



# Modell för beräkning av bensen- och 1,3-butadienhalter i omgivningsluft utifrån geografisk information om bland annat biobränsleeldning och trafik.

Lars Modig, Annika Hagenbjörk-Gustafsson, Lennart Jonsson, David Olsson, Magnus Strömgren, Bertil Forsberg.

Yrkes- och miljömedicin i Umeå rapporterar 2012:1, ISSN 1654-7314

## Innehållsförteckning

Sammanfattning .....	3
Introduktion .....	4
Syfte .....	5
Metod .....	5
Principen för byggandet av LUR-modell enligt ESCAPE-projektet.....	5
Haltmätningar .....	6
Mätstrategi .....	6
Mät- och analysmetod.....	9
Geografiska variabler och LUR-modellering .....	10
Resultat .....	12
Haltmätningar .....	12
Bensen .....	12
1,3-Butadien.....	13
LUR-modell för bensen och 1.3-butadien.....	13
Diskussion .....	16
Referenser.....	18
Bilagor .....	19
Bilaga 1.....	19
Bilaga 2 Resultat av bensenmätningarna och medelvärde av de tre mätningarna .....	21
Bilaga 3 Resultat av butadienmätningarna och medelvärde av de tre mätningarna. ....	22

## Sammanfattning

Luftföroreningar är ett känt folkhälsoproblem i tätorter där trafiken oftast är den största enskilda emissionskällan. Det finns dock andra källor som lokalt kan ge upphov till höga luftföroreningshalter och en sådan är småskalig biobränsleeldning. För att begränsa hälsoeffekterna av luftföroreningar finns normvärden reglerade i lagstiftning, och övervakningen av dessa kan ske via mätningar eller olika typer av beräkningar.

Syftet med projektet har varit att tillämpa en typ av statistisk beräkningsmodell, "Land Use Regression (LUR)", för att predicera halterna av luftföroreningarna bensen och 1,3-butadien i ett antal tätorter med hög andel småskalig biobränsleeldning i och omkring Umeå.

Principen för en LUR-modell är att först förklara variationen i luftföroreningshalter mellan ett begränsat antal mätpunkter med skillnader i geografiska variabler, som t.ex. populationsdensitet och trafikflöde inom olika radier runt respektive mätplats. Sedan kan modellen användas för att beräkna halten i många fler punkter. I denna studie har bensen och 1,3-butadien mätts vid tre tillfällen på 39 olika mätpunkter. Geografisk information har samlats in för respektive mätpunkt, och innefattar bland annat trafikvariabler men även uppgifter om biobränsleeldning baserat på uppgifter från sotregister. LUR-modellen har byggts upp i enlighet med den procedur som finns beskrivet inom ett stort europeiskt forskningsprojekt, ESCAPE.

Rapporten visar att det är möjligt utifrån geografiska variabler att predicera halten bensen och 1,3-butadien i en given punkt med acceptabel precision. Resultaten visar också att befolkningstäthet tillsammans med småskalig biobränsleeldning och trafik är de variabler som gemensamt är viktigast för årsmedelhalten bensen och 1,3-butadien.

Denna typ av modell är således tillämpbar för att kartlägga och predicera halter av bensen och 1,3-butadien i områden med småskalig biobränsleeldning. Modellen kan även användas för att studera betydelsen av nyetablering av småskalig biobränsleeldning för halten bensen och 1,3-butadien inom t.ex. ett bostadsområde.

## Introduktion

Luftföroreningar är ett känt folkhälsoproblem både lokalt, regionalt, nationellt och globalt. I tätorter är det framförallt trafiken som utgör den stora emissionskällan men det finns även andra källor som kan vara viktiga, och den småskaliga biobränsleeldningen är en välkänd sådan. I vilken utsträckning småskalig biobränsleeldning bidrar till luftföroreningssituationen i ett samhälle beror av densiteten och typen av förbränningsanläggningar samt anläggningarnas ålder. Utöver utsläppen så är de lokala spridningsförhållandena också viktiga, vilket gör att de högsta halterna framförallt ses under kalla vinterdagar med låga vindhastigheter. Dessa förutsättningar gör att den småskaliga biobränsleeldningen lokalt kan ge ett betydande bidrag till halten förbränningsrelaterade luftföroreningar, och de klimatologiska förhållandena gör att betydelsen av småskalig biobränsleeldning kan antas vara störst i norra Sverige.

I syfte att övervaka och begränsa effekterna av luftföroreningar på hälsan så finns ett regelverk gemensamt inom EU som anger högsta tillåtna halt av ett antal luftföroreningar. Dessa har implementerats i svensk lagstiftning, och i vissa fall skärpts, och finns redovisade i Luftkvalitetsförordningen (SFS 2010:477). Det finns svenska normer av gränsvärdeskaraktär (skall-normer) och normer av målvärdeskaraktär (bör-normer). I förordningen finns krav för kvävedioxid ( $\text{NO}_2$ ), kväveoxid ( $\text{NO}_x$ ), svaveldioxid ( $\text{SO}_2$ ), kolmonoxid ( $\text{CO}$ ), bly, bensen, partiklar ( $\text{PM}_{10}$  och  $\text{PM}_{2.5}$ ) samt ozon ( $\text{O}_3$ ). Förordningen säger också att alla kommuner skall kontrollera att de uppfyller kraven i lagstiftningen och att detta skall ske via mätningar, beräkningar eller objektiv bedömning. Beroende av hur halterna ligger i förhållande till normerna kan sedan uppföljningen ske med beräkningar eller mätningar.

En svårighet i arbetet med att uppfylla kraven i lagstiftningen kan vara att på ett enkelt och tillförlitligt sätt identifiera vilka områden i en kommun eller tätort som riskerar att överskrida normerna. Faktiska mätningar är ett relativt dyrt och tidskrävande medan beräkningsmodeller har en tydlig fördel vad gäller geografisk täckning. I dagsläget finns meteorologiska spridningsmodeller som kan användas för att beräkna förväntade koncentrationer i luft baserat på meteorologi, emissionsdata och emissionsfaktorer. Ett alternativt sätt är att använda statistiska modeller baserade på ett antal initiala mätningar inom ett geografiskt område och geografisk information från området, vilken sedan används för att bygga en modell som kan predicera halten över hela området. Denna typ av modeller kallas ”Land Use Regression” (LUR)-modeller och är vanligt förekommande i epidemiologiska studier av luftföroreningars hälsoeffekter.

I detta projekt har vi valt att studera bensen och 1,3-butadien som är två kända förbränningsprodukter, och där fordonstrafik och småskalig biobränsleeldning är viktiga källor till halterna i utomhusluft. Fordonstrafik är den dominerande källan till bensen i utomhusluft i tätorter, trots att bidraget har sänkts kraftigt i och med införandet av katalysator samt reglering av andelen bensen i bensin. Situationen är liknande för 1,3-butadien där trafiken är den viktigaste faktorn i utomhusluft medan andra källor dominerar inomhus. I

mindre tätorter kan dock vedelning spela en större roll, och tidigare rapporter har visat att personer som bor i hus med vedeldning är mer exponerade för bensen och 1,3-butadien jämfört med dem som inte använder ved (Gustafsson, 2003).

## Syfte

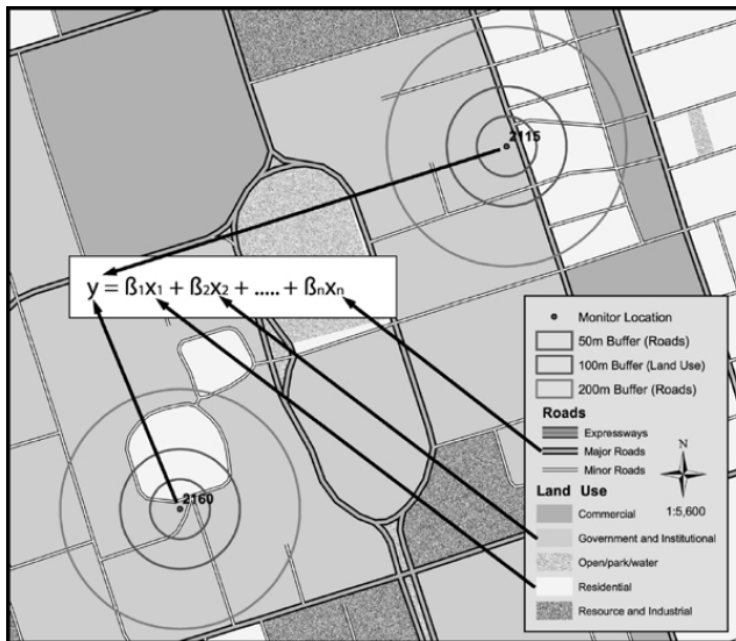
Syftet med projektet har varit att utveckla LUR-modeller i ett antal tätorter med hög andel småskalig bibränsleeldning, och utvärdera modellernas förmåga att predicera uppmätta halter av bensen och 1,3-butadien. Förhoppningen är att dessa modeller sedan skall kunna användas inom miljöövervakningen för kartläggning och identifiering av områden med dålig luftmiljö samt i epidemiologiska studier av luftföroreningars hälsoeffekter.

## Metod

### Principen för byggandet av LUR-modell enligt ESCAPE-projektet

Principen för en LUR-modell är att med utgångspunkt från ett antal geografiska variabler försöka förklara haltskillnaderna mellan ett antal olika mätpunkter (se figur 1). I praktiken genomförs ett antal parallella mätningar på olika mätpunkter fördelade över ett geografiskt område. Ofta genomförs mätningarna under olika årstider för att tillsammans ge en representativ bild av årsmedelhalten vid de aktuella mätpunkterna. Mätpunkterna placeras så att de representerar olika typer av miljöer för att modellen ska bli så generell som möjligt.

Varje mätpunkt koordinatsätts och sedan samlas ett antal olika geografiska variabler in för varje mätpunkt. Valet av variabler kan variera och styrs av den kunskap som finns om vilka källor som är av betydelse för de ämnen som modellen skall representera. Om huvudsakliga källan är trafikavgaser så beräknas ofta t.ex. *den totala fordonstrafiken inom olika radier runt mätpunkten, avståndet från mätpunkten till närmaste väg, befolkningstäthet, typ av område (industri, handels, bostadsområde etc), höjd över havet* osv. Alla nämnda variabler är sådana som man vet är av betydelse för halten fordonsavgaser, t.ex. kan man förvänta sig att en mätpunkt som ligger nära en väg och har hög befolkningstäthet inom 500 m skall ha en högre halt jämfört med en punkt som ligger långt från en väg och har låg befolkningstäthet inom samma radie.



Jerrett et al. J Expo An Envi Epidemiol 2005;15:185-204

Figur 1. Schematisk figur över byggandet av en LUR-modell.

När resultatet från alla mätpunkter samlats in och alla geografiska variabler finns tillgängliga kombineras dessa i en linjär regressionsmodell där målet är att så bra som möjligt förklara skillnaderna i halter mellan mätpunkterna med skillnader i de geografiska variablerna. När den bästa modellen identifierats, framgår vilka geografiska variabler som är viktigast för att förklara skillnaderna i halter. Modellen kan sedan användas för att predicera halten av den aktuella luftföroreningen i varje given punkt inom det område som modellen anses vara representativ för, genom att för den önskade punkten samla in de geografiska variabler som ingick i den slutliga modellen. Resultaten kan även användas för att skapa haltkartor.

Metodiken som använts vid framtagandet av modeller i denna rapport följer de riktlinjer som angetts inom ramen för ESCAPE-projektet (<http://www.escapeproject.eu/>). För alla detaljer i metodiken hänvisas till ESCAPE-projektets manual ([http://www.escapeproject.eu/manuals/ESCAPE\\_Exposure-manualv9.pdf](http://www.escapeproject.eu/manuals/ESCAPE_Exposure-manualv9.pdf)), dock följer en översiktlig redovisning av metodiken nedan.

## Haltmätningar

I detta projekt har vi valt att mäta bensen och 1,3-butadien, dels för att dessa ämnen emitteras vid biobränsleanvändning och dels för att det finns mätmetoder som bygger på användande av diffusionsprovtagare, vilket gör det lätt att mäta på många platser samtidigt. Det finns också tillgång till en bra analysmetod för de aktuella föroreningarna vid Arbets- och miljömedicin i Göteborg (AMM Göteborg).

## Mätstrategi

Mätningar av bensen och 1,3-butadien genomfördes i stadsdelarna Tomtebo och Grubbe i Umeå, samt i två samhällen utanför Umeå, Sävar, 17 km nordost om Umeå och Vännäsby 25

km nordväst om Umeå (se figur 2). I Umeå är fjärrvärmenätet väl utbyggt och Tomtebo och Grubbe valdes som exempel på stadsdelar med utbyggd fjärrvärme, men med många lokala eldstäder. Sävar valdes på grund av att delar av samhället har utbyggt fjärrvärmenät, medan andra delar saknar fjärrvärme. Vännäsby valdes på grund av att utbyggt fjärrvärmenät saknas.

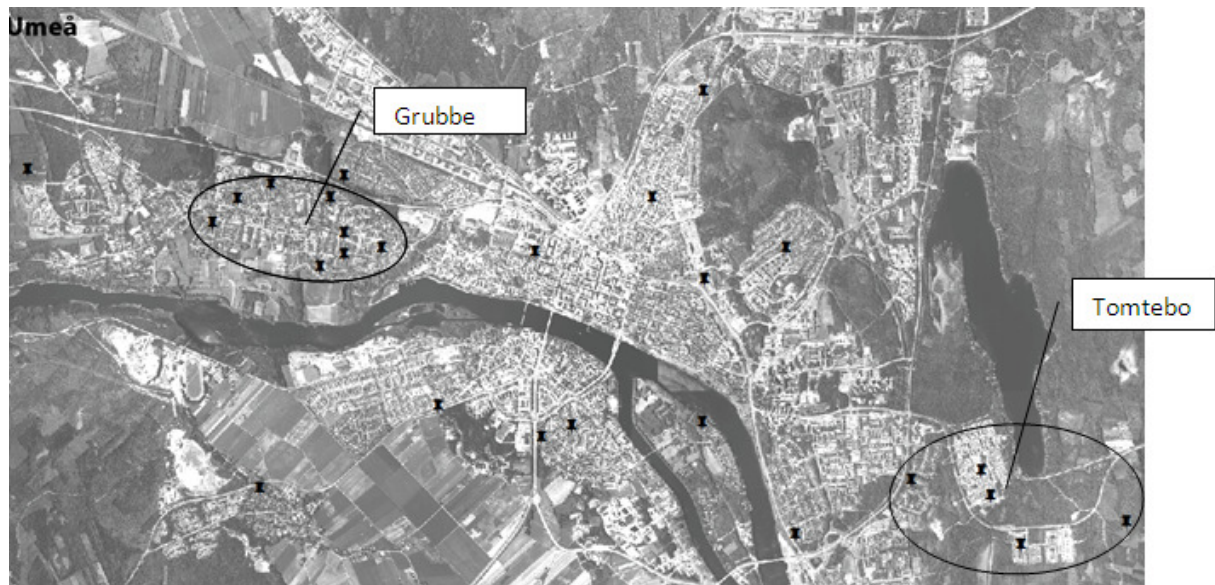
Figur 2. Karta över Umeå samt de två intilliggande samhällena där mätningar genomfördes.



Totalt gjordes mätningar på 39 platser, med fördelningen 7 mätplatser i Sävar (figur 3), 6 i Vännäsby (figur 3), 8 på Grubbe, 5 på Tomtebo och resterande 13 spridda i Umeå ( figur 4).

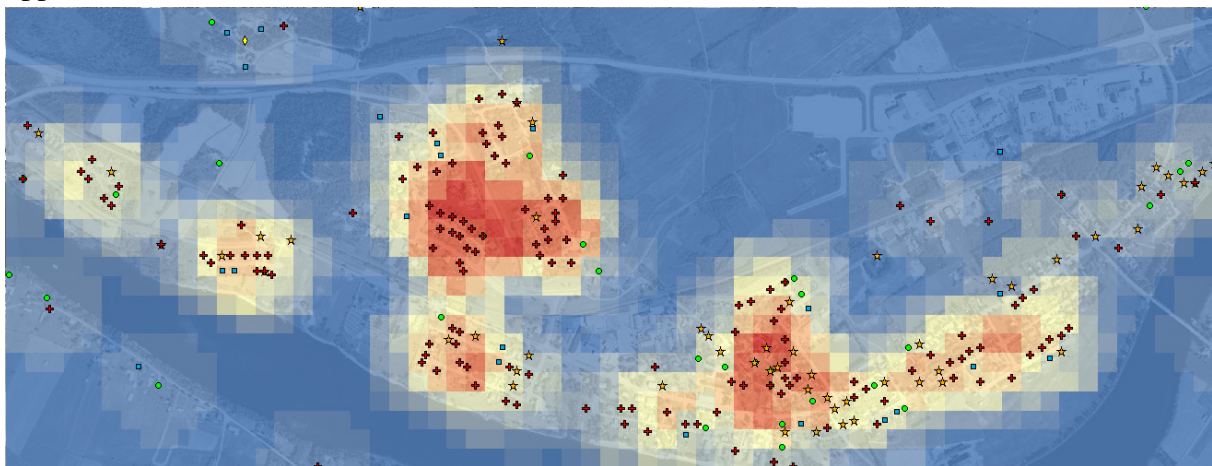


Figur 3. Mätplatsernas lokalisering i Sävar och Vännäsby, skala 1:20 000.



Figur 4. Mätplatsernas lokalisering i Grubbe, Tomtebo samt övriga Umeå. Skala 1:40 000.

Mätpunkterna i Sävar, Vännäsby, Grubbe och Tomtebo valdes utifrån beräkning i GIS (Geografiskt Informationssystem) miljö av punktdensiteten av vedpannor och lokala eldstäder. Beräkningarna genomfördes med programvaran ArcGIS Desktop 9.3. Alla vedpannor och lokala eldstäder lades in i kartbilden för respektive ort, programmet gjorde sedan en beräkning av tätheten av pannor/eldstäder inom varje radie om 150 meter runt rastercellscentrum, se exempel Vännäsby, figur 5. Mätpunkter lades in där tätheten av vedpannor och lokala eldstäder var störst, men också där tätheten var låg för att få variation i uppmätta halter.



Figur 5. Punktdensitetskarta över Vännäsby med vedpannor och lokala eldstäder inlagda. Rött indikerar hög densitet och blått låg densitet

I Sävar förlades två mätpunkter till områden med fjärrvärme och resterande fem mätpunkter till områden där fjärrvärme saknas. Parallella sjudygnsmätningar på samtliga mätpunkter gjordes under tre mätperioder under vintern, sommaren och hösten 2011 (110208–110215, 110620–110627 samt 111011–111018).

### Mät- och analysmetod

Vid mätningen av bensen och 1,3-butadien användes diffusionsprovtagare av typen Perkin Elmerrör (figur 6). Diffusionsprovtagare bygger på molekylär diffusion av gaser som tas upp på ett impregnerat filter eller en adsorbent i provtagaren. Här användes adsorbenten av Carbopack X 60/80 mesh. Upptagsfaktorn för provtagaren är 0,56 ml/min för 1,3-butadien och 0,59 ml/min för bensen (Sunesson, 2004).



Före och efter mätning var provtagarna förslutna med muttrar och förvarades i rumstemperatur. Under provtagningen användes Perkin Elmer diffusions-caps som resulterar i en definierad turbulensfri diffusionssträcka in i adsorbenten. Provtagarna hängdes i ett snöre i en metallhållare på en höjd av ca 2,5 m, och var försedda med regnskydd under provtagningen.

Provtagarna levererades och analyserades av miljökemiska laboratoriet på AMM Göteborg. Proverna desorberades termiskt, separerades med gaskromatografi och identifierades med masspektrometri.

Figur 6. Perkin Elmer diffusionsrör försedd med diffusions-cap.

## Geografiska variabler och LUR-modellering

De geografiska variabler som samlats in runt varje mätpunkt i detta projekt överensstämmer dels med de som anges i ESCAPE-manualen, och finns grovt sammanfattade i tabell 1 nedan. En mer detaljerad tabell finns i bilaga 1, ur vilken det även framgår att ett antal olika databaser använts, både lokala, nationella och europeiska.

Tabell 1. Sammanfattning av typen av geografiska variabler som samlats in.

Variabel	Specifikation
Trafikintensitet på närmaste gatan	Fordon per dygn
Avstånd till närmaste gata	Avståndet från mätpunkten till mitten av närmaste gata
Trafikintensitet inom olika radier	Fordon per dygn på samtliga vägar inom en specifik radie runt mätpunkten
Höjd	Mätpunktens höjd över marken
Avstånd till närmaste högt trafikerade gata	Avstånd till närmaste högt trafikerade gata
Populationsdensitet	Antal personer som är folkbokförda inom en specifik radie runt mätpunkten
Hushållsdensitet	Antal hushåll inom en specifik radie runt mätpunkten
Markanvändning	Andelen av olika typer av markanvändning (industri, bostäder, handels) inom olika radier runt mätpunkten
Altitud	Mätpunktens höjd över havet
Avstånd till närmaste vatten	Avståndet till närmaste sjö/hav

Utöver de variabler som ingår i ESCAPE-projektet, så har vi i detta projekt lagt till information om småskalig biobränsleeldning. Informationen har inom ett projekt finansierats av Energimyndigheten (Forsberg, 2011) inhämtats via sotarregistren och anger antal och typ av anläggning på fastighetsnivå. Inför LUR modellerna skapades 6 olika vedeldningsvariabler; 1 Fritidshus, 2 Vedpanna sotning 3-4 ggr/år, 3 Vedpanna sotning 1-2 ggr/år, 4 Pellets, 5 Olja, 6 Lokal eldstad. Antalet av respektive vedeldningstyp summerades sedan inom 6 olika radier (25, 50, 100, 300, 500, 1000 meter) kring respektive mätpunkt. Samtliga 36 (6\*6) vedeldningsvariabler utgjorde sedan tillsammans med övriga geografiska variabler utgångspunkten för skapandet av LUR-modellerna.

Själva modellbyggandet är en statistisk procedur som beskrivs i detalj i ESCAPE-manualen. De variabler som tillsammans bäst förklarar variationen i föroreningshalten är de som ingår i den slutliga linjära regressionsmodellen.

Inledningsvis så testas en och en av alla geografiska variabler mot den aktuella föroreningen för att identifiera den variabel som förklarar mest av variationen. När variabeln har identifierats läggs den till modellen, och proceduren körs om igen för att hitta den variabel

som näst efter den första bidrar till att ytterligare öka modellens förklaringsgrad. Proceduren körs sedan om tills nästa variabel som föreslås till modellen inte längre bidrar till att öka förklaringsgraden med mer än 1%. I nästa steg tar man bort de variabler som inte är signifikanta prediktorer ( $p > 0.1$ ) i modellen, och de variabler som återstår utgör den slutliga LUR-modellen.

Efter att modellen är specificerad genomförs standardtest för att identifiera inflytelserika observationer osv, för att uppfylla de grundantaganden som gäller för en linjär regression. Då modellen anses klar genomförs en modellvalidering (korsvalidering) där en mätpunkt plockas ur modellen och sedan används återstående mätpunkter för att predicera halten vid den bortplockade mätpunkten. Denna procedur upprepas för varje mätpunkt, och ger en uppfattning om modellens validitet genom att de uppmätta och predicerade halterna för varje mätpunkt jämförs.

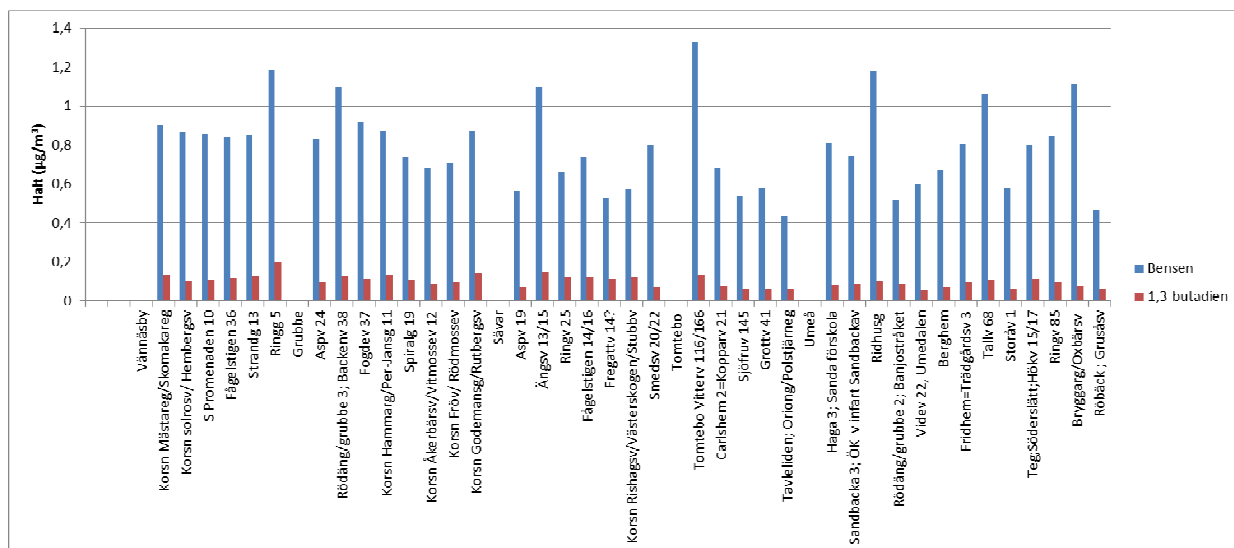
## Resultat

### Haltmätningar

Medeltemperaturen under respektive mätperiod 1 till 3 var -13,6 °C, 12,9 °C respektive 4,8 °C. Detektionsgränsen för bensen var 0,40 µg/m<sup>3</sup> och för 1,3-butadien 0,06 µg/m<sup>3</sup>. Halter under detektionsgränsen har tilldelats värdet halva detektionsgränsen.

### Bensen

Medelhalten av bensen vid respektive mätplats presenteras i figur 7, och halten för varje specifikt mättillfälle och plats redovisas i bilaga 2. Halten var högst under mätperiod 1 som genomfördes i februari, då medeltemperaturen var lägst (-13,6°C). Den högsta halten (2,96 µg/m<sup>3</sup>) uppmättes under denna period i Umeå på Bryggargatan, Böleäng. Den lägsta halten (0,93 µg/m<sup>3</sup>) uppmättes på Oriongatan, Tomtebo. Medelvärdet för alla mätpunkter var under mätperioden 1,36 µg/m<sup>3</sup>, en faktor 4 respektive 2 gånger högre än sommar- och höstmätningen. Om man tittar på medelvärdet för respektive område, låg detta högst i Vännäsby (1,55 µg/m<sup>3</sup>) under mätperiod 1. Lägst medelvärdeshalt hade Tomtebo (1,26 µg/m<sup>3</sup>). Inga mätvärden låg under detektionsgränsen under första mätperioden.



Figur 7. Medelhalterna av bensen och 1,3-butadien på respektive mätplats.

Under mätperiod 2 saknas resultat för 3 mätplatser, då provtagaren antingen saboterats eller analysen fallerat. Vid 20 av de 39 mätplatserna låg halten under detektionsgränsen. Ett mätvärde (Tallvägen i Umeå) var oförklarligt extremt högt och har uteslutits. Halten var högst vid Vittervägen, Tomtebo (1,24 µg/m<sup>3</sup>) och medelvärdet av bensenhalten för alla mätpunkter under mätperioden var 0,34 µg/m<sup>3</sup>. Grubbe var det område som hade högst medelvärdet (0,48 µg/m<sup>3</sup>) medan medelvärdet baserat på övriga mätpunkterna i centrala Umeå var lägst.

För mätperiod 3, som genomfördes i oktober, saknas mätvärde för en mätplats där provtagaren har saboterats. Vid sju av mätplatserna låg halten under detektionsgränsen. Den

högsta halten uppmättes på Ringgatan i Sävar ( $1,12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) och medelvärdet för alla mätpunkter var  $0,60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Liksom vid mätperiod 1 var Vännäsby det område som hade högst medelvärdeshalt ( $0,87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

### 1,3-Butadien

Medelhalten av 1,3-butadien vid respektive mätplats presenteras i figur 7, och halten för varje specifikt mättillfälle och plats redovisas i bilaga 3. För 1,3-butadien var haltskillnaderna inte lika stora mellan olika mätperioder som för bensen, se bilaga 2. Under den kallaste mätperioden blev medelvärdet för alla mätpunkter  $0,13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , medan sommarmätningens medelvärde var  $0,07 \mu\text{g}/\text{m}^3$  och medelvärdet under höstmätningen  $0,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Under mätperiod 1 uppmättes den högsta halten ( $0,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) på Ringgatan i Sävar. Det område som hade högst medelhalt ( $0,17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) under mätperiod 1 var, liksom för bensen, Vännäsby. Inget av mätvärdena under första mätperioden låg under detektionsgränsen.

För mätperiod 2 låg halterna för 19 av mätpunkterna under detektionsgränsen. Två mätvärden (vid Tallvägen och Vittervägen i Umeå) var oförklarligt mycket höga och uteslöts ur beräkningarna av LUR-modellen. Den högsta halten ( $0,19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) uppmättes även under denna mätperiod på Ringgatan i Sävar. Det område som hade högst medelvärde av 1,3-butadienhalten ( $0,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) var Sävar.

Inget av mätvärdena under mätperiod 3 låg under detektionsgränsen. Det högsta mätvärdet ( $0,20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) uppmättes i Vännäsby i korsningen Mästaregatan/ Skomakaregatan. Det var också Vännäsby som, liksom för bensen, hade högsta medelvärdeshalt ( $0,16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) under denna mätperiod.

### LUR-modell för bensen och 1.3-butadien

Resultatet från byggandet av bensen- och 1,3-butadienmodellen baserat på medelvärdet av de tre mätomgångarna redovisas i tabell 2.

Tabell 2. Variabler som ingår i LUR-modellerna för bensen och 1,3-butadien. I tabellen anges beta-koefficienten ( $\beta$ ), standard error (se), p-värdet (p) samt medelvärdet för varje variabel.

Bensen				
Variabel	$\beta$	Se	p	Medelvärde för respektive variabel baserat på samtliga mätpunkter
Intercept	0.62	0.04	$9.60 \times 10^{-16}$	
Antal innevånare inom 100 meters radie (POP_100)	$1.40 \times 10^{-3}$	$2.2 \times 10^{-4}$	$4.70 \times 10^{-7}$	84.3 st
Antal pellets pannor/kaminer inom 100 meters radie (S4_100)	0.057	0.018	0.003	0.92 st
Summan av trafikflödet multiplicerat med längden på alla vägsegment inom 50 meters radie (TRAFLOAD_50)	$4.40 \times 10^{-7}$	$1.10 \times 10^{-7}$	$5.5 \times 10^{-4}$	109134 fordon/dygn*m

Antalet kvadratmeter grönområde/skog inom 1000 meters radie (NATURAL_1000)	$-5.90 \times 10^{-8}$	$2.30 \times 10^{-8}$	0.010	777793 m <sup>2</sup>
Antalet vedpannor med sotning 1-4 ggr per år inom 50 meters radie (S2_S3_50)	0.074	0.041	0.080	0.28 st
Stadsnära grönområden inom 300 meters radie (URBGREEN_300)	$-1.20 \times 10^{-6}$	$4.40 \times 10^{-7}$	0.009	25142 m <sup>2</sup>
Antalet kvadratmeter industriområde inom 300 meters radie (INDUSTRY_300)	$2.80 \times 10^{-6}$	$1.40 \times 10^{-6}$	0.060	3505 m <sup>2</sup>
<b>1.3-butadien</b>				
Intercept	0.093	$6.80 \times 10^{-3}$	$2.30 \times 10^{-15}$	
Antal pelletspannor/kaminer inom 100 meters radie (S4_100)	0.014	$2.40 \times 10^{-3}$	$1.50 \times 10^{-6}$	0.92 st
Antal innevånare inom 100 meters radie (POP_100)	$9.20 \times 10^{-5}$	$3.60 \times 10^{-5}$	0.020	84.3 st
DISTMAJORC	$-8.80 \times 10^{-6}$	$3.80 \times 10^{-6}$	0.030	986
Stadsnära grönområden inom 300 meters radie (URBGREEN_300)	$-1.50 \times 10^{-7}$	$6.50 \times 10^{-8}$	0.030	25142 m <sup>2</sup>

Ur tabellen framgår vilka variabler som utgör de slutgiltiga modellerna för bensen och 1,3-butadien. Gemensamt för båda modellerna är variablerna stadsnära grönområden (URBGREEN\_300), antalet innevånare inom 100 meter (POP\_100) samt antalet pelletspannor/kaminer inom 100 meter (S4\_100). Trafik finns med i båda modellerna men representeras av olika variabler. I bensen modellen finns även antalet kvadratmeter industri inom 300 meter (INDUSTRY\_300) samt andelen skog inom 1000 meter (NATURAL\_1000).

Koefficienterna kan användas för att predicera årsmedelhalten av bensen och 1,3-butadien i en given punkt. För att exemplifiera detta så använder vi informationen i sista kolumnen i tabell 2 som anger medelvärdet för respektive geografisk variabel baserat på samtliga mätpunkter. För att beräkna halten bensen alt 1,3-butadien i en punkt motsvarande medelvärdena på dessa variabler sätts variablerna in i följande ekvation:

### Bensen:

$$\text{Intercept} + \beta(\text{POP}_{100}) + \beta(\text{S4}_{100}) + \beta(\text{TRAFLOAD}_{50}) + \beta(\text{NATURAL}_{1000}) +$$

$$\mu \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

$$0.62 + (1.40 \times 10^{-8} \times 84.3) + (0.057 \times 0.92) + (4.40 \times 10^{-7} \times 109134) + (-5.90 \times 10^{-8} \times 777793) +$$

$$0.79 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

### 1.3 – Butadien:

$$\text{Intercept} + \beta(\text{POP}_{100}) + \beta(\text{S4}_{100}) + \beta(\text{URB GREEN}_{300}) + \beta(\text{DISTMAJORC}) = 1.3 - \text{Butc}$$

$$0.093 + (9.20 \times 10^{-8} \times 84.3) + (0.014 \times 0.92) + (1.50 \times 10^{-7} \times 25142)$$

$$+ (-8.80 \times 10^{-6} \times 985.8) = 0.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

Bensen-modellen förklarade 77% av variationen ( $r^2=0,77$ ), en förklaringsgrad som sjönk till 42% efter korsvalidering. Motsvarande värden för 1,3-butadienmodellen var 64% och 48% efter korsvalidering.

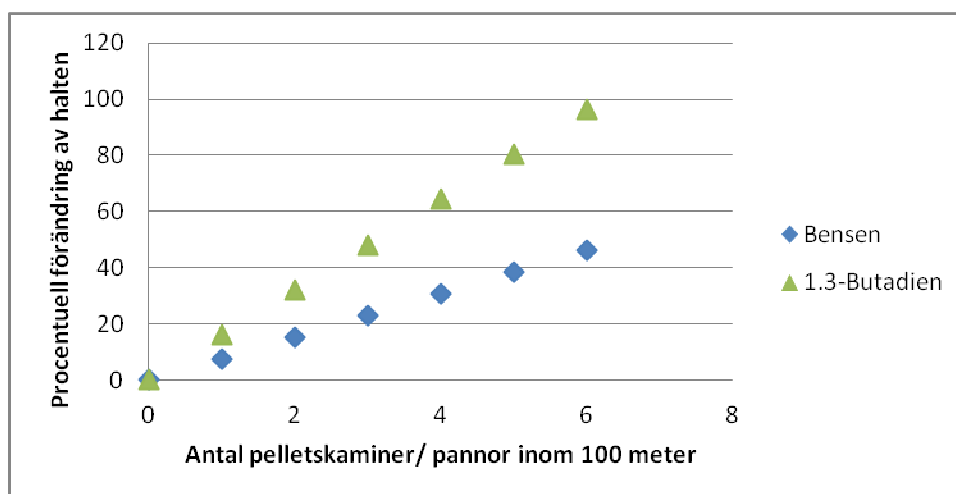
## Diskussion

Rapporten visar att det är möjligt utifrån geografiska variabler att predicera halten bensen och 1,3-butadien i en given punkt med acceptabel precision. Resultaten visar också att befolkningstäthet tillsammans med småskalig biobränsleledning och trafik är de variabler som är gemensamt viktigast för årsmedelhalten bensen och 1,3-butadien.

Modellen som presenteras i rapporten är den för oss veterligen enda i sitt slag i Sverige, då den bygger på ett stort antal mätningar och en unik databas vad gäller information från sotarregister. Databasen över sotarregistren täcker de flesta kommuner i Västerbotten vilket gör det möjligt att med utgångspunkt från modellen skatta exponeringen för ett stort geografiskt område. Detta gör det inte bara möjligt att kartlägga förekomsten av halter i ett stort geografiskt område, utan även att studera vedeldningens effekter på hälsan via de stora hälsoundersökningar som pågått i Västerbotten under många år.

Denna typ av statistisk modell för att beskriva halterna av bensen och 1,3-butadien är relativt enkel och billig, vilket gör den attraktiv. Största delen av de geografiska variabler som ingår finns tillgängligt via kommunernas databaser, och mätningarna genomförs med diffusionsprovtagare vilka är billiga och lätta att använda. I rapporten har vi utgått från de variabler som specificerats inom ramen för ESCAPE-projektet och kompletterat med uppgifter om småskaliga förbränningsanläggningar på fastighetsnivå. Friheten är dock stor att lägga till och skapa variabler för att ytterligare förbättra modellernas förklaringsgrad baserat på tillgänglig geografisk information, erfarenhet och lokalkännedom.

Det största användningsområdet för denna typ av modeller är framförallt vid kartläggning och identifiering av problematiska områden, men den kan även användas för att predicera en haltförändring i ett område. Till exempel kan betydelsen för bensenhalten i en punkt i ett bostadsområde beräknas för ett scenario med inga pellets pannor/kaminer inom 100 meter jämfört med x antal, givet att alla andra parametrar är konstanta. Se figur 8.



Figur 8. Betydelsen för halten bensen och 1,3-butadien av att öka antalet pellets pannor inom en 100 meters radie.

Exemplet visar att om antalet pellets kaminer/ pannor ökar från noll till 6 inom en radie av 100 meter runt en mätpunkt så predicerar modellen en ökning av bensenhalten med ca 50%, och 1,3-butadienhalten med ca 100%.

En styrka med LUR-modeller jämfört med andra typer av modeller är att de är uppbyggda kring faktiska mätningar och inte baserade på emissionsfaktorer. Detta ställer också krav på att mätningarna som genomförs är representativa för den tidsperiod som man vill beskriva. Modellerna som presenteras i rapporten predicerar årsmedelhalter av bensen och 1,3-butadien, och bygger på medelhalten av tre mätomgångar fördelade mellan en höst (oktober) en vinter/vår (februari) och en sommarmätning (juni). Hur representativa dessa tre mätomgångar kan anses vara för sin mätperiod är avgörande för hur väl modellen kan sägas predicera årsmedelvärdet. Desto mer mätningar som finns att tillgå desto säkrare blir modellen, varför en modell som utvecklats baserat på tre mätomgångar med fördel kan "köras" om då fler mätningar blir tillgängliga för att ytterligare förbättra modellen.

I vilken utsträckning en LUR-modell som skapats inom ett geografiskt område är användbar i ett annat område beror på om det är samma geografiska variabler som är viktiga för haltvariationen, vilket är rimligt att anta förutsatt att avståndet mellan områdena inte är allt för stort. Trots att det oftast är samma emissionskällor som är viktiga, är det inte orimligt att topografi och samhällsplanering kan leda till att t.ex. trafik förklaras bättre av en viss typ av variabel i ett område och en annan variabel i ett annat område. I dagsläget finns ingen sådan utvärdering gjord.

En svaghet med modellerna som de presenteras i rapporten är att de inte kan användas för att predicera korttidsvariationer i luftföroreningshalter. Dygnsvariationen i luftföroreningshalten i en mätpunkt är till största del beroende av meteorologiska faktorer, vilka inte har inkluderats i modellen. Det finns exempel på LUR-modeller som anpassats även för att predicera korttidshalter men en sådan ansats har inte rymts inom ramarna för detta projekt.

På grund av att så många mätvärden låg under detektionsgränsen under andra mätperioden kommer vi att göra en känslighetsanalys tillsammans med laboratoriet vid AMM i Göteborg för att studera vad som händer om man använder en annan vedertagen metod för att beräkna detektionsgränsen.

## **Referenser**

ESCAPE-project. ESCAPE Exposure assessment manual.

[http://www.escapeproject.eu/manuals/ESCAPE\\_Exposure-manualv9.pdf](http://www.escapeproject.eu/manuals/ESCAPE_Exposure-manualv9.pdf) Accessed 2012-03-13, 2012.

Forsberg B, Jonsson L. Planering av epidemiologiska studier av långtidseffekter av bioenergi. Slutrapport till Energimyndigheten av delprojekt B3, Umeå 2011

Gustavsson P, Barregård L, Strandberg B, Johannesson S, Sällsetn G. Inverkan av vedeldning på exponeringen för bensen, 1,3-butadien, formaldehyd och acetaldehyd. Yrkes- och miljömedicin, Sahlgrenska Universitetssjukhuset 2003.

Sunesson A- L, Sundgren M, Levin J- O, Ljungkvist G, Strandberg B. Laboratorie- och fältvalidering av metoder för mätning av bensen med diffusionsprovtagning och automatisk termisk desorption. Rapport till Naturvårdsverket, Umeå 2004.

# Bilagor

## Bilaga 1.

Databas	Prediktorvariabel	Variabelnamn <sup>1</sup>	Enhet	Storlek på radie
<b>Bakgrundsvariabler</b>				
CORINE	High density residential land <sup>3</sup>	HDRES	m <sup>2</sup>	100, 300, 500, 1000, 5000
CORINE	Low density residential land <sup>3</sup>	LDRES	m <sup>2</sup>	100, 300, 500, 1000, 5000
CORINE	Industry <sup>3</sup>	INDUSTRY	m <sup>2</sup>	100, 300, 500, 1000, 5000
CORINE	Port <sup>3</sup>	PORT	m <sup>2</sup>	100, 300, 500, 1000, 5000
CORINE	Urban green <sup>3,4</sup>	URBGREEN	m <sup>2</sup>	100, 300, 500, 1000, 5000
CORINE	Semi-natural and forested areas <sup>3,5</sup>	NATURAL	m <sup>2</sup>	100, 300, 500, 1000, 5000
Local land use	<sup>2</sup>			m100, 300, 500, 1000, 5000
Population density	Number of inhabitants <sup>3</sup>	POP	N(umber)	100, 300, 500, 1000, 5000
Household density	Number of households	HHOLD	N(umber)	100, 300, 500, 1000, 5000
Altitude	Altitude	SQRALT	m	NA
<b>Trafikvariabler <sup>6</sup></b>				
Local road network	Traffic intensity <sup>6</sup> on nearest road	TRAFNEAR	Veh.day-1	NA
Local road network	Distance to the nearest road	DISTINVNEAR1 DISTINVNEAR2	m-1, m-2	NA
Local road network	Product of traffic intensity on nearest road and inverse of distance to the	INTINVDIST INTINVDIST2	Veh.day-1m-1 Veh.day-1m-2	NA
Local road network	Traffic intensity on nearest major road <sup>7</sup>	TRAFMAJOR	Veh.day-1	NA
Local road network	Distance to the nearest major road <sup>7</sup>	DISTINVMAJOR1 DISTINVMAJOR2	m-1, m-2	NA
Local road network	Product of traffic intensity on nearest major road and inverse of distance to the nearest major road and distance squared <sup>7</sup>	INTMAJORINV DIST INTMAJORINV DIST2	Veh.day-1m-1 Veh.day-1m-2	NA
Local road network	Total traffic load of major roads in a buffer (sum of (traffic intensity * length of all segments)) <sup>7</sup>	TRAFMAJORLOAD	Veh.day-1m	25, 50, 100, 300, 500, 1000
Local road network	Total traffic load of all roads in a buffer (sum of (traffic intensity * length of all segments))	TRAFLOAD	Veh.day-1m	25, 50, 100, 300, 500, 1000

Local road network	Heavy-duty traffic intensity on nearest road	HEAVYTRAFNEAR*	Veh.day-1	NA
Local road network	Product of Heavy-duty traffic intensity on nearest road and inverse of distance to the nearest road and distance squared	HEAVYINTINV DIST HEAVYINTINV DIST2	Veh.day-1m-1 Veh.day-1m-2	NA
Local road network	Heavy-duty traffic intensity on nearest major road	HEAVYTRAFMAJOR	Veh.day-1	NA
Local road network	Total heavy-duty traffic load of major roads in a buffer (sum of (heavy-duty traffic intensity * length of all segments))	HEAVYTRAFMAJORLOAD	Veh.day-1m	25, 50, 100, 300, 500, 1000
Local road network	Total heavy-duty traffic load of all roads in a buffer (sum of (heavy-duty traffic intensity * length of all segments))	HEAVYTRAFLOAD	Veh.day-1m	25, 50, 100, 300, 500, 1000
Central road network	Road length of all roads in a buffer	ROADLENGTH	m	25, 50, 100, 300, 500, 1000
Central road network	Road length of major roads in a buffer 8	MAJORROADLENGTH	m	25, 50, 100, 300, 500, 1000
network				
Central road network	Distance to the nearest road	DISTINVNEARC1 DISTINVNEARC2	m-1, m-2	
Central road network	Distance to the nearest major road 8	DISTINVMAJORC1 DISTINVMAJORC2	m-1, m-2	

## Bilaga 2 Resultat av bensenmätningarna och medelvärde av de tre mätningarna

Mätplats	medel xkoord	medel ykoord	Tillfälle 1 2011-02-08-02-15	Tillfälle 2 110620--110627	Tillfälle 3 111011-111018	Medelvärde 3 mätningar
Vännäsby						
Korsning Mästaregatan/Skomakaregatan	7095734	1697146	1,57	0,18	0,96	0,90
Korsning Solrosvägen/ Hemborgsvägen	7096171	1696267	1,44	0,46	0,70	0,87
Södra Promenaden 10	7096053	1695788	1,62	0,18	0,78	0,86
Fågelstigen 36	7095837	1696414	1,49	0,18	0,85	0,84
Strandgatan 13	7095925	1697907	1,59	0,18	0,79	0,85
Ringgatan 5	7096292	1698259	1,56	0,88	1,12	1,19
Grubbe						
Aspvägen 24	7088499	1716733	1,19	0,36	0,94	0,83
Backenvägen 38	7088141	1716869	1,37	nedplockad provtagare	0,82	1,10
Fogdevägen 37	7087809	1716621	1,21	0,67	0,87	0,92
Korsning Hammargatan/Per-Jansgatan 11	7087993	1717254	1,39	0,61	0,62	0,87
Spiralgatan 19	7088247	1715541	1,10	0,53	0,58	0,74
Korsning Åkerbärsvägen/Vitmossevägen 12	7088638	1716128	1,07	0,45	0,53	0,68
Korsning Frövägen/ Rödmossevägen	7088495	1715789	1,14	0,38	0,61	0,71
Korsning Godemansgatan/Rutbergsvägen	7087934	1716867	1,35	0,39	0,88	0,87
Sävar						
Aspvägen 19	7097696	1732586	0,98	0,18	0,53	0,56
Ångsvägen 13/15	7096846	1732532	1,91	0,72	0,66	1,10
Ringvägen 25	7097472	1733036	1,01	0,35	0,62	0,66
Fågelstigen 14/16	7097224	1732567	1,29	0,18	0,75	0,74
Fregattv 14	7096088	1733699	0,99	0,18	0,42	0,53
Korsn Rishagsvägen/Västeskogen/Stubbvägen	7097025	1732191	1,16	0,35	0,20	0,57
Smedsvägen 20/22	7097262	1733335	1,65	0,18	0,57	0,80
Tomtebo						
Vittenvägen 116/166	7085741	1723321	1,81	1,24	0,94	1,33
Kopparvägen 21	7085646	1722613	1,35	0,18	0,53	0,68
Sjöfruvägen 145	7085489	1723416	1,23	0,18	0,20	0,54
Grottvägen 41	7084987	1723729	0,96	nedplockad provtagare	0,20	0,58
Oriongatan/Polstjärnegatan	7085222	1724794	0,93	0,18	0,20	0,44
Umeå						
Haga, Sanda förskola	7088508	1719994	1,54	0,18	0,71	0,81
Sandbacka, Östra Kyrkogatan 125	7089586	1720514	1,47	0,18	0,58	0,74
Ridhusgatan	7087953	1718811	1,18	resultat saknas	nedplockad provtagare	1,18
Rödäng, Banjostråket	7088729	1716870	1,19	0,18	0,20	0,52
Umedalen, Videvägen 22	7088792	1713662	0,97	0,42	0,40	0,60
Berghem	7087997	1721344	1,22	0,18	0,63	0,67
Fridhem, Trädgårdsvägen 3	7087682	1720523	1,69	0,18	0,55	0,80
Sofehem, Tallvägen 68	7085090	1721439	1,53	2,89	0,60	1,06
Ön, Storåvägen 1	7086228	1720500	1,01	0,18	0,55	0,58
Teg, Hökvägen 15/17	7086194	1719173	1,19	0,60	0,61	0,80
Teg, Ringvägen 85	7086082	1718870	1,68	0,18	0,69	0,85
Böleång, Bryggargatan/Oxbärsvägen	7086399	1717820	2,96	0,18	0,20	1,11
Röbäck, Grusåsvägen	7085556	1716008	1,03	0,18	0,20	0,47

### Bilaga 3 Resultat av butadienmätningarna och medelvärde av de tre mätningarna.

Mätplats	xkoord	ykoord	Tillfälle1	Tillfälle 2	Tillfälle 3	Medelvärde 3 mätningar
Vännäsby			2011-02-08--02-15	110620--110627	111011-111018	
Korsning Mästaregatan/Skomakaregatan	7095734	1697146	0,17	0,03	0,20	0,13
Korsning Solrosvägen/ Hembergsvägen	7096171	1696267	0,14	0,06	0,11	0,10
Södra Promenaden 10	7096053	1695788	0,17	0,03	0,13	0,11
Fågelstigen 36	7095837	1696414	0,15	0,03	0,17	0,12
Strandgatan 13	7095925	1697907	0,19	0,03	0,15	0,12
Ringgatan 5	7096292	1698259	0,22	0,19	0,17	0,20
Grubbe						
Aspvägen 24	7088499	1716733	0,13	0,03	0,14	0,10
Backenvägen 38	7088141	1716869	0,13	ingen mätning	0,13	0,13
Fogdevägen 37	7087809	1716621	0,13	0,09	0,12	0,11
Korsning Hammargatan/Per-Jansgatan 11	7087993	1717254	0,13	0,17	0,10	0,13
Spiralgatan 19	7088247	1715541	0,08	0,10	0,15	0,11
Korsning Åkerbärsvägen/Vitmossevägen 12	7088638	1716128	0,09	0,08	0,09	0,09
Korsning Frövägen/ Rödmossevägen	7088495	1715789	0,11	0,06	0,11	0,10
Korsning Godemansgatan/Rutbergsvägen	7087934	1716867	0,12	0,14	0,16	0,14
Sävar						
Aspvägen 19	7097696	1732586	0,10	0,03	0,09	0,07
Ångsvägen 13/15	7096846	1732532	0,19	0,14	0,12	0,15
Ringvägen 25	7097472	1733036	0,09	0,19	0,09	0,12
Fågelstigen 14/16	7097224	1732567	0,12	0,09	0,15	0,12
Fregattv 14	7096088	1733699	0,10	0,14	0,11	0,11
Korsn Rishagsvägen/Västerskogen/Stubbväge	7097025	1732191	0,11	0,17	0,09	0,12
Smedsvägen 20/22	7097262	1733335	0,12	0,03	0,06	0,07
Tomtebo						
Vittenvägen 116/166	7085741	1723321	0,16	1,23	0,10	0,13
Kopparvägen 21	7085646	1722613	0,13	0,03	0,07	0,08
Sjöfruvägen 145	7085489	1723416	0,08	0,03	0,08	0,06
Grottvägen 41	7084987	1723729	0,06	nedplockad provtagare	0,07	0,06
Oriongatan/Polstjärnegatan	7085222	1724794	0,06	0,06	0,06	0,06
Umeå						
Haga, Sanda förskola	7088508	1719994	0,13	0,03	0,09	0,08
Sandbacka, Östra Kyrkogatan 125	7089586	1720514	0,14	0,03	0,09	0,09
Ridhusgatan	7087953	1718811	0,10	resultat saknas	nedplockad provtagare	0,10
Rödäng, Banjotråket	7088729	1716870	0,17	0,03	0,07	0,09
Umedalen, Videvägen 22	7088792	1713662	0,06	0,03	0,08	0,06
Berghem	7087997	1721344	0,12	0,03	0,06	0,07
Fridthem, Trädgårdsvägen 3	7087682	1720523	0,18	0,03	0,08	0,10
Sofiehem, Tallvägen 68	7085090	1721439	0,14	1,26	0,08	0,11
Ön, Storåvägen 1	7086228	1720500	0,07	0,03	0,09	0,06
Teg, Hökvägen 15/17	7086194	1719173	0,10	0,06	0,18	0,11
Teg, Ringvägen 85	7086082	1718870	0,17	0,03	0,10	0,10
Böleäng, Bryggargatan/Oxbärsvägen	7086399	1717820	0,13	0,03	0,06	0,07
Röbäck, Grusåsvägen	7085556	1716008	0,10	0,03	0,06	0,06