

Kartläggning av sothalter i Stockholms, Uppsala och Gävleborgs län

Anders Engström Nylén
Christer Johansson
Sanna Silvergren
Lars Burman
Kristina Eneroth

Förord

Denna kartläggning av utsläpp, halter och exponering för sotpartiklar är genomförd som en del i tilläggsprogrammet för år 2014 och avser kommunerna i Stockholms, Uppsala och Gävleborgs län.

Utredningen är genomförd av SLB-analys vid Miljöförvaltningen i Stockholm. SLB-analys är operatör för Östra Sveriges luftvårdsförbunds system för övervakning och utvärdering av luftkvalitet i regionen. Uppdragsgivare för utredningen är Östra Sveriges Luftvårdsförbund.

Rapporten har granskats av: Malin Tappefur

Daterad:	2015-05-07
Handläggare:	Anders Engström Nylén
Status:	Granskad



Miljöförvaltningen i Stockholm
Box 8136
104 20 Stockholm
www.slb.nu

Innehållsförteckning

Förord	2
Innehållsförteckning	3
Sammanfattning.....	4
Inledning.....	4
Källor till sotpartiklar	6
Beräkningsförutsättningar	9
Validering mot mätningar.....	10
Spridningsberäkningar.....	12
Befolkningsviktad exponering.....	15
Diskussion och sammanfattning.....	15
Referenser.....	18
Appendix	19

Sammanfattning

SLB-analys har på uppdrag av Östra Sveriges Luftvårdsförbund för första gången kartlagt sotpartikelutsläppen och beräknat halterna och befolkningsexponeringen för länens kommuner. Inom luftvårdsförbundets område är det främst vägtrafik och vedeldning som bidrar till halterna av sot, men bidrag kommer även från sjöfart och värmeverk. I gatumiljön dominerar utsläppen från vägtrafiken, främst dieselfordon som har högre emissioner än bensinfordon. Högst utsläpp har de tunga dieselfordonen. I urban och regional bakgrundsmiljö kan småskalig vedeldning vara den dominerande utsläppskällan. Höga halter är i Stockholms län lokaliserade i närheten av vägar, medan motsvarande höga halter i Uppsala och Gävleborgs län istället återfinns i och omkring tätorter där källan är förbränning i syfte att värma bostäder. Den högsta befolkningsviktade halten återfinns främst i kommuner med mycket bebyggelse i närheten av vägtrafik, men även i stor utsträckning i kommuner med en stor andel sotutsläpp från fastighetsuppvärmning.

Inledning

Halten av sotpartiklar i luften har visat sig ha starka samband med sjuklighet och dödlighet bland människor, men halter av sotpartiklar i luft regleras inte i EU:s luftkvalitetsdirektiv eller i de svenska miljökvalitetsnormerna. Sambanden mellan hälsoriskerna och exponeringshalterna är tydligare och mer robusta för sotpartiklar jämfört med de reglerade partikelmåtten, PM_{2,5} och PM₁₀ vilket har lett till att intresset för sot har ökat under de senaste åren. För utvärdering av betydelsen för hälsa av åtgärder som syftar till att minska utsläppen av förbränningspartiklar så är påverkan på sotpartikelhalterna (eller exponeringen) ett bättre mått än PM₁₀ eller PM_{2.5}. Janssen et al. (2011) visade att en minskning av sotpartikelhalten med 1 µg/m³ förlänger livet 5 till 9 gånger mer jämfört med en minskning av 1 µg/m³ PM_{2.5}.

Utöver dess betydelse för hälsopåverkan så utgör sotpartiklar i dagens atmosfär ett viktigt bidrag till den globala uppvärmningen. Minskade utsläpp av sotpartiklar är därför viktigt både för att minska de negativa hälsoeffekterna och för att minska människans påverkan på klimatet. Men för att åtgärderna ska vara så effektiva som möjligt krävs god kännedom om olika källors betydelse för de totala utsläppen och om källornas bidrag till befolkningens exponering.

Sotpartiklar bildas vid nästan all typ av förbränning av kolinnehållande material. Nybildade sotpartiklar är väldigt små, 10-50 nm (nanometer, nano=10⁻⁹), men ute i luften klumpar de ihop sig och bildar kedjor bestående av väldigt många sotpartikelkärnor. I luften förekommer aldrig sotpartiklarna som enskilda ”rena” partiklar utan de är associerade med många andra ämnen (metaller och organiska ämnen som släpps ut från samma källa) och deras form ändras efterhand som de ”åldras” i luften. Partiklar från olika källor innehåller olika andel sotpartiklar beroende på förbränningsprocesser och bränsle (Johansson och Hansson, 2007).

Hittills finns väldigt bristfälligt underlag vad gäller halter och exponering för sotpartiklar i Europa och resten av världen (Grahame et al., 2014; Dernier van der Gon et al., 2014). Till stor del beror det på att det hittills saknats krav på rapportering och mätning. Från år 2015 rapporterar en del länder, inklusive

Sverige, frivilligt utsläppen av sotpartiklar inom ramen för det sk Göteborgsprotokollet. Rapporteringen avser de årliga utsläppen från och med år 2000. En emissionsinventering för Sverige för åren 2000 - 2012 har nyligen tagits fram för detta av Svenska Miljöemissionsdata (SMED, 2014). Den grundas på tidigare inventeringar av utsläppen av fina partiklar, PM_{2,5}, och andelen sotpartiklar av PM_{2,5} enligt uppgifter i EMEP's handbok för emissionsinventeringar (EEA, 2013). Enligt SMED rapporten var den största källan till sotpartiklar i Sverige år 2012 var förbränningen av ved för uppvärmning av småhus (27 %). Det är också den källa som har störst osäkerheter. Andra utsläpp inom energisektorn står för 19 %, arbetsmaskiner för 18 % och vägtrafiken för 17 % av de totala utsläppen av sotpartiklar i Sverige år 2012.

Idag är halterna av sotpartiklar betydligt lägre än på 60-talet (Johansson och Hansson, 2007). Men jämförelser mellan de historiska halterna och dagens försvåras av att olika mätmetoder har använts. År 1965 var årsmedelhalten sot mätt som "black smoke" 60 µg/m³ i Stockholm, mer än en faktor 10 högre jämfört med 1995 med samma mätmetod. Det finns ett föreslaget miljö kvalitetsmål för sot på 10 µg/m³ som årsmedelvärde (prop. 2000/01:130). Mätmetoden är ospecificerad, men det är troligt att man satt målet utifrån black smoke data. Detta mål är satt utifrån att man vill skydda byggnader och kulturminnesmärken från nedsmutsning. Något hälsorelaterat mål finns inte.

Denna kartläggning av sotpartiklar för Gävleborgs, Uppsala och Stockholms län avser utsläpp och halter för år 2011. Den bygger på Luftvårdsförbundets betydligt mer detaljerade underlag för beräkning av utsläppen jämfört med SMED. Baserat på emissionskartläggningen görs spridningsberäkningar av olika källors bidrag till halterna och beräkningar av befolkningens exponering. Beräkningarna jämförs med mätningar och kan ligga till grund för uppskattningar av hälsoriskerna förknippade med sotpartikelexponeringen.

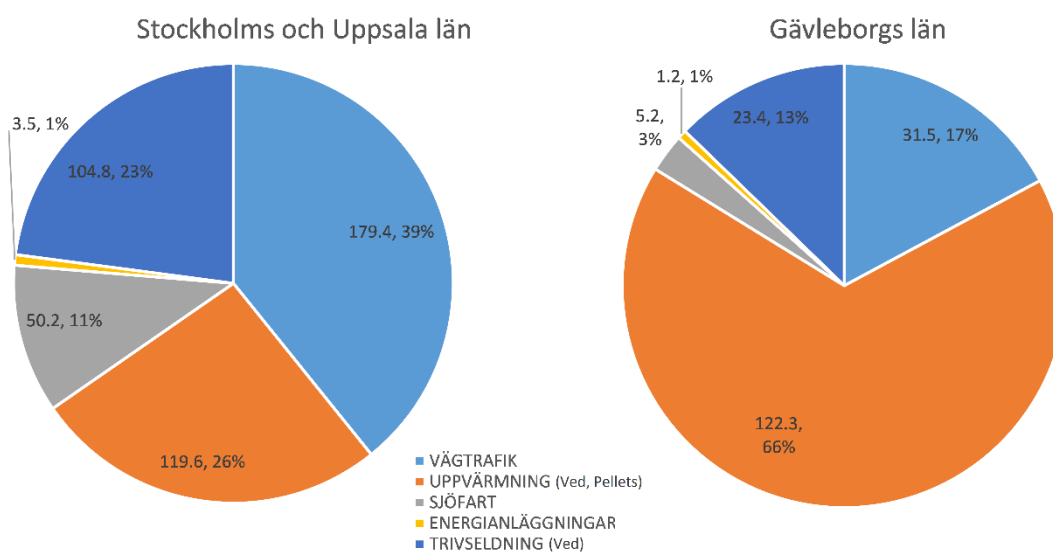
Källor till sotpartiklar

Utsläppen av sot har delats upp på ett antal olika källor och har beräknats utifrån Östra Sveriges luftvårdsförbunds utsläppsdatabas för år 2011 (LVF, 2013). Dessa källor är vägtrafik, fastighetsindividuell uppvärmning (med ett tillägg för trivseledning), sjöfart och energianläggningar.

Figur 1 visar en sammanställning av utsläppen per källa för Stockholms och Uppsala län samt för Gävleborgs län. I Stockholms och Uppsala län står vägtrafiken för den största andelen av sotutsläppen följt av individuell uppvärmning med fastbränsle. I Gävleborgs län är det individuell uppvärmning som utgör den största källan. I Stockholms och Uppsala län utgör trivseledning en nästan lika stor andel av det totala sotutsläppet som individuell uppvärmning. Denna uppskattning är dock behäftad med relativt stora osäkerheter vilket vi diskuterar vidare nedan. Sjöfarten utgör även den en betydande del av det totala utsläppet av sot för Stockholms och Uppsala län, men merparten av detta utsläpp sker i Stockholmsregionen samt i Stockholms skärgård. Energianläggningar samt övrig industri beräknas bidra med ytterst lite (<1 %) till länens totala sotutsläpp. I absoluta tal är det främst utsläpp från vägtrafik, sjöfart och trivseledning som varierar mellan länen, medan utsläppen från individuell uppvärmning är jämförbara.

Figur 2 visar även utsläppen fördelat på kommunnivå och källa. Vissa kommuner utmärker sig genom avsevärt högre utsläpp av sot från de olika källorna. Utsläppen av sot i Stockholms kommun är nästan 40 ton/år och utgör därmed ca 20 % av Stockholms och Uppsala läns totala sotutsläpp från vägtrafik. De största utsläppen från sjöfart kommer från Stockholms kommun, som tillsammans med Värmdö och Vaxholms kommun står för nästan 60 % av alla utsläpp från sjöfart. I Gävleborgs län är det främst individuell uppvärmning som står för de stora utsläppen och främst i Hudiksvalls, Bollnäs och Gävle kommun.

En genomgång av de olika källorna, deras osäkerheter samt hur dom har uppskattats återfinns nedan.



Figur 1: Utsläpp av sot uppdelat på de olika källorna för Stockholms och Uppsala län (till vänster) och Gävleborgs län (till höger). Utsläppen anges som ton/år samt som andel av respektive regions totala utsläpp.

Vägtrafik

Emissionsfaktorer för sotpartiklar redovisas inte i den emissionsmodell som SLB-analys normalt använder för att uppskatta vägtrafikens utsläpp av olika ämnen (den så kallade HBEFA modellen) (HBEFA 3.2, 2015). Vi har därför använt emissionsfaktorer som tagits fram i ett EU projekt (Transphorm, Transport related Air Pollution and Health impacts – Integrated Methodologies for Assessing Particulate matter, <http://www.transphorm.eu/>). I Transphorm-projektet redovisas sotpartikelemissionerna för olika fordonstyper antingen som en andel av avgaspartikelutsläppen eller som ett absolut värde i milligram per fordonskilometer. Det visar sig att man får olika resultat beroende på vilken metod man använder. Med absoluta faktorer får man högre utsläpp, ibland högre än de totala avgaspartikelutsläppen, vilket i princip inte är möjligt eftersom sotpartiklarna måste utgöra en del av den totala mängden avgaspartiklar. Orsaken har sannolikt att göra med att mätmetodiken för sotpartiklar kräver en omräkningsfaktor för att komma till masskoncentration, vilket är förenat med osäkerheter. Vi har därför valt att beräkna sotpartikelutsläppen från olika fordonstyper utifrån de andelar av avgaspartikelutsläppen som anges i Transphorm-projektet. Högst andelar förekommer i dieselbilarna som också har högst totala utsläpp av partiklar per fordonskilometer.

Uppvärmning och trivseldning

Varje kommuns totala energiförbrukning med fastbränsle som energikälla har legat till grund för uppskattningen av sot från individuell uppvärmning och har inhämtats från SCB. Partikelutsläppen har antagits komma från förbränning av ved- och pellets för vilka emissionsfaktorerna 600 mg/MJ respektive 28 mg/MJ använts i enlighet med en Europeisk handbok för emissionsinventeringar (EEA, 2013). Då statistik saknas på fördelningen mellan dessa två panntyper har ett ”medelvärde” på 314 mg/MJ antagits. Fraktionen sot av totala partikelutsläppen angett som PM_{2.5} har satts till 15 % (EEA, 2013). För spridningsberäkningarna har varje kommuns utsläpp av sot fördelats jämnt på all befintlig småhusbebyggelse i kommunen. Hänsyn har tagits till fjärrvärmenätets utbredning¹ genom att ta bort alla utsläpp av sot från dessa områden. Utsläpp från uppvärmning med oljepanna, kombipanna och panncentral har inte inkluderats i dessa beräkningar då emissionsfaktorerna av sot för dessa panntyper är minst en faktor 10 mindre än för pannor med förnybart bränsle. Osäkerheterna i utsläppen från fastbränsleförbränningen överskuggar helt detta lilla bidrag från oljeförbränningen.

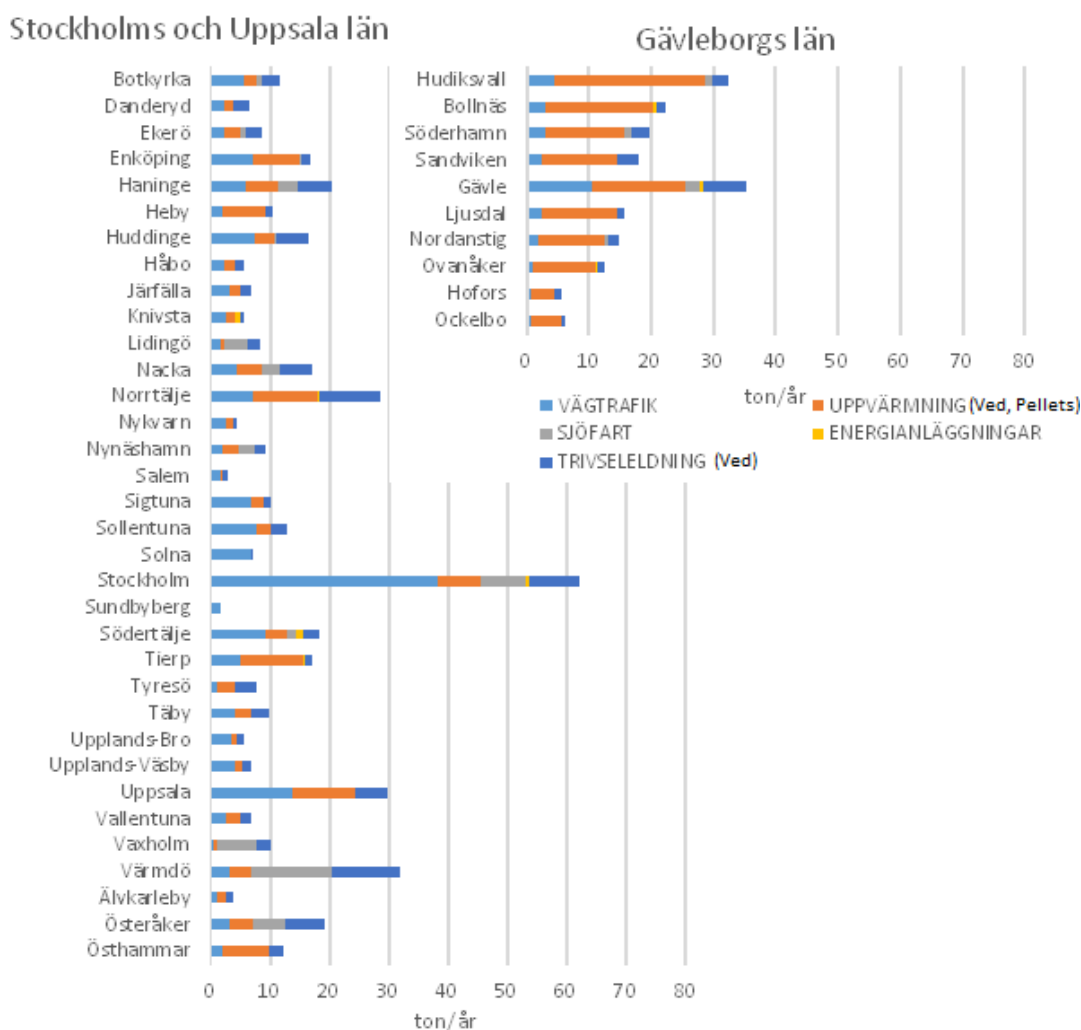
Vedeldning som inte görs för att värma upp bostaden, s k trivseldning, antas förekomma i all småhusbebyggelse, dvs utsläppen har fördelats jämnt över småhusbebyggelse eftersom kännedom om kaminbestånd och eldningsfrekvens saknas. Vedförbrukningen för nutid antas vara medelenergiförbrukningen under 2008-2012. Verkningsgraden antas vara 70 % och energiinnehållet i veden ca 2.6 MWh/m³ (motsvarar björkved). För Stockholms län motsvarar det ca 1 m³ ved per småhus per år. Denna mängd har även antagits gälla för Uppsala och Gävleborgs län fast skalat med motsvarande siffra för antalet småhusfastigheter i länet.

¹ Spridningsberäkningarna är korrigerade för fjärrvärmenätets utbredning i Stockholm och Gävle. På andra orter har det inte varit möjligt att få tillgång till detaljerad data om vilka områden som är fjärrvärmeansluta.

För spridningsberäkningar av sot från trivseledning har det totala antalet småhus i varje län antagits vara jämnt fördelade på småhusbebyggelsen. Totalt sett ger dessa antaganden antagligen en överskattning av det totala sotutsläppet från vedeldning. Troligen eldar inte varje småhus 1 m³, och det är långt ifrån säkert att alla småhus har en öppen spis eller kamin. Samtidigt har trivseledning i flerbostadshus inte inkluderats. Kopplat med olika verkningsgrader för olika typer av kaminer och öppna spisar ska dom angivna siffrorna för sotutsläpp från trivseledning ses som en övre gräns för denna källa, men variationerna inom länen och mellan länets kommuner är sannolikt mycket stor. Dessutom varierar sannolikt trivseledningen mellan olika säsonger beroende på temperaturen.

Sjöfart

För sjöfart har befintliga EDBer för Sjöfartsutsläpp (Segersson, 2013; SMHI 2014) använts där emissionsfaktorer för PM10 ingår (även om det anges som PM10 så är förbränningspartiklarna till övervägande delen betydligt mindre än 1 µm i diameter). Emissionsfaktorerna är schablonmässiga: 0.2-0.3 g/kWh för hjälpmotorer och 0.5 g/kWh för huvudmaskineriet. I EEAs rapport fås motsvarande EF för PM10 för en ”medium-speed diesel”-motor eller ”high -speed diesel”-motor med EO1-olja på 0.3 g/kWh och med EO2-5 fås 0.8 g/kWh (EEA, 2013). Det finns även EF för gasturbiner och för ”slow-speed diesel”-motorer samt ångturbiner för respektive bränsle. Dessa skiljer sig inte avsevärt bortsett från gasturbiner som har mycket lägre utsläpp av PM10. Fraktionen sot av PM10 antas vara 0,31 för EO1



Figur 2: Utsläpp av sot i ton/år fördelat på kommun och källa för Stockholms och Uppsala län samt för Gävleborgs län.

och 0,12 för EO2-5 (bunkerolja). Ett viktat medel utifrån användningen ger en sotfraktion på 0,19. Däremot används t.ex. endast miljöbränsle hos Waxholmsbolaget och troligen är miljöbränsle vanligast i Stockholmstrafiken medan bunkerolja förekommer mer i frakthamnar och framförallt ute till havs. För exponerings och spridningsberäkningar blir det därför missvisande om ett viktat värde används och därför har fraktionen sot av PM10 satts till 0.31.

Energianläggningar

För befintliga energianläggningar i Stockholms, Uppsala och Gävleborgs län har sot lagts in som en fraktion av PM2.5 utsläppen. Emissionsfaktorn för PM2.5 är 133 mg/MJ för lättolja (EO1), 19.3 mg/MJ för tungolja (EO2-5) och 0.8 mg/MJ för biomassaförbränning (EEA, 2013). För lättolja, tungolja och biomassaförbränning har denna fraktion satts till respektive 3.5 %, 5.6 % och 33.5% (EEA, 2013).

Beräkningsförutsättningar

Beräkningar av sothalter har utförts med hjälp av SMHI-Airviro's Gaussmodell. Utöver dessa modeller har också SMHI-Airviro vindmodell använts för att generera ett representativt vindfält över Gaussmodellens beräkningsområde.

Meteorologiska data

Halten av luftföroreningar kan variera mellan olika år beroende på variationer i meteorologiska faktorer och intransport av långväga luftföroreningar. När luftföroreningshalter jämförs med miljö kvalitetsnormer ska halterna vara representativa för ett normalår. Som indata till SMHI-Airviro vindmodell används därför en klimatologi baserad på meteorologiska mätdata under en mängd år; 1993-2010. De meteorologiska mätningarna har hämtats från en 50 meter hög mast i Högdalen i Stockholm och inkluderar horisontell och vertikal vindhastighet, vindriktning, temperatur, temperaturdifferensen mellan tre olika nivåer samt solinstrålning. Vindmodellen tar även hänsyn till variationerna i lokala topografiska förhållanden. För Uppsala län används en mast vid Marsta norr om Uppsala. För Gävleborgs län används två så kallade "virtuella" master, vars data inte kommer från fysiska mätningar utan från en avancerad vindmodellering (SMHI, 2015). En virtuell mast var placerad i Valbo och användes för spridningsberäkningar i Hofors och Ockelbo kommuner. Den andra virtuella masten var placerad i Hudiksvall och användes för spridningsberäkningar för Ovanåker, Bollnäs, Söderhamn, Hudiksvall och Nordanstig kommuner.

Spridningsmodell

SMHI-Airviro gaussiska spridningsmodell har använts för att beräkna den geografiska fördelningen av sothalter två meter ovan öppen mark. I områden med tät bebyggelse representerar beräkningarna halter två meter ovan taknivå. Beräkningarna är utförda med en basupplösning på 500 x 500 meter. För utsläpp från vägtrafik har dock beräkningarna utförts med varierande upplösning beroende på utsläppet längs vägsträckan. I närheten av en vägsträcka där emissionen av sot är minst 1 µg/m/s så ökar upplösning gradvis från 500 meter till som mest 10 meter intill vägen. Simuleringarna redovisas som haltbidrag från de källor som inkluderats i kartläggningen.

Validering mot mätningar

Det finns många olika mätmetoder för sotpartiklar, men de vanligaste, vilka vi använder i Sverige, bygger på de optiska egenskaperna. Antingen mäts svärtningsgraden av ett filter genom att registrera minskningen i mängden synligt ljus som reflekteras från filterytan (reflektansmetoden) eller så registreras minskningen i ljusmängden när man lyser rakt genom filtret med en laserstråle (transmissionsmetoden). Reflektansmetoden har använts sedan mitten på 60-talet men är inte lika noggrann som den senare transmissionsmetoden. I transmissionsmetoden kan man använda olika våglängder, vilket kan ge information om mängden organiskt absorberande material i sotet i förhållande till mängden rent kol. Utifrån reflektansen eller transmittansen räknas sedan en sotkoncentration ut i $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

I Stockholm stad mäts sothalterna på flera trafikpåverkade platser (Hornsgatan, Valhallavägen, Essingeleden, Sveavägen, Roslagstull) och i urban bakgrund på Torkel Knutssongatan. I bakgrundsluften görs mätningar av Institutionen för miljövetenskap och analytisk kemi (Stockholms universitet) vid Aspvreten. En mer specifik mätning av sotpartikelhalten kan göras med en så kallad termo-optisk metod, där ett filter med insamlade partiklar hettas upp under olika mängd syrgas så att man kan särskilja mer exakt mängden elementärt kol (EC) från den organiska delen (OC). Denna metod ger också massan kol (inte bara den ljusabsorptionen) och har använts i Stockholm för att erhålla en specifik absorptionskoefficient så att mätningen av absorbans kan räknas om till masskoncentration.

Spridningsberäkningarna tar inte hänsyn till gaturumseffekter och kommer därmed underskatta halten av sot vid dessa mätplatser. Mätningar i urban bakgrundsluft görs däremot i taknivå på Torkel Knutssongatan på Södermalm i Stockholm. Ytterligare en mätning görs på Lilla Essingen invid Essingeleden vid vilken mätningarna bör vara representativa för bidraget från vägtrafiken på Essingeleden, utan gaturumseffekter (mätstationen står på östra sidan vilket dock betyder att mätresultaten är beroende av vindriktningen). Regionala bakgrundshalter erhålls från Aspvreten, vid kusten 23 km från Nyköping (ca 70 km sydväst om Stockholm). Dessa mätningar, och beräknade halter vid dessa stationer, redovisas i Tabell 1. Mätningar i gaturumsnivå redovisas även för gatustationerna Hornsgatan, Sveavägen, Birger Jarlsgatan och Valhallavägen för att få en jämförelse med hur halter i gaturumsnivå förhåller sig till de urbana bakgrundshalterna. Gaturumsmätningar, och beräknade halter vid dessa stationer, redovisas i Tabell 2.

Det är viktigt notera att spridningsberäkningarna görs för en klimatologi inte ett specifikt meteorologiskt år. Mätningarna nedan avser 2011, vilket motsvarar det år som utsläppen representerar.

År 2011 uppmättes en årsmedelhalt av sot på Torkel Knutssongatan i taknivå på ca $0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Det beräknade bidraget från lokala utsläpp i regionen är $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Vid Lilla Essingen uppmättes $2,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ och det beräknade lokala bidraget var $0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Mätningarna vid den regionala bakgrundsstationen Aspvreten visar på en uppmät årsmedelhalt på $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Om hänsyn tas till denna regionala bakgrund ger detta en halt på Torkel på $0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, vilket innebär ca 25 % underskattning av uppmätt halt.

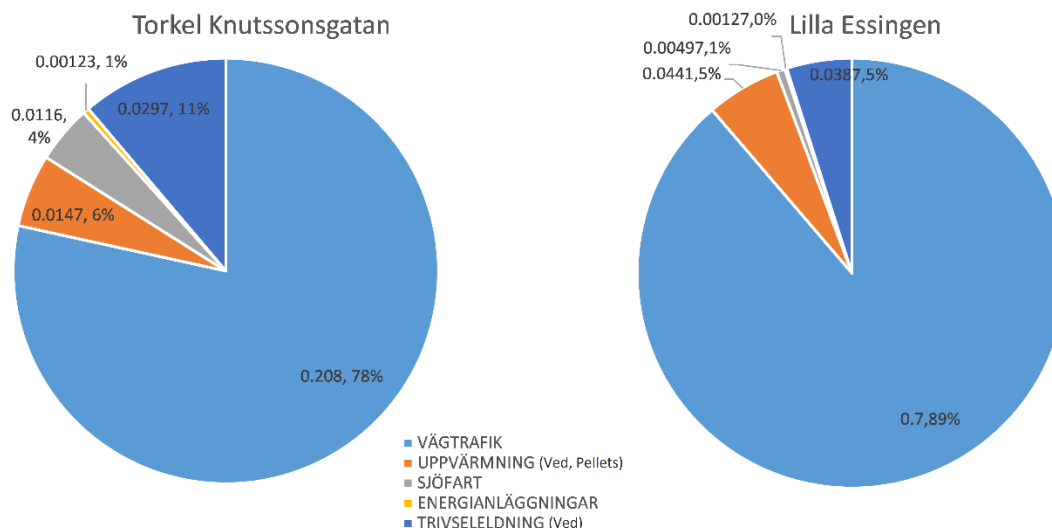
Tabell 1: Beräknande och uppmätta värden av sot i Stockholms län ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	Torkel Knutssongatan (tak)	Lilla Essingen	Aspvreten
Uppmätt 2011	0,8	2,1	0,3
Beräknade lokala källors bidrag	0,3	0,8	-
Beräknat lokalt bidrag plus regional bakgrund	0,6 (-25 %)	1,1 (-48 %)	0,3
Beräknat skalat lokalt bidrag plus regional bakgrund ¹	0,8 (-6 %)	1,8 (-14 %)	0,3

¹ Beräknade värden med vägtrafikens utsläpp ökade med en faktor 2.

För Lilla Essingen blir underskattningen ca 48 % (beräknat 1,1 jämfört med uppmätt 2,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Mätstationens placering alldeles intill körbanan och de komplicerade effekterna av topografi och byggnader gör att mätstationen sannolikt inte är speciellt representativ för jämförelse med spridningsberäkningen. Det är ändå troligt att beräkningarna främst underskattar bidraget från vägtrafiken. Spridningsberäkningarna visar att mätstationen vid Lilla Essingen främst påverkas av lokala utsläpp från vägtrafiken (till 90 %), och kan därmed inte anses representativa för utsläpp från de andra källorna som bidrar till halten av sot i regionen (se Figur 3).

På grund av underskattningen av främst halter från vägtrafiken så har de lokala utsläppen från vägtrafiken korrigerats med en faktor 2. Med den korrigeringen underskattas de uppmätta värdena vid Lilla Essingen endast med 14 %, jämfört tidigare 48 %, medan bra överensstämmelse erhålls mellan modellerade och uppmätta halter på Torkel Knutssongatan. Även halterna i gaturum överensstämmer bättre med uppmätta halter efter denna korrigerings, men uppmätta halter vid gatustationerna är högre än de som beräknas på grund av gaturummets (byggnadernas) påverkan på utspädningen. Den gaussiska modellen tar inte hänsyn till gaturumseffekter. Sälunda är halterna även efter skalningen ca en faktor 2 högre på Hornsgatan, Sveavägen och Birger Jarlsgatan (se tabell 2). Väldigt bra



Figur 3: Beräknade haltbidrag från de olika utsläppskällorna vid Torkel Knutssongatan och Lilla Essingen.

överensstämmelse nås däremot vid Valhallavägen där halten, efter skalning och korrigering överskattas med endast 8 %. Valhallavägen är ett ensidigt gaturum vilket kan förklara varför modellen klarar av att representera halterna bättre här.

Tyvärr saknas mätningar som kan anses vara representativa för utsläpp av sot från sjöfart, individuell uppvärmning och energianläggningar. I dessa fall får vi lita på den energistatistik och uppskattningar som ligger till grund för skattningarna av emissionerna.

Beräkningarna för Torkel Knutssongatan (figur 3) icke fossila källor såsom den individuella uppvärmningen (främst ved) och trivseleldningen bidrar sammanlagt med 17 % till sotpartikelhalterna. Till detta kommer bidrag från icke fossila bränslen som används i vägtrafiken, främst etanol, vilket kan ge ett bidrag på uppskattningsvis ca 10 %, samt att en del av sotpartiklarna i den regionala bakgrunden är av icke fossilt ursprung, vilket ger totalt mellan 30 % och 40 % av sotpartiklarna från icke fossila källor. Detta kan jämföras med skattningar av icke fossilt bidrag till sotpartiklar baserat en analys av sotpartiklars ljusabsorbtion i olika väglängder som nyligen genomförts i ett akademiskt arbete (Hurkmans, 2015). Utifrån den analysen uppskattades att 34 % av sotpartiklarna på Torkel Knutssongatan härrör från icke fossila källor, vilket alltså stämmer väl med beräkningarna.

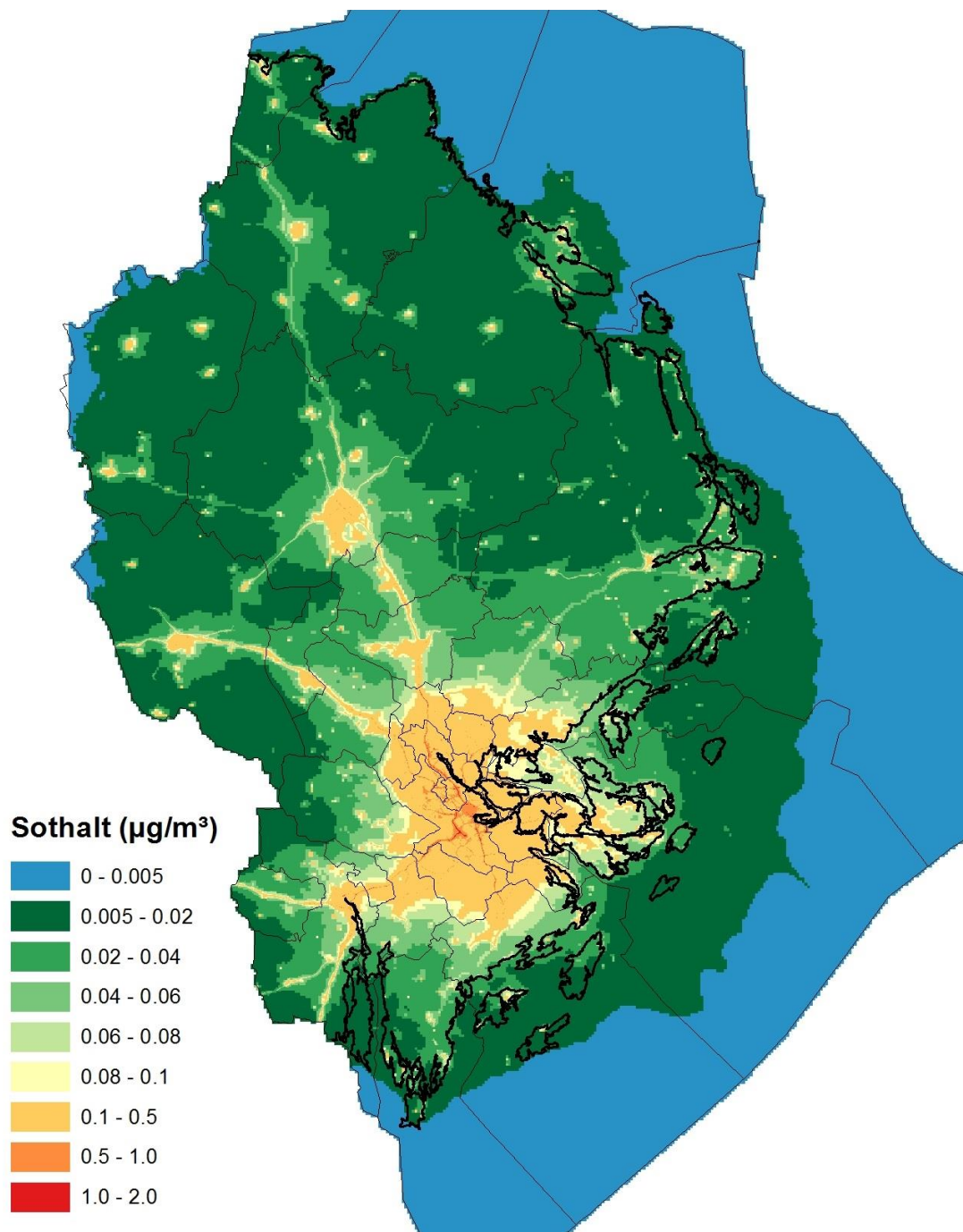
Tabell 2: Beräknade och uppmätta värden vid gatustationer ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). (* korta mätserier < 1 år)

	Horns- gatan	Svea- vägen*	Birger Jarlsg*	Vallhalla- vägen*
Uppmätt 2011	2.9	2.0	2.0	1.2
Beräknat skalat lokalt bidrag plus regional bakgrund ¹	1.2 (-58 %)	1.1 (-45 %)	1.1 (-45 %)	1.3 (+8 %)

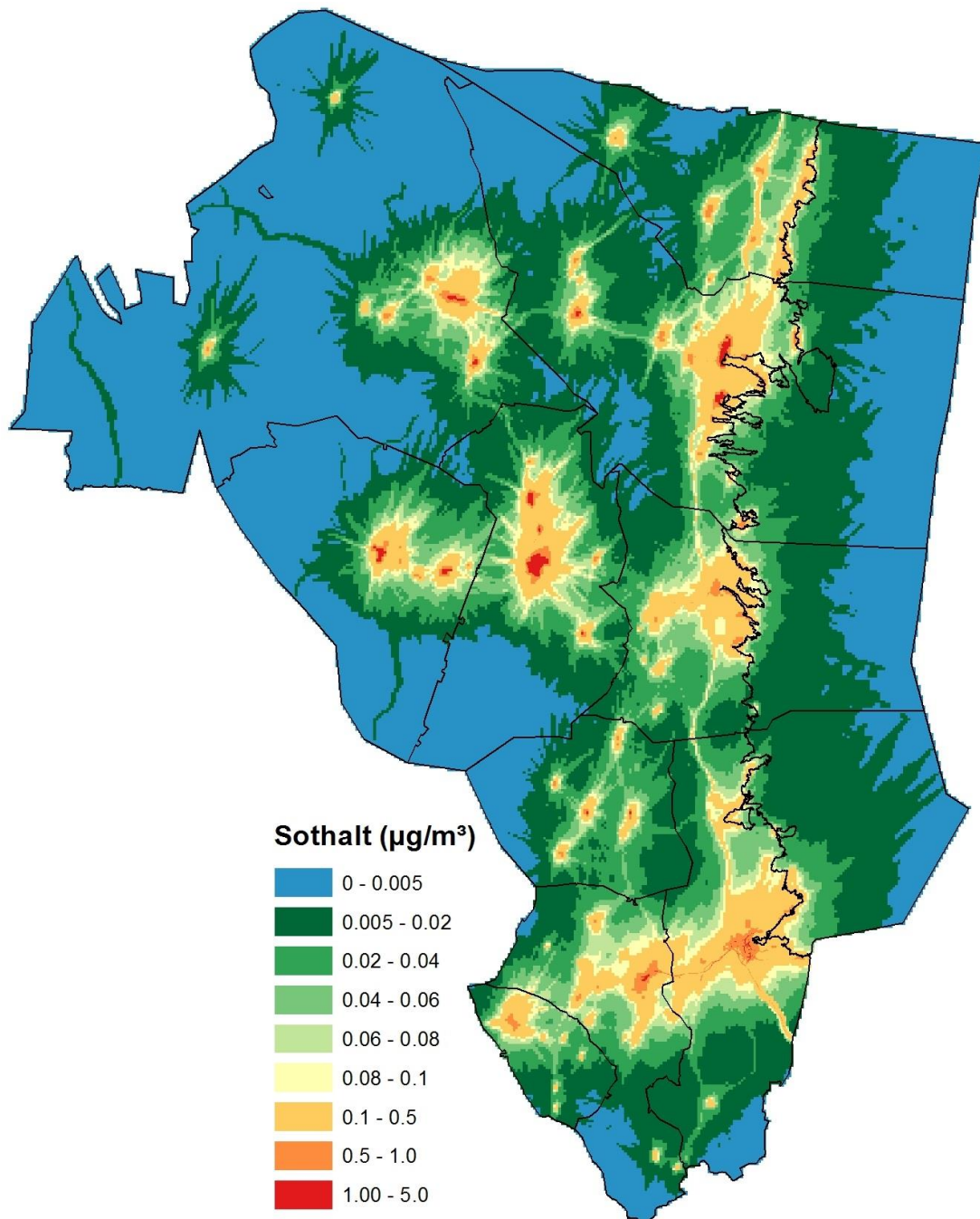
¹ Beräknade värden med vägtrafikens utsläpp ökade med en faktor 2.

Spridningsberäkningar

Figur 4 redovisar spridningsberäkningar för sotpartiklar i Stockholms och Uppsala län och Figur 5 visar motsvarande resultat för Gävleborgs län. Utsläppen från vägtrafiken är skalad med en faktor 2 i enlighet med jämförelsen med mätningar i Stockholm. Spridningsberäkningarna redovisas som haltbidrag vilken innebär att den regionala bakgrundshalten ($0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) som uppmätts vid Aspvreten inte är inkluderat i kartorna (dock beaktas bakgrundshalterna i den befolkningsviktade exponeringen). Haltbidraget avser samtliga redovisade källor, dvs vägtrafik, uppvärmning, sjöfart, trivseleldning och energianläggningar.



Figur 4: Beräknande årsmedelhalter av sot för hela Stockholms och Uppsala län. Beräkningarna redovisas som ett haltbidrag för samtliga redovisade emissionskällor, dvs vägtrafik, uppvärmning, trivselledning, sjöfart och energianläggningar. Uppmätt bakgrundshalt är därmed inte pålagt halfältet.



Figur 5: Beräknade årsmedelhalter av sot för Gävleborgs län. Beräkningarna redovisas som ett haltbidrag för samtliga redovisade emissionskällor, dvs vägtrafik, uppvärmning, trivseldning, sjöfart och energianläggningar. Uppmätt bakgrundshalt är därmed inte pålagt haltfältet.

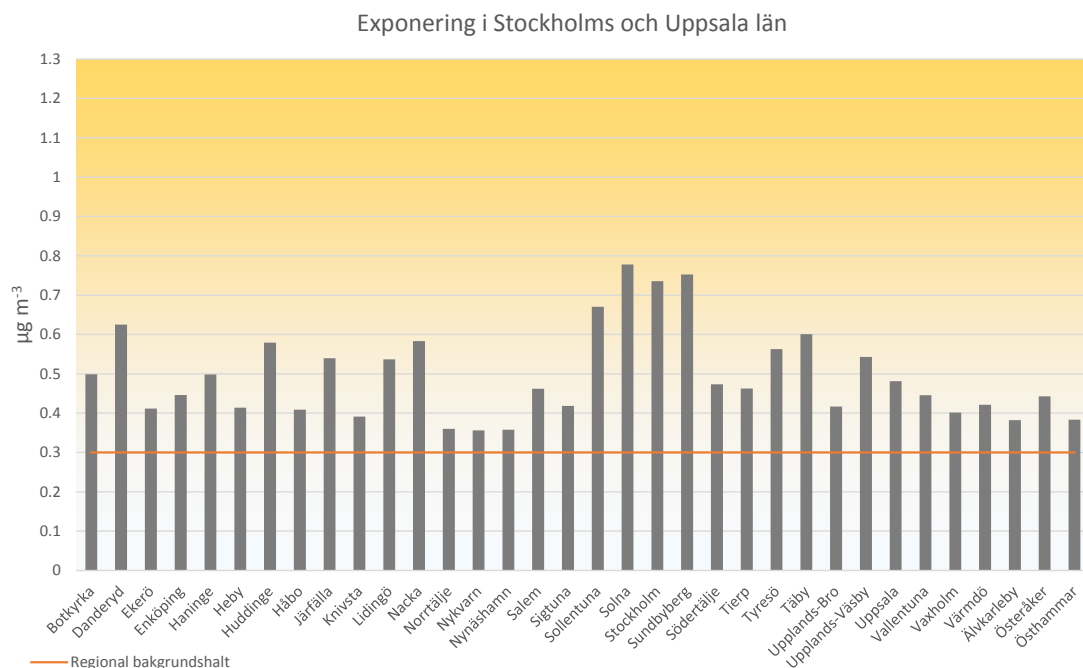
Befolkningsviktad exponering

Den befolkningsviktade exponeringen i varje kommun har tagits fram genom att räkna medelvärdet av halterna i kommunen viktat med antalet människor i rutor om 100 x 100 meter. Befolkningsdata har inhämtats från SCB och gäller för nattbefolkning år 2014. Figur 6 och 7 redovisar resultatet från denna uträkning per kommun. I Stockholms län är det framförallt innerstadskommunerna som sticker ut med hög exponering. Danderyd, Solna, Täby och Sundbyberg avviker även genom att ha väldigt låga emissioner av sot (se Figur 2), men förhållandevis hög befolkningsviktad exponering. Detta förklaras troligen av en hög andel boende längs hårt trafikerade vägar (främst E18). I Gävleborgs län är den befolkningsviktade exponeringen generellt högre än Stockholms och Uppsala län, vilket framförallt beror på den höga emissionen från uppvärmning. Den regionala bakgrundshalten för Gävleborgs län, som anges i figur 7, sannolikt är lägre än 0,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ som mätts upp i Aspvreten 70 km söder om Stockholm.

Diskussion och sammanfattning

Vi har för första gången kartlagt sotpartikelutsläppen och beräknat halterna och befolkningsexponeringen för länens kommuner. Beräkningarna visar att vägtrafiken och vedeldningen är de största källorna. I båda fallen finns stora osäkerheter i utsläppberäkningarna, de största osäkerheterna rör dock vedeldningen. Detta på grund av avsaknad av statistik vad gäller anläggningar och eldningsvanor samt även osäkerheter i emissionsfaktorerna.

Trots dessa osäkerheter visar en jämförelse med de få mätningar som finns i Stockholm på en ganska god överensstämmelse (halterna beräknas inom ca 25 % av vad mätningarna anger). Tendensen är att beräkningarna underskattar halterna, vilket för Stockholms del sannolikt hänger samman med att emissionsfaktorerna

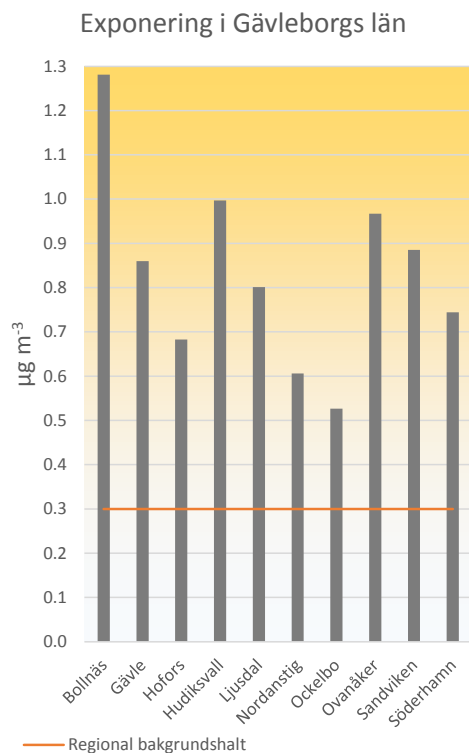


Figur 6: Befolkningsviktad exponering av sot i de olika kommunerna i Stockholms och Uppsala län. Den uppmätta regionala bakgrundshalten visas med ett rött streck i figuren.

för vägtrafiken är för låga. I Stockholmsregionen återfinns de högsta halterna av sot i närheten av vägar. I Uppsala och Gävleborgs län återfinns dock motsvarande höga halter i och omkring tätorter där källan istället är förbränning i syfte att värma bostäder.

För en mer noggrann kartläggning behövs mer mätningar i olika delar av länen. Framförallt behövs mätningar i områden där utsläppen av sot inte domineras av vägtrafik. För att bättre storleksbestämma utsläppen av sot från individuell uppvärmning och trivseledning skulle med fördel mätstationer placeras i närheten av områden som inte är anslutna till fjärrvärmenätet. Ytterligare mätplatser skulle även behövas i områden som är fjärrvärmeansluta för att noggrannare bestämma utsläppen från trivseledning. Det bör dock noteras att för att få fram ännu noggrannare värden för exponering måste mer detaljerad information om fjärrvärmeanslutna fastigheter insamlas. Fjärrvärmenätets utbredning fanns bara att tillgå för Stockholms län, samt för Gävle kommun. Tyvärr är denna information inte centraliserad och heller inte allmänt tillgänglig. Det faktum att information saknas om fjärrvärmeanslutna fastigheter, framförallt i mindre orter i Gävleborgs län samt för Uppsala län, innebär troligen att den befolkningsviktade exponeringen är något överskattad i dessa områden.

De befolkningsviktade halterna kan ligga till grund för skattningar av hälsoeffekterna för befolkningen baserat på relativa risker för sotpartikelexponering samt de samhällsekonomiska kostnaderna förknippat med dessa effekter.



Figur 7: Befolkningsviktad exponering av sot i de olika kommunerna i Gävleborgs län. Den uppmätta regionala bakgrundshalten visas med ett rött streck i figuren.

Referenser

SLB- och LVF-rapporter finns att hämta på www.slb.nu/lvf/

LVF, 2013. Luftföroreningar i Stockholms och Upsala län samt Gävle och Sandvikens kommun. Utsläppsdata för år 2011. LVF 2013:10. http://slb.nu/slb/rapporter/pdf8/lvf2013_010.pdf

Dernier van der Gon, R. Bergström, C. Fountoukis, C. Johansson, S. N. Pandis, D. Simpson, and A. Visschedijk, 2015. Particulate emissions from residential wood combustion in Europe – revised estimates and an evaluation. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 14, 31719-31765, 2014.

EEA, 2013. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013. Technical guidance to prepare national emission inventories. EEA Technical report No 12/2013. <http://www.eea.europa.eu/themes/air/emep-eea-air-pollutant-emission-inventory-guidebook>

Grahame, T., J., Klemm, R., Schlesinger, R.B., 2014. Public health and components of particulate matter: The changing assessment of black carbon. *J. Air Waste Manag. Assoc.*, 64:6, 620-660.

HBEFA, 2015. Handbook emission factors for road transport. <http://www.hbefa.net/e/index.html>

Hurkmans, J., 2015. Akademisk avhandling, Master examen, Institutionen för miljövetenskap och analytisk kemi, Stockholms universitet, juni 2015.

Johansson, C. och Hansson, HC., 2007. PM10 och sot i Sverige. Stockholms universitet, ITM rapport 165. http://slb.nu/slb/rapporter/pdf8/itm2007_165.pdf

SMED, 2014. Swedish BC emission inventory 2000-2012. SMED rapport 152, ISSN 1653-8102. SE-601 76 Norrköping, Sweden.

Segersson, D., 2013, A dynamic model for shipping emissions, Adaptation of Airviro and application in the Baltic Sea, SMHI Report, Meteorology No. 153.

SMHI, 2014. Utsläpp av sotpartiklar från sjöfart, utveckling av systemet Shipair. SMHI 2014/29. SMHI, 601 76 Norrköping.

SMHI, 2015. <http://www.smhi.se/professionella-tjanster/professionella-tjanster/energi/snabbare-vindkraftsprojektering-med-virtuella-matmaster-1.24546>

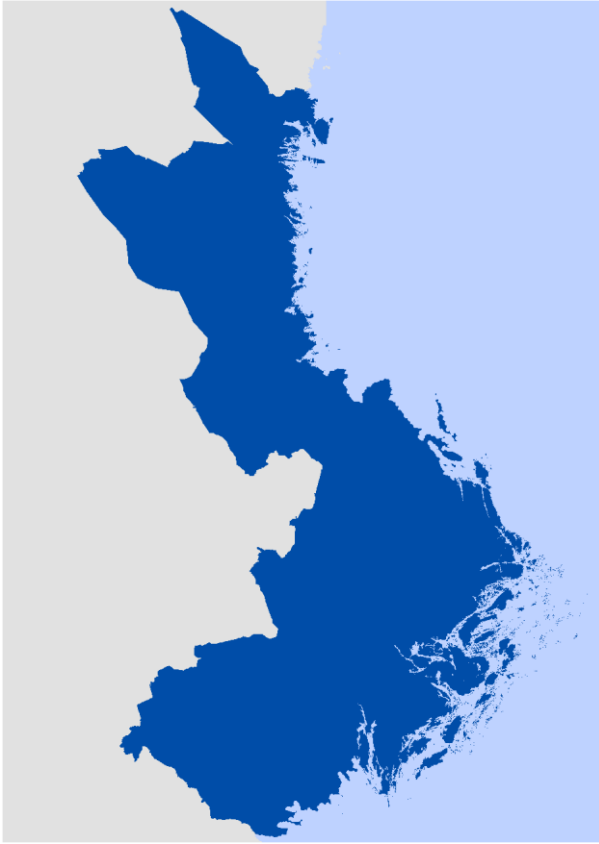
Appendix

Tabell A1: Emissioner av sot uppdelat per kommun och för de olika källorna för Stockholms och Uppsala län.

	Vägrafik	Uppvärmning	Sjöfart	Energianläggningar	Trivseledning
Botkyrka	5.712	2.123	0.947	0.019	2.852
Danderyd	2.543	1.385	0.030	0.046	2.710
Ekerö	2.314	2.778	0.870	0.000	2.948
Enköping	7.216	7.921	0.331	0.000	1.545
Haninge	5.879	5.609	3.181	0.000	6.014
Heby	1.971	7.481	0.000	0.000	1.034
Huddinge	7.484	3.524	0.074	0.108	5.420
Håbo	2.307	1.999	0.000	0.000	1.438
Järfälla	3.377	1.671	0.001	0.007	1.937
Knivsta	2.794	1.377	0.000	0.946	0.654
Lidingö	1.727	0.806	3.950	0.000	1.866
Nacka	4.610	4.093	3.133	0.009	5.408
Norrtälje	7.241	10.995	0.000	0.045	10.578
Nykvarn	2.840	1.050	0.000	0.000	0.666
Nynäshamn	1.972	2.811	2.653	0.003	1.925
Salem	1.855	0.292	0.082	0.000	0.784
Sigtuna	6.964	2.079	0.000	0.010	1.177
Sollentuna	7.932	2.302	0.029	0.049	2.781
Solna	6.984	0.000	0.020	0.001	0.095
Stockholm	38.523	7.120	7.542	0.530	8.617
Sundbyberg	1.719	0.000	0.000	0.000	0.202
Södertälje	9.487	3.367	1.588	1.321	2.627
Tierp	5.183	10.514	0.000	0.232	1.414
Tyresö	1.153	3.030	0.050	0.011	3.696
Täby	4.269	2.544	0.010	0.007	3.268
Uppl.-Bro	3.675	0.879	0.001	0.074	1.248
Uppl.-Väsby	4.317	1.179	0.008	0.077	1.331
Uppsala	13.988	10.431	0.000	0.000	5.503
Vallentuna	2.723	2.537	0.000	0.000	1.676
Vaxholm	0.553	0.814	6.536	0.000	2.258
Värmdö	3.383	3.558	13.495	0.000	11.481
Älvkarleby	1.053	1.733	0.000	0.000	1.034
Österåker	3.422	3.737	5.620	0.017	6.406
Östhammar	2.217	7.900	0.000	0.000	2.246
Totalt	179.4	119.6	50.2	3.5	104.8

Tabell A2: Emissioner av sot uppdelat per kommun och för de olika källorna för Gävleborgs län.

	Vägrafik	Uppvärmning	Sjöfart	Energianläggningar	Trivseldning
Ockelbo	0.734	4.839	0.000	0.004	0.619
Hofors	0.907	3.808	0.000	0.003	1.030
Ovanåker	1.156	9.972	0.000	0.423	1.042
Nordanstig	1.920	10.699	0.579	0.000	1.650
Ljusdal	2.626	11.912	0.000	0.014	1.340
Gävle	10.504	14.954	2.509	0.399	6.999
Sandviken	2.678	12.019	0.000	0.000	3.437
Söderhamn	3.224	12.519	1.106	0.000	2.990
Bollnäs	3.088	17.410	0.000	0.359	1.495
Hudiksvall	4.664	24.180	0.962	0.000	2.788
Totalt	31.5	122.3	5.2	1.2	23.4



Östra Sveriges luftvårdsförbund är en ideell förening. Medlemmar är 50 kommuner, två landsting samt institutioner, företag och statliga verk. Samarbete sker även med länsstyrelserna i länen. Målet med verksamheten är att samordna övervakning av luftkvaliteten inom samverkansområdet. Systemet för luftövervakning består bl a av mätningar, emissionsdatabaser och spridningsmodeller. SLB-analys driver systemet på uppdrag av Luftvårdsförbundet.



POSTADRESS:

Box 38145, 100 64 Stockholm

BESÖKSADRESS:

Västgötagatan 2

TEL. 08 – 615 94 00

FAX 08 – 615 94 94

INTERNET www.slb.nu/lvf