvern líter af díselolíu.

Nýlega kom út önnur rannsókn þar sem fólk bílar voru rannsakaðir. Gekk sú rannsókn út á að vistferilsgreina sjálfkeyrandi bíla til að komast að áhrifum þeirra á orkunotkun (á mynd að neðan má sjá bíllinn sem var notaður í rannsókninni). Rannsóknin byggist á greiningu á 4. stigs sjálfkeyrandi bílum með þeirri tækni sem er til staðar í dag. En eins og eftirfarandi mynd gefur til kynna er tæknin nokkuð fyrirferðarmikil í dag samanborið við hefðbundna bíla og bætir við umtalsverðri þyngd. Niðurstaða

rannsóknarinnar var sú að sjálfkeyrandi bílar gefa frá sér á bilinu 3-20% meiri gróðurhúsalofttegundir samanborið við hefðbundna bíla vegna aukinnar orkuþarfar til að knýja auka rafeindabúnað eins og skynjara, aksturstölvu, auka þyngd vegna búnaðarins og aukinnar loftmótstöðu. Tölvukerfið sem var 45% af heildarþyngd bílsins, notaði um 80% af allri orkunni og jók útblástur um 43%. Hins vegar þegar sparnaður í orkunotkun er tekinn saman sem hlýst af meiri vistakstri, aksturshóp (e. platooning) og sambandsáhrifa bílanna við innviði þá voru nettóáhrifin samkvæmt rannsókninni þau að sjálfkeyrandi bílar draga úr gróðurhúsalofttegundum um 9% (Gawron, Keoleian, Kleine, Wallington, & Kim, 2018).



Mynd 8) Sjálfkeyrandi bíll með aukabúnaði (heimild: DMV.org).

Það hefur einnig verið bent á að sjálfkeyrandi bílar þurfi ekki að vera eins þungir og hefðbundnir bílar ef spár gangi eftir um að verulega muni draga úr slysum vegna tækninnar. Mikið af þyngd bíla í dag er vegna reglugerða um lágmarksþyngd vegna öryggis farþega (SDG, 2016).

Sá þáttur sem talinn er að muni verða ráðandi því hversu mikil áhrif sjálfkeyrandi bílar muni hafa á umhverfið eru eknir mannkílómetrar. Það er líklegt að sjálfkeyrandi bílar muni menga minna, þegar allir þættir eru teknir með, fyrir hvern ekinn kílómetra en á móti er talið að eknir kílómetrar muni aukast. En eins og er skýrt betur í kafla 3.1 er mjög erfitt að sjá fyrir hver áhrifin verða á ferðamynstur því líklegt er að aukin þægindi og aðgengi að ódýrari ferðum muni fjölga ferðum og jafnvel lengja meðallengdir ferða. Rannsókn á þessu hefur sýnt fram á að með því að lækka verð á eknum kílómetra um 10% aukast þeir um 1% (NHTSA).

### 3.5 Félagslegir þættir, ábyrgð og siðferði

#### Ábyrgð

Ábyrgð vegna slysa er mál sem ekki er komið í fastar skorður og þarf að skoða betur og skilgreina til að tryggja almenna viðurkenningu ferðamatans og koma í veg fyrir átök milli hagsmunaaðila. Þar sem prófanir fara fram á tækninni virðist ábyrgðin vera á framleiðanda búnaðar en erfiðara að segja hver ber ábyrgð þegar sjálfvirkum ökutækjum er heimilt að keyra frjálst um opinbera innviði. Hagsmunaaðilar hafa veitt mismunandi svör í umræðu um ábyrgð sjálfvirkra kerfa sinna: Volvo lýsti því yfir að það taki fulla ábyrgð á slysum vegna sjálfkeyrandi bíla sinna en Tesla sagði að ökumaðurinn muni bera ábyrgð ef slys eiga sér stað í sjálfstýringu. Vátryggingafélög benda á að iðgjöld trygginga eru taldin breytast mikið samhliða þróun tækninnar. Innlend löggjöf mun þurfa að skera úr um hver sé



ábyrgur í umferðarslysi á öllum stigum sjálfkeyrandi tækni og ábyrgðin gæti breyst frá því að vera eingöngu á hendi bílstjóra í dag yfir til framleiðanda búnaðar á seinni stigum þróunarinnar. Þetta gæti leitt til lækkunar á iðgjöldum bílaeigenda eftir því sem ábyrgðin flyst yfir til framleiðenda en eftirspurn eftir tryggingum muni aukast á mótí frá bílaframleiðendum. Þrátt fyrir þetta væru, líkt og tíðkast í öðrum atvinnugreinum, bílnotendur alltaf ábyrgir fyrir slysum vegna vanrækslu á viðhaldi ökutækisins (SDG, 2016).

### Siðferði

Sjálfkeyrandi bílar munu þurfa að safna og deila sín á milli upplýsingum í miklu magni eins og t.d. staðsetningu, hraða, ástandi vegar, ferðaáætlunum og jafnvel myndbandsupptökum af nánasta umhverfi. Siðferðislegar spurningar munu vakna varðandi gagnaoýggi og persónuvernd um það hvaða gögnum má/þarf að safna, geymslu þeirra, tilgangi gagnasöfnunar og hvernig þeim er deilt og eignarhald þessara gagna. Það þarf skýrt regluverk um gagnasöfnun sem þessa sem stýrir notkun og skilgreinir meðferð þeirra.

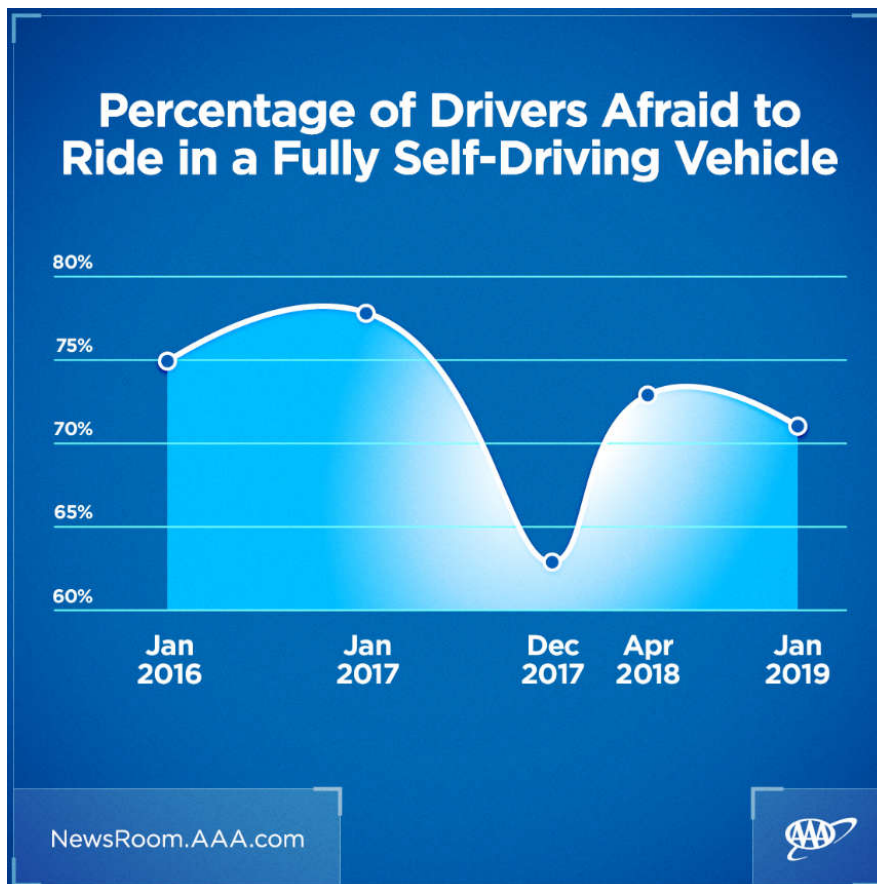


Mynd 9) Álitaspurningin um hvernig hugbúnaður sjálfkeyrandi bíla á að velja útkomu alvarlegra slysa (heimild: IBTimes UK).

Annað mikilvægt siðferðislegt mál varðar forritun hegðunar mjög sjálfvirks eða sjálfkeyrandi ökutækis ef óhjákvæmilegt slys mun eiga sér stað. Á búnaðurinn að forðast að keyra á barn en keyra frekar á gamla manninn á myndinni hér að ofan eða ætti búnaðurinn að fórna farþega ökutækisins af einhverjum ástæðum? Ákvörðun mest viðunandi niðurstöðu í tilfelli slyss krefst siðferðislegrar umræðu meðal hagsmunaaðila þar sem þessi þáttur mun líklega hafa mikil áhrif á samfélagslega viðurkenningu sjálfkeyrandi bíla. Einnig snertir þetta siðferðislegar spurningar tengdar gagnaoýggi. Væri t.d. hægt að láta breyta búnaði þannig að hann velji alltaf útkomu sem væri bílstjóranum/eigandanum í hag?

## Almenningsálit

Niðurstöður úr könnun sem McKinsey lét gera árið 2015 um sjálfkeyrandi ökutæki meðal 3.184 nýrra eigenda ökutækja í Þýskalandi, Bandaríkjunum og Kína bendir til þess að veruleg vinna sé eftir til að ná víðtækri viðurkenningu tækninnar meðal almennings. Meðal annars kom fram að einungis um 61% væru fylgjandi því að tæknin verði leyfð. Einungis 49% myndu vilja kaupa sér sjálfkeyrandi bíl þrátt fyrir að það myndi ekki kosta þá neitt aukalega ef ekki væri möguleiki á hefðbundni stýringu. Hlutfallið jókst hins vegar í 79% ef bíllinn myndi einnig leyfa hefðbundna stýringu (McKinsey, 2015). Í nýlegri Eurobarometer könnun á sjálfkeyrandi kerfum kom fram að einungis þriðjungur fólks (35%) væri ánægður með tilhugsunina að ferðast um í sjálfkeyrandi bílum. Alger meirihluti svarenda í 23 aðildarríkjum Evrópusambandsins segjast eiga erfitt með tilhugsunina um að ferðast um í sjálfkeyrandi bílum. Fólk virðist vera hlynntara því að sjálfkeyrandi bílar flytji einungis vörur en 4 af 10 svarenda eru samþykkrir því (EU, 2015).



Mynd 10) Viðhorfskönnun bandaríska Bílgreinasambandsins (American Automobile Association).

Viðhorfskönnun sem hefur verið framkvæmd reglulega í Bandaríkjunum sýnir litla breytingu á viðhorfi Bandaríkjamanna gagnvart sjálfkeyrandi bílum (sjá mynd að ofan) en um 73% svarenda myndu ekki treysta sér til að aka í sjálfkeyrandi bíl árið 2019. Viðhorfskönnunin sýnir einnig að einungis 19% svarenda myndu treysta sér til að senda barnið sitt með sjálfkeyrandi bíl (AAA, 2019). Þeir telja þetta hinsvegar breytast hratt með meiri prófunum á tækninni og fræðslu til almennings.

### 3.6 Áhrif á umferðarrýmd

Þó að hagsmunaaðilar séu almennt sammála um jákvæð áhrif sjálfvirkra ökutækja á umferðaröryggi, þá eru þeir ekki sammála um hver heildaráhrif sjálfkeyrandi og tengdra bíla er á umfang umferðar og

umferðarrýmd. Það þykir nokkuð líklegt að tæknin muni hafa jákvæð áhrif á afköst vegakerfa en þegar áhrif breytinga á ferðamynstur er tekin með eru nettóáhrifin t.d. á tafir mjög óljós.

Með aukinni sjálfvirkni ökutækja og samskipta milli bíla er talið að ökutæki geti notað núverandi innviði á mun skilvirkari hátt og með því aukið heildarumferðarrýmd vegakerfa til muna. Mjög sjálfvirk og tengd ökutæki eru talin keyra bíla á mun nákvæmari hátt en mennskir ökumenn með því að geta metið allt umhverfi umhverfis bílinn samtímis í rauntíma og brugðist við breytingum með betri viðbragstíma en mennskur ökumaður. Áhrifin eru talin verða þau að mögulegt verði að koma mun fleiri ökutækjum fyrir á sömu vegum en í dag með samræmdum akstri þ.e. minna bíl verður milli bíla og mun færri bremsunnar- og hröðunartilfelli. Bæði væru sjálfvirkir bílar að senda hverjum öðrum upplýsingar um hvenær gefið er í eða hemað og nákvæm mælitæki bílanna væru stöðugt að meta hröðun nálæggra bíla. Áhrifin af þessu væru stóruávinir umferðarrýmd því að sjálfvirkir/sjálfkeyrandi bílar gætu bæði ekið mun þéttar og mun hraðar með samræmdum akstri, minna millibil verður og óþarfa hemlun/innngjöf minnkar umtalsvert. Að bílstjórar séu að bremsa og gefa í á víxl í þéttari umferð er oft meginástæða raðamyndunar. Rannsóknir hafa sýnt fram á allt að fimmföldun á umferðarrýmd þegar heildaráhrif tækninnar er tekin saman (Anderson, o.fl., 2014). En til að tæknin hafi einhver teljanleg áhrif á umferðarrýmd þarf verulega hátt hlutfall sjálfkeyrandi og tengdra bíla. Sem dæmi má nefna tilraunir á búnaði fyrir aksturshópa (e. platooning) sem sýndi aukningu upp á 1%, 21% og 80% í umferðarrýmd með hlutfalli bíla með búnað uppá 10%, 50% og 90%. Einnig er nefnt í skýrslunni að það væri hægt að ná meiri virkni ef aðrir bílar sem ekki væru með búnað væru með einfaldan staðsetningar- og samskiptabúnað sem léti sjálfvirka bíla vita um staðsetningu sína og aksturstillhögun (Shladover, Su, & Lu, 2012). Til viðbótar við þetta mun upplýsingaflæði milli tengdra bíla (V2V) og milli bíla við innviði (V2I) gera samræmingu heils umferðakerfis mögulega. Í sjálfkeyrandi bíl stilla farþegar inn upplýsingar um áfangastað sem bíllinn sér um að miðla til annarra bíla og innviða eins og t.d. umferðaljósa. Með þessu samræmir allt umferðakerfið leiðaval allra eftir ákveðnum samfélagslega viðurkenndum aðferðum sem gæti t.d. verið lágmörkun ferðatíma allra eða lágmörkun á umhverfisáhrifum eða blanda af mörgum þáttum.

Það sem gæti einnig haft merkjanleg áhrif á umferðarrýmd í náinni framtíð með tilkomu sjálfvirkra bíla er minnkun tafa vegna færri umferðarslysa, t.d. aftanáákeyrslna. Talið er að um fjórðungur allra tafa sé vegna umferðarslysa eða bilaðra bíla sem eru stöðvaðir á aksturbrautum samkvæmt bandarísku vegagerðinni (Anderson, o.fl., 2014).

Þegar allir þessir þættir eru teknir saman, þá er það að sjálfvirkir bílar skynji hver annan og hafi samskipti sín á milli og við innviði, ásamt spá um fækkun óhappa, og að því gefnu að umferðarmagn haldist óbreytt, eru vísindamenn nokkuð sammála um að tæknin muni leiða til aukinnar umferðarrýmdar og þar af leiðandi minni tafa. Það sem aftur á móti er óljóst er hvaða áhrif meiri þægindi við að ferðast með sjálfkeyrandi bílum og minni tafir í umferð muni hafa á heildareftirspurn fólks til að ferðast með bílum (SDG, 2016).

Sumir vísindamenn hafa bent á fyrirbærið “framboðsstýrða eftirspurn”, (e. induced demand)<sup>1</sup> í tengslum við þessa auknu umferðarrýmd sem tæknin veitir. Almenn er kenningin sú að aðgerð til að auka umferðarrýmd muni alltaf minnka tafir en í reynd gerist það ekki alltaf því nýmyndun verður á umferð sem ekki var til staðar áður vegna þess að þægilegra er að aka nú um en áður. Þessi nýja umferð kemur frá þeim sem ekki óku áður, aka oftar eða notuðu aðra ferðamáta. Margar rannsóknir hafa verið gerðar á þessu fyrirbæri og eru fjölmörg dæmi þess að aðgerðir til að auka umferðarrýmd og minnka tafir hafi ekki virkað því aukarýmdin hafi étist hratt upp af meiri eftirspurn. Rannsóknir sýna einnig að

<sup>1</sup> Mýmörg dæmi eru til um það að breikkun vega og aukning á umferðarrýmd hafi ekki bætt umferðarástand vega vegna mjög aukins innflæðis umferðar í kjölfarið. Eitt dæmi er breikkun á Katy hraðbrautinni í Houston 2008-2011 (USD 2,8 milljarðar). Árin eftir opnun (2011-2014) jukust tafir á álagstímum um 30-55% frá því sem þær höfðu verið fyrir stækkun.

Þetta á sérstaklega við á þéttbýlum svæðum þar sem miklar umferðartafir eru fyrir (WSP, 2018). Af þessum sökum gætu notendur tækninnar aldrei upplifað minni tafir vegna þessa fyrirbæris. Jafnvel gætu því tafir aukist vegna þess að notendur keyri meira og lengri vegalengdir því tíminn um borð í sjálfkeyrandi bíl getur nýst í annað, t.d. vinnu, og þar af leiðandi verður fólk ekki eins næmt fyrir umferðartöfum. Ýmsir aðrir þættir hafa einnig verið nefndir (sjá kafla 3.1) sem talið er að geti leitt til aukins magn umferðar og aksturskílómetra.

## 4. Sviðsmyndir um þróun sjálfkeyrandi bíla

Hvort og hversu mikil áhrif sjálfkeyrandi bíla verða á umferðarrým og hvenær þau verða veltur mikið á því hvaða tæknistigi sjálfvirkinnar er náð (eins og lýst er í kafla 2.2) og hversu hröð innleiðing tækninnar verður. Ýmsar rannsóknir og spár hafa verið gerðar til spá fyrir um áhrif sjálfkeyrandi bíla á umferðarrým vega og hraðbrauta og verður nokkrum þeirra gerð skil í þessum kafla.

### 4.1 Sýn KPMG á þróun sjálfkeyrandi bíla

Árið 2016 vann KPMG í Ástralíu rannsókn sem fjallar um þróun sjálfkeyrandi bíla þar sem þeir skoðuðu tvær sviðsmyndir fyrir árið 2046 (KPMG, 2016). Fyrri sviðsmyndin sýnir áhrif sjálfkeyrandi bíla á umferðarrým í Melbourne ef eignarmynstur mun ekkert breytast frá því sem það er í dag. Í seinni sviðsmyndinni var skoðað hvaða áhrif farveitur munu hafa, þ.e. þannig að fólk almennt eigi ekki bíl.

Greining var gerð í umferðarlíkani Melbourne á háannatíma um morgun á virkum degi. **Niðurstaða rannsóknarinnar var sú að ferðatími með bíl aukist um 29% og meðallengd bílferða aukist um 23% ef eignarmynstur breytist ekki.** Þessu til stuðnings benda þeir á að fjöldi bílferða verði mun meiri því bílpróf verði ekki lengur forsenda fyrir því að ferðast einn í bíl. Þeir spá því að mun ódýrara, einfaldara og þægilegra verði að ferðast með rafdrifnum sjálfkeyrandi bílum sem muni fjölga bílferðum umtalsvert. Þeir benda á að fólk setji síður fyrir sig að ferðast lengra því ferðatíminn muni nýtast betur því ekki þurfi að beina athygli að stjórn bílsins lengur. Þeir spá því einnig að akstur miðsvæðis aukist umtalsvert þar sem margir láta sjálfkeyrandi bíla skutla sér að dyrum á áfangastað og sendi bílinn svo til finna bílastæði þar sem ódýrara er að leggja. Þetta muni fá fólk sem áður notaði virka ferðamáta, vegna mikils kostnaðar við að leggja miðsvæðis, breyta ferðamátavali sínu yfir til einkabílsins.

**Niðurstaða greiningar sviðsmyndar þar sem farveitur eru orðnar algildar er sú að ferðatími með bíl er talinn lækka um 7% og meðalferðalengd með bíl lækkar um 9% árið 2046 samanborið við daginn í dag.** Í þessari sviðsmynd ferðast fólk með þeim ferðamáta sem er ódýrastur það skiptið, óalgengt er að fólk eigi bíl heldur ferðast það með deilíbílum svipuðum og Uber eða Lyft nema án bílstjóra. Eignarfyrirkomulag í dag er þannig að fólk fjárfestir í bíl sem er mikil skuldbinding gagnvart því að nota bílinn og þannig upplifi fólk kostnað á ekinn kílómetra mjög lágan. Þegar fólk borgar afnotagjald af einstaka ferðum þá þarf gjaldið að innihalda allan afleiðdan kostnað bílferðarinnar sem KPMG telur að sé 4-5 sinnum dýrara km-gjald samanborið við það að eiga bílinn sjálfur. Þetta mun þó spara heimilum miklar fjárhæðir því mun meiri skilvirkni verði náð með bílaflotanum, þ.e. færri bílar með fleiri farþega um borð muni flytja fólk milli staða. Þetta mun einnig gera aðra ferðamáta vinsælli þar sem verð mun ekki einungis endurspeglar raunkostnað ferðamátans heldur einnig verðleggjast út frá nýtingu þeirra á plássi.

### 4.2 Osló rannsóknin

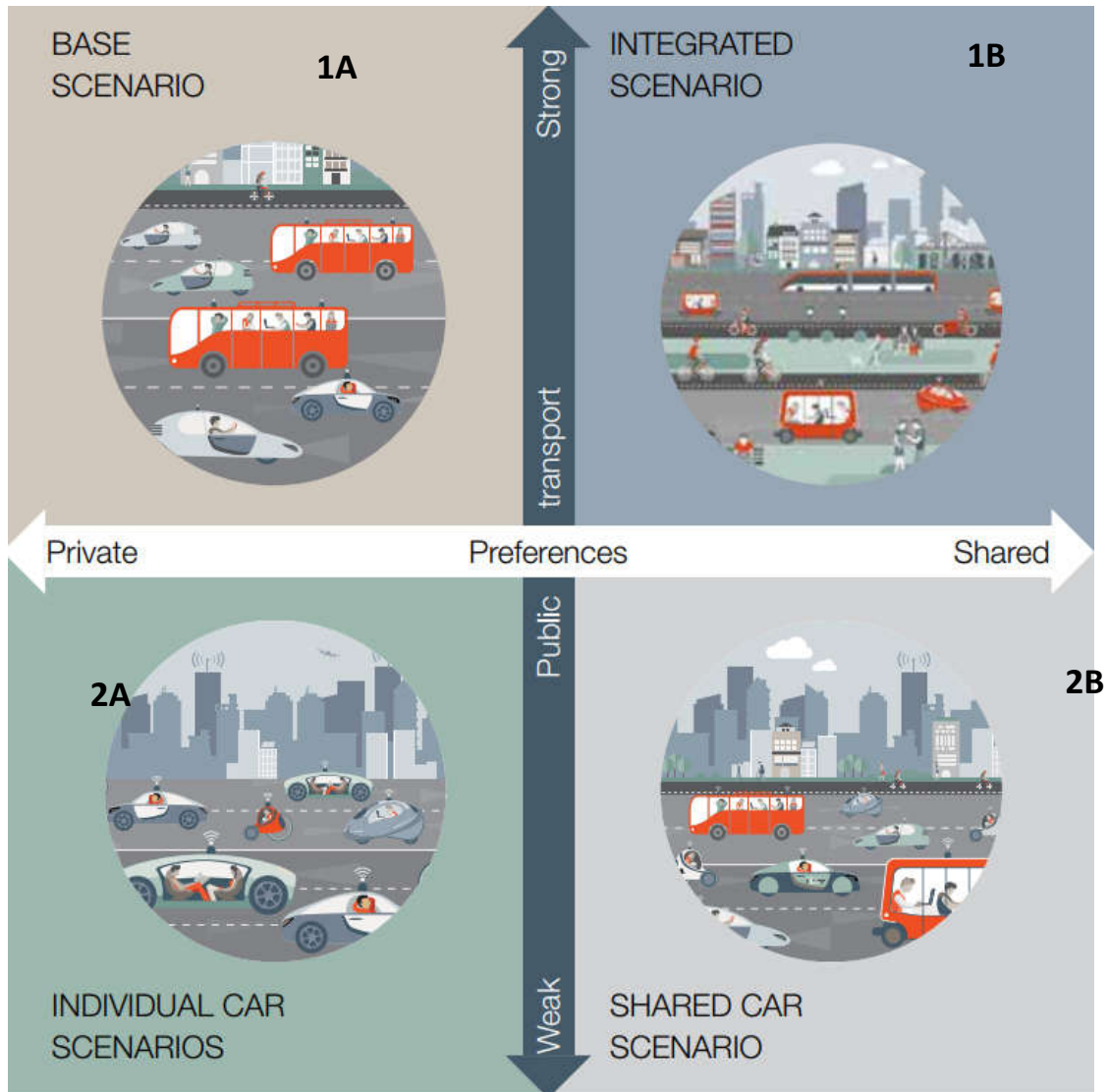
Síðastliðið ár hefur danska ráðgjafafyrirtækið Cowi ásamt þýska ráðgjafafyrirtækinu PTV-group þróað umferðarlíkan fyrir Ruter sem sér um almenningssamgöngur á Osló svæðinu (COWI & PTV group, 2019). Markmið með vinnunni er að rannsaka hvernig ný tækni í samgöngum mun hafa áhrif á ferðavenjur í framtíðinni í Osló og Akerhus. Rannsókn var gerð á hugsanlegum afleiðingum þess þegar sjálfkeyrandi bílar og farveitur hafa tekið yfir sem aðalsamgönguform.

#### Sviðsmyndirnar

Búnar voru til nokkrar framtíðarsviðsmyndir í umferðarlíkaninu fyrir Osló svæðið þar sem kerfið tæki tillit til þeirrar auknu skilvirkni sem sjálfvirknivæðingin er talin veita. Kannað var hvaða afleiðingar það

hefði fyrir samgöngukerfið ef allur bílafloinn væri deilibílafloti, þ.e. enginn ætti bíl heldur myndu deila þeim. Þá voru sviðsmyndirnar breytilegar eftir því hvort við myndum aka einsömum eða í litlum hópum líkt og við gerum í dag eða við myndum kaupa far í bílum með ókunnugum (farveitur). Þá var einnig kannað hvað myndi gerast ef við myndum draga verulega úr almenningssamgöngukerfinu eins og það þekkist í dag. Markmiðið með sviðsmyndunum var ekki að rannsaka líklegar sviðsmyndir heldur að kanna öfgar og skoða hvað bestu og verstu skilyrði myndu þýða fyrir umferðarkerfið. Líklegar sviðsmyndir væri svo hægt að rannsaka í kjölfarið. Á myndinni hér að neðan má sjá sviðsmyndirnar en þær eru;

- 1A) Allir þeir sem nota bíl í dag munu deila bílum sínum en ekki deila fari með ókunnugum. Notkun almenningssamgangna er óbreytt.
- 1B) Allir þeir sem nota bíl í dag munu deila bílum sínum og deila fari með ókunnugum. Notkun almenningssamgangna er óbreytt.
- 2A) Allir þeir sem nota bíl í dag munu deila bílum sínum en ekki deila fari með ókunnugum. Allir þeir sem nota strætó eða léttlest í dag fara að nota deilibíla en deila ekki fari með ókunnugum. Notkun venjulegra lesta og neðanjarðarlestakerfis óbreytt.
- 2B) Allir þeir sem nota bíl í dag munu deila bílum sínum og deila fari með ókunnugum. Allir þeir sem nota strætó eða léttlest í dag fara nota deilibíla og deila fari með ókunnugum. Notkun venjulegra lesta og neðanjarðarlestakerfis óbreytt.



Mynd 11) Sviðsmyndir Osló rannsóknarinnar.

### Helstu niðurstöður

Áhrif sviðsmyndanna voru könnuð á umferðarmagn (ekna kílómetra), stærð bílaflota og þjónustugráðu umferðarkerfisins (mælikvarði á tafir) á háannatíma á Osló svæðinu. Áhrifin voru borin saman við grunnsviðmynd þar sem ferðavenjur eru eins og þær eru í dag og engin sjálfvirknivæðing hefur átt sér stað í umferðarkerfinu.

### Áhrif á aksturskílómetra

Í eftirfarandi töflu eru niðurstöður útreikninga á eknum kílómetrum sýndar.

Tafla 4) Niðurstöður útreikninga sviðsmynda Osló rannsóknarinnar á ekna kílómetra.

| 1A                        | 1B                        | 2A                                  | 2B                                  |                                    |
|---------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| Úr einkabílum í deilibíla | Úr einkabílum í farveitur | Úr einkabílum og strætó í deilibíla | Úr einkabílum og strætó í farveitur |                                    |
| +26%                      | -14%                      | +97%                                | +31%                                | <b>Breyting í eknum kílómetrum</b> |

Niðurstöðurnar sýna að með umferðarkerfi þar sem almenningssamgöngur eru eins og þær eru í dag, skilvirkni sjálfvirknivæðingar er kominn að fullu og við ferðumst einsömul í bíl (eða litlum nánnum hópum) þá fjölga aksturskílómetrum um 26% (sviðsmynd 1A).

Það sem breytist í sviðsmynd 1B er að fólk ferðast saman í bíl, þ.e. sjálfkeyrandi bíll fer á milli heimila og sækir farþega þar sem snjallt farveitukerfi sér um að hámarka skilvirknina, og þá fækka eknir kílómetrar um 14% (sviðsmynd 1B).

Í sviðsmynd 2A þegar línulegum almenningssamgöngum er lokað og allir ferðast um á deilibílum tvöfaldast eknir kílómetrar þrátt fyrir mun meiri skilvirkni samgöngukerfisins.

Í síðustu sviðsmyndinni er línulegum almenningssamgöngum lokað og allir aka um með farveitum en það mun fjölga aksturskílómetrum um 31% (sviðsmynd 2B).

Það var ekki kannað að farveitur fódri línulegar almenningssamgöngur fyrstu og síðustu „míluna“ en það er talið geta gert almenningssamgöngur mun vinsælli kost og fækkað eignum kílómetrum enn meira í sviðsmyndum 1A og 1B.

#### Áhrif á stærð bílaflotans

Þegar áhrifin eru skoðuð á stærð bílafloata sýna allar sviðsmyndirnar mikla fækkun bíla eða á bilinu 84% til 93%. Hægt væri að komast af með einungis 7% af núverandi bílafloata í sviðsmynd 1B á háannatíma um morgun. Ef allir færu úr almenningssamgöngum yfir í deilibíla væri hægt að komast af með 16% af núverandi bílafloata á háannatímum. Þessar tvær sviðsmyndir sýna minnstu og mestu fækkun bílaflotans.

#### Áhrif á notendur

Í framtíð án einkabíla ferðast allir með almenningssamgöngum, deilibílafloata, fótgangandi eða hjólandi. Þeir sem ferðast með sjálfkeyrandi deilibílum þurfa allir að bíða eftir að þeir sækji mann og jafnvel ef flotinn er farveita að koma við á öðrum stöðum og sækja aðra farþega.

Að meðaltali tekur bílferð í grunnsviðsmyndinni (án sjálfvirkni) um 12 mínútur og er að meðaltali 12 km löng og ferð með almenningssamgöngum 32 mínútur og er að meðaltali 13 km löng.

Í sviðsmyndinni þar sem fólk pantar far með sjálfkeyrandi deilibíl en deilir ekki ferð með öðrum (1A) breytist ekki meðallengd ferða en ef þeir deila ferð með öðrum (1B) eykst meðallengd ferða. Meðallengdin eykst í sviðsmynd 1B vegna þess að farþegar fara hlykkjóttari leið vegna þess að fleiri farþegar eru sóttir en þetta eykur meðalferð að jafnaði um 1 km. Í báðum sviðsmyndum (1A og 1B) eykst meðalferðatíminn. Í sviðsmynd 1A þarf t.d. oft að bíða eftir deilibílnum því til þess að ná hámarksskilvirkni flotans geta ekki allir fengið bíl á nákvæmlega þeim tíma sem þeir þurfa hann. Þetta eykur meðalferðatíma um 6 mínútur í sviðsmynd 1A en þegar deilibílnir sækja aðra farþega á leiðinni (1B) eykst meðalferðatíminn um 8 mínútur samanborið við grunnsviðsmyndina. Hlutfallslega svipaðar niðurstöður fengust fyrir sviðsmynd 2A og 2B fyrir meðalferðatíma og ferðalengd. Hins vegar eru farþegar almenningssamgangna að lækka ferðatíma sinn umtalsvert þ.e. úr 32 mín í 21 mín.

Þess ber þó að geta að áhrif tafa vegna umferðarmettunar er ekki tekin með í útreikninga þessara sviðsmynda. **Tafir munu vissulega aukast þar sem aksturskílómetrum fjölga og munu hafa þau áhrif að meðalferðatími í öllum sviðsmyndum verður hærri að undanskilinni sviðsmynd 1B en þar fækkar aksturskílómetrum.**

#### Þörf á nýjum innviðum

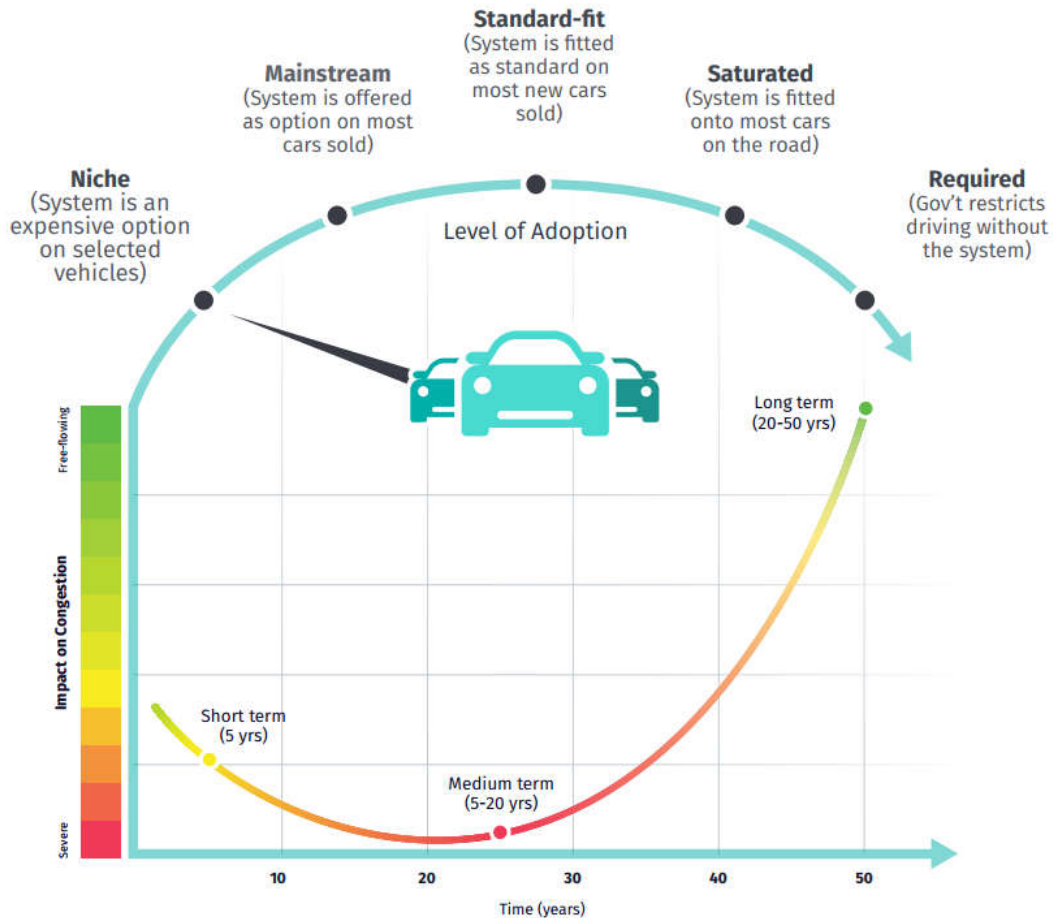


Snjallsamgöngur eða fjölferðamatakerfi (e. Mobility as a Service, MaaS) eru taldar breyta mjög notkun innviða. Snjallsamgöngur eru t.d. taldar minnka mjög þörf á bílastæðum og fría með því stór landsvæði sem væri hægt að nýta á annan hátt. Þessi svæði væri hægt að nota í eitthvað annað sem myndi styðja við sjálfbærari þróun borga. MaaS mun þó ekki bara minnka þörf á innviðum eins og bílastæðum því eitthvað af svæði þarf að nýta áfram undir svokölluð PUDOs á fjölförnum svæðum. PUDOs (e. Pick Up Drop Off) eru rennur/svæði sem auðveldar fólki að stíga af eða fara um borð í sjálfkeyrandi bíla.

Þessi rannsókn sýnir að deilisamgöngur með hátt þjónustustig mun ekki vera fullnægjandi til að ná markmiðum um að draga úr umferð á Osló svæðinu og það mun verða áskorun að halda tölum í skefjum. **Með öðrum orðum er ekki eingöngu hægt að treysta á sjálfkeyrandi ökutæki og farveitukerfi til að koma til móts við allar ferðaparfir okkar. Hefðbundnar almenningssamgöngur ásamt hjólreiðum og gangandi umferð verður lykilatriði í að leysa ferðaparfir í þéttbýli í framtíðinni. Sjálfkeyrandi bílar geta létt á umferðarkerfinu ef þeir eru notaðir innan fjölferðamáta-farveitukerfi (snjallsamgöngur) en geta líka gert ástandið verra ef þeir verða notaðir eins og einkabílar eru notaðir í dag.** Hágæða almenningssamgöngur með samþættum lestum, neðanjarðarlestum og strætó saman með nægjanlegum innviðum fyrir gangandi og hjólandi mun aðstoða við að létta á vegakerfinu. Að innleiða almenningssamgöngur í sameiginlegt snjallsamgöngukerfi mun gera almenningssamgöngur meira aðlaðandi og samkeppnishæfari, einkum á svæðum þar sem almenningssamgöngur eru í dag „illa tengdar“. Lausn samgönguvanda framtíðarinnar er sambland massaflutningakerfis almenningssamgangna og snjallsamgangna (MaaS).

### 4.3 Sýn ráðgjafafyrirtækisins SBD á þróun sjálfkeyrandi bíla

Á eftirfarandi mynd er sýnd spá um þróun sjálfkeyrandi bíla. Myndin gerð af ráðgjafafyrirtækinu SBD og sýnir hvernig tæknin gæti þróast samhliða áhrifum hennar á umferðarrým (SBD, 2017). Eins og sýnt er á myndinni þá er hraði innleiðingarinnar ekki síðri áhrifaþáttur en hin eiginlega tækniþróun.



Mynd 12) Tímaás þróunar sjálfkeyrandi tækni og áhrif hennar á tafir.

Eins og sést á myndinni þá telja höfundar spárinnar að fyrst um sinn muni tæknin hafa neikvæð áhrif á umferðarrýmd og byggja það m.a. á rannsókn unna af háskólanum í Berkeley (Schladover, 2014). Höfundarnir telja að strax þegar 4. stigs sjálfkeyrandi bílar byrja að keyra innan um almenna umferð muni það hafa ófyrirsjáanlegar afleiðingar, sem sagt þegar umferð verður blönduð af venjulegum bílum og sjálfkeyrandi bílum. Einhverjir bílstjórar muni ranglega túlka „annars konar“ aksturslag sjálfkeyrandi bíla sem muni auka slysatíðni fyrst um sinn. SBD telur hröðun sjálfkeyrandi bíla verði hægari en nú þekkt vegna hærri krafna um þægindi um borð í slíkum bílum sem muni frekar trufla umferð en bæta fyrst um sinn. Þegar innleiðingin verði almennari og tæknin fer betur að njóta sín til að bæta umferðarrýmd telur SBD það þó ekki nægja því hópar sem áður notuðu ekki bíl fari að nota þá í meira mæli. Hópar eins og t.d. aldraðir og börn fari að nota sjálfkeyrandi bíla í meira mæli sem mun fjölga bílum umtalsvert á götunni. Þá telur SBD að eknir kílómetrar muni aukast mikið því algengara verði að fólk búi fjær vinnu sinni því þeir geti notað tíma sinn betur um borð í bílum. Þessi aukna notkun vegna breytts notkunarmynstur telur SBD muni fyrst um sinn hafa neikvæð áhrif á umferðarrýmd og byggja þeir það meðal annars á rannsókn unna af KPMG í Bandaríkjunum (Silberg, 2013).

Til lengri tíma þegar allur bílaflotinn verður sjálfkeyrandi og notkun á „handvirkum“ bílum verður lítil sem enginn, (þá líklega með tilstilli reglugerða) telur SBD einfaldara að sjá fyrir sér að tæknin muni verða til þess að auka umferðarrýmd umtalsvert. Hvenær þessu stigi er náð telur SBD vera mjög erfitt að spá fyrir um.

## 5. Helstu niðurstöður

### 5.1 Hagsmunaárekstrar og ráð

Fyrirséðir eru ýmsir hagsmunaárekstrar milli notenda og samfélags með tilkomu sjálfkeyrandi bíla. Sem einfalt dæmi má nefna að ef notandi velji að stilla stýringu bíls á það að hámarka þægindi á keyrslu á leið sinni gæti það hægt á umferð og lækkað umferðarrýmd heildarinnar. Annað dæmi væri ef notandi forritaði bíl þannig að hann verji undir öllum kringumstæðum farþega bílsins gegn slysum gæti það valdið aukinni hættu fyrir aðra. Þá eru margir hagsmunaárekstrar í samgönguskipulagi. Ef samgönguskipulag eykur eftirspurn eftir einkabílum og dregur úr mikilvægi almenningssamgangna getur það leitt til aukinnar mettunar umferðar með meiri töfum. Að þenja mikið út byggð mun auka samgöngukostnað heimila og fækka möguleikum í ferðamatavali. Gæta verður einnig þess að bílastæðajöld auki ekki akstur eins og t.d. að það yrði hagstæðara að láta sjálfkeyrandi bíl keyra langt eftir ókeypis bílastæði eða jafnvel láta hann hringsóla meðan skroppið er í verslun.

Ýmsir hafa haldið því fram að sjálfkeyrandi bílar ásamt farveitukerfi muni breyta almenningssamgöngum verulega, en massaflutningskerfi almenningssamgangna eru þó alltaf taldar þurfa á fjölförnum samgönguásum. Sjálfkeyrandi tækni mun einnig gagnast almenningssamgöngum því hún mun draga verulega úr rekstrarkostnaði og bæta aðgengi úr hverfum að stoppistöðum á stofnæðum kerfisins (ITF, Urban Mobility System Upgrade, 2014) (TRB, 2017).

Ýmsar stofnanir hafa tekið saman leiðbeiningar til að hámarka samfélagslegan ábata af innleiðingu á reglugerðum tengdum komandi tækninýjungum í samgöngum. Í listanum hér að neðan eru nokkur ráð úr samantekt kanadískrar rannsóknarstofnunar (Litman, 2018):

1. Skipuleggja borgir með hliðsjón af samgöngum.
2. Forgangsraða fólki frekar en farartækjum.
3. Styðja við skilvirka notkun farartækja, akreina, gangstétta og landsvæðis.
4. Mikið samráð með hagsmunaaðilum.
5. Stuðla að betra vali á ferðamatum.
6. Leiða þróun að hreinni orku og betri nýtingu hennar.
7. Stefna að sanngjörnum notkunargjöldum á öllum ferðamatum.
8. Hafa almannahag að leiðarljósi við opnun á notkun gagna.
9. Stefna að samþættingu og áreiðanleika tenginga.
10. Á þéttbýlum svæðum ætti sjálfkeyrandi bílafloti alltaf að vera farveita.

Hér eru fleiri ráð við innleiðingu á sjálfkeyrandi tækni frá ýmsum rannsóknarstofnunum sem hafa það að markmið að hámarka sjálfbærni í borgum (Schlossberg, Riggs, Millard-Ball, & Shay, 2018) (TRB, 2017).

1. Tryggja öryggi og skilvirkni nýrrar tækni.
2. Krefjast þess að sjálfkeyrandi bílar séu forrituð út frá siðferðislegum og samfélagslegum markmiðum.
3. Forgangsraða samnýttum farartækjum og hafa marga farþega fram yfir þau sem hafa færri farþega.
4. Stýra notkun vega, bílastæða og svæðum við kantstein með gjaldi eða öðrum hætti til að tryggja skilvirka notkun þess.
5. Styðja við háafkasta-almenningssamgöngur (e. mass transit) á stórum samgönguæðum.

6. Minnka bílastæðakröfur í skipulagi til að nýta kosti deilibíla/farveitna.
7. Stýra uppbyggingu með gjöldum eða öðrum hætti til að koma í veg fyrir óskilvirka útpenslu byggðar.
8. Nýtið breytingar í samgöngum til að endurhanna götur í átt að því að verða mannvænni.

## 6. Heimildaskrá

- AAA. (2019). *Three in Four Americans Remain Afraid of Fully Self-Driving Vehicles*. AAA Newsroom.
- Anderson, J. M., Kalra, N., Stanley, K. D., Sorensen, P., Samaras, C., & Oluwatola, O. A. (2014). *Autonomous Vehicle Technology – A Guide for Policymakers*. Santa Monica: RAND Corporation.
- Brandon Schoettle, M. S. (2015). *A Survey of Public Opinion about Autonomous and Self-Driving*. Michigan : The University of Michigan Transportation Research.
- Broussard, M. (2018). *The Dirty Truth Coming for Self-Driving Cars: Trash. Odors. Bodily Fluids. Will Autonomous Rideshares be Ready for our Mess?* <https://slate.me/2Ls9Irl>: Slate.
- Bösch, P. M., Becker, F., Becker, H., & Axhausen, K. W. (2018). *Cost-based analysis of autonomous mobility services*. Zurich: ETH Zurich Research Collection.
- COWI, & PTV group. (2019). *THE OSLO STUDY –HOW AUTONOMOUS CARS MAY CHANGE TRANSPORT IN CITIES*. Oslo: Ruter.
- EU. (2015). *Special Eurobarometer 427 “Autonomous systems”* . European Union.
- Gawron, J. H., Keoleian, G. A., Kleine, R. D., Wallington, T. J., & Kim, H. C. (2018). *Life Cycle Assessment of Connected and Automated Vehicles: Sensing and Computing Subsystem and Vehicle Level Effects*. Michigan: Center for Sustainable Systems, School for Environment and Sustainability, University of Michigan.
- Heineke, K., Kampshoff, P., Mkrтчyan, A., & Shao, E. (2017). *Kersten Heineke, Philipp Kampshoff, Armen Mkrтчyan, and Emily Shao*. KPMG.
- ITF. (2014). *Urban Mobility System Upgrade*. OECD.
- ITF. (2015). *Automated and Autonomous Driving - Regulation under uncertainty*. OECD/ITF.
- ITF. (2018). *Safer Roads with Automated Vehicles?* OECD/ITF.
- Janssen, R., Zwijnenberg, H., Blankers, I., & Kruijff, J. d. (2015). *Truck Platooning - Driving the future of transport*. the Netherlands Organisation for applied scientific research TNO.
- Keeney, T. (2017). *Mobility-As-A-Service: Why Self-Driving Cars Could Change Everything*. New York: ARC Investment Research.
- Kockelman, K., Avery, P., Bansal, P., & Boyles, S. D. (2016). *Implications of Connected and Automated Vehicles on the Safety and Operations of Roadway Networks: A Final Report*. Texas: University of Texas Center for Transportation Research.
- Kok, I., Zou, S. Y., Gordon, J., & Mercer, B. (2017). *Rethinking Transportation 2020-2030*. The Project.

- Koopman, P., & Wagner, M. (2017). *Autonomous Vehicle Safety: An Interdisciplinary Challenge*. <http://ieeexplore.ieee.org/document/7823109>: IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, Vol. 9, No. 1.
- KPMG. (2016). *Connectivity or congestion - Two visions for an autonomous future*. KPMG.
- Kristin Lovejoy, S. H. (2013). *Technical Background Document on Impacts of Carsharing Based on a Review of the Empirical Literature*. ITE Journal: California Air Resources Board.
- Litman, T. (2018). *Autonomous Vehicle Implementation Predictions -* . Victoria Transport Policy Institute.
- McKinskey. (2015). *Competing for the connected customer – perspectives on the opportunities created by car connectivity and automation*. Advanced Industries.
- Michael Sivak, B. S. (2015). *Potential Impact of Self-Driving Vehicles on Household Vehicle Demand and Usage*. Michigan: The University of Michigan .
- Millard-Ball, A. (2017). *Pedestrians, autonomous vehicles and cities*. Santa Cruz: University of California, Environmental Studies Department.
- Norheim, B. (2006). *Kollektivtransport i nordiske byer - Markpotensial og utfordringer framover*. Oslo: AS Oslo Sporveier.
- PBIC. (2017). *Automated and Connected Vehicles, Pedestrians, and Bicyclists*. [www.pedbikeinfo.org/AV](http://www.pedbikeinfo.org/AV): Pedestrian and Bicycle information center.
- SBD. (2017). *How autonomous vehicles could relieve or worsen traffic congestion*. here.com.
- Schladower. (2014). *Impacts of Cooperative Adaptive Cruise Control on Freeway traffic flow*. Los Angeles: Berkeley.
- Schlossberg, M., Riggs, W., Millard-Ball, A., & Shay, E. (2018). *RETHINKING THE STREET IN AN ERA OF DRIVERLESS CARS*. Sustainable Cities Initiative.
- SDG. (2016). *Research for TRAN Committee – Self-piloted cars: The future of road transport? .* Brussel: European Parliament's Committee on Transport and Tourism.
- Shladower, S. E., Su, D., & Lu, X.-Y. (2012). *Impacts of Cooperative Adaptive Cruise Control on Freeway Traffic Flow*. Richmond: University of California, Berkeley.
- Silberg, G. (2013). *Self-Driving Cars: Are We Ready*. KPMG USA.
- Stephens, T., Gonder, J., Chen, Y., Lin, Z., Liu, C., & Gohlke, D. (2016). *Estimated Bounds and Important Factors for Fuel Use and Consumer Costs of Connected and Automated Vehicles*. Denver: national laboratory of the U.S. Department of Energy.
- TRB. (2017). *Strategies to Advance Automated and Connected Vehicles*. The National Academy of Sciences.

Trommer, S., Kolarova, V., & Phleps, P. (2016). *Autonomous Driving - The Impact of Vehicle Automation on Mobility Behaviour*. Institute of Transport Research.

Vinitsky, E., Kreidieh, A., Flem, L. L., Kheterpal, N., Jang, K., Wu, C., . . . Bayen, A. M. (2018). *Benchmarks for reinforcement learning in mixed-autonomy traffic*. Berkeley: University of California Berkeley.

WSP. (2018). *LATEST EVIDENCE ON INDUCED TRAVEL DEMAND: AN EVIDENCE REVIEW*. Manchester: WSP og RAND Europe.