



Skjal sétt af '0000000000' dags: 25.03 2026

Áhrif hraða á mengun vegna umferðar

Skýrsla til Vegagerðarinnar 2021

Höfundur:

Þróstur Þorsteinsson

Umhverfis-og auðlindafræði & Jarðvísindastofnun, Háskóli Íslands (ÞbrosturTb@hi.is)



HÁSKÓLI ÍSLANDS

Efnisyfirlit

1.	Inngangur	4
2.	Bakgrunnur	5
2.1	Bremsur.....	5
2.2	Dekk	5
2.3	Vegslit.....	6
2.4	Útblástur	6
3.	Aðferðir og gögn.....	7
3.1.	Nagladekkjanotkun, tegundir og fjöldi bíla.....	7
3.2	Slit á bremsum	9
3.3	Slit á dekkjum	9
3.4	Slit á vegum	9
4.	Niðurstöður og umræður.....	11
4.1	Vegslit vegna nagladekkja.....	11
4.2	Veg-, bremsu-og dekkjaslit.....	12
4.3	Útblástur svifryks (PM10)	12
4.5	Útblástur gasa.....	13
4.5	Uppsprettur og magn mengunar sem falla af hraða	16
4.6	Samsetning svifryks	19
4.7	Svifryk frá bílaflota	21
4.8	Rafbílar.....	22
5.	Samantekt.....	23

Ágrip

Mengun vegna umferðar er þekkt vandamál í borgum víða um heim. Á Íslandi er það svifryk vegna umferðar sem oftast veldur því að loftgæði versna og fara jafnvel yfir heilsuverndarmörk. Magn mengandi efna er háð hraða ökutækis, en það samband fer eftir tegund mengunar og tegund ökutækis. Hér sýnum við að sambandið milli mengunar og hraða fyrir gös er tiltölulega einfalt fyrir nýlega bíla, línulega vaxandi fyrir slit vegna dekkja og vega og að vegna þess að nagladekk slíta vegum 20-falt hraðar en ónegld dekk, þá yfirgnæfir sá þáttur framleiðslu svifryks vegna umferðar. Með því að reikna framleiðslu svifryks fyrir nýlegan bíl er hægt að sjá hlutfallslegt mikilvægi þeirra ferla sem þar leggja til. Ef nýlegur bíll er á ónegldum dekkjum þá er útblástur (7%) og slit á bremsum (33%), dekkjum (21%) og vegum (39%). Fyrir bíl á nagladekkjum er mikill meirihluti svifryksframleiðslunnar vegna vegslits (92%). Niðurstöðurnar sýna að með því að draga úr umferðarhraða mætti draga töluvert úr framleiðslu svifryks; og þar með sliti gatna.

Efnisorð: Svifryk, fólksbílar, loftgæði, umferð, vegslit

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

Mengun vegna umferðar er þekkt vandamál í borgum og bæjum víða um heim og á Íslandi er það svifryk vegna umferðar sem oftast veldur því að loftgæði versna og fara jafnvel yfir heilsuverndarmörk. Því er nauðsynlegt að grípa til mótvægisáðgerða til að draga úr magni svifryks í andrúmslofti.

Besta leiðin er að draga úr framleiðslu svifryks vegna umferðar, ráðast að rótum vandans. Oft er lagt til að draga úr umferð, án þess kannski að raunverulegar lausnir séu útlistaðar eða að draga úr notkun nagladekkja. Hér sýnum við að nagladekkinn eru langsamlega stærsti liðurinn í framleiðslu svifryks og því myndu þessar aðgerðir skila árangri. Fátt bendir þó til þess að dragi muni úr umferð á næstu árum og notkun nagladekkja er erfitt að breyta. Hvoru tveggja ætti að stefna að, minni umferð og færri bílar á nagladekkjum, en væntanlega mun það taka nokkuð langan tíma. Að draga úr hraða, setja hraðatakmark lægri en nú gilda, er ein þeirra leiða sem nefnd hefur verið. Hér skoðum við áhrif þess að breyta hraða ökutækja á magn mengandi efna sem myndast vegna umferðar.

Magn mengandi efna er háð hraða ökutækis, en það samband fer eftir tegund mengunar og ökutækis. Til að svara því hversu vel slíkar aðgerðir myndu duga er nauðsynlegt að reikna hvernig uppsprettur mengunar vegna umferðar breytast sem fall af hraða.

Gróflega má skipta uppsprettum mengunar vegna umferðar í tvennt, beinan útblástur og slit. Mjög margar gastegundir má finna í útblæstri bifreiða, en hér verður aðeins fjallað um NO_x og CO, auk svifryks (PM₁₀). Mengun vegna slits verður skoðuð sem uppspretta svifryks (PM₁₀) vegna slits á bremsum, dekkjum og vegum, bæði vegna sumar- og nagladekkja.

Uppsprettur mengunar vegna umferðar eru reiknaðar fyrir fólksbíla. Þyngd og stærð ökutækja hefur áhrif á magn mengunar, en almennt gildir sama samband fyrir breytileika með hraða.

Í kafla 2. *Bakgrunnur* verður fjallað nánar um áhrif mengunar og þróun bílaeignar. Í kafla 3. *Aðferðir og gögn*, er útskýrt hvaðan þau gögn sem notuð eru koma og hvernig uppsprettur mengunar eru reiknaðar. Í kafla 4. *Niðurstöður og umræður* eru niðurstöður reikninga á uppsprettum mengunar vegna umferðar sem fall af hraða kynntar og ræddar. Að lokum í kafla 5. *Samantekt* er síðan stutt samantekt á helstu niðurstöðum.

Gildi fyrir slit eru almennt gefin sem mg/km/veh, samsé slit sem massi fyrir hvern keyrðan kílómeter ökutækis. Svifryk og vegryk er hér almennt talað um saman og átt við PM₁₀ nema annað sé tekið fram.

2. Bakgrunnur

Mengun í borgum vegna umferðar er mikið áhyggjuefni um allan heim. Vitað er að margskonar sjúkdómar tengjast slíkri mengun, til dæmis eru áhrif svifryksmengunar (PM10 og PM2.5) vel þekkt (Krzyzanowski and Cohen 2008; OECD 2020).

Rafbílar eru mikið til umræðu og búist er við töluverðri aukningu þeirra á næstu árum. Kostir þeirra eru m.a. að það er engin mengun vegna útblásturs. En dekk, bremsur og vegir slitna áfram og almennt eru rafbílar heldur þyngri en bensín og dísel bílar og því má reikna með að slit verði meira (Simons 2016; Timmers and Achten 2018) og þar með framleiðsla á svifryki.

Í þessari rannsókn er áherslan lögð á breytileika í styrk uppsprettna mengunar sem fall af hraða. Fjölmargar aðrar breytur geta haft áhrif á stærð uppsprettna, t.d. þyngd ökutækja, dekkjategund og fleira. Flestar stærðir til að meta slit hafa stór skekkjumörk, en slíkt skalar aðeins ferlana til, breytir almennt ekki hvernig breytingarnar verða sem fall af hraða; þar eru auðvitað nálganir gerðar einnig. Til að ákvarða gildi fyrir slit er að mestu stuðst við rannsóknir á norðurlöndunum í tengslum við þróun NORTRIP líkansins (Johansson et al. 2012). Þar hafa líkanreikningar verið bornir saman við mælda mengun til að ákvarða þessi stuðla á sem bestan hátt (Denby, I Sundvor, et al. 2013; Denby, I. Sundvor, et al. 2013; Kupiainen et al. 2016). Hér er leitast við að bera saman á sambærilegan hátt reiknaðar uppsprettur mengunar.

2.1 Bremsur

Tölur um bremsuslit eru á nokkuð breiðu bili og misjafnt hversu stór hluti er talinn vera PM10. Almennt er talið að stór hluti heildarslits bremsubúnaðar sé PM10 (Grigoratos and Giorgio 2014; Grigoratos and Martini 2015); 50% - 98%.

Í borgum er hlutfall svifryks (PM10) vegna slits á bremsum oft á bilinu 16 – 55% af heildarsvifryki vegna slits (e. non-exhaust emissions), en á hraðbrautum (e. freeways) er hlutfallið mun lægra (um 3% af þyngd) vegna lægri bremsunartíðni (Grigoratos and Giorgio 2014).

Flestar rannsóknir gefa til kynna að mest af ögnum (miðað við þyngd) í PM10 vegna bremsuslits sé á milli 2 – 6 μm (Grigoratos and Giorgio 2014). Hins vegar ef skoðað sem fjöldi agna (smáar agnir hafa litla þyngd samanborið við stærri, skalast með rúmmáli og því rásir í 3ja veldi) er hámark í örfínnum ögnum (<80 nm) og annað fyrir finar agnir, en enn aðrar rannsóknir segja að undir venjulegum kringumstæðum sé ekki hámark í örfínnum ögnum (Grigoratos and Giorgio 2014).

Flestar tilraunir í veghermum (e. road simulation) og líkanreikningum gefa að slit vegna bremsa sé á bilinu 2.0 – 8.8 mg/km/veh fyrir fólksbíla (e. LDV), oft er 6 – 7 mg/km/veh notað sem er mjög nærri útblástursgildum á nýlegum díselbílum (Euro 5/6). Fyrir þyngri bíla (e. HDV) eru tölurnar almennt 10 sinnum hærri (Grigoratos and Giorgio 2014).

Efnasamsetning svifryks vegna bremsuslits einkennist af háu hlutfalli þungmálma (Fe, Cu, Zn, Sn, Sb) auk S, en auk þess er nokkuð magn lífrænum efnum (e. organic substances) og kolefni (e. elemental carbon) í fína hlutanum (PM2.5) (Grigoratos and Giorgio 2014).

2.2 Dekk

Talið er að milli 0.1 – 10% af þyngd (e. mass) dekkjaslits sé svifryk (PM10) (Grigoratos and Giorgio 2014).

Í borgum er hlutfall svifryks (PM10) vegna slits á dekkjum talið vera á bilinu 5 – 30% af heildarsvifryki vegna slits (e. non-exhaust emissions) (Grigoratos and Giorgio 2014).

Agnir vegna dekkjaslits hafa verið greindar frá 10 nm upp í nokkur hundruð μm (Jan Kole et al. 2017; Järnskog et al. 2020). Dreifing agna ($<10 \mu\text{m}$, PM10) vegna dekkjaslits (miðað við þyngd) virðist vera tvískipt, annars vegar mjög finar agnir og hins vegar milli 5 – 9 μm (Grigoratos and Giorgio 2014).

Flestar tilraunir í veghermum (e. road simulation) og líkanreikningum gefa slit vegna dekkja á bilinu 3.5 – 9.0 mg/km/veh fyrir fólksbíla (e. LDV), oft er 6 – 7 mg/km/veh notað sem er mjög nærri útblástursgildum á nýlegum díeselbílum (Euro 5/6) (Grigoratos and Giorgio 2014). Fyrir þyngri bíla (e. HDV) eru tölurnar almennt 10 sinnum hærri (Wagner et al. 2018).

Efnasamsetning dekkjaslits (PM10) einkennist helst af Zn, auk Cu og S, en einnig hafa fundist PAHs og fleiri efni (Grigoratos and Giorgio 2014).

Örplast myndast við slit á dekkjum og er talið að allt að 30% (af rúmmáli) alls örplasts sem mengar ár og höf sé vegna dekkjaslits (Sommer et al. 2018). Götusópun er talin góð leið til að draga úr dreifingu örplasts vegna umferðar (Hann et al. 2018; Järnskog et al. 2020; Vogelsang et al. 2019).

2.3 Vegslit

Til að reikna slit á vegum þarf upplýsingar um gerð vegyfirborðs, en þessar upplýsingar eru ekki alltaf aðgengilegar og getur munað nokkru í magni reiknaðs slits. Gerð er sú nálgun að vegslit breytist línulega sem fall af hraða og er það byggt m.a. á tilraunum (Denby and Sundvor 2012). Rétt er að taka fram að útreikningar með NORTIP líkaninu benda til þess að við mikinn hraða ($>70 \text{ km/klst}$) myndist helst til of mikið svifryk með þessari nálgun og gæti því aukningin sem fall af hraða verið minni fyrir hraða yfir um 70 km/klst. Þetta hefur hins vegar ekki verið staðfest, niðurstöður aðeins misvísandi og því er línulegt samband besta nálgunin áfram.

Töluverð óvissa getur verið fólgin í ákvörðun eiginleika vegyfirborðs. Á einfaldan hátt má segja að gildi á bilinu 0.7 til 2 sem margfalda slit vega séu möguleg miðað við samsetningu vegyfirborðs á norðurlöndunum.

2.4 Útblástur

Útreikningar á útblæstri gasa og svifryks eru gerðir miðað við „heitan útblástur“ (e. hot exhaust) og staðalaðstæður, þannig að ekki er reiknað sérstaklega fyrir breytingar á hitastigi í umhverfi eða hvort vélin sé köld.

3. Aðferðir og gögn

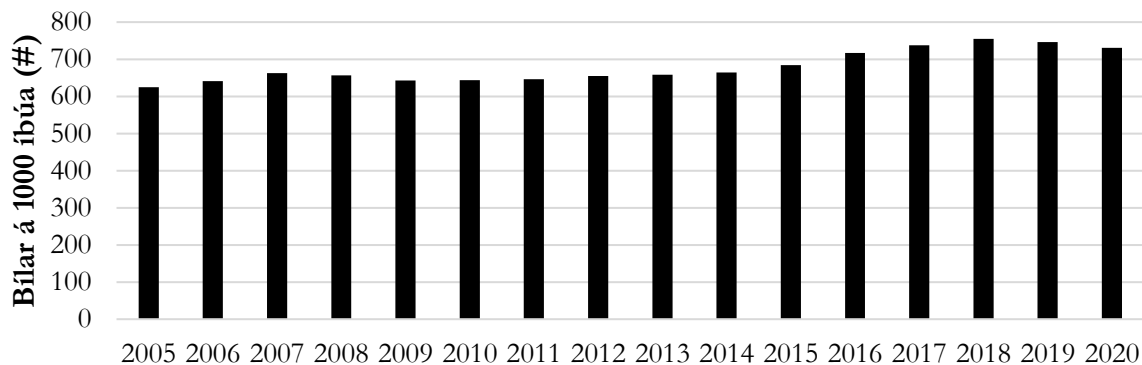
Notast var við gögn um útblástur frá National Atmospheric Emission Inventory (NAEI), Vehicle Emission Factor Database v02.8.xls (vev8), og COPERT (ED62553001, rtp_Copert5_PMEFs_final.xls), auk vísindagreina.

Gögn um bílaeign og skiptingu bílaflotans eftir orkugjöfum voru sótt á vef Hagstofu Íslands (hagstofan.is). Gögn um algengustu bílategundir (Euro flokka) voru fengin frá Umhverfisstofnun.

Til að reikna uppsprettur mengunar vegna slits (e. non-exhaust vehicle emission (NVE)) styðjumst við meðal annars við aðferðir sem þróaðar hafa verið í NOTRIP líkaninu (Denby and Sundvor 2012). Almennit gerum við ráð fyrir að götur séu þurrar og auðar.

3.1. Nagladekkjanotkun, tegundir og fjöldi bíla

Fjöldi fólksbíla á Íslandi er með því mesta (miðað við höfðatölu) sem gerist (Mynd 1). Undanfarin ár hafa verið á milli 700 – 755 fólksbílur skráðir á hverja 1000 íbúa¹, eða nærri því bíll á hvern einstakling eldri en 17 ára².

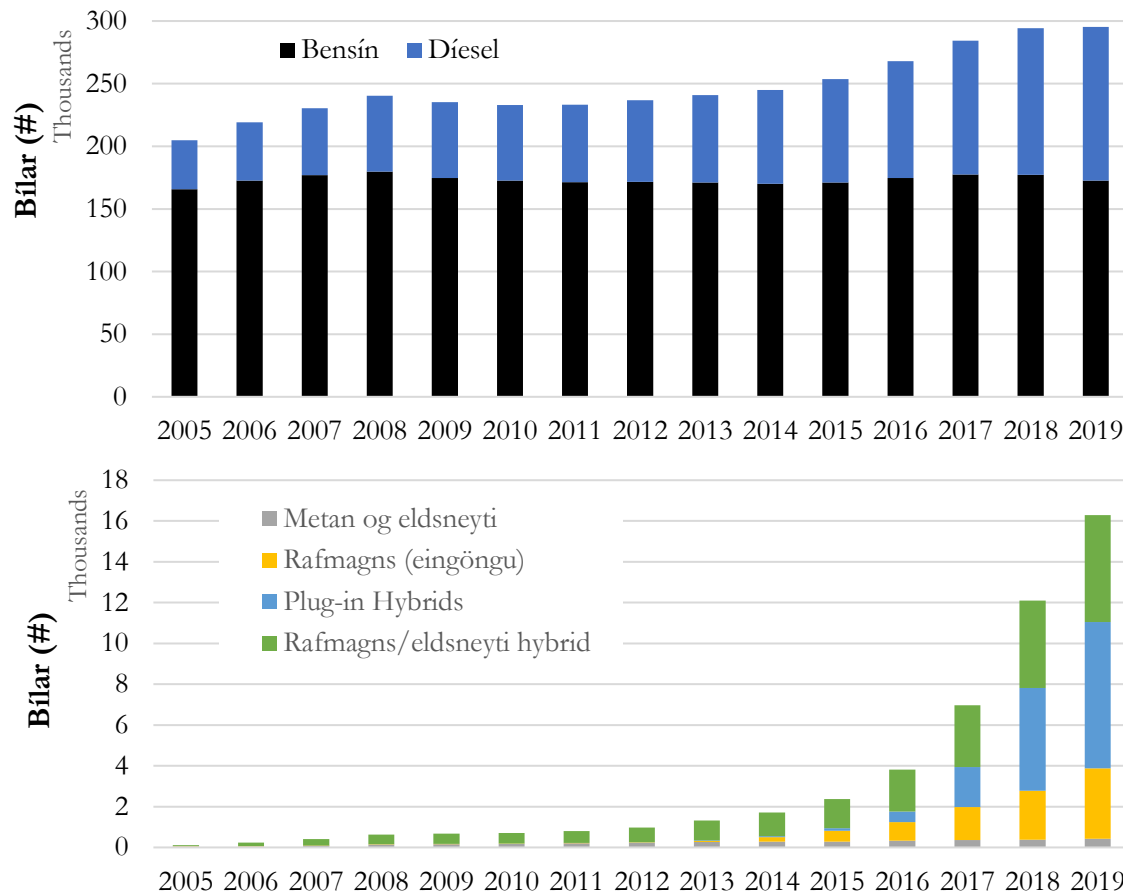


Mynd 1. Skráðir fólksbílur (1 – 8 manna) á hverja 1000 íbúa (gögn sótt á vef Hagstofu Íslands).

Samsetning bílaflotans hefur breyst nokkuð undanfarin ár, dísel bílum hefur fjölgað og á allra síðustu árum hefur fjöldi bíla sem ekki eru knúnir af bensín eða dísel aukist nokkuð (Mynd 2).

¹ https://px.hagstofa.is/pxis/pxweb/is/Umhverfi/Umhverfi_5_samgongur_3_okutaekiogvegir/SAM03101.px

² <https://www.ruv.is/frett/bill-fyrir-hvern-islending-17-ara-og-eldri>



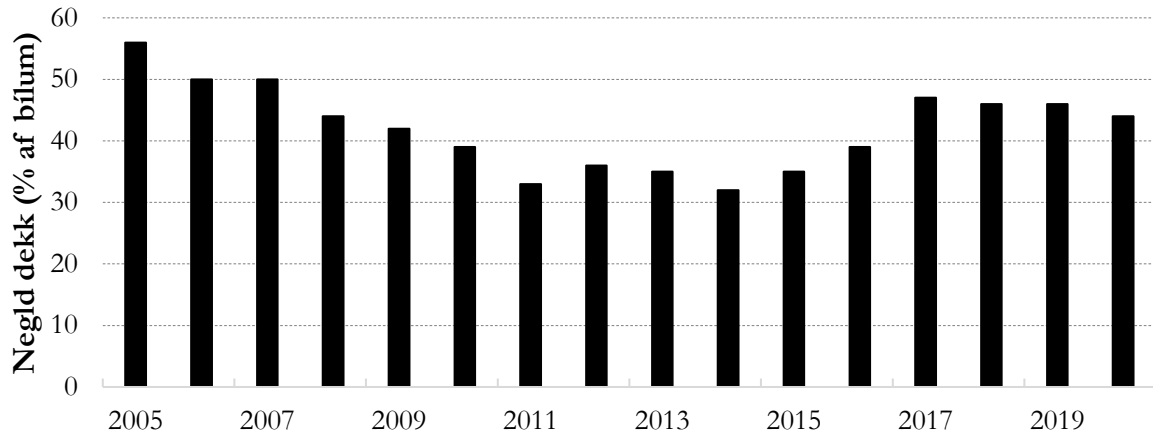
Mynd 2. Fjöldi bíla á Íslandi eftir orkugjöfum bensín og dísel (efri) og rafmagns, hybrid og metan (neðri) (gögn af vef Hagstofu Íslands).

Fjöldi bíla á negldum dekkjum er aðeins breytilegt milli ára (Mynd 3). Hlutfallið er reiknað með því að telja bíla á 4 stöðum 6 sinnum á ári (Umhverfis- og Skipulagssvið 2020). Fjöldi bíla á nagladekkjum, hámarksgildi nagladekkjatímabilsins, var yfir 60% veturna 2000/1 til 2003/4 (Umhverfis- og Skipulagssvið 2020). Frá vetrinum 2004/5 (2005 á Mynd 3) hefur hlutfallið verið heldur lægra, eða í kringum 44% undanfarin ár (Mynd 3). Athyglisvert er þó að færri bílar voru á nagladekkjum milli 2011 – 2016, en á þeim tíma var töluvert fjallað um, auglýsingar á vegum Reykjavíkurborgar til dæmis, að ekki þyrfti að nota nagladekk á höfuðborgarsvæðinu.

Á hverjum tíma eru fjölmargar tegundir bifreiða og dekkja í umferðinni. Hér verður einblínt á nýlega fólksbíla, enda þeir flestir og mest eknir³. Euro 6 staðalinn tók gildi árið 2015⁴, þannig að allir nýir bílar frá 2015 verða að uppfylla Euro 6 staðalinn að lágmarki.

³ <https://bifreidatolur.samgongustofa.is/>

⁴ <https://www.rac.co.uk/drive/advice/emissions/euro-emissions-standards/>



Mynd 3. Hámarksfjöldi bíla á negldum dekkjum í Reykjavík. - Peak studded tire use in Reykjavik. The ratio is calculated counting cars at 4 locations 6 times per year (Umbverfis- og Skipulagssvið 2020).

3.2 Slit á bremsum

Slit á bremsum er aðallega háð tíðni stoppa. Megnið af ögnum sem myndast eru PM10; nokkuð breytilegt en alveg upp í 98% (Grigoratos and Martini 2015). Slit á bremsum er,

$$W_b = W_0 \times h_c; \quad (1)$$

þar sem $W_0 = 0.006$ g/km/veh er grunngildið og h_c (hér $h_c = 1.5$) er stuðull fyrir aksturlag, h_c er 0.5 á þjóðvegum (e. highway), 2 í umferðaröngþveiti, 1.5 í borgum og 1 er viðmiðunargildið (Denby and Sundvor 2012).

Í samantekt um mælingar á grunngildi bremsuslits (PM10) var það um $W_0 = 6$ mg/km/veh (Grigoratos and Martini 2015); miðgildi gilda í Töflu 5 í grein þeirra.

3.3 Slit á dekkjum

Slit á dekkjum er háð hraða ökutækis og sú nálgun gerð að það samband sé línulegt (Denby and Sundvor 2012). Dekkjaslitið er,

$$W_t = W_0 \times \frac{v}{v_0} \times f; \quad (2)$$

þar sem W_0 er grunngildið (e. basic tire wear rate), v er hraði ökutækis, $v_0 = 70$ km/klst er viðmiðunarhraðinn og $f = 0.08$ er hlutfall slits sem er PM10 (oft er $f = 0.1$ notað).

3.4 Slit á vegum

Til að reikna slit á vegum þarf upplýsingar um gerð vegyfirborðs h , hámarkskornastærð (MS í mm), Nordic Ball Mill (NBM stuðul) fyrir hörku (e. hardness) og hlutfall steina yfir 4 mm (S í %). Þessar upplýsingar eru ekki alltaf aðgengilegar og getur það munað nokkru í magni slits.

Reiknað er með að vegslit breytist línulega sem fall af hraða og er það byggt m.a. á tilraunum (Denby and Sundvor 2012). Vegslitið er,

$$W_r = W_0 \times h \times \frac{v}{v_0} \times f, \quad (4)$$

þar sem $v_0 = 70$ km/klst, h fer eftir gerð vegyfirborðs og f er hlutfall svifryks (PM10). Hægt er að reikna f út frá tegund vegyfirborðs (Johansson et al. 2012),

$$f = [8.2 - 0.2 \times NBM + 0.1 \times (MS - 11)]/100, \quad (3)$$

og stuðullinn h ,

$$h = 2.49 + 0.144 \times NBM - 0.069 \times MS - 0.017 \times S, \quad (5)$$

þar sem NBM er Nordic ball mill stuðull fyrir hörku, MS er hámarkskornastærð og S er hlutfall steina > 4 mm ($S > 4$ mm).

Í útreikningunum notum við $NBM = 5$, $MS = 16$ mm og $S = 75$, sem gefur $h = 0.83$ (5) og $f = 0.08$ (3).

Fyrir fólksbíla er grunnildi vegslits vegna sumardekkja $W_0^{summer} = 0.1$ g/km/veh og $W_0^{studded} = 2.88$ g/km/veh vegna nagladekkja.

Töluverð óvissa er í ákvörðun eiginleika vegyfirborðs. h getur verið frá 0.69 ($NBM=4$, $MS=16$ mm, $S=75$) upp í 2.04 ($NBM=11$, $MS=11$ mm, $S=75$) miðað við gildi sem hafa verið gefin fyrir vegyfirborð á norðurlöndum og f (3) frá 0.06 ($NBM=11$, $MS=11$ mm) upp í 0.08 ($NBM=4$, $MS=16$ mm) fyrir líkleg gildi á NBM , MS og S .

Í ljós kemur að f reiknað með (3) er mun lægra en margar tilraunir, mælingar og samanburður á mælingum og líkanreikningum gefur til kynna. Því er notuð önnur leið til að reikna hlutfall svifryks (PM10) f (Denby and Sundvor 2012; Johansson et al. 2012),

$$f = f_{ref} \frac{1+c \times v}{1+c \times v_{ref}}, \quad (6)$$

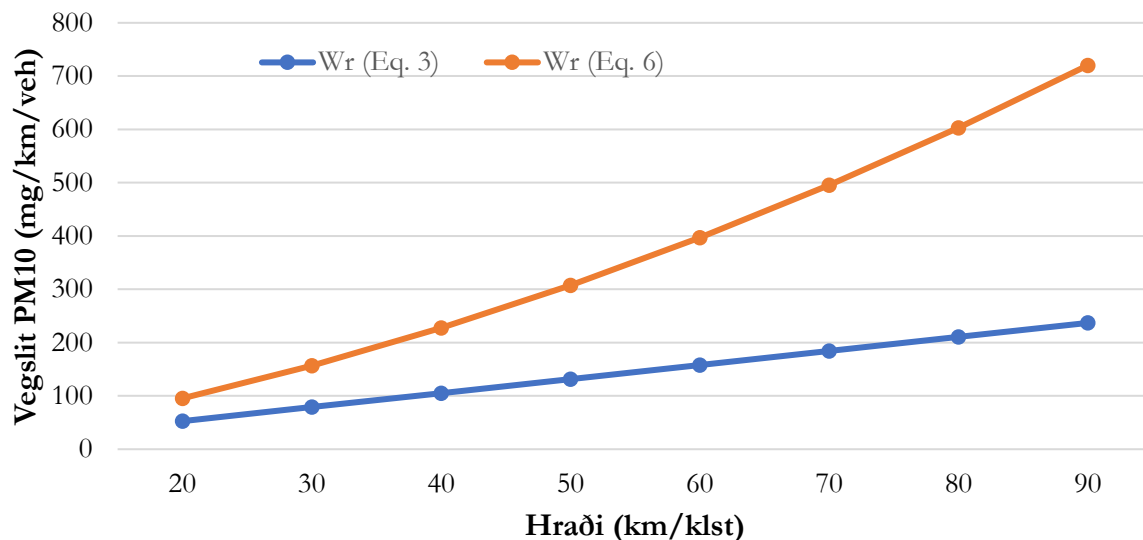
þar sem $f_{ref} = 18\%$, $v_{ref} = 50$ km/h (Denby, I. Sundvor, et al. 2013) og v er hraði (km/klst). Gildið á f_{ref} er raunar ekki mjög vel ákvarðað, en fengið með því að herma svifryksmengun á vel þekktu svæði (Denby and Sundvor 2012).

4. Niðurstöður og umræður

Reiknaður er útblástur á gösum (NO_x , CO) og svifryki (PM_{10}) og framleiðsla á PM_{10} vegna slits á bremsum, dekkjum og vegum sem fall af hraða. Þar sem slit vega vegna nagladekkja er 20 – 30 sinnum meira en vegna ónegldra dekkja, er ljóst að nagladekk eru ríkjandi í svifryksframleiðslu og því eru áhrif þeirra skoðuð nokkuð ítarlega.

4.1 Vegslit vegna nagladekkja

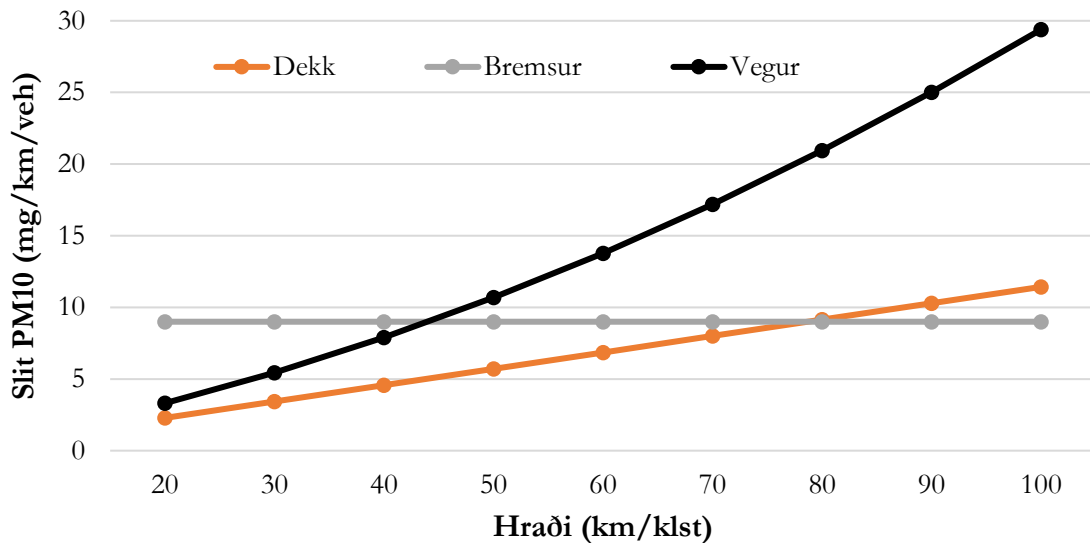
Með því að nota $NBM = 5$, $MS = 16$ (and $S = 75$), $c = 0.012 \text{ hr/km}$, $f_{ref} = 18\%$, og $v_{ref} = 50 \text{ km/h}$ (Denby, I. Sundvor, et al. 2013), þá er munurinn á vegsliti eftir því hvort jafna (3) eða (6) er notuð fyrir f and mikill (Mynd 4). Raunar gæti munurinn auðveldlega verið mun meiri, því f_{ref} í sumum mælingum er 28% (Norman et al. 2016; Snilsberg 2008), sem gæfi um 800 mg/km/veh í stað 500 mg/km/veh við 50 km/klst hraða með $f_{ref} = 18\%$. Þannig að $f_{ref} = 18\%$ er málamiðlun milli f sem fæst með (3; um 7%) og þess sem Snilsberg et al. (2008) mældi (28%).



Mynd 4. Slithraði (PM_{10}) reiknaður með jöfnum (3) og (6). - Wear factor (PM_{10}) using different assumptions for f (Eqs. 3 og 6).

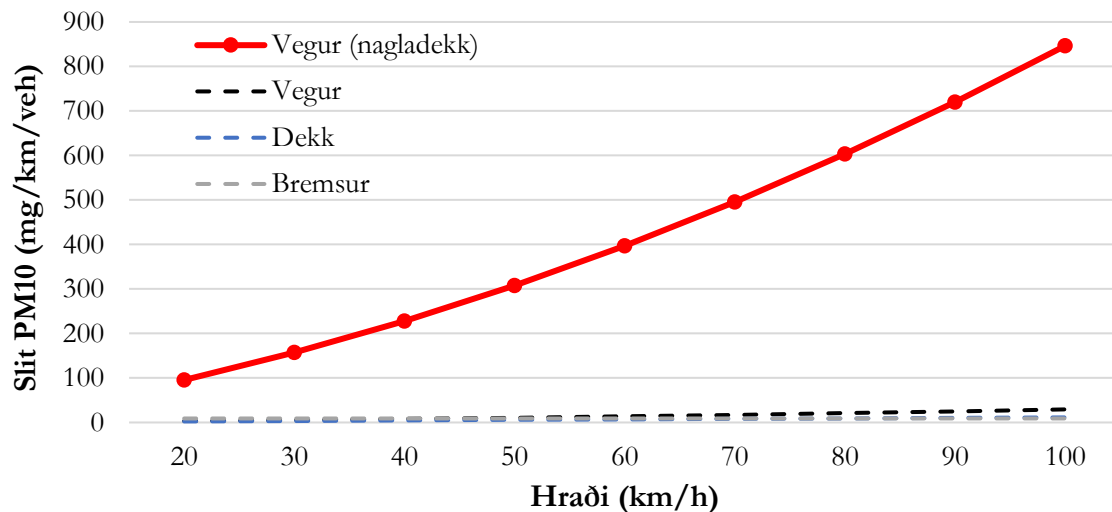
Einnig er vert að benda á að hraðinn hefur töluvert mikil áhrif á vegslit og vegna þess að bæði vegslit almennt og hlutfall PM_{10} eru fall af hraða er sambandið ólínulegt (Mynd 4).

4.2 Veg-, bremsu-og dekkjaslit



Mynd 5. Svifryk (PM10) vegna dekkja-, bremsu- og vegslits vegna sumardekkja sem fall af hraða.

Svifryk (PM10) vegna bremsuslits (1) er ekki háð hraða (hins vegar breytist stuðullinn h_c ; er 0.5 á þjóðvegum, 1.5 í borgum og 2 þar sem umferðartaflir). Hins vegar er dekkjaslit (2) og vegslit vegna sumardekkja (og nagladekkja) (4) fall af hraða (Mynd 5). Vegslit vegna nagladekkja er háð hraða á sama hátt og vegna sumardekkja, nema hvað gildin eru næstum 30 sinnum hærri (Mynd 6).

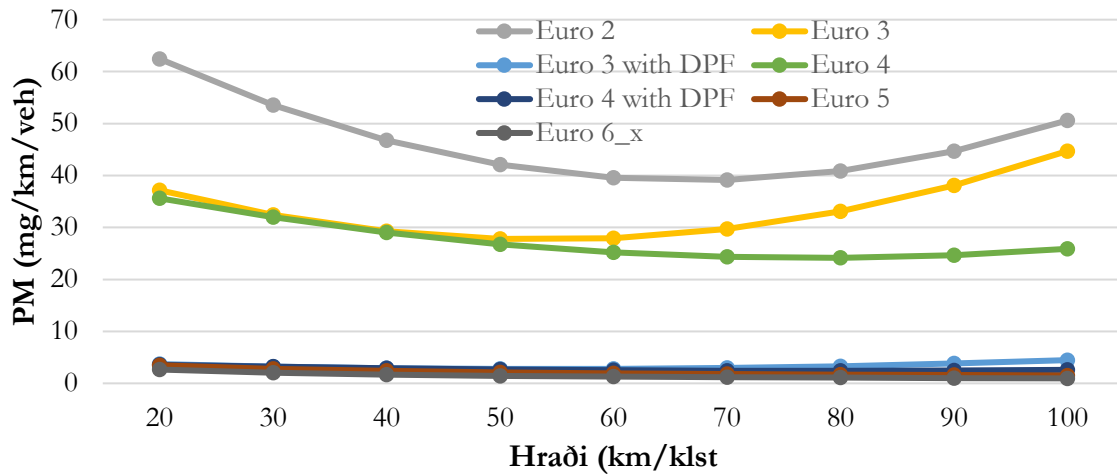


Mynd 6. Svifryk (PM10) vegna vegslits bíla á nagladekkjum sem fall af hraða. Einnig er vegslit vegna sumardekkja, bremsa og dekkja sýnt (Mynd 5). – PM10 due to studded tire road wear as a function of speed. Also shown are the road wear due to summer tires, tire wear and brake wear (Fig. 5).

4.3 Útblástur svifryks (PM10)

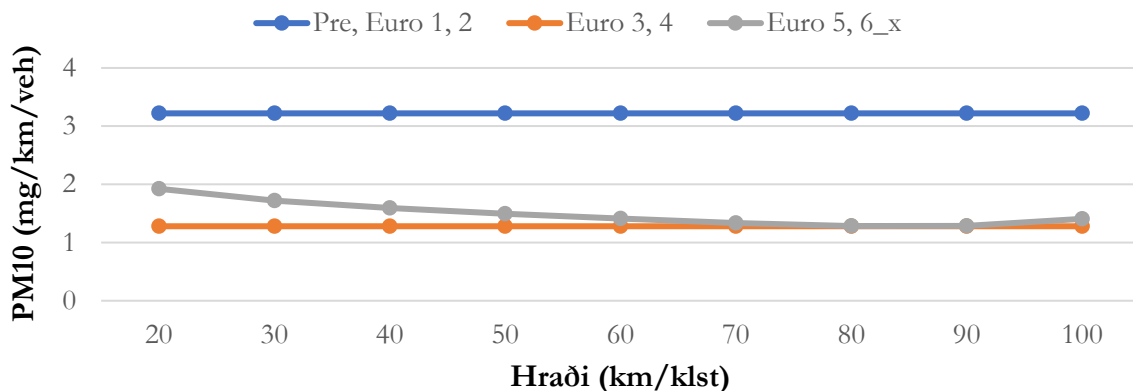
Útblástur svifryks (PM10) er nokkuð breytilegur eftir tegund bíla, sér í lagi fyrir dísel bíla (Mynd 7). Bílar sem eru pre-Euro hafa mun hærri útblástur, milli 130 – 370 mg/km/veh, en nánast engir slíkir

fólksbílur eru í umferð í dag. Raunar mætti nánast sleppa Euro 2 bílum einnig (samanlagður akstur þeirra er um 26 milljón kílómetra). Fyrir aðrar tegundir sem eru í efstu sætum yfir mest eknu bílana, Euro 4 með DPF og nýlegri, er útblásturinn innan við 5 mg/km/veh og breytist ekki mikið með hraða.



Mynd 7. Útblástur svifryks (PM10) fyrir mismunandi tegundir dísel bíla (COPERT5). Hér sleppum við pre-euro bílum (hafa milli 130 – 379 mg/km/veh). - PM10 emission (COPERT 5) for different types of diesel cars (Euro). Here we omitted pre-euro (range between 130 – 370 mg/km/veh).

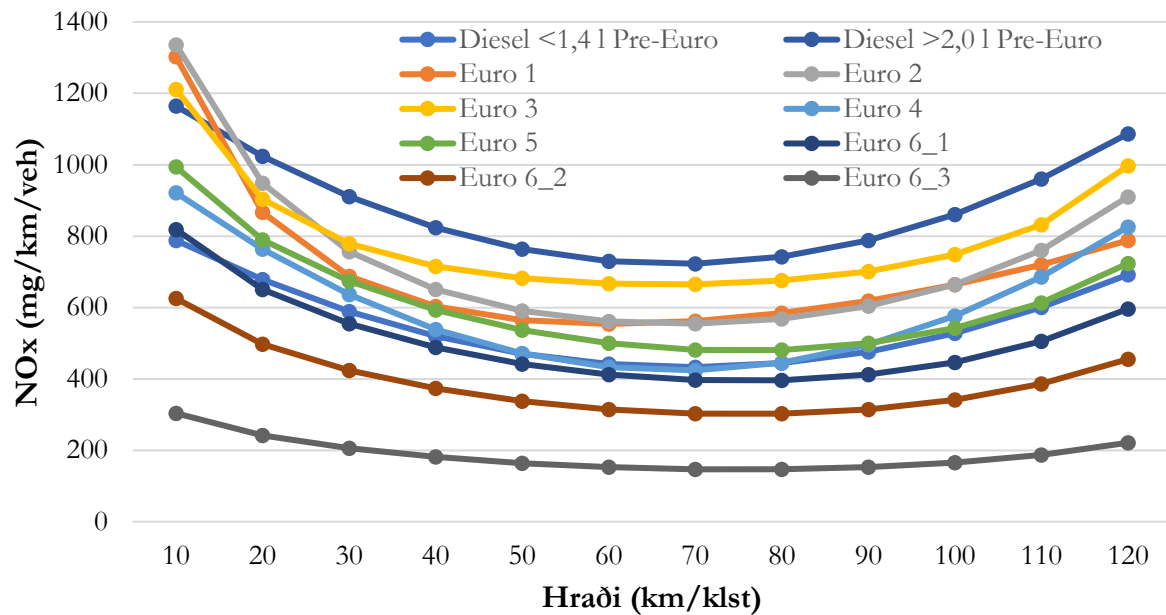
Fyrir bensín bíla er útblástur svifryks (PM10) alltaf minni en 3.5 mg/km/veh (Mynd 8). Einnig breytist magnið lítið með hraða.



Mynd 8. Útblástur svifryks (PM10) fyrir mismunandi tegundir (Euro flokkur) bensín bíla (COPERT 5). - PM10 emission (COPERT 5) for different types of gasoline cars (Euro).

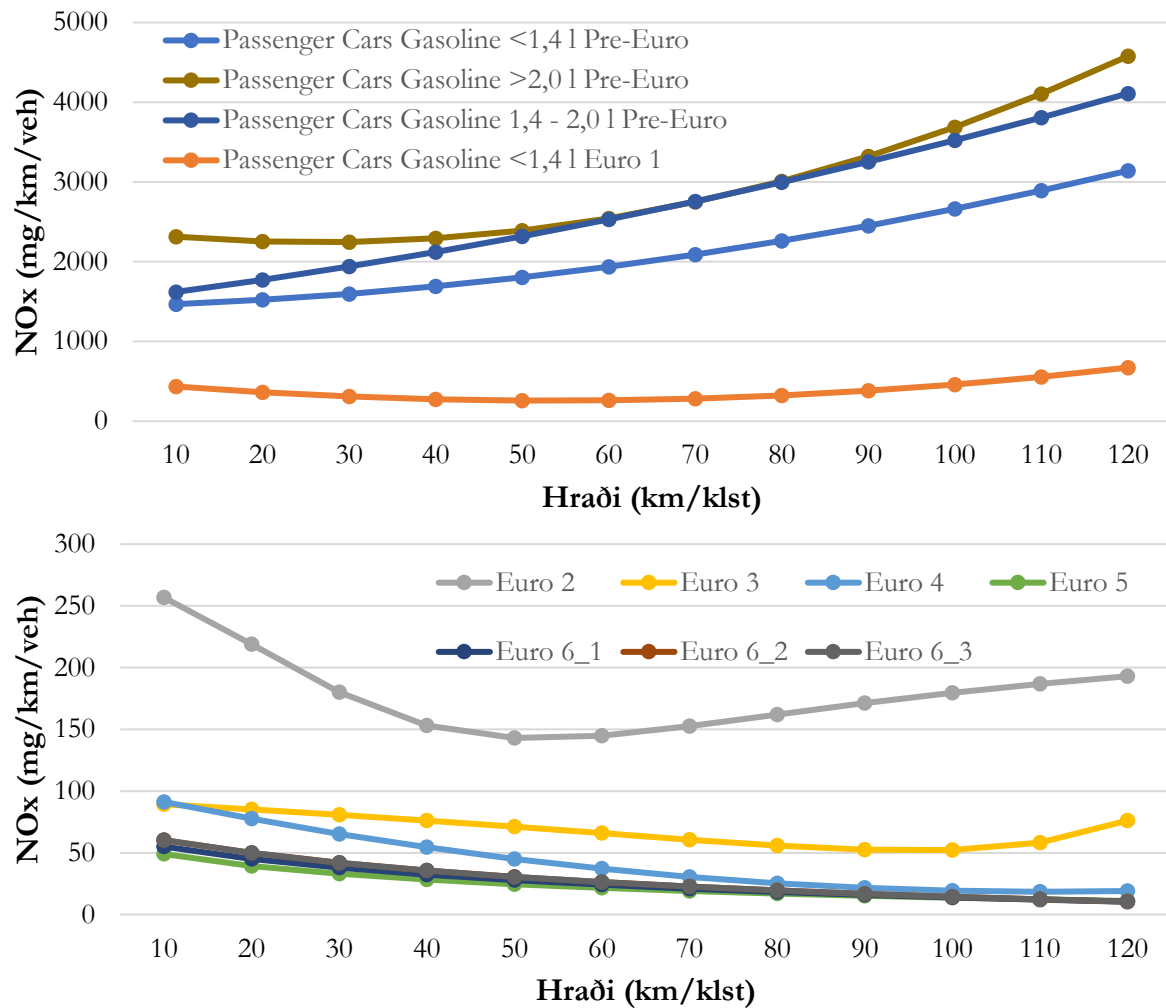
4.5 Útblástur gasa

Útblástur NO_x er almennt í lágmarki í kringum 70 km/klst hraða fyrir dísel bíla (Mynd 9), en hækkar bæði nokkurn veginn á sama hátt fyrir hvern km/klst sem hraðinn eykst eða minnkar. Nýlegustu bílarnir (Euro 6) hafa töluvert lægri útblástur en eldri tegundir.



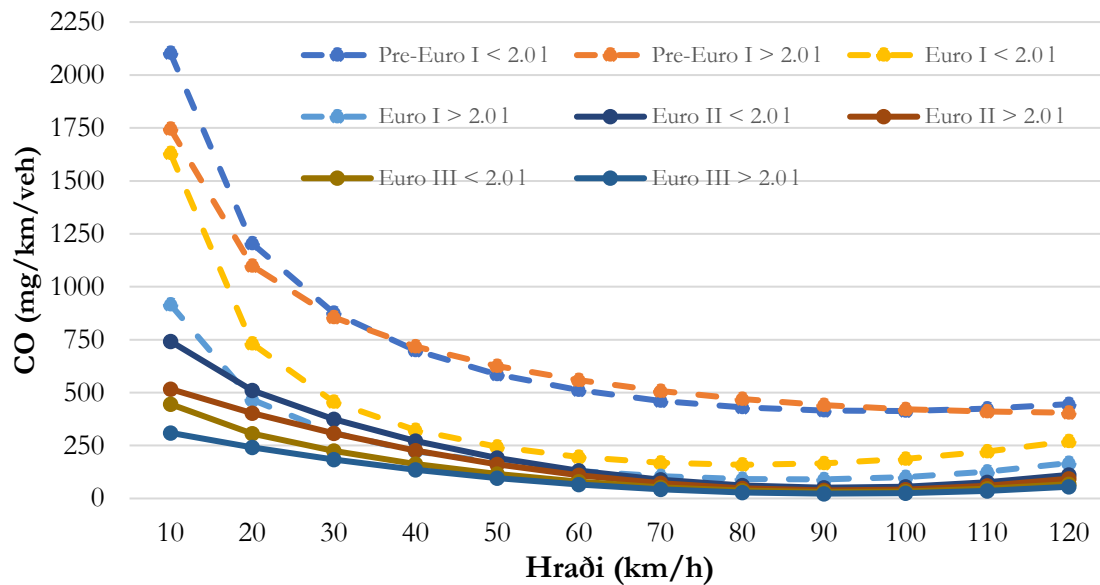
Mynd 9. Útblástur NO_x (COPER 5) fyrir mismundi flokka (Euro) dísel bíla. - NO_x emission (COPERT 5) for different types of diesel cars (Euro).

Fyrir bensínbíla er útblástur NO_x fyrir nýlega bíla (frá Euro 4) minnkandi fall af hraða, auk þess sem gildin eru mun lægri en fyrir dísel bíla ($<100 \text{ mg/km/veh}$) (Mynd 10). Fyrir elstu tegundirnar eru gildin mjög há, pre-Euro eru $>1500 \text{ mg/km/veh}$ fyrir hraða $>30 \text{ km/klst}$.



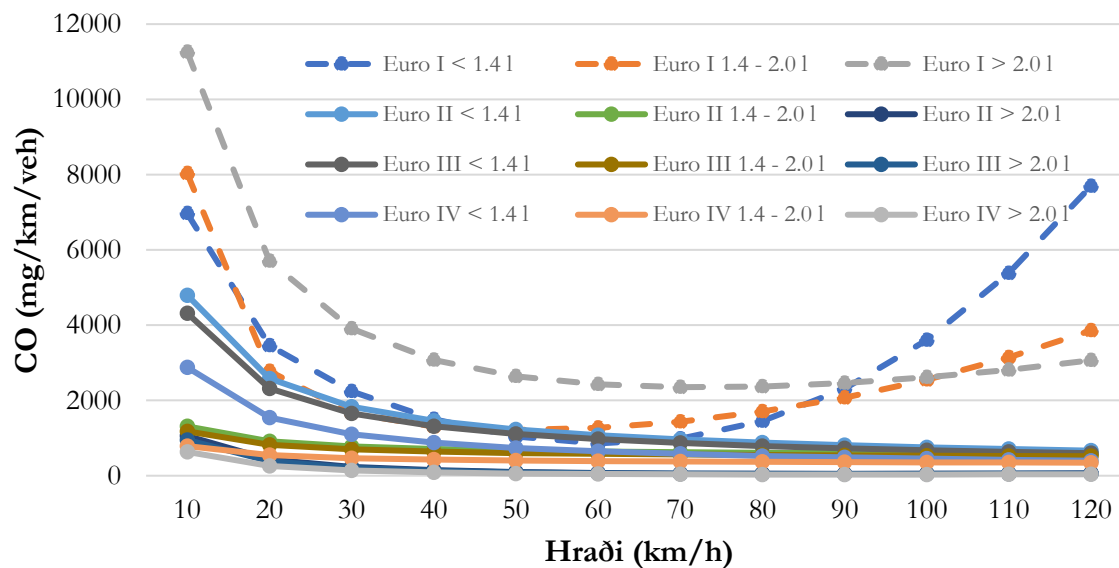
Mynd 10. Útblástur NO_x (COPERT 5) fyrir mismundi flokka (Euro) bensín bíla. - NO_x emission (COPERT 5) for different types of gasoline cars (Euro).

Útblástur CO frá dísel bílum er nánast minnkandi fall af hraða (Mynd 11); gildin hækka örlítið eftir 90 km/klst.



Mynd 11. Útblástur CO (vev8) fyrir mismundi flokka (Euro) dísel bíla. - CO emission (vev8) for different types of diesel cars (Euro).

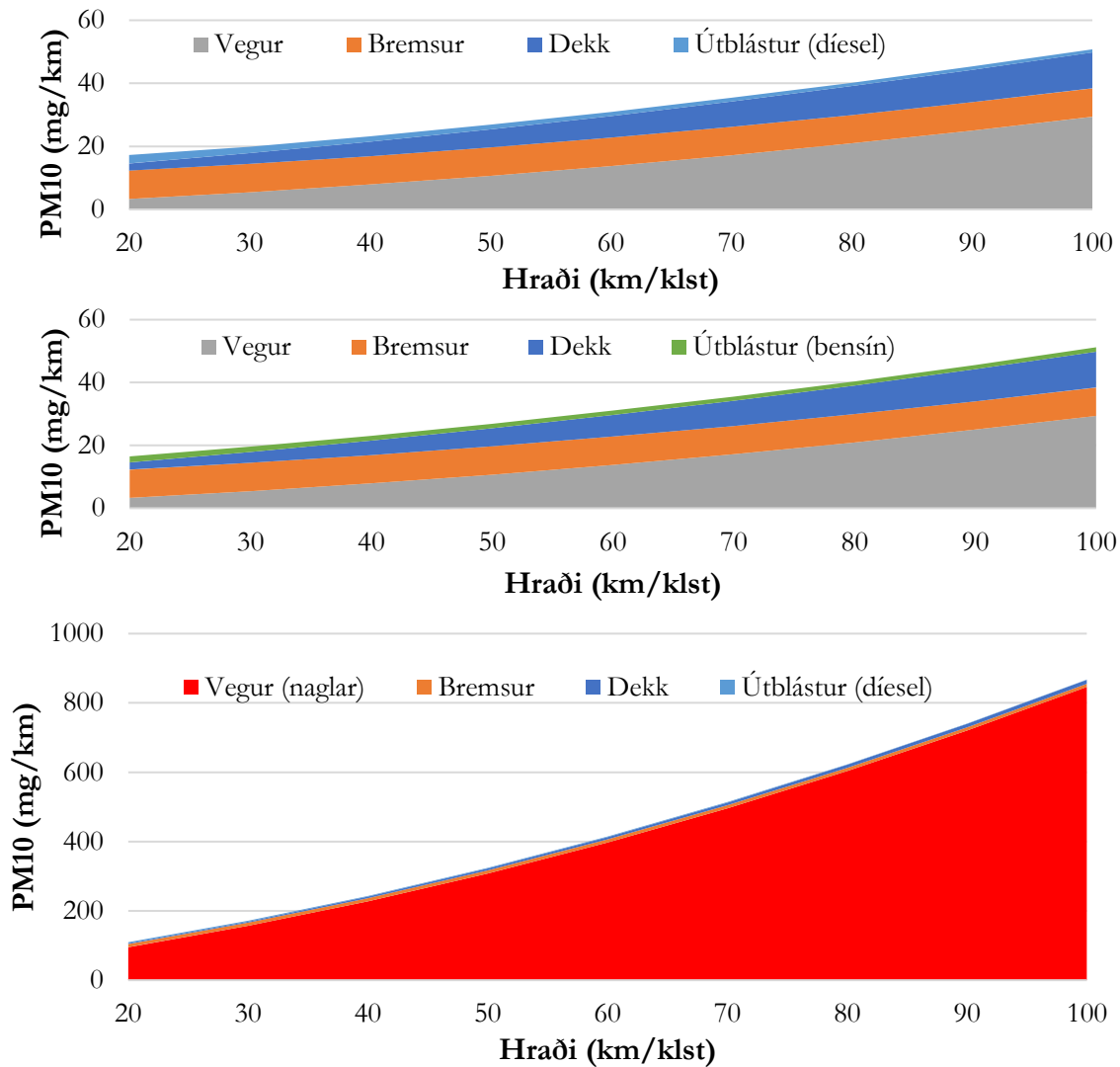
Útblástur CO frá bensínbílum er minnkandi fall af hraða (Mynd 12); fyrir utan elstu tegundirnar (Euro I-II).



Mynd 12. Útblástur CO (vev8) fyrir mismundi flokka (Euro) bensín bíla. - CO emission (vev8) for different types of gasoline cars (Euro).

4.5 Uppsprettur og magn mengunar sem falla af hraða

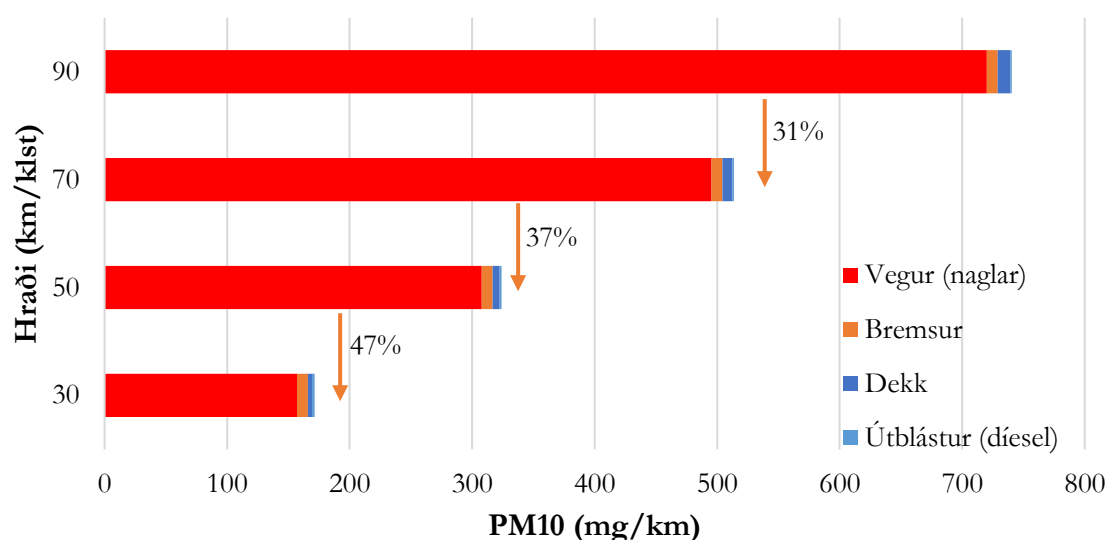
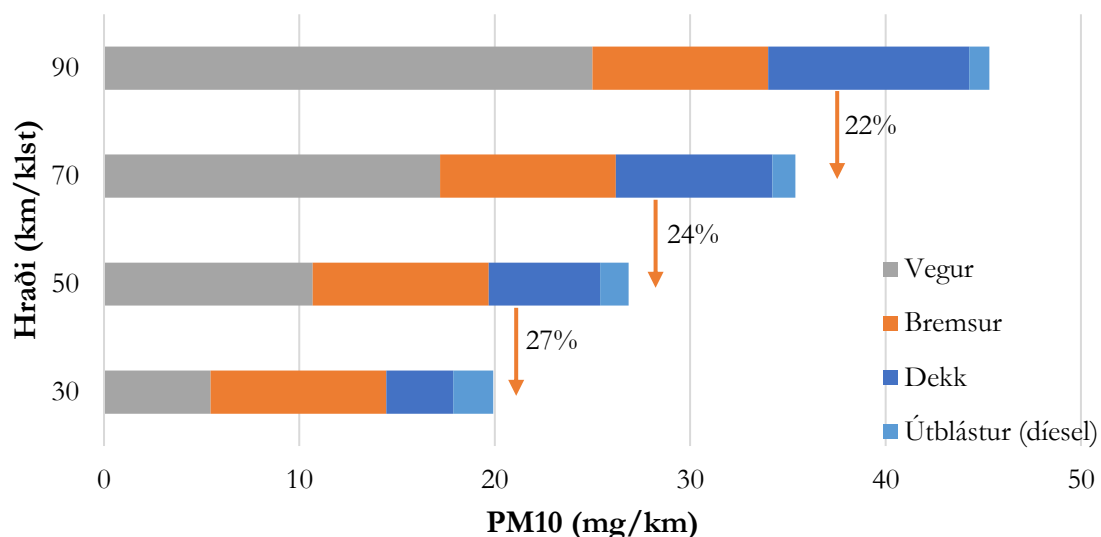
Til að meta áhrif hraða á uppsprettur og magn mengunar reiknum við svifryksmengun, þar sem hún er algengasta og mesta vandamálið varðandi loftgæði á höfuðborgarsvæðinu. Við reiknum mengun vegna nýlega fólksbíla (Euro 5/6, bensín og dísel) sem keyra um á negldum og ónegldum dekkjum (Mynd 13).



Mynd 13. Uppsprettur svifryks (PM10) vegna nýlegra fólksbíla (dísel Euro 6 og bensín Euro 5/6) á ónegldum (efsta og næst efsta mynd) og dísel bíls á negldum dekkjum (neðsta mynd). – Sources of PM10 for a recent (Euro 6 diesel and Euro 5/6 petrol) passenger car using studded (bottom) and non-studded tires.

Til að skoða í aðeins öðru samhengi kíkjum við á sett af hröðum (Mynd 14). Ef hraðinn er minnkaður úr 50 km/klst í 30 km/klst (40% lækkun hraða) fyrir bíla á fólksbíla á nöglum myndi draga úr framleiðslu svifryks um 47%. Mjög mikilvægt er að gera hér skýran mun á uppsprettu vegryks (PM10) og svifryki í andrúmslofti. Mikið af svifryki á vegum safnast upp og „hverfur“ síðan með afrennsli og úða og fyrir vikið verður ekki að svifryki í andrúmslofti.

Hins vegar er sambandið milli uppþrylunar vegna umferðar og hraða línulegt í t.d. NORTRIP líkaninu (Denby, I. Sundvor, et al. 2013), þannig að ef ekkert annað breytist þá mætti búast við að styrkur í andrúmslofti myndi lækka á svipaðan hátt.

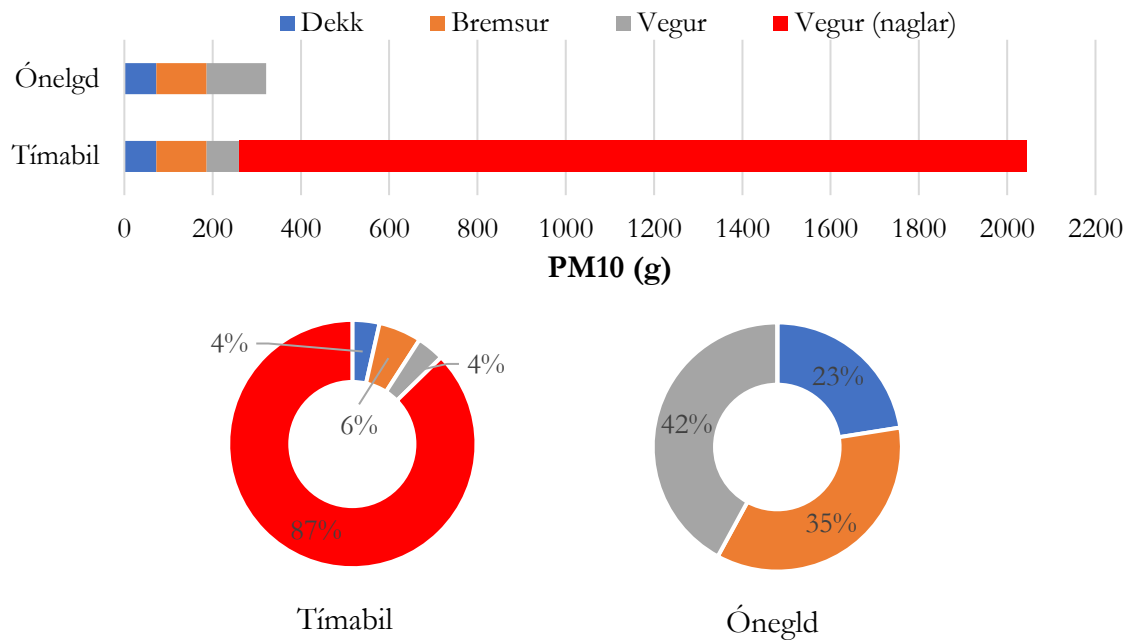


Mynd 14. Uppruni svifryks vegna nýlegs fólksbíls á ónegldum (efri) og negldum (neðri) dekkjum við 90 km/klst, 70 km/klst, 50 km/klst og 30 km/klst hraða. – Sources of PM10 due to a recent passenger car using un-studded (top) and studded (bottom) tires.

Ef við tökum niðurstöður reikninga með NORTRIP fyrir lækkun hraða um 20% við Kaupþún (Barr 2020), úr 77.7 km/klst í 62.2 km/klst, þá hefur það þau áhrif að styrkur svifryks í lofti minnkar um 15%. Breytingin yfir þennan skala er línuleg og raunar er líklegt að það línulega samband haldi yfir stærra hraðabil. Ef við gerum ráð fyrir því, lækkar meðaltalsstyrkur svifryksmengunar þegar hraðinn breytist úr 90→70 km/klst um 22%, 70→50 km/klst um 29% og 50→30 km/klst um 40%. Þetta er auðvitað ansi brött nálgun án frekari útreikninga, en þessar tölur, fyrir blandaða umferð, eru þó vel innan þess sem við höfum reiknað fyrir uppsprettur svifryks.

4.6 Samsetning svifryks

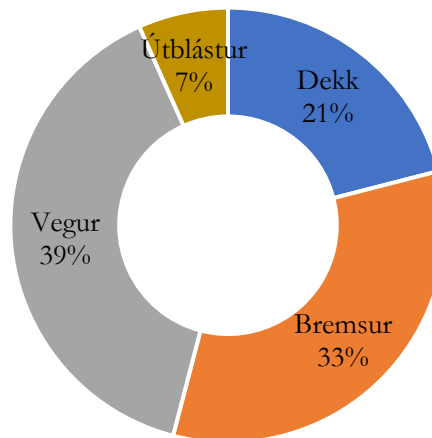
Meðalakstur fólksbíla á Íslandi 2020⁵ var um 12650 km; bensínbílar um 156 þúsund talsins, meðalakstur um 11 þúsund km, og díselbílar eru um 88 þúsund talsins, meðalakstur um 15.5 þúsund kílómetrar. Ef við reiknum með meðalhraða um 50 km/klst og að nagladekk séu undir bílnum frá 1. nóvember til 15. apríl, þá er magn svifryks (PM10) sem myndast vegna dekkjaslits um 72 g á ári, bremsuslits um 114 g, vegslits að sumri um 73 g og að vetri um 1785 g (Mynd 15). Ef ónegld dekk eru notuð allt árið, þá augljóslega fer vegslit vegna nagladekkja í 0, en vegna dekkja í 135 g. Heildarmagnið verður þá um 321 g á móti 2044 g í dæminu að ofan (ef nagladekk eru notuð allt árið verður heildarmagnið 4080 g).



Mynd 15. Magn svifryks (PM10) sem myndast við meðalakstur (12650 km) fólksbíls á ári. Fólksbíll á nagladekkjum frá 1. nóvember til 15. apríl (vinstri; tímabil) og aðeins ónegldum (hægri). – PM10 produced by an average passenger car either using studded tires during winter (left) or un-studded tires (right).

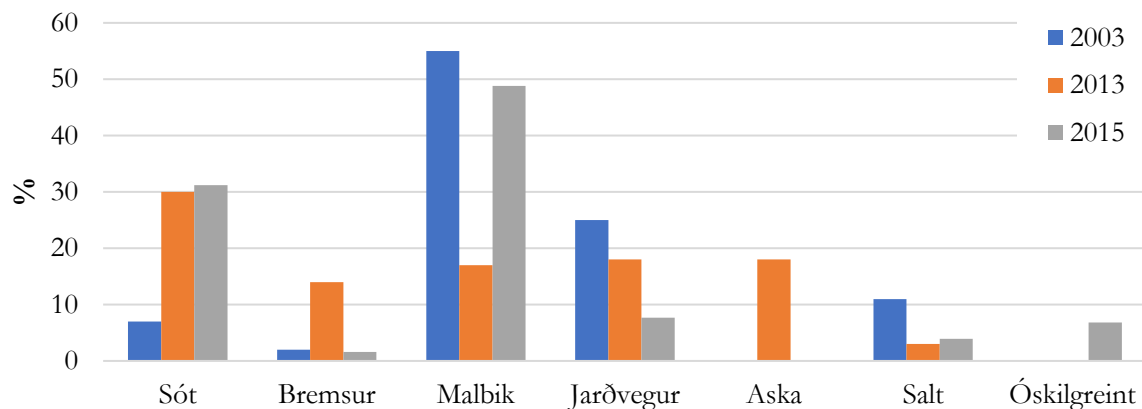
Svifryk vegna útblásturs er um 1.5 mg/km/veh fyrir algengustu dísel bíla og 1 mg/km/veh fyrir algengustu bensínbíla. Magnið væri því um 11 g fyrir bensínbíl og 23 g fyrir dísel bíl, eða um 3.3% fyrir bensínbíl á ónegldum dekkjum allt árið og 6.7% fyrir dísel bíl á ónegldum dekkjum allt árið (Mynd 16).

⁵ <https://www.samgongustofa.is/umferd/tolfraedi/onnur-tolfraedi/>

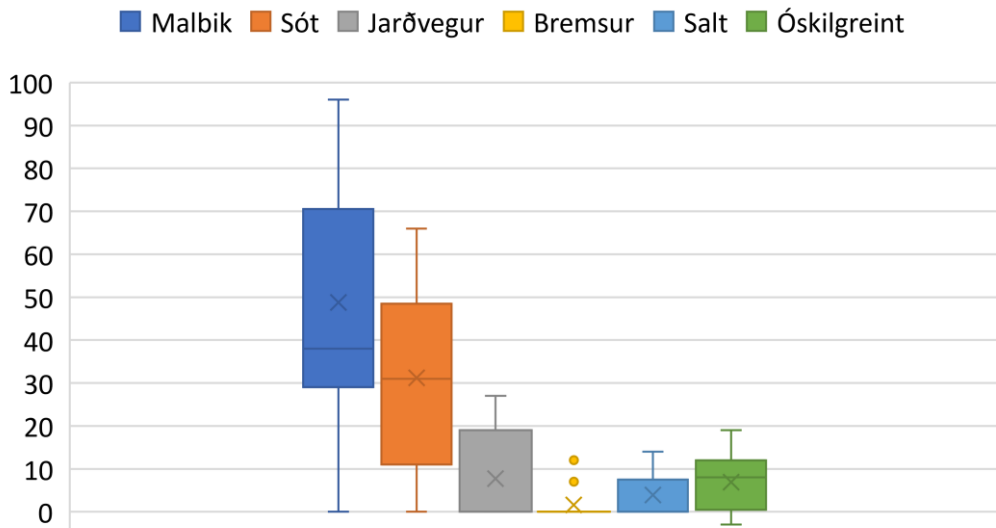


Mynd 16. Slit og útblástur dísel fólksbils á ónegldum dekkjum á svifryki (PM10). – PM10 wear production and emission of a diesel passenger car using un-studded tires.

Þó ekki sé hægt að bera þær uppsprettur svifryks sem við höfum fjallað um beint saman við mælingar á samsetningu svifryks í andrúmslofti getur engu að síður verið áhugavert að skoða slíkar mælingar sem gerðar hafa verið hérlandis (Guðmundsson 2019; Höskuldsson 2013; Höskuldsson and Thorlacius 2017; Skúladóttir et al. 2003). Hlutföllin eru ansi breytileg milli ára (Mynd 17) og einnig innan ársins sem mælingarnar eru gerðar (Mynd 18). Þannig breytist hlutfall malbiks í sýnum frá 0% í 100%, sóts frá 66% í 0% og bremsa 15% í 0% (Höskuldsson and Thorlacius 2017). Dekk eru ekki skoðuð sérstaklega. Einnig er rétt að benda á að rakar eða blautar götur koma í veg fyrir uppþyrlun af yfirborði, en svifryk í útblæstri ætti greiða leið, auk fleiri flækjustiga.



Mynd 17. Samsetning svifryks vetur 2003, 2013 og 2015 (Höskuldsson 2013; Höskuldsson and Thorlacius 2017; Skúladóttir et al. 2003). – Source appointment of PM10 during winter 2003, 2013 and 2015 (Höskuldsson 2013; Höskuldsson and Thorlacius 2017; Skúladóttir et al. 2003).



Mynd 18. Samsetning svifryks 2015 (Höskuldsson and Thorlacius 2017). – Sources of PM in 2015 (Höskuldsson and Thorlacius 2017).

Í Hvalfjarðargöngum er talið að hlutur vegryks geti jafnvel verið allt að 85.4% (Guðmundsson 2019).

Þessar tölur er erfitt að bera saman. Helst er það hlutfall sóts sem kannski eru herra en búast mætti við, en aðstæður geta haft mikil áhrif. Eins er slit vegna bremsa heldur lægra, en aftur þá eru ýmis efni sem ekki er auðvelt að greina uppruna í sundur og því þessar mælingar með nokkuð mikilli óvissu. Einnig er dekkjaslit ekki tekið með. Almennt er óvissan í upprunamælingum og dreifingu svifryks það mikil að erfitt er að bera reiknaðar uppsprettur og melda samsetningu í andrúmslofti saman.

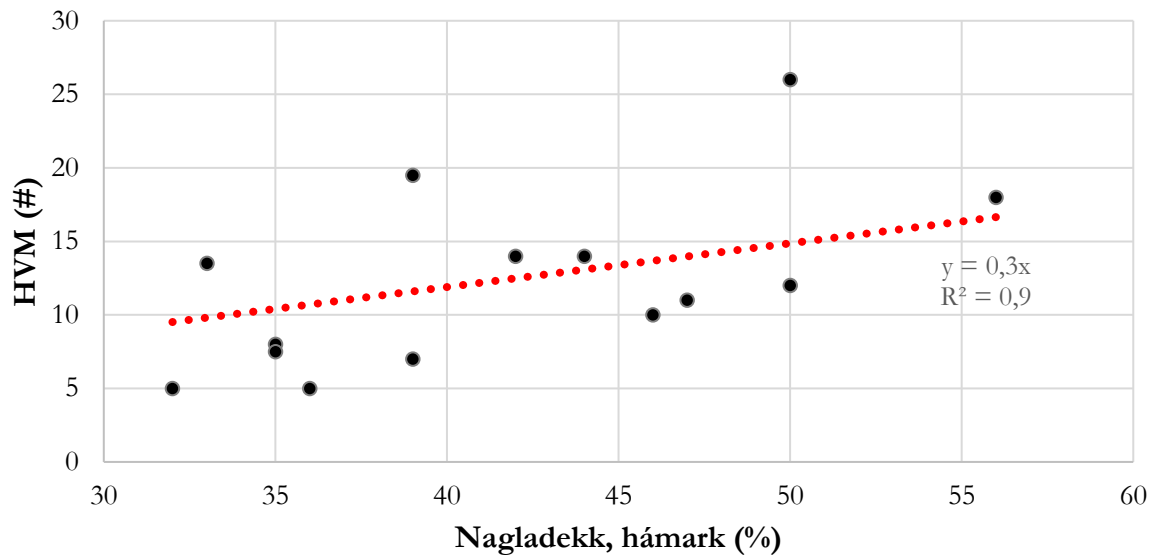
4.7 Svifryk frá bílaflota

Mikið af því svifryki sem myndast vegna slits getur skolest í burtu, með afrennsli (e. drainage) og sér í lagi úða (e. spraying), auk þess að þýlast upp (Barr 2020). Meistaraverkefni Barr (2020), þar sem NORTRIP líkanið var notað til að herma mengun vegna umferðar við Kaupþún, sýndi einnig svo ekki verður um villst að nagladekk eru helsta orsök svifryksmengunar. Vissulega er það fengið með líkaninu, en niðurstöður reikninganna passa vel við mældan styrk svifryksmengunar. Dögum yfir heilsuverndarmörk fækkaði í líkankeyrslum úr 20 þegar 46% bíla að meðaltali yfir nagladekkjatímabilið voru á nagladekkjum í 10 þegar 30% að meðaltali voru á nagladekkjum í 0 þegar minna en 15% bíla voru á nagladekkjum (Barr 2020).

Fjöldi bíla á nagladekkjum var minnstur um 32% árið 2014 (Mynd 3), en um 56% árið 2005 (46%-47% 2018 og 2019). Með því að rannsaka orsakir þess að við förum yfir heilsuverndarmörk (HVM) má finna þau skipti sem má rekja beint til umferðar og einnig vegna staðbundinnar uppþýrlunar, sem væntanlega má að mestu leyti rekja til umferðar.

Ef við skoðum þau skipti sem við höfum farið yfir HVM vegna umferðar sem fall af fjölda bíla á nagladekkjum kemur í ljós að því færri bílar sem eru á nögglum, þeim mun færri dagar yfir HVM (Mynd 19). Þetta er þó aðallega sett fram til umhugsunar, þar sem fjölmargar aðrar ástæður geta verið fyrir fjölda daga yfir HVM, sér í lagi þyrfti að kanna veðuraðstæður vel. Hér er þó eingöngu

verið að skoða daga yfir HVM þar sem umferð var orsök. Engu að síður gefur þetta ákveðna vísbendingu um að fjöldi bíla á nagladekkjum hafi veruleg áhrif, eins og sýnt hefur verið hér að ofan varðandi uppsprettur PM10.



Mynd 19. Samband milli hámarksfjölda bíla á nagladekkjum og skipta yfir heilsuverndar-mörkum (HVM) á tímabilinu 2005 – 2019 vegna umferðar og staðbundinnar uppþryllunar. – Days over the health safety limit due to traffic and maximum fraction of cars using studded tires for the period 2005 – 2018.

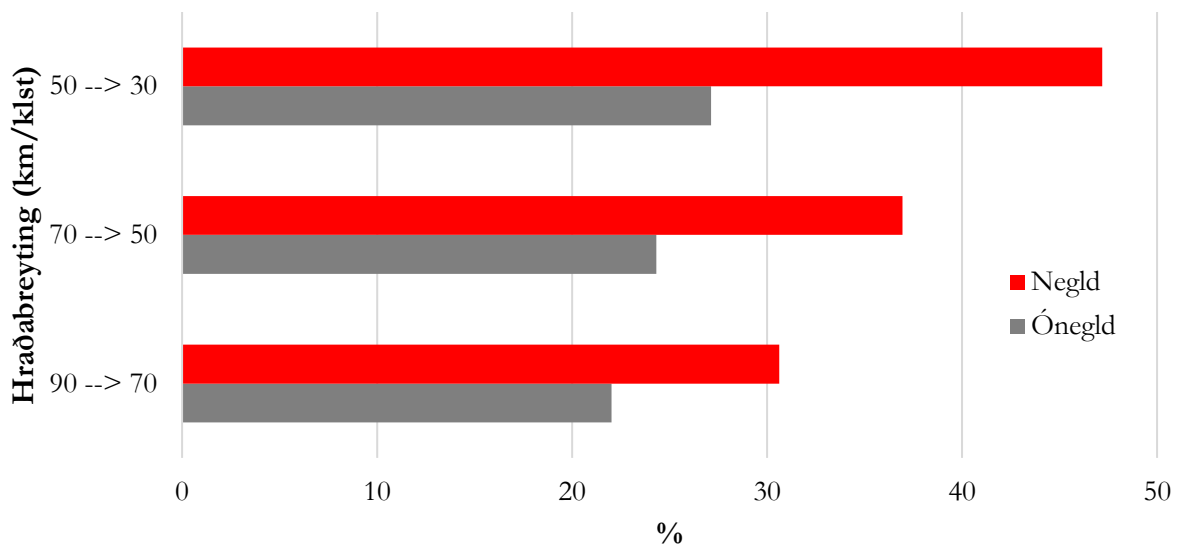
4.8 Rafbílar

Rafbílar eru almennt þyngri, enn sem komið er, en „venjulegir“ fólksbílar; þyngri sem nemur 21% til 56% (Timmers and Achten 2018). Almennt er samband þyngdar ökutækis og slits (bremsu-, dekkja-, vegslit) illa ákvarðað. Dæmi eru um að slit tvöfaldist milli 1200 kg bíls og 2000 kg bíls, en EPA (US Environmental Protection Agency) miðar við nærri línulegt samband (með veldi 1.02) (Timmers and Achten 2018). Eitt er þó víst að slit eykst með aukinni þyngd í öllum tilfellum. Því er nokkuð ljóst að vandamál vegna svifryksmengunar frá umferð hverfa ekki með aukinni rafbílavæðingu bílaflotans.

5. Samantekt

Framleiðsla svifryks (PM10) er lang mest vegna vegslit af völdum nagladekkja (Myndir 13 – 15). Útblástur svifryks er almennt lítill partur, einu undantekningarnar væru fyrir mjög gamla dísel bíla (Mynd 7). Útblástur gasa er almennt ekki mikið vandamál, né sterklega háður hraða, fyrir nýlega bíla (Myndir 9 – 12).

Hlutfallsleg minnkun á magni framleidds svifryks (PM10) er mest þegar farið er úr 50 km/klst í 30 km/klst (40% lækkun hraða), um 47% fyrir negld dekk og 27% fyrir ónegld (Mynd 20). Við að fara úr 90 km/klst í 70 km/klst (22% lækkun hraða) minnkar magnið um 31% fyrir negld dekk og 22% fyrir ónegld.



Mynd 20. Samdráttur (blutfall, %) í magni framleidds svifryks (PM10) miðað við lækkun hraða úr 50 km/klst í 30 km/klst, 70 km/klst í 50 km/klst og 90 km/klst í 70 km/klst (Mynd 14). – Reduction in wear and emission of PM10 (%) when the velocity is reduced (Mynd 14).

Það er alveg ljóst að framleiðsla svifryks (PM10) myndi dragast töluvert saman ef dregið er úr hraða. Hvað magn varðar munar lang mestu um vegslit vegna nagladekkja, enda þótt hlutfallsleg minnkun sé einnig umtalsverð fyrir bíla á ónegldum dekkjum (Myndir 14 og 20).

Heimildir

- Barr, Brian Charles. 2020. "Processes and Modeling of Non-Exhaust Vehicular Emissions in the Icelandic Capital Region." University of Iceland.
- Denby, B. R., I. Sundvor, C. Johansson, L. Pirjola, M. Ketzel, M. Norman, K. Kupiainen, M. Gustafsson, G. Blomqvist, M. Kauhaniemi, and G. Omstedt. 2013. "A Coupled Road Dust and Surface Moisture Model to Predict Non-Exhaust Road Traffic Induced Particle Emissions (NORTRIP). Part 2: Surface Moisture and Salt Impact Modelling." *Atmospheric Environment* 81:485–503.
- Denby, B. R., I. Sundvor, C. Johansson, L. Pirjola, M. Ketzel, M. Norman, K. Kupiainen, M. Gustafsson, G. Blomqvist, G. Omstedt, M. Kauhaniemi, and G. Omstedt. 2013. "A Coupled Road Dust and Surface Moisture Model to Predict Non-Exhaust Road Traffic Induced Particle Emissions (NORTRIP). Part 1: Road Dust Loading and Suspension Modelling." *Atmospheric Environment* 77:283–300.
- Denby, Bruce Rolstad and Ingrid Sundvor. 2012. "NORTRIP Model Development and Documentation Emission Modelling." *Scientific Report*.
- Grigoratos, Theodoros and Martini Giorgio. 2014. *Non-Exhaust Traffic Related Emissions. Brake and Tyre Wear PM*.
- Grigoratos, Theodoros and Giorgio Martini. 2015. "Brake Wear Particle Emissions: A Review." *Environmental Science and Pollution Research* 22(4):2491–2504.
- Guðmundsson, Gísli. 2019. *Samsetning Og Uppruni Svifryks í Hvalfjarðargöngum*.
- Hann, S., C. Sherrington, O. Jamieson, M. Hickman, P. Kershaw, & A. Bapasola, and G. Cole. 2018. *Investigating Options for Reducing Releases in the Aquatic Environment of Microplastics Emitted by (but Not Intentionally Added in) Products - Final Report*. Vol. Vol. 62, N.
- Höskuldsson, Páll. 2013. "Samsetning Svifryks í Reykjavík - Ágrip." Pp. 2–3 in *Rannsóknarráðstefna Vegagarðarinnar 2013*.
- Höskuldsson, Páll and Arngrímur Thorlacius. 2017. *Uppruni Svifryks í Reykjavík*.
- Jan Koe, Pieter, Ansje J. Löhr, Frank G. A. J. Van Belleghem, and Ad M. J. Ragas. 2017. "Wear and Tear of Tyres: A Stealthy Source of Microplastics in the Environment." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 14(10).
- Järnskog, Ida, Ann Margret Strömwall, Kerstin Magnusson, Mats Gustafsson, Maria Polukarova, Helen Galfi, Maria Aronsson, and Yvonne Andersson-Sköld. 2020. "Occurrence of Tire and Bitumen Wear Microplastics on Urban Streets and in Sweepsand and Washwater." *Science of the Total Environment* 729.
- Johansson, Christer, Bruce Rolstad Denby, Ingrid Sundvor, Mari Kauhaniemi, Jaako Kukkonen, Ari Karppinen, Leena Kangas, Gunnar Omstedt, Matthias Ketzel, Andreas Massling, Michael Norman, Mats Gustafsson, Cecilia Bennet, Kaarle Kupiainen, and Niko Karvosenoja. 2012. *Non-Exhaust Road Traffic Induced Particle Emissions*.
- Krzyzanowski, Michal and Aaron Cohen. 2008. "Update of WHO Air Quality Guidelines." *Air Quality, Atmosphere and Health* 1(1):7–13.
- Kupiainen, K., B. R. Denby, M. Gustafsson, C. Johansson, M. Ketzel, J. Kukkonen, M. Norman, L. Pirjola, I. Sundvor, C. Bennet, G. Blomqvist, S. Janhäll, A. Karppinen, M. Kauhaniemi, A. Malinen, and A. Stojiljkovic. 2016. *Road Dust and PM 10 in the Nordic Countries*. Nordic Council of Ministers.
- Norman, M., I. Sundvor, B. R. Denby, C. Johansson, M. Gustafsson, G. Blomqvist, and S. Janhäll.

2016. “Modelling Road Dust Emission Abatement Measures Using the NORTRIP Model: Vehicle Speed and Studded Tyre Reduction.” *Atmospheric Environment* 134:96–108.
- OECD. 2020. *Non-exhaust Particulate Emissions from Road Transport: An Ignored Environmental Policy Challenge*. Paris.
- Simons, Andrew. 2016. “Road Transport: New Life Cycle Inventories for Fossil-Fuelled Passenger Cars and Non-Exhaust Emissions in Ecoinvent V3.” *International Journal of Life Cycle Assessment* 21(9):1299–1313.
- Skúladóttir, Bryndís, Angrímur Thorlacius, Steinar Larssen, Gudmundur G. Bjarnason, and Hermann Thórdarson. 2003. “Method for Determining the Composition of Airborne Particle Pollution.” *Nordtest Technical Report 544* (November):53.
- Snilsberg, Brynhild. 2008. “Pavement Wear and Airborne Dust Pollution in Norway: Characterization of the Physical and Chemical Properties of Dust Particles.” NTNU.
- Sommer, Frank, Volker Dietze, Anja Baum, Jan Sauer, Stefan Gilge, Christoph Maschowski, and Reto Gieré. 2018. “Tire Abrasion as a Major Source of Microplastics in the Environment.” *Aerosol and Air Quality Research* 18(8):2014–28.
- Timmers, Victor R. J. H. and Peter A. J. Achten. 2018. *Non-Exhaust PM Emissions From Battery Electric Vehicles*. Elsevier Inc.
- Umhverfis- og Skipulagssvið, Reykjavíkur. 2020. “Nagladekkjatalningar í Reykjavík 2019-2020.”
- Vogelsang, Christian, Amy L. Lusher, Mona E. Dadkhah, Ingrid Sundvor, Muhammad Umar, Sissel B. Rannekleiv, David Eidsvoll, and Sondre Meland. 2019. *Microplastics in Road Dust – Characteristics, Pathways and Measures*.
- Wagner, Stephan, Thorsten Hüffer, Philipp Klöckner, Maren Wehrhahn, Thilo Hofmann, and Thorsten Reemtsma. 2018. “Tire Wear Particles in the Aquatic Environment - A Review on Generation, Analysis, Occurrence, Fate and Effects.” *Water Research* 139:83–100.