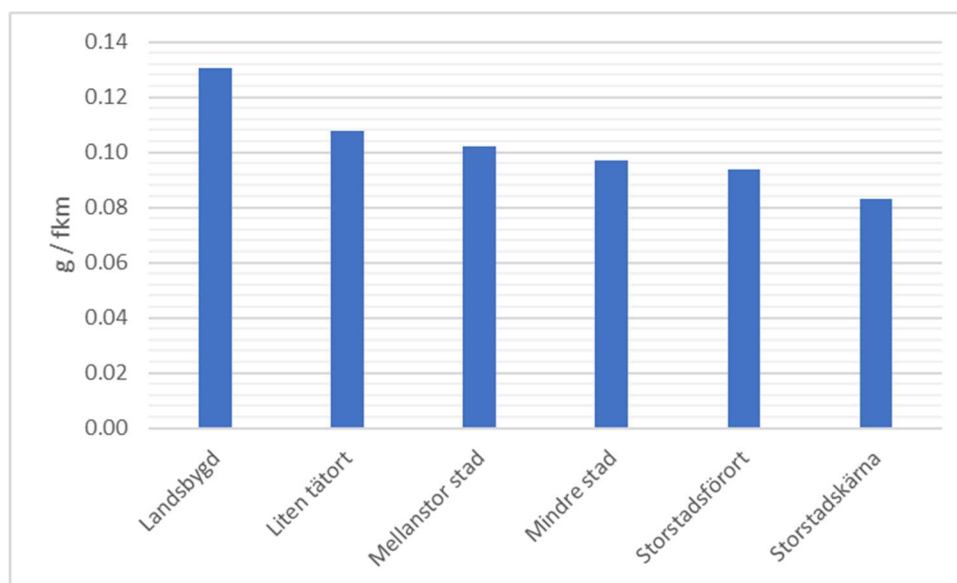


## ***Emissionsfaktorer för PM10-slitagepartiklar uppdelat på typområden i Stockholms län***

---

Magnuz Engardt och Christer Johansson



Projektet är finansierat av Trafikverket

*SLB-analys, 16 september 2022*

SLB 24:2022



Uppdragsnummer	2021166
Daterad	2022-09-16
Handläggare	Magnuz Engardt
Status	Granskad av: Magnus Brydolf och Lina Broman

## Förord

Denna rapport är en redovisning av en studie där vi uppskattat emissionsfaktorer för PM10-slitagepartiklar i Stockholms län och hur de varierar mellan olika typområden och över året. Uppdraget är finansierats av Trafikverket.

Studien är genomförd av SLB-analys vid Miljöförvaltningen i Stockholm. Projektledare vid SLB-analys har varit Magnuz Engardt. Kontaktperson på Trafikverket har varit Hung Nguyen.



# Innehåll

Sammanfattning .....	6
Inledning .....	7
Metodik .....	9
NORTRIP-modellen.....	9
Meteorologi och väghållning .....	9
Trafikala data och andra indata till NORTRIP-modellen .....	9
Dubbdäck .....	13
Emissionsfaktorer uppdelat på typområden .....	15
Säsongsvariation av emissionsfaktorerna .....	16
Halter i luft .....	16
Resultat.....	17
Emissionsfaktorer i olika typområden.....	17
Säsongsvariation av emissionsfaktorerna .....	18
Utvärdering av modellresultat: Halter i luft, urban bakgrund.....	19
Utvärdering av modellresultat: Halter i luft, urbant bidrag.....	22
Diskussion.....	23
Tack .....	24
Referenser .....	25
Appendix .....	26

## Sammanfattning

Vi har använt NORTRIP-modellen för att beräkna PM10-slitageemissioner inom ett område som täcker Stockholms län. Resultaten har använts för att uppskatta emissionsfaktorer för PM10-slitageemissioner från fordonstrafik uppdelat på olika typområden. De framräknade emissionsfaktorerna varierar från 0.083 g/fkm (gram per fordons-kilometer) i storstadskärna till 0.13 g/fkm på landsbygden. De högre värdena på landsbygden beror sannolikt på större dubbdäcksandel och högre hastighet.

En jämförelse mellan beräknat och observerat urbant utsläppsbidrag indikerar att modellsystemet sannolikt underskattar det urbana bidraget med upp till 20 %. Denna underskattning räcker inte för att förklara skillnaden mellan våra emissionsfaktorer (0.12 g/fkm) och de som tidigare använts inom ASEK (0.2 g/fkm). Skillnaden beror troligen på ett större urval av vägar i denna studie samt uppdaterade trafikdata och dubbdäcksandelar.

Slutligen har vi tagit fram faktorer som kan användas för att uppskatta den säsongsmässiga variationen av PM10-slitageemissioner. Enligt våra beräkningar är slitageemissionerna under juli-september (och december) endast cirka 20% av vad de är under mars och april, vilka är de månader då slitageemissionerna är som störst från vägtrafiken inom vårt beräkningsområde under åren 2018 till 2020.

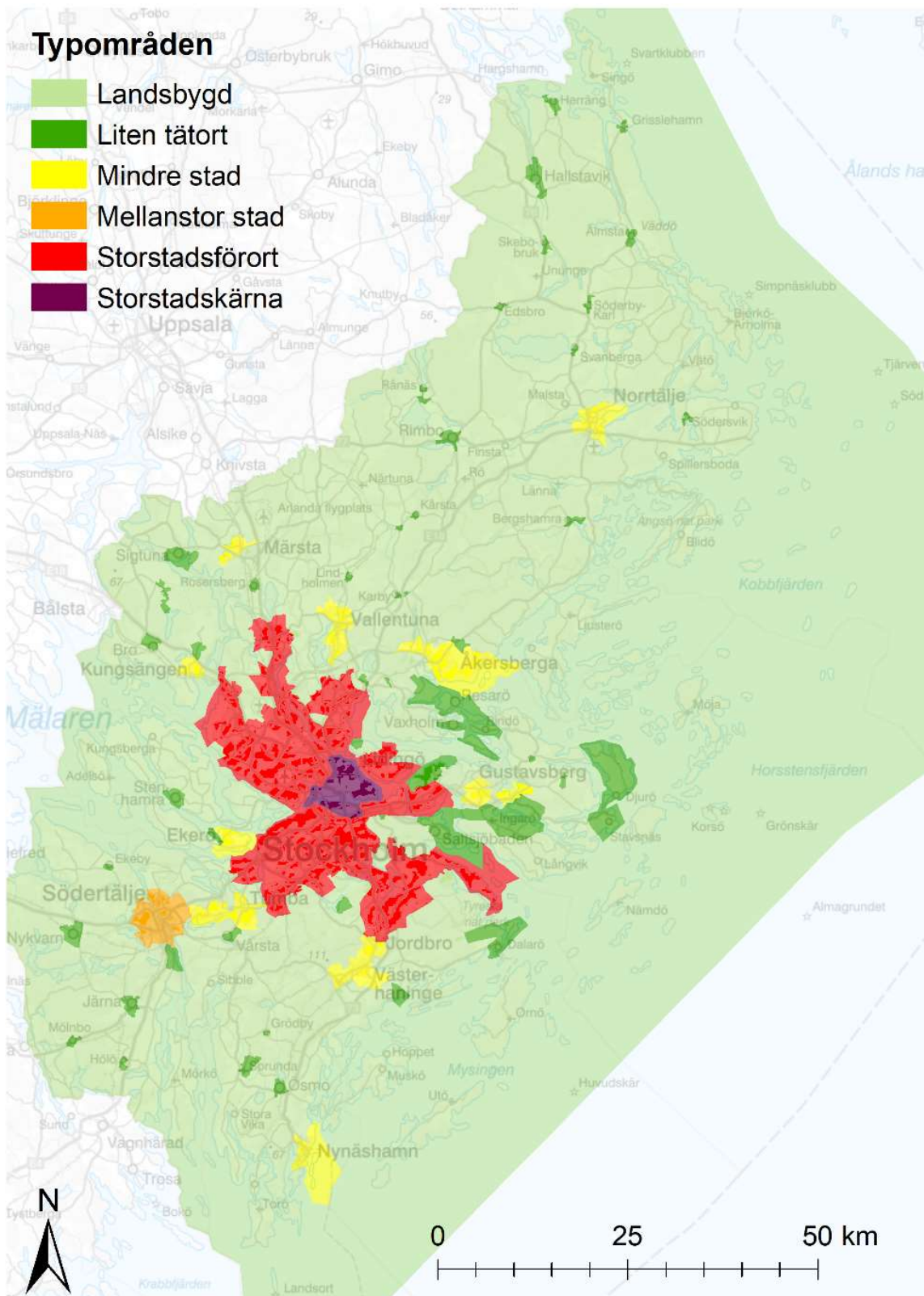
## Inledning

Samhällskostnaden för PM10-slitagepartiklar i tätortsmiljö har, för år 2017, uppskattas till 1 600 kr/(kg utsläpp) [1]. Siffrorna bygger bl.a. på att emissionsfaktorerna för PM10-slitagepartiklar är 0.2 g/fkm (gram per fordons-kilometer). Denna emissionsfaktor antas gälla för all vägtrafik oavsett vägtyp och utan dygn-, vecko- eller säsongsvariation.

Emissionsfaktorn 0.2 g/fkm har hämtats från Mawdsley m.fl. [2], som använde SMHI:s nationella system SIMAIR [3] för beräkning av emissioner från vägtrafikens fordons- och vägslitage i Sverige. För åren 2008-2014 bestämdes årliga emissionsfaktorer för PM10-slitagepartiklar vid ett antal innerstadsgator fördelat över åtta olika regioner av Sverige. Flerårsmedelvärdet av emissionsfaktorerna för respektive region varierade från 0.10 g/fkm i region "Syd" till 0.26 g/fkm i region "Öst". I Stockholm var medelvärdet för ett antal innerstadsgator och infartsvägar 0.23 g/fkm under perioden 2008-2014.

För att säkrare kunna bestämma befolkningens exponering, och därmed också hälsokonsekvenserna från vägtrafikens utsläpp, delade Forsberg m.fl. [4] upp Stockholms län i ett antal typområden, se Figur 1. Typområdena består av befolkningsmässigt och geografiskt likartade områden. Klassificeringen är en modifierad version av indelningen av Sverige i SAMS-områden [5], som tillämpas i det regionala trafikmodelleringsverktyget LuTRANS [6]. För ytterligare detaljer se Forsberg m.fl. [4].

Avsikten med innevarande studie är att med hjälp av NORTRIP-modellen och aktuellare indata uppdatera beräkningarna av PM10-slitageemissioner. Målet är att redovisa emissionsfaktorer som medelvärden för de olika typområdena i Stockholmsområdet samt hur de varierar över året.



Figur 1. Typområden i Stockholms län, från [4].



# Metodik

## NORTRIP-modellen

NORTRIP-modellen är utvecklad för att beräkna emissioner av slitagepartiklar i olika storleksintervall längs vägar i stad och på landsbygd. Direktmission respektive uppvirvling (engelska ”*resuspension*”) av partiklar från väg- och fordonsslitage styrs i hög grad av väderförhållanden; NORTRIP-modellen är process-baserad och har ambitionen att ta med alla processer som är relevanta för partikelgenerering och avgång till atmosfären. Modellen är beskriven i flera vetenskapliga arbeten [se t.ex. 7,8,9] och har bl.a. använts för att beräkna PM10-emissioner från vägtrafiken på ett antal platser i Norden.

NORTRIP-modellen löser massbudgeten för stoft (salt, sand, PM10, PM2.5, etc.) och vatten (is, snö, flytande vatten) på vägbanan för att beräkna lokala slitagepartikel-emissioner (dvs både direktmissioner från slitage av vägbanan, bromsar, däck samt uppvirvling av ansamlad stoft på gatan). Generellt ökar emissionerna av slitagepartiklar med ökat fordonsslitage, ökad fordonsvikt och ökad hastighet samt varierar med däcktyp [10].

## Meteorologi och väghållning

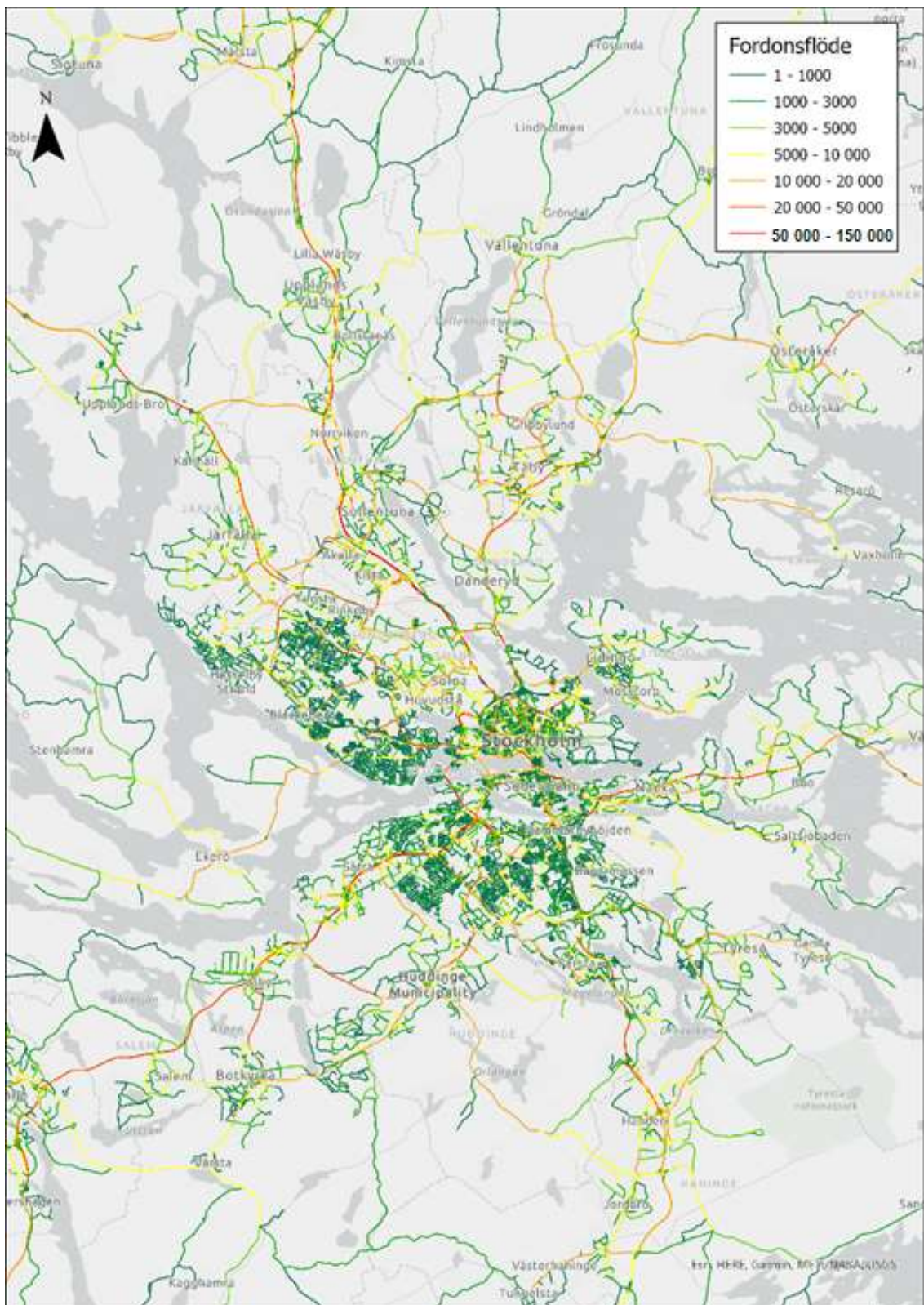
De meteorologiska förhållandena – speciellt vägbanornas fuktighet – har stor betydelse för effektiviteten av avgången till atmosfären av slitagepartiklar [10]. Meteorologiska data till denna studie är hämtad från Högdalenmasten. Mätutrustningen på Högdalenmasten drivs av SLB-analys och samlar in data med tim-upplösning, eller tätare, vilket krävs för NORTRIP-simuleringarna.

Vägbanornas fuktighet simuleras av NORTRIP-modellen [8] baserat på tillgänglig meteorologi. Dammbinding, saltning, sandning och snöröjning etc. simuleras också av NORTRIP-modellen enligt specificerade regler [8].

## Trafikala data och andra indata till NORTRIP-modellen

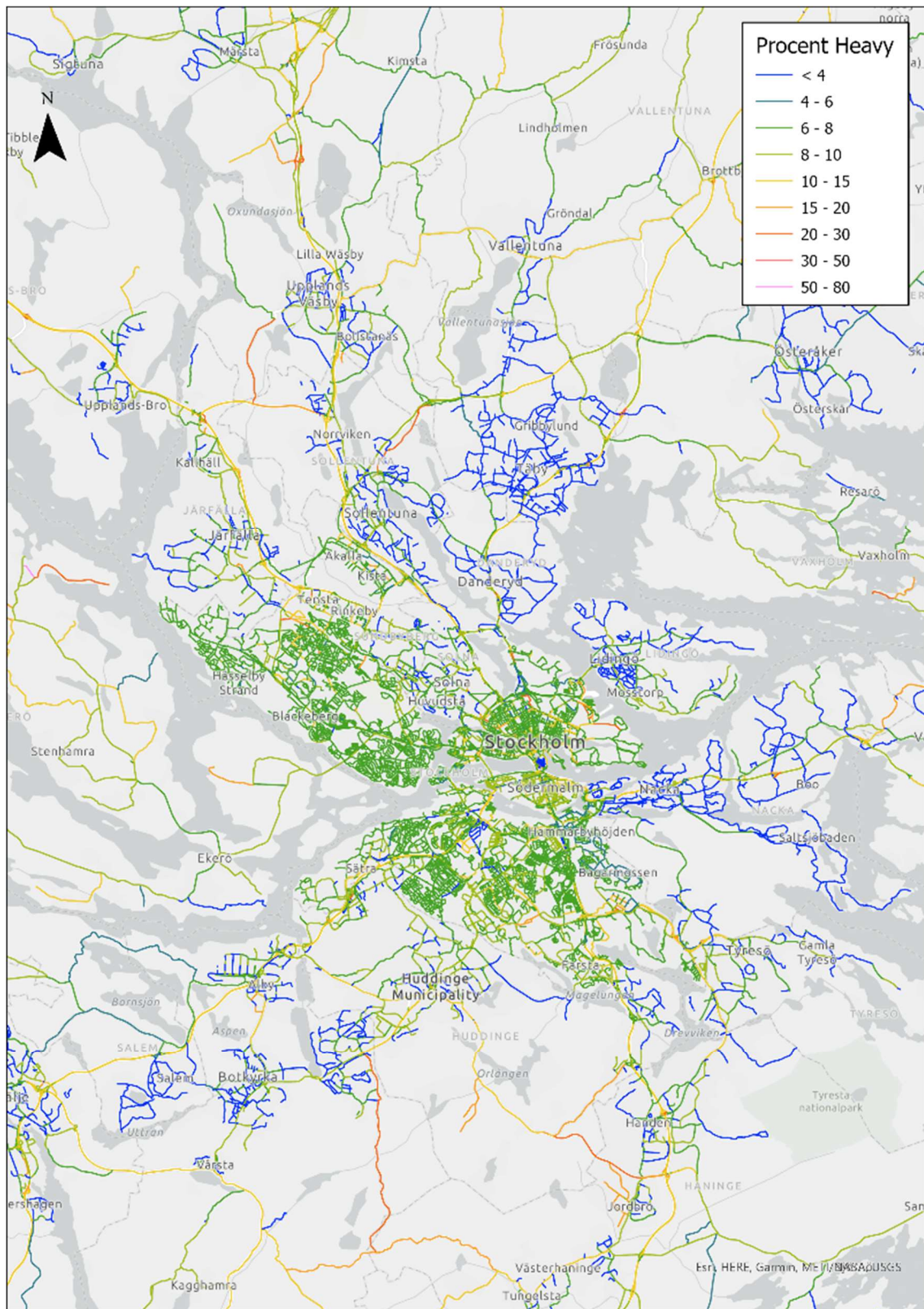
Förutom meteorologiska indata behöver NORTRIP-modellen även fordonflöde (Figur 2), andel tung trafik (Figur 3), hastighet hos fordonen (Figur 4) och dubbdäcksandel (Figur 5 och Figur 7). Dessa data har hämtats från Östra Sveriges Luftvårdsförbunds emissionsdatabas som administreras av SLB-analys.

NORTRIP-modellen styrs dessutom av en lång rad parametrar, tröskelvärden och inställningar, se Appendix. Dessa inställningar varierar över tid och plats och kan endast specificeras efter noggranna studier på respektive plats. Våra simuleringar täcker ett stort område med tusentals väglänkar och det har inte varit möjligt att i detalj specificera alla inställningar. Vi använder till exempel samma asfaltstyp på alla vägar (*pavement type factor*= $h^p_{pave}=1.0$ ) och alla vägar har samma körcykel (*driving cycle factor*= $h^d_{drivingcycle}=1$ ).

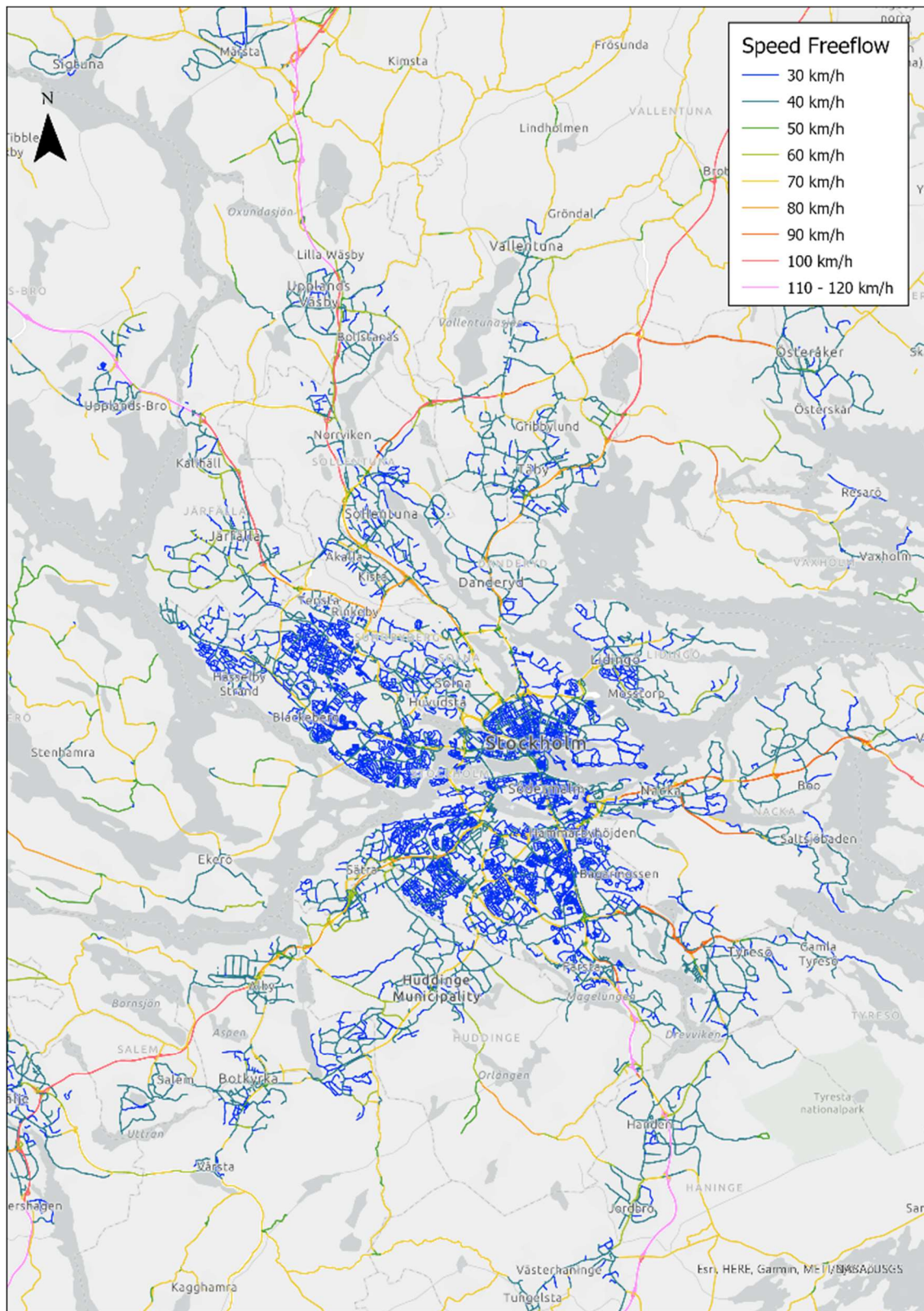


**Figur 2.** Fordonsflöde i ett utsnitt av beräkningsområdet. Data från Östra Sveriges Luftvårdsförbunds emissionsdatabas. Figuren visar Årsdygnstrafik (ÅDT) giltigt för år 2018. Under simuleringarna varierar fordonsflödet (olika på olika vägar) över dygnet, veckan och över året enligt historiska, statistiska, samband.





**Figur 3.** Andel tung trafik i ett utsnitt av beräkningsområdet giltigt för år 2020. Data från Östra Sveriges Luftvårdsförbunds emissionsdatabas. Andelen tung trafik på respektive väg är alltid densamma även om antalet fordon varierar över dygnet, veckan och över året.

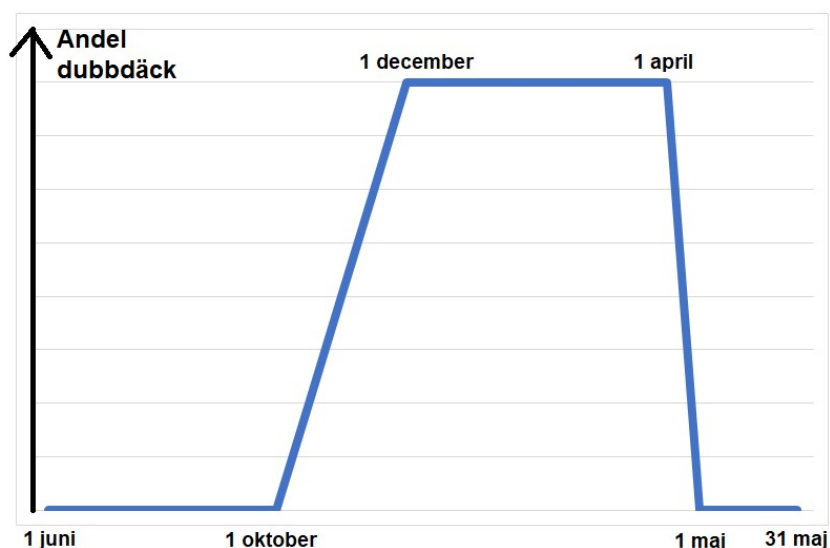


**Figur 4.** Hastighet i ett utsnitt av beräkningsområdet. Data från Östra Sveriges Luftvårdsförbunds emissionsdatabas. Figuren visar hastighet vid "free flow" giltigt för år 2018. Under simuleringarna varierar hastigheten över dygnet, veckan och över året enligt historiska, statistiska, samband.

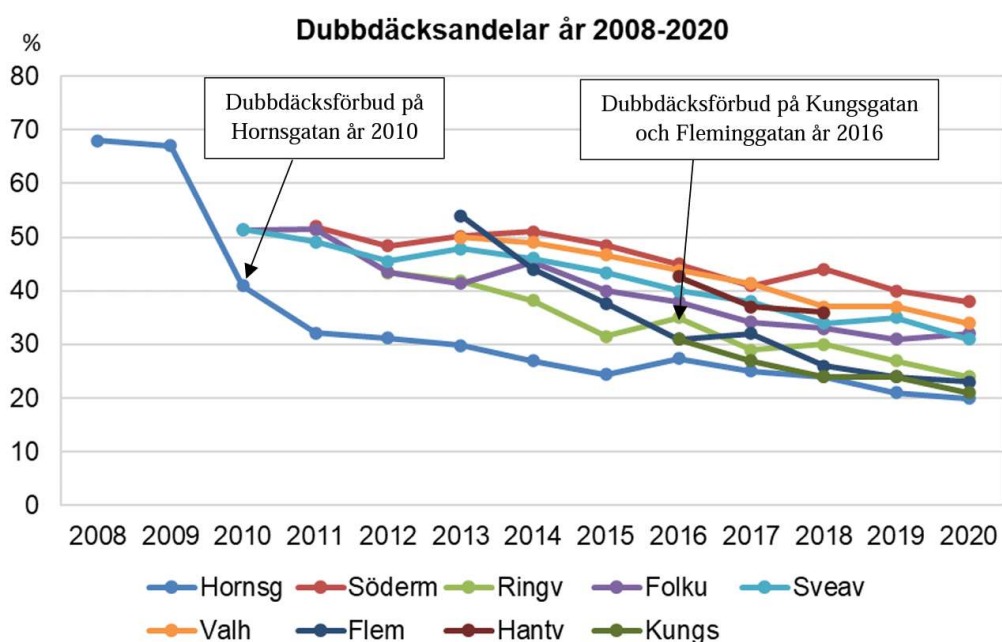


## Dubbdäcksandelar

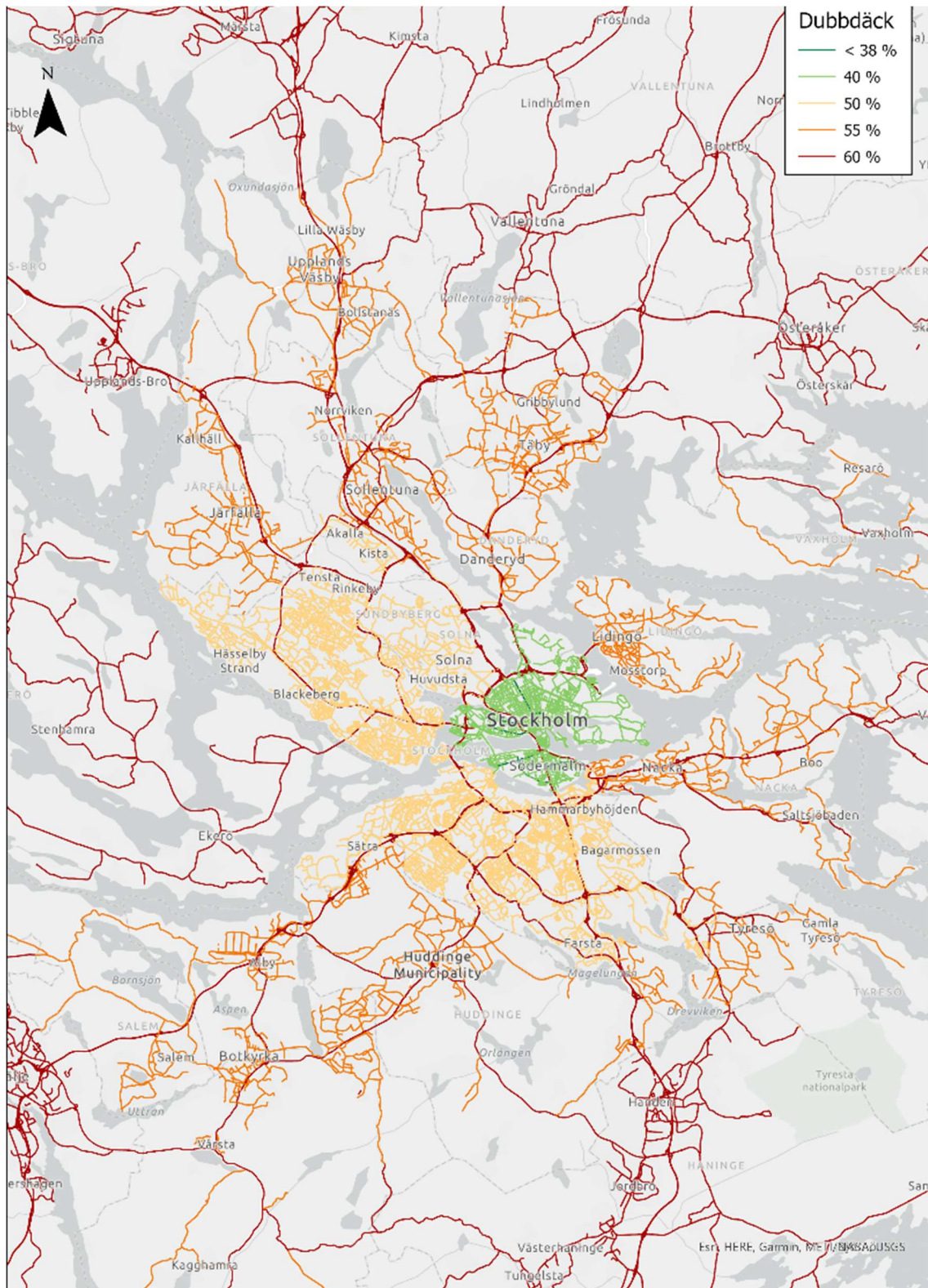
Under sommaren antas alla bilar använda sommardäck. På vintern (1 december – 1 april) har lätta fordon antingen ”odubbade vinterdäck” eller ”dubbade däck” i NORTRIP-modellen. Dubbdäcksandelen ökar succesivt till vintervärdena mellan 1 oktober och 1 december och gå tillbaka från vintervärdena mellan 1 april till 1 maj, se Figur 5. Dubbdäcksandelen under höst, vinter och vår på vägarna i Stockholmsområdet baseras på mätningar av SLB-analys [se t.ex. 11]. Tunga fordon har samma däcktyp året runt. Från Figur 7 är det tydligt att andelen bilar som använder dubbdäck i Stockholm minskar över tid.



**Figur 5.** Schematisk bild över dubbdäcksandelen under året för lätta fordon. Andelen dubbdäck under vintern varierar mellan olika vägar, se Figur 7. 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.



**Figur 6.** Trend i dubbdäcksandelar (procent) under januari till mars för några innerstadsgator i Stockholm. Från [11].

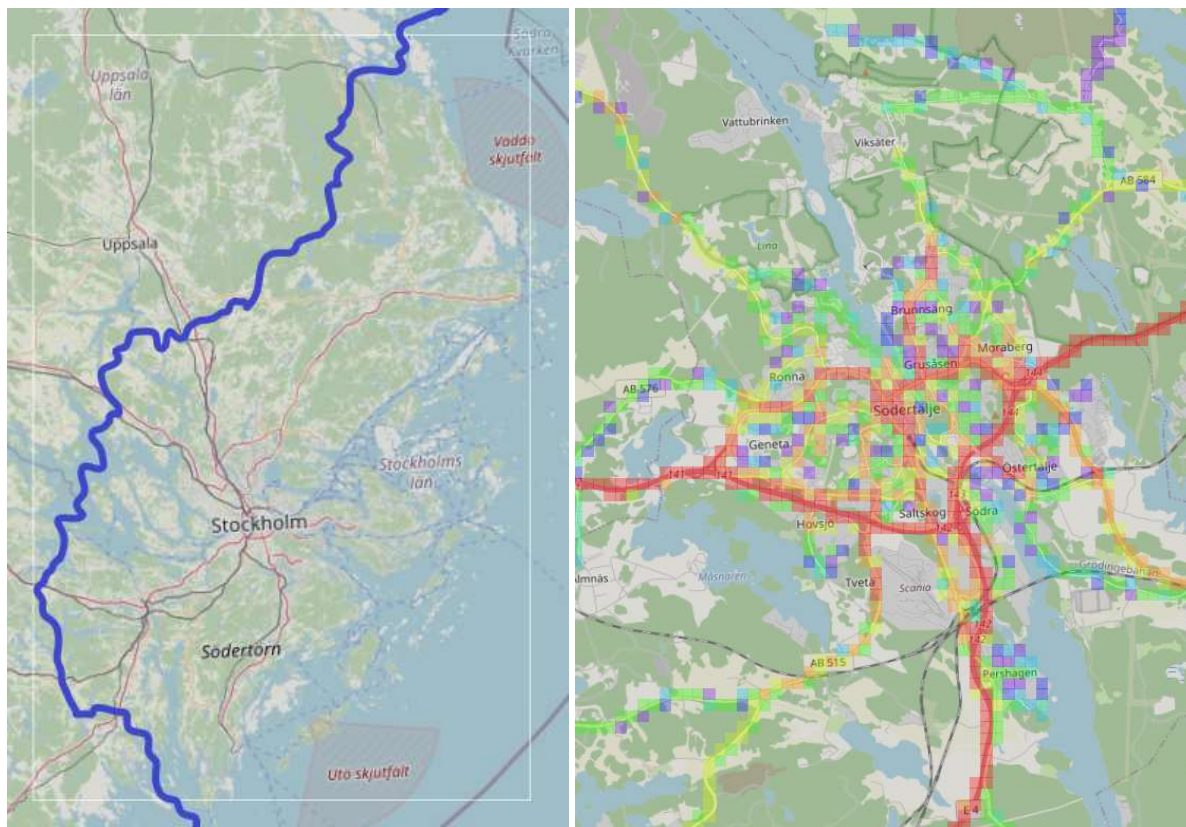


**Figur 7.** Dubbdäcksandelar under vintern i ett utsnitt av beräkningsområdet giltigt för år 2020. Data från Östra Sveriges Luftvårdsförbunds emissionsdatabas. Data baseras på mätningar utförda av SLB-analys. På sommaren är dubbdäcksandelen noll överallt. Andelen dubbdäck (och odubbade vinterdäck) på hösten och våren fås i NORTRIP-modellen genom interpolering mellan tidpunkterna när det är tillåtet och förbjudet med dubbdäck, se Figur 5.



## Emissionsfaktorer uppdelat på typområden

Vi har satt upp NORTRIP-modellen över ett rektangulärt område som täcker Stockholms län (vänstra panelen i Figur 8). Beräkningsområdet har  $520 \times 800$  kvadratiska rutor med storleken  $200 \text{ m} \times 200 \text{ m}$  (högra panelen i Figur 8). För att minimera effekterna av icke-representativa meteorologiska förhållanden används meteorologiska data för en treårsperiod (2018, 2019 och 2020). Under simuleringarna av de olika meteorologiska åren används samma trafikdata som är giltigt för år 2020.



**Figur 8.** Den tunna vita rektangeln i figuren till vänster visar området för NORTRIP-beräkningarna i denna studie, blå linje är den västra avgränsningen av Stockholms län. Figuren till höger visar ett utsnitt av beräkningsområdet centrerat över Södertälje. Storleken av beräkningsrutorna ( $200 \text{ m} \times 200 \text{ m}$ ) framgår av de olikfärgade rutorna som visar årliga emissioner av PM10 slitageemissioner (g/år).

Nästa steg är att, för varje beräkningsruta, bestämma de årliga emissionerna av PM10-slitagepartiklar (enhet: g/år). Från Östra Sveriges Luftvårdsförbunds emissionsdatabas kan vi sedan extrahera det totala trafikflödet (enhet: fordons-km/år) i exakt samma beräkningsrutor. Genom att dividera de årliga emissionerna med trafikflödet får vi emissionsfaktorer av PM10 slitagepartiklar (i enheten g/fkm) i varje  $200 \text{ m} \times 200 \text{ m}$  ruta. Eftersom indata till NORTRIP-simuleringarna kommer från samma databas som trafikflödet blir ovanstående beräkningar konsistenta även om, t.ex., mängden fordon på en viss väg skulle vara felaktig.

Med hjälp av GIS-verktyg som har tillgång till de olika typområdena kan vi slutligen skapa medelvärden av emissionsfaktorerna för respektive typområde inom Stockholms län.

## Säsongvariation av emissionsfaktorerna

För att uppskatta hur emissionsfaktorerna varierar över året använder vi säsongvariationen av slitage-emissionerna. Vi antar att säsongvariationen är samma i alla typområden och tar fram skalfaktorer för varje månad baserat på det relativa värdet av PM10-slitageemissionerna i beräkningsområdet under en specifik månad jämfört med motsvarande värde för året som helhet. För att förenkla processen baseras framtagandet av skalfaktorerna på de totala emissionerna i hela beräkningsområdet (vita rektangeln i vänstra panelen av Figur 8) istället för enbart i Stockholms län.

## Halter i luft

Genom att jämföra beräknade halter i luft med observationer på representativa platser kan vi skaffa oss en uppskattning om emissionsmodellernas förmåga att reproducera de verkliga emissionerna under ett antal år. Modellberäkningarna av halter i luft används vidare för att jämföra betydelsen av lokala slitagepartiklar med andra PM10-emissioner i området samt PM10 intransporterat till Stockholms län från källor utanför beräkningsområdet.

För att beräkna halter i luft används Airviro:s gaussmodell [12] och vindmodell [13] som båda ingår i Östra Sveriges luftvårdsförbunds system för luftmiljöövervakning [14]. Den gaussiska spridningsmodellen beräknar den geografiska fördelningen av PM10-halter två meter ovan tak, s.k. ”urban bakgrund”.

Gaussmodellen använder de timvisa emissionerna som beräknats av NORTRIP-modellen enligt ovan. Simuleringarna görs timme-för-timme för åren 2018, 2019 och 2020. För att fastställa bidraget från andra källor inom beräkningsområdet har vi även gjort beräkningar med den gaussiska spridningsmodellen som använder sig av Östra Sveriges Luftvårdsförbunds emissionsdatabas för emissioner från fordonsavgaser, punkt- och areakällor.

Bidraget från källor utanför Stockholms län sätts till de uppmätta halterna vid bakgrundsstationen Norr Malma, som ligger drygt 10 km norr om Norrtälje i nordligaste delen av Stockholms län.

För att utvärdera simuleringarna av det lokala bidraget har vi även skapat dygnsvärden av ”observerat urbant bidrag av PM10”, OUB, som:

$$OUB = \max(TK - NM, 0),$$

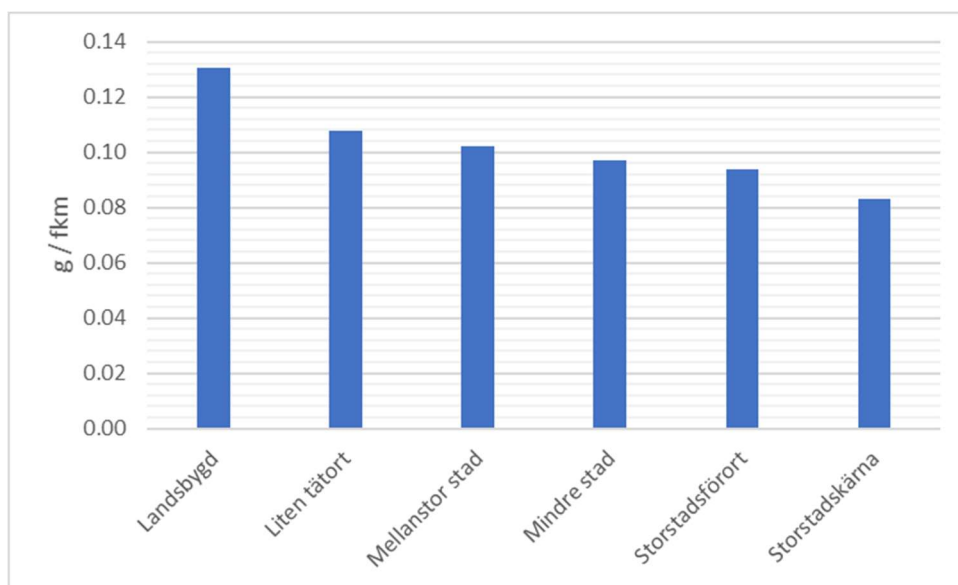
där *TK* är observerade dygnsmedelvärden vid Torkel Knutssonsgatans tak (som representerar urban bakgrundsluft) och *NM* är dygnsmedelvärden vid den regionala bakgrundsstationen Norr Malma. Max-operatorn slår till vid de tillfällen då dygnsmedelvärdet av PM10 vid den regionala bakgrundsstationen norr om Stockholm är högre än PM10-halterna inne i Stockholm vilket skett under 295 dygn under de tre simulerade åren. Det simulerade urbana bidraget är det sammanslagna resultatet från simuleringarna med slitageemissioner från NORTRIP-modellen samt simuleringarna med fordonsavgaser, punkt- och areakällor från Östra Sveriges Luftvårdsförbunds emissionsdatabas.



# Resultat

## Emissionsfaktorer i olika typområden

Figur 9 visar beräknade emissionsfaktorer för PM10-slitagepartiklar i Stockholms län uppdelat på olika typområden avseende årsmedelvärden för åren 2018 till 2020, se Tabell 1. Emissionsfaktorn är drygt 50 % större på landsbygden jämfört med storstadskärnan. Detta beror sannolikt på högre dubbdäcksandel och högre medelhastighet på landsbygden.



**Figur 9.** Emissionsfaktorer för PM10-slitagepartiklar för typområden definierade i Forsberg m.fl. [4]. Data är medelvärden över tre meteorologiska år, se sista kolumnen i Tabell 1.

**Tabell 1.** Beräknade emissionsfaktorer för PM10-slitagepartiklar i olika typområden i Stockholms län under år 2018-2020. I beräkningarna har de olika åren samma trafik, dubbdäcksandel, fordonsflotta mm, men olika meteorologi. Resultaten ges med två signifikanta siffror. Enhet: g/fkm (gram per fordons-km).

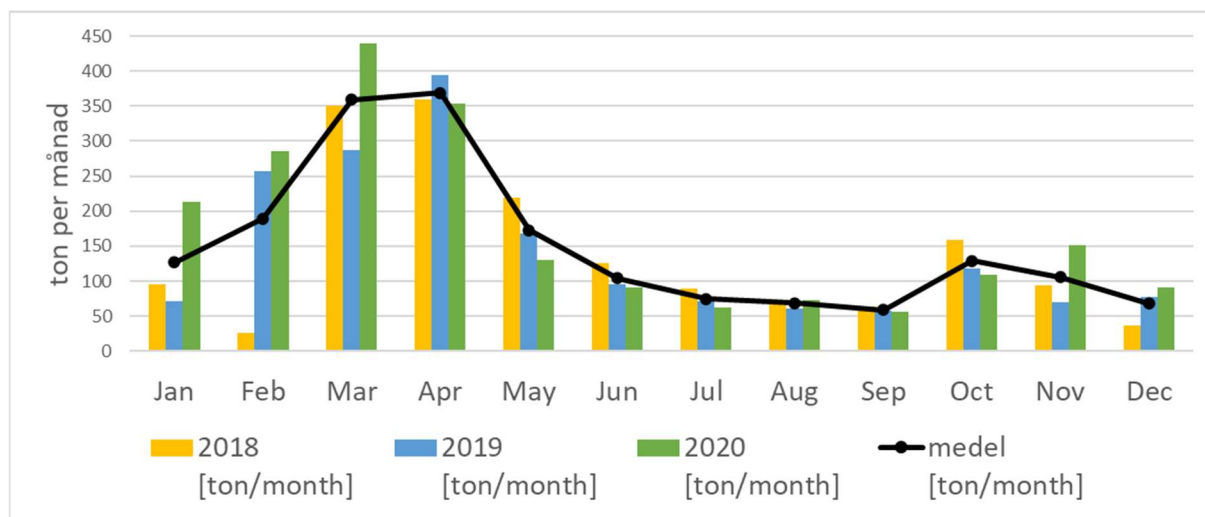
	2018	2019	2020	Medel (2018-2020)
Landsbygd	0.14	0.12	0.13	<b>0.13</b>
Liten tätort	0.12	0.098	0.11	<b>0.11</b>
Mellanstor stad	0.11	0.095	0.10	<b>0.10</b>
Mindre stad	0.10	0.090	0.10	<b>0.10</b>
Storstadsförort	0.10	0.086	0.093	<b>0.094</b>
Storstadskärna	0.092	0.076	0.080	<b>0.083</b>
<b>Medel Stockholms län</b>	<b>0.13<sup>1</sup></b>	<b>0.10<sup>1</sup></b>	<b>0.12<sup>1</sup></b>	<b>0.12<sup>1</sup></b>

<sup>1</sup>Areaviktat medelvärde över de olika typområdena i Stockholms län.

## Säsongvariation av emissionsfaktorerna

Figur 10 visar emissionerna av PM10-slitagepartiklar i beräkningsområdet uppdelat per månad under de olika meteorologiska åren. Slitageemissionerna är störst under vårvintern och lägst under sommaren. Under juli-september och december är slitageemissionerna cirka 20 % av vad de är under mars och april – vilka är de två månader som har störst slitageemissioner inom beräkningsområdet under åren 2018 till 2020.

Säsongvariationen av emissionsfaktorn för respektive område framgår av den svarta kurvan i Figur 10 med medelvärdet av alla 12 månader identiskt med värdet i Tabell 1. Enligt Tabell 1 och Tabell 2 blir då, till exempel, emissionsfaktorn för landsbygd i mars 0.31 ( $0.13 \times 2.4$ ) g/fkm och för storstadskärna i augusti 0.037 ( $0.083 \times 0.45$ ) g/fkm.



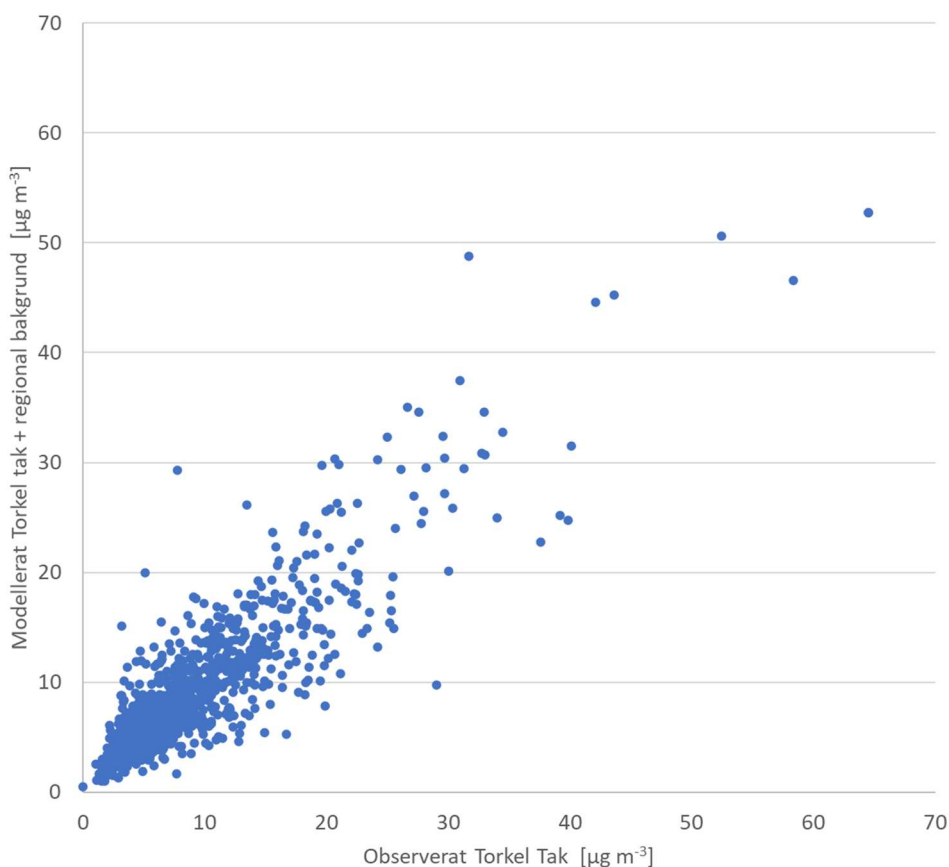
**Figur 10.** Månadsvisa totalemissioner av PM10-däckslitage i beräkningsområdet (se vita rektangeln i vänstra panelen i Figur 8). De olika staplarna är data under de individuella åren och den svarta linjen är 3-års medelvärdet.

**Tabell 2.** Relativ storlek av de årsvisa emissionsfaktorerna per månad. Data ges med två signifikanta siffror.

jan	feb	mar	apr	Maj	jun	Jul	aug	sep	okt	nov	dec
0.83	1.2	2.4	2.4	1.1	0.68	0.49	0.45	0.39	0.85	0.69	0.45

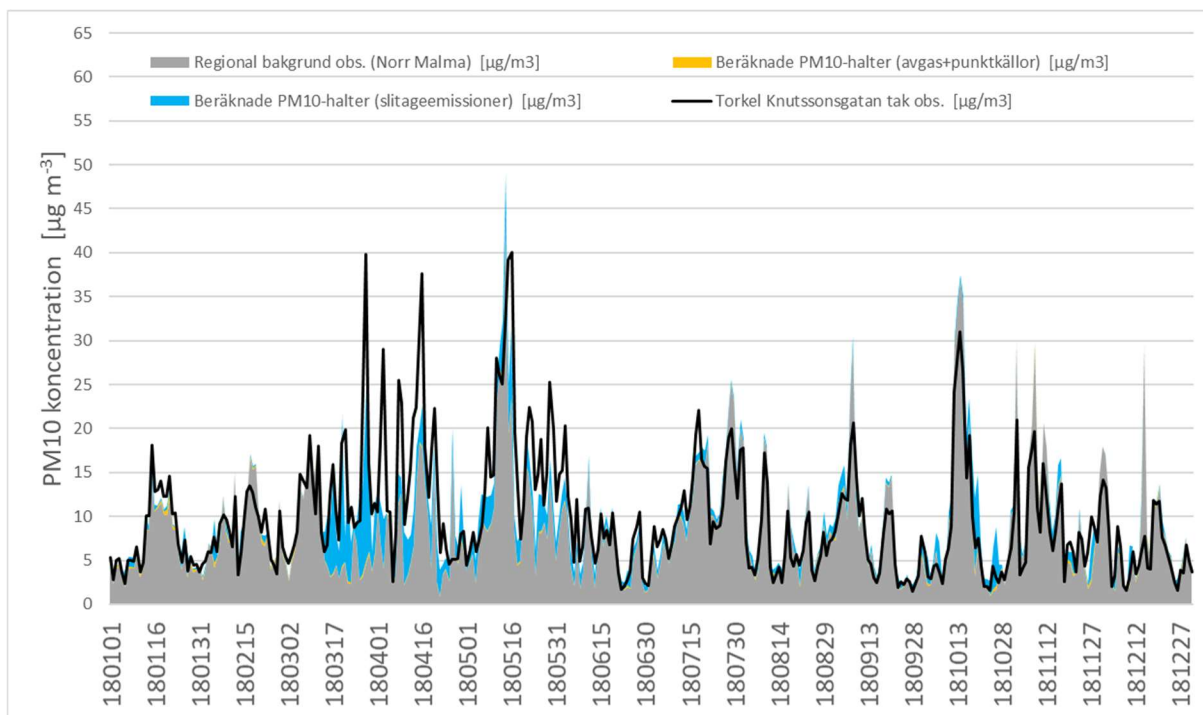
## Utvärdering av modellresultat: Halter i luft, urban bakgrund

Figur 11 visar en jämförelse mellan beräknade totalhalter och observationer av PM10 vid stationen Torkel Knutssonsgatans tak för perioden 2018-2020. Data från mätstationen representerar väl omblandad stadsluft, s.k. ”urban bakgrundsluft” – vilket motsvarar vad Airviros Gauss-modell beräknar. Korrelationskoefficienten mellan beräknade och observerade dygnsmedelvärden är 0.89; det beräknade långtidsmedelvärdet är knappt 1 % högre än det observerade ( $8.9 \mu\text{g m}^{-3}$  respektive  $8.8 \mu\text{g m}^{-3}$ ). De simulerade tidsserierna reproducerar således observationerna vid Torkel Knutssonsgatans tak mycket väl.

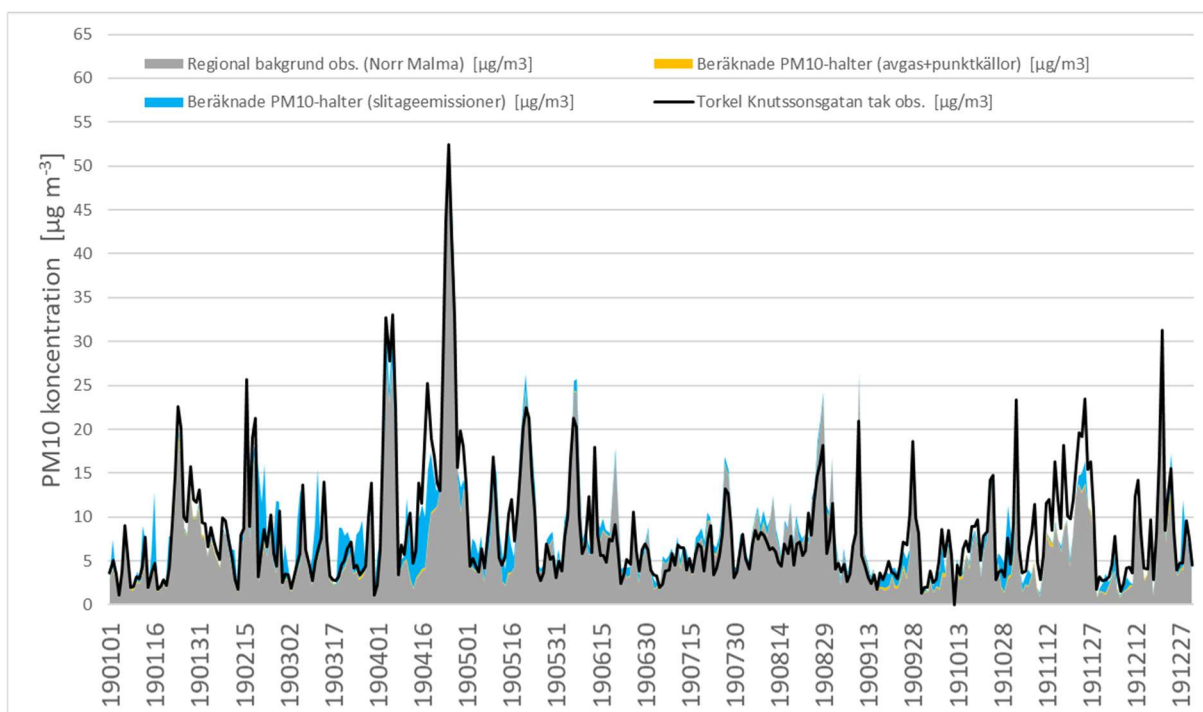


**Figur 11.** Dygnsmedelvärden av beräknade totalhalter (alla lokala emissioner + regional bakgrund observerad vid Norr Malma) vid Torkel Knutssonsgatans tak (2018-2020) plottade mot motsvarande observationer vid Torkel Knutssonsgatans tak. Korrelationskoefficienten ( $r$ ) är 0.89, antal datapunkter (dygnsvärden,  $n$ ) är 1096.

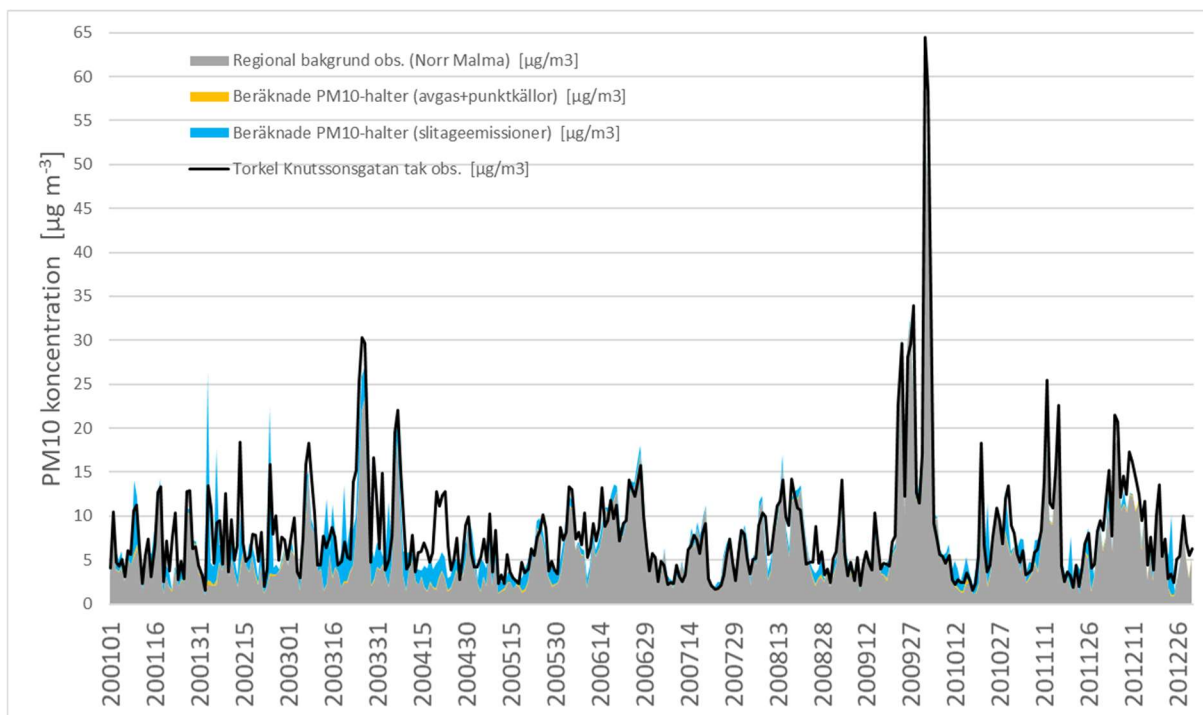
En närmare analys av data avslöjar att en bidragande anledning till den goda korrelationen är en följd av att urban bakgrund i Stockholm till stor del består av regional bakgrund (koncentrationen vid Norr Malma) – som används för att bestämma totalhalten av PM10 vid Torkel Knutssonsgatans tak, se Figur 12, Figur 13 och Figur 14. Korrelationskoefficienten för dygnsdata av de två mätserierna under åren 2018-2020 är 0.84 (visas ej).



**Figur 12.** Beräknade dygnsmedelhalter av totala PM10-halter vid Torkel Knutssonsgatans tak under 2018 uppdelat på regional bakgrund från Norr Malma (grå), simulerade halter från avgas samt punktkällor (orange) samt simulerade halter från slitage (blå). Data plottade som stackade ytor tillsammans med observationer vid Torkel Knutssonsgatans tak under 2018 (svart heldragen linje).



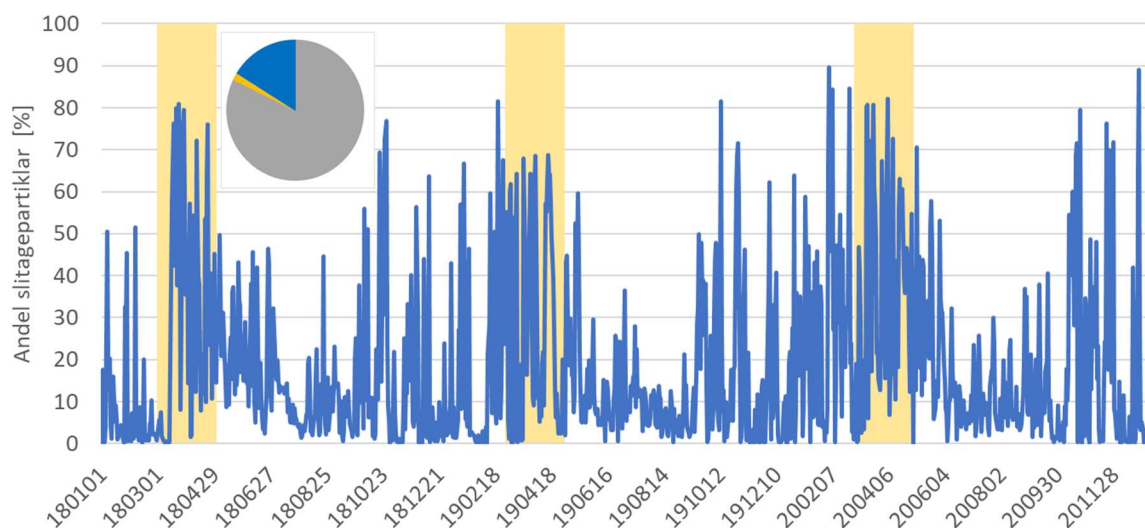
**Figur 13.** Motsvarande som Figur 12 men avseende år 2019.



**Figur 14.** Motsvarande som Figur 12 men avseende år 2020.

Figur 12 till Figur 14 visar att regional bakgrund dominerar medan avgas-emissioner och punktkällor inom Stockholms län utgör en försumbar del av PM10 vid Torkel Knutssonsgatans tak.

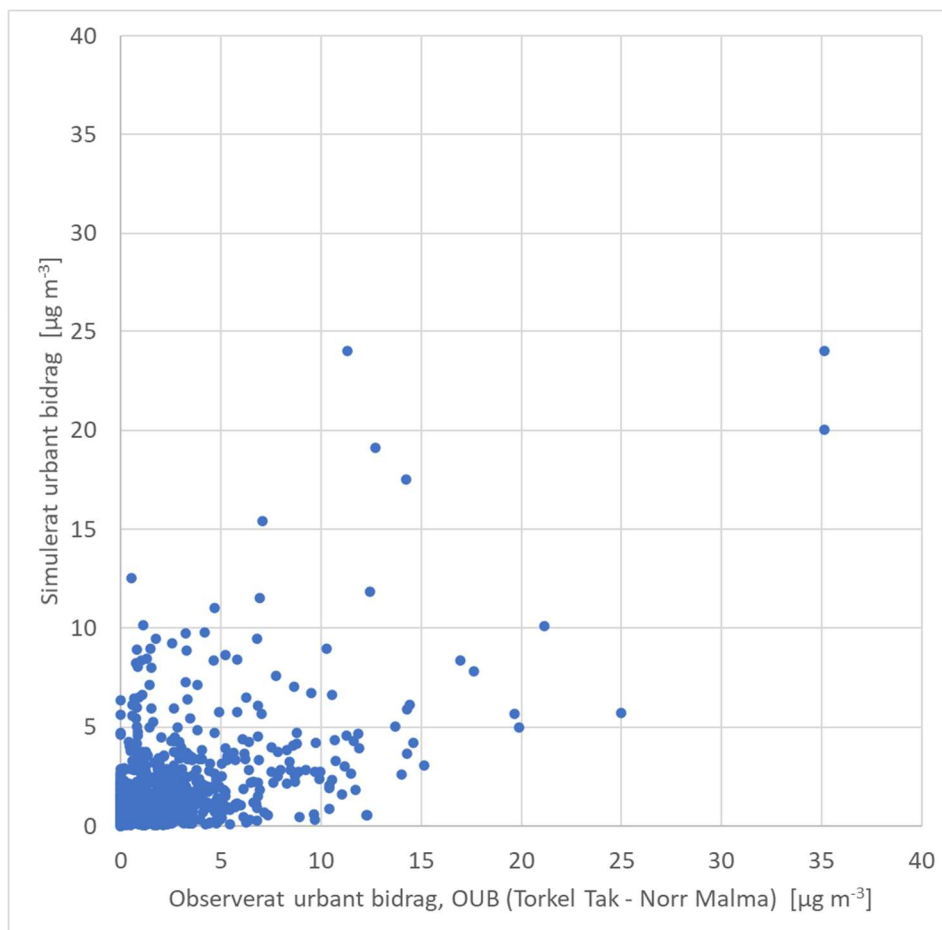
Slitagepartiklarna är en icke-försumbar del av totalhalterna av PM10 under framförallt mars och april under åren 2018 till 2020, se Figur 15. På årsbasis utgör slitagepartiklarna 16 % av den simulerade totalhalten i urban bakgrundsluft och 29 % under mars-april.



**Figur 15.** Andel av simulerad totalhalt vid Torkel Knutssonsgatans tak som härrör från slitagepartiklar varje dygn under år 2018-2020. De gula fälten indikerar perioden mars-april under respektive år. Det infällda cirkeldiagrammet visar medel av andelen regional bakgrund (82 %, grå), slitagepartiklar (16 %; blå) och emissioner från punkt- och areakällor (1.6 %; orange) under 3-års perioden 2018-2020.

## Utvärdering av modellresultat: Halter i luft, urbant bidrag

Figur 16 visar det beräknade urbana bidraget mot ”observerat urbant bidrag”, OUB. Medelvärdet av det beräknade urbana bidraget under åren 2018, 2019 och 2020 är  $1.6 \mu\text{g m}^{-3}$ ; att jämföra med det observerade som är  $2.0 \mu\text{g m}^{-3}$  när OUB beräknas enligt metoden beskriven ovan. Modell-systemet underskattar alltså det observerade urbana bidraget med upp mot 20 %. Korrelationskoefficienten för dygnsvisa beräknat och observerat urbant bidrag av PM10 vid Torkel Knutssonsgatans tak är 0.56 för perioden 2018-2020.



**Figur 16.** Dygnsmedelvärden av simulerat urbant bidrag (endast lokala emissioner) 2018-2020 plottade mot ”observerat urbant bidrag”, vid Torkel Knutssonsgatans tak.  $r=0.56$ ,  $n=1096$ .

## Diskussion

Vi har använt SLB-analys installation av NORTRIP-modellen för att beräkna PM10-slitageemissioner från vägtrafiken för de meteorologiska åren 2018, 2019 och 2020. Modellen är körd med standardinställningar (Road\_dust\_parameter\_table\_v8.xlsx; uppdaterat 2020-08-27) och de trafikala data som finns i Östra Sveriges Luftvårdsförbunds emissionsdatabas.

Värdena på emissionsfaktorerna i de olika typområdena är drygt hälften av det värde som hittills använts inom ASEK-arbetet (0.2 g/fkm [1]). Det använda modell-systemet underskattar det urbana bidraget av PM10-halten med ca. 20 % men totalhalten i urban bakgrund, dvs inklusive regional bakgrund, simuleras mycket väl. Den förhållandevis goda överensstämmelsen mellan modellerat och observerat urbant bidrag tyder inte på att vår version av NORTRIP-modellen skulle vara behäftade med systematiska fel som leder till faktor två underskattningar av PM10-emissionerna.

Till skillnad från den tidigare SIMAIR-studien [2] har emissionsfaktorer för ett mycket stort antal vägar och gator i Stockholms län beräknats. Risken att resultaten skulle vara felaktiga p.g.a. icke-typiska gator bedöms därmed mycket liten. Resultaten i denna rapport är också framtagna med mer aktuella indata gällande bl.a. dubbdäcksandelar och fordonsflöden jämfört med den tidigare SIMAIR-studien [2] vilken ligger till grund för faktorn 0.2 g/fkm. De uppdaterade trafikala data – speciellt den minskande dubbdäcksandelen i Stockholmstrafiken – är sannolikt den viktigaste orsaken till att resultatet från SIMAIR-studien [2] avviker från resultaten i detta arbete.

Resultaten från denna studie är giltiga för Stockholms län. Med största sannolikhet skulle resultatet bli annorlunda för PM10-slitageemissionsfaktorer om beräkningarna görs för en annan del av Sverige med andra dubbdäcksandelar och annan meteorologi. Det skulle vara möjligt att generalisera resultaten genom att t.ex. driva modellsystemet med meteorologi från andra delar av Sverige och/eller använda andra dubbdäcksandelar – men fortfarande göra simuleringarna på Stockholms-området.

I denna studie har vi inte räknat på eventuella effekter på trafiken av Corona-pandemin 2020-2021. Vi har valt att hålla alla trafikala parametrar konstanta och bara simulerat variationen utifrån den meteorologiska variabiliteten.

Forsberg m.fl. [4] har visat att det finns stora vinster med att dela upp exponerings- och kostnadsberäkningar på olika områden (typområden). Från vårt perspektiv har vi dock sett problem med att sammanföra alla vägar i området landsbygd till en och samma klass. Det är, till exempel, stor skillnad på PM10-slitageemissioner från de stora motorvägarna som löper genom landsbygden och alla små till medelstora regional- och lokalvägar. Å andra sidan kanske det inte spelar så stor roll inom ASEK-arbetet eftersom kostnaderna framförallt handlar om hälsoeffekter och landsbygd är definitionsmässigt områden med låg befolkningstäthet.

## Tack

Det praktiska genomförandet av denna studie utkristalliserades efter diskussioner mellan författarna, Mikael Norman och Boel Lövenheim. Boel Lövenheim tackas vidare för hjälp med GIS-analyserna samt framtagande av Figur 1.

Tack också till Jenny Lindvall för framtagande av Figur 2 - Figur 7.



## Referenser

1. Analyismetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 7.0. Kapitel 11 Kostnad för luftföroreningar.  
[https://www.trafikverket.se/contentassets/4b1c1005597d47bda386d81dd3444b24/asek-2021/11\\_luftfororeningar\\_a70.pdf](https://www.trafikverket.se/contentassets/4b1c1005597d47bda386d81dd3444b24/asek-2021/11_luftfororeningar_a70.pdf) (2022-02-22)
2. New method of calculating emissions from tyre and brake wear and road abrasion. SMED Report No 177, 2015. I. Mawdsley, M. Jerksjö, S. Andersson, J. Arvelius, G. Omstedt.
3. SIMAIR. <https://www.smhi.se/tema/simair/> (2022-03-16)
4. Bättre metoder att beskriva hälsovinster av minskad luftföroreningsexponering från vägtrafik. Rapport. B. Forsberg, B. Lövenheim, J.N. Sommar, H. Kriit, M. Strömgren, C. Johansson.
5. Demografiska statistikområden, en ny regional indelning under kommuner.  
<https://www.scb.se/hitta-statistik/artiklar/2018/demografiska-statistikomraden-en-ny-regional-indelning-under-kommuner> (2022-03-31)
6. Jonsson D, Berglund S, Almström P, Algiers S. The usefulness of transport models in Swedish planning practice. *Transport Reviews* 2011;31(2): 251–265.
7. Denby, B.R., Sundvor, I., Johansson, C., Pirjola, L., Ketzal, 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.
8. Denby, B.R., Sundvor, I., Johansson, C., Pirjola, L., Ketzal, 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.
9. 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.
10. Genomsnittliga emissionsfaktorer för PM10 i Stockholmsregionen som funktion av dubbdäcksandel och fordons hastighet. SLB 2:2008. C. Johansson, M. Norman, M. Gustafsson.
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](https://www.slbanalys.se/slb/rapporter/pdf8/slb2020_025.pdf) (2022-03-02)
12. Gauss-modellen. Se Appendix 2C i:  
[https://www.airviro.com/airviro/extras/pdffiles/UserRef\\_Volume2\\_Dispersion\\_v5.00.pdf](https://www.airviro.com/airviro/extras/pdffiles/UserRef_Volume2_Dispersion_v5.00.pdf) (2022-02-23).
13. Vindmodellen. Se Appendix 2A i:  
[https://www.airviro.com/airviro/extras/pdffiles/UserRef\\_Volume2\\_Dispersion\\_v5.00.pdf](https://www.airviro.com/airviro/extras/pdffiles/UserRef_Volume2_Dispersion_v5.00.pdf) (2022-02-23).
14. Airviro. <http://airviro.com/airviro>

# Appendix

Nedan redovisas flaggor och parameterinställningarna som används i NORTRIP-simuleringarna. Observera att många av inställningarna nedan inte används eller skrivs över i SLB-analys installation av NORTRIP i Airviro-systemet.

## Parameters

```
[magnuz@avs NORTRIP]$ cat NORTRIP_params.txt
NORTRIP model text parameter file (params)
-----
Tab seperated. 48 and 24 characters
Check log file to assess proper reading
-----

ROAD DUST SUB-MODEL PARAMETERS
Road wear
W0,roadwear (g km-1 veh-1)          Studded tyres (st)          Winter tyres (wi)          Summer tyres (su)
Heavy (he)                          14.4                        0.36                      0.36
Light (li)                          2.88                       0.072                    0.072
Parameters for speed dependence
Equation W=W0*(a1+a2*(V/Vref)a3)    a1                          a2                          a3                          Vref,roadwear          Vmin,roadwear
0                                    1                            1                            1                            70                      30
Tyre wear
W0,tirewear (g km-1 veh-1)          Studded tyres (st)          Winter tyres (wi)          Summer tyres (su)
Heavy (he)                          0.5                        0.5                      0.5
Light (li)                          0.1                        0.1                      0.1
Parameters for speed dependence
Equation W=W0*(a1+a2*(V/Vref)a3)    a1                          a2                          a3                          Vref,tyrewear          Vmin,tyrewear
0                                    1                            1                            1                            70                      30
Brake wear
W0,brakewear (g km-1 veh-1)          Studded tyres (st)          Winter tyres (wi)          Summer tyres (su)
Heavy (he)                          0.05                      0.05                    0.05
Light (li)                          0.01                      0.01                    0.01
Parameters for speed dependence
Equation W=W0*(a1+a2*(V/Vref)a3)    a1                          a2                          a3                          Vref,brakewear          Vmin,brakewear
1                                    1                            -0.75                      1                            120                     30
Snow depth wear threshold
Parameter                            Value
sroadwear,thresh (mm w.e.)          5
Pavement type scaling factor
Number of pavement types            10
Index(p)                             Name                            hpave (p)
1                                    NBM19_SS11                     1
2                                    NBM14_SS11                     2.9
3                                    NBM10_SS11                     0.98
4                                    NBM7_SS11                      1.9
5                                    NB_sletta                      1
6                                    HCAB_before_2008               4
7                                    Runeberg                      1
8                                    HCAB_after_2008               2
9                                    Stavanger                      1
10                                   Finish                         0.98
Driving cycle scaling factor
Number of driving cycle types        4
Index(d)                             Name                            hdrivingcycle (d)
1                                    Reference                      1
2                                    Urban                          1.5
3                                    Highway                        0.5
4                                    Congested                      2
```

## Parameters (continued)

Road suspension					
f0,suspension(veh-1)	Studded tyres (st)	Winter tyres (wi)	Summer tyres (su)		
Heavy (he)	5.0e-05	5.0e-05	5.0e-05		
Light (li)	5.0e-06	5.0e-06	5.0e-06		
Parameters for speed dependence					
Equation fsus=fsus0*(a1+a2*(V/Vref)+a3)	a1	a2	a3	Vref,suspension	Vmin,suspension
	0	1	0.5	50	20
Suspension scaling factors					
Source	PM10 - PM200	PM200 - PM10	PM10 - PM2.5	PM2.5	
h0,roadwear	1	1	1	1	
h0,tyrewear	1	1	1	1	
h0,brakewear	1	1	1	1	
h0,sand	10	1	1	1	
h0,depo	1	1	1	1	
h0,fugitive	1	1	1	1	
h0,exhaust	1	1	1	1	
h0,salt(1)	1	1	1	1	
h0,salt(2)	1	1	1	1	
h0,q_road	1	1	1	1	
Abrasion factor					
f0,abrasion(veh-1)	Studded tyres (st)	Winter tyres (wi)	Summer tyres (su)		
Heavy (he)	5e-05	5e-05	5e-05		
Light (li)	5e-06	5e-06	5e-06		
Reference speed Vref,abrasion (km/hr)	60				
Abrasion scaling factor					
h0,abrasion	PM10 - PM200	PM200 - PM10	PM10 - PM2.5	PM2.5	
	1	1	0.1	0	
Crushing factor					
f0,crushing(veh-1)	Studded tyres (st)	Winter tyres (wi)	Summer tyres (su)		
Heavy (he)	1e-05	1e-05	1e-05		
Light (li)	1e-06	1e-06	1e-06		
Reference speed Vref,crushing (km/hr)	60				
Crushing scaling factor					
h0,crushing	PM10 - PM200	PM200 - PM10	PM10 - PM2.5	PM2.5	
	1	0	0	0	
Sources participating in abrasion and crushing					
Source	Abrasion	Crushing			
p0,roadwear	0	0			
p0,tyrewear	0	0			
p0,brakewear	0	0			
p0,sand	1	1			
p0,depo	1	1			
p0,fugitive	1	1			
p0,exhaust	0	0			
p0,salt(1)	0	0			
p0,salt(2)	0	0			
Direct emission factor					
Source parameter	Value				
f0,dir-roadwear	1				
f0,dir-tyrewear	1				
f0,dir-brakewear	1				
f0,dir-crushing	0				
f0,dir-abrasion	0				
f0,dir-exhaust	0.98				

## Parameters (continued)

Fractional size distribution				
Source	PM10	PM200	PM10	PM2.5
fPM,roadwear	1	1	0.28	0.0224
fPM,tyrewear	1	1	0.1	0.01
fPM,brakewear	1	1	0.8	0.5
fPM,sand	1	0.05	0.008	0.002
fPM,depo	1	1	0.2	0.04
fPM,fugitive	1	1	0.28	0.028
fPM,exhaust	1	1	1	1
fPM,salt(1)	1	1	0.28	0.0224
fPM,salt(2)	1	1	0.28	0.0224
fPM,crushing	1	1	0.16	0.04
fPM,abrasion	1	1	0.2	0.02
Reference speed Vref,PM-fraction (km/hr)	50			
cPM-fraction (km/hr)-1	0			
Wind blown dust emission factors				
Parameter	Value			
twind (hr)	12			
FFthresh (m/s)	5			
Activity efficiency factors for dust and salt				
Efficiency parameter dust	PM10 - PM200	PM200 - PM10	PM10 - PM2.5	PM2.5
hploughing-eff	0.01	0.01	0.01	0.01
hcleaning-eff	0.001	0.001	0.001	0.001
hdrainage-eff	0.01	0.01	0.01	0.01
hspraying-eff	0.1	0.1	0.1	0.1
Efficiency parameter salt	Salt(1)	Salt(2)		
hploughing-eff	0.3	0.3		
hcleaning-eff	0.2	0.2		
hdrainage-eff	1	1		
hspraying-eff	1	1		
Deposition velocity				
wx (m/s)	PM200 - PM10	PM10 - PM2.5	PM2.5	
	0.003	0.001	0.0005	
Concentration conversion limit values				
Parameter	Value			
NOX,concentration-min (5g/m3)	5			
NOX,emission-min (g/km/hr)	50			

## Parameters (continued)

MOISTURE SUB-MODEL PARAMETERS				
Spray and splash factors				
Parameter	Water	Snow	Ice	
f0,spray (veh-1) (he)	0.00078	7.8e-05	7.8e-06	
f0,spray (veh-1) (li)	0.00013	1.3e-05	1.3e-06	
Vref,spray (km/hr)	80	80	80	
groad,sprayable-min (mm)	0.05	0.05	0.05	
Power law factor for spray aspray	2	2	2	
Vthresh,spray (km/hr)	30	30	30	
Drainage parameters				
Parameter	Value (min all types)	Val (thresh for type 3)		
gdrainable (mm)	0.5	0.2		
Snow retainment limit (mm)	2			
Drainage time scale(hr)	12			
Ploughing parameters				
Parameter	Water	Snow	Ice	
Ploughing efficiency for snow removal	0.5	0.8	0.3	
Ploughing threshold (mm)	100	3	3	
Energy balance parameters				
Parameter	Value			
groad,evap-thresh (mm)	0.02			
Roughness length (mm)	1			
Snow albedo	0.4			
Subsurface slab depth (m)	0			
Suburf temperature average time (h)	36			
Subsurface parameters	s (kg/m3)	cs (J/kg/K)	ks (W/m/K)	
Subsurface parameters	2400	800	2	
Traffic turbulent exchange and heat flux	Heavy (he)	Light (li)		
atraffic (veh-1)	0.01	0.001		
Hveh (W m-2 veh-1)	150	50		
Retention parameters				
Parameter	Road	Brake	Dust binder (g/m2)	
gretention-thresh (mm)	0.06	0.5	250	
gretention-min (mm)	0.02	0.3	50	
INTER-TRACK AND SHARED SUB-MODEL PARAMETERS				
Surface texture parameters				
Adjusted parameter	texture_scaling(i)	Master texture scaling		
gdrainable (mm)	1	1		
f0,suspension(veh-1)	1			
f0,spray (veh-1)	1			
hdrainage-eff (dust)	1			
hspraying-eff (dust)	1			
Road track parameters				
Track type	Include which tracks	Fraction road area	Fraction vehicles	Migration factor (1/veh)
falltrack	1	1	1	0.01
fouttrack	0	0.9	0.9	0.01
fintrack	0	0.1	0.08	0.01
fshoulder	0	0	0.01	0.01
fkerb	0	0	0.01	0.01
Track type	Suspension rescaling	Spray rescaling	None	None
falltrack	1	1	0	0
fouttrack	1	1	0	0
fintrack	100	100	0	0
fshoulder	0.1	1	0	0
fkerb	0.1	1	0	0



## Flags

```
[magnuz@avs NORTRIP]$
[magnuz@avs NORTRIP]$ cat NORTRIP_flags.txt
NORTRIP model text parameter file (flags)
-----
DUST 0 Keep this line and number here
road_wear_flag 1 Allows road wear
tyre_wear_flag 1 Allows tyre wear
brake_wear_flag 1 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
MOISTURE
retention_flag 2 Allows retention of particles due to surface wetness. 1 is linear, 2 is exponential, 0 is none, 3 is retain all
use_obs_retention_flag 0 Uses the observed moisture to determine the surface retention, if available
water_spray_flag 1 Allows spray from the road surface
drainage_type_flag 2 Allows drainage from the road surface. 1 is with exponential decay, 2 is instantaneous, 3 combined
surface_humidity_flag 2 Sets the method for describing the surface humidity. 1 is linear, 2 is exponential
use_salt_humidity_flag 1 Allows road salt concentrations to influence the surface humidity and melt temperature
ENERGY BALANCE
evaporation_flag 1 1 = energy balance with ice and sub-surface, 0 = none
canyon_shadow_flag 1 Use the street canyon dimensions to shadow the road. 1 is canyon 2 is skyview 3 is combined
canyon_long_rad_flag 1 Use the street canyon dimensions to produce long wave radiation
use_subsurface_flag 1 Use the underlying subsurface in the energy balance calculations. Set to 1 for air temperature, 2 for surface temperature
use_traffic_turb_flag 1 Use the enhanced turbulence and heat flux for traffic
ACTIVITY
use_salting_data_1_flag 1 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 1 Allows salting, either from the input data or by rule for salt type 2 (Binder). Other than 1 is scaling
use_sanding_data_flag 1 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 2 Allows salting by rule (1 over rides the input data values, 2 adds to input data for both salts)
auto_binding_flag 2 Allows binding by rule (1 over rides the input data values, 2 adds to input data for salt 2 only)
auto_sanding_flag 2 Allows sanding by rule (1 over rides the input data values, 2 adds to input data)
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)
OUTPUT
plot_type_flag 1 1 = hourly, 2 = daily, 3 = daily cycle, 4 = 1/2 daily means, 5 = day of week, 7= weekly, 8= monthly
save_type_flag 4 1 = save data, 2 = save plots, 3 = save both, 4 = save data as text, 0 = none
OSPM
use_ospm_flag 0 Runs OSPM for dispersion. 1 uses NORTRIP data, 2 uses ospm data in input file sheet 'OSPM' (2 NOT ACTIVE!)
FORECAST
forecast_hour 0 Set the number of hours for the road temperature forecasts. 0 is no forecast
forecast_type 1 Forecast type 1 is modelled forecast, 2 is persistence, 3 is linear interpolation, 4 is bias correction, 5 is flux correction
MEMORY USAGE
use_single_road_loop_flag 1

#Additional factors that override the road specific values in the metadata file
override_long_rad_in_offset 0.0 (W/m^2)
override_RH_offset 0.0 (%)
override_T_2m_offset 0.0 (C)
override_wind_speed_correction 1.0 (scaling)
override_albedo_road_offset 0.0
[magnuz@avs NORTRIP]$\
```

## Activities

```
[magnuz@avs NORTRIP]$ cat NORTRIP_activities.txt
NORTRIP model text parameter file (activities)
-----
SALT AND SAND RULES          0          Keep this line and number here
Salting                      Value      Comment
salting_hour(1) (hour)      5          First time of day when salting can occur
salting_hour(2) (hour)     18         Second time of day when salting can occur
delay_salting_day (day)    0.45       Minimum allowable time between saltings events in days
check_salting_day (day)    0.5        Time window checked ahead (temperature, RH) and behind (precip)
min_temp_salt (C)          -8         Minimum temperature for salting in the forward time window
max_temp_salt (C)          -2         Maximum temperature for salting in the forward time window
precip_rule_salt (mm/hr)   0.2        Salt if precipitation occurs above this level in the forward and behind time window or RH_rule
RH_rule_salt (%)           95         Salt if the relative humidity is above this level in the forward time window or precip rule
g_salting_rule (mm)        0.2        Dry salt if the surface moisture is above this value at time of salting
salt_mass (g/m2)           10         Mass of salt applied at each application
salt_dilution              0.2        Salt solution, if 0 then always dry salting
salt_type_distribution      1          M(salt) = M(salt1)*salt_type + M(salt2)*(1-salt_type) ; Salt 1=NaCl

Sanding                      Value      Comment
sanding_hour(1) (hour)     5          First time of day when sanding can occur
sanding_hour(2) (hour)     5          Second time of day when sanding can occur
delay_sanding_day (day)    14         Minimum allowable time between sanding events in days
check_sanding_day (day)    0.5        Time window checked ahead (temperature, RH) and behind (precip)
min_temp_sand (C)          -50        Minimum temperature for sanding in the forward time window
max_temp_sand (C)          -2         Maximum temperature for sanding in the forward time window
precip_rule_sand (mm/hr)   0.1        Sand if precipitation occurs above this level in the forward and behind time window or RH_rule
RH_rule_sand(%)            0          Sand if the relative humidity is above this level in the forward time window or precip_rule
g_sanding_rule (mm)        0.1        Dry sand if the surface moisture (snow or ice) is above this value at time of sanding
sand_mass (g/m2)           250        Total mass of sand applied at each application
sand_dilution              0          Sand in solution, if 0 then always dry sanding

Snow ploughing              Value      Comment
delay_ploughing_hour (hr)  3          Minimum time between between snow ploughing events
ploughing_thresh (mm)      0          Overrides existing parameter, threshold at which ploughing occurs, set in Parameter table.

Road cleaning               Value      Comment
delay_cleaning_hour (hr)   72         Minimum time between between cleaning events (hours)
min_temp_cleaning (C)      0          Minimum temperature at which cleaning can occur
start_month_cleaning (MM_num) 11         Month number after which cleaning can occur
end_month_cleaning (MM_num) 4          Month number after which no cleaning can occur
clean_with_salting         0          Sets the cleaning event to occur during a salting event. Temperatures must be compatible
wetting_with_cleaning (mm) 0.6        Include wetting with the cleaning (mm or litre/m2)
efficiency_of_cleaning     0.1        Relative efficiency of the auto cleaning, compared to h_cleaning-eff

Dust binding                Value      Comment (type of binder specified in the header of the activity input file sheet)
binding_hour(1) (hour)     2          First time of day when binding can occur
binding_hour(2) (hour)     6          Second time of day when binding can occur
delay_binding_day (day)    2.9        Minimum allowable time between binding events in days
check_binding_day (day)    0.25       Time window checked ahead (temperature, RH) and behind (precip)
min_temp_binding (C)       -30        Minimum temperature for binding in the forward time window
max_temp_binding (C)       25         Maximum temperature for binding in the forward time window
precip_rule_binding (mm/hr) 0.1        Do not bind if precipitation occurs above this level in the forward or backward time window
RH_rule_binding (%)        40         Bind if the relative humidity is above this level anywhere in the forward time window
g_binding_rule (mm)        0.05       Bind if the surface moisture is currently below this value
binding_mass (g/m2)        5          Mass of binding applied at each application
binding_dilution           0.2        Binding solution in mass, if 0 then dry
start_month_binding (MM_num) 11         Month number after which binding can occur
end_month_binding (MM_num) 4          Month number after which no binding can occur
[magnuz@avs NORTRIP]$
```

**SLB-analys**, Miljöförvaltningen i Stockholm.  
Tekniska nämndhuset, Fleminggatan 4.  
Box 8136, 104 20 Stockholm.  
[www.slb.nu](http://www.slb.nu)

