



MANNVIT



ÁHRIF 5G Á SAMGÖNGUR

RANNSÓKNAVERKEFNI UNNIÐ MEÐ STYRK FRÁ
VEGAGERÐINNI
MARS 2020

Efnisyfirlit

1. Inngangur	1
2. 5G og samgöngur	2
2.1 Eiginleikar 5G	2
2.2 Sjálfkeyrandi ökutæki	3
2.3 Stefna yfirvalda og lagaumhverfi.....	3
2.4 Áhrif 5G á deili- og snjallsamgöngur.....	4
3. Rannsóknarverkefni.....	5
3.1 INFRAMIX.....	5
3.1.1 Áhrif á umferðarflæði	8
3.2 5GCAR.....	9
3.2.1 Innakstur ökutækja frá aðrein inn á stofnbraut.....	9
3.2.2 Samhæfð skynjun tengdra ökutækja - framúrakstur	10
3.2.3 Samhæfð skynjun tengdra ökutækja - blindhorn	11
3.2.4 Vernd gangandi vegfarenda	11
3.3 CoEXist.....	12
3.3.1 Dayton.....	13
3.3.2 Munchen	13
3.4 Áhrif á tíðni óhappa	14
3.4.1 Áhrif V2X	15
4. Miklabraut - Kringlumýrabraut	16
4.1 Núverandi umhverfi.....	16
4.2 Þjónustustig við gatnamót Miklubrautar og Kringlumýrabrautar	18
4.2.1 Kostnaður og ávinningur við 5G.....	19
4.2.2 Umferðarflæði - Dayton.....	21
4.2.3 Umferðarflæði - Munchen	24
5. Lokaorð.....	27
6. Heimildaskrá.....	28

Mynd 1: Samanburður á eiginleikum 4G og 5G.....	2
Mynd 2: Áætluð vegalengd út frá nettengingu og viðbragði manna miðað við 120 km/klst hraða.	2
Mynd 3: SAE flokkun sjálfkeyrandi bíla (Heimild: https://connectedautomateddriving.eu/about-cad/)	3
Mynd 4: Flokkun innviða.....	6
Mynd 5: Dæmi um dreifingu tengdra innviða.....	6
Mynd 6: Dæmi um upplýsingar frá innviðum og notkunartilvik.....	7
Mynd 7: Dæmi um búnað og upplýsingar sem tengdir innviðir geta deilt.....	8
Mynd 8: Vegakafli notaðu til að herma áhrif Inframix á umferðarflæði.	8
Mynd 9: Meðal ferðatími samanborið við hlutfall 5G tengdra ökutækja.....	9
Mynd 10: Innakstur frá aðrein á stofnbraut.....	10
Mynd 11: Samhæfð skynjun - framúrakstur.....	10
Mynd 12: Samhæfð skynjun – blindhorn.....	11
Mynd 13: Vernd gangandi vegfarenda.	12
Mynd 14: Hermun á a) morgunálagstíma og b) kvöldálagstíma.....	14
Mynd 15: Morgunumferð við gatnamót Miklubrautar og Kringlumýrabrautar.....	16
Mynd 16: Síðdegisumferð við gatnamót Miklubrautar og Kringlumýrabrautar.....	17
Mynd 17: Orsök slysa á árunum 2009-2017.....	17
Mynd 18: Virkni 5G á milli bifreiða og innviða. (Heimild: https://www.androidpit.com/how-5g-will-change-mobility).....	19
Mynd 19: Áætluð umferðarflæði eftir mismunandi sviðsmyndum að morgni til við gatnamótin.	23
Mynd 20: Áætluð umferðarflæði eftir mismunandi sviðsmyndum síðdegis við gatnamótin.....	24
Mynd 21: Áætlað umferðarflæði eftir aukinni innleiðingu CAV ökutækja árdegis.....	25
Mynd 22: Áætlað umferðarflæði eftir aukinni innleiðingu CAV ökutækja síðdegis.....	26

Fyrirvari: 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.

1. Inngangur

Ör tækniþróun hefur átt sér stað undanfarin misseri. Mikilvægi fjarskipta og upplýsingatækni fyrir vegfarendur eykst stöðugt. Nú þegar eru flestir Íslendingar nettengdir eða u.þ.b. 95% sem er með hærra hlutfalli í heiminum.

Margir nýta snjallsíma til að nálgast rauntímagögn, sem mun aðeins verða öflugra með tímanum. Árið 2018 var Ísland í fyrsta sæti Alþjóðasamskiptasambandsins fyrir árangur í fjarskiptum og upplýsingatækni.

Áhersla 4G fjarskiptatækninnar var á að fá internetið í símann þ.m.t. HD streymi og voice over ip. 5G stefnir hins vegar á ný mið með fókus á internet hlutanna og krítísk fjarskipti auk aukins gagnahraða. Þessi áherslubreyting opnar á dyrnar fyrir ný notkunartilvik fyrir samgöngur. Ekki mun líða langt í að 5G verði innleitt hérlendis. Þó Ísland standi framarlega varðandi fjarskipti og upplýsingatækni, er óvíst hvernig við erum undirbúin í að nýta tæknina fyrir innviði samgangna. Leiðsögutæki (e. GPS) má finna í mörgum nýjum ökutækjum og í nánustu framtíð munu bílar geti haft samskipti sín á milli sem og við innviði og gangandi vegfarendur, þekkt sem V2X (Vehicle to everything). Tæknin mun því byggjast mikið á aðgengi að áreiðanlegum 5G fjarskiptum. Með áreiðanlegum fjarskiptum og aðgengilegum rauntímagögnum er hægt að auka skilvirkni í umferð, bæta umferðaröryggi og minnka eldsneytisnotkun. Aðgengileg rauntímagögn geta einnig eflt sjálfbæra samgöngumáta með aukinni upplýsingagjöf um t.d. almenningssamgöngur og tengingar við aðra samgöngumáta (deili- og snjallsamgöngum, e. Mobility as a Service). Því fleiri gögn sem safnast frá vegfarendum, þ.e. ferðavenjur, því öflugri verða rauntímagögnin.

Verkefnið felur í sér greinagerð á einum fjölförnum gatnamótum í Reykjavík, þar sem samskipti ökutækja og vegfarenda við umferðarmannvirki, upplýsingaveitur og annað sem getur haft áhrif á afköst umferðamannvirkja er kortlagt og metið í samhengi við 5G og tengd sjálfvirk ökutæki. Gatnamótin sem urðu fyrir valinu til að greina áhrif 5G á innviði, eru Kringlumýrabraut og Miklubraut. Er þá sérstaklega horft á áhrif innkomu tengdra sjálfkeyrandi ökutækja sem mun dreifast yfir næstu ár og áratugi.

Mismunandi flokkar af tengdum bílum getur haft ýmist jákvæð eða neikvæð áhrif, en farið er yfir þau áhrif í kafla 4.2. Eftir því sem þróun tengdra sjálfkeyrandi ökutækja fleygir fram virðist sem jákvæð áhrif þeirra á umferð aukist en frumstæðari útgáfur geta þó í einhverjum tilvikum jafnvel hægt á umferðarflæði. Þessa innkomu þarf því að rannsaka nánar, til dæmis með hermun. En rannsóknir benda til að möguleiki sé á að fækka umferðarslysum og auka umferðarflæði þegar bílaflotinn er orðinn í auknu mæli sjálfvirkur.

Verkefnið styður við heimsmarkmið 9 og 11, *Nýsköpun og Uppbyggingu og Sjálfbærar borgir og samfélög.*

2. 5G og samgöngur

Miklar tæknibreytingar hafa átt sér stað undanfarin ár og ekki langt síðan að fyrsti snjallsíminn leit dagsins ljós eða í kringum aldamótin. Er talið líklegt að við munum sjá töluverðar breytingar í samgöngum með tilkomu tengdra ökutækja og 5G. En farið verður nánar yfir þróunina varðandi 5G og samgöngur í næstu köflum.

2.1 Eiginleikar 5G

Fimmta kynslóð fjarskiptaneta er að mörgu leiti nokkuð frábrugðin fyrri kynslóðum þegar kemur að áherslum og eiginleikum. Fyrri kynslóðir hafa að miklu leyti einblínt á aukinn gagnahraða en þó svo að 5G stefni á tífoldun gagnahraða þá eru einnig aðrar mikilvægar hönnunaráherslur. Þegar kemur að samgöngum þá veða hér þyngst stuðningur við krítísk samskipti og aukinn svartími en allt tvinnast þetta saman.

Skilgreining krítískra samskipti gera það að verkum að hægt er að skipta tíðnirófinu upp í bönd með forgangi hjá sendum sem hámarkar svartíma fyrir krítísk samskipti. Þessi fókus hefur mikil áhrif á notkunarmöguleika 5G þegar kemur að samgöngum. Taflan hér að neðan dregur saman nokkur af helstu hönnunarmarkmiðum 5G samanborið við 4G.

	4G	5G
Áhersla	Netið í símann	IoT & Krítísk samskipti
Svartími	200ms	1ms
Gagnahraði	150-1.000 Mbps	10.000 Mbps
Orkunotkun		90% minni
Þéttleiki tenginga		100* fleiri tæki/km ²
Rafhlöðuending IoT tækja	-	Allt að 10 ár

Mynd 1: Samanburður á eiginleikum 4G og 5G.

Til að setja breytingu á svartíma í samhengi þá er tilvalið að skoða þá viðbragðsvegalengd sem ökutæki færast til um frá því að hindrun er uppgötvuð þar til hemlun hefst. Ef bíll ekur t.d. á 120 km/klst. þá færast bifreið aðeins um 13 cm frá því að hindrun er uppgötvuð þar til skilaboðin berast og hemlun hefst. Samanborið ferðast bifreið 1,8 m að meðaltali ef fjarskiptin væru gegnum 4G þar til hemlun hefst, sem er sambærilegt og viðbrögð frá ABS bremsukerfinu, það er hemlakerfi með læsingu. Mynd 2 sýnir viðbragðsvegalengd eftir nettengingu ásamt viðbragði manneskju miðað við bifreið á 120 km/klst. hraða.



Mynd 2: Áætluð vegalengd út frá nettengingu og viðbragði manna miðað við 120 km/klst. hraða.

Ljóst er að það getur því skipt sköpum ef viðbragðsvegalengdin styttest um rúma 30 m með tilkomu 5G og aukinnar sjálfvirkni í akstri. Vegna ofangreindra eiginleika hafa áhrif 5G á samgöngur aðallega verið tengdar sjálfvirknivæðingu í samgöngum þar sem 5G fjarskipti geta nýst í rauntíma stjórnun og miðlun upplýsinga.

2.2 Sjálfkeyrandi ökutækni

Þar sem tækifæri 5G þegar kemur að samgöngum snúast að miklu leyti um tengdan og sjálfvirkan akstur er vert að skoða hver staða tengdra, sjálfvirkra ökutækja eða CAV ökutækja (e. Connected Automated Vehicles) er í dag. Flestir helstu bílaframleiðendur og sum tæknifyrirtæki eru í dag að þróa lausnir sem gera ökutækjum í auknum mæli kleift að stýra sér sjálf. Núverandi lausnir sem komnar eru á markað eru samt háðar þeim annmarka að þær treysta eingöngu á skynjara sem eru um borð í ökutækini. Er hér um að ræða Radar, myndavélar, Lidar, ultrasonic skynjara o.s.frv. Í töflunni hér að neðan er gerð grein fyrir þeim 6 stigum sjálfkeyrandi ökutækja sem skilgreind hafa verið. Þar er hækkandi stig merki um aukna sjálfvirkni. Á markaði í dag eru ökutækni í stigi 2 og tilraunir í gangi á vegum ýmissa fyrirtækja á stigi 3 og 4. Waymo, dótturfyrirtæki Google er sem dæmi með tilrauna verkefni í Phoenix Arizona þar sem bílar frá fyrirtækinu bjóða upp á leigubílaakstur án ökumanns innan vel afmarkaðs svæðis og skilgreina þeir þá bíla sem SAE stig 4 þrátt fyrir að öryggis bílstjóri sé enn til staðar í þeim bílum í flestum tilvikum. (Waymo Early Rider Program, 2020)

Vert er að nefna að 5G tenging ökutækja getur átt sér stað á öllum stigum og eru þá upplýsingar utan frá ýmist beintengdar inn í sjálfstýringu bílsins eða ökumanni gert viðvart um upplýsingar þaðan eftir því á hvaða SAE (Society of Automation Engineers) stigi hann er.

SAE Level	Name	Narrative Definition	Execution of Steering and Acceleration/Deceleration	Monitoring of Driving Environment	Fallback Performance of Dynamic Driving Task	System Capability (Driving Modes)
Human driver monitors the driving environment						
0	No Automation	the full-time performance by the <i>human driver</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even when enhanced by warning or intervention systems	Human driver	Human driver	Human driver	n/a
1	Driver Assistance	the <i>driving mode</i> -specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes
2	Partial Automation	the <i>driving mode</i> -specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	System	Human driver	Human driver	Some driving modes
Automated driving system ("system") monitors the driving environment						
3	Conditional Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> with the expectation that the <i>human driver</i> will respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	Human driver	Some driving modes
4	High Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an automated driving system of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even if a <i>human driver</i> does not respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	System	Some driving modes
5	Full Automation	the full-time performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> under all roadway and environmental conditions that can be managed by a <i>human driver</i>	System	System	System	All driving modes

Mynd 3: SAE flokkun sjálfkeyrandi bíla (Heimild: <https://connectedautomateddriving.eu/about-cad/>)

2.3 Stefna yfirvalda og lagaumhverfi

Til að 5G nýtist að fullu í samgöngum sem snúa að tengdum og sjálfkeyrandi bílum þá er ljóst að umfangsmikilla lagabreytinga er þörf er snúa að umferðarlögum, ábyrgðum, vottunum ökutækja, 5G tengdra innviða, o.s.frv. Slíkar breytingar munu ekki eiga sér stað án þess að stefna stjórnvalda sé skýr í þessum efnum.

Hérlendis hefur ekki verið mörkuð skýr stefna á þessu sviði en á vettvangi Evrópusambandsins hefur mikil stefnumörkun og undirbúningsvinna átt sér stað og er því nærtækast að líta þangað þar sem lagaumhverfi á Íslandi er mikið til mótað af lagasetningu innan Evrópusambandsins.

Evrópusambandið setti árið 2016 á stofn GEAR 2030 samráðshópin þar sem fulltrúar EU, aðildarríkja, bílaiðnaðar, fjarskiptafyrirtækja, tryggingafélaga o.fl. eiga sæti. Hlutverk hópsins er að greina lagaumhverfið m.t.t. þeirra breytinga sem er þörf og leggja fram tillögur til að styðja sem best við innleiðingu tengdra og sjálfkeyrandi ökutækja fyrir 2030. (GEAR 2030, 2017)

Samkvæmt tölfræði Evrópusambandsins frá 2017, kom 22% af losun gróðurhúsalofttegunda frá samgöngum á vegum, lofti og legi. Þar af voru vegasamgöngur ábyrgar fyrir um 70% af losuninni.

Þegar kemur að skuldbindingum Evrópusambandsins á losun gróðurhúsalofttegunda samkvæmt Parísarsáttmálanum þá er sérstaklega horft til þess að minnka losun frá samgöngum með því að beita öðrum samgöngumátum, tengdum og sjálfvirkum akstri með útbreiðslu rafbíla og aukinni notkun annarra orkugjafa. Með ofangreindum aðgerðum er gert ráð fyrir að minnka megi losun frá vegasamgöngum um allt að 60% fyrir árið 2050 miðað við losun árið 1990. (Alonso Raposo, 2019)

Þegar búið verður að leysa lagarammann í kringum 5G kerfið, þannig að netið starfi eðlilega og virki á réttan hátt (getur liðið langur tími í það) verða kostirnir óteljandi. Í fyrsta lagi verður umferðaröryggi, bæði fyrir ökumenn og gangandi og hjólandi, bætt verulega. Viðvörunarkerfið og stöðug samskipti munu fækka slysum.

Einnig er gert ráð fyrir að umferðaröngþveiti geti minnkað, þar sem hægt er að beina straumnum í umferðinni á skilvirkari hátt. Ef kerfið virkar eins og það á að virka þá er talið að vegfarendur muni ávallt vita stöðu vega og stíga og hver er skjótasta leiðin til að komast á áfangastað.

2.4 Áhrif 5G á deili- og snjallsamgöngur

Mörg lönd hafa sett sér stefnu um að draga úr losun frá samgöngum eftir Parísarsáttmálann árið 2016. Töluverður hluti af útlosun í dag er af völdum samgangna. Víðsvegar erlendis er verið að leggja aukna áherslu á sjálfbærari samgöngumáta, þ.e. almenningsamgöngur, hjólréiðar, gangandi vegfarendur o.fl. Margar borgir horfa til samspils á mismunandi samgöngumátum með áherslu á sjálfbæra ferðamáta til að ná markmiðum Parísarsáttmálans og til að bæta borgarumhverfi og lýðheilsu.

Innstreymi akandi vegfarenda í Reykjavíkurborg til vinnu, ásamt flæði íbúa miðsvæðis, leiðir til þess umferðaöngþveitis sem oft verður í Reykjavík í dag. Umferðartafir leiða til sóunar á tíma sem og aukins efnahags- og umhverfiskostnaðar, jafnt hjá einstaklingum sem fyrirtækjum. Til að hvetja íbúa til að nota almenningsamgöngur hafa nokkrar borgir; t.d. Milano, Valletta, Stokkhólmur og Mið-London, gert tilraunir til að minnka umferðina með tollgjöldum inn í borgir og / eða sett takmarkanir á umferð mengandi ökutækja. Er þetta fyrst og fremst hugsað til að minnka bílaumferð á háannatíma. Með aðgerðum sem þessum stefna yfirvöld að því að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda, rýma frekar fyrir almenningsamgöngum og auka enn frekar skilvirkni þeirra og hvetja til vistvænna samgangna með auknu öryggi hjólandi og gangandi vegfarenda.

Aðgengi að almenningsamgöngum getur oft á tíðum reynst erfitt, þá aðallega fyrstu og síðustu kílómetrana (e. first and last mile) til og frá stoppistöðvum. Á dreifðu svæði, getur verið erfitt að anna eftirspurn, sem getur leitt til minna framboðs á ferðum og minni sveigjanleika á tímum ferða. Einnig getur reynst erfitt að auka fargjaldatekjur þegar eftirspurn minnkar vegna minna framboðs. Víðsvegar erlendis er boðið upp á deiliþjónustur til að auka aðgengi og brúa bilið til/frá stoppistöðvum með eftirspurnardrífinni þjónustu (e. Demand Responsive Transport, DRT) og samþætta við aðra

samgöngumáta s.s. almenningssamgöngur, hjól, samferða öðrum á bíl o.fl. Nefnist þetta deili- og snjallsamgöngur (e. Mobility as a Service). Hugtakið felur í sér að sameina allar samgöngubjónustur hvernar borgar í eitt forrit, sem gerir vegfarendum kleift að leita að hagkvæmustu leið frá upphafsstað að áfangastað bæði tíma- og kostnaðarlega. Notandi getur valið úr mismunandi leiðum og mismunandi ferðamátum ef fleiri en einn valkostur er í boði, eftir hentisemi. Sem dæmi getur notandi tekið deilihjól að næstu stoppistöð, því næst strætó að stoppistöð sem næst áfangastað og gengið síðasta legginn á áfangastað. Verið er að reyna að draga úr notkun á bílum og auka þess í stað notkun sjálfbærra samgöngumáta.

Tæknin og forritið mun þó ekki leysa umferðabungann eitt og sér, en getur hjálpað fólki að ferðast snjallar og nota fjölbreytta ferðamáta. Einnig getur hugbúnaðurinn sem sameinar samgöngumátana gefið góða innsýn í ferðavenjur íbúa tiltekins svæðis sem nýta sér þjónustuna. Til dæmis hafa niðurstöður erlendis í sumum tilvikum sýnt að ekki helst endilega vel í hendur sú þjónustuleið almenningssamgangna með fastri leið sem er í boði og sú leið sem vegfarendurnir sjálfir kjósa með eftirspurnardrífni þjónustu. Þannig má nota upplýsingar úr notkun hugbúnaðarins til úrbóta.

Innleiðing 5G mun hafa margvísleg áhrif á ofangreinda samgöngumáta. Með V2P samskiptum mun vera mögulegt að fækka stórlega slysum sem innifela ökutæki og gangandi eða hjólandi vegfarendur eins og rakið er nánar í kafla 3.2.4. Einnig gefa V2X lausnir möguleikann á auknu umferðarflæði eftir því sem innleiðing tengdra sjálfkeyrandi ökutækja eykst sem ætti að minnka umferðartíma þegar á heildina er litið. Þegar kemur að losun gróðurhúsalofttegunda er gert ráð fyrir að full innleiðing geti minnkað losun frá samgöngum á landi um allt að 60% árið 2050 (Alonso Raposo, 2019). Einnig má leiða líkum að því að deilibílum muni fjölga með tilkomu 5G tengdra, sjálfkeyrandi bíla af SAE stigi 4 sem eykur við fjölbreytta flóru deilisamgangna.

3. Önnur rannsóknarverkefni

Á vettvangi Evrópusambandsins innan Horizons 2020, sem er stærsta rannsóknar- og nýsköpunar áætlun sambandsins til þessa, hefur verið lagt í mikla vinnu við að rannsaka möguleika 5G tækninnar á samgöngur og innviði. Þegar áhrif 5G eru skoðuð er því nærtækt að horfa til þeirra verkefna sem unnin eru á vettvangi Horizons 2020 áætlunarinnar. Hér að neðan eru rakin þrjú slík verkefni sem snúa að 5G og samgöngum.

3.1 INFRAMIX

Inframix¹ er rannsóknarverkefni miðað því að undirbúa vegakerfið fyrir sambúð hefðbundinna og sjálfkeyrandi ökutækja og það breytingaskeið sem mun standa yfir þar til sjálfkeyrandi ökutæki taka við. Megin markmiðið er að hanna, uppfæra, aðlaga og prófa (með hermun og á vegum úti) bæði raunverulega og stafræna hluta vegakerfisins til að styðja við þessa sambúð og tryggja um leið ótruflaðar, fyrirsjáanlegar, öruggar og skilvirkar samgöngur. Útkoman mun vera „hybrid“ vegakerfi sem getur ráðið við þetta breytingaskeið og orðið að grunni framtíðar sjálfvirks samgöngukerfis.

Inframix verkefnið beitir umferðarflæðimódelum, hermunartækni og stýritækni sem og nýjum og aðlöguðum raunverulegum og stafrænum hlutum vegakerfisins. Þar sem umtalsverður kostnaður fylgir því að breyta vegakerfinu svo það styðji að fullu við sjálfkeyrandi akstur þá er hér þróað flokkunarkerfi vegainnviða. Þegar kemur að stuðningi vegakerfisins við sjálfkeyrandi bíla þá er horft til

¹ www.inframix.eu

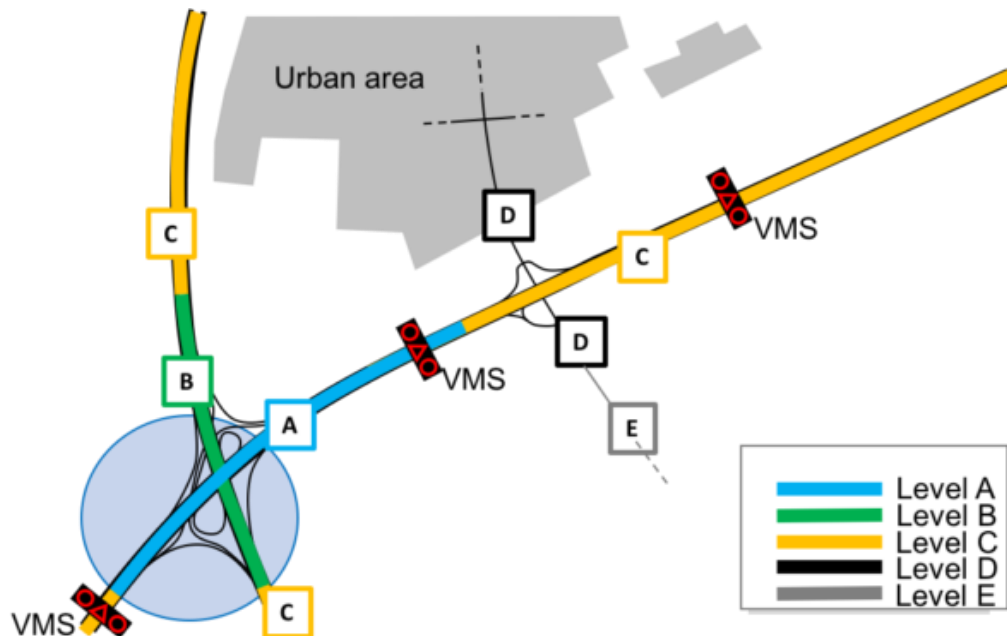
Þess að flokka vegakerfið eftir getustigi og forgangsraða getustiginu eftir umferðarþunga og hættustigi. Taflan hér að neðan sýnir flokkunina.

Inframix verkefnið metur svo áhrif tengdra innviða í þremur tilvikum sem eru algeng í umferð. Stýrð akreinaskipti, vegavinnusvæði og flöskuhálsar eða þrengingar í umferð.

Level	Name	Description	Digital information provided to AVs			
			Digital map with static road signs	VMS, warnings, incidents, weather	Microscopic traffic situation	Guidance: speed, gap, lane advice
Digital infrastructure	A	Cooperative driving Based on the real-time information on vehicles movements, the infrastructure is able to guide AVs (groups of vehicles or single vehicles) in order to optimize the overall traffic flow	X	X	X	X
	B	Cooperative perception Infrastructure is capable of perceiving microscopic traffic situations and providing this data to AVs in real-time	X	X	X	
	C	Dynamic digital information All dynamic and static infrastructure information is available in digital form and can be provided to AVs	X	X		
Conventional infrastructure	D	Static digital information / Map support Digital map data is available with static road signs. Map data could be complemented by physical reference points (landmarks signs). Traffic lights, short term road works and VMS need to be recognized by AVs	X			
	E	Conventional infrastructure / no AV support Conventional infrastructure without digital information. AVs need to recognise road geometry and road signs				

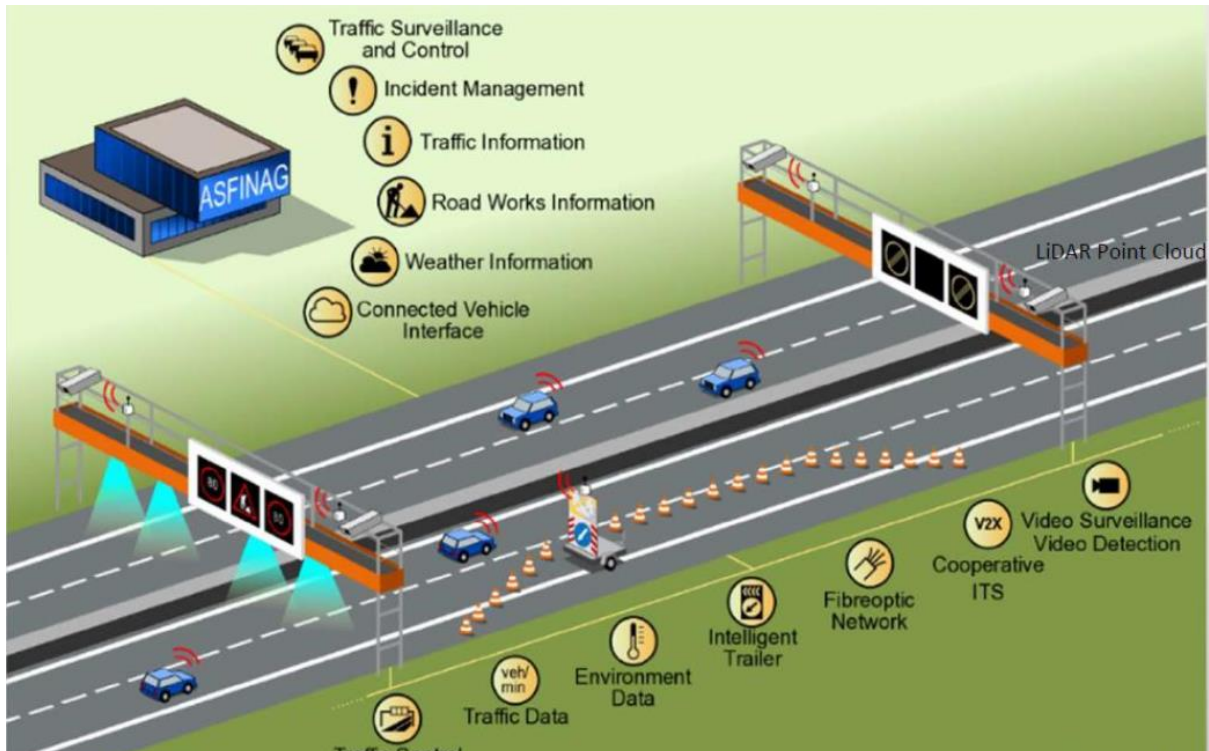
Mynd 4: Flokkun innviða.

Stigin eru lýsa stafrænu þjónustustigi á afmörkuðum köflum vegakerfisins. Hærrí stigum stafrænna innviða er þá forgangsraðað þar sem umferðarþungi og slyshætta er hvað mest. Þjóðvegakaflar án vegamóta eru þá jafnan hafðir af lægra stigi þar sem umferðarflæði á slíkum vegköflum verður sjaldnast fyrir truflunum. Myndin hér að neðan sýnir hvernig skipta m ætti stuðningsstigi eftir aðstæðum (VMS = breytilegt upplýsingaskilti e. Variable Message Signs).



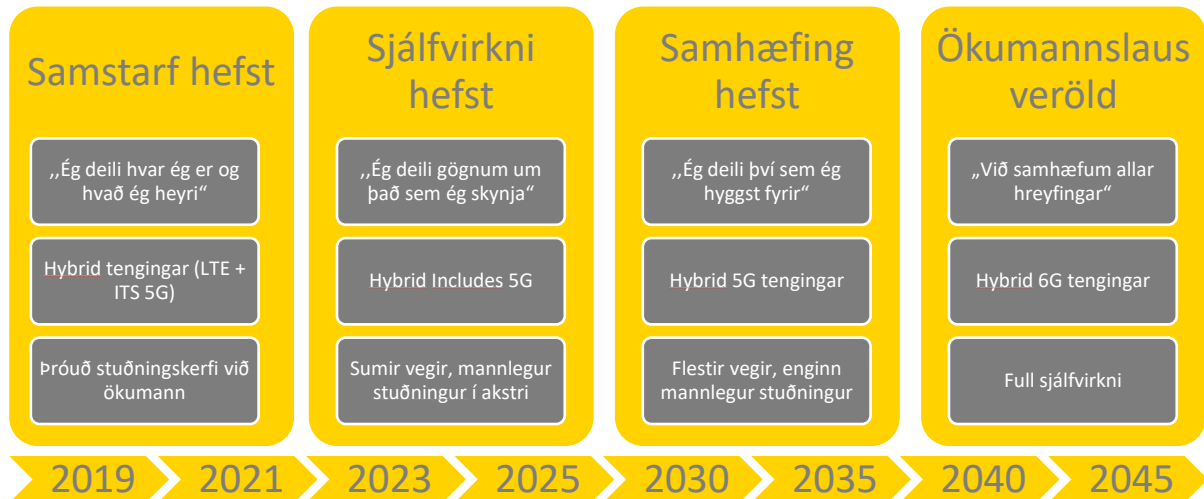
Mynd 5: Dæmi um dreifingu tengdra innviða.

Ef flókin gatnamót eru studd með skynjurum er hægt að veita stuðning í formi samhæfðar skynjunar (stig B) og jafnvel leiðsögn fyrir sjálfkeyrandi bíla (stig A). Aðrir veghlutar gætu veitt stuðning af stigi C sem innifelur að gögn frá breytilegum upplýsingaskiltum eru gerð aðgengileg með stafrænum hætti. Að lokum eru minna notaðir vegir studdir að hluta með kortastuðningi (stig D) og sumir sveitavegir eru án stuðnings.



Mynd 6: Dæmi um upplýsingar frá innviðum og notkunartilvik.

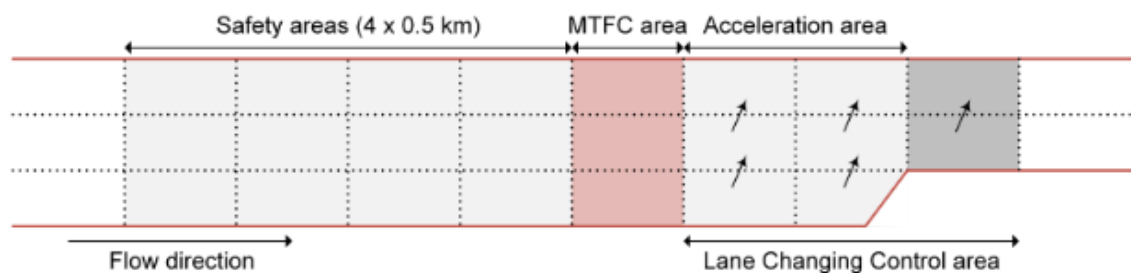
Inframix verkefnið leggur einnig fram tímalínu fyrir breytingaskeiðið sem sjá má hér að neðan og samræmist spám Evrópusambandsins um þessa þróun. Þegar kemur að þróuninni þá gæti hún litið út eitthvað í líkingu við það sem hér sést. Hér eru lögð saman stig sjálfkeyrandi bíla, fjarskiptatækni, stuðningur vegakerfisins við sjálfkeyrandi bíla og tímalínan.



Mynd 7: Dæmi um búnað og upplýsingar sem tengdir innviðir geta deilt.

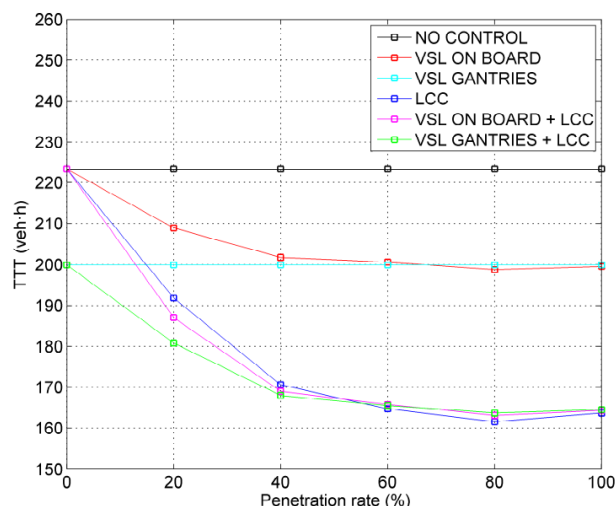
3.1.1 Áhrif á umferðarflæði

Sem hluti af úrvinnslu verkefnisins hafa áhrif á afkastagetu umferðar verið rannsökuð. Skoðuð voru tilvik eins og þegar akreinum fækkar úr þremur í tvær og hvaða áhrif það hefði ef 5G tengdir innviðir og sjálfkeyrandi bílar samhæfðu aksturslag í gegnum slíka þrengingu. Samkvæmt rannsókn Inframix verkefnisins þá jókst afkastageta umferðar frá 6% upp í 27% eftir því hve hátt hlutfall ökutækja voru tengd og að hve miklu leyti vegakerfið studdi við aksturinn. (al., 2018)



Mynd 8: Vegakafli notaður til að herma áhrif Inframix á umferðarflæði.

Grafið hér að neðan sýnir áhrif aukinnar innleiðingar tengdra og sjálfkeyrandi bíla við tengda innviði á afkastagetu við slíkar aðstæður. Á x-ás er hlutfall innleiðingar og á y-ás er meðal tímalengd sem tekur hvert tókutæki að aka í gegnum þrenginguna hér að ofan.



Mynd 9: Meðal ferðatími samanborið við hlutfall 5G tengdra ökutækja.

3.2 5GCAR

5GCAR² verkefninu lauk í júní 2019 og sneri að því að nýta 5G tæknina í þremur V2X (e. Vehicle to everything) notkunartilvikum. Neðangreind tilvik voru útfærð og prófuð við raunverulegar aðstæður.

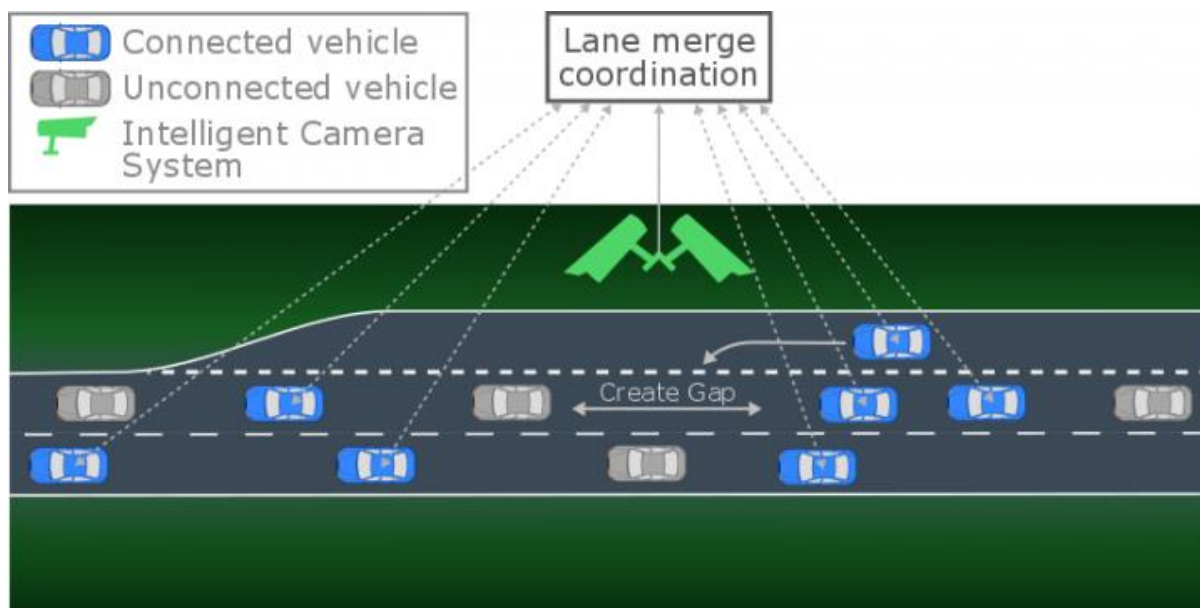
- Við innakstur ökutækja frá aðrein inn á stofnbraut
- Samhæfð skynjun tengdra ökutækja t.d. við framúrakstur og við blindhorn
- Vernd gangandi vegfarenda

Hér er farið stuttlega yfir þessi notkunartilvik til að varpa ljósi á væntanlega virkni þegar fram líða stundir.

3.2.1 Innakstur ökutækja frá aðrein inn á stofnbraut

Hér eru notuð bein 5G samskipti milli bíla til að samhæfa aksturslag þegar ekið er inn á stofnbraut af aðrein. Vegakerfið styður við samhæfinguna með 5G tengdu myndavéla kerfi sem miðlar upplýsingum um staðsetningu hefðbundna bíla. Tengdir bílar senda upplýsingar um sig á miðlæga samhæfingarstöð sem sameinar þær upplýsingar með upplýsingum úr myndavélakerfinu og leiðbeinir því næst bílunum um hvar skal búa til bil og hvar skal aka inn á stofnbrautina.

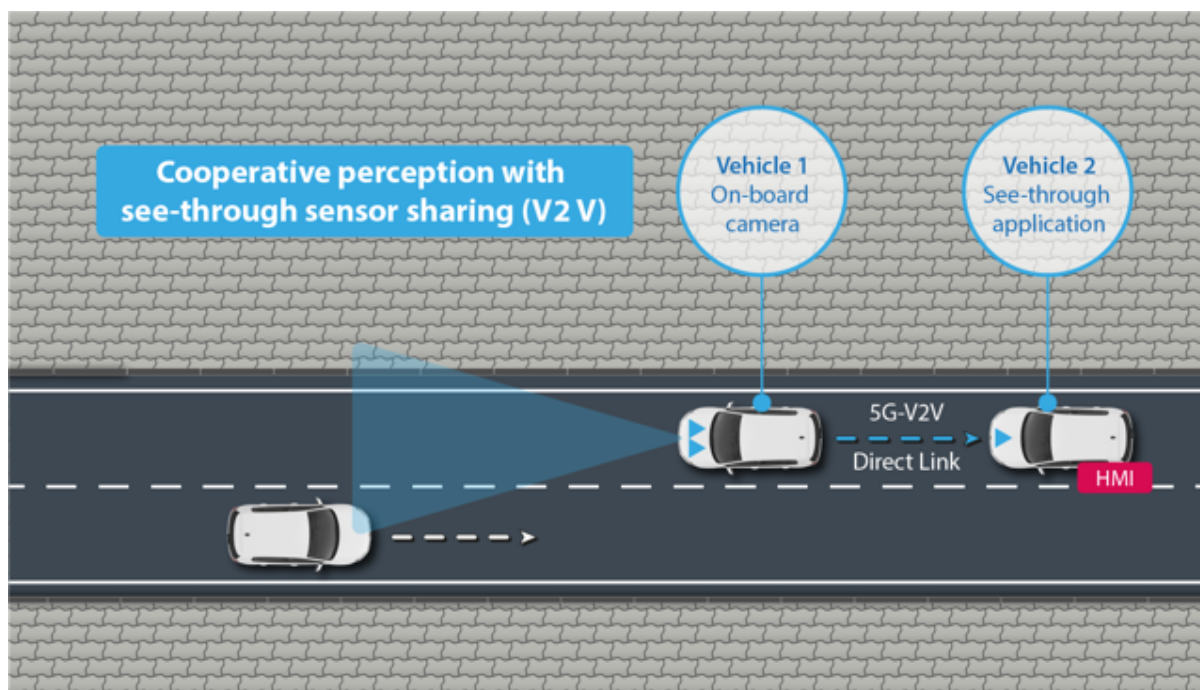
² <https://5gcar.eu/>



Mynd 10: Innakstur frá aðrein á stofnbraut.

3.2.2 Samhæfð skynjun tengdra ökutækja - framúrakstur

Annað dæmi er svokölluð “see-through” myndavél sem notar lifandi streymi frá myndavél í fremri bílnum til að gera aftari bílnum kleift að sjá í gegnum hann. Þar með er t.d. hægt að gera framúrakstur öruggari og skilvirkari. Þessi virkni er möguleg vegna lágs svartíma 5G, beinnar 5G tengingar milli bílanna tveggja og gagnahraðans sem 5G býður uppá.

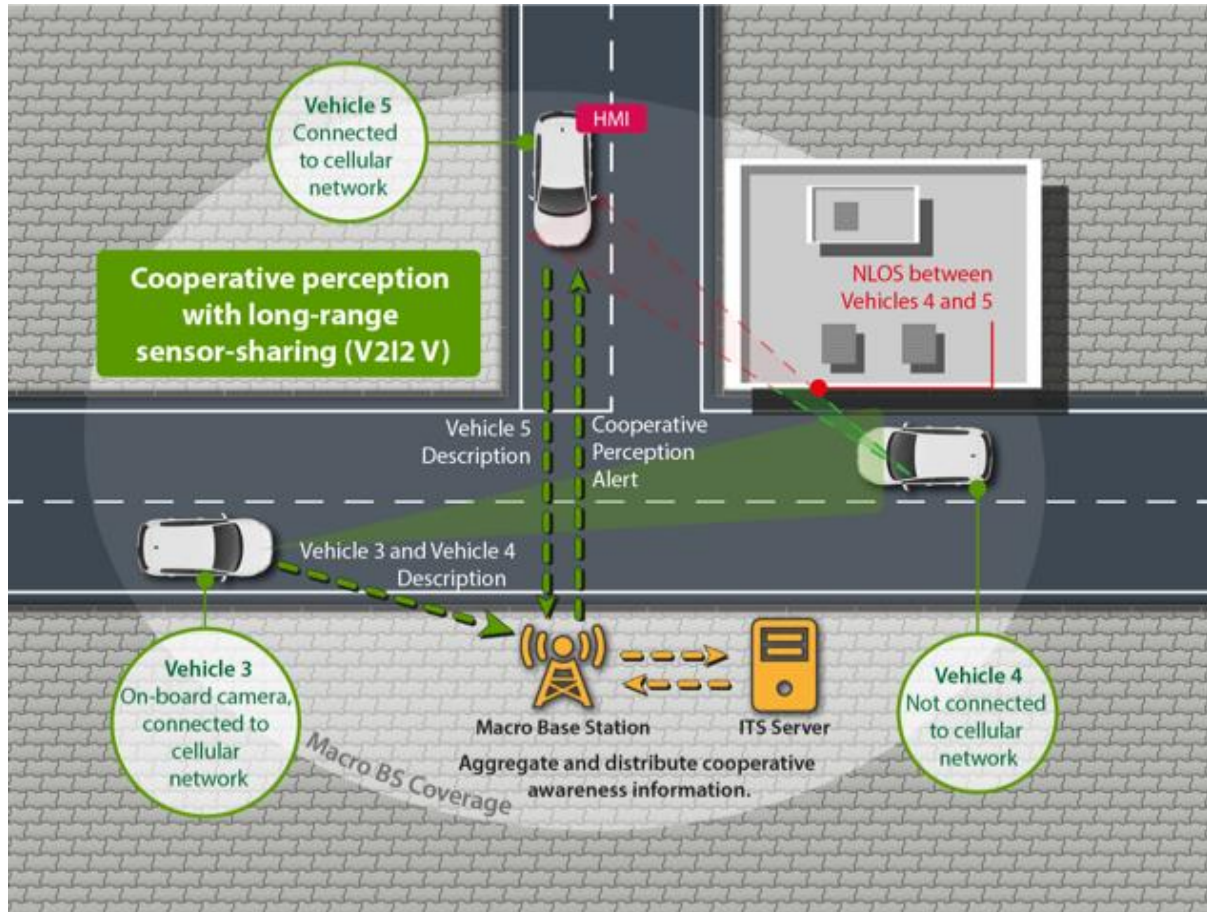


Mynd 11: Samhæfð skynjun - framúrakstur.

3.2.3 Samhæfð skynjun tengdra ökutækja - blindhorn

Hér er dæmi þar sem tengdur bíll deilir sínum skynjunum frá myndavél í bílnum og öðrum skynjurum sem greina tengd og ótengd ökutæki í grennd og deilir þeim upplýsingum yfir 5G netið til annarra tengdra bíla í umhverfinu.

Þar með er skynjun seinni bílsins framlengd sem gefur betur upplýstar ákvarðanir um aksturslag, sér í lagi þegar keyrt er fyrir blindhorn á gatnamótum.

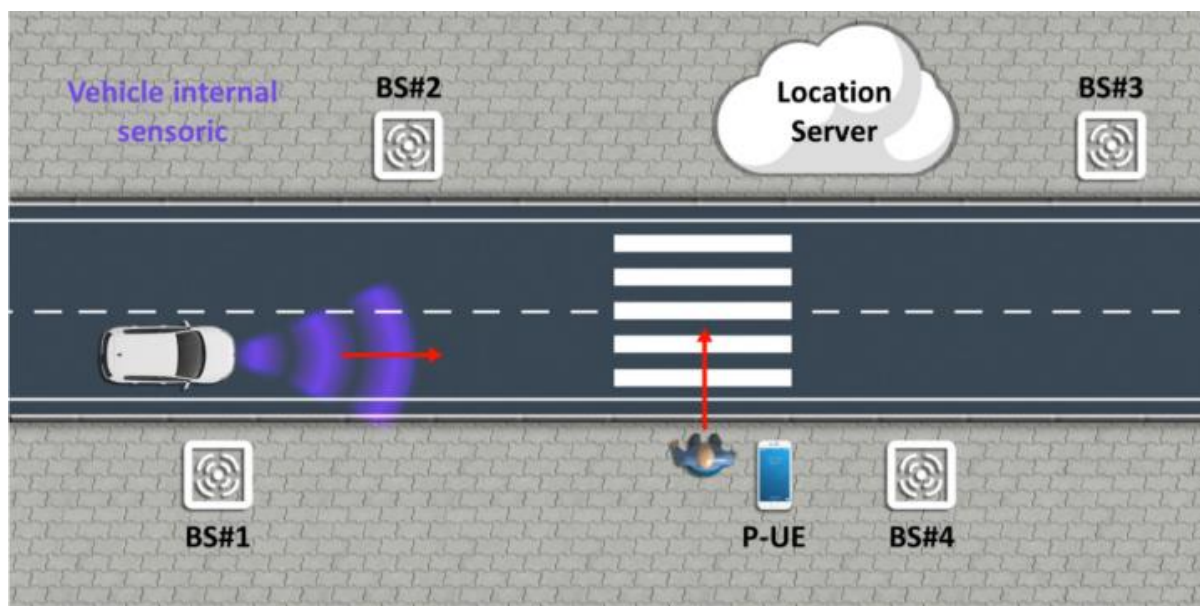


Mynd 12: Samhæfð skynjun – blindhorn.

3.2.4 Vernd gangandi vegfarenda

Hér er dæmi þar sem ökutæki og gangandi vegfarandi senda 5G uplink skilaboð sjálfvirkt á nokkra 5G senda. Hver sendir mælir móttökutíma (e. time of arrival) skilaboðanna og notar þau til að þríhyrningsmiða staðsetningu beggja. Ökutækið og vegfarandinn senda gögn frá sínum skynjurum svo sem GPS staðsetningu, hraða, snúning (e. yaw rate) og stefnu. Allar þessar upplýsingar eru notaðar til að meta feril notenda byggt á hreyfimódeli og kortagrunni. Að lokum er viðvörðun send ef mögulega hættulegt ástand skapast og hún send frá netinu til ökutækisins og vegfarandans.

Markmiðið hér að bæta viðbrögð gagnvart gangandi vegfarendum í þétu borgarumhverfi, sér í lagi þegar beina sjónlínu skortir sem er takmarkandi fyrir sjálfkeyrandi ökutækis ef það treystir eingöngu á eigin skynjara.



Mynd 13: Vernd gangandi vegfarenda.

5GCAR verkefnið hefur ekki gert tilraunir til að áætla áhrif á fækkun slysa fyrir gangandi vegfarendur en í kaflanum hér á eftir er farið yfir aðrar rannsóknir á þeim áhrifum.

3.3 CoEXist

CoEXist³ verkefnið leitast við að styrkja getu vegamálayfirvalda til að skipuleggja og samþætta innkomu tengdra og sjálfkeyrandi ökutækja (CAV e. Connected Automated Vehicles) í vegakerfið. Er það gert með því að þróa umferðarhermunartól og CAV herma. Afurð verkefnisins á að vera umferðarhermunartól sem getur einnig hermt innkomu tengdra og sjálfkeyrandi ökutækja. Einnig er stefnt á að leggja fram tól sem metur áhrif á CAV innleiðinguna. CoEXist mun einnig leggja fram aðgerðaáætlun og ramma sem leiðarvísi fyrir vegamálayfirvöld. Hugbúnaðurinn gerir kleift að herma mismunandi hlutföll af sjálfkeyrandi bílum í umferð sem og sjálfvirkni stig bílanna (SAE level) og þar með einnig „varkára“ hegðun þeirra sem og betur „flæðandi“ hegðun.

Rannsóknarverkefnið er enn í gangi en frumniðurstöður eru farnar að liggja fyrir frá Gautaborg og Stuttgart. Í ljós kemur að í fyrsta fasa þegar lítill fjöldi „varkára“ sjálfkeyrandi bíla er í umferð þá valda þeir í heild auknum töfum í umferð fyrir alla vegfarendur. Þegar sjálfkeyrandi bílarnir fara að bæta frammistöðu sína í umferðinni og ná um 30% hlutfalli af heildarumferð þá sýna hermilíkönin að tafir minnka frá því sem fyrir var og ferðatími fer að stytta.

Þar að auki benda hermunirnar til að meðal vegalengd bílferða aukist þar sem fólk er reiðubúið að dvelja lengur í bílum sínum, þá gerandi eitthvað annað en að keyra. Gert er ráð fyrir að umferðaraukningin geti numið um 20%.

Bent skal þó á að aukinn umferðartími er að hluta til vegna betri fylgni við hámarkshraða sem er jákvætt þegar kemur að öryggi í umferðinni, sér í lagi þar sem fjöldi gangandi og hjólandi vegfarenda er. (CoEXist, 2019)

³ <https://www.h2020-coexist.eu/>

3.3.1 Dayton

Þegar kemur að áhrifum tengdra, sjálfkeyrandi ökutækja á umferðarflæði gegnum ljósastrýð gatnamót þá var skoðað verkefni unnið í Dayton, Ohio þar sem CoExist módelinu var beitt í Vissim til að meta áhrifin á ljósastrýð gatnamót.

Samkvæmt (Almobayedh H. , 2019) kom í ljós að aukning tengdra, sjálfkeyrandi ökutækja í umferðinni hefur jákvæð áhrif á umferðarflæði um ljósastrýð gatnamót. Aukin notkun þeirra gat minnkað tafir í röðum um 12%, stöðvaða töf um 17%, umferðartíma um 17% og lengd bílaraða um 22%. Sett voru upp fimm mismunandi sviðsmyndir og þær hermdar.

1. Núverandi ástand, 100% hefðbundnir bílar
2. 50% ökutækja eru hefðbundin og 50% eru CAV „alvitur“ skv. skilgreiningu CoExist
3. 100% ökutækja eru CAV „varkár“ skv. skilgreiningu CoExist
4. 100% ökutækja eru CAV „hefðbundin“ skv. skilgreiningu CoExist
5. 100% ökutækja eru CAV „alvitur“ skv. skilgreiningu CoExist

Sviðsmyndir 3, 4 og 5 eru í raun að bera saman áhrif þriggja mismunandi stiga sjálfkeyrandi bíla. Taflan hér að neðan sýnir samantekt á niðurstöðum hermunar á þessum sviðsmyndum sem verða notaðar sem nálgun á umferð um gatnamót Miklubrautar og Kringlumýrarbrautar í kafla 4.

Tafla 1: Samantekt á hermun ljósastrýðra gatnamóta við fimm sviðsmyndir.

Intersection Performance Measures of Effectiveness (MOEs)	Percent Change in MOEs for Each Scenario				
	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5
Average Queue Delay (sec)	0%	-4%	10%	-7%	-12%
Average Stopped Delay (sec)	0%	-8%	14%	-13%	-17%
Average Vehicle Travel Time (sec)	0%	-4%	-1%	-9%	-17%
Average Queue Length (ft)	0%	-11%	17%	-15%	-22%
Maximum Queue Length (ft)	0%	-12%	6%	-11%	-21%

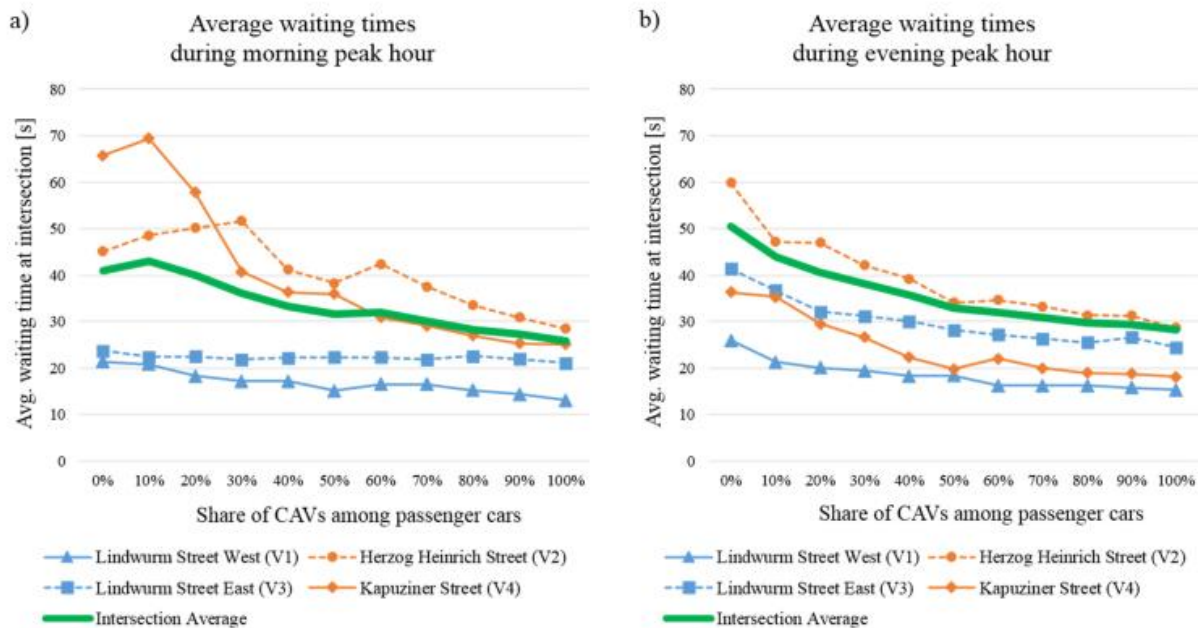
3.3.2 Munchen

Einnig var skoðuð önnur rannsókn á hermun gatnamóta í Munchen. Samkvæmt rannsókninni eru gatnamót flöskuhálsar í borgarumferð og þegar umferðarálag er mikið, myndist biðraðir óháð samstillingu umferðarljósa. Þess vegna byrji ökutæki frá kyrrstöðu þegar grænt ljós kemur og umferðarrým gatnamóta sé mest háð viðbragðstíma ökumanna, bili á milli ökutækja og þeim hraða sem ekið er á yfir gatnamótin. Við slík tilvik kunna tengd, sjálfkeyrandi ökutæki að bjóða upp á umtalsverða styttingu biðtíma.

Við hermunina er meðal annars gert ráð fyrir eftirfarandi breytum:

Tafla 2: Helstu parametrar í hermun.

	Mennskur bílstjóri (meðaltal)	Sjálfkeyrandi ökutæki	Vörubílar (meðaltal)	Hjólandi vegfarandi
Viðbragðstími [s]	1,1	0,6	0,8	0,6
Bil frá næsta bíl [s]	0,8	0,6	1,0	0,2
Bil milli stöðvaðra bíla [m]	1,5	1,0	1,7	0,3



Mynd 14: Hermun á a) morgunálagstíma og b) kvöldálagstíma.

Samanborið við núverandi ástand sýnir hermunin að 100% notkun tengdra, sjálfkeyrandi ökutækja geti lækkað biðtíma á álagstíma um 34-45%. Þetta er vegna þess að gert er ráð fyrir styttri viðbragðstíma hjá þeim ökutækjum en hjá mennskum ökumönnum og að ökuhegðun sjálfkeyrandi ökutækja myndi meiri samfellu í umferðarflæði.

Möguleikinn til að lækka biðtíma veltur að miklu leyti á því hve mikið umferðarálagið er, fjölda akreina og lengd græntíma. Ef umferðarálagið er lítið og biðtímar þar af leiðandi stuttir, er ekki mikið svigrúm til að stytta biðtíma með innkomu tengdra, sjálfkeyrandi bíla. (Niels, Erciyas, & Bogenberger, 2018)

Ef gröfin hér að ofan eru skoðuð er einnig áhugavert að sjá að þegar hlutdeild CAV er komin í 30-40% má þegar sjá umtalsverða styttingu á umferðartíma, sér í lagi á þeim leiðum sem biðtíminn er hvað mestur þannig að ljóst er að jákvæð áhrif koma inn tiltölulega fljótt.

3.4 Áhrif á tíðni óhappa

Ýmsar rannsóknir og hermanir hafa verið gerðar á mögulegum áhrifum 5G væðingar á samgöngur sem snúa að mörgu leiti að sjálfkeyrandi bílum. Þegar kemur að þeim í dag þá er þegar hægt að sjá umtalsverðar framfarir á bílum af SAE stigi 2 (sjálfvirkni að hluta). Sem dæmi þá gaf Tesla út tölur um 3ja fjórðung 2019 um að þeir hafi skráð eitt slys fyrir hverja 4,34 milljón mílur eknar með Autopilot í gangi. Með virkan öryggisbúnað hafa þeir skráð eitt slys fyrir hverjar 2,7 milljón mílur eknar. (Tesla Vehicle Safety Report, 2020) Til samanburðar þá gefur Samgönguráðuneyti Bandaríkjanna (NHTSA) út að meðaltali sé eitt slys fyrir hverjar 498.000 mílur. Tafla 3 hér að neðan sýnir ofangreindar tölur.

Munurinn er í raun sláandi þar sem slysum fækkar tæplega nífalt miðað við meðaltalið. Tekið skal fram að Autopilot er að mestu notað á þjóðvegum en flest slys verða í vegum í þéttbýli og því ekki hægt að bera tölurnar beint saman fyrir allan akstur.

Tafla 3: Tölfræði Tesla um slysatíðni (Eitt slys per X milljón mílur eknar).

	Q3 2018	Q4 2018	Q1 2019	Q2 2019	Q3 2019	Q4 2019
Með Autopilot	3,34	2,91	2,87	3,27	4,34	3,07
Með virkar öryggis stillingar	1,92	1,58	1,76	2,19	2,70	2,10
Án Autopilot og virkra öryggisstillinga	2,02	1,25	1,26	1,41	1,82	1,64
BNA meðaltal	0,492	0,436	0,436	0,498	0,498	0,479
Hlutfall Autopilot m.v. US meðaltal	6,8	6,7	6,6	6,6	8,7	6,4

Ljóst er samt að tækifærin með aukinni sjálfvirknivæðingu eru mikil og er hér að neðan samantekt á þeim áhrifum sem áætluð hafa verið með 5G væðingu samgöngukerfisins eftir því sem sjálfvirknivæðing samgangna fer á SEA stig 3 og 4 og tengingum milli ökutækja, innviða, gangandi vegfarenda og annarra ökutækja (V2X) fer fjölgandi.

3.4.1 Áhrif V2X

Umferðaröryggisráð Bandaríkjanna hefur látið vinna rannsóknir þar sem leitast er við að áætla áhrif þessarar þróunar á tíðni óhappa. Rannsóknir þeirra gefa til kynna að 94% óhappa í dag séu vegna mistaka ökumanns.

Með innleiðingu V2V fjarskipta áætla ráðið að tæknin geti mögulega brugðist við um 80% af þeim óhöppum þar sem um tvö eða fleiri ökutæki er að ræða. (Intelligent Transportation Office - V2P Communications for Safety, 2020)

Ráðið skoðaði sérstaklega tvö afmörkuð tilfelli; aðstoð við þverun gatnamóta og aðstoð við vinstri beygjur. Var niðurstaðan að fækka mætti heildar slysum um 50% þegar kemur að árekstrum, meiðslum og dauðsföllum með því að beita V2V tækni bara í þessum tveimur notkunartilfellum. Með því að nýta V2V og V2I tækni í fleiri notkunartilfellum mætti fækka slysum enn meira. (U.S. Department of Transportation, 2020)

Til samanburðar má nefna að verkfræðingar Volkswagen áætla að 5G tengdir bílar muni fækka umferðaróhöppum um 68%. (Corby, 2020)

Aðstoð við þverun gatnamóta myndi vara ökumann við þegar ekki er óhætt að aka inn á gatnamót vegna aukinnar hættu á árekstri við eitt eða fleiri ökutæki.

Aðstoð við vinstri beygju myndi vara ökumann við þegar sterkar líkur eru á árekstri við ökutæki úr gagnstæðri átt þegar taka á vinstri beygju. Þetta er sérlega mikilvægt þegar sjónlína ökumanns er skert vegna ökutækis sem er einnig að taka vinstri beygju úr gagnstæðri átt.

Samgönguyfirvöld í Bandaríkjunum hafa áætlað að V2I fjarskipti geti fækkað umferðarslysum um viðbótar 12% umfram þá fækkun umferðarslysa sem hefðbundin V2V fjarskipti munu gefa. (Dopart, 2020)

Þegar kemur að öryggi gangandi og hjólandi vegfarenda er áætlað að V2P fjarskipti muni geta fækkað óhöppum um 80%. (Intelligent Transportation Office - V2P Communications for Safety, 2020)

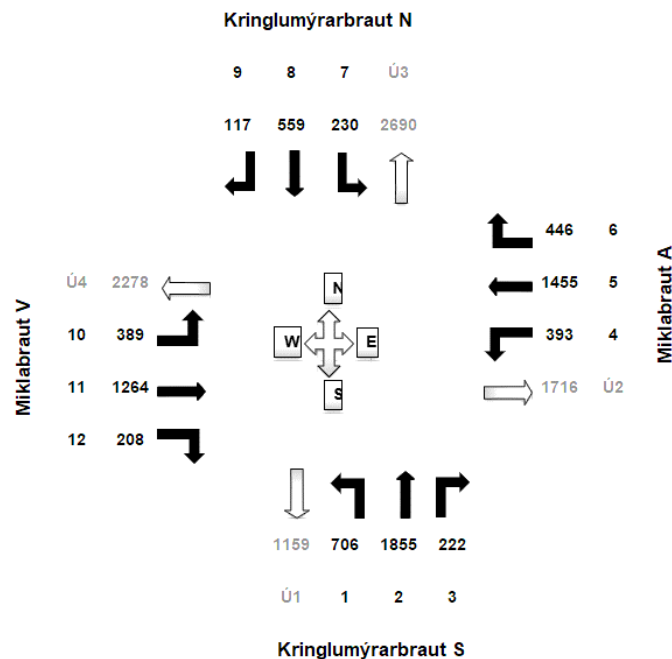
4. Miklabraut - Kringlumýrabraut

Almennt hefur mikið umferðaöngþveiti myndast síðastliðin ár og virðist það færast í aukanna og ferðatími fólks á einkabifreiðum að aukast. Um það bil 40% af íbúum höfuðborgarsvæðisins ferðast í kjarna Reykjavíkur dag hvern og eru helstu umferðaæðar á stofnbrautum; *Reykjanesbraut*, *Miklabraut* og *Kringlumýrabraut*. Valið var að greina ein fjölfarin gatnamót á höfuðborgarsvæðinu og urðu gatnamótin Miklabraut og Kringlumýrabraut fyrir valinu. En hátt í 8.000 bílar þvera gatnamótin á álagstímum, það er við morgunumferð og síðdegisumferð, og við gatnamótin myndast flöskuhálsar við núverandi ástand. Greining á gatnamótunum felst í því að skoða núverandi umhverfi út frá ljósastýringu, umferð og slysatíðni og heimfæra yfir í aðstæður ef 5G kerfi væri í notkun á tilteknum gatnamótum. Aðferðafræðin sem var notuð að heimfæra aðstæður úr 4G í 5G er að nýta rannsóknir sem hafa verið gerðar erlendis, en víðtækar rannsóknir á vegum Evrópusambandsins hafa verið gerðar og eru endanlegar niðurstöður væntanlegar þaðan árið 2020.

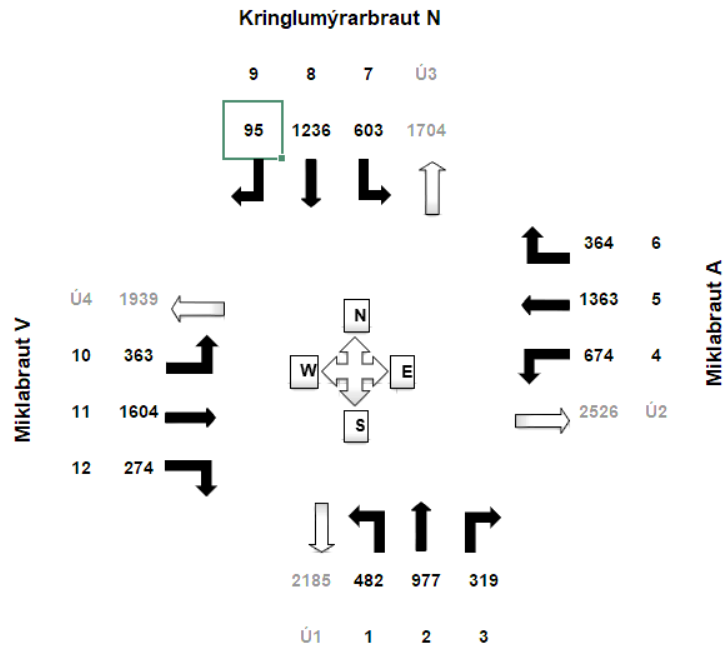
4.1 Núverandi umhverfi

Samkvæmt skýrslu frá Samgöngustofu frá árinu 2017 (Gunnar Geir Gunnarsson, Kristín Björg Þorsteinsdóttir, Þorbjörg Jónsdóttir, 2018), eru gatnamót Miklabrautar og Kringlumýrabrautar listuð efst sem hættulegustu ljósastýrðu gatnamót í þéttbýli. Á árunum 2013 til 2017 voru flest slys og óhöpp á höfuðborgarsvæðinu við tiltekin gatnamót eða 181 slys og/eða óhapp, með og án meiðsla.

Yfir 5 ára tímabil (2013 til 2017) voru skráð 7.629 slys á höfuðborgarsvæðinu eða 1.526 að meðaltali á ári. Hlutfall slysa við gatnamótin eru því 2,4% yfir allt höfuðborgarsvæðið á árunum 2013 til 2017. Eins og sjá má á mynd 15 og 16, þá er umferð úr öllum áttum á álagstímum.

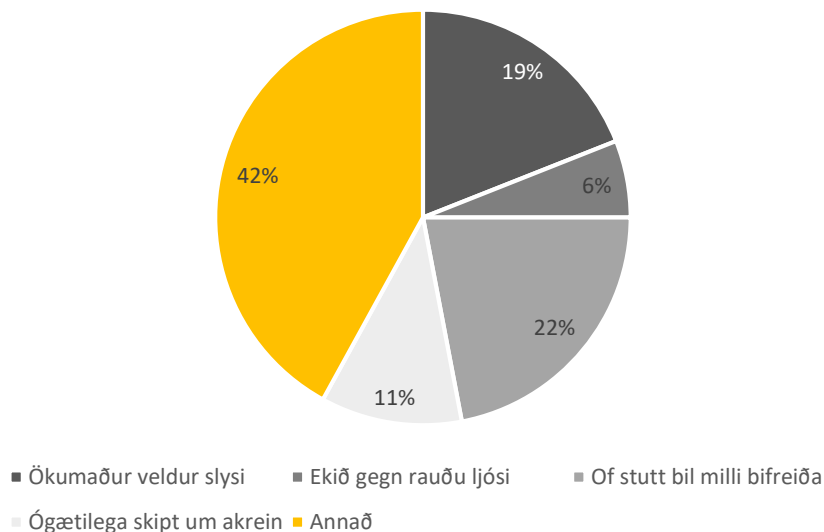


Mynd 15: Morgunumferð við gatnamót Miklabrautar og Kringlumýrabrautar.



Mynd 16: Síðdegisumferð við gatnamót Miklubrautar og Kringlumýrabrautar.

Samkvæmt skýrslu Mannvits frá árinu 2019 (Mannvit, 2019) sem ber heitið „Greining á slysum á stofnbrautum í þéttbýli á höfuðborgarsvæðinu“ má rekja orsök skráðra slysa af völdum manlegs þáttar í 87,8% tilfella. 25,5% er af völdum umhverfis, 2,9% er bíll ástæða og 3,4% annað.



Mynd 17: Orsök slysa á árunum 2009-2017.

Slysunum hefur verið flokkað í 5 flokka; „Ökumaður veldur slysi“, „Ekið gegn rauðu ljósi“, „Of stutt bil milli bifreiða“, „Ógætilega skipt um akrein“ og allt annað fellur undir síðasta flokkinn „Annað“. Eins og sjá má þá er stærsti flokkurinn fyrir utan annað, að of stutt bil er á milli bifreiða í 22% tilfella. 11% orsaka slysa er þegar ógætilega er skipt um akrein. Samanlagt eru þetta 33% tilfella slysa.

4.2 Þjónustustig við gatnamót Miklubrautar og Kringlumýrabrautar

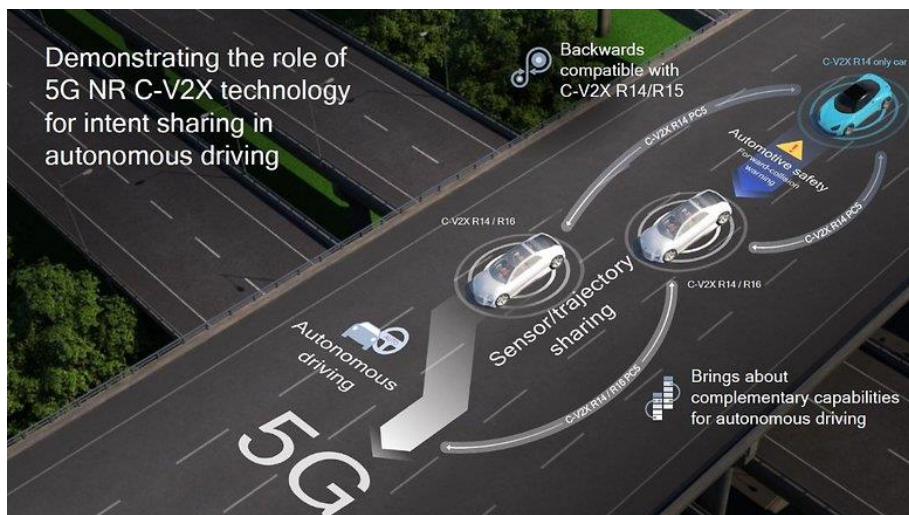
Ljósastýringin á gatnamótunum er í 90 sekúndur þar til það hefur farið hringinn (e. Cycle time). Samkvæmt skýrslu varðandi ástandgreiningu á gatnamótunum sem Verkís og Via plan unnu fyrir samtök sveitarfélag á höfuðborgarsvæðinu (SSH) árið 2017, þá eru bifreiðar sem aka eftir Kringlumýrabraut til suðurs að verða fyrir mestu töfunum bæði í árdegis og síðdegis umferðinni. Bifreiðar á Kringlumýrabraut sem aka til suðurs hafa 10 sekúndur til að þvera gatnamótin, samanborið við 15 sekúndur í síðdegisumferðinni en þá myndast 300 m löng röð við þann straum.

Mestu tafir við gatnamót Kringlumýrabrautar og Miklubrautar er 171 sekúnda, en það er einmitt Kringlumýrabraut til suðurs. Samkvæmt skýrslunni eru meðaltafir við gatnamótin 62 sekúndur bæði árdegis og síðdegis. Hægt að er meta þjónustustig umferðastrauma við gatnamót samkvæmt viðmiðum Highway capacity Manual (HCM) sem var þróað í Bandaríkjunum til að greina strauma með það markmiðið að auka flæða bíla, þ.e. óhindrað flæði. Mat á þjónustustigi (e. Level of Service, LOS) er ekki algengt í Evrópu þar sem borgarumhverfin eru ólík þeim sem tíðkast í Bandaríkjunum þar sem meiri áhersla er lögð á einkabílinn en í Evrópu. Samkvæmt stöðlum Highway capacity Manual við mat á þjónustustigi við ljósastýrð gatnamót, flokkast gatnamót Miklubrautar og Kringlumýrabrautar undir þjónustustig E með meðaltafir 62 sekúndur. Sjá má flokka fyrir þjónustustig í töflu 2 fyrir ljósastýrð gatnamót og gatnamót án umferðaljósa.

Tafla 4: Viðmið Highway Capacity Manual 2010 um þjónustustig gatnamóta (e. Level Of Service).

LOS	Signalized Intersection	Unsignalized Intersection
A	≤10 sec	≤10 sec
B	10–20 sec	10–15 sec
C	20–35 sec	15–25 sec
D	35–55 sec	25–35 sec
E	55–80 sec	35–50 sec
F	>80 sec	>50 sec

Talið er að 5G tengdir innviðir og tengd sjálfkeyrandi ökutæki geti haft áhrif á umferð þar sem umferðarflæði og akreinaval batnar sem gefur færi á að besta umferð samanber CoEXist verkefni sem rakin eru í kafla 3.3. 5G getur haft þann möguleika á að auka þjónustustig við gatnamót með bættri ljósastýringu út frá upplýsingatækni og stýringu á umferð. Mynd 18 sýnir virkni 5G á milli bifreiða og innviða, hvernig áætlað er að skilaboð berist bifreiða á milli. Eftir því sem 5G væðing og innkoma tengdra sjálfkeyrandi ökutækja eykst er því spáð að kostunum fjölgi ört svo sem með bættu umferðaröryggi, bæði fyrir ökumenn og gangandi og hjólandi. Tæknin mun geta gert það að verkum að slysum geti fækkað eða eins og rannsóknir í kafla 3.4 benda á um allt að 68-80%. Einnig er gert ráð fyrir að umferðaröngþveiti geti minnkað með því að beina straumum í umferðinni á skilvirkari hátt.



Mynd 18: Virkni 5G á milli bifreiða og innviða. (Heimild: <https://www.androidpit.com/how-5g-will-change-mobility>)

4.2.1 Kostnaður og ávinningur við 5G

Samkvæmt skýrslu Hagfræðistofnunnar frá árinu 2009 var gerð greining á kostnaði umferðarslysa eftir alvarleika slysa (Hagfræðistofnun, 2012). Lagt var mat á fimm flokka; ómeiddir, lítið slasaðir, mikið slasaðir, alvarlega slasaðir og dauðsfall. Sjá má kostnað við alvarleika slysa í töflu 5, annars vegar fyrir lágt mat og hins vegar hátt mat. Hægra megin er kostnaður miðað við 2009 og vinstra megin er kostnaður uppreiknaður miðað við verðlag ársins í ár. Upphæðir eru í milljónum króna.

Tafla 5: Meðalkostnaður við umferðarslys eftir alvarleika á verðlagi ársins 2009 (v.m) og 2020 (h.m). Tilvísun Hagstofa Íslands

Alvarleiki slysa	Lágt mat	Hátt mat	Lágt mat	Hátt mat
Ómeiddir (0% örorka)	1.5	1.9	2.0	2.5
Lítið slasaðir (1-15% örorka)	6.3	6.7	8.4	8.9
Mikið slasaðir (16-60% örorka)	16.5	32.2	21.9	42.7
Alvarlega slasaðir (61-100% örorka)	42	45	55.7	59.7
Dauðsfall	95	125	126.1	165.9
Samtals				

VSÓ ráðgjöf gerði greiningu á alvarleika slysa við gatnamót Kringlumýrarbrautar og Miklubrautar á árunum 2012 til 2017 sem eru sömu ár og fjöldi slysa sem Samgöngustofa tók saman yfir gatnamótin að undanskildu 2012. Notast var því við hlutföll í skýrslu frá VSÓ ráðgjöf (VSÓ, 2018). Tafla 6 sýnir alvarleika slysa við gatnamótin árin 2012 til 2017. Í 92% tilvika urðu engin meiðsli á fólki, en í 8% tilvika urðu lítil eða mikil meiðsli.

Tafla 6: Hlutfall alvarleika slysa við gatnamót Kringlumýrarbrautar og Miklubrautar. Tilvísun VSÓ ráðgjöf

Alvarleiki slysa	Hlutfall (%)
Engin meiðsl	92%
Lítill meiðsl	7%
Mikil meiðsl	1%
Alvarlega slasaðir	0%
Dauðsfall	0%

Samkvæmt erlendum rannsóknum, líkt og áður nefnt í kafla 3.3, er áætlað að umferðaslysum geti fækkað um allt að 68-80% með innleiðingu á 5G fyrir samgöngur og tengdum sjálfkeyrandi ökutækjum. En þar sem 100% innkoma slíkra ökutækja í bílafloftann getur tekið mörg ár samanborið tímalínu Evrópusambandsins og aðeins hluti bílafloftans á næstu árum með slíka tækni þá eru settar upp fjórar sviðsmyndir sem eru;

- 25% bílafloftans og innviða nýta tæknina
- 50% bílafloftans og innviða nýta tæknina
- 75% bílafloftans og innviða nýta tæknina
- 100% bílafloftans og innviða nýta tæknina

Samkvæmt áður nefndri skýrslu Mannvits frá árinu 2019 „Greining á slysum á stofnbrautum í þéttbýli á höfuðborgarsvæðinu“, þá er stærsti flokkurinn varðandi orsök slysa, að *of stutt bil er á milli bifreiða* í 22% tilfella slysa, fyrir utan flokkinn *annað*. 11% orsaka slysa er þegar *ógætilega er skipt um akrein* og í 6% tilvika *ekið gegn rauðu ljósi*. Tafla 7 sýnir fjöldi umferðaslysa eftir sviðsmyndum miðað við niðurstöður rannsókna erlendis sem gefur til kynna að hægt sé að fækka slysum um allt að 68%. Ef horft er til þessara fjögurra sviðsmynda má áætla að fækka megi umferðarslysum við gatnamótin frá 17% til 68% eða fækka slysum um milli 6 og 25 á ári við þessi gatnamót. Miðað við að það verða að meðaltali 36 umferðarslys við gatnamótin ár hvert, er það góður árangur ef tæknin getur haft þau áhrif.

Tafla 7: Fækkun umferðarslysa við gatnamótin eftir sviðsmyndum og erlendum rannsóknum.

Miklubraut / Kringlumýrabraut	%	Fækkun slysa			
		25%	50%	75%	100%
Ökumaður veldur slysi	19%	1	2	4	5
Ekið gegn rauðu ljósi	6%	0	1	1	1
Of stutt bil milli bifreiða	22%	1	3	4	5
Ógætilega skipt um akrein	11%	1	1	2	3
Annað	42%	3	5	8	10
Samtals	100%	6	12	18	25
Fækkun slysa		17%	34%	51%	68%

Kostnaður eftir alvarleika slysa við gatnamótin og mismunandi sviðsmyndum má sjá í töflu 8.

Tafla 8: Áætlaður árlegur sparnaður sviðsmynda við gatnamót Kringlumýrabrautar og Miklubrautar, í milljónum króna.

Alvarleiki slysa	Lágt mat				Hátt mat			
	25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%
Ómeiddir (0% örorka)	11.27	22.54	33.82	45.09	14.28	28.56	42.84	57.11
Lítið slasaðir (1-15% örorka)	3.60	7.20	10.81	14.41	3.83	7.66	11.49	15.32
Mikið slasaðir (16-60% örorka)	1.35	2.70	4.04	5.39	2.63	5.26	7.89	10.52
Alvarlega slasaðir (61-100% örorka)	-	-	-	-	-	-	-	-
Dauðsfall	-	-	-	-	-	-	-	-
Samtals	16.2	32.4	48.7	64.9	20.7	41.5	62.2	83.0

Sviðsmynd þar sem 25% bílafloftans og innviða eru að nýta tæknina er áætlaður sparnaður vegna umferðaslysa rúmar 16 m.kr. á ári, miðað við lágt mat en nær 21 m.kr. miðað við hátt mat. Ef niðurstöður rannsókna erlendis standast og hægt að fækka umferðaslysum um 68%, þá miðað við lágt mat og fulla innleiðingu er hægt að lækka kostnað vegna umferðaslysa um nær 65 m.kr. á ári eða 83 m.kr. að hámarki á þessum einu gatnamótum. Yfir fimm ára tímabil getur lækkun kostnaðar orðið allt að **415 m.kr að hámarki** og er þá eingöngu verið að horfa á þessu einu gatnamót.

4.2.2 Umferðarflæði - Dayton

Áhrif tengdra og sjálfvirkra farartækja við gatnamót með umferðarljós voru rannsökuð í Ohio í Bandaríkjunum. Aksturshegðun tengdra ökutækja og akstursgögn sem notuð voru við rannsóknina voru þróuð og skilgreind af CoEXist, Horizon 2020 verkefninu sem Evrópusambandið styrkti, og innleitt inn í PTV Vissim hermunarforritið. Líkt og fram hefur komið er CoEXist rannsóknin víðtæk og hefur staðið yfir síðan í maí 2017 og er markmiðið að undirbúa og aðlaga hefðbundin ökutæki saman með sjálfvirkum ökutækjum þar sem talið er að bílarnir muni deila vegum í þéttbýli/strjálbýli og þjóðvegum í framtíðinni. Í CoEXist verkefninu hafa tengd sjálfvirk ökutæki verið skilgreind í fjóra flokka eftir getu þeirra og hvernig þau hegða sér í umferð (Almobayedh H. B., 2019);

Tafla 9: Skilgreining á tengdum bílum á mismunandi stigi samkvæmt CoEXist verkefninu.

Definition Under CoEXist Project			
AV Rail Safe	AV Cautious	AV Normal	AV All-knowing
<ul style="list-style-type: none"> • Brick wall stop distance. • Big gaps. • Predefined route. • No lane changes. • No unprotected signal phases. • Higher lateral distance or physical separation. • Mostly closed environment. 	<ul style="list-style-type: none"> • Brick wall stop distance. • Big gaps. • Cautious behavior. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gaps like human drivers but with higher safety. 	<ul style="list-style-type: none"> • Smaller gaps but still safe. • Cooperative behavior. • Communication is a precondition.

Við rannsóknina í Bandaríkjunum voru settar upp fjórar sviðsmyndir og borið saman við núverandi umferð með hefðbundnum ökutækjum. Sviðsmyndirnar fimm eru eftirfarandi;

- Sviðsmynd 1 – núverandi ástand.
- Sviðsmynd 2 - 50% hefðbundin ökutæki og 50% full sjálfvirkni á ökutæki (e. AV All-knowing).
- Sviðsmynd 3 - 100% varkár sjálfvirkni (e. AV cautious).
- Sviðsmynd 4 - 100% venjuleg sjálfvirkni (e. AV Normal).
- Sviðsmynd 5 - 100% full sjálfvirkni (e. AV All-knowing).

Við greininguna voru settar upp ákveðnar breytur sem voru skoðaðar það er; meðaltafir raðar, meðaltafir á stöðvun, meðalferðatími ökutækis, meðallengd raðar og hámarks lengd raðar.

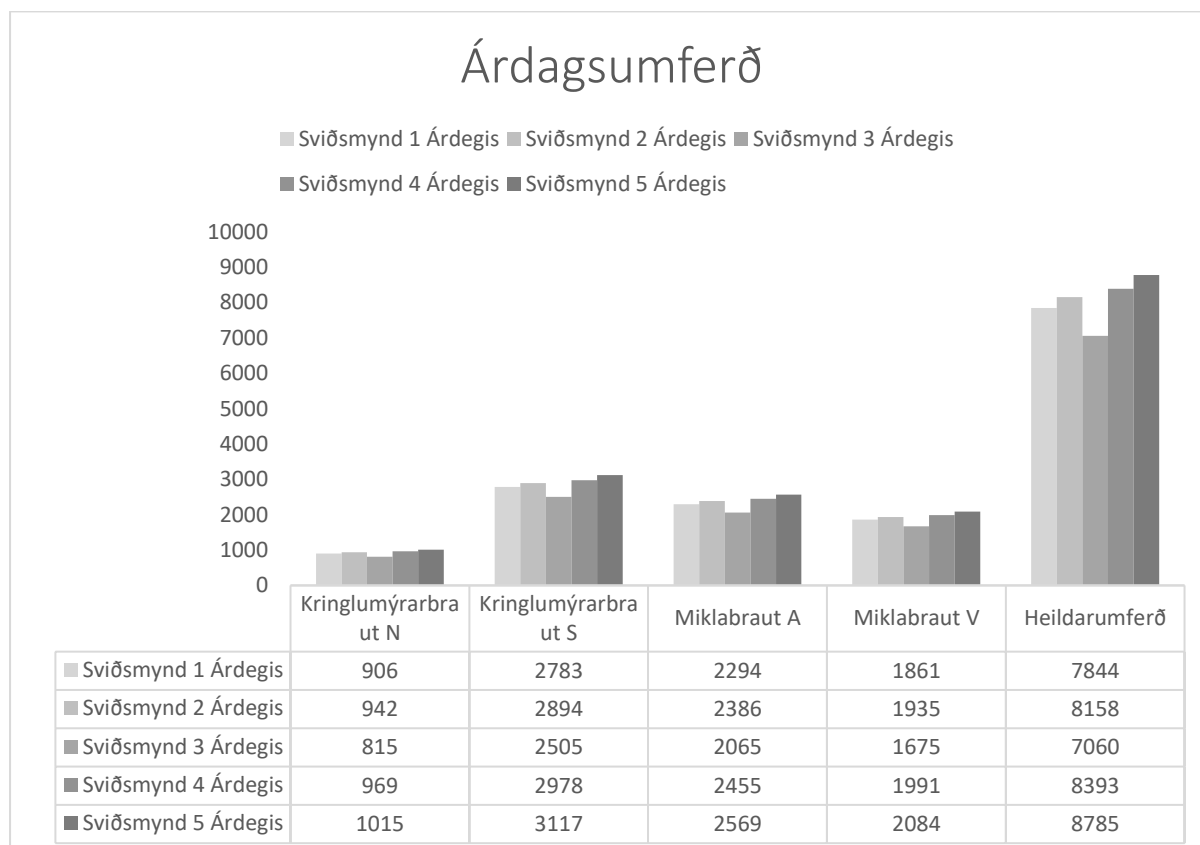
Niðurstöður frá hermun við ein gatnamót í Ohio, sýndu jákvæð áhrif á öllum breytum fyrir þrjár sviðsmyndir af fjórum. En sviðsmynd 3 - 100% varkár sjálfvirkni (þar sem ekki er stuðst við fulla tækni, með varkára hegðun og bil milli ökutækja er stórt) sýndi neikvæð áhrif á umferðina. Samkvæmt niðurstöðum geta tafir raða aukist um 10% við innleiðingu á varkárum sjálfvirkum ökutækjum. Með aukinni tilkomu slíkra ökutækja fer umferðarrýmdin fyrst að aukast þegar ökutækin eru orðin öruggari með minna bil milli bíla og styttri viðbragðstíma. Það sem kom fram í rannsókninni er að þegar umferð í eina átt var lítil eða um 20 ökutæki/klst. þá hafði það engin áhrif hvort um var að ræða hefðbundin ökutæki eða sjálfvirk. Þegar umferð var um 700 ökutæki/klst. við gatnamót þá hafði tegund ökutækis

áhrif eins og sjá má í töflu hér að neðan. Þetta bendir til að innkoma CAV ökutækja muni skila mestum ábata þar sem umferðarþungi er mikill.

Tafla 10: Niðurstöður frá hermun við gatnamót í Ohio þar sem umferð var um 700 ökutæki/klst.

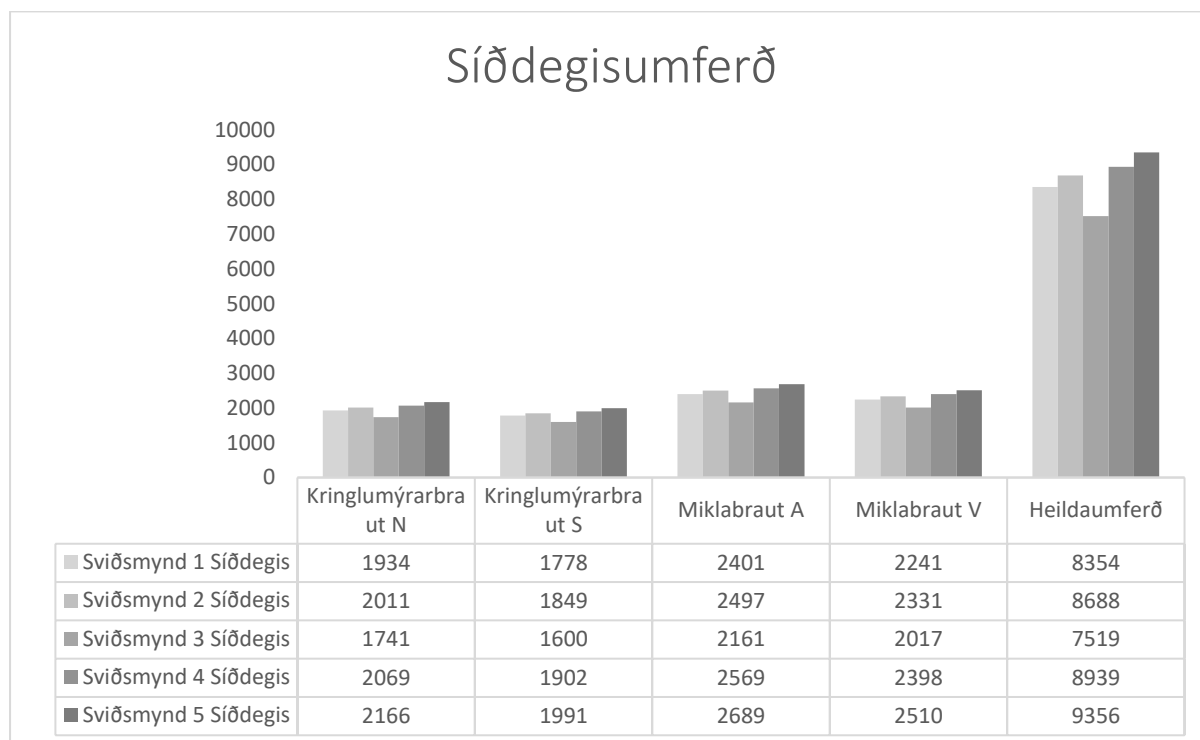
Intersection Performance Measures of Effectiveness (MOEs)	Percent Change in MOEs for Each Scenario				
	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5
Average Queue Delay (sec)	0%	-4%	10%	-7%	-12%
Average Stopped Delay (sec)	0%	-8%	14%	-13%	-17%
Average Vehicle Travel Time (sec)	0%	-4%	-1%	-9%	-17%
Average Queue Length (ft)	0%	-11%	17%	-15%	-22%
Maximum Queue Length (ft)	0%	-12%	6%	-11%	-21%

Þegar þessar niðurstöður eru heimfærðar yfir á gatnamótin við Kringlumýrarbraut og Miklubraut, þá er möguleiki á að auka umferðarrýmnd með sviðsmyndum 2, 4 og 5 borið er saman við sviðsmynd 1 sem er núverandi ástand (Business as usual). En við sviðsmynd 3, þar sem sjálfvirkni er varkár og inniheldur ekki fulla tækni, þá virðist umferðarrýmndin minnka við gatnamótin. Mynd 19 sýnir breytingar út frá mismunandi sviðsmyndum við gatnamót Kringlumýrarbrautar og Miklubrautar. Heildarumferð í dag á morgnanna er hátt í 8.000 ökutæki/klst. en með 100% sjálfvirkni og tengdum ökutækjum þá getur umferðarflæði aukist um nær 1.000 ökutæki/klst.



Mynd 19: Áætluð umferðarflæði eftir mismunandi sviðsmyndum að morgni til við gatnamótin.

Sviðsmynd 1 lýsir núverandi umferð um gatnamótin. Heildarumferð nú eins og áður nefnt er um 8 þús. ökutæki/klst. Áhugaverð niðurstaða er að þegar 50% bílaflotans á götum borgarinnar er sjálfvikur, þá eykst afkastagetan um gatnamótin um 4%. Vert er þó að taka fram að um áætlun er að ræða og þyrfti að gera hermun á gatnamótunum til að sannreyna þessar niðurstöður. Með fullri sjálfvirkni er síðan áætlað að umferðarflæði geti aukist um 12% að morgni til. Ef borið saman við núverandi þjónustustig (e. LOS), þá er möguleiki á að fara upp um eitt stig eða í þjónustustig D við gatnamótin með 100% sjálfvirkni.



Mynd 20: Áætluð umferðarflæði eftir mismunandi sviðsmyndum síðdegis við gatnamótin.

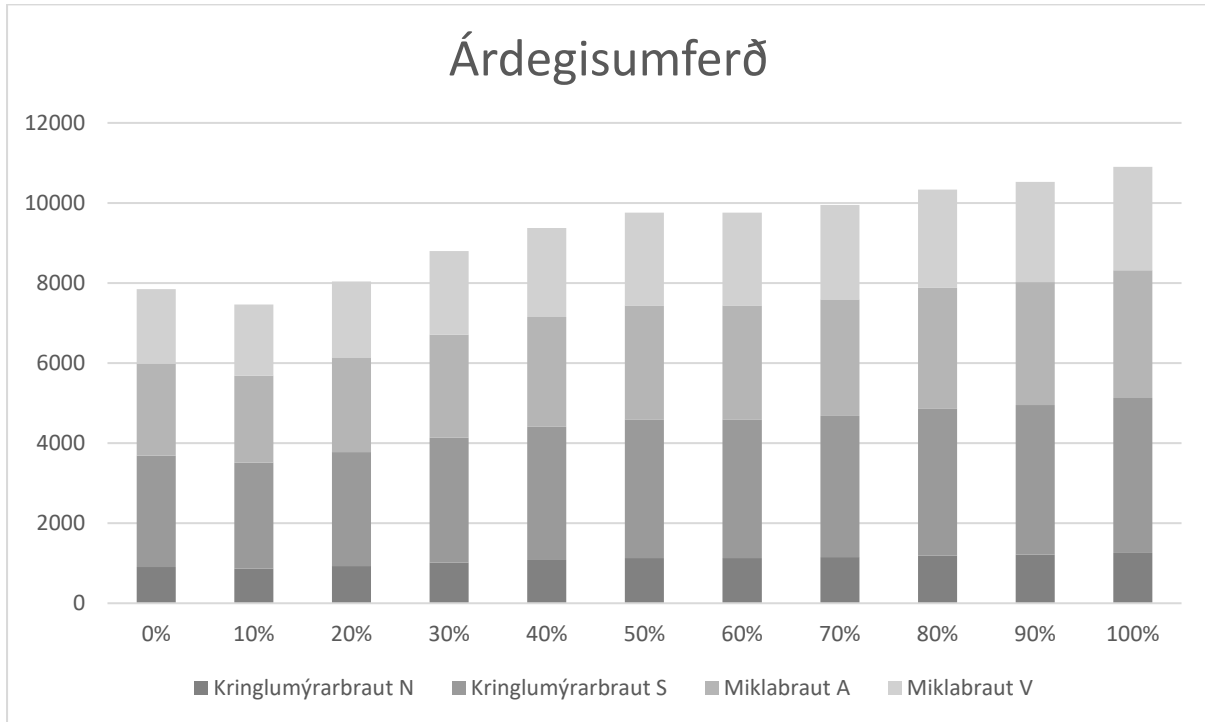
Núverandi flæði á álagstímum síðdegis um gatnamótin er 8.354 ökutæki/klst. en getur aukist um 12% síðdegis, á líka og að morgni til. En með 100% varkárri sjálfvirkni þá getur umferðaflæðið minnkað um 10% á álagstímum. Áhugavert væri að gera hermun á gatnamótunum til að skoða möguleg áhrif, þar sem hér er eingöngu um mat að ræða og niðurstöður erlendis frá heimfærðar yfir á gatnamótin.

4.2.3 Umferðarflæði - Munchen

Ef rannsóknin frá Munchen sem fjallað er um í kafla 3.3.2 er heimfærð á gatnamót Miklubrautar og Kringlumýrarbrautar má sjá að innleiðing tengdra sjálfkeyrandi ökutækja getur haft umtalsverð áhrif á umferðarrým. Hér að neðan eru meðaltalsáhrif árdegis og síðdegis á innleiðingu CAV ökutækja heimfærð á gatnamótin og gerð sú nálgun að stytting á biðtíma í röð skili sér hlutfallslega í aukinni umferðarrým. Þetta þarf að rannsaka nánar með hermun á ofangreindum gatnamótum.

Tafla 11: Áætlað umferðarflæði eftir aukinni innleiðingu CAV ökutækja árdegis.

Innleiðing CAD	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Áhrif á umferðarrým	0%	5%	-2%	-12%	-20%	-24%	-24%	-27%	-32%	-34%	-39%
Kringlumýrarbraut N	906	862	928	1016	1083	1127	1127	1149	1193	1215	1260
Kringlumýrarbraut S	2783	2647	2851	3122	3326	3462	3462	3530	3665	3733	3869
Miklabraut A	2294	2182	2350	2574	2742	2854	2854	2909	3021	3077	3189
Miklabraut V	1861	1770	1906	2088	2224	2315	2315	2360	2451	2496	2587
Heildarumferð	7844	7461	8035	8801	9375	9757	9757	9948	10331	10522	10905

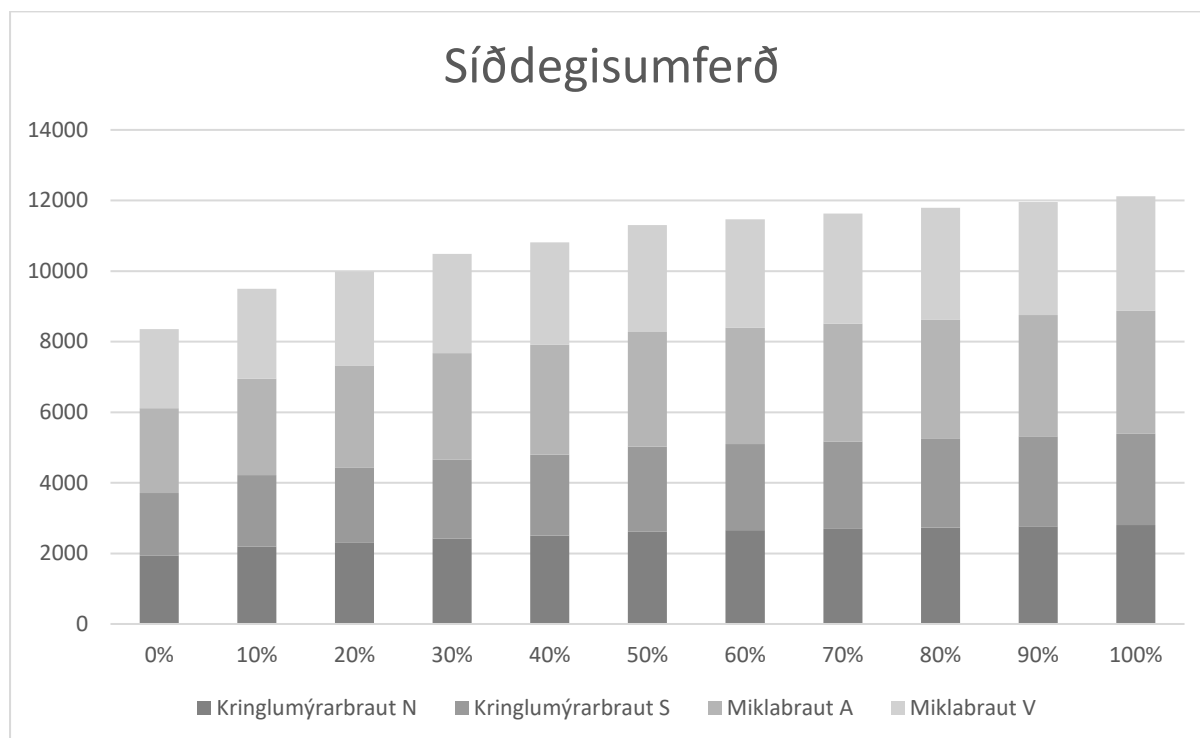


Mynd 21: Áætlað umferðarflæði eftir aukinni innleiðingu CAV ökutækja árdegis.

Hér að neðan eru svo sambærilegar tölur fyrir umferðarflæði síðdegis.

Tafla 12: Áætlað umferðarflæði eftir aukinni innleiðingu CAV ökutækja síðdegis.

Innleiðing	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Áhrif á umferðarrýmnd	0%	-14%	-20%	-25%	-29%	-35%	-37%	-39%	-41%	-43%	-45%
Kringlumýrarbraut N	1934	2199	2313	2427	2503	2617	2655	2692	2730	2768	2806
Kringlumýrarbraut S	1778	2022	2127	2231	2301	2406	2440	2475	2510	2545	2580
Miklabraut A	2401	2731	2872	3013	3107	3248	3295	3343	3390	3437	3484
Miklabraut V	2241	2549	2680	2812	2900	3032	3076	3120	3164	3208	3252
Heildaumferð	8354	9501	9992	10483	10811	11302	11466	11630	11794	11958	12121



Mynd 22: Áætlað umferðarflæði eftir aukinni innleiðingu CAV ökutækja síðdegis.

Eins og myndirnar hér að ofan bera með sér þá er ljóst að aukin innleiðing tengdra sjálfkeyrandi ökutækja getur haft veruleg áhrif á umferðarrýmnd gatnamótanna. Sér í lagi er áhugavert að sjá að strax við 30% - 40% innleiðingu er farið að gæta verulegra áhrifa eða um 12% – 29% aukningu umferðarrýmdar. Við fulla innleiðingu eru áhrifin milli 39% - 45% sem er gríðarleg aukning ef slíkur árangur raungerist.

Ef ofangreint er borið saman við núverandi þjónustustig (e. LOS), þá er möguleiki á að fara upp um eitt stig eða í þjónustustig D við gatnamótin strax við 30% innleiðingu CAV ökutækja í umferð og við 100% innleiðingu stefnir þjónustustigið á mörkin milli C og D.

5. Lokaorð

Ljóst er að mikil tækifæri felast í innleiðingu tengdri sjálfkeyrandi bílum á næstu árum og áratugum. Tækifærin eru fyrst og fremst á sviði öryggismála, í aukinni umferðarrýmd, bættri nýtingu samgönguinnviða og með minni losun gróðurhúsalofttegunda.

Áætlað er að samhæfing í akstri muni ekki eiga sér stað fyrr en á árunum 2030 til 2035 og gera má ráð fyrir að einhver tími muni líða þar til að bílaflotinn verði orðinn 100% sjálfkeyrandi. Fyrirsjáanlegt er að miklar breytingar munu eiga sér stað í samskiptum vegfarenda/ökutækja og umferðamannvirkja og upplýsingaveitna í framtíðinni. Því þarf sem allra fyrst að byrja að undirbúa og meta kostnað og kortleggja mögulegar úrbætur sem geta skilað ávinningi til framtíðar. Slíkar úrbætur geta mögulega skilað sér í fækkun umferðarslysa, aukinni hagræðingu á umferð, hagkvæmri forgangsroðun samgönguframkvæmda og minni útlosun af völdum samgangna sem er eitt af markmiðum höfuðborgarsvæðisins til næstu ára.

Í kafla 3.3 var farið yfir áhrif sjálfkeyrandi bíla á umferðarflæði um ljósastýrð gatnamót og tvær rannsóknir skoðaðar sérstaklega. Ljóst er að engin tvö gatamót eru eins en rannsóknirnar gefa þó til kynna vísbendingu um möguleg áhrif sem innleiðing tengdra sjálfkeyrandi ökutækja gætu haft á gatnamót Miklubrautar og Kringlumýrarbrautar, eins og sjá má í kafla 4.2.

Í framhaldi af verkefni þessu er lagt til að greiningarvinnunni verði haldið áfram með hermun með Vissum og CoEXist á þessum gatnamótum ásamt gatnamótum Miklubrautar og Lönguhlíðar til að meta hver áhrifin geta orðið til næstu áratuga þegar hlutdeild tengdra, sjálfkeyrandi ökutækja verður meiri. Þá er hægt að skoða umhverfisleg áhrif og kostnaðinn sem fylgir.

Áframhaldandi verkefni getur gefið stjórnvöldum og Vegagerðinni frekari yfirsýn að hverju þarf að huga í stefnumótun og regluverki til að taka á móti og nýta á sem bestan hátt tækninýjungar sem tengjast sjálfkeyrandi tækni. Mikilvægt er að herma umferð við íslenskar aðstæður en hröð þróun þýðir að huga þarf að regluverki og móta fljótlega, áður en sjálfkeyrandi tækni lítur dagsins ljós hérlendis.

6. Heimildaskrá

- al., M. V. (14. 11 2018). INTEGRATED TRAFFIC CONTROL FOR FREEWAYS USING VARIABLE SPEED LIMITS AND LANE CHANGE CONTROL ACTIONS. *Proceedings of the TRB Annual Meeting*. Washington DC, USA.
- Almobayedh, H. (2019). *SIMULATION OF THE IMPACT OF CONNECTED AND AUTOMATED VEHICLES AT A SIGNALIZED INTERSECTION*. Dayton, Ohio: UNIVERSITY OF DAYTON.
- Almobayedh, H. B. (2019). *SIMULATION OF THE IMPACT OF CONNECTED AND AUTOMATED VEHICLES AT A SIGNALIZED INTERSECTION*. University of Dayton.
- Alonso Raposo, M. (-P. (2019). *The future of road transport - Implications of automated, connected, low-carbon and shared mobility*. Luxembourg: EUR 29748 EN, Publications Ofce of the European Union, ISBN 978-92-76-03409-4, doi:10.2760/9247, JRC116644.
- CoEXist. (5. desember 2019). *CoEXist use cases: What are the first results?* Sótt frá <https://www.h2020-coexist.eu/coexist-use-cases-what-are-the-first-results/>
- Corby, S. (20. janúar 2020). *5G cars could prevent 68 per cent of motor-vehicle accidents*. Sótt frá <https://www.carsguide.com.au/car-news/5g-cars-could-prevent-68-per-cent-of-motor-vehicle-accidents-73162>
- Dopart, K. (20. janúar 2020). Sótt frá ITS - V2I Communications for Safety: https://www.its.dot.gov/research_archives/safety/v2i_comm_safety.htm
- GEAR 2030. (10. 01 2017). *The Report of the High Level Group on the Competitiveness and Sustainable Growth of the Automotive Industry in the European Union (GEAR 2030)*. European Commission. Sótt frá https://ec.europa.eu/growth/content/high-level-group-gear-2030-report-on-automotive-competitiveness-and-sustainability_en
- Gunnar Geir Gunnarsson, Kristín Björg Þorsteinsdóttir, Þorbjörg Jónsdóttir. (2018). *Skýrsla um umferðarslys á Íslandi árið 2017*. Reykjavík: Samgöngustofa.
- Hagfræðistofnun. (2012). *Kostnaður við umferðarslys á Íslandi árið 2009*. Reykjavík: Háskóli Íslands.
- Intelligent Transportation Office - V2P Communications for Safety. (20. janúar 2020). Sótt frá https://www.its.dot.gov/research_archives/safety/v2p_comm_safety.htm
- Mannvit. (2019). *Slys á stofnbrautum höfuðborgarsvæðisins. Greining á slysum í þéttbýli*. Kópavogur: Mannvit.
- Niels, T., Erciyas, M., & Bogenberger, K. (2018). Impact of connected and autonomous vehicles on the capacity of signalized intersections – Microsimulation of an intersection in Munich. *Proceedings of 7th Transport Research Arena TRA 2018, April 16-19, 2018*. Vienna: Transport Research Arena.
- ráðgjöf, V. (2018). *Slys á gatnamótum. Samband slysatíðni, alvarleika slysa og umferðarhraða*. Reykjavík: VSÓ ráðgjöf.

Tesla Vehicle Safety Report. (20. janúar 2020). Sótt frá <https://www.tesla.com/VehicleSafetyReport>

U.S. Department of Transportation. (20. janúar 2020). *Fact Sheet: Improving Safety and Mobility through V2V Communication Technology.* Sótt frá https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/documents/v2v_fact_sheet_101414_v2a.pdf

Verkís, Via Plan. (10. október 2017). *SSH.* Sótt 26. september 2019 frá Ástandsgreining umferðar. Kringlumýrabraut - Miklabraut: https://www.ssh.is/images/stories/Samgongumal/2017_Kringlumyrarbraut_Astandsgreining_lokaskyrsla.pdf#page=50&zoom=100,0,584

Waymo Early Rider Program. (20. janúar 2020). Sótt frá <https://waymo.com/static/documents/early-rider-program.pdf>: <https://waymo.com/static/documents/early-rider-program.pdf>