

Beräkningar med NORTRIP-modellen för att uppskatta utsläpp, och halter i luft, av däckslitagepartiklar

Magnuz Engardt



Projektet är finansierat av VTI

SLB-analys, 23 november 2021

SLB 53:2021



Uppdragsnummer	2021164
Daterad	2021-11-23
Handläggare	Magnuz Engardt
Status	Granskad av: Michael Norman

Förord

Denna rapport är en redovisning av ett projekt som syftar till att uppskatta emissioner, och halter i luft, av däckslitagepartiklar i Stockholmsområdet. Projektet är finansierats av Statens väg- och transportforskningsinstitut, VTI.

Projektet är genomfört av SLB-analys vid Miljöförvaltningen i Stockholm. Projektledare vid SLB-analys har varit Magnuz Engardt. Kontaktperson på VTI har varit Nina Svensson.

Innehåll

Sammanfattning	6
Inledning	7
NORTRIP-modellen	8
Gauss-modellering	15
Exempel på resultat.....	16
Emissioner till luft.....	16
Halter i luft	16
Airviro-inställningar och efterbehandling av data	18
Diskussion.....	20
Referenser	21

Sammanfattning

Vi har använt NORTRIP-modellen för att beräkna timvisa utsläpp av PM10-däckslitage över ett område fokuserat över Stockholm. Emissionerna har sedan använts i en gaussisk spridningsmodell för att beräkna halter i luft över samma område.

Däckslitageemissionerna uppvisar en tydlig säsongsvariation med högst emissioner under vår och tidig sommar och lägst emissioner under vintern. De totala emissionerna av PM10-däckslitage uppgår i vår studie till 96 ton per år. Detta är nästan dubbelt så stort som PM10-avgasemissioner, vilka är 51 ton per år inom området.

De modellerade halterna av PM10-däckslitagepartiklar i luft varierar kraftigt över området men är försumbara några hundra meter från utsläppskällorna längs vägarna.

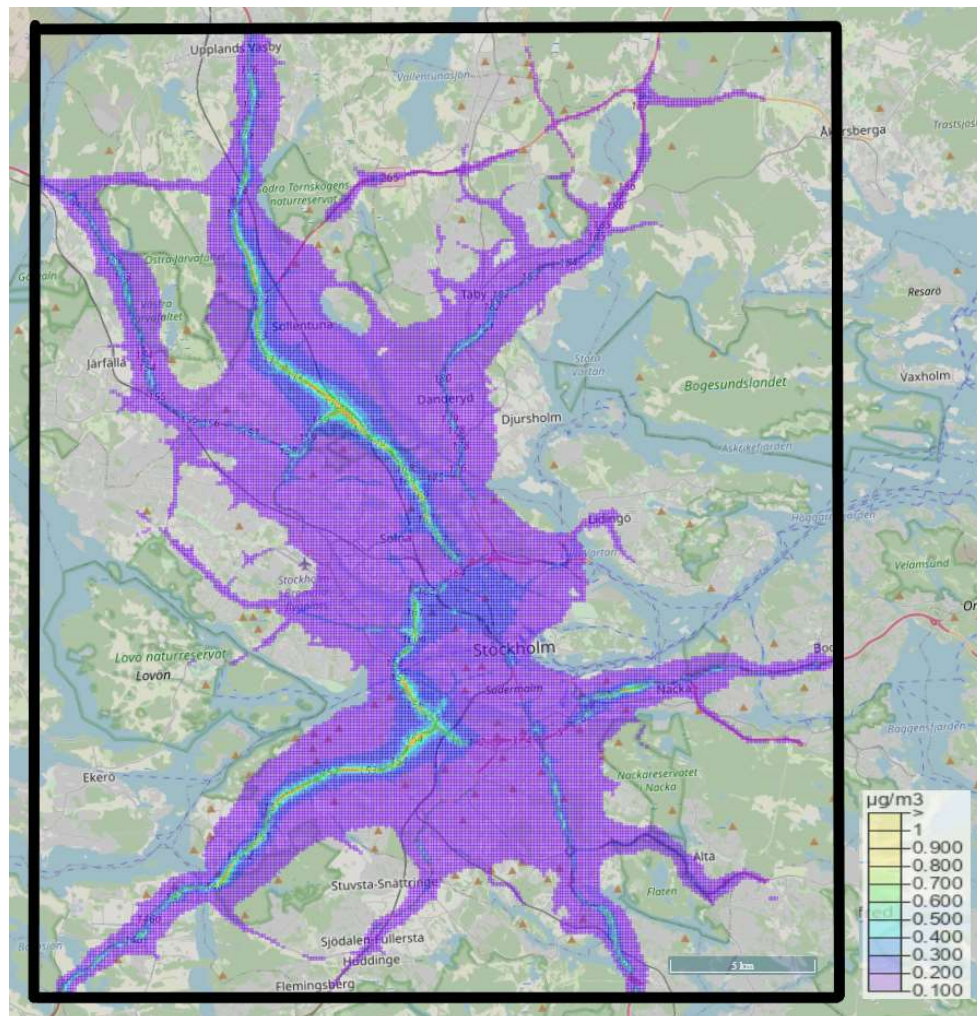
Resultaten har konverterats från SLB:s interna format (Airviro) till NetCDF, som levererats till VTI för vidare behandling och analys.

Inledning

Halterna av PM10 (partiklar $< 10 \mu\text{m}$ i diameter) i Stockholm överskrider regelmässigt preciseringarna i det nationella miljökvalitetsmålet för Frisk luft [1, 2].

PM10 består av en rad olika kemiska komponenter, bland annat s.k. mikroplaster. Stockholm stad har inlett ett arbete med att studera och minska källorna för mikroplaster i staden [3]. En av de viktigaste källorna för mikroplaster i utomhusluften antas vara slitage från rullande bildäck [3,4]. För att uppskatta den rumsliga och tidsmässiga variationen av mikroplast-emissioner från däckslitage har vi, i denna studie, använt NORTRIP-modellen [5,6]. Modellen är uppsatt över ett $28 \text{ km} \times 34 \text{ km}$ område fokuserat på Stockholm, se Figur 1.

Indata till NORTRIP-modellen utgörs av Östra Sveriges Luftvårdsförbunds emissionsdatabas [7], samt meteorologi för året 2019, som hämtas från SLB:s Airviro-system [8]. Förutom NORTRIP-modellen har vi även använt en gaussisk spridningsmodell [9] för att beräkna halter i luft av däckslitage-komponenten av PM10. Resultaten föreligger som griddade emissioner, och griddade halter i luft, för ett helt kalenderår. Tidsupplösningen i beräkningarna är 1 timme och rumsupplösningen är 100 m.



Figur 1. Den svarta rektangeln visar beräkningsområdet för NORTRIP-modellen i SWEREF99 TM-koordinater (658000,6568000 - 686000,6602000; $\Delta x = \Delta y = 100 \text{ m}$). Färgade områden visar den rumsliga fördelningen av däckslitagepartiklar i luft (årsmedelvärde för 2019) beräknat med Airviro's gauss-modell [9].

NORTRIP-modellen

NORTRIP-modellen är utvecklad för att beräkna emissioner av slitagepartiklar i olika storleksintervall. Modellen är beskriven i flera vetenskapliga arbeten [5, 6] och har testats, framförallt för PM10, längs ett antal vägar i Norden [10].

NORTRIP-modellen är en process-baserad modell med två huvud-moduler. En modul som löser massbudgeten för stoft (sand, damm, salt, etc.) på vägbanan. Den andra modulen beräknar fuktigheten, dvs vatten (is, snö, söt- och salt vatten) på vägbanan. Fuktigheten har sedan stor betydelse för beräkningarna av de lokala PM10-emissioner till luften.

I denna studie har vi konfigurerat modellen så att enbart däckslitage ingår i beräkningarna. Tabell 1 visar delar av inställningarna i vår uppsättning av NORTRIP-modellen. Som framgår simulerar vi enbart slitagepartiklar från däck (road_wear_flag=brake_wear_flag=exhaust_flag=dust_deposition_flag=use_salting_data_1_flag=use_salting_data_2_flag=use_sanding_data_flag=0). Vi tillåter att de uppkomna däckslitage-partiklarna ansamlas på vägbanan (road_suspension_flag=1) samt att de förs bort med olika processer (dust_drainage_flag=2, dust_spray_flag=1, dust_ploughing_flag=1). Plogning, fuktning och städning sker enligt specificerade kriterier (regler) i NORTRIP-modellen.

Tabell 1. Inställningar för NORTRIP specifika för simuleringarna av däckslitageemissioner.

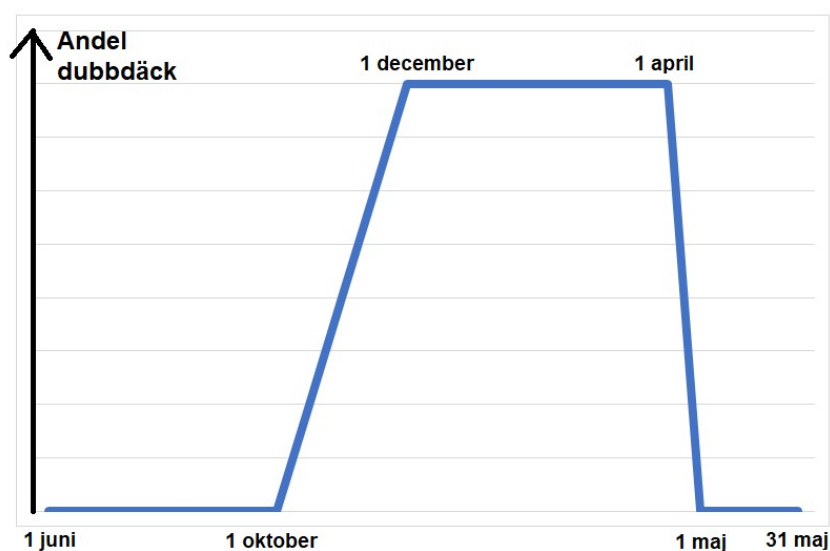
Flagga	Värde	Anmärkning
road_wear_flag	0	Allows road wear
tyre_wear_flag	1	Allows tyre wear
brake_wear_flag	0	Allows brake wear
exhaust_flag	0	Includes exhaust in calculations
road_suspension_flag	1	Allow road suspension
dust_deposition_flag	0	Allows deposition of background PM
abrasion_flag	0	Allows road abrasion due to sand
crushing_flag	0	Allows crushing to occur, shifting down in size bins
dust_drainage_flag	2	Allows dust and salt to be drained from the road. 1 is instantaneous mixing, 2 is continuous mixing
dust_spray_flag	1	Allows dust and salt to be sprayed from the road
dust_ploughing_flag	1	Allows dust and salt to be ploughed from the road
wind_suspension_flag	0	Allows wind blown dust suspension
use_salting_data_1_flag	0	Allows salting, either from the input data or by rule for salt type 1 (NaCl). Other than 1 is scaling
use_salting_data_2_flag	0	Allows salting, either from the input data or by rule for salt type 2 (Binder). Other than 1 is scaling
use_sanding_data_flag	0	Allows sanding, either from the input data or by rule
use_ploughing_data_flag	1	Allows ploughing, either from the input data or by rule
use_wetting_data_flag	1	Allows wetting to occur, either from the input data or by rule
use_cleaning_data_flag	1	Allows cleaning, either from the input data or by rule
auto_salting_flag	0	Allows salting by rule (1 over rides the input data values, 2 adds to input data for both salts)
auto_binding_flag	0	Allows binding by rule (1 over rides the input data values, 2 adds to input data for salt 2 only)
auto_sanding_flag	0	Allows sanding by rule (1 over rides the input data values, 2 adds to input data)

Flagga	Värde	Anmärkning
auto_ploughing_flag	2	Allows ploughing by rule (1 over rides the input data values, 2 adds to input data)
auto_cleaning_flag	2	Allows cleaning by rule (1 over rides the input data values, 2 adds to input data)

Meteorologiska drivdata till denna studie är hämtad från Östra Sveriges Luftvårdförbunds meteorologiska mast vid Högdalen söder om Stockholm.

Generellt ökar emissionerna av slitagepartiklar med ökat fordonsslöde, ökad fordonsvikt och ökad hastighet samt varierar med däcktyp. Förutom meteorologi behöver NORTRIP-modellen därför även fordonsslöde (Figur 3), andel tung trafik (Figur 4), hastighet hos fordonen (Figur 5) och dubbdäcksandel (Figur 6).

Under sommaren antas alla bilar använda ”sommardäck”. På vintern (1 december – 1 april) har lätta fordon antingen ”odubbade vinterdäck” eller ”dubbade däck” i NORTRIP-modellen. Dubbdäcksandelen antas öka succesivt till vintervärdena mellan 1 oktober och 1 december och gå tillbaka från vintervärdena från 1 april till 1 maj, se Figur 2. Dubbdäcksandelen, under vinter, höst och vår baseras på mätningar av SLB-analys [se t.ex. 11]. Tunga fordon har samma däcktyp året runt.

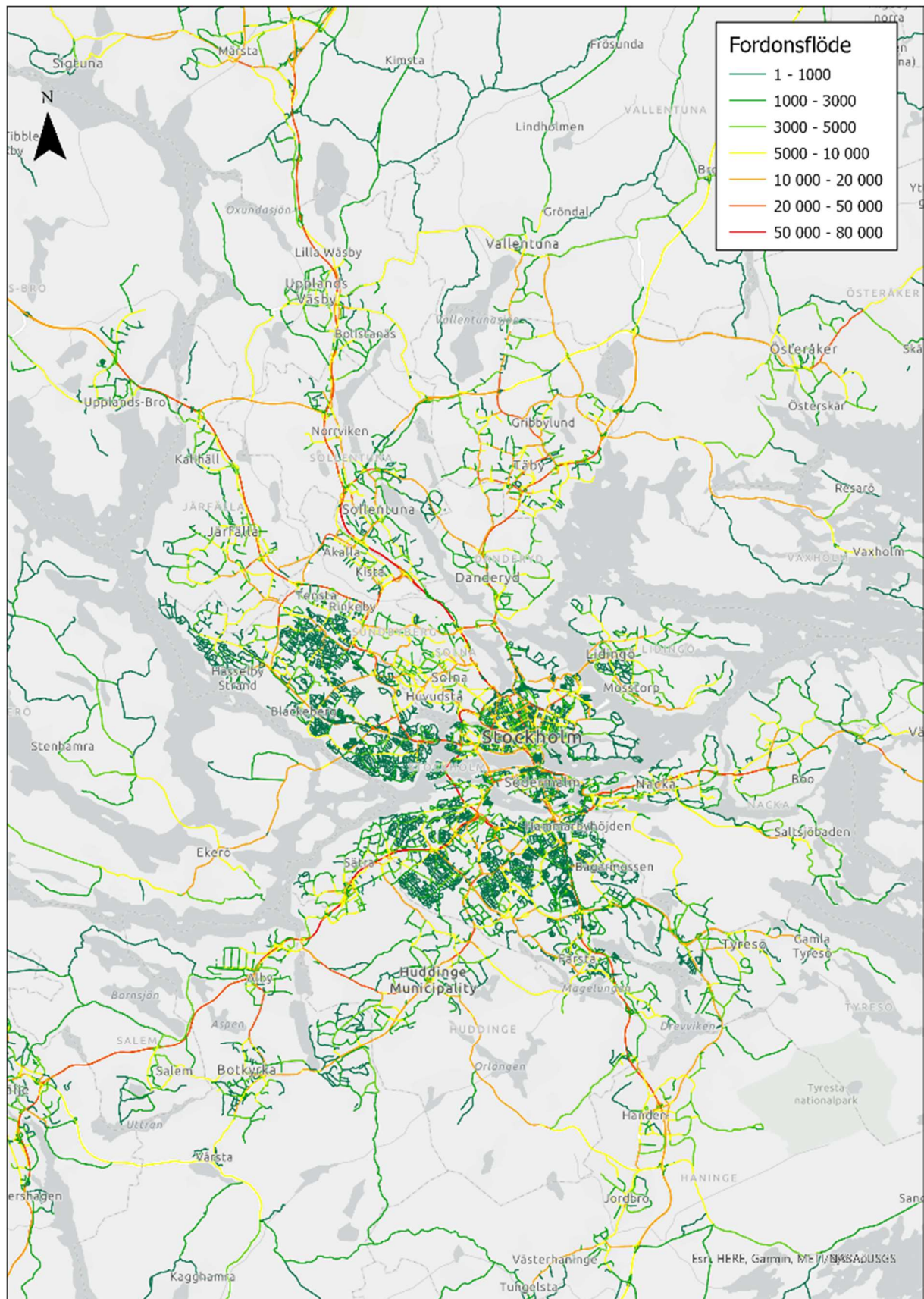


Figur 2. Dubbdäcksandelen under året för lätta fordon. Andelen odubbade vinterdäck hos lätta fordon under perioden 1 december – 1 april ges i NORTRIP-modellen av $(100 - \text{dubbdäcksandel})$ %. Mellan 1 maj och 1 oktober har alla fordon sommardäck.

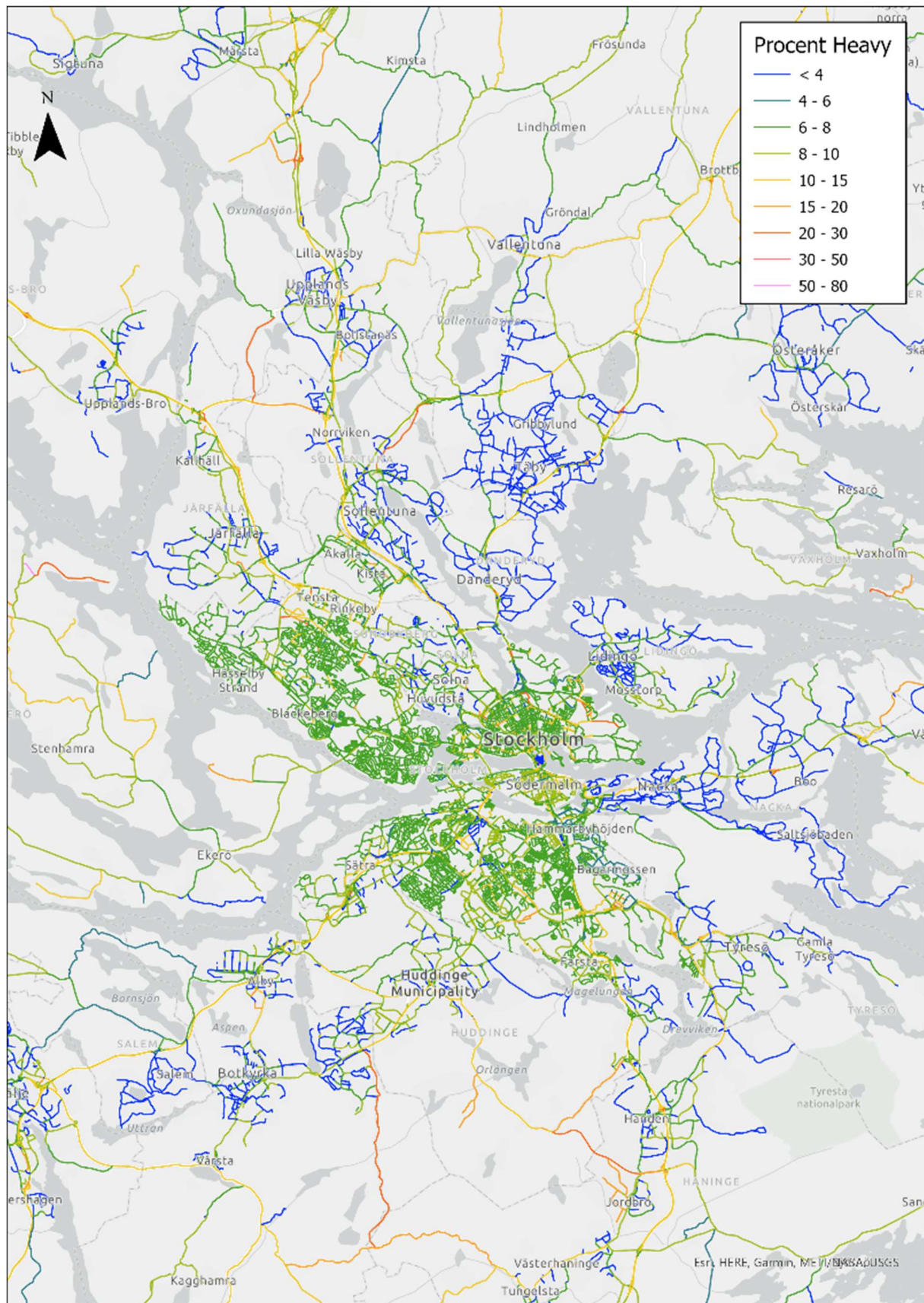
Andelen PM10 av det totala däckslitageet är satt till 10 %, se Tabell 2. Detta är en standard-inställning i NORTRIP. Övriga inställningar återfinns i filen **Road_dust_parameter_table_v8.xlsx** som SLB-analys fått av Bruce Denby 27 augusti 2020.

Tabell 2. Relativ storleksfördelning av däckslitagepartiklar i NORTRIP (standardvärden).

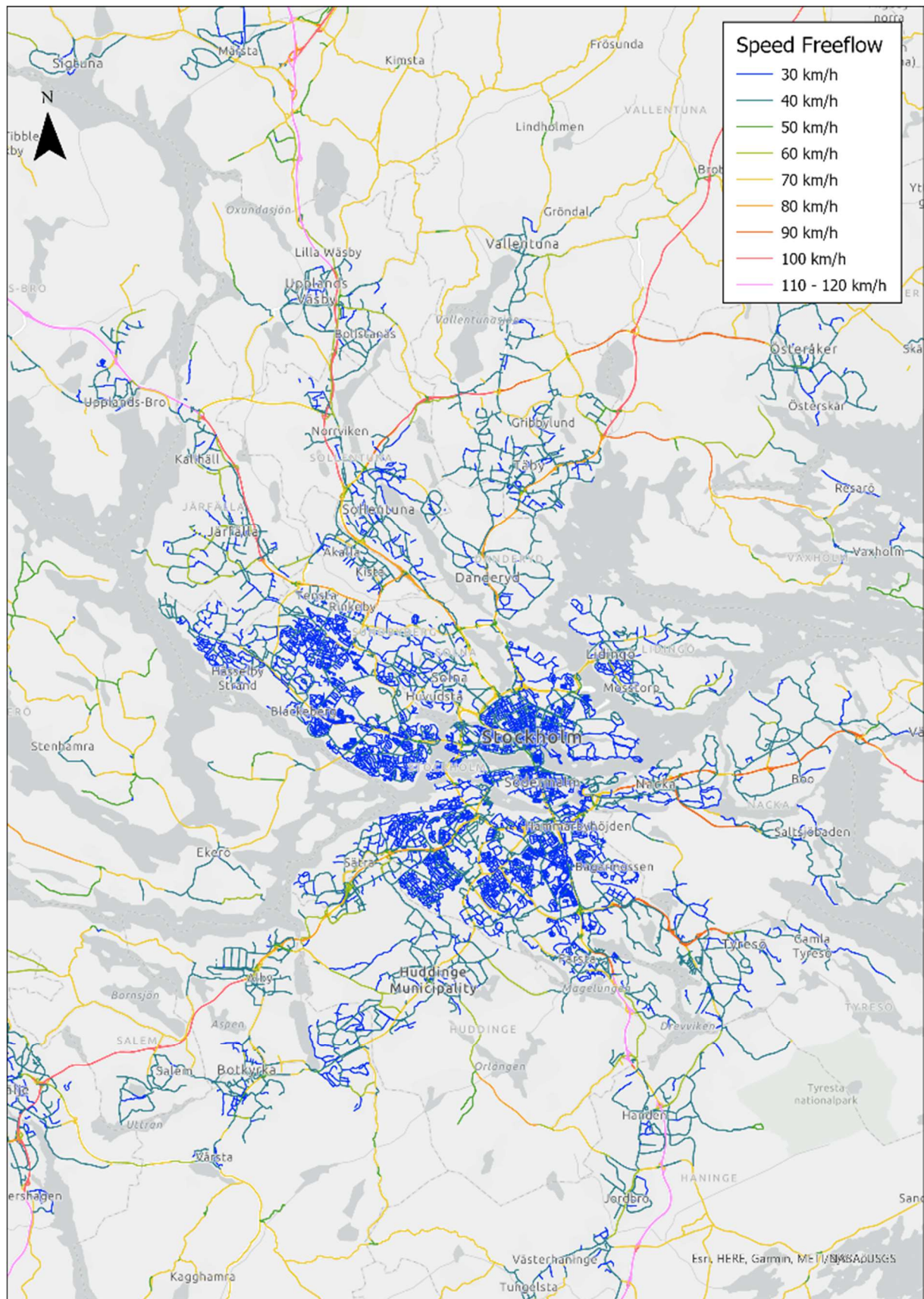
Fordon	PM200	PM10	PM2.5
$f_{\text{PM,dir-tirewear}}$	1	0.1	0.01



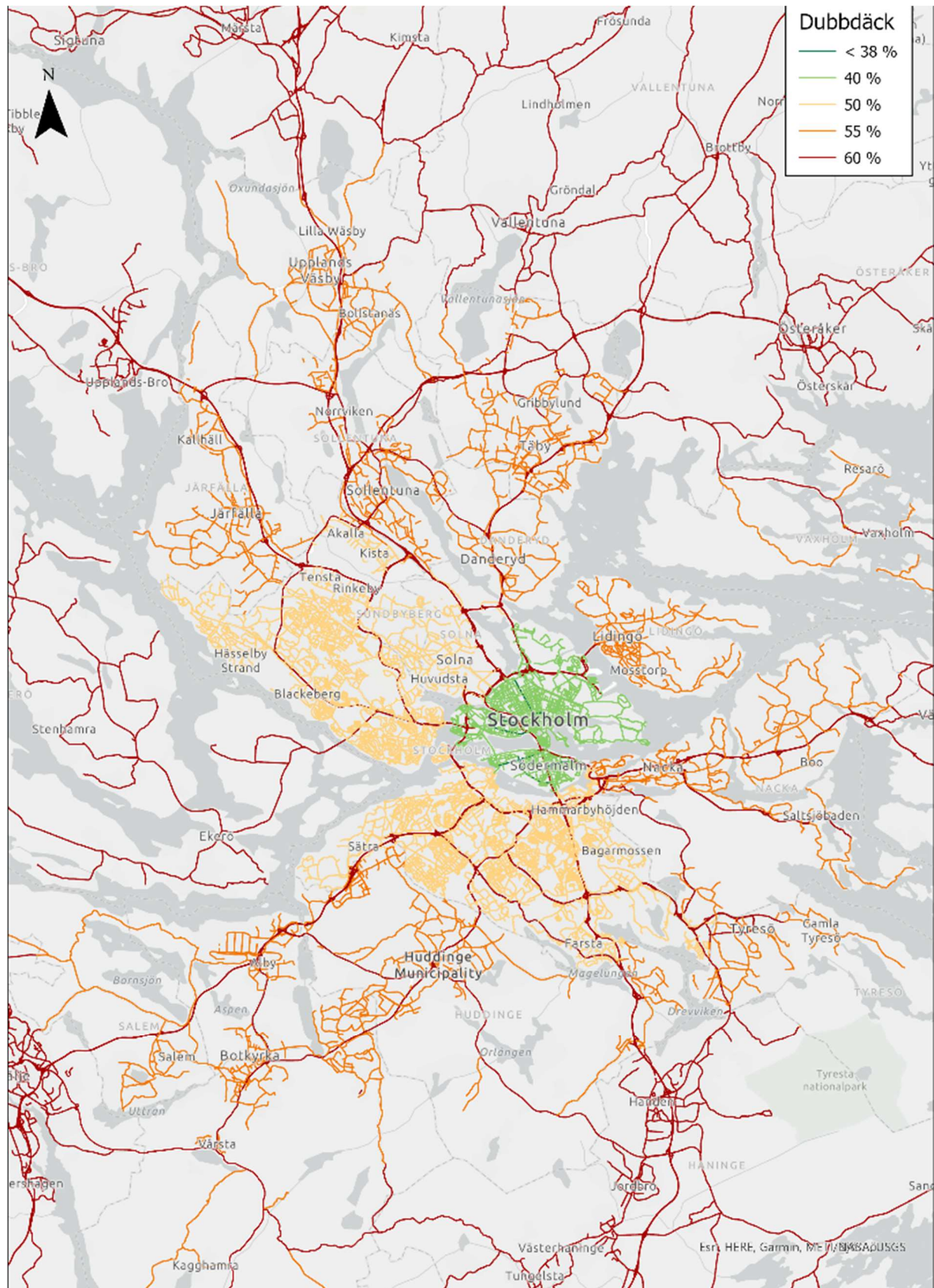
Figur 3. Fordonsflöde. Data från Östra Sveriges Luftvårdsförbunds emissionsdatabas. Data baserat på mätningar och giltigt ca. 2018-2019. Figuren visar Årsdygnstrafik (ADT). Under simuleringarna varierar fordonsflödet (olika på olika vägtyper) över dygnet, veckan och över året enligt historiska, statistiska, samband.



Figur 4. Andel tung trafik. Data från Östra Sveriges Luftvårdsförbunds emissionsdatabas. Data baserat på mätningar och giltigt ca. 2018-2019. Andelen tung trafik på respektive väg är alltid densamma även om antalet fordon varierar över dygnet, veckan och över året.



Figur 5. Hastighet. Data från Östra Sveriges Luftvårdsförbunds emissionsdatabas. Data baserat på mätningar och modelleringar och är giltigt ca. 2018-2019. Figuren visar hastighet vid "Free Flow" Under simuleringarna varierar hastigheten över dygnet, veckan och över året enligt historiska, statistiska, samband. Sambanden skiljer sig åt mellan olika vägtyper.



Figur 6. Dubbdäcksandelar under vintern. Data från Östra Sveriges Luftvårdsförbunds emissionsdatabas. Data baseras på mätningar utförda av SLB-analys och är giltig ca. 2018-2029. På sommaren är dubbdäcksandelen noll överallt. Andelen dubbdäck (och odubbade vinterdäck) på hösten och våren fås i NORTRIP-modellen genom interpolering mellan tidpunkterna när det är tillåtet och förbjudet med dubbdäck.

NORTRIP-modellen körs, i denna studie, för perioden 1 oktober 2018 till och med sista december 2019. De första 3 månaderna används för att möjliggöra uppbyggnad av en dammdepå på respektive väg. 2019 valdes för att det var ett aktuellt år, men ej påverkat av eventuella pandemi-effekter.

Däckslitage, w , beskrivs den av den generella funktionen:

$$w = w_0 \left(a_1 + a_2 \left(\frac{\max(v, v_{min})}{v_{ref}} \right)^{a_3} \right)$$

eller med insatta värden (som använts i denna studie):

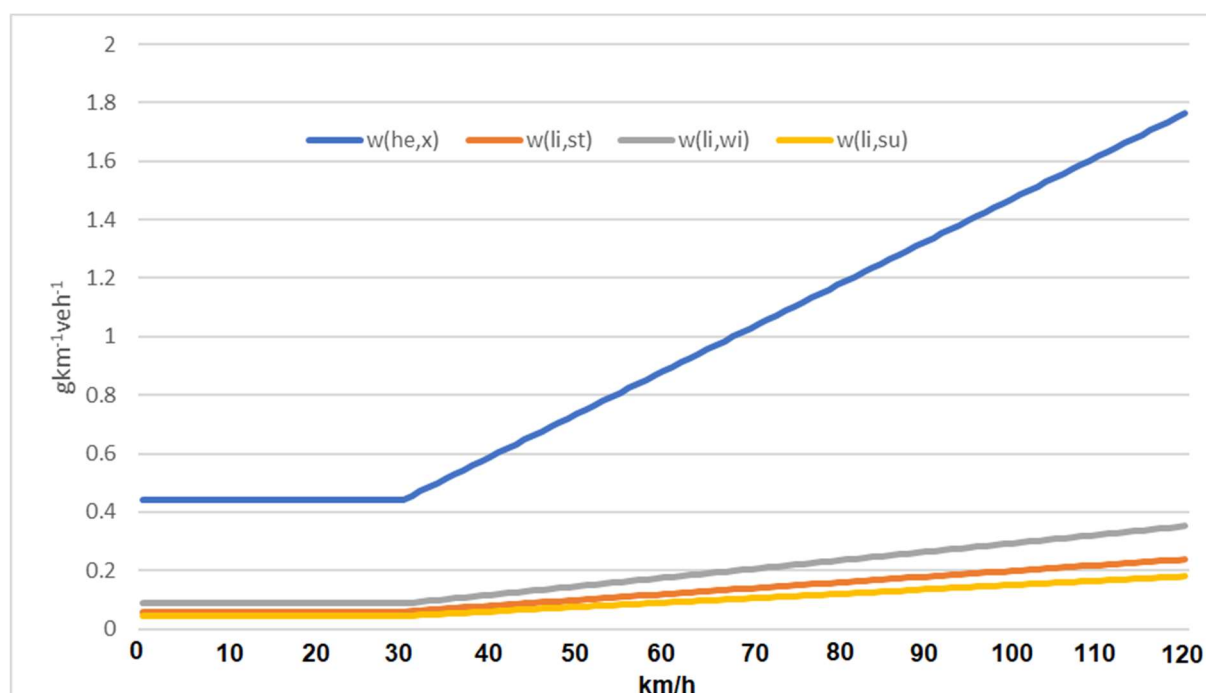
$$w = w_0 \left(\frac{\max(v, 30)}{70} \right),$$

där v är hastigheten på respektive väg under innevarande timme. Däckslitage-parametern w_0 är olika för olika fordon och däcktyper, se Tabell 3 och Figur 7. Det är tydligt att tunga fordon har betydligt större däckslitage än lätta fordon.

Att emissionerna inte går mot till noll vid låga hastigheter (under v_{min}) beror på att NORTRIP-modellen tar hänsyn till slitageemissioner som uppkommer vid nära stillastående (*Stop and Go*). I praktiken inträffar inte detta i vår studie eftersom den lägsta hastigheten i vår databas är just 30 km h⁻¹.

Tabell 3. Värden på däckslitage-parametern, w_0 , (g km⁻¹ veh⁻¹) specifika för dessa simuleringar. NORTRIP-förkortningar ges inom parantes. Data från Nina Svensson, VTI (11 oktober 2021).

Fordon	Dubbdäck (st)	Odubbade vinterdäck (wi)	Sommardäck (su)
Tunga (he)	1.029	1.029	1.029
Lätta (li)	0.139	0.205	0.105



Figur 7. Däckslitage, w , för olika fordonstyper som funktion av hastighet (i km h⁻¹) använda i innevarande simuleringar.

Gauss-modellering

NORTRIP-modellen beräknar PM10-emissioner längs valda vägsträckor. Spridningsberäkningar av PM10 görs med Airviro:s gaussmodell [9] och vindmodell [12] som båda ingår i Östra Sveriges luftvårdsförbunds system för luftmiljöövervakning. Den gaussiska spridningsmodellen beräknar den geografiska fördelningen av luftföroreningshalter två meter ovan öppen mark (eller ovan tak), s.k. ”urban bakgrund”.

Gauss-simuleringarna för däckslitage-partiklar görs genom att använda de timvisa emissionerna som beräknats av NORTRIP-modellen i ett tidigare steg. Simuleringarna görs timme-för-timme för hela året 2019.

Däckslitagepartiklar från långdistanstransport beaktas inte.

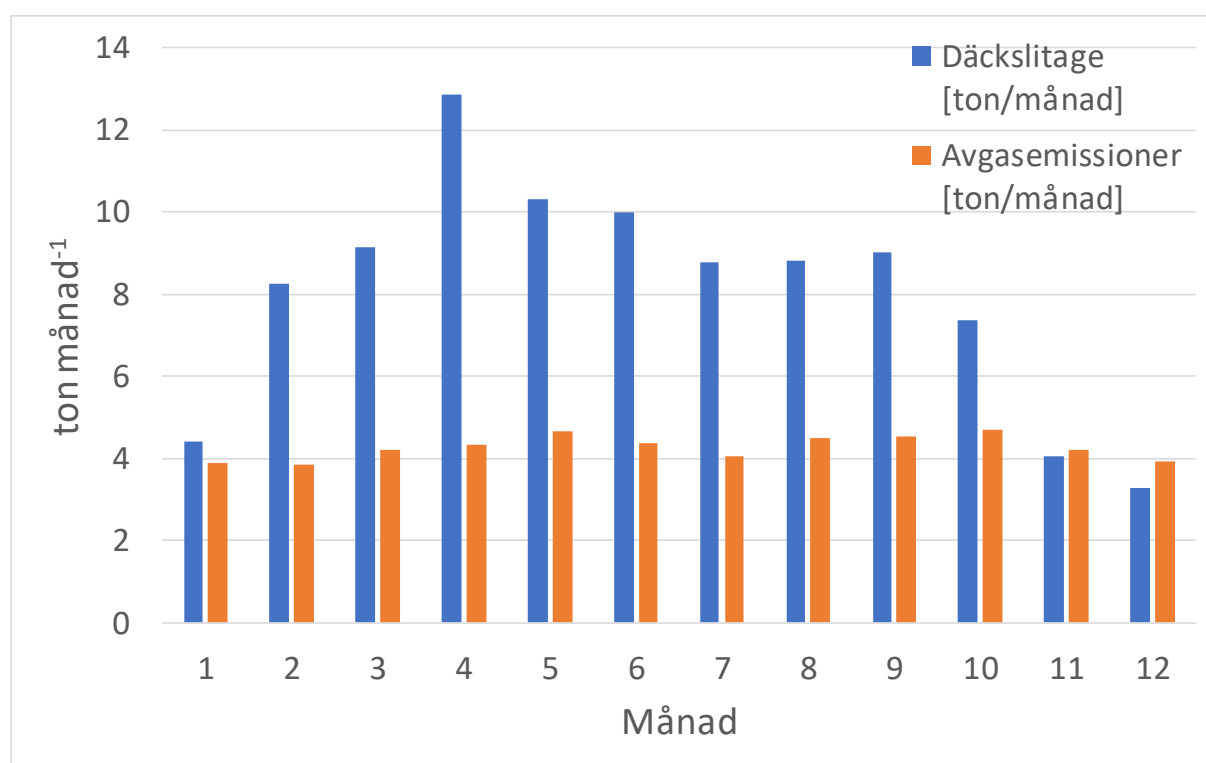
Förutom simuleringarna av däckslitage-partiklar har vi även beräknat PM10-utsläpp från andra slitage-komponenter och avgasrelaterade emissioner för att kunna jämföra däckslitageemissionerna med andra bidrag till PM10 i Stockholmsområdet. Dessa beräkningar ingår inte i uppdraget och redovisas endast ytterst översiktligt.

Exempel på resultat

Emissioner till luft

Slitage-emissionerna är strikt koncentrerade till vägarna. Utsläppen är störst under våren (april-juni), och lägst under vintern (januari, november-december), se Figur 8. Den totala emissionen av PM10-däckslitagepartiklar inom modell-området (se Figur 1) är 96 ton per år för det simulerade året. Som jämförelse uppskattar IVL [13] att det totala svenska utsläppen av plastpartiklar från däckslitage uppgår till ca 7 670 ton per år. Eftersom NORTRIP antar att 10 % av all däckslitage utgörs av PM10 (se Tabell 2) betyder det att det studerade området avger ca. 960 ton plastpartiklar per år (~10 % av Sveriges totala emissioner).

Avgasemissionerna av PM10 inom modellområdet var 51 ton per år under 2019, med endast begränsad variation över året, se Figur 8.



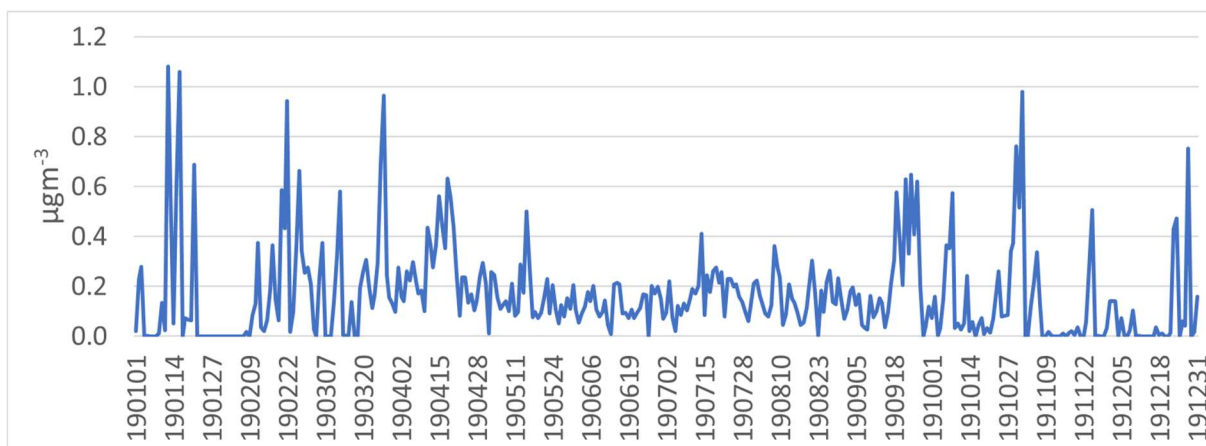
Figur 8. Månadsvisa totalemissioner av PM10-däckslitage och avgasemissioner i modellområdet under 2019.

Halter i luft

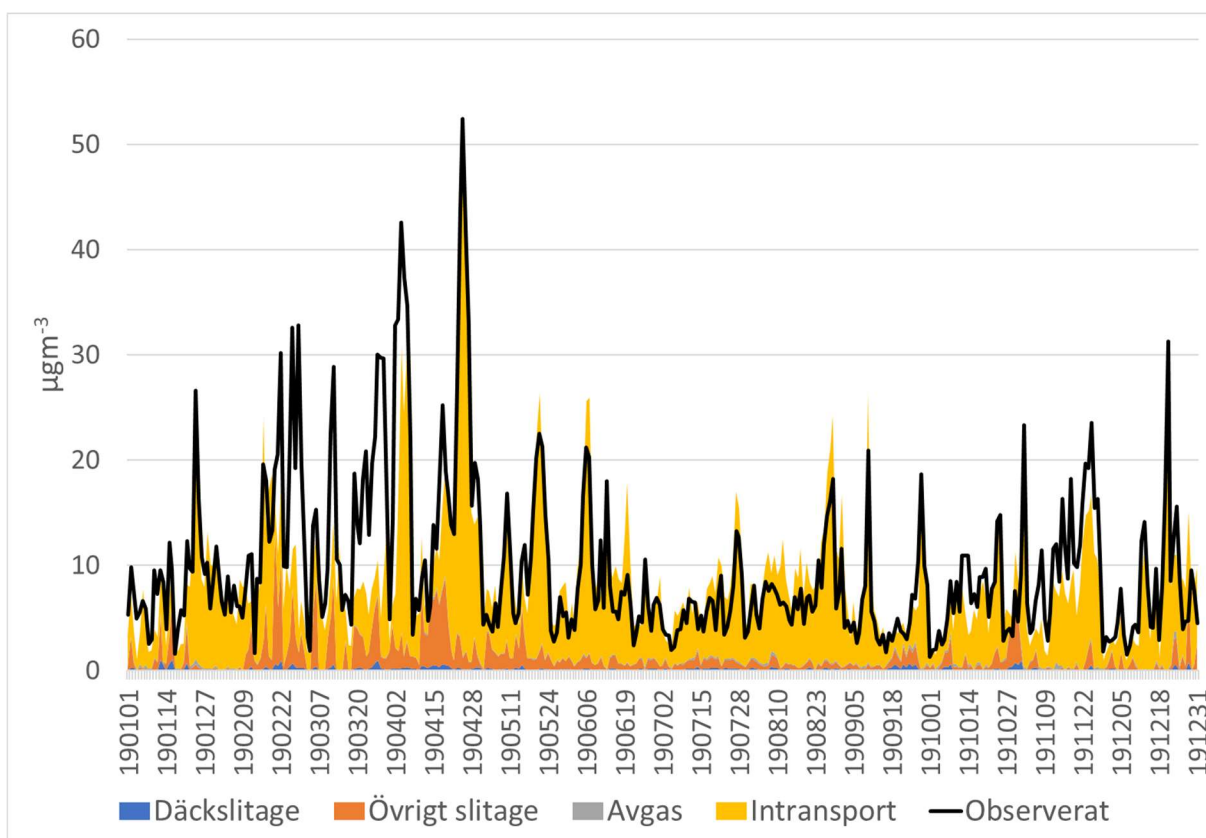
Däckslitagepartiklarna transporteras de inte speciellt långt i vår modell. Figur 1 visar årsmedelvärde av PM10-däckslitage två meter ovan mark. Längs vältrafikerade vägar kan det lokalt genererade PM10-däckslitagebidraget dock vara betydande. Timvärden på över $50 \mu\text{g m}^{-3}$ är inte ovanliga längs E4, både norr och söder om Stockholm (visas ej).

Den beräknade medelhalten av PM10-däckslitage vid Torkel Knutssonsgatans mätstation är, under 2019, $0.16 \mu\text{g m}^{-3}$; detta är samma storleksordning som bidraget från lokala avgasemissioner ($0.13 \mu\text{g m}^{-3}$). De lägsta (och högsta!) dygns-medelhalterna av PM10-däckslitage vid Torkel Knutssonsgatan uppträder under vintern, se Figur 9.

Den totala halten av PM10 i taknivå centrala Stockholm påverkas mest av långdistans-transporten in till området. Episodvis kan dock det lokala bidraget dominera, se Figur 10.



Figur 9. Modellerad halt av PM10-däckslitage vid Torkel Knutssonsgatans tak 2019. Data aggregerat till dygnsmedelvärden.



Figur 10. Modellerad och uppmätt halt av PM10 vid Torkel Knutssonsgatans tak 2019. De olika källtyperna representeras av olika färgade fält staplade på varandra. Intransport är i denna figur representerat av observationerna vid mätstationen Norr Malma utanför Norrtälje. Observationerna vid Torkel Knutssonsgatans tak visas som heldragen svart linje. All data aggregerat till dygnsmedelvärden.

Airviro-inställningar och efterbehandling av data

Simuleringarna genomfördes under oktober 2021 på SLB:s server **avs**. Viktiga Airviro-inställningar framgår av Tabell 4.

Tabell 4. Airviro inställningar.

Inställning	Värde
DOMAIN	NG
MODEL	SH
EDB	jenny\s18_20_nortrip_newspeak
EMISSIONS (Substance)	PM10, Only resuspension
AREA	Regular grid: 280x340 (100m) 658000,6568000 - 686000,6602000
SETTINGS	Type: Time period, H&M0909; Height: 2m
RESULTS	magnuz\0103 (hela året) magnuz\0108 (kvartal 1 2019) magnuz\0109 (kvartal 2 2019) magnuz\0110 (kvartal 3 2019) magnuz\0111 (kvartal 4 2019)

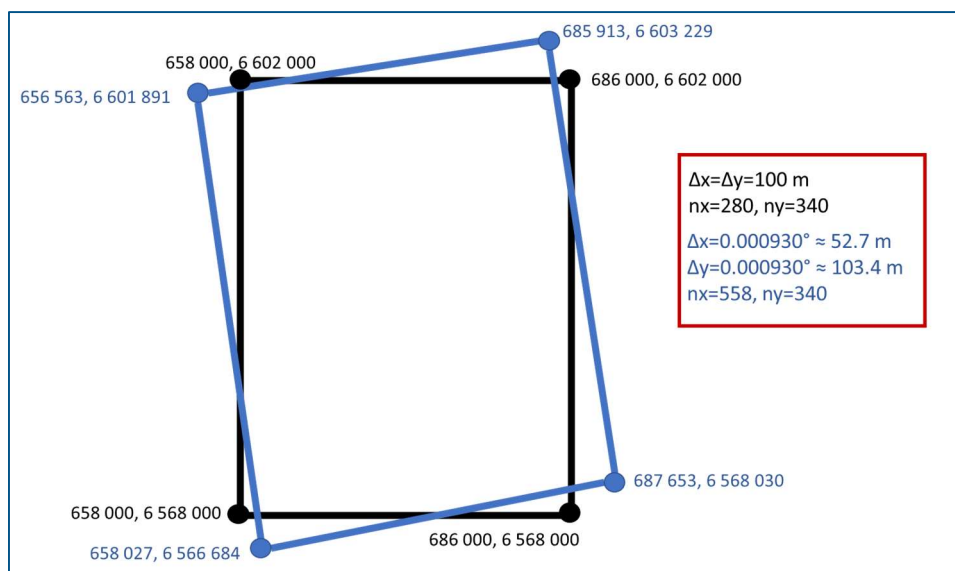
Resultatet som täcker hela 2019 heter magnuz\0103. Det saknas modellresultat för en timme (20190331 03:00). Resultaten ligger i Airviro's databas; för att möjliggöra konvertering till NetCDF har vi delat upp resultaten i delresultat, ett för varje kvartal, se Tabell 4.

Det finns en NetCDF-fil för varje kvartal och för emissioner till atmosfären respektive halter i luft, dvs sammanlagt 8 stycken filer:

```
-rw-r--r-- 1 magnuz slb 1638434588 Oct 26 08:33 netcdf_EMT_Q1_2019.nc
-rw-r--r-- 1 magnuz slb 210367286 Oct 26 08:33 netcdf_EMT_Q2_2019.nc.gz
-rw-r--r-- 1 magnuz slb 198795220 Oct 26 08:34 netcdf_EMT_Q3_2019.nc.gz
-rw-r--r-- 1 magnuz slb 99383299 Oct 26 08:34 netcdf_EMT_Q4_2019.nc.gz
-rw-r--r-- 1 magnuz slb 1638434580 Oct 22 09:28 netcdf_PM10_conc_Q1_2019.nc
-rw-rw-rw- 1 magnuz slb 1657406680 Oct 25 09:10 netcdf_PM10_conc_Q2_2019.nc
-rw-rw-rw- 1 magnuz slb 1675619896 Oct 25 11:28 netcdf_PM10_conc_Q3_2019.nc
-rw-rw-rw- 1 magnuz slb 1675619896 Oct 22 10:22 netcdf_PM10_conc_Q4_2019.nc
```

Som framgår ovan är varje NetCDF-fil ca 1.6 Gbyte stor (okomprimerad).

Geometrin i NetCDF-filerna är WGS84 (latitud-longitud); $n_latitud=340$, $n_longitud=558$, $\Delta x = \Delta y = 100 \text{ m}$, $\Delta x = 0.000930^\circ \approx 103.4 \text{ m}$, $\Delta y = 0.000930^\circ \approx 52.7 \text{ m}$. NetCDF-filerna täcker ungefär samma område som i originalresultaten, men det är alltså ungefär dubbelt så många gridrutor (som är ungefär hälften så stora), se Figur 11. För att det fortsatt skall bli rätt enhet (g/s) i den konverterade emissionsfilen behöver användaren av NetCDF-filen multiplicera med förhållanden mellan gridrutornas area, dvs: $(100 \times 100) \text{ m}^2 / (103.4 \times 52.7) \text{ m}^2 \approx 1.84$. Detta gäller bara för emissionsfilen, inte filerna med koncentrationer (som ges i $\mu\text{g m}^{-3}$).



Figur 11. Ytterhörnen av originalresultaten i Airviro (svart) och i NetCDF-filen (blå) i SWEREF99 TM - koordinater. Bilden är ej skalendig.

Diskussion

Vi har använt SLB:s installation av NORTRIP-multiroad för att beräkna däckslitageemissioner under 2019. Emissionerna till atmosfären har sedan använts för att beräkna halter i luft över ett större område fokuserat på Stockholm. Emissionerna följer strikt vägarnas utbredning, halterna i luft avtar snabbt med avståndet från vägen.

Genom att jämföra med preliminära simuleringar där även andra komponenter av vägsitage och avgaspartiklar ingår framgår det att däckslitage är en icke-obetydlig del av lokalt genererade PM10-halter i Stockholmsluften.

Referenser

1. Frisk luft – underlagsrapport till den fördjupade utvärderingen av miljömålen 2019. Naturvårdsverket. Rapport 6861.
<http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer6400/978-91-620-6861-5.pdf>
2. Luften i Stockholm. Årsrapport 2020. SLB-rapport: 9:2021
https://www.slbanalys.se/slb/rapporter/pdf8/slb2021_009.pdf
3. Stockholms stads Handlingsplan för minskad spridning av mikroplast.
https://miljobarometern.stockholm.se/content/docs/tema/plast/HP%20mikroplast_beslutad%20i%20KF_20200127_20201020.pdf
4. Icke-avgasrelaterade partiklar i vägmiljön. Litteraturoversikt. VTI meddelande 910 2001.
5. Denby, B.R., Sundvor, I., Johansson, C., Pirjola, L., Ketzel, K., Norman, M., Kupiainen, K., Gustafsson, M., Blomqvist, G., och Omstedt, G. 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, 2013.
6. Denby, B.R., Sundvor, I., Johansson, C., Pirjola, L., Ketzel, K., Norman, M., Kupiainen, K., Gustafsson, M., Blomqvist, G., Kauhaniemi, M., och Omstedt, G. 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, 2013.
7. Luftföroreningar i Östra Sveriges Luftvårdsförbund. Utsläppsdata för ABCDXlän år 2018. SLB-rapport: 7:2021. https://www.slbanalys.se/slb/rapporter/pdf8/slb2021_007.pdf
8. Airviro. <http://airviro.com/airviro>
9. Gauss-modellen. Se Appendix 2C i:
https://www.airviro.com/airviro/extras/pdf/files/UserRef_Volume2_Dispersion_v5.00.pdf (29 oktober 2021).
10. Norman, M., Sundvor, I., Denby, B.R., Johansson, C., Gustafsson, M., Blomqvist, G. och Janhäll, S. Modelling road dust emission abatement measures using the NORTRIP model: Vehicle speed and studded tyre reduction. *Atmospheric Environment* **134**:96-108, 2016.
11. Användning av dubbdäck i Stockholms innerstad, vintersäsongen 2019/20 Dubbdäcksandelar räknade på rullande trafik. SLB-rapport: 25:2020.
https://www.slbanalys.se/slb/rapporter/pdf8/slb2020_025.pdf
12. Danard-modellen. Se Appendix 2A i:
https://www.airviro.com/airviro/extras/pdf/files/UserRef_Volume2_Dispersion_v5.00.pdf (23 november 2021).
13. Swedish sources and pathways for microplastics to the marine environment. A review of existing data. IVL Report number: C 183. (updated March 2017).

SLB-analys, Miljöförvaltningen i Stockholm.
Tekniska nämndhuset, Fleminggatan 4.
Box 8136, 104 20 Stockholm.
www.slb.nu

