

Umferðartæknileg inntaksgildi

í hermunarforrit

Áfangaskýrsla

Samúel Torfi Pétursson

Haraldur Sigþórsson

Þorsteinn Þorsteinsson

Febrúar 2002

1. INNGANGUR

Verkefnið „Umferðartæknileg inntaksgildi í hermunarforrit“ er leit að svari við þeirri spurningu hvort sjálfgæfin inntaksgildi í hermunarforrit, sem reikna út umferðarflæði á götum og vegum og eru hönnunarforsendur umferðarmannvirkja, eru viðeigandi hér á landi. Inntaksgildin, sem hingað til hafa verið notuð og fylgja hermunarforritunum, eru bandarísk og byggja á rannsóknum þar í landi á atferli ökumanna við aðstæður þar. Við notkun umferðarhermunarforrita hér á landi hafa vaknað efasemdir um að sömu aðstæður ríki hér á landi og að atferli ökumanna sé eins og í Bandaríkjunum. Geta breyttar inntaksstærðir haft áhrif á t.d. útreiknaða umferðarrýmd og tapaðan tíma á gatnamótum.

Þær stærðir, sem hér eru teknar til meðferðar í áfangaskýrslu, eru mettað forskot, tapaður tími, og tvísýnt ökubil. Fleiri stærðir er hægt að kanna og munu verða teknar til meðhöndlunar í framhaldsverkefni. Þessar stærðir eru m.a. akreinaval og bil fyrir samruna á margra akreina stofnbraut, sem ákvarðar gæði fléttunar milli gatnamóta. Einnig er ástæða til að styrkja niðurstöður mælinga, sem hér eru birtar, með áframhaldandi athugun svo og þróun mælitækninnar við verkefnið.

Athuganirnar fólust í mælingum með tiltölulega einföldum mælibúnaði á ökubilum, forskoti og töpuðum tíma og úrvinnslu samkvæmt viðurkenndum fræðum. Nokkrir mælistaðir voru valdir til að kanna hæfi aðferðanna og verður að líta svo á að frekar hafi verið um að ræða forkönnun en heildarúttekt þó vísbendingar séu um að reikna megi með öðrum inntaksgildum í hermiforrit umferðarflæðis en þeim sjálfgæfnum. Að mati skýrsluhöfunda er fyllsta ástæða til að gera frekari rannsóknir á áðurnefndum inntaksgildum og þá ekki síður að meta næmi hermunarforrits eins og t.d. CORSIM fyrir öðrum inntaksgildum. Verður nánar gerð grein fyrir framhaldsathugunum í lokaorðum skýrslu þessarar.

2. FORSKOT OG TAPAÐUR TÍMI

2.1 Um forskot og tapaðan tíma

2.1.1 Kennigildi á smáum kvarða

Kennigildum umferðar er skipt í tvo flokka [9]. Annars vegar kennigildi á stórum kvarða, þar sem ákvörðuð eru gildi straumsins í heild sinni, og hins vegar kennigildi á smáum kvarða þar sem ákvarða má gildi fyrir hverja einstaka bifreið með tilliti til annarra í straumnum. Til kennigilda á stærri kvarða tilheyra þannig magn (*e. volume*) eða flæði (*e. flow*) sem er magn á tímaeiningu; meðalhraði (*e. speed*) og þéttleiki (*e. density*). Til kennigilda á smærri kvarða teljast bil (*e. spacing*) milli tveggja ökutækja og svokallað forskot milli tveggja ökutækja (*e. headway*). Báðar þessar stærðir eru mældar með því að velja fastan viðmiðunarpunkt á ökutækjunum og mæla á milli í réttri röð. Fyrir bil er lengdin milli bílanna mæld með því að skoða bílana statískt, þ.e. í kyrrstöðu. Forskotið er bil í tíma, sem fæst með mælingu á tímanum sem það tekur viðmiðunarpunkta á tveimur bílum að fara fram hjá öðrum fyrirfram ákveðnum og kyrrstæðum viðmiðunarpunkti.

Meðaltal kennigilda umferðarstraums á smáum mælikvarða ákvarða kennigildi hans í stórum mælikvarða [9] út frá eftirfarandi jöfnum:

$$D = \frac{k_1}{d_a}$$
$$F = \frac{k_2}{h_a}$$
$$S = \frac{d_a}{h_a}$$

þar sem k_1 og k_2 eru fastar og D stendur fyrir þéttleika, F stendur fyrir flæði og S fyrir hraða. Stærðirnar d_a og h_a tákna meðalgildi fyrir bil og forskot. Helstu kostirnir eru þeir, að hægt er að útiloka ökutæki úr straumnum sem ekki flokkast sem fólksbílar, en er þó jafnframt unnt að meta sérstaklega ef með þarf.

2.1.2 Stöðugt flæði umferðar

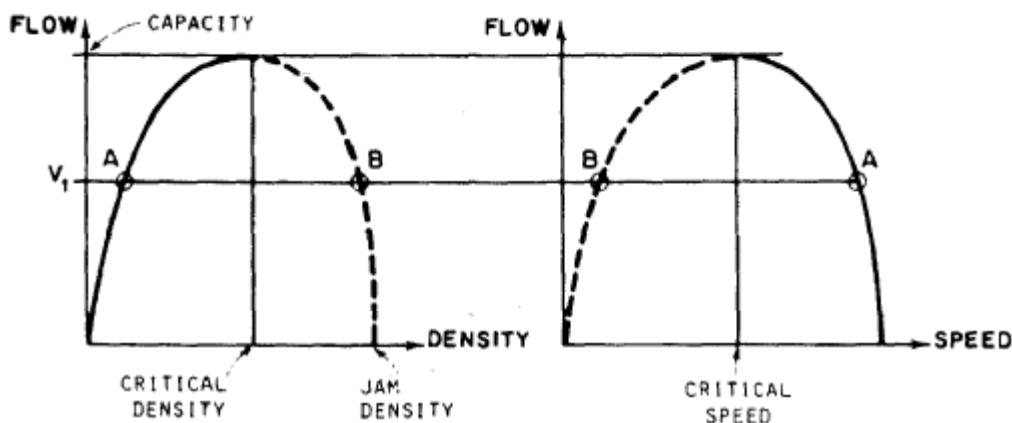
Stöðug umferð á stórum kvarða lýtur mjög hefðbundinni eðlisfræði, þar sem flæði er margfeldið af hraðanum og magninu, eða þéttleikanum

$$F = S \times D.$$

Ef ekki er um stöðugt ástand að ræða gildir þetta lögmál ekki lengur, þ.e. þegar þéttleikinn er orðinn of mikill fyrir rýmið sem þjónusta á strauminn. Mynd 2.1 sýnir hvernig flæði breytist með þéttleika annars vegar og hraða hins vegar og sömuleiðis sambandið milli hraða og þéttleika.

Hámarksflæði fæst við ákveðinn þéttleika og hraða og er skilgreint sem hámarksrýmd (*e. capacity*). Meðalhraðinn við hámarksrýmd er skilgreindur sem krítískur hraði og sömuleiðis

er flæðið skilgreint sem tvísýnn þéttleiki (*e. critical density*). Um leið og þéttleikinn fer yfir tvísýna markið, hægist á umferðinni og flæðið minnkar. Við það ástand er komin mettun í strauminn og að lokum myndast stífla og flæðið stöðvast við versta ástand. Þéttleikinn er skilgreindur sem stíflupéttleiki (*e. jam density*). Í jöfnum mettuðum straumi er talað um mettunarforskot (*e. saturation headway*), táknað með h (sekúndur/ökutæki). Athyglisvert er, að sama flæði fæst fyrir mikinn hraða og lítinn þéttleika og lítinn hraða og mikinn þéttleika. Þjónustustig vegarins er hins vegar ekki það sama. Það er ástæðan fyrir því að ekki er ráðlegt, að nota flæði sem mælikvarða á virkni eða gæði umferðarinnar.

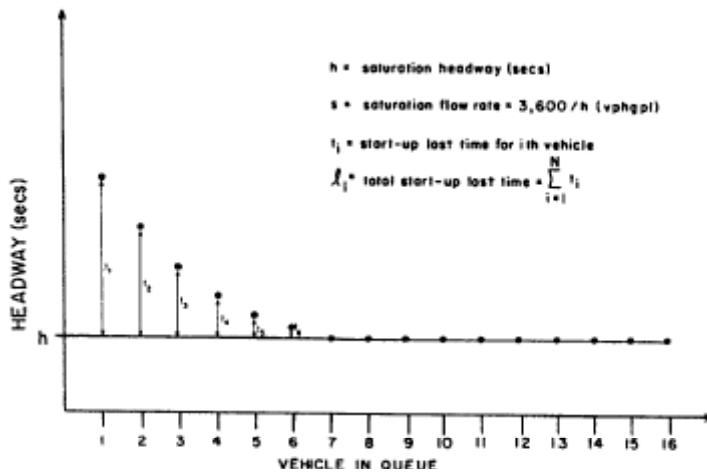


Mynd 2.1 – Flæði sem fall af þéttleika og hraða í stöðugu flæði

Miklar rannsóknir hafa á undanförunum áratugum farið í það að kanna sambandið á milli hraða, þéttleika og flæði umferðarstraums með fullkomnum, stærðfræðilegum aðferðum [9]. Vel þekktar eru rannsóknir kenndar við Greenshield, Greenberg og Edie. Aðferð Greenshield er einföldust og gerir ráð fyrir línulegu sambandi hraða og þéttleika. Sambandið milli hraða og flæðis annars vegar og þéttleika og flæðis hins vegar verða á fleygbogaformi. Hin líkönin eru flóknari og ekki ljóst hvert þeirra er best, enda eru niðurstöðurnar alltaf breytilegar að einhverju leyti eftir staðsetningu og tíma.

2.1.3 Óstöðugt flæði umferðar

Þegar lokað er fyrir stöðuga umferð verður hún vitaskuld óstöðug, þ.e. hún sýnir ekki sömu kennigildi frá einum tímapunkti til annars, þótt hver eining innan hennar hegði sér eins. Það þýðir, að hver punktur í straumnum sýnir einsleita hegðun í tíma, en ekki straumurinn í heild sinni. Mikilsverðustu punktarnir sem hindra einsleitann straum eru ljósastýrð gatnamót. Þau hindra eðlilegt flæði, auka þéttleika og minnka hraða. Að öðru leyti tapast tími, sem annars gæti farið í að flytja umferðina yfir hindrunina, þar sem bílarnir þurfa að vinna upp þann hraða sem tapaðist með því að víkja fyrir öðrum straumum á rauðu ljósi. Bílar, sem safnast hafa upp í röð á ljósum, þurfa tíma til að vinna upp hraðatapið, sem og viðbragðstíma. Forskot milli fyrstu bíla á ljósum þegar tekið er af stað aftur er því meira en væri við venjulegan mettaðan straum. Þessi tími er skilgreindur sem svokallaður tapaður tími (*e. lost time*) eða tapaður tími upphafs (*e. start – up lost time*). Hann minnkar eftir því sem líða tekur á bílana í straumnum sem fara yfir á grænu ljósi. Hann er táknaður með t_1 (sjá mynd 2.2) þar sem i stendur fyrir númer þeirrar stöðu sem ökutækið tekur í straumnum sem bíður á ljósum.



Mynd 2.2 – Forskot bíla í röð við ljósastrýrð gatnamót.

Þessi tapaði tími er lagður saman með l_1 , sem táknar heildar tapaðan tíma upphafs fyrir tiltekinn straum á ljósastrýrðum gatnamótum.

$$l_1 = \sum_i t_i$$

Eftir að straumurinn hefur runnið í gegn um gatnamótin í nokkurn tíma næst að lokum mettnarforskot h (sek.) (e. saturation headway) í straumnum sem minnst var á hér að ofan og tapaður tími milli bíla verður núll. Í tengslum við mettnarforskot er talað um mettnarflæði, s , (e. saturation flow rate) mælt með einingunni ökutæki á klukkutíma með grænu ljósi á hverri akrein (e. vehicles per hour green per lane, vphgpl) og er fjöldi ökutækja sem getur ekið inn á gatnamót ef ætíð væri stöðugt grænt ljós fyrir strauminn. Mettnarflæði er nátengt mettnartímabili með eftirfarandi jöfnu:

$$s = \frac{3600}{h}$$

Yfirleitt er talað um að tapaður tími upphafs verði núll við u.þ.b. sjötta bíl [6]. Þó er líklegt að það sé breytilegt. Það tapast einnig tími við það að hreinsa gatnamótin af allri umferð þannig, að óhætt sé að hleypa á nýjum straumi. Sá kallast tapaður tími hreinsunar (e. clearance lost time) og er táknður með l_2 . Hann er skilgreindur sem tíminn frá því að síðasti bíllinn fer yfir gatnamótin þar til að ljós verður grænt fyrir næsta straum er sker hinn fyrri. Gert er ráð fyrir, að hann geti nýtt allan þann græna tíma sem völ er á.

Rýmd ljósastrýrðra gatnamóta er því metin út frá mettnarflæðinu, s , töpuðum tímum upphafs og hreinsunar, l_1 , og l_2 , mettnarforskotinu, h , og tímastillingu ljósanna.

2.1.4 Viðmiðunargildi

Viðamiklar rannsóknir hafa farið fram á því hversu mikill tími tapast á ljósastrýrðum gatnamótum í Bandaríkjunum [9]. Niðurstöðurnar eiga það sameiginlegt, að vera afar viðkvæmar fyrir ytri aðstæðum. Þær gefa flestar til kynna, að mettnarforskotid, h , sé um 2,19 sekúndur fyrir hvert ökutæki. [9]. HCM miðar við að tapaður tími upphafs sé 2 sekúndur.

Uppsafnaður tapaður tími hreinsunar og upphafs er oft á bilinu 3 til 4 sekúndur samkvæmt fjöldamörgum rannsóknum [9]. Þetta eru viðurkennd viðmiðunargildi og mikið notuð í almennri veghönnun. HCM gefur ekki upp viðmiðunargildi fyrir tapaðan tíma upphafs.

2.1.5 Forskot og tapaður tími hér á landi

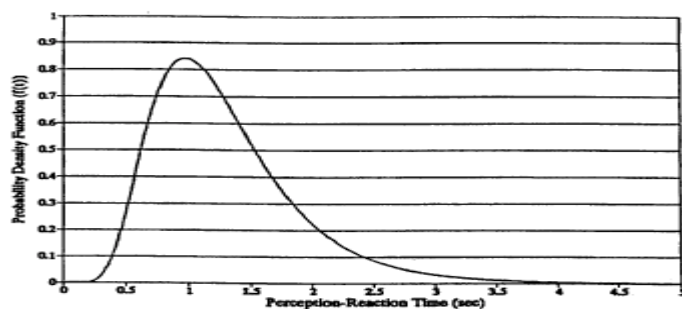
Íslenskir staðlar notast við erlend gildi á töpuðum tíma og mettuðu forskoti. Hermunarforritið CORSIM er bandarískt og styðst við gildi úr bandaríska vegstaðlinum HCM. Þessi gildi gætu þó hæglega verið önnur hér á landi en í Bandaríkjunum, en engar rannsóknir hafa farið fram á þeim hér á landi, að því best er vitað. Niðurstöðurnar, sem fást hér í lok þessa hluta, ættu því að vera nokkuð fróðlegar, sérstaklega þegar þau eru borin saman við bandarísku viðmiðunargildin.

Einn veigamikill munur er á ljósastýrðum gatnamótum í Bandaríkjunum og á Íslandi. Þar í landi er upphafsfasinn þannig, að ljósin fara beint úr rauðu yfir í grænt. Hér á landi, sem og í flestum löndum Evrópu, er upphafsfasinn rautt – gult – grænt. Ekki er leyfilegt samkvæmt umferðarreglum, að aka af stað ef ekki er komið grænt, þótt það sé oftast raunin. Ekki reyndist mögulegt að fá upplýsingar um það, hvort allt-rautt fasinn væri yfirleitt lengri í Bandaríkjunum en hér á landi.

Öðruvísi upphafsfasir hér á landi gæti leitt til þess, að tapaður tími upphafs sé í raun lengri en í Bandaríkjunum, ef upphafið er mælt frá því að gult ljóst kviknar. Ökutækin eru mistilbúin til að leggja af stað þegar gula ljósið kviknar, þar sem reglur kveða á um að svo sé óleyfilegt. Það reyndist nauðsynlegt, að mæla tímann frá því að gult ljós kviknar. Ef það er ekki gert, fást of mörg gildi sem sýna stökk, þ.e. ökutækin eru þá farin fram hjá viðmiðunarpunktinum þegar loks kviknar á græna ljósinu.

2.1.6 Viðbragðstími

Forskot og tapaður tími eru háð viðbragðstíma ökumanna. Allt frá miðri 19. öld hafa fræðimenn skoðað og rannsakað þau ferli sem lúta að viðbragðstíma mannsins. Fram hafa komið mörg líkön sem eiga að lýsa honum [12]. Svokallað Hyck – Hyman lögmál lýsir því hvernig fá má út samband milli breytistærða, sem þarfnast aðgreiningar ef ákvarða á viðbragð og viðbragðstíma. Gerður er greinarmunur á verknaði viðbragðsins (*e. reaction*) og viðbragðinu sem slíku (*e. response*), þ.e. viðbragðið er töfin, sem verður frá því að skilningarvitin eru áreitt (*e. stimulus*) og þar til einstaklingurinn bregst við með verknaði. Ekki er hægt að skoða skynviðbragðstíma (*e. perception – response times*, PRT), með normal eða Gauss líkindadreifingum, þar sem dreifingin er bjöguð. Viðbragðstíminn eru ætíð stærri eða jafn núlli og getur orðið mjög stór. Ef tekinn er náttúrulegur logri af niðurstöðum mælinganna má gera ráð fyrir því, að dreifingin nálgist normal- eða Gauss dreifinguna. Líkindi sem tengjast log-normaldreifingunni er hægt að ákvarða með hefðbundnum töflugildum.



Mynd 2.3 – Lognormaldreifing á PRT tíma eða sk. skyn-viðbragðstíma.

Viðamiklar rannsóknir hafa farið fram á þessu sviði en langflestar í þeim tilgangi, að meta hemlunarvegalengdir. Sumar rannsóknirnar skipta viðbragðstíma niður í flokka eftir aldri og ýmsum ytri aðstæðum. Niðurstöður, sem mikið er vitnað í, eftir þá Johansson og Rumar (1971), gáfu meðaltal viðbragðstíma upp á 0,75s með staðalfrávikum upp á 0,28s. Aðrar og nýlegri rannsóknir sýna aðeins hærri gildi eða á milli 0,8 og 1,0s. Rannsókn sem byggist á viðbragði við atburði, þar sem búið var að undirbúa ökumennina á þann veg, að þeir vissu að eitthvað væri í vændum, sýndi talsvert lægri viðbragðstíma að meðaltali eða 0,54s og staðalfrávik upp á 0,1s. Þetta er sennilega það gildi, sem einna helst ætti að miða við, en ökumenn á ljósum, búast alltaf við ljósaskiptingunni og eru, að því leytinu til, fljótari að bregðast við. Þótt rannsóknin sé gerð í þeim tilgangi, að velja hemlunarviðbragð, þá má styðjast við niðurstöðurnar, en þó aðeins til að fá lauslega viðmiðun.

3 MÆLINGAR

3.1 Framkvæmd mælinga

Mælingar voru tvískiptar. Annars vegar voru framkvæmdar mælingar á mettuðu forskoti og töpuðum tíma í trufluðum straumi við ljósastýrð gatnamót. Hins vegar mælingar á mettuðu forskoti í ótrufluðum straumi.

Staðarval fyrir mælingar á þessu sviði er vandasamt. Í raun eru fá gatnamót hér á landi heppileg til mælinga á forskoti og töpuðum tíma í trufluðum straumi. Viðmiðunargildi fyrir tapaðan tíma upphafs fást með mælingu á ljósastýrðum gatnamótum með mikilli umferð og helst á tímum þar sem nokkuð örugglega er um metnun að ræða. Það er einna helst að morgni til og síðdegis á virkum degi. Straumurinn væri síðan tekinn upp með myndbandstökuvéi á tiltölulega löngum tíma til að fá sem flestar mælingar og minnka skekkju. Um nokkra staði var að velja og eru þeir flestir innan borgarmarka Reykjavíkur. Metnun verður einna helst við ljósastýrð gatnamót fjögurra helstu stofnbauta á höfuðborgarsvæðinu, þ.e. Reykjanesbraut, Hafnarfjarðarveg, Miklubraut/Hringbraut og Sæbraut. Ef ætlunin væri að fara út í nákvæmar rannsóknir á töpuðum tíma þyrfti að skoða mörg þessara gatnamóta til að niðurstaðan sé vel marktæk. Þetta verkefni felur í sér mælingu við ein gatnamót að morgni til og síðdegis á nokkurra daga tímabili.

Staðir þar sem hægt er að meta forskot í ótrufluðum mettuðum straumi eru heldur ekki margir, en er þó einna helst að finna á stofnbautum á höfuðborgarsvæðinu á annatímum. Sjaldnast er um að ræða stöðugan mettaðan straum, því yfirleitt er ekki langt í ljósastýrð gatnamót, sem gerir það að verkum, að metnun er tímaháð og kemur með vissu millibili. Umferð á vegköflum sem eru lausir við ljósastýrð gatnamót eru sjaldnast mettaðir hér á höfuðborgarsvæðinu.

3.1.1 Miklubraut – Langahlíð

Umferð á gatnamótum Lönguhlíðar og Miklubrautar í Reykjavík er þung. Straumurinn er yfirleitt mettaður yfir hverja umferð ljósanna á morgnana og síðdegis. Miðað við umfjöllun í heimildum myndu þau henta afar vel fyrir mælingar á töpuðum tíma og forskoti. Þau eru á tiltölulega flötu landi þótt lítið eitt halli niður á við til vesturs. Það skekkir niðurstöðunar hugsanlega, þótt erfitt sé að ákvarða það nákvæmlega. Útgangspunktur við upphaf mælinganna var, að skoða bæði austurstrauminn og vesturstrauminn yfir gatnamótin, ásamt straumi á annarri beygjuakreininni.

Stöðvunarlínan er oftast valin sem kyrrstæður viðmiðunarpunktur [9] og miðað er við afturöxul ökutækis þegar það ekur yfir eða framhjá viðmiðunarpunktinum. Þannig er nokkuð tryggt, að alltaf fáist eitthvað forskot frá því að gult ljós kviknar og fyrsti bíll ekur af stað. Í þessu tilviki var eina leiðin að staðsetja upptökuvélina á ská við strauminn þannig, að einnig sæist í ljósastýringuna handan gatnamótanna. Þetta var gert fyrir bæði vesturstrauminn og austurstrauminn.

Velja varð aðra viðmiðun heldur en stöðvunarlínuna, þar sem í báðum tilvikum sást ekki í hana fyrir utan það að vera orðin óheppileg sem viðmiðun þegar sjónarhornið er jafn skakkt eins og raun bar vitni. Notast var við ljósastaura sem viðmiðun fyrir hægri akreinar beggja straumanna. Fyrir vinstri akreinar var sett upp stika þannig, að fyrsta forskot væri

sambærilegt fyrir báðar akreinarnar, þ.e. stikan var höfð um 3 metra lengra inn í gatnamótin, þannig að hún var lengra til vinstri á mynd.

Myndavélar voru staðsettar við vesturstraum Miklubrautarinnar að morgni miðvikudagsins 17. maí frá 7:45 til 8:30 og síðdegis frá 17:00 til 17:30 og við austurstraum brautarinnar frá 17:00 til 18:00 sama dag og frá 17:00 til 18:00 fimmtudaginn 18. maí. Á þessum tímum er straumurinn yfirleitt mettaður, þ.e. gatnamótin ná ekki að þjónusta alla biðröðina sem myndast við ein rauð ljós, og tækifæri gefst til að meta mettnarforskot bílanna í straumnum.

Út frá mælingunum voru tapaður tími upphafs og mettnarforskot straumsins metin. Gildin sem fengust varð síðan að bera saman við gildin úr HCM. Ef gildin sem fást úr mælingunni eru svipuð og staðallinn HCM leggur til, er sennilega ekki ástæða til þess að gera viðameiri rannsóknir en þær sem hér fóru fram.

3.1.2 Miklubraut – Stakkahlíð

Ekki eru auðfundnir vegkaflar á höfuðborgarsvæðinu þar sem um er að ræða jafnan, mettaðan straum til lengri tíma lítið. Því var brugðið á það ráð, að skoða vegkafla sem sýna tímabundið mettaðan og jafnan straum. Skoðaður var vegbútur á Miklubraut við Stakkahlíð. Á honum er straumurinn mettaður með vissu millibili. Miklubrautin er með tveimur akreinum í hvora átt á þessum stað.

Myndbandstökuvél var komið fyrir þvert á strauminn og tekið upp í rúma klukkustund. Á þeim tíma ættu að fást nægjanlega mörg gildi þannig, að mark sé á takandi. Straumurinn var tekinn upp á myndband við Miklubraut frá 7:30 til 8:30 þann 17. maí og við Reykjanesbraut frá 17:15 til 18:00 þann 19. maí.



Mynd 3.1. – Sjónarhorn myndavélar þvert á Miklubraut við mat á mettuðu forskoti.

3.1.3 Borgartún – Kringlumýrarbraut

Þessi mæling var gerð talsvert fyrr en hinar, eða seint í janúar. Hugmyndin var að skoða viðbragðsflýti fyrstu ökumanna á ljósum og umferð um gatnamótin tekin upp á myndband í tæpa klukkustund.

Bera má gildin saman við þau sem talað var um í kafla 3.1.7 um viðbragðstíma. Einnig má bera gildin úr þessari rannsókn saman við gildin á töpuðum tíma fyrir gatnamót Miklubrautar og Lönguhlíðar.

Upptökuvélin var staðsett í gistiheimili Guðmundar Jónssonar við Mánatún, þar sem góð yfirsýn var yfir gatnamótin. Sjónarhorn myndavélarinnar var frekar þröngt og ekki var hægt að taka upp hreyfingu beygjustraumsins til vinstri. Tekið var upp frá 14:00 til 14:45.



Mynd 3.2 – Sjónarhorn myndavélar við rannsóknir á viðbragðstíma ökumanna á gatnamótum Kringlumýrarbrautar og Borgartúns.

3.2 Úrvinnsla mælinga

3.2.1 Miklubraut – Langahlíð

Tæki sem notuð voru við úrvinnslu gagna voru: Sjónvarp; myndbandstæki; medistor; ljóshlið og tölva. Ljóshliðið virkar eins og skeiðklukka með medistornum sem tímamælir atburði í rétttri röð og skráir niðurstöðurnar. Myndbandsupptakan sýndi röð ökutækja á rauðu ljósi. Tímamælt var frá því að það kom gult ljós og fyrsti bíll fór fram hjá viðmiðunarpunktinum og þannig koll af kalli þar til sá seinasti fór yfir áður en rauða ljósið kviknaði á ný. Mælingum var hætt ef nokkuð augljóst þótti, að metnun væri ekki lengur til staðar. Þetta var gert fyrir báðar akreinar á aðalbrautinni, þ.e. Miklubraut, bæði í austur og vestur sem og beygjuakrein frá Miklubraut inn á Lönguhlíð til norðurs. Niðurstöður þessara tímamælinga voru skráðar inn á sérstakt eyðublað sem útbúið var samkvæmt leiðbeinandi mynd í [9] og þykir heppilegt ef meta þarf mettaða rýmd ljósastýrðra gatnamóta. Þar koma fram allar tímamælingar sem gerðar voru á gatnamótunum og á þeim má sjá að þungaflutningabílar voru skráðir niður sérstaklega (HV, heavy vehicles). Fyrir hægri akreinar voru skráðir sérstaklega þeir bílar sem tóku hægri beygju inn á Lönguhlíð.

Ökutæki í biðröð á rauðu ljósi eru í vissri stöðu, þ.e.a.s. að fremsta ökutækið í biðröðinni tekur stöðu 1, annað ökutæki tekur stöðu 2 o.s.frv. Mikilvægt er að fá nógu margar mælingar fyrir forskot á milli hverrar stöðu til að útbúa megi graf sem sýnir hvernig forskot í straumnum minnkar eftir því sem númer stöðu hækkar og verður nánast jafnt fyrir afgang straumsins.

Markmiðið í úrvinnslu er þríþætt. Að meta mettnarforskiði fyrir vinstri og hægri akreinar í báðar áttir og meta tapaðaðan tíma upphafs á sömu akreinum ásamt beygjuakreininni. Að lokum er nauðsynlegt, að bera niðurstöðurnar saman við erlendu gildin og meta mismuninn, ef einhver er.

Það reyndist mismunandi hve margar mælingar fengust fyrir hverja umferð ljósanna þar sem metnun var ekki til staðar allan tímann. Í upphafi var miðað við að fá 50 mælingar fyrir forskot á milli hvefarrar stöðu í röðinni. Það reyndist þó ekki mögulegt fyrir öftustu stöðurnar þar sem mettuðum forskotum fór sífellt fækkandi eftir því sem leið á röðina. Mettað forskot var oft ekki lengur til staðar eftir að u.þ.b. 18. ökutækið ók yfir gatnamótin. Með hliðsjón af því var ákveðið að sleppa öllum forskotum eftir stöðu 18 og reikna út mettað forskot út frá mælingum á milli stöðu 8 og 18.

Meðalforskot stöðu i er auðfundið ef reiknað er út meðalgildi gagnasafnsins samkvæmt eftirfarandi [10]:

$$h_i = \frac{\sum_{j=1}^{k_i} h_j}{k_i}.$$

Stærðin k_i er stuðull sem stendur fyrir þann fjölda mælinga er gaf forskot fyrir stöðu i . Það kemur fram í töflum með niðurstöðunum hversu margar mælingar náðust fyrir hverja stöðu í straumnum.

Staðalfrávik forskots í stöðu i fæst með

$$s_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{k_i} (h_j - h_i)^2}{k_i - 1}}$$

Eitt vandamál skaut upp kollinum við úrvinnslu á upptökum. Gæði hennar voru frekar léleg og reyndist ekki mögulegt að fá nákvæman viðbragðstíma fyrstu bíla á ljósum í hverri mælingu. Mælingin er háð því að hægt sé að taka tímann alveg frá því að gult ljós kviknar og þar til fyrsti bíll er farinn fram hjá viðmiðunarpunktinum. Einungis náðust um 12 mælingar þar sem staða ljósanna sést greinilega fyrir vesturstrauminn og svipað ástand var fyrir beygjuakreinina en fyrir austurstrauminn náðust þó að fullu 50 mælingar.

Eftir vissan fjölda ökutækja verður ástandið mettað. Það er matsatriði eftir hvaða stöðu megi reikna með að metnun komist á. Matið var gert með því að skoða niðurstöðurnar myndrænt og sjá í hvaða stöðu gera megi ráð fyrir að straumurinn sýni mettað stöðugt ástand. Það var oftast í stöðu 5 til 7. Út frá mæligildunum mátti reikna meðaltal á forskoti fyrir hverja stöðu. Forskotið er skilgreint sem mettað forskot ef það er reiknað fyrir stöðu eftir að metnun kemst á. Meðaltal af öllum mettuðum forskotum er síðan reiknað út. Það er skilgreint sem mettað forskot akreinarinnar. Með því að draga mettaða forskotið frá forskoti fyrstu ökutækjanna fékkst tapaður tími hvefarrar stöðu í straumnum. Tapaður tími minnkar smáa saman eftir því sem fleiri ökutæki fara fram hjá viðmiðunarpunktinum og eftir tiltekna stöðu verður tapaður tími núll. Þessi staða er sú sama og valin var sem fyrsta staða þar sem straumurinn er orðinn mettaður. Þetta var gert fyrir alla straumana sem skoðaðir voru.

Forskot bílanna styttist eftir því sem fleiri bílar fara fram hjá viðmiðunarpunktinum og ferillinn, sem táknar meðaltalið, fellur að meðaltali mettaðs forskots í straumnum sem er bein lína. Til að fá samfelldan feril má gera ráð fyrir að ferillinn sé annars stigs margliða sem falli að beinu línunni og hana má finna með því að skoða summu minnstu kvaðrata hennar.

3.2.2 Miklabraut – Stakkahlíð

Myndbandsupptakan sýnir strauminn að morgni fimmtudags þann 18.5. Þegar umferð er mikil, fæst nokkuð góð metnun í straum og raunhæft að meta mettað forskot samkvæmt

fræðum um ótruflaðan straum. Straumurinn er greinilega undir áhrifum ljósanna við Kringlumýrarbraut þannig að brautin tæmist með reglulegu millibili.

Mettunin er því ekki samfelld og einungis má gera mælingar þegar nokkuð ljóst er, að straumurinn sé mettaður. Gerðar voru 200 tímamælingar fyrir báðar akreinar og þær skráðar niður á sérútbúið eyðublað. Notast var við ljósastaur í myndinni sem viðmiðunarpunktur fyrir tímamælinguna og tímamælingin sjálf var framkvæmd með medistor og ljóshliði. Einnig voru gerðar 100 tímamælingar til að reikna mætti út meðalhraðann á hvorri akrein. Hún fólst í því að taka tímann sem það tók einn bíl að aka á milli fjögurra girðingarstaura á miðeyju og voru mælingarnar skráðar á sama eyðublað og forskotið. Fjarlægðin á milli stauranna var mæld og hraðinn reiknaður út frá henni.

3.2.3 Kringlumýrarbraut – Borgartún

Myndbandsupptakan sýndi gott yfirlit yfir fremstu bíla í straumnum til norðurs sem og ljóস্যringuna. Hún sýnir reyndar ekki beygjuakreinina inn á Borgartún þannig að ekki reyndist unnt að fá niðurstöður fyrir viðbragðstíma bíla á henni.

Úrvinnslan var tvíþætt. Mældur var bæði viðbragðstími fyrstu tveggja ökutækjanna í straumnum fyrir bæði hægri og vinstri akrein sem og svokallaður af-stað tími. Yfirleitt voru afturendar ökutækjanna sjáanlegir þannig að hægt var að meta viðbragðið með því að mæla tímann frá því það kom gult ljós og þar til slokknaði á bremsuljósi ökutækisins. Það var skilgreint sem viðbragðstími ökumannsins. Af-stað tíminn var mældur sem tíminn frá því að gult ljós kviknar þar til greinilegt þótti, að bíllinn væri lagður af stað. Niðurstöður tímamælinganna voru skráðar inn á sérstaklega útbúið eyðublað. Einnig var skráð hvort að um þungaflutningabíl var að ræða, eða hægri beygju inn á Borgartún til austurs.

3.3 Mæliniðurstöður

3.3.1 Miklabraut – Langahlíð

Niðurstöður mælinga og útreikninga á forskoti í mettuðum straumi og töpuðum tíma upphafs í trufluðum straumi við ljóস্যstyrð gatnamót Miklubrautar og Lönguhlíðar má sjá á meðfylgjandi gröfum og töflum.

Helsta niðurstaðan er sú, að tilgátupróf með t -dreifingu og 95% vikiörkum, hafnaði því að meðalgildi á mældum gildum á mettuðu forskoti hverrar akreinar væri meðalgildi þýðis með meðalgildið 2,0 sem er viðmiðunargildi HCM. Heildarniðurstöður má sjá á eftirfarandi töflu.

Tafla 3.1 – Forskot í mettuðum straumi og tapaður tími, allar akreinar

Akrein á gatnamótum	Mettað forskot	Tapaður tími
	[s]	[s]
Austurstraumur, vinstri akrein	1,81	2,29
Austurstraumur, hægri akrein	1,86	2,79
Vesturstraumur, vinstri akrein	1,74	2,80
Vesturstraumur, hægri akrein	1,89	2,86
Austurstraumur, vinstri beygjuakrein		2,43

Mettað forskot á akreinunum er á bilinu 1,74 til 1,89 sekúndur. Forskotið er heldur styttra á vinstri akreinunum heldur en þeim hægri. Tapaður tími er einnig talsvert lengri á hægri akreinunum. Þessi munur á sér eðlilegar skýringar. Umferð á hægri akreinum samanstendur af herra hlutfalli hægfa ökutækja en á þeim vinstri. Hlutfall þyngri bíla var einnig herra á hægri akreinunum.

3.3.2 Austurstraumur

Tafla 3.2 – Forskot og tapaður tími upphafs á hægri akrein austurstraums ásamt niðurstöðu úr tilgátuprófi.

Staða, <i>i</i> , bifreiðar í röð	Heildarfjöldi mælinga, <i>k</i> , á stöðu <i>i</i>	Meðalforskot í stöðu <i>i</i> og meðaltal	Staðalfrávik forskots í stöðu <i>i</i>	Tapaður tími í stöðu <i>i</i> ásamt heild
		[s]	[s]	[s]
1	50	3,03	0,98	1,17
2	50	2,31	0,62	0,45
3	50	2,10	0,55	0,25
4	50	2,03	0,54	0,18
5	50	2,10	0,66	0,24
6	50	2,15	0,71	0,29
7	50	2,03	0,61	0,18
8	49	1,94	0,49	2,75
9	49	1,87	0,67	
10	47	1,92	0,54	Tilgátupróf 95% vikmörk 5,25 þarf að vera minna en 1,96 þ.a.l. er tilgátu hafnað
11	47	1,83	0,47	
12	47	2,00	0,77	
13	46	1,85	0,65	
14	45	1,80	0,48	
15	43	1,79	0,57	
16	42	1,83	0,53	
17	40	1,87	0,44	
18	36	1,73	0,63	
Mettað forskot h_{sat} [s]		1,86		

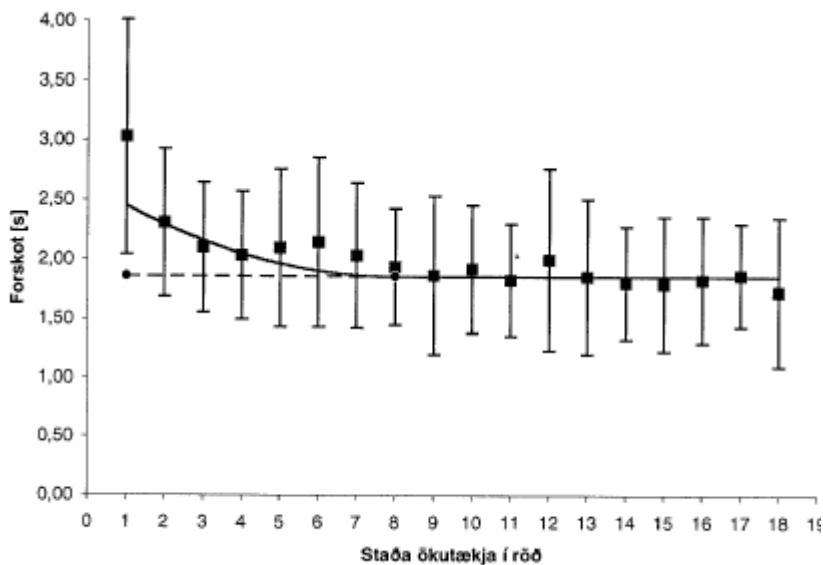
Tafla 3.3 – Forskot og tapaður tími upphafs á vinstri akrein austurstraums ásamt niðurstöðu úr tilgátuprófi

Staða, <i>i</i> , bifreiðar í röð	Heildarfjöldi mælinga, <i>k</i> , á stöðu <i>i</i>	Meðalforskot í stöðu <i>i</i> og meðaltal	Staðalfrávik forskots í stöðu <i>i</i>	Tapaður tími í stöðu <i>i</i> ásamt heild
		[s]	[s]	[s]
1	53	3,07	0,90	1,26
2	53	2,29	0,50	0,48
3	53	2,08	0,56	0,27
4	53	1,97	0,57	0,16
5	53	1,93	0,68	0,12
6	53	1,79	0,51	2,29
7	53	1,85	0,55	
8	53	1,79	0,51	Tilgátupróf 95% vikmörk 7,21 þarf að vera minna en 1,96 þ.a.l. er tilgátu hafnað
9	53	1,78	0,60	
10	53	1,79	0,64	
11	53	1,76	0,53	
12	51	1,96	0,84	
13	45	1,77	0,76	
14	42	1,90	0,82	
15	39	1,83	0,61	
16	36	1,94	0,63	
17	27	1,65	0,54	
18	22	1,73	0,62	
Mettað forskot h_{sat} [s]		1,81		

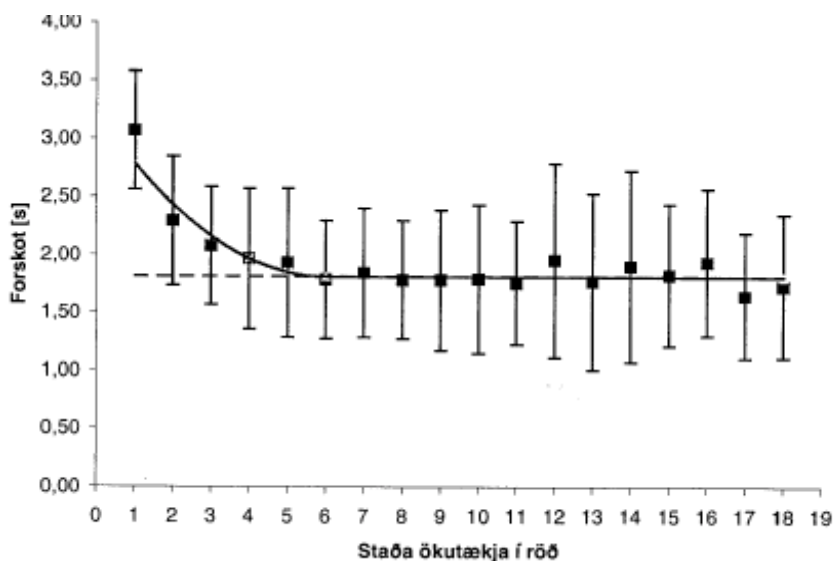
Það þarf að meta það hvar mettun er komin á í straumnum. Yfirleitt er miðað við að eftir sjötta bíl sé flæðið orðið stöðugt. Niðurstöðurnar sýndu að það er ekki orðið stöðugt fyrr en frá sjöunda bíl á hægri akreininni, en allt frá þeim fimmta á vinstri akreininni. Þetta er álitamál, en valið hefur ekki mikil áhrif á niðurstöður fyrir tapaðan tíma upphafs.

Búast mátti við því að munur væri á milli hægri og vinstri akreina. Eins og áður sagði, er herra hlutfall þungra ökutækja og margir sem taka hægri beygju á hægri akreininni. Tapaður tími upphafs er því styttri á vinstri akreininni en þeirri hægri.

Á næstu myndum sjást niðurstöðurnar myndrænt. Myndirnar sýna meðaltal á forskoti fyrir hverja stöðu í straumnum. Einnig sjást staðalfrávik í hverri stöðu sem lóðréttar línur út frá punktunum.



Mynd 3.3 – Forskot á hægri akrein austurstraums ásamt staðalfráviki.



Mynd 3.4 – Forskot á vinstri akrein austurstraums ásamt staðalfráviki.

3.3.3 Vesturstraumur

Tafla 3.4 – Forskot og tapaður tími upphafs á vinstri akrein vesturstraumsins ásamt niðurstöðu á tilgátuprófi.

Staða, <i>i</i> , bifreiðar í röð	Heildarfjöldi mælinga, <i>k</i> , á stöðu <i>i</i>	Meðalforskot í stöðu <i>i</i> og meðaltal	Staðalfrávik forskots í stöðu <i>i</i>	Tapaður tími í stöðu <i>i</i> ásamt heild
		[s]	[s]	[s]
1	12	3,10	0,91	1,36
2	49	2,60	0,75	0,86
3	49	2,00	0,58	0,26
4	49	2,01	0,58	0,27
5	48	1,80	0,53	0,06
6	48	1,90	0,56	2,80
7	48	1,82	0,58	
8	48	1,66	0,41	
9	47	1,75	0,57	
10	47	1,74	0,56	
11	45	1,75	0,76	
12	42	1,74	0,69	
13	35	1,61	0,48	
14	34	1,59	0,35	
15	30	1,74	0,66	
16	25	1,72	0,61	
17	21	1,87	0,44	
18	14	1,73	0,73	
Mettað forskot h_{sat} [s]		1,74		

Tilgátupróf
95% vikmörk
10,00
þarf að vera
minna en
34

þ.a.l. er tilgátu
hafnað

Tafla 3.5 – Forskot og tapaður tími upphafs á hægri akrein vesturstraums ásamt niðurstöðu úr tilgátuprófi

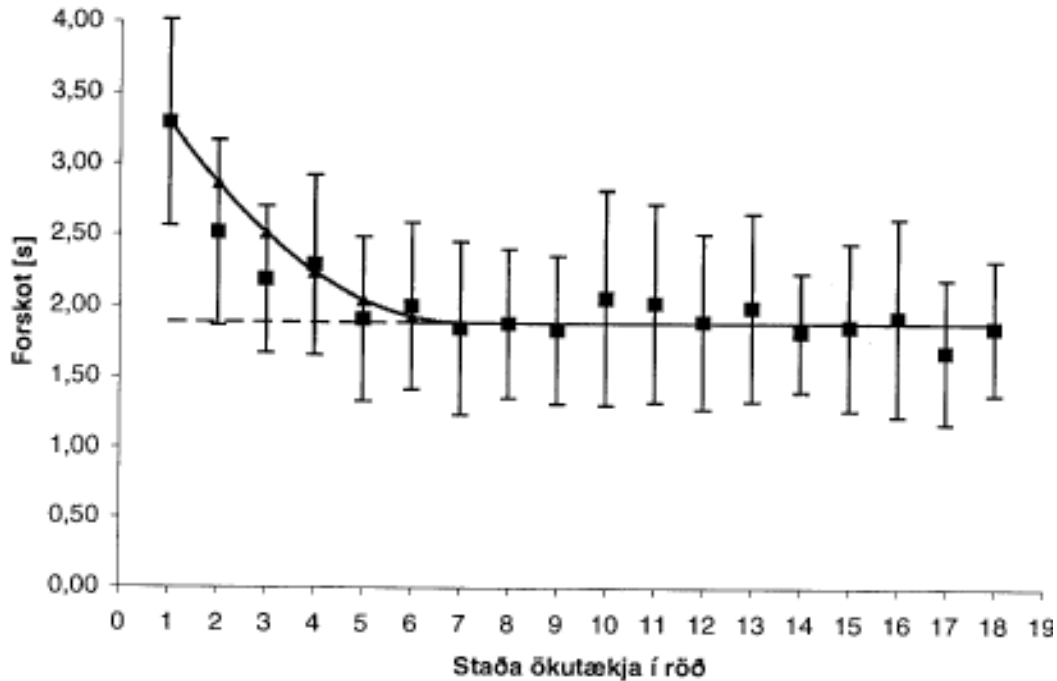
Staða, <i>i</i> , bifreiðar í röð	Heildarfjöldi mælinga, <i>k</i> , á stöðu <i>i</i>	Meðalforskot í stöðu <i>i</i> og meðaltal	Staðalfrávik forskots í stöðu <i>i</i>	Tapaður tími í stöðu <i>i</i> ásamt heild
		[s]	[s]	[s]
1	12	3,29	0,72	1,40
2	50	2,52	0,65	0,62
3	50	2,19	0,51	0,30
4	50	2,30	0,63	0,40
5	50	1,92	0,58	0,02
6	50	2,00	0,59	0,11
7	50	1,85	0,61	2,86
8	50	1,88	0,53	
9	50	1,84	0,52	
10	49	2,07	0,76	
11	49	2,03	0,70	
12	49	1,90	0,62	
13	48	2,00	0,66	
14	46	1,82	0,42	
15	45	1,86	0,59	
16	42	1,93	0,70	
17	36	1,69	0,51	
18	35	1,86	0,47	
Mettað forskot h_{sat} [s]		1,89		

Tilgátupróf
95% vikmörk
3,93
þarf að vera
minna en
1,96

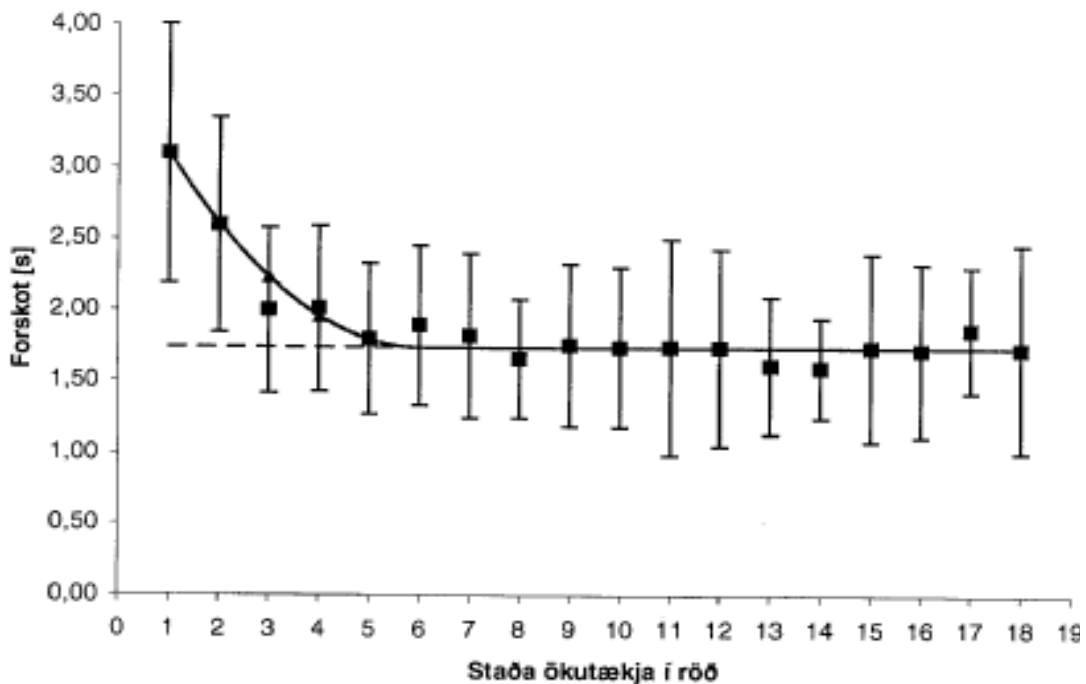
þ.a.l. er tilgátu
hafnað

Túlka má þessar niðurstöður á sama hátt og fyrir austurstrauminn. Mettunarforskotið er styttra á vinstri akreininni sem og tapður tími upphafs. Munurinn er þó ekki jafn mikill eins og búast mátti við með tilliti til austurstraumsins. Mettað forskot bíla sem taka hægri beygju er einnig lengra en þeirra sem fara beint yfir gatnamótin eins og búast mátti við og er í samræmi við niðurstöðurnar hér að ofan fyrir austurstrauminn.

Niðurstöðurnar eru birtar myndrænt hér að neðan með sama hætti og fyrir austurstrauminn.



Mynd 3.5 – Forskot á hægri akrein vesturstraums ásamt staðalfráviki.



Mynd 3.6 – Forskot á vinstri akrein vesturstraums ásamt staðalfráviki.

Túlka má niðurstöðurnar á sama hátt og fyrir austurstrauminn. Hlutfall þungra bíla er hærra á hægri akreininni auk þess sem nokkuð margir bílar taka hægri beygju.

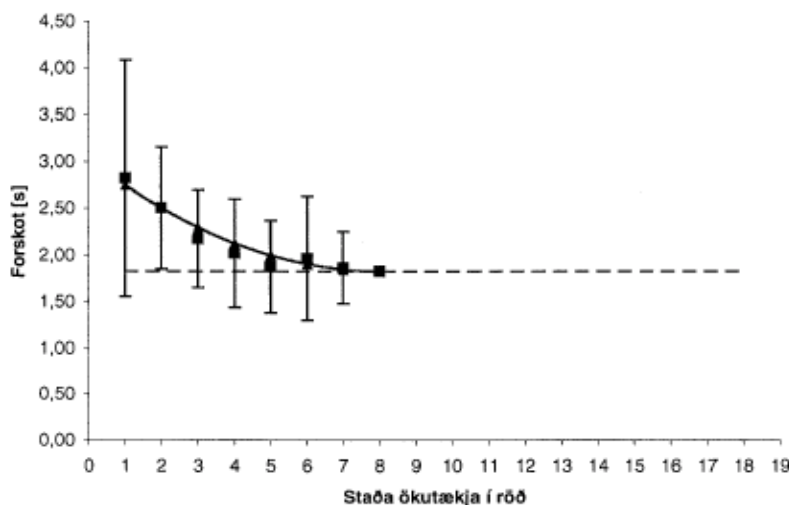
3.3.4 Vinstri-beygjurein

Straumur á beygjuakrein til vinstri á gatnamótunum verður aldrei mettaður þannig að það er ekki hægt að meta tapaðan tíma upphafs út frá mettuðu forskoti eins og fyrir beinu straumana. Sérstakur fasi gildir fyrir vinstri beygjuna og hann er stuttur. Það má heimfæra gildi á mettuðu forskoti frá hinum akreinunum á beygjuakreinina. Þau má síðan nota til að meta tapaðan tíma upphafs á henni. Ef tekið er meðaltal á mettuðu forskoti yfir allar hægri akreinarnar á aðalstraumi og það dregið frá forskotinu, fæst ágætist mat á tapaðan tíma upphafs.

Tafla 3.7 – Tapaður tími upphafs á vinstri beygjuakrein frá Miklubraut til norðurs inn Lönguhlíð. Notaðar eru niðurstöður á hægri akreinum beint áfram til að reikna tapaðan tíma.

Staða, i , bifreiðar í röð	Heildarfjöldi mælinga, k , á stöðu i	Meðalforskot í stöðu i og meðaltal	Staðalfrávik forskots í stöðu i	Tapaður tími í stöðu i ásamt heild
		[s]	[s]	[s]
1	15	1,26	2,82	0,99
2	50	0,65	2,51	0,68
3	50	0,52	2,17	0,34
4	48	0,58	2,02	0,19
5	44	0,49	1,88	0,05
6	30	0,66	1,97	0,14
7	16	0,39	1,87	0,04
Taka hægri beygju í austur- og vesturstraumi, notað sem viðmiðun [s]			1,83	2,43

Tapaður tími er á svipuðu bili og tapaður tími á beinu akreinunum, á milli 2 og 3 sekúndur. Niðurstöðurnar má einnig sjá á mynd hér fyrir neðan og birtist meðalgildi á mettaða forskotinu sem brotin lína í grafinu og væri hugsanlega gilt ef ljósafasinn væri lengri og metnun næðist.



Mynd 3.7 – Tapaður tími upphafs á beygjuakrein ásamt staðalfrávik meðaltals hvernar stöðu. Brotna línar tákna mögulegan mettaðan straum fasans ef hann væri lengri.

3.3.5 Miklabraut við Stakkahlíð

Tafla 3.8 – Mettað forskot í ótrufluðum straumi.

Akrein	Meðalhraði	Mettað forskot	Staðalfrávik
	[km/h]	[s]	[s]
Hægri akrein	61,13	1,92	0,73
Vinstri akrein	64,26	1,70	0,62

Meðalhraðinn er aðeins minni á hægri akreininni og þar er forskotið aðeins styttra. Staðalfrávik, sem reiknað er út frá mæliniðurstöðunum, er talsvert fyrir báðar akreinar og gefur til kynna að breytileiki mæligildanna sé umtalsverður. Forskotið er í ágætis samræmi við niðurstöðurnar fyrir gatnamótin sjálf. Í samanburði við niðurstöðurnar sem fengust fyrir gatnamótin, þá eru gildin svipuð á hægri akreinunum en vinstri akreinin sýnir jafnvel enn lægra mettað forskot en við gatnamótin. Það ber þó að hafa í huga, að vegkaflinn hallar lítið eitt niður í móti og skekkir niðurstöðuna væntanlega á þann veginn að forskotið er styttra en ella.

3.3.6 Kringlumýrarbraut – Borgartún

Viðbragð þungra ökutækja ætti ekki að vera frábrugðið hefðbundnum ökutækjum þar sem ekki er neinn munur á ökumönnum þeirra. Þess vegna eru þeir teknir með í mælingum yfir viðbragð ökumanna. Þeim er hins vegar sleppt þegar reynt er að meta „af-stað“ tímenn.

Við úrvinnslu gagnanna var ljóst, að gæði mælinganna voru ekki góð. Viðbragðstími ökumanna er það stuttur, að skekkjuáhrif þess að nota skeiðklukku eru veruleg. Því er ekki hægt að mæla með því, að nota niðurstöðurnar nema í besta falli sem viðmiðun við aðrar og betri mælingar.

Tafla 3.9 – Viðbragðs- og af-stað tími fyrstu ökutækja.

Akrein	Viðbragð			Af-stað		
	Fjöldi	Tími	Staðalfrávik	Fjöldi	Tími	Staðalfr.
		[s]	[s]		[s]	[s]
Fyrsti bíll, hægri akrein	23	1,00	0,59	28	1,52	0,51
Annar bíll, vinstri akrein	24	1,96	0,72	26	2,83	1,01
Fyrsti bíll, vinstri akrein	24	0,96	0,41	26	1,74	0,49
Annar bíll, vinstri akrein	20	1,78	0,60	23	2,58	0,65

Viðbragð fyrstu ökumanna í röð er stutt eða rétt um ein sekúnda og rétt undir tveimur sekúndum fyrir næstu ökumenn. Staðalfrávik, er hátt og bendir til þess að gildin séu talsvert breytileg á milli hveirrar mælingar. Viðbragð ökumanna, er næstir koma, er einungis haft með til samanburðar og ber að skoða í því ljósi.

Gildin sem fást út frá mælingunum eru ekki langt frá erlendu viðmiðunargildunum sem talað var um hér að ofan og voru 0,8 til 1,0s. Þau eru hins vegar tæplega hálfri sekúndu lengri en 0,54s sem voru viðmiðunargildi sem fengust ef búið var að undirbúa ökumennina undir einhvern óvæntan atburð eins og lýst var í umfjöllun hér að ofan. Það er þó sennilega

fullkomlega eðlilegt þar sem viðbrögð við ljósaskiptingu eru ekki eins mikilvæg og viðbrögð gagnvart yfirvofandi hindrun og hugsanlegum árekstri.

Af-stað tímanna má bera saman við fyrsta forskot beinu straumanna á gatnamótum Lönguhlíðar og Miklubrautar. Þannig fæst hugsanlega mat á því hvernig best sé að velja fastan viðmiðunarpunkt mælinganna. Ef af-stað tímanna er borinn saman við forskot fyrsta ökutækis úr niðurstöðunum á gatnamótum Miklubrautar og Lönguhlíðar, að þá er munurinn á bilinu 2,0–2,3s.

4 NIÐURSTÖÐUR

Niðurstöður rannsóknarinnar á mettuðu forskoti á gatnamótum Miklubrautar og Lönguhlíðar má bera saman við HCM.

Tafla 4.1 – Samanburður á viðmiðunargildum úr HCM og mældum gildum fyrir gatnamót Miklubrautar og Lönguhlíðar.

Akstursstraumur	Mettað forskot skv.			Tapaður tími upphafs skv.	
	Rannsókn [s]	HCM [s]	Mismunur [s]	Rannsókn [s]	McShane&Roess [s]
Austurstraumur, vinstri akrein	1,81	2,0	-0,19	2,29	3
Austurstraumur, hægri akrein	1,86	2,0	-0,14	2,79	3
Vesturstraumur, vinstri akrein	1,74	2,0	-0,26	2,80	3
Vesturstraumur, hægri akrein	1,89	2,0	-0,11	2,86	3
Vinstri beyguakrein til norðurs				2,43	3

Gildin úr HCM eru hærri en fást úr rannsókninni. Munurinn er ekki umtalsverður á hægri akreinunum en þó nokkur á þeim vinstri. Þetta vekur sannarlega upp grunsemdir um að mettað forskot sé hugsanlega lægra hér á landi en gildin úr HCM segja til um. Gildin fyrir tapaðan tíma upphafs eru einnig nokkuð lægri en búast mátti við, samkvæmt uppgefnum gildum í [9], þó að gult ljós ætti í raun að hafa þau áhrif að lengja tapaðan tíma upphafs.

Skýringin liggur hugsanlega í því, að viðmiðunargildin í HCM eru orðin nokkuð gömul. Þau hafa ekki breyst frá 1985 a.m.k. Bílar í dag eru hugsanlega kraftmeiri og streita í umferðinni kynni að hafa áhrif en mælingarnar voru gerðar bæði að morgni til og síðdegis þegar umferð er mikil og fólk að flýta sér.

Skýringuna má einnig hugsanlega finna í skekkju mæligagna og greiningaraðferða sem notaðar voru.

Viðbragðstími ökumanna virðist vera í nokkuð góðu samræmi við erlend gildi, um 1 sekúnda. Það er því óþarfi að gera frekari rannsóknir á því og styðjast má við erlendu viðmiðunargildin.

Lagt er til, að frekari rannsóknir fari fram á mettuðu forskoti við ljósastýrð gatnamót. Skoða þyrfti fleiri tegundir og mismunandi aðstæður. Þá er nauðsynlegt að komast að því hvaða afleiðingar það hefur fyrir hermun og þar af leiðandi hönnun gatnamannvirkja að reikna með öðrum inntaksgildum en þeim, sem hermunarforrit gefa sér sjálf.

5 HEIMILDASKRÁ

Ritaðar heimildir:

- [1] AASHTO. *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. 1990. American Association of State Highway and Transport Officials, Washington, D.C., USA.
- [2] Barlow, Roger. 1992. *Statistics*. John Wiley & Sons, New York, USA.
- [3] Garber, Nicholas J. og Hoel, Lester A. 1997. *Traffic and Highway Engineering*, PWS Publishing Company, Boston, USA.
- [4] Gerlough, Daniel L. og Huber, Matthew J. 1975. *Traffic Flow Theory, a Monograph*. Transportation Research Board. National Research Council. Washington, D.C., USA.
- 5] *Highway Capacity Manual, Special Report 209*. 1994. Transportation Research Board / National Research Council, USA.
- [6] *Highway Capacity Manual*. 1985. Transportation Research Board / National Research Council, USA.
- [7] Institutt for samferdselsteknik. *Traffikkteknik*. 1978. Tapir, Noregi.
- [8] Leutzbach, Wilhelm. 1988. *Introduction to the Theory of Traffic Flow*. Springer-Verlag, Berlín, Þýskalandi.
- 9] McShane, William R. og Roess, Roger P., 1990. *Traffic Engineering*. Prentice Hall, New Jersey, USA.
- [10] Ross, Sheldon M. 1987. *Introduction to the Probability and Statistics for Engineers and Scientists*. John Wiley & Sons, New York, USA:
- [11] TSIS User's Guide, 1997. Federal Highway Administration, USA.

Heimildir af netinu:

- [12] Traffic Flow Theory. URL: <http://www.tfhrc.gov/its/tft/tft.htm>