



INSTITUTIONEN FÖR BIOLOGI OCH  
MILJÖVETENSKAP

# FÖREKOMST AV MIKROPLAST I DAGVATTEN FRÅN VÄG OCH TRAFIK I GÖTEBORG

- Provtagning och analysering

**Alicia Jannö**

Uppsats för avläggande av naturvetenskaplig kandidatexamen med huvudområdet miljövetenskap  
2016 , 180 hp  
Grundnivå

## **Förord**

Detta examensarbete har utförts av Alicia Jannö i samarbete med Miljöförvaltningen i Göteborgs Stad under vårterminen 2016. Examensarbetet omfattar 15 högskolepoäng och har utförts vid Institutionen för biologi och miljövetenskap inom programmet Miljövetenskap med naturvetenskaplig inriktning (NMIL) vid Göteborgs Universitet.

Jag vill först och främst tacka Miljöförvaltningen i Göteborg Stad som lät mig utföra mitt examensarbete i samarbete med dem. Därefter vill jag tacka min handledare Bethanie Carney Almroth för allt stöd under arbetets gång samt Jenny Toth på Miljöförvaltningen för hjälp med kontaktuppgifter och material som har underlättat mitt arbete.

Alicia Jannö Göteborg, maj 2016

## Sammanfattning

Varje år släpps stora mängder mikroplaster ut i de svenska kustvattnen, där slitage av vägar och däck beräknas vara den största landbaserade källan. Mängden mikroplast som släpps ut i miljön innebär en potentiell risk för marina organismer. Till följd av detta har kommunstyrelsen i Göteborgs Stad beslutat att stadsledningskontoret och berörda förvaltningar under 2016 ska föreslå åtgärder för att förhindra spridning av mikroplaster till naturen. För att kunna sätta in åtgärder på rätt ställen behövs mer kunskap om vilka som är de största källorna inom Göteborgs kommun och hur spridning av mikroplaster sker från dessa.

Syftet med detta examensarbete är att undersöka förekomsten av mikroplast i dagvatten som kommer från Göteborgs vägnät. Tre vattenprover har utförts i en dagvattenbrunn vars dagvatten kommer från E6 i Göteborg. Kvantiteten och vilka typer av mikroplaster som påträffades har undersökts samt vilken toxikologisk effekt dessa har på *Daphnia Magna*. Dessutom har en uppskattning utförts över Göteborgs årliga emissioner av mikroplast som uppkommit genom däck- och vägslitage.

I dagvattenproverna påträffades till störst del svarta partiklar samt syntetiska fibrer. En del av de svarta partiklar som påträffades misstänks vara partiklar som uppkommit genom däck- och vägslitage. De fibrer som påträffades i dagvattenproverna är troligen material av nylon, PET, bomull eller ylle.

Årliga emissioner av däckpartiklar i Göteborg uppskattas vara mellan 178 till 543 ton. Detta är dock baserat på grova uppskattningar vilket gör att resultatet ska ses med stor osäkerhet. Fler studier som baseras på säkrare underlag krävs för att få ett mer pålitligt resultat.

## Abstract

Each year large quantities of microplastics enter the Swedish coastal waters, with road wear and abrasion of tyres expected to be the largest contributors on land. The quantities of microplastics that are released into the sea constitute a potential hazard for marine organisms. As a result, the Municipal Executive of the City of Gothenburg has decided that the City Executive and relevant administrations shall propose interventions in 2016 to prevent the spreading of microplastics into the environment. In order to gain a better understanding of the main sources found in the municipality of Gothenburg and which pathways microplastics take to reach the sea, more research is required.

The aim of this study is to investigate the presence of microplastic in stormwater that originates from the Gothenburg road network. Three water samples were taken from a surface water gully where the rainwater drains off the E6 highway in Gothenburg. A survey was conducted about the quantity and type of microplastics that were present in the samples and the toxicological effects these have on *Daphnia magna*. In addition, an estimate of the annual emissions of microplastics caused by tire and road wear in Gothenburg has been calculated.

The storm water samples contained mostly black particles and synthetic fibers. Some of the black particles were suspected to be originating from tire and road wear. The fibers that were found in the water samples are most likely materials of nylon, PET, cotton or wool.

Annual emissions of tire particles in Gothenburg was estimated to be between 178 - 543 tonnes. However, this is based on rough estimates, which means that the results should be viewed with great uncertainty. More studies based on more reliable data is required to obtain a more reliable result.

# Innehållsförteckning

1 Inledning.....	1
1.1 Syfte och frågeställningar.....	2
1.2 Avgränsningar .....	2
2 Bakgrund .....	3
2.1 Definition mikroplast .....	3
2.2 Primära och sekundära mikroplaster .....	3
2.3 Mikroplast från väg och trafik.....	3
2.3.1 Bitumen och asfalt.....	4
2.3.2 Vägmarkering.....	4
2.3.3 Däck .....	5
2.4 Spridningsvägar och dess recipienter .....	6
2.4.1 Dagvatten .....	6
2.4.2 Snödumpning .....	6
2.4.3 Lufttransport.....	6
2.5 Vägbrunnar i Göteborg.....	7
3 Beskrivning av provtagningsplats - Gårda.....	7
4 Tidigare studier .....	9
4.1 IVL – Svenska Miljöinstitutet .....	9
4.2 European Commission – DG TrEn, 5th Framework Programme .....	10
5 Metodik .....	11
5.1 Datainsamling.....	11
5.2 Provtagning i fält.....	11
5.3 Laborationsarbete .....	11
5.3.1 Filtrering och mikroskopering.....	12
5.3.2 Fast-fas Extraktion .....	12
5.3.3 Akut toxicitetstest.....	12
5.4 Beräkning av emissioner däck- och vägpartiklar .....	14
6 Resultat.....	15
6.1 Antal fibrer och partiklar i dagvattenproverna.....	15
6.2 Blankprover.....	16
6.3 Nederbörd och antal partiklar.....	17
6.4 Akut toxicitetstest.....	18
6.4.1 Däckpartiklar.....	18
6.4.2 Eluat från extraktion.....	21

6.5 Mängden mikroplast från vägar i Göteborg .....	22
7 Diskussion .....	25
7.1. Antal fibrer och partiklar i dagvattenproverna .....	25
7.2 Partiklarnas och fibrernas karaktär .....	25
7.3 Blankprover .....	26
7.4 Toxicitetstest .....	27
7.5 Beräkningar .....	27
7.6 Vidare analysering .....	27
7.7 Förslag inför framtida studier .....	28
7.7.1 Provtagning .....	28
7.7.2 Beräkning .....	28
8 Slutsatser .....	29
9 Referenser .....	30
Bilaga 1 .....	I
Bilaga 2 .....	II
Bilaga 2 .....	III

# 1 Inledning

Förekomsten av mikroplast i haven har blivit ett allt mer uppmärksammat miljöproblem. Anledningen till detta är att mikroplaster potentiellt har en stor negativ påverkan på marina organismer. Dess minimala storlek gör att en mängd olika organismer riskerar att förtära mikroplasten i tron om att det är föda. När mikroplast kommer in i en organisms matsmältningsorgan kan det orsaka skada på olika sätt. Exempelvis kan organismen få i sig höga halter av toxiska ämnen eftersom att mikroplast kan innehålla toxiska tillsatser men även på grund av att mikroplaster lätt binder till miljögifter (Hulthén & Andrén, 2015). Förekomsten av mikroplast i naturen blev känt under 1970-talet (Ryan, 2015) men fick föga uppmärksamhet fram till 2004 då ett forskarteam funnit partiklar av plast inuti zooplankton (Thompson et al., 2004). Idag är det bevisat att mikroplast har spridit sig till alla världens vatten och även ner till djuphaven (Van Cauwenberghe et al., 2013). Även om de ekologiska effekterna inte är helt klarlagda och det krävs mer forskning kring ämnet bör försiktighetsprincipen gälla och åtgärder utföras redan nu för att minska spridningen av mikroplast.

Till följd av den potentiella risken som mikroplaster utgör har kommunstyrelsen i Göteborgs Stad beslutat att stadsledningskontoret och berörda förvaltningar under 2016 ska föreslå åtgärder för att förhindra spridning av mikroplaster i naturen (Hulthén & Andrén, 2015). För att kunna sätta in åtgärder på rätt ställen behövs mer kunskap om vilka som är de största källorna och hur spridning av mikroplaster sker från dessa. Ett steg i denna process är att mäta kvantiteten mikroplaster från potentiella källor. IVL Svenska Miljöinstitutet redovisar i sin rapport "Swedish sources and pathways for microplastics to the marine environment" (2016) de nationellt största källorna till marint mikroplast. Enligt denna rapport är trafiken den största landbaserade källan vilket beror på slitage av vägar och däck. Stora mängder mikroplaster släpps ut i de svenska kustvattnen varje år, dock finns det brist på data över hur mycket som släpps ut totalt. IVL har kommit fram till att slitage från däck ger i från sig ungefär 13 000 ton mikroplast per år i Sverige. Hur stor kvantitet av detta som hamnar i svenska kustvatten är ännu oklart (Magnusson et al., 2016).

Med anledning av IVLs resultat samt Göteborgs kommunstyrelsens beslut kommer inriktningen för detta examensarbete avse förekomsten av mikroplast i dagvatten med ursprung från vägar och trafik inom Göteborgs kommun.

## 1.1 Syfte och frågeställningar

Syftet med detta examensarbete är att undersöka förekomsten av mikroplast i dagvatten som kommer från Göteborgs vägnät. Detta genom att utföra provtagningar av dagvatten. Studien kommer att undersöka vilka typer av partiklar som påträffas i proverna samt utföra toxikologiska tester över de ämnen som återfinns i proverna enligt OECDs standardiserade test för akut immobilisering av *Daphnia Magna*. Dessutom kommer en uppskattning över Göteborgs emissioner av mikroplast som uppkommit genom slitage av väg och däck att utföras.

De frågeställningar som denna studie huvudsakligen ska besvara är:

- Hur stor mängd mikroplast sprids med dagvattenavrinningen från E6 i Göteborg?
- Vilka typer av mikroplaster påträffas vid provtagning av dagvatten?
- Hur toxiska är dessa mikroplaster för *Daphnia Magna*?
- Hur stor mängd mikroplast uppstår genom väg- och däck-slitage inom Göteborgs kommun?

## 1.2 Avgränsningar

Detta examensarbete behandlar mikroplaster i dagvatten som uppkommit från slitage av väg och däck. Mikroplast från andra källor nämns endast kort vid beskrivning av problematiken kring mikroplast. Andra föroreningar från trafik och väg som PAHer, VOCs, tungmetaller med mera är viktiga att diskutera ur toxicitets-synpunkt men har uteslutits från detta examensarbete.



## 2 Bakgrund

### 2.1 Definition mikroplast

Definitionen av mikroplaster är inte helt fastlagt och begreppsförklaringen skiljer sig till viss del åt, men vanligen syftar det till fasta partiklar som är mindre än 5 mm. I denna rapport använts samma definition av mikroplast som Svenska Miljöinstitutet IVL använder i sin rapport av Magnusson et al. (2016) vilket är en bred definition av mikroplast som syftar till partiklar som är mellan 0,001 – 5 mm och där även material som gummi och polymermodifierade bitumen ingår. Detta medför att slitage av gummidäck samt polymerbehandlat bindemedel i asfalt ingår som källa för mikroplast och således kan räknas med i denna studie. Förutom runda, sfäriska former räknas även flagor, flisor och fibrer med under formuleringen partiklar.

### 2.2 Primära och sekundära mikroplaster

Mikroplaster som förekommer i miljön kan delas in i två kategorier, primära och sekundära. Det är mikroplastens ursprungliga storlek som avgör vilken kategori mikroplasten tillhör. Mikroplaster som från början är fabricerad som mikroplast kallas primär. Ett exempel på primära mikroplaster är plastpellets vilket är små plastkuler som används som utgångsmaterial vid tillverkning av större plastartiklar (Magnusson et al., 2016). Mikroskopiska plastkuler förekommer även i kosmetika och hygienprodukter som vid användning spolats ut i avloppsledningarna och slutligen hamnar i reningsverken (Fendall & Sewell, 2009). I rapporten ”Mikroskopiska skräppartiklar i vatten från avloppsreningsverk” av IVL påvisas att reningsverken inte lyckas fånga upp all inkommande mikroplast vilket innebär att en del plastpellets från hygienartiklar troligen hamnar i havet.

Sekundära mikroplaster är ursprungligen större föremål av plast, så kallad makroplast, som brutits ner till mindre plastfragment. Små partiklar av gummi som bildats genom slitage av däck samt färgpartiklar från markeringsfärg på vägar tillhör kategorin sekundär mikroplast. Andra exempel på sekundär mikroplast är fiskeredskap som rep och nät som vid användning slits och släpper från sig mindre fragment. All makroplast som redan hamnat i miljön och som inte tas om hand kommer slutligen brytas ner och vara en källa för sekundär mikroplast (Magnusson et al., 2016). Makroplasten nöts mot olika föremål, exempelvis mot sanden vid stränder, samtidigt som solens UV-strålning gör plasten skör vilket gör att den lättare bryts ner till mindre bitar som slutligen blir tillräckligt små för att räknas som mikroplast (Sundt, Schulze, & Syversen, 2014).

### 2.3 Mikroplast från väg och trafik

Källorna till mikroplast är många och förekommer både på land och till havs. Av det marina skräpet beräknas 80 % komma från källor på land (Andrady, 2011). Som tidigare nämnts är Sveriges största landbaserade källa till marin mikroplast trafiken vilket beror på slitage av vägar och däck (Magnusson et al., 2016). I följande avsnitt kommer denna källa att presenteras mer ingående.

### 2.3.1 Bitumen och asfalt

Bitumen är tillsammans med stenmaterial de grundläggande beståndsdelarna i asfalt. Asfalt består till störst del av stenmaterial medan en liten del av innehållet utgörs av bindemedlet bitumen. Vanligen består 5-6 % av asfaltens vikt och 10 % av dess volym av bitumen (VTI, u.å.(a)). Bitumens främsta syfte är att fungera som ett klister mellan stenmaterialet samt agera som tätningsmedel för att utesluta vatten från att tränga in i asfalten, som annars skulle riskera att förstöra vägkroppen (Hans Lundquist, Technical Manager Nynas, personlig kommunikation, 20 april, 2016). Det är också bitumen som ger asfaltbeläggningen dess svarta färg. Bitumen framställs ur råolja och består till störst del av högmolekylära kolväteföreningar. Ibland används polymerer som tillsatsämne i bitumen varav SBR (Styren Butadien) och SEBS (Styren Etylen Butylen Styren Kopolymer/"SEBS Rubber") är de typer som förekommer i störst utsträckning (Sundt, Schulze & Syversen, 2014). Polymermodifierad bitumen har längre hållbarhet men används trots detta i betydligt mindre utsträckning än vanlig destillerad bitumen vilket beror på det högre priset (Sundt, Schulze & Syversen, 2014). Av den årliga konsumtionen av bitumen är 5-10 % polymermodifierad vars användning främst sker på högtrafikerade vägar, i backar, rondeller samt även på flygplatser och hamnar med stora laster. Polymermodifierad bitumen används även i bullerdämpande asfalt (Hans Lundquist, Technical Manager Nynas, personlig kommunikation, 10 maj, 2016).

På grund belastning från trafik samt förslitning genom klimatfaktorer såsom regn och temperatur nöts delar av vägbeläggningen bort med tiden (VTI, u.å.(b)). Till följd av detta försvinner vägens svarta färg och istället framträder stenmaterialets gråaktiga nyans (NVF, 2000). Vid de tillfällen då vägmassan innehåller polymermodifierad bitumen räknas de bortslitna fragmenten som mikroplast enligt denna rapports definition. Under vinter och vår är slitaget av vägbanan som störst vilket bland annat beror på sandning och saltning av vägbanan samt användning av dubbdäck (Vägverket, 2006).

### 2.3.2 Vägmarkering

Den vita markeringsfärgen som används på vägar och gator kan vara en källa till mikroplast. Det finns två typer av material som huvudsakligen används som markeringsfärg på de svenska vägarna och dessa är termoplast samt vattenbaserad färg. Av dessa två används termoplastisk massa till störst del som material för vägmarkering. Det är en gummiblandning som framförallt används på hårt trafikerade vägar eftersom att den är mer slitstarkt än vattenbaserad färg (Roadline AB, u.å.). Olika trafikmängd samt väderförhållanden gör att hållbarheten varierar men när det väl slits bort är detta en källa för mikroplast (Vägmarkering AB, u.å; Sundt, Schulze & Syversen, 2014). Precis som för asfalt sker störst slitaget under vinter och vår som orsak av sandning och saltning samt användning av dubbdäck. Troligen orsakar även snöröjning ett visst slitaget (Scottish Road Research Board, 2015).

Det typiska innehållet för termoplast visas i tabell 1 som är tagen från en rapport av Lassen et.al. (2015) och baseras på information från danska tillverkare.

Tabell 1. Innehåll i termoplast (Lassen et.al., 2015)

Material	Andel
Plastpolymer (lätt densitet PE,EVA)	≈ 0,5 – 2 %
Harts (växtbaserad eller baserad på råolja)	≈ 10 – 15 %
Fyllnadsmaterial (t.ex. sand, dolomite)	≈ 50 %
Glaspärlor (ca 100 µm – 1,5 mm)	≈ 30 %
Titandioxid	≈ 5 – 10 %

Som visas i tabellen innehåller markeringsfärg endast 0,5 – 2 % polymerer vilket bekräftas av en svensk tillverkare (Magnus Fredriksson, Arbetschef Svevia, personlig kommunikation, 4 maj, 2016).

Som markeringsfärg på Göteborgs gator används bland annat termoplast med glaspärlor (Thomas Hall, Distriktschef Cleanosol, personlig kommunikation, 3 maj, 2016). Till denna rapport har ingen information om vilka andra typer av markeringsfärg som används i Göteborg lyckats erhållas. Enligt Trafikkontoret i Göteborg målas 40 000 m<sup>2</sup> markeringsfärg per år vilket motsvarar ungefär 120 000 L. Det bör understrykas att detta är en grov uppskattning baserat på kostnader för att underhålla vägmarkeringar på endast kommunala vägar och gator i Göteborg samt att mängden varierar från år till år (Davor Senohradski, Planeringsledare Trafikkontoret Göteborg, personlig kommunikation, 2 maj, 2016).

### 2.3.3 Däck

Små bitar av ett fordons däck slits bort under körning på grund av friktion mot vägbanan. Ungefär 20 % av ett däckes massa försvinner innan det behöver kasseras (LTU, 2016). Ett däck innehåller en mängd av både organiska och oorganiska ämnen. Till störst del består ett däck av organiska ämnen där de polymerbaserade ämnena generellt består av en komplex blandning av syntetiskt gummi (elastomerer) och naturligt gummi med olika fyllnadsmaterial (Lassen et.al., 2015). Hur en typisk däckuppbyggnad ser ut är svårt att svara på eftersom att det finns en mängd av olika däcktyper vars innehåll varierar då de är anpassade till olika fordonstyper och storlekar (Thorpe & Harrisson 1998). Evans och Evans (2006) har dock i sin rapport "The Composition of a Tyre: Typical Components" utformat en tabell som visar ett däckes generella sammansättning för en personbil, vilket visas i tabell 2.

Tabell 2. Ett bildäcks generella sammansättning (Evans & Evans, 2006)

Innehåll Personbilsdäck	Andel
Gummi/Elastomerer	≈ 47 %
Carbon black (förstärkningsmedel)	≈ 21,5 %
Metaller	≈ 16,5 %
Textilier*	≈ 5,5 %
Zinkoxid	≈ 1 %
Svavel	≈ 1 %
Tillsatsämnen (t.ex. lera, återvunnet gummi)	≈ 7,5 %
Totalt kolbaserat material	≈ 74 %

\* De textilier som kan ingå är t.ex. fiber av nylon och polyester (Evans & Evans, 2006)

Hur fort ett däck slits varierar med en mängd faktorer. I rapporten ”Measurement of non-exhaust particulate matter” av Luhana et.al (2004) beskrivs vilka faktorer som påverkar slitaget av däck. Ett urval av dessa visas i tabell 3.

Tabell 3. Faktorer som påverkar slitaget av fordonsdäck (Luhana et.al 2004)

<b>Däckets karaktär</b>	<b>Vägbanans karaktär</b>
Storlek (radie/bredd/djup)	Material: Bitumen/Betong
Mönsterdjup	Textur
Konstruktion	Porositet
Däcktryck och temperatur	Vägbanans fuktighet
Kemisk komposition	Mängden sand/salt på vägbanan
<b>Fordonets karaktär</b>	<b>Körningen</b>
Vikt och fördelning av last	Hastighet
Placering av drivande hjul	Acceleration
Hästkrafter på motorn	Frekvens och intensitet av bromsning

## 2.4 Spridningsvägar och dess recipienter

I detta avsnitt behandlas mikroplasters spridningsvägar samt mikroplasters recipient för respektive spridningsväg.

### 2.4.1 Dagvatten

Dagvatten är det regn- och smältvatten som bildar ett tillfälligt flöde av vatten på markytan. Vatten som rinner av från hustak och vägar är exempel på dagvatten. I bebyggda områden, till störst del i städer, finns en problematik kring dagvatten då det för med sig föroreningar och däribland mikroplast. Föroreningarna riskerar att hamna i mark och vattendrag vilket påverkar växter och djur negativt. Dagvattnet som kommer från vägarna i Göteborgs kommun rinner antingen ut i diken eller till rännstensbrunnar vid sidan av vägen. Dagvattnet leder sedan vidare till närmaste vattendrag eller via avloppsledningar till Göteborgs reningsverk, Ryaverket (Göteborgs Stad, u.å.(a)). Vid Ryaverket renas vattnet i flera olika steg innan det släpps ut i havet. Trots att Ryaverkets reningsprocess kraftigt reducerar mängden mikroplast som är större än 300 µm har en studie av Magnusson & Wahlberg (2014) visat att en del mikroplast, speciellt de minsta partiklarna (<300 µm), blir kvar och släpps ut tillsammans med det utkommande vattnet.

### 2.4.2 Snödumpning

Mikroplaster kan spridas direkt från källan till vattendrag genom snödumpning. Göteborgs kommun har under vissa år haft tillåtelse att dumpa snö i Göta Älv. Detta sker när snödeponierna blivit fulla och senast detta hände var vintersäsongen 2010-2011 då 900 m<sup>3</sup> snö dumpades (Maria Aronsson, Miljöhandläggare Trafikkontoret Göteborgs Stad, personlig kommunikation, 19 maj, 2016).

### 2.4.3 Lufttransport

En del av de mikroplastpartiklar som uppstår genom slitage av väg och däck är under en viss tid suspenderade i luften. De partiklarna som suspenderas i luft är upp till några få 100 µm i storlek (Thorpe & Harrison 2008). Få studier har gjorts där mikroplasters spridning via luft har undersökts (Magnusson et al., 2016). Det finns dock en studie som visar att avslitna fragment från däck främst deponeras inom ett kort avstånd från källan, direkt på marken,

medan en liten fraktion av däckpartiklarna suspenderas i atmosfären (Pierson & Brachaczek 1974). Majoriteten av partiklarna från däckslitage är grova partiklar (PM<sub>2.5-10</sub>) vars storlek gör att de inte är suspenderade i luften speciellt länge (Thorpe & Harrison 2008; Pant & Harrison 2013).

## **2.5 Vägbrunnar i Göteborg**

Majoriteten av Göteborgs rännstensbrunnar innehåller sandfång vars syfte är att fånga upp det sediment som dagvattnet för med sig så att mängden som hamnar i ledningsnätet minskar (Maria Aronsson, Miljöhandläggare Trafikkontoret Göteborgs Stad, personlig kommunikation, 19 maj, 2016). Till detta examenarbete har ingen studie hittats som undersöker om mikroplast fastnar i rännstensbrunnarnas sandfång. Det har dock utförts studier där sandfångens föroreningsreduktion av tungmetaller studerats. I en studie utförd av Bennerstedt (2005) uppges att ca 10 % av de studerade tungmetallerna hamnade i sandfånget men att det främst omfattade partiklar som var större än 0,5 mm. Med anledning av bland annat denna studie kan det antas att majoriteten av mikroplasten som förs med dagvattnet inte fastnar i sandfången utan förs vidare till ledningsnätet och sedan till recipienten.

## **3 Beskrivning av provtagningsplats - Gårda**

I detta avsnitt kommer en beskrivning utav den plats där dagvattenprovtagningen utfördes.

Brunnen som dagvattenproverna togs från ligger i Gårda i Göteborg och är placerad nära E6:an. Brunnen tillhör Trafikverket och en är av flera sammankopplade dagvattenbrunnar där vattnet leder till en av Trafikverkets sedimentanläggningar. Arean på avrinningsområdet är 2,1 hektar (Martin Hassellöv, Professor på Göteborgs Universitet, personlig kommunikation, 29 april, 2016) och kommer från E6:an men också från en del hustak vars avrinning är påkopplat till samma dagvattenledning (Hilde Björgeas, Driftsingenjör på Kretslopp och vatten Göteborg, personlig kommunikation, 20 april, 2016).

Under 2013 var årsmedelvärdet för trafikmängden mellan Olskroksmotet och Ullevimotet 119100 fordon/dygn. Medelvärdet är beräknat för alla helgfria vardagar och gäller för båda riktningar (Göteborgs Stad, u.å.(b)). Den skyltade hastigheten för denna sträcka är 70 km/h.

I figur 1 och figur 2 visas vart provtagningen utfördes.



Figur 1. Karta över Gårda i Göteborg där pilen visar vart prover av dagvatten togs. Bilden är tagen från Google Maps, 2016.



Figur 2. Bild som visar E6 i södergående riktning. Brunnen som dagvattenproverna togs från är inringad. Bild tagen från Google Maps, 2016.

## 4 Tidigare studier

Det finns endast ett fåtal tidigare studier som undersöker den totala mängden mikroplast som uppstår genom slitage av vägar och däck. I avsnitt 4.1 redovisas metod samt resultat från Magnusson et al. (2016), Svenska Miljöinstitutets rapport, där mängden mikroplast från hela Sveriges vägnät uppskattas. I andra länder har liknande nationella rapporter utförts, bland annat i Norge, Danmark och Tyskland. Ingen liknande studie har gjorts för endast Göteborgs vägnät. I avsnitt 4.2 presenteras resultat av en litteraturstudie publicerad av European Commission – DG TrEn, 5th Framework Programme där icke avgasrelaterade emissioner från fordon undersöks.

### 4.1 IVL – Svenska Miljöinstitutet

Som metod har IVL gjort en litteraturstudie och på så sätt fått fram befintlig data angående trafikarbete (antal körda km/år), mängden konsumerad markeringsfärg, asfaltslitage med mera och på så sätt beräknat fram sina resultat. De data resultaten baseras på erhålls från vetenskapliga artiklar, rapporter samt intervjuer med sakkunniga.

Som nämnts tidigare har IVL uppskattat att emissioner av gummi från slitage av däck uppnår ca 13 000 ton per år på vägbanorna i Sverige, och då är inte motorcyklar, tunga och lätta lastbilar medräknat. IVL gör denna uppskattning genom att ta fram uppgifter om det totala trafikarbetet för fordon på svenska vägar samt data angående generellt däckslitage per km. År 2012 var trafikarbetet för fordon på svenska vägar 77356 miljoner kilometer per år, vilket kan ses i tabell 4 som är statistik framtagen av myndigheten Trafikanalys. I tabellen kan man även se uppskattningar på trafikarbetet för enskilda typer av fordon. I tabell 5 visas generella värden över hur mycket ett däck slits per körd fordonskilometer. Dessa data är taget från en av VTIs rapporter, Gustavsson (2001).

Tabell 4. Trafikarbetet på svenska vägar år 2012. Statistik från Trafikanalys (2013)

Fordonsslag	Trafikarbete (milj. km/år)
Motorcykel	736
Personbil	62 940
Buss	951
Lastbil ≤3,5 ton totalvikt	8 098
Lastbil >3.5t - ≤16 ton totalvikt	377
Lastbil >16t - ≤26 ton totalvikt	1 094
Lastbil >26 ton totalvikt	3 160
<b>Totalt</b>	<b>77 356</b>

Tabell 5. Emissioner av gummi orsakat av däckslitage (g/per antal körda fordonskilometer). (Tabell hämtad från Magnusson et al. (2016), data från Gustavsson 2001)

Personbil	Buss
0,05	0,7

IVL skriver i rapporten att ca 110 000 ton asfalt slits bort från svenska vägar varje år, uppgiften är tagen från en av VTI:s rapporter vilket är beräknat slitage orsakat av dubbdäck år 1999 (Gustavsson, 2001).

Genom datainsamling har IVL fått fram ett generellt värde för innehållsmängden bitumen i asfalt samt hur stor andel av den konsumerade bitumen som är polymermodifierad. Med hjälp av bland annat dessa uppgifter samt Gustavssons (2001) uppgift om asfaltslitage, uppskattar IVL den årliga emissionen av polymerbehandlat bitumen till ca 15 ton per år.

Den årliga emissionen mikroplast orsakat av avnött markeringsfärg uppskattades till 504 ton. IVL gör denna uppskattning genom att basera sig på data från en norsk rapport (Sundt et al. 2014) som redovisar den årliga användningen av markeringsfärg på norska vägar, men anpassar värdet till totala längden för svenska vägar, vilket är längre än Norges vägnät.

#### **4.2 European Commission – DG TrEn, 5th Framework Programme**

En studie från Storbritannien, publicerad 2004, har gjort en sammanställning av de aktuella studier som finns angående icke avgasrelaterade emissioner från fordon. Detta genom att göra en litteraturstudie men även inkludera egna test där emissionshastigheter av partiklar från bromsar, däck och väg undersöks. Resultatet från litteraturstudien ger ett medelvärde för gummiemissioner genom däckslitage på 0,1 g/vkm (gram per fordons kilometer) för personbilar. Studiens egna test ger ett slitagemedelvärde på 97 mg/vkm för däckmaterialet på personbilar.



## 5 Metodik

### 5.1 Datainsamling

Till denna studie har bakgrundsinformation gällande det allmänna kunskapsläget om mikroplasters förekomst i miljön, risker med detta och dess källor, baserats på vetenskapliga artiklar vilka har hämtats från sökmotorerna Google Scholar, Scopus, Web Of Science samt Göteborgs Universitetsbibliotek. Sökord som användes var bland annat *Road dust, bitumen, vägmarkering, däckslitage, wear of tyres, abrasion of road marking, tyre dust, microplastic from traffic*.

Information samlades även in från myndigheters hemsidor samt Göteborg kommuns hemsida.

En del information erhöles genom personlig kontakt med Trafikkontoret, Kretslopp och Vatten, Trafikverket, Trafikanalys samt personer från vägmarkeringsbranschen och raffinaderiverksamheten Nynas. Nederbördsdata erhöles från SMHI:s databas.

Rapporter från Svenska Miljöinstitutet (IVL) samt Statens väg- och transportforskningsinstitut (VTI) var av extra stor vikt till detta examensarbete.

### 5.2 Provtagning i fält

Inför varje provtagningstillfälle förberedes fyra stycken provtagningsflaskor, tre flaskor för provtagning av dagvatten och en flaska som användes till blankprov. Varje provtagningsflaska hade en volym på 1 liter. Blankprovet hade som syfte att representera bakgrundshalten av föroreningar. Varje provtagningsflaska sköljdes med avjoniserat vatten tre gånger i rad. Därefter fylldes flaskan avsedd för blankprov med 1 L milliQ-vatten.

Tre dagvattenprover utfördes vid tre olika tillfällen. Proverna togs i en dagvattenbrunn vid Gårda i Göteborg. Dagvattnet från brunnen samlades in med hjälp av provtagningsflaskorna. Under provtagningen ställdes blankprovet, fyllt med milliQ-vatten, vid sidan om brunnen med locket öppet. När provtagningen av dagvatten var klart stängdes locket på flaskan avsedd för blankprov.

På grund av bristande utrustning kunde inget exakt vattenflöde mätas utan istället utfördes en grov uppskattning av vattenflödet vid samtliga provtagningstillfällen.

Provtagningarna kunde endast utföras då det var ett konstant vattenflöde i dagvattenbrunnen och därmed utfördes provtagningarna endast vid regn vilket begränsade provtagningstillfällena. I bilaga 1 redovisas provtagningsdatum samt rådande förhållanden under provtagningarna.

### 5.3 Laborationsarbete

I följande avsnitt presenteras hur provupparbetningen samt hur analyseringen utfördes. Laborationsarbetet utfördes i Göteborgs Universitets laborationssalar vid Zoologen, institutionen för biologi och miljövetenskap. Vid tider då inget laborationsarbete utfördes förvarades proverna i ett kylskåp. Laborationsarbetet utfördes i samma ordning som presenteras nedan.

### 5.3.1 Filtrering och mikroskopering

Proverna filtrerades genom ett nylonmembran filter (20,0 micron, 47mm, 100 Pk). Eftersom att proverna innehöll mycket organiskt material filtrerades endast några få ml per filter. Alla filter studerades sedan i mikroskop. Fotografier togs på partiklar som misstänktes vara av antropogent ursprung. Från avfallshanteringsföretaget Ragnsells i Göteborg erhöles nermalda bildäck som också studerades i mikroskop. Fotografierna på partiklar jämfördes med däckpartiklarna för att se om några likheter hittades. Det gjordes även en jämförelse med fotografier från andra studier där antropogena partiklar studerats. De partiklar som hade onaturlig färg som blå, transparent eller röd och de svarta partiklar som liknade däckpartiklar genom sin form och kraftigt svarta färg räknades och ställdes upp i en tabell.

### 5.3.2 Fast-fas Extraktion

Genom att utföra en fast-fas extraktion extraherades de polära ämnen som fanns i dagvattenproverna. Innan utförandet av extraktionen rengjordes den utrustning som skulle användas. En vakuumsug tvättades rent med 2000 ml milliQ-vatten. SPE-kolonner (TELOS ENV 200 mg/6ml) placerades på vakuumsugen och därefter sköljdes varje kolonn med 6 ml etanol följt av 6 ml metanol och till sist konditionerades kolonnerna med 6 ml milliQ-vatten. Mellan varje tillsättning av de olika vätskorna fick kolonnerna gå torra. Därefter applicerades dagvattenproverna på varsin kolonn. Proverna fick sakta droppa genom kolonnerna. Dropphastigheten var ca 2 droppar/sekund. Efter detta tillsattes 2 ml milliQ-vatten. Därefter fick kolonnen torka i vakuum under en minut. Slutligen eluerades varje kolonn med 2x6 ml metanol ner i varsitt provrör.

Provrören med eluat placerades i en block termostat (BT3) med inställd temperatur på 33° C. Eluatet bubblades med kvävgas för att förånga bort metanolen. När ungefär hälften av metanolen avdunstat tillsattes 100 µl av lösningsmedlet DMSO (Dimetylsulfoxid). Kvävgasen fortsatte av avdunsta metanolen tills all metanol försvunnit från provrören.

### 5.3.3 Akut toxicitetstest

Till en glasflaska tillsattes 1 g nermalda bildäck tillsammans med 1 L milliQ-vatten. Ämnen från däckpartiklarna lakades ut genom att låta lösningen stå i rumstemperatur under tre dygn. Glasflaskan skakades om ibland. Partiklarna i lösningen filtrerades bort med filterpapper.

Akut toxicitetstest utfördes på *Daphnia Magna* enligt anvisningar från OECD 202. Tio olika koncentrationer testades där tolv replikat utfördes för respektive koncentration. Koncentrationerna som testades var 100, 90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20 samt 10 procentvolym med däckpartikelvatten och för varje koncentration utfördes även en kontroll med samma koncentration milliQ-vatten. Det utfördes även en negativ- samt en positiv kontroll. Den negativa kontrollen bestod av SRW (Standard Research Water) medan den positiva kontrollen bestod av koppardiklorid (0,5 g/L). Varje replikat bestod av en *Daphnia Magna* samt 200 µl testvätska. Efter 24 h samt 48 h dokumenterades antalet immobila *Daphnia Magna*.

*D. Magna* erhöles av universitetslektor Marie Adamsson vid institutionen för biologi och miljövetenskap, Göteborgs Universitet. Odling av *D. Magna* har pågått kontinuerligt vid Göteborgs Universitet sedan 1979 och kommer ursprungligen från en liten sjö i Bohuslän i sydvästra Sverige (Göran Dave, Göteborgs Universitet, personlig kommunikation, 16 maj, 2016). Ytterligare information angående odlingsförhållandena för *Daphnia magna* finns att läsa i Hooper et al., (2006).

Upplägget för toxicitetstestet visas i tabell 6 medan upplägget för kontroller med milliQ-vatten visas i tabell 7.

Tabell 6. Upplägg för toxicitetstest med däckpartikelvatten

<b>1</b>	Partikulärt vatten	100 %	x12
<b>2</b>	Partikulärt vatten/SRW	90 %	x12
<b>3</b>	Partikulärt vatten/SRW	80 %	x12
<b>4</b>	Partikulärt vatten/SRW	70 %	x12
<b>5</b>	Partikulärt vatten/SRW	60 %	x12
<b>6</b>	Partikulärt vatten/SRW	50 %	x12
<b>7</b>	Partikulärt vatten/SRW	40 %	x12
<b>8</b>	Partikulärt vatten/SRW	30 %	x12
<b>9</b>	Partikulärt vatten/SRW	20 %	x12
<b>10</b>	Partikulärt vatten/SRW	10 %	x12
<b>11</b>	Negativ kontroll	100 % SRW vatten	x12
<b>12</b>	Positiv kontroll	100 % Koppardiklorid (0,5g/L)	x12

Tabell 7. Upplägg för kontroller med milliQ-vatten

<b>1</b>	milliQ	100 %	x12
<b>2</b>	milliQ/Partikulärt vatten	90 %	x12
<b>3</b>	milliQ/Partikulärt vatten	80 %	x12
<b>4</b>	milliQ/Partikulärt vatten	70 %	x12
<b>5</b>	milliQ/Partikulärt vatten	60 %	x12
<b>6</b>	milliQ/Partikulärt vatten	50 %	x12
<b>7</b>	milliQ/Partikulärt vatten	40 %	x12
<b>8</b>	milliQ/Partikulärt vatten	30 %	x12
<b>9</b>	milliQ/Partikulärt vatten	20 %	x12
<b>10</b>	milliQ/Partikulärt vatten	10 %	x12
<b>11</b>	Negativ kontroll	100 % SRW vatten	x12
<b>12</b>	Positiv kontroll	100 % Koppardiklorid (0,5g/L)	x12

Ett andra akut toxicitetstest utfördes där *Daphnia Magna* exponerades för en lösning med det eluat som erhöles från extraktionen. Lösningen med eluat blandades ut med odlingsvatten tills koncentrationen 0,001 ‰ uppnåddes, vilket är samma koncentration som i dagvattenbrunnen under provtagning och således ska motsvara den naturliga koncentrationen. Även en lägre koncentration än naturlig, 0,0005 ‰, samt två koncentrationer över den naturliga, 0,002 ‰ samt 0,004 ‰ testades. Det utfördes en negativ kontroll bestående av odlingsvatten. Det utfördes även en DMSO kontroll med koncentrationen 0,004 ‰ vilket är samma koncentration som högsta eluat-koncentrationen. Denna kontroll utfördes för att se om *D.Magna* påverkades negativt av lösningsmedlet. Upplägget för toxicitetstestet visas i tabell 8.

Tabell 8. Upplägg för toxicitetstest med eluat från extraktion.

<b>1</b>	Låg konc.	0,0005 ‰	x12
<b>2</b>	Naturlig konc.	0,001 ‰	x12
<b>3</b>	Hög konc.	0,002 ‰	x12
<b>4</b>	Mycket hög konc.	0,004 ‰	x12
<b>5</b>	Negativ kontroll	1000 ‰ Odlingsvatten	x12
<b>6</b>	DMSO kontroll	0,004 ‰ DMSO	x12

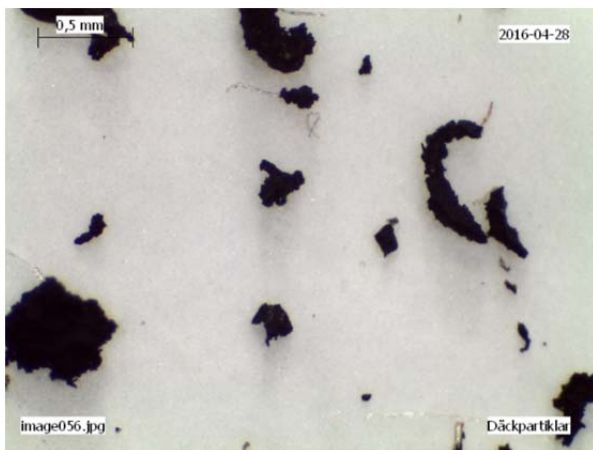
#### **5.4 Beräkning av emissioner däck- och vägpartiklar**

En grov beräkning över Göteborgs årliga emissionsmängder av däck- och vägpartiklar utfördes genom att använda sig av samma beräkningsmetod som IVL tillämpar i sin rapport, vilket beskrivs under avsnitt 4.1. För att kunna göra en sådan beräkning lades mycket tid på att ta fram information om Göteborgs trafikarbete samt årliga konsumtionen av vägmarkeringsfärg och asfaltbeläggning. Emissionsfaktorer för däckslitage från bussar och personbilar erhöles från Gustavsson (2001) samt Luhana et.al (2004). Däckslitage från lastbilar, motorcyklar och andra typer av fordon exkluderades ur beräkningen då inga emissionsfaktorer hittades för dessa.

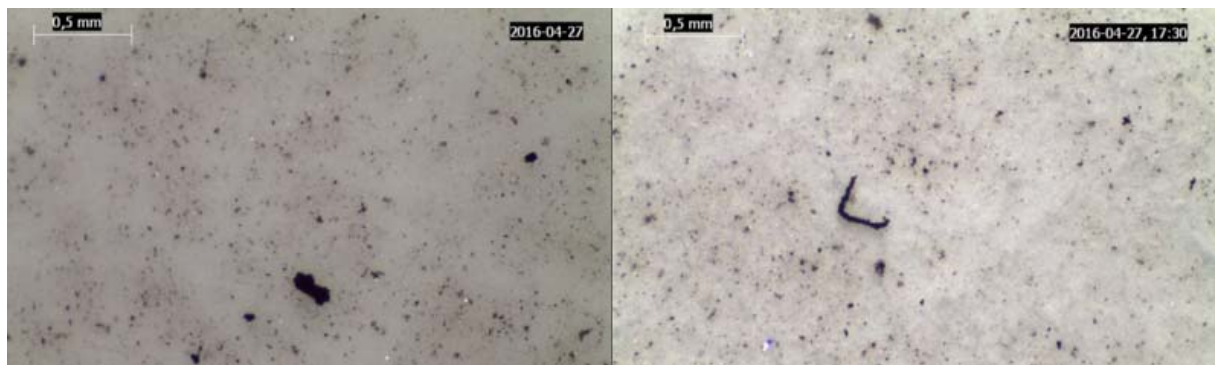
## 6 Resultat

### 6.1 Antal fibrer och partiklar i dagvattenproverna

I dagvattenproverna hittades svarta partiklar som genom sin form och starkt svarta färg liknar däckpartiklar. Det hittades även röda, blå och transparenta syntetiska fibrer. I figur 3 visas ett fotografi taget på nermalda bildäck medan figur 4 visar svarta partiklar som hittades i dagvattenproverna. Alla filter var täckta av ett stort antal små svarta partiklar, även på de filter där endast 10 ml vatten filtrerats genom. Dock valdes det att inte räkna dessa på grund av deras storlek, då de inte gick att urskilja deras form och därmed elimineras möjligheten att jämföra utseendet med däckpartiklar, vilket i sin tur ökar risken att naturliga partiklar såsom mineraler och organiskt material räknas till antalet antropogena partiklar.



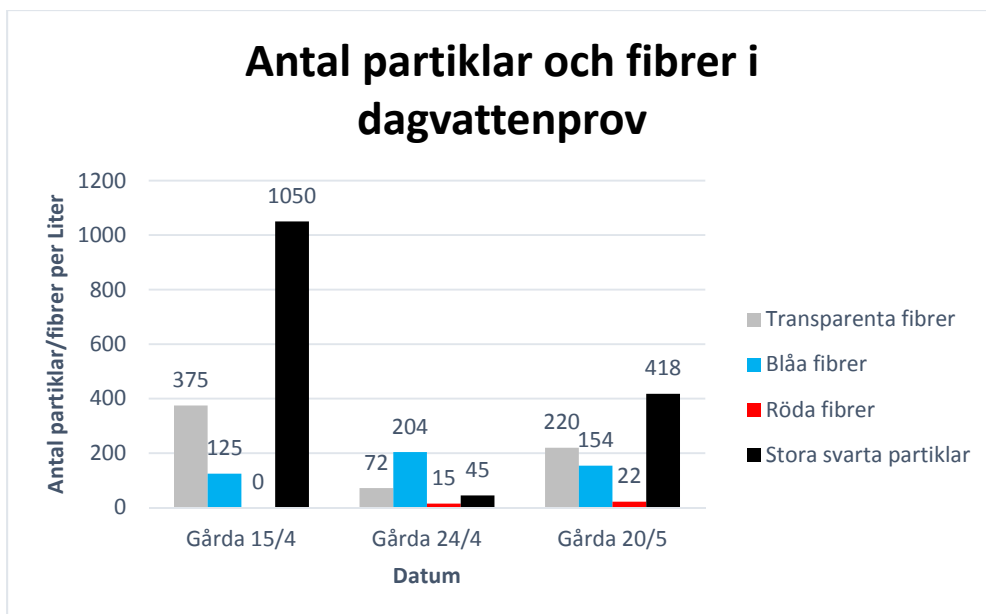
Figur 3. Nermalda bildäck.



Figur 4. Svarta partiklar funna i dagvattenproverna.

Antalet partiklar och fibrer som hittades vid de olika provtagningstillfällena redovisas i figur 5. De stora svarta partiklarna som räknades hade en diameter mellan 30  $\mu\text{m}$  – 400  $\mu\text{m}$ . . Antalet varierade mellan 45 och 1050 per liter.

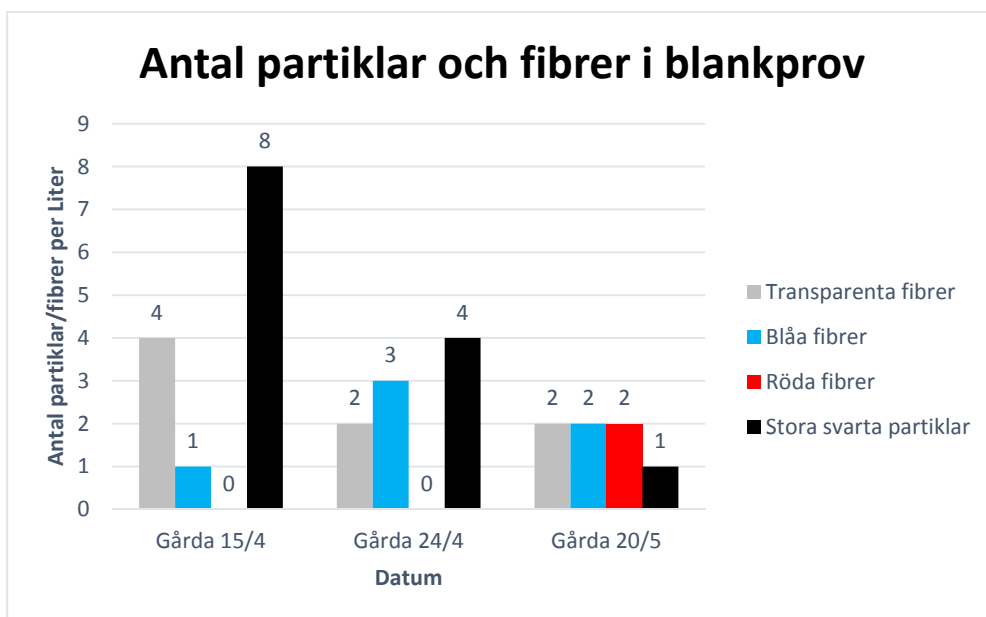
Antal syntetiska fibrer varierade mellan 291 och 500 per liter, där procentandelen transparenta varierade mellan 25 – 75 %, blå varierade mellan 25 – 70 % och röda varierade mellan 0 – 6 %.



Figur 5. Antalet partiklar och fibrer som påträffades vid de olika provtagningsstillfällena.

## 6.2 Blankprover

I blankproverna påträffades samma typer av partiklar och fibrer som i dagvattenproverna. Skillnaden var att blankproverna innehöll färre antal av både partiklar och fibrer. Antalet som hittades i blankproverna vid de tre olika provtagningsstillfällena redovisas i figur 6. I figur 7, 8 och 9 visas fotografier på några av de partiklar och fibrer från blankproverna.



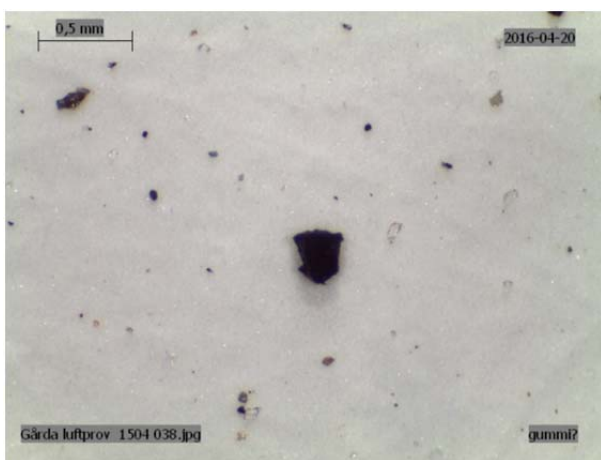
Figur 6. Antalet partiklar och fibrer som påträffades i blankproverna vid de olika provtagningsstillfällena.



Figur 7. Transparent fiber som påträffades i blankprov.



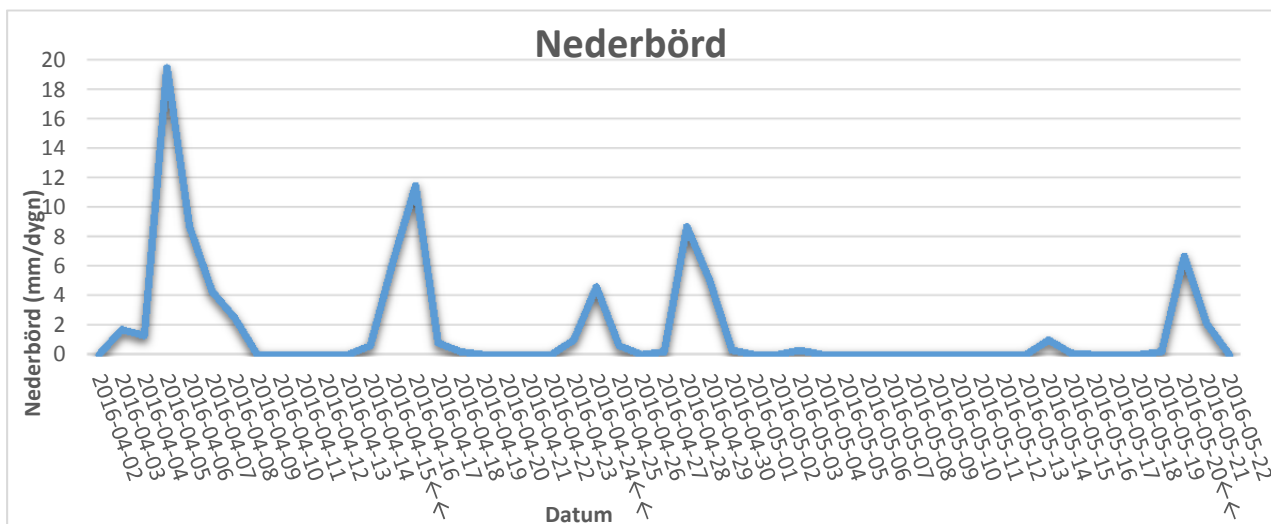
Figur 8. Blå fiber som påträffades i blankprov.



Figur 9. Svart partikel som påträffades i blankprov.

### 6.3 Nederbörd och antal partiklar

Vid jämförelse med SMHIs nederbördsdata går det att se en trend där antalet partiklar ökar med antalet dagar utan regn innan provtagningsdagen. Det utfördes dock för få provtagningar för att fullgöra en statistiskt säker korrelation. Figur 10 visar nederbördsmängden per dygn under den period där provtagning utfördes. Pilarna pekar på de datum där provtagningen utfördes. Ingen trend uppvisas mellan mängden nederbörd tidigare under samma dygn och antalet partiklar i proverna. Det uppvisas inte heller någon trend mellan vattenflödet och antalet partiklar. Se bilaga 1 för information om förhållanden vid provtagning.



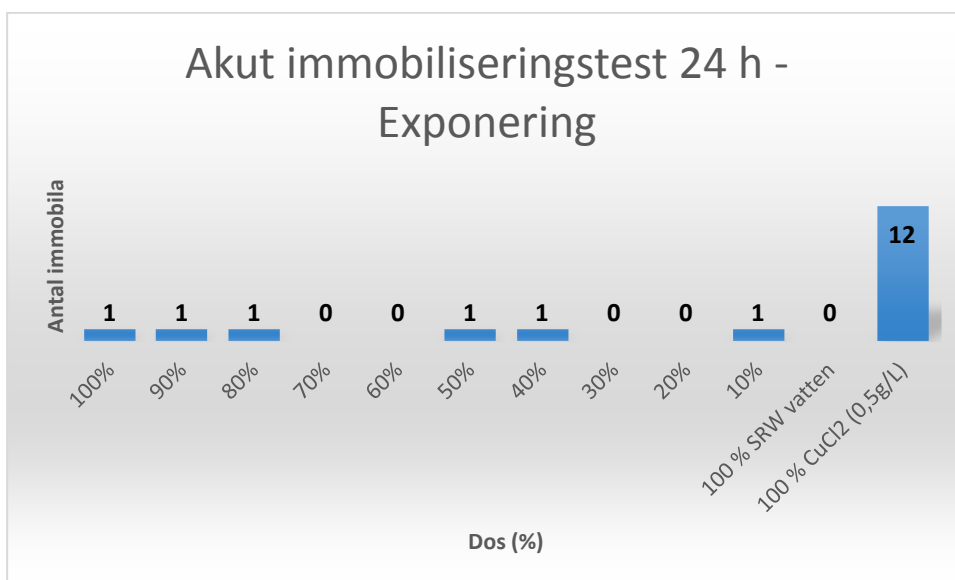
Figur 10. Nederbördsmängden per dygn under den period där provtagning utfördes. Pilarna pekar på de datum som provtagningen utfördes. (Nederbördsdata erhållen från SMHI)

## 6.4 Akut toxicitetstest

Ett EC50 värde är den koncentration där 50 % av testorganismerna immobiliserats. I denna studie erhöles inget EC50 värde från någon av de utförda toxicitetstesterna på *Daphnia Magna*. I nedanstående avsnitt visas resultaten från toxicitetstesterna samt förklaring till varför inget EC50 värde erhöles.

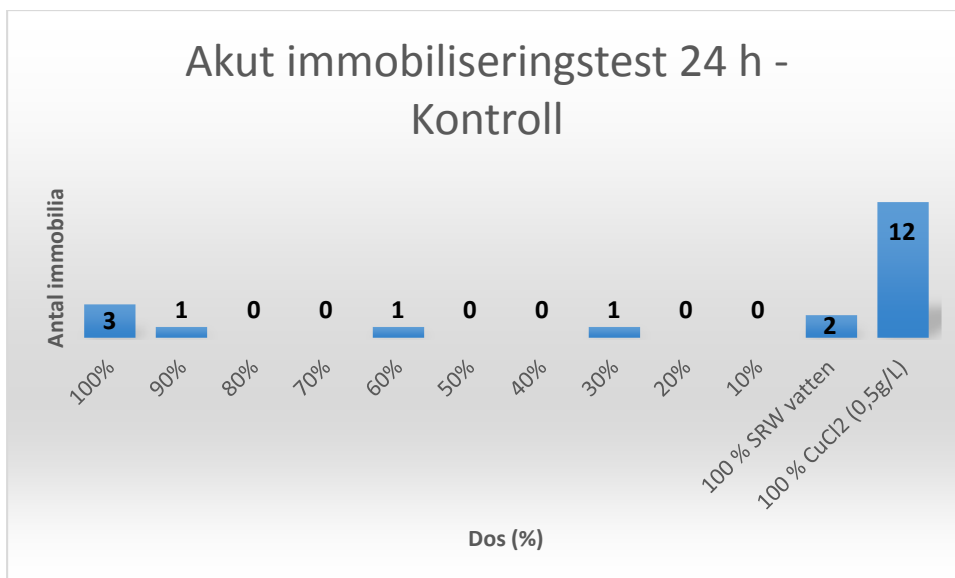
### 6.4.1 Däckpartiklar

Efter 24 h exponering av vatten med urlakade ämnen från däckpartiklar hade ingen dosering uppnått 50 % immobilisering av *Daphnia Magna* och därmed kunde inget EC50 värde erhållas. Resultat efter denna 24 h exponering visas i figur 11. Resultat från kontrollen med milliQ-vatten efter 24 h visas i figur 12.



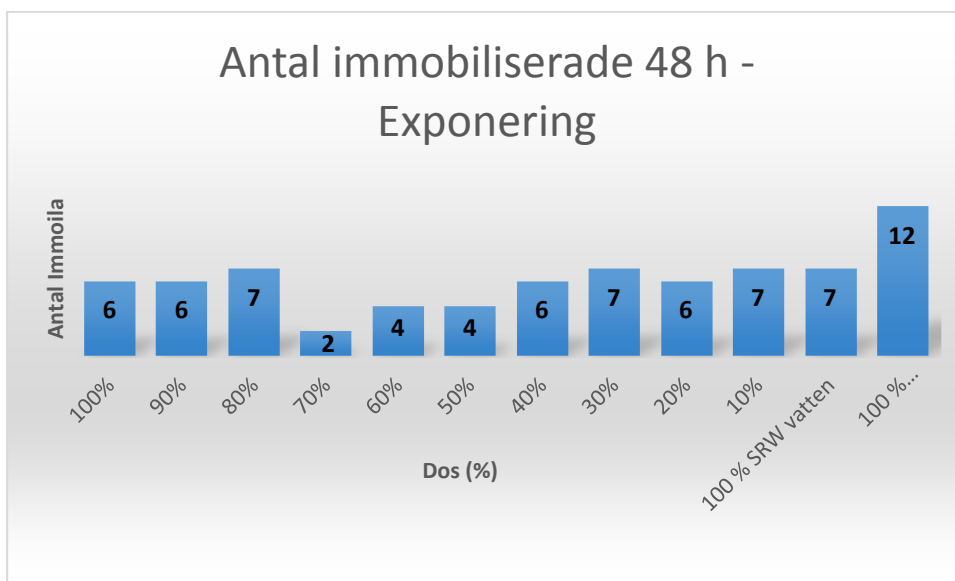
Figur 11. Antal immobilisera *D. Magna* efter 24 h vid exponering av däckpartikelvatten.



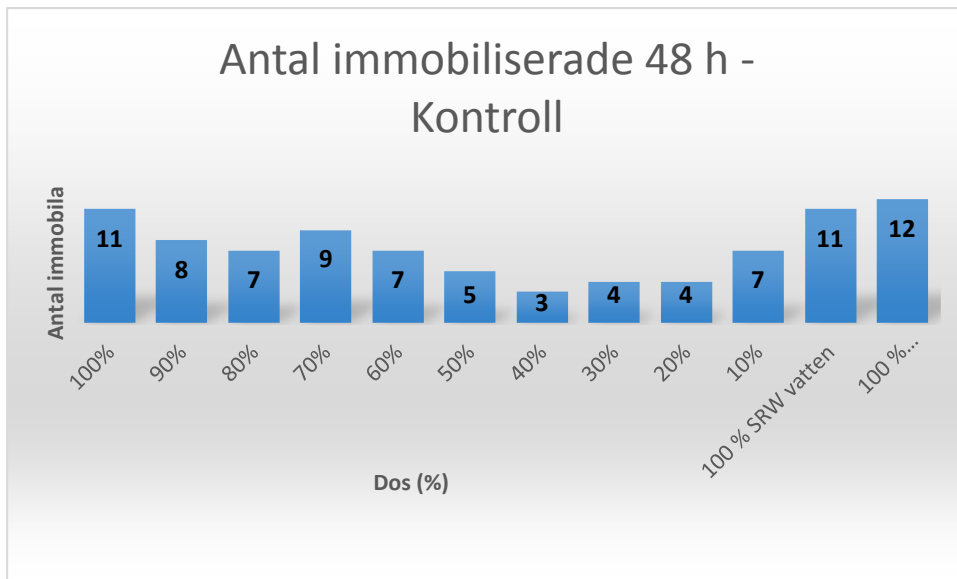


Figur 12. Antal immobila *D. Magna* i kontrollen efter 24 h.

I figur 13 visas antalet immobiliserade *Daphnia Magna* efter 48 h exponering av vatten med urlakade ämnen från däckpartiklar. Över 50% av *Daphnia Magna* immobiliserades redan vid 10 % volym med däckpartikelvatten. På grund av att även 50% *Daphnia Magna* immobiliserades i kontrollen med milliQ-vatten är detta inget tillförlitligt resultat. I figur 14 visas antalet immobila i kontrollen med milliQ-vatten efter 48 h.



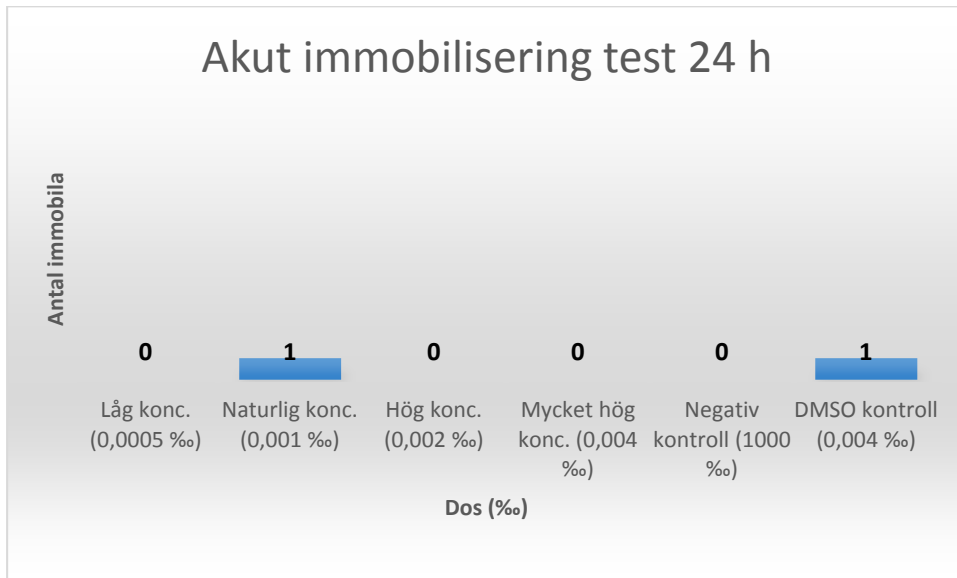
Figur 13. Antal immobila *D. Magna* efter 48 h vid exponering av däckpartikelvatten.



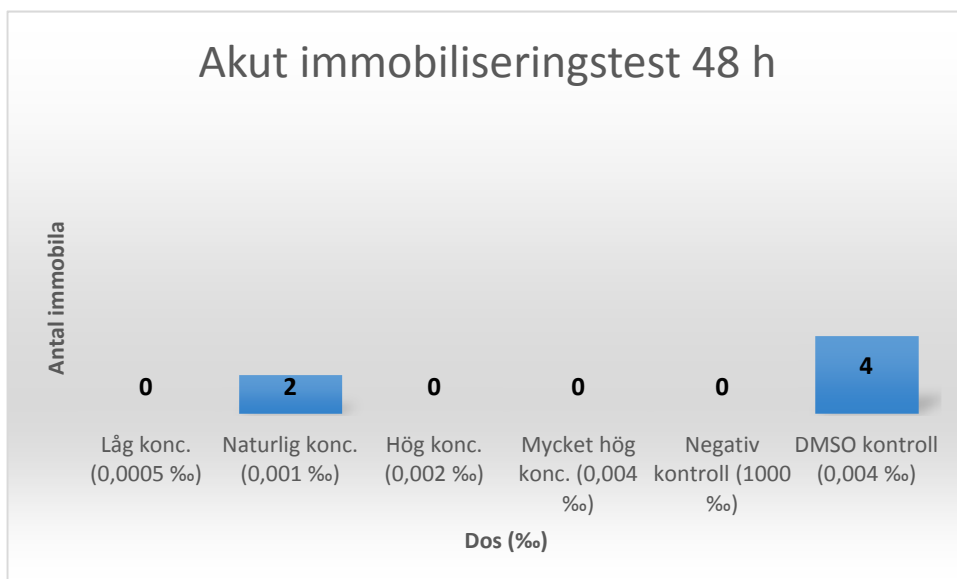
Figur 14. Antal immobila *D. Magna* i kontrollen efter 48 h.

### 6.4.2 Eluat från extraktion

Efter både 24 h och 48 h exponering av eluat från extraktionen hade ingen dosering uppnått 50 % immobilisering av *Daphnia Magna* och därmed kunde inget EC50 värde erhållas. Resultat efter 24 h exponering visas i figur 15. Resultat efter 48 h exponering visas i figur 16.



Figur 15. Antal immobila *D. Magna* efter 24 h vid exponering av eluat från extraktionen.



Figur 16. Antal immobila *D. Magna* efter 48 h vid exponering av eluat från extraktionen.

## 6.5 Mängden mikroplast från vägar i Göteborg

En grov uppskattning över trafikarbetet i Göteborg erhöles av Trafikanalys, en myndighet som förser kunskapsunderlag till transportpolitiken i Sverige. Uppskattningen över Göteborgs trafikarbete baseras på körsträckor för fordon registrerade i Göteborgs kommun. Av Sveriges totala trafikarbete utgör trafiken i Göteborg en procentandel på 4 %, vilket baseras på antagandet att fordon som är registrerade i Göteborg kör lika mycket utanför kommunen som fordon registrerade i andra kommuner kör inom Göteborgs kommun (Anette Myhr, Trafikanalys, personlig kommunikation, 18 april, 2016). I tabell 9 visas trafikarbetet på svenska vägar år 2014. Tabellvärdena är statistik hämtad från Trafikanalys (2016). Det beräknade trafikarbetet för Göteborg vilket uppskattas vara 4 % av Sveriges totala trafikarbete visas i tabell 10.

Tabell 9. Trafikarbetet på svenska vägar år 2014. Statistik hämtad från Trafikanalys (2016).

Fordonsslag	Trafikarbete (milj. km/år)
Motorcykel	665
Personbil	64 521
Buss	969
Lastbil ≤3,5 ton totalvikt	8 396
Lastbil >3.5t - ≤16 ton totalvikt	355
Lastbil >16t - ≤26 ton totalvikt	998
Lastbil >26 ton totalvikt	3322
<b>Totalt</b>	<b>79 227</b>

Tabell 10. Grov uppskattning av trafikarbetet i Göteborg år 2014 baserat på Trafikanalys uppskattning.

Fordonsslag	Trafikarbete (milj. km/år)
Personbil	≈ 2581
Buss	≈ 39
Tung trafik (Tunga lastbilar inräknat)	≈ 187
<b>Totalt</b>	<b>≈ 2807</b>

En uppskattning över Göteborgs trafikarbete erhöles även från Maria Aronsson, Trafikkontoret i Göteborg vars uppskattning ligger på 2,5 – 3,4 % av Sveriges totala trafikarbete (Maria Aronsson, Miljöhandläggare Trafikkontoret Göteborgs Stad, personlig kommunikation, 13 april, 2016). Det beräknade trafikarbetet för Göteborg baserat på Trafikkontorets uppskattning vilket visas i tabell 11.

Tabell 11. Grov uppskattning av trafikarbetet i Göteborg år 2014 baserat på Trafikkontoret uppskattning.

Fordonsslåg	Trafikarbete (milj. km/år)
Personbil	≈ 1613 – 2194
Buss	≈ 24 – 33
Tung trafik (Tunga lastbilar inräknat)	≈ 117 - 159
<b>Totalt</b>	≈ 1754 - 2386

Generella emissionsfaktorer för däck erhölls från VTI (Gustavsson, 2001) samt från European Commission – DG TrEn, 5<sup>th</sup> Framework Programme (Luhana et.al (2004)). Emissionsfaktorn för personbil skiljer sig åt mellan de två rapporterna, varav den sistnämnda ej har något emissionsvärde för bussar, utan alla emissionsberäkningar utförda för buss baseras på rapporten av Gustavsson, 2001. Emissionsfaktorn för personbil enligt Luhana et.al (2004) är 0,1 g/vkm. Emissionsfaktorer enligt Gustavsson (2001) visas i tabell 12. Till detta examensarbete hittades inga emissionsfaktorer för lastbilar, motorcyklar och andra fordonsslåg vilka därmed inte tagits med i kalkyleringen.

Tabell 12. Tabellvärdet för personbil gäller per däck. Tabellvärdet för buss gäller för hela fordonet, baserat på antagandet att alla bussar har 4 däck. Enheten är g vkm<sup>-1</sup> (gram per fordonskilometer) (Gustavsson, 2001)

Personbil	Buss
0,05	0,7

Baserat på ovanstående fakta beräknas emissioner av däckpartiklar i Göteborg vara mellan 178 till 543 ton. En sammanfattning av beräknade emissioner av däckpartiklar visas i tabell 13. I bilaga 2 redovisas en mer utförlig beräkning.

Tabell 13. Sammanfattning av resultat från beräkningar.

Emissionsfaktor Personbil	Emissionsfaktor Buss (g/vkm)	Procentandel trafikarbete för Göteborg	Personbilar (Ton)	Bussar (Ton)	Totalt (Ton)
0,05 g/vkm/däck (VTI)	0,7 (VTI)	Uppskattning Trafikanalys (4 %)	516	27	<b>543</b>
0,05 g/vkm/däck (VTI)	0,7 (VTI)	Uppskattning Trafikkontoret (2,5 – 3,4 %)	323 – 439	17 – 23	<b>340 – 462</b>
0,1 g/vkm (Luhana et.al (2004))	0,7 (VTI)	Uppskattning Trafikanalys (4 %)	258	27	<b>285</b>
0,1 g/vkm (Luhana et.al (2004)).	0,7 (VTI)	Uppskattning Trafikkontoret (2,5 – 3,4 %)	161 – 219	17 – 23	<b>178 - 242</b>

På grund av brist på data över hur mycket asfalt och vägmarkering som slits bort från vägarna i Göteborgs gick det inte att uppskatta emissionerna av mikroplast som härrör från polymermodifierat bitumen och termoplastisk vägmarkering.

## 7 Diskussion

### 7.1. Antal fibrer och partiklar i dagvattenproverna

Resultatet som beskrivs under 6.1 det vill säga att ingen trend mellan vattenflödet och antalet partiklar existerar, förvånar då det kan tänkas att fler partiklar bör föras med dagvattnet vid högre vattenflöde och därmed resultera i fler partiklar i proverna. Dock kan det också tänkas att ett högre vattenflöde späder ut antalet partiklar och därmed bör resultera i lägre antal partiklar i proverna. Dock beror avsaknaden av en korrelation med störst sannolikhet på utförandet av provtagningen. Då dagvattenproverna utfördes som stickprov erhöles endast momentana värden, vilket inte ger någon tillförlitlig flödesproportionell provtagning (Alm et.al, 2010). En förklaring till trenden som uppvisades, att antalet partiklar ökar med antalet dagar utan regn innan provtagningsdagen, kan bero på att fler dagar utan regn resulterar i att fler partiklar ansamlas på vägarna. När det väl regnar förs en större koncentration av partiklar med dagvattnet som rinner av från vägens yta.

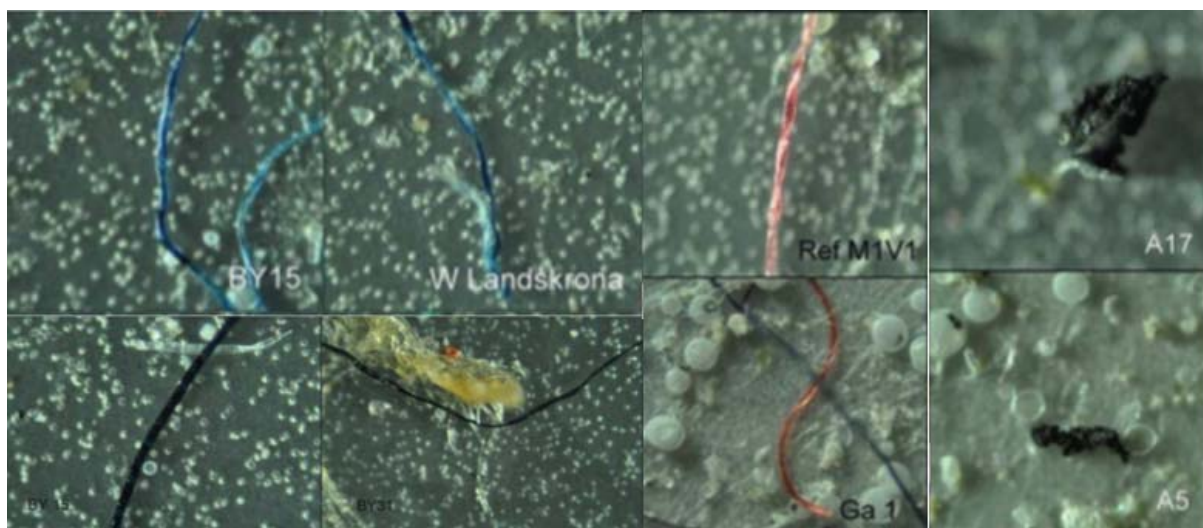
På grund av brist på mätutrustning för att mäta vattenflöde, det få antalet provtagningar, provtagningsmetodik med mera går det inte att besvara frågeställningen om hur stor mängd mikroplast som sprids med dagvattenavrinningen från E6 i Göteborg.

### 7.2 Partiklarnas och fibrernas karaktär

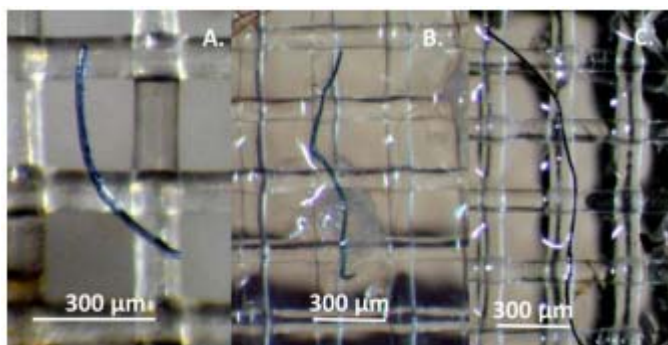
I dagvattenproverna påträffades till störst del svarta partiklar samt blåa, röda och transparenta fibrer. De partiklar och fibrer som observerats i denna studie är till utseendet mycket lik antropogena partiklar och fibrer som observerats i andra studier där prover i vattenmiljöer har utförts. I en studie av Norén et.al (2009) utförs en provtagning av smältvatten från en mindre trafikerad stadsgata i Lysekil. Resultatet är snarlikt denna studies resultat då det beskrivs att ett stort antal svarta partiklar hittas samt även röda, svarta och blå fiber. I studien av Norén et.al (2009) hittas även röda partiklar i smältvattnet, vilket dock inte påträffats i denna studie. I samma studie utförs provtagning av antropogena partiklar i havsvatten. Även där hittas liknande svarta partiklar samt fibrer i olika färger vilka visas i figur 17.

I en annan studie av Norén och Naustvoll (2010) påträffas ett flertal svarta mikroskopiska partiklar vid provtagning av marint vatten. I studien redogörs att en mätbar fraktion av de svarta partiklarna kan vara av antropogent ursprung såsom däck och asfalt men påpekar också att det även kan vara naturliga partiklar som torv. I samma studie påträffas även fibrer av antropogent ursprung som vid analysering visas vara textilfibrer av polyester samt bomull/ylle. I studien jämförs utseendet på de funna svarta partiklarna med bilder på olika mineraler och organiskt material som torv. Denna jämförelse visar att de olika partiklarna, trots olika ursprung, är väldigt lika i utseende. Slutsatsen i Norén och Naustvoll's (2010) rapport är att det inte går med säkerhet att fastställa ursprunget för de svarta partiklarna funna i vattenproverna, men att en mätbar del kan vara av antropogent ursprung.

Även en studie gjord av Magnusson och Wahlberg (2014) har hittat liknande typer av fiber. I denna studie undersöktes förekomsten av mikroskopiskt skräp i det inkommande och utgående vattnet från olika reningsverk. Genom att göra en Fourier Transform Infraröd Spektroskopi (FTIR-analys) kommer de fram till att de blå fibrer som hittades var polyamidfiber (Nylon), bomullsfiber och Polyetylentereftaldfiber (PET). Se figur 18.



Figur 17. Bild på röda, blå och svarta fibrer samt svarta partiklar som påträffades vid provtagning av havsvatten i en studie av Norén et al. 2009. Fotografi taget från Norén et al. 2009.



Figur 18. Fotografier på de antropogena fibrer som hittades vid provtagning av det inkommande och utgående vatten från två olika reningsverk. Från höger till vänster visas ett Polyamidfiber, Bomullsfiber och ett Polyetylentereftalatfiber (PET). Fotografi taget från Magnusson & Wahlberg (2014)

Med anledning av likheten i utseende med tidigare studier kan sannolikt de fibrer som påträffades i denna studie vara Nylon, PET, Bomull eller Ull. Som redovisas i avsnitt 2.3.3 innehåller ett däck generellt 5,5 % textilier vilket innebär att fibrerna ursprungligen kan komma från däckslitage. Ett annat antagande är att proverna blivit kontaminerade från exempelvis kläder, vilket sker ganska lätt och som även misstänks vara fallet i studien av Norén och Naustvoll (2010).

I denna studie upptäcktes, under mikroskoperingen, att många av de svarta partiklar som påträffades i proverna hade ett väldigt likartat utseende jämfört med de studerade däckpartiklarna. Med hänvisning till slutsatsen i Norén och Naustvolls studie går det dock inte att avgöra om de svarta partiklarna som hittades i proverna är av antropogent eller naturligt ursprung genom att endast göra denna jämförelse.

### 7.3 Blankprover

Samma typer av partiklar hittades i dagvattenproverna som i blankproverna, Det var dock färre partiklar i blankproverna. Det går inte att säga helt säkert vad detta beror på. En hypotes är att de partiklarna som fanns i blankproven var suspenderade i luften men hjälp av regnet deponerades i flaskan genom våtdeposition. En del var större än 100 µm i diameter och kan enligt litteraturen inte vart suspenderade i luften speciellt länge. Provtagningen skedde strax intill E6 vilket kan tänkas påverka genom att den höga trafiken virvlar upp vägdamm och



annat som sedan deponeras i blankprovet. Från början var det tänkt att blankprover skulle representera bakgrundshalten vars resultat sedan skulle subtraheras bort från halterna av partiklar hittade i dagvattenproverna. Denna korrigering valdes att inte utföras eftersom, som tidigare nämnts, provtagningen skedde så pass nära E6 vilket kan tänkas påverka blankproverna genom att luftburna däckpartiklar deponeras i provtagningsflaskorna, som då inte visar någon tillförlitlig bakgrundshalt.

#### **7.4 Toxicitetstest**

Toxicitetstestet där *D. Magna* exponerades för vatten med urlakade ämnen från däckpartiklar immobiliserades över 50% redan vid 10 % volym med däckpartikelvatten. Till följd av att för många *Daphnia Magna* immobiliserades i kontrollen går det inte att säkerhetsställa om de *Daphnia Magna* som exponerades blev påverkade av ämnens toxikologiska effekt eller av annan orsak. Eftersom att en *Daphnia Magna* fick leva i 200 µl testvätska kan det höga antalet immobiliserade bero på att temperaturen blev för hög. Toxicitetstesten utfördes under soliga och varma dagar vilket resulterade i att rummet där *Daphnia Magna* hölls blev ganska varmt.

Toxicitetstestet med eluat från extraktionen verkade inte ha någon större toxikologisk påverkan på *D. Magna*. Tidigare studier har dock visat att både partiklar från däck och asfalt samt nanopartiklar av plast är toxiska för djur (Norén, Ekendahl, & Johansson, 2009; Besseling, Wang, Lüring & Koelmans, 2014). I en studie utförd av Wik & Dave (2006) fick gummi från däck ligga i destillerat vatten under 72 h. Därefter filtrerades vattnet och exponerades för *Daphnia Magna*. De EC50 värden som erhöles låg mellan 0.5 till >10.0 g/L.

En annan studie visar att nanopartiklar av polystyren påverkar fortplantningen hos *Daphnia Magna* negativt. Dock är exponeringen 100 gånger högre än vad som observerats i naturlig miljö (Besseling, Wang, Lüring & Koelmans, 2014).

#### **7.5 Beräkningar**

De beräkningar som gjorts har baserats på grova uppskattningar och behöver händelsevis inte spegla verkligheten. Dessutom baseras beräkningen endast på utsläpp från personbilar och bussar, vilket beror på att emissionsfaktorer endast hittades för dessa två fordonsslag. Resultatet hade blivit högre om även lastbilar, motorcyklar och andra fordonsslag tagits med i kalkyleringen. Resultatet från detta examensarbete ska endast ses som en första försök till att uppskatta mängden mikroplast som härrör från slitage av däck i Göteborg. Fler studier som baseras på säkrare uppgifter och underlag krävs för att få ett mer pålitligt resultat.

#### **7.6 Vidare analysering**

De partiklar och fibrer som hittades i proverna i detta arbete hade kunnat studeras ytterligare genom att göra någon form av spektrofotometri för att ta reda på vilka ämnen de funna fragmenten bestod av. På grund av tidsbrist uteblev denna analys. Dessutom lämpar det sig inte spektrofotometri som metod för att analysera svarta partiklar då dessa i princip absorberar allt infrarött ljus (Norén & Naustvoll, 2010). Om mer tid funnits hade även en XRF-analys kunnat göras och genom resultat från denna analysering resonera vilka typer av partiklar man möjligtvis har i sitt prov.

## **7.7 Förslag inför framtida studier**

I detta avsnitt diskuterades vad som krävs för att få till ett mer tillförlitligt resultat som kan tas i åtanke inför framtida studier.

### **7.7.1 Provtagning**

Mängden mikroplast som härrör från bilvägar varierar med en mängd faktorer. Årstiden spelar roll då mängden regn, snö, temperatur, plogning, dubbdäck med mera påverkar slitaget av vägar och däck. För att få ett representativt årsmedelvärde krävs att kontinuerlig mätning av vattenflöde och partiklar sker under ett år. Dessutom varierar väderförhållandena från år till år och därför hade det vart önskvärt att få en kontinuerlig mätning som sträcker sig över flera års tid för att få ett tillförlitligt resultat. Ett flertal andra faktorer som också påverkar mängden slitage och som man bör ha i åtanke vid denna typ av provtagning nämns i studien ”Measurement of non-exhaust particulate matter” av Luhana et.al (2004) vilka presenteras under avsnitt 2.3.3.

### **7.7.2 Beräkning**

Fler studier behövs för att få ett säkrare resultat över kvantiteten mikroplast från Göteborgs vägar och trafik. Säkrare uppgifter behövs kring Göteborgs trafikarbete, vilka typer av material för vägmarkering som används och procentandelen polymerer i dessa. Dessutom behövs mer forskning där slitstyrkan och hållbarheten för vägmarkeringen och asfalt studeras eftersom att kunskapsläget än så länge är bristande.

## 8 Slutsatser

I detta examensarbete har mikroplast i dagvatten som härrör från Göteborgs vägnät studerats. Tre vattenprover har utförts i en dagvattenbrunn vars dagvatten kommer från E6 i Göteborg. Syftet var att undersöka kvantiteten och typ av mikroplaster samt vilken toxikologisk effekt dessa har på *Daphnia Magna*. Dessutom har en uppskattning över Göteborgs emissioner av mikroplast som uppkommit genom slitage av väg och däck utförts.

Slutsatserna från detta examensarbete sammanfattas i följande punkter:

- I dagvattenproverna hittades främst svarta partiklar samt röda, blå och transparenta fibrer.
- Antalet svarta partiklar som påträffades i dagvattenproverna varierade mellan 45 och 1050 stycken per liter. Antal syntetiska fibrer varierade mellan 291 och 500 stycken per liter, där procentandelen transparenta varierade mellan 25 – 75 %, blåa varierade mellan 25 – 70 % och röda varierade mellan 0 – 6 %.
- De fibrer som påträffades i dagvattenproverna är troligen material av nylon, PET, bomull eller ylle. En förklaring till varför dessa fibrer påträffades kan vara att proverna blivit kontaminerade.
- De svarta partiklar som påträffades kan vara antropogena partiklar som uppkommit genom däck- och vägslitage. Vid mikroskopering visar det sig att en del av de svarta partiklar som påträffades i dagvattenproverna är till utseendet mycket likt däckpartiklar. Det går dock inte att fastställa om partiklarna i dagvattenproverna är av naturligt eller antropogent ursprung med den analyseringsmetod som används i detta examensarbete.
- Inget tillförlitligt resultat kan erhållas över hur mycket mikroplast som förs med dagvattnet som kommer från E6 i Göteborg genom att endast utföra stickprovstagningar. Kontinuerlig mätning bör utföras för att få periods enhetliga resultat.
- Toxicitetstestet med eluat från extraktionen verkade inte ha någon större toxikologisk påverkan på *D. Magna*. Det andra utförda toxicitetstestet där *D. Magna* exponerades för vatten med urlakade ämnen från däckpartiklar immobiliserades över 50% redan vid 10 % volym med däckpartikelvatten. Till följd av att för många *Daphnia Magna* immobiliserades i kontrollen går det inte att säkerhetsställa om de *Daphnia Magna* som exponerades blev påverkade av ämnens toxikologiska effekt eller av annan orsak.
- Emissioner av däckpartiklar i Göteborg uppskattas vara mellan 178 till 543 ton/år.
- De värden som används vid beräkning av emissioner i Göteborg baseras på grova uppskattningar vilket gör att resultatet ska ses med stor osäkerhet samt att det behövs mer tillförlitlig data för att kunna göra en säkrare bedömning över hur mycket mikroplast som uppkommer från Göteborgs vägnät.

## 9 Referenser

- Alm, H., Banach, A., Larm, T. (2010). *Förekomst och rening av prioriterade ämnen, tungmetaller samt vissa övriga ämnen i dagvatten*. Hämtad 2016-05-20, från [http://vav.griffel.net/filer/Rapport\\_2010-06.pdf](http://vav.griffel.net/filer/Rapport_2010-06.pdf)
- Andrady, A.L., 2011. Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* 62, 1596–1605.
- Bennerstedt, K. (2005). *Lokal rening av trafikdagvatten*. Stockholm Vatten AB. Hämtad 2016-05-20, från [http://vav.griffel.net/filer/VA-Forsk\\_2005-05.pdf](http://vav.griffel.net/filer/VA-Forsk_2005-05.pdf)
- Besseling, E., Wang, B., Lüring, M. & Koelmans, A.A. (2014). Nanoplastic affects growth of *S. obliquus* and reproduction of *D. magna*. *Environmental science & technology*, vol. 48(20), ss. 12336.
- Evans, A., & Evans, R. (2006). *The Composition of a Tyre: Typical Components*. The Waste & Resources Action Programme.
- Fendall, L.S., & Sewell, M.A. (2009). Contributing to marine pollution by washing your face: Microplastics in facial cleansers. *Marine Pollution Bulletin*, 58 (8), ss. 1225–1228. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2009.04.025
- Göteborgs stad. (u.å.)a. *Om dagvatten*. Hämtad 2016-05-11, från <http://goteborg.se/wps/portal?uri=gbglnk%3agbg.page.a7045e4a-0363-4a5f-953c-5c2ccd6ef337>
- Göteborgs stad. (u.å.)b. *Trafikmängder på olika gator*. Hämtad 2016-05-01, från <http://goteborg.se/wps/portal?uri=gbglnk%3agbg.page.9e45336d-a23b-46f5-92e6-e556814192c0#htoc-0>
- Hulthén, A., André, J. (2015). *Utfasning av produkter med tillsatser av mikroplast inom Göteborg stad*. Göteborgs kommunstyrelse, Handling 2015 nr 122.
- Lassen, C., Hansen, S., Magnusson, K., Norén, F., Hartmann, N., Jensen, P., Nielsen, T., Brinch, A. (2015). *Microplastics - Occurrence, effects and sources of releases to the environment in Denmark*. The Danish Environmental Protection Agency.
- LTU (2016). *Materialåtervinning av uttjänta däck*. Hämtad 2016-04-18, från <http://www.ltu.se/research/subjects/Geotechnicalengineering/Dackatervinningsportalen/Mateialatervinning>.
- Luhana, L., Sokhi, R., Warner, L., Mao, H., Boulter, P., McCrae, I., Wright, J., Osborn, D. (2004). *Characterisation of Exhaust Particulate Emissions from Road Vehicles (PARTICULATES)*. European Commission – DG TrEn, 5th Framework Programme.
- Magnusson, K. & C. Wahlberg (2014). *Mikroskopiska skrappartiklar i vatten från avloppsreningsverk*. IVL Svenska Miljöinstitutet, rapport B 2208.
- Magnusson, K., Eliasson, K., Fråne, A., Haikonen, K., Hultén, J., Olshammar, M., Stadmark, J., Voisin, A. (2016). *Swedish sources and pathways for microplastics to the marine environment*. IVL Svenska Miljöinstitutet, rapport C 183.

- Norén, F., Ekendahl, S., Johansson, U. (2009). *Mikroskopiska antropogena partiklar i svenska hav*. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.
- Norén, F & Naustvoll, L. (2010). *Survey of microscopic anthropogenic particles in Skagerrak*. Institute of Marine Research.
- NVF Utskott 33. (2000). *Asfaltens Gröna Bok*. Nordiska Vägtekniska Förbundet. Rapport 2/2000.
- Pant, P. & Harrison, R.M. (2013). Estimation of the contribution of road traffic emissions to particulate matter concentrations from field measurements: A review. *Atmospheric Environment*, vol. 77, ss. 78-97.  
DOI:10.1016/j.atmosenv.2013.04.028
- Roadline AB. (u.å.). *VÄGMARKERING MED TERMOPLASTIK MASSA*. Hämtad 2016-04-21, från <http://roadline.se/sida/Vagmarkering-med-termoplastik-massa>
- Ryan, P.G. (2015). A Brief History of Marine Litter Research. I M. Bergmann et al. (eds.), *Marine Anthropogenic Litter*. Springer International Publishing, ss 1-25.  
DOI: 10.1007/978-3-319-16510-3\_1
- Scottish Road Research Board. (2015). *Durability of White Thermoplastic Road Markings Phase 1: Literature Review and Consultation*.  
<http://www.transport.gov.scot/system/files/Durability%20road%20markings%20full.pdf>
- Statens väg- och transportforskningsinstitut (VTI). (u.å.)a. *Bindemedel*. Hämtad 2016-04-20, från <http://www.vti.se/sv/forskningsomraden/vag--och-banteknik/bindemedel/>
- Statens väg- och transportforskningsinstitut (VTI). (u.å.)b. *Nedbrytning, beständighet, klimatinverkan*. Hämtad 2016-04-20, från <http://www.vti.se/sv/forskningsomraden/vag--och-banteknik/nedbrytning-bestandighet-klimatinverkan>
- Sundt, P., Schulze, P-E., & Syversen F. (2014). *Sources of microplastics-pollution to the marine environment*. Mepex for the Norwegian Environment Agency.
- Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W. G., et al. (2004). Lost at sea: Where is all the plastic? *Science*, vol. 304(5672), ss. 838.
- Thorpe, A., & Harrisson, R. (1998). *Tyres and the environment*. London Environment Agency.
- Thorpe, A., & Harrisson, R. (2008). Sources and properties of non-exhaust particulate matter from road traffic: A review. *Science of the total environment* 400(1): 270-282.
- Trafikanalys. (2016). *Trafikarbete på svenska vägar*. Hämtad 2016-04-25, från <http://www.trafa.se/globalassets/statistik/trafikarbete/trafikarbete-pa-svenska-vagar-1990-2015.pdf>
- Vägverket (2006). *Åtgärder för att minska emissioner av partiklar från slitage och uppvirvling från vägtrafiken*. Vägverket, Generaldirektören 781 87 Borlänge.
- Västerås Vägmarkering AB. (u.å.). *Tjänster*. Hämtad 2016-04-21, från <http://www.vagmarkering.se/vara-tjanster/>
- Wik, A. & Dave, G. (2006). Acute toxicity of leachates of tire wear material to *Daphnia magna* - Variability and toxic components. *Chemosphere*, vol. 68(10), ss. 1777–1784.  
DOI: 10.1016/j.chemosphere.2005.12.045

## Bilaga 1 Sid 1(1)

### Rådande förhållanden innan och under provtagningstillfällena

Datum	Dag och tid	Vattenflöde	Regn tidigare samma dygn	Antal dagar sen senaste regnet	Kommentar
15/4	Fredag dag kl. 12.30 – 13.30	Väldigt litet, nästan stilla	1,9 mm	7 dagar (2.5 mm)	Regnade lite under provtagning
24/4	Lördag kväll kl. 19.30 – 20.30	Ganska stort	5,3 mm	7 dagar (9.4 mm)	Några få droppar regn underprovtagning
20/5	Fredag kväll kl. 18.30 – 19.30	Medel	6,9 mm	5 dagar (0,2mm)	Inget regn under provtagning

## Bilaga 2 Sid 1(2)

### Beräkning av årliga emissioner av däckpartiklar i Göteborg

#### Beräkning enligt Trafikanalys uppskattning samt emissionsfaktor från Gustavsson, 2001

*Baserat på Gustavssons (2001) emissionsfaktorer samt Trafikanalys uppskattade värdet på antal körda kilometer i Göteborg under ett år ger följande värde på trafikarbetet samt däck-emissioner från trafiken i Göteborg:*

Trafikarbete personbilar: 2581 milj km/år

Trafikarbete bussar: 39 milj km/år

Emissioner:

$0,05 \times 2581 \times 10^6 \times 4 \approx 516 \times 10^6$  för personbilar

$0,7 \times 39 \times 10^6 \approx 27 \times 10^6$  för bussar

Totalt:  $543 \times 10^6$  gram = 543 ton gummi.

#### Beräkning enligt Trafikkontorets uppskattning samt emissionsfaktor från Gustavsson, 2001

*Trafikkontoret i Göteborg uppskattar att Göteborgs trafikarbete ligger på 2,5 – 3,4 % av Sveriges totala trafikarbete. Denna uppskattning ger följande värde på trafikarbetet samt däck-emissioner från trafiken i Göteborg:*

Trafikarbete personbilar: 1613 – 2194 milj km/år

Trafikarbete bussar: 24 – 33 milj km/år

Emissioner:

Personbilar: 323 – 439 ton

Bussar: 16,8 – 23,1 ton

Totalt: ca 340 – 462 ton gummi.

#### Beräkning enligt Trafikanalys uppskattningar samt emissionsfaktorer från Luhana et.al, 2004

*Resultat med utsläppsfaktorn 0,1 g/vkm för personbilar ger följande emissioner för personbilar i Göteborg:*

$0,1 \times 2581 \times 10^6 = 258,1 \times 10^6$  g gummi-partiklar från personbilar per år i Göteborg

Detta adderat med den beräknade utsläppsmängden för bussar ger ett totalt utsläpp på 285,1 ton g gummiemissioner/år.

## **Bilaga 2** Sid 2(2)

Beräkning enligt Trafikkontorets uppskattningar samt emissionsfaktorer från Luhana et.al, 2004

$$0,1 \times 1613 \times 10^6 = 161,3 \times 10^6 \text{ g}$$

$$0,1 \times 2194 \times 10^6 = 219,4 \times 10^6 \text{ g}$$

Mellan  $161,3 - 219,4 \times 10^6$  g gummi-partiklar från personbilar per år i Göteborg

Detta adderat med den beräknade utsläppsmängden för bussar ger ett totalt utsläpp mellan ca 178 – 285 ton/år.

Emissioner av gummi från trafiken i Göteborg är mellan 178 – 543 ton/år.