

MÄNNISKORS EXPONERING FÖR LUFTFÖRORENINGAR

Några olika beräkningsmetoder

Gunnar Omstedt och Janos Szegö

MÄNNISKORS EXPONERING FÖR LUFTFÖRORENINGAR

Några olika beräkningsmetoder

Gunnar Omstedt och Janos Szegö *

* Boverket
Box 534
371 23 KARLSKRONA

Issuing Agency SMHI S-601 76 Norrköping Sweden	Report number RMK 60	
Report date 1991-01-10		
Author (s) Gunnar Omstedt and Janos Szegö		
Title (and Subtitle) Human exposure to air pollution, some different calculation methods.		
Abstract This report describes a model for calculation of human exposure to air pollution. The model consist of two parts. In the first part air pollution concentrations are calculated, as function of space and time, by using an air pollution model (Omstedt, 1988, Robertson, 1989). Inputdata are routine meteorological data, emission data and background air pollution data. In the second part of the model the population dynamics in cities are described by using detailed statistical data for the day- and nighttime populations, according to Szegö (1974, 1987). The model is illustrated by two cases, Helsingborg and Örebro. The results are compared with exposure calculations from simplified methods.		
Key words human exposure, dispersion model, air pollution model		
Supplementary notes	Number of pages 23	Language Swedish
ISSN and title 0347-2116 SMHI Reports Meteorology and Climatology		
Report available from: SMHI S-601 76 Norrköping Sweden		

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sid
Förord	1
1. INLEDNING	1
2. METOD	2
2.1 Teoretiska överväganden	2
2.2 En praktisk beräkningsmodell	3
2.2.1 Meteorologisk spridningsmodell	4
2.2.2 Människors rörelse- och vistelsemönster Influensberäkningar	5
3. MODELL TILLÄMPNING	9
3.1 Förutsättningar	9
3.2 Beräkningsresultat	12
3.3 Jämförelse med förenklade beräkningsmetoder	13
4. SAMMANFATTNING OCH SLUTSATSER	14
5. REFERENSER	15

Förord

Medel till detta projekt (projektnummer 5315439-9) har beviljats av Statens Naturvårdsverk. Projektet avser utveckling av metoder för exponeringsberäkningar. Arbetet har skett i samarbete med SNV:s tätortsgrupp. Hans Alexandersson och Hans Backström har bidragit med värdefulla synpunkter.

1. INLEDNING

Noggranna uppskattningar av människors exponering för luftföroreningar är viktiga för att på ett realistiskt sätt bedöma risker för hälsoeffekter och för att skapa åtgärder för kontroll och minskning av dessa risker. Sådana uppskattningar är emellertid inte enkla att göra. Kunskap fordras om föroreningshalters variationer i tid och rum liksom om människors rörelse- och vistelsemönster.

Sveriges befolkning utgörs av drygt 8 miljoner människor. Cirka 45 % av dessa bor i landets 50 största tätorter, cirka 38 % bor i landets övriga tätorter och cirka 17 % bor i glesbygd (FoB,1980). För att beräkna den totala exponeringen t.ex. för alla människor i Sverige, behöver kraftiga förenklningar göras, se t.ex. Boström (1982). Förenklningarna bygger oftast på antagandet att den totala exponeringen kan beräknas som summan av olika delexponeringar. Olika lämpliga delområden definieras, som t.ex. tätorter av viss storlek, landsbygd i olika delar av landet etc. För varje delområde antas att exponeringen kan beräknas förenklad och på följande sätt:

$$E \cong [\bar{c}] \cdot [\bar{p}] \cdot A \cdot T$$

där $[\bar{c}]$ anger tids-och ytmedelvärde av föroreningshalten i området, $[\bar{p}]$ anger tids-och ytmedelvärde av antalet människor per ytenhet i området, A anger områdets storlek och T anger tidsintervallet beräkningarna avser. Därefter uppskattas $[\bar{c}]$ och $[\bar{p}]$ för varje delområde med hjälp av tillgängliga mätdata och mer eller mindre subjektiva bedömningar.

Förutsättningen för att ekvationen ovan skall vara en god approximation är att p och c är okorrelerade, vilket naturligtvis oftast inte är fallet. I avsnitt 2 diskuteras detta mer i detalj varvid en matematisk modell för exponeringsberäkningar presenteras. Modellen tillämpas därefter för två beräkningsfall, Helsingborg och Örebro. Resultaten presenteras i avsnitt 3 och jämförs med förenklade beräkningar.

2. METOD

2.1 Teoretiska överväganden

Låt $c(x,y,t)$ beteckna föroreningshalten vid punkten (x,y) och tiden, t , och låt $p(x,y,t)$ beteckna antalet människor per ytenhet vid (x,y) och t . Exponeringen, E , vid (x,y,t) kan då beräknas som produkten av c och p dvs:

$$E(x,y,t) = c(x,y,t) \cdot p(x,y,t) \quad (1)$$

Vi är nu intresserade av exponeringen integrerad i rum och tid. Låt $E_{a,t}$ beteckna den rums- och tidsintegrerade exponeringen i området A och över tidsintervallet T . $E_{a,t}$ kan då skrivas på följande sätt:

$$E_{a,t} = \int_x \int_y \int_t c(x,y,t) p(x,y,t) dx dy dt = \int_x \int_a c p da dt \quad (2)$$

Vi delar upp $c(x,y,t)$ och $p(x,y,t)$ genom att införa rumsliga medelvärden och rumsliga flukturerande storheter på följande sätt:

$$\begin{cases} c = [c] + c'' \\ p = [p] + p'' \end{cases} \quad (3)$$

där $[]$ anger ytmedelvärdet och $''$ anger avvikelser från ytmedelvärdet.

Ekvation (2) kan då skrivas:

$$\begin{aligned} E_{a,t} &= \int_x \int_a ([c] + c'')([p] + p'') da dt \\ &= \int_x \left(\int_a ([c][p] + [p]c'' + p''[c] + p''c'') da \right) dt \\ &= \int_x ([c][p] + [c''p'']) A dt \end{aligned} \quad (4)$$

Därefter inför vi tidsmedelvärden och tidsflukturerande storheter på följande sätt:

$$\begin{cases} [c] = \overline{[c]} + [c]' \\ [p] = \overline{[p]} + [p]' \\ [c''p''] = \overline{[c''p'']} + [c''p'']' \end{cases} \quad (5)$$

Vi får då:

$$\begin{aligned} E_{a,t} &= \int_x \left((\overline{[c]} + [c]')(\overline{[p]} + [p]') + \overline{[c''p'']} + [c''p'']' \right) A dt = \\ &= A \cdot T \cdot (\overline{[c]} \cdot \overline{[p]} + \overline{[c]'} \cdot \overline{[p]'} + \overline{[c''p'']}) \end{aligned} \quad (6)$$

Resonemanget är analogt till det som görs av Palmén and Newton (1969).

Den yt- och tidsintegrerade exponeringen kan således beräknas som summan av tre termer.

$$E_{a,t} = A \cdot T (\overline{[c]} \cdot \overline{[p]} + \overline{[c]'} \cdot \overline{[p]'} + \overline{[c''] \cdot [p'']}) \quad (7)$$

Den första termen avser bidraget från rums- och tidsmedelvärdet av c och p. Den andra termen avser bidraget från korrelationen i tidsvariationen hos de rumsliga medelvärdena och den tredje termen avser tidsmedelvärdet av rumskorrelationstermen $[c''p'']$.

Med hjälp av den modell som beskrivs nedan beräknas dessa termer.

2.2 En praktisk beräkningsmodell

För att praktiskt lösa ekvation (2) uttrycker vi integralerna som summor över ändliga längd- och tidsintervall. Ekvation (2) skrivs därför på följande sätt:

$$E_{a,t} = \sum_{t=t_0}^{t_0+T} \sum_{x=x_0}^{x_0+X} \sum_{y=y_0}^{y_0+Y} c(x,y,t) \cdot p(x,y,t) \cdot \Delta a \cdot \Delta t \quad (8)$$

Om c uttrycks i t.ex. $\mu\text{g}/\text{m}^3$ får ekvation (8) sorten $(\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{antal personer} \cdot \text{sek})$. Om vi antar att alla människor andas med en viss faktor (m^3/s) ger uttrycket ovan ett mått på den totala mängd av föroreningar som andas in av alla människor i området A under tiden T.

Låt oss nu definiera ett nytt exponeringsmått nämligen för den exponering som sker av halter över ett givet tröskelhaltsvärde k. Detta exponeringsmått betecknar vi $E_{a,t}^k$. Vi inför en funktion, f, sådan att:

$$f = \begin{cases} 1.0 & \text{då } c(x,y,t) \geq k \\ 0.0 & \text{då } c(x,y,t) < k \end{cases} \quad (9)$$

$E_{a,t}^k$ kan då beräknas på följande sätt:

$$E_{a,t}^k = \sum_{t=t_0}^{t_0+T} \sum_{x=x_0}^{x_0+X} \sum_{y=y_0}^{y_0+Y} c(x,y,t) \cdot p(x,y,t) \cdot f \cdot \Delta a \cdot \Delta t \quad (10)$$

Ett annat lämpligt exponeringsmått är:

$$e_i^k(x,y) = \sum_{t=t_0}^{t_0+T} p(x,y,t) \cdot f \cdot \Delta a \cdot \Delta t \quad (11)$$

Ekvation (11) kan utnyttjas för beräkningar av antalet persontimmar då halten varit ovanför ett visst kritiskt värde.

Med hjälp av den matematiska modell som beskrivs nedan kan ekvationerna ovan beräknas. Modellen består av två delar, dels en meteorologisk spridningsmodell för beräkningar av halter och dels en modell för beskrivning av människors rörelse- och vistelsemönster. De olika delarna beskrivs i avsnitten 2.2.1 och 2.2.2 nedan.

Vid formuleringen av modellen har stor vikt lagts vid att den i så stor utsträckning som möjligt skall baseras på tillgänglig statistisk information. Den meteorologiska delen av modellen drivs därför med hjälp av rutinmeteorologiska data. Dessa data finns tillgängliga för många platser i landet i långa tidsserier. Befolkningens rörelse- och vistelsemönster beskrivs med hjälp av statistiska data från kommunernas statistik-områden.

2.2.1. Meteorologisk spridningsmodell

En modern meteorologisk spridningsmodell utnyttjas för att beräkna luftförorenings-halters variationer i rum och tid. Modellen är en tidseriemodell, vilket innebär att halter beräknas i en tidserie (t.ex. timme för timme) för olika typer av rutnät under längre beräkningsperioder (Omstedt (1988), Robertson (1989)).

Spridningsmodeller har tidigare utnyttjats för exponeringsberäkningar av Laurin (1984) och Steen och Omstedt (1989).

Indata till modellen är meteorologiska data och utsläpps data. Via en så kallad meteorologisk preprocessor bearbetas en tidsserie av rutinmeteorologiska data varvid grundläggande gränsskiktparametrar beräknas. Exempel på sådana parametrar är friktionshastigheten, sensibla värmeflödet, gränsskiktets höjd, Obukhovs längd och den konvektiva hastighetsskalan.

Dessa parametrar styr därefter spridningsdelen av modellen. Halter kan beräknas från en eller flera punkt-, yt- och linjekällor inom ett givet beräkningsområde. Utsläpps-data kan specificeras på ett detaljerat sätt som funktion av t.ex. tidpunkten på dygnet och/eller året, som funktion av utomhustemperaturen etc.

Modellen har tillämpats för svenska tätorter av Backström och Bringfelt (1989) och Svanberg, m.fl.(1990). Den baseras på metoder från en modell som bland annat utnyttjas för beräkning av föroreningshalter i danska tätorter (Löfström and Stenfalk, 1987).

2.2.2 Människors rörelse- och vistelsemönster Influensberäkningar

J.Szegö (1974, 1987) har visat att strukturen av en tätort kan beskrivas statistiskt med hjälp av tre begrepp, nämligen:

BT = boendetäthet

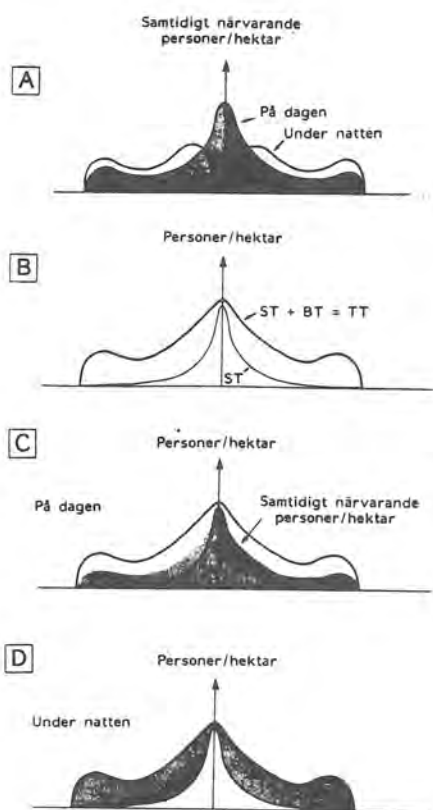
ST = sysselsättningstäthet

TT = totala befolkningstäthet

där det gäller att

$$TT = ST + BT$$

TT beskriver inte tätheten av samtidigt närvarande personer, utan sammanpackningen av personstationer dvs bostäder och arbetsplatser. Med utgångspunkt från TT kan man sedan härleda den dygnsvisa populationsdynamiken i tätorterna (se figur 1). Resultaten blir kännedom om persontäthetens fluktuationer inom tätorten under ett dygn.



Figur 1.

Befolkningens fördelning och stadens struktur i en hypotetisk cirkelrund modellstad.

A) Befolkningens fördelning på dagen och under natten.

B) Stadens struktur: arbetsplatsernas och bostädernas fördelning uttryckt i sysselsättningstäthet (ST) boendetäthet (BT) och de bådas summa (Total befolkningstäthet = TT).

C) Dag-situation: arbetsplatserna är fyllda, en del av bostäderna tomma.

D) Natt-situation: bostäder är fyllda - arbetsplatserna är avfolkade.

De tre täthetsvärdena byggs sedan in i en annan modell benämnd modellen för influensberäkningar. Denna modell behandlar en tätort del för del. För varje del beräknas den samtidigt närvarande befolkningens täthet under olika delar av ett dygn. För samma tätortsdelar beräknas den yttre influensen - t ex luftföroreningens - styrka och dess variationer under samma dygn. Influseffekten (IE) utgörs då

$$IE = I \times n$$

IE = influenseffekt

I = influensstyrka

n = antal personer som påverkas

Influensmängden (IM) är då

$$IM = IE \times t$$

t = influenseffekten varkatighet

Om IE är en variabel av tiden utgör IM tidsintegralen av IE.

Modellen för influensberäkningar utvecklades med 4 basfall som utgångspunkt ur vilka alla andra fall kunde härledas. En grafisk presentation av basfall III finns återgivet i figur 2 (influensstyrkan varierar i rummet, men ej i tiden).

Figur A och C visar här strukturen av en tänkt cirkelrund modellstad. Figur B anger influensstyrkans variationer inom densamma.

Figurema E och H återger de samtidigt närvarande personernas täthet i två valda provområden, X, Y, under ett dygn.

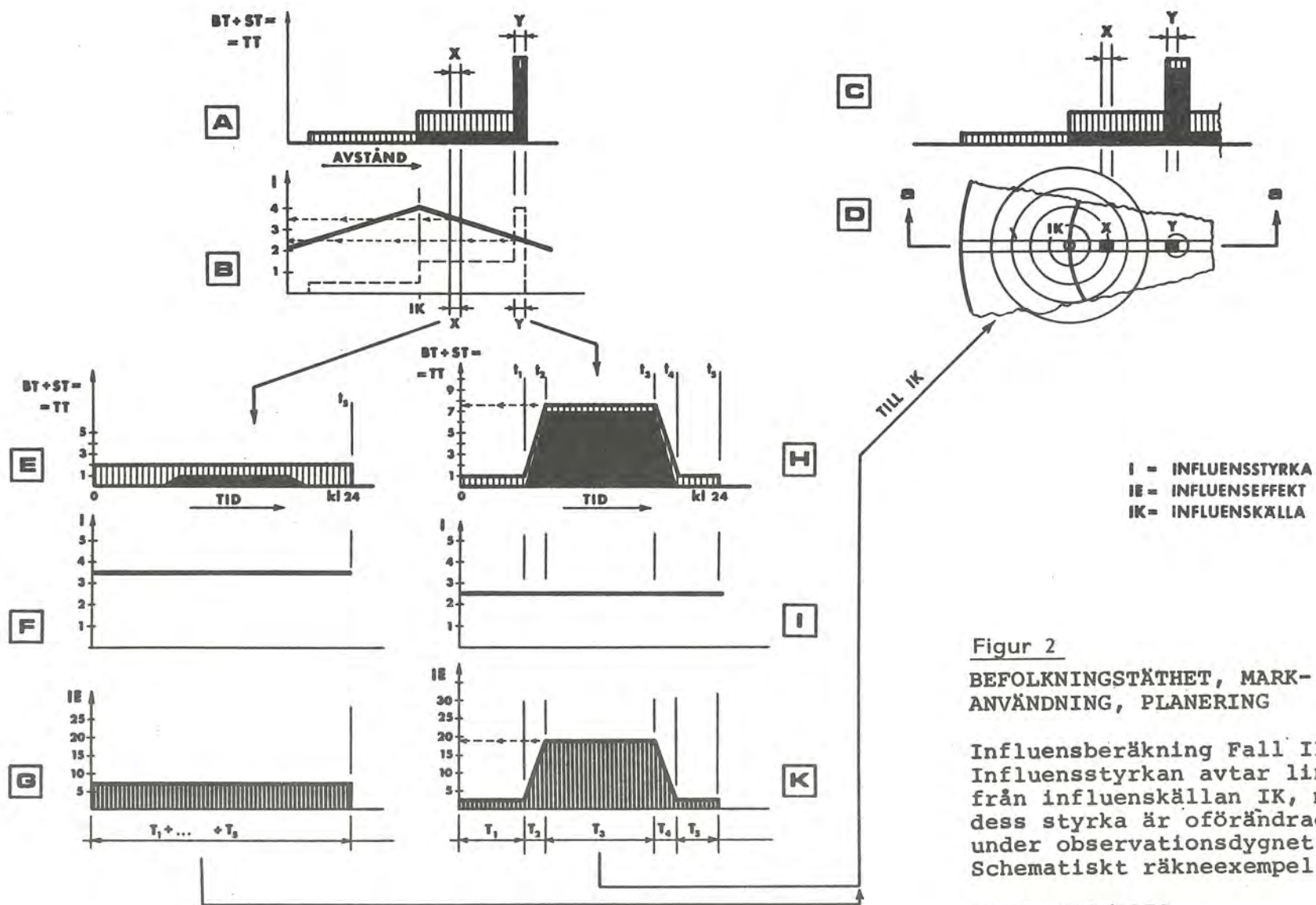
Figurema F och I anger influensstyrkans (I) variationer inom områdena X och Y under samma dygn.

Figurema G och K återger influenseffektens (IE) variationer under observationsdygnet. Diagrammens skrafferade ytor representerar influensmängden IM.

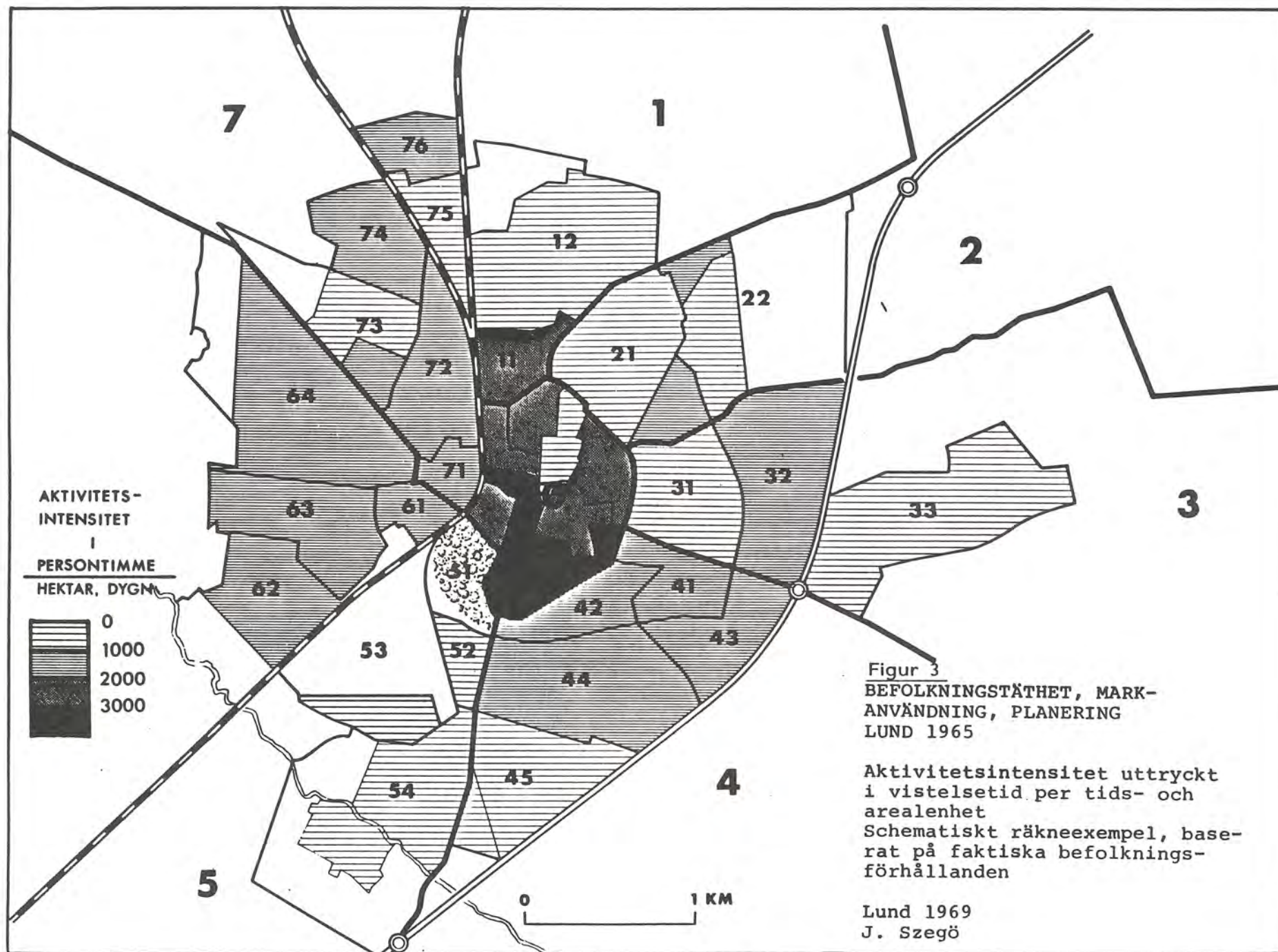
Influensberäkningsprincipen har inte förts vidare till praktisk tillämpning hittills. En förenklad tillämpning har dock visats i Szegö (1974) (se figur 3). Denna karta visar aktivitetsintensiteten, översatt till föreliggande rapports problemområde befolkningens utsatthet gentemot bl a luftföroreningar i Lunds tätort år 1965 uttryckt i personvistelsetimmar per hektar och dygn.

Kartan motsvarar således influensmängden - eller m a o exponeringen - av Lunds befolkning mot en luftförorening under ett dygn, om luftföroreningen har en konstant styrka $I = 1$ under hela observationsdygnet över hela tätorten.

Principerna och metoderna i föreliggande rapport har utarbetats oberoende av de ovan nämnda skrifterna. Tankegångarna uppvisar ändå en höggradig överensstämmelse.



Lund 1970/1972
J. Szegö



3. MODELL TILLÄMPNING

Med hjälp av modellen har detaljerade exponeringsberäkningar med avseende på NO_x utförts för Helsingborg och Örebro. NO_x har valts av Steen m.fl. (1991) som spårämne vid exponeringsberäkningar av mutagena ämnen.

Föroreningsförhållandena i Helsingborg har tidigare studerats av Backström och Bringfelt (1989). Förhållandena i Örebro har studerats av Svanberg m.fl. (1990). Utsläppsdata och meteorologiska data från dessa arbeten utnyttjas här.

3.1 Förutsättningar

Följande indata har använts vid beräkningarna:

1. Utsläppsdata

Utsläppsförhållandena i Helsingborg 1988 beskrivs med hjälp av data från Gatukontoret, Energiverket, Bolidens Kemi samt Miljö- och Hälsoskyddskontoret i Helsingborgs kommun. Totalt har ca 250 källor med variationer under dygnet, veckan, året och med temperaturen beaktats. Flertalet källor är relaterade till trafiken, 142 av dessa utgörs av trafikykällor, där det totala trafikarbetet i varje område har beräknats med hjälp av gatukontorets material. Andra viktiga källor är färjetrafiken men också linjetrafiken i Öresund.

Utsläppsförhållandena i Örebro 1989/90 beskrivs med hjälp av ca 200 ytkällor för trafiken och 17 punktkällor för industri- och fjärrvärmeanläggningar i området.

2. Meteorologiska data

Ett meteorologisk dataset för 1988 har tidigare skapats genom att utnyttja rutinmeteorologiska data från F10 Barkåkra, Köpenhamn (radiosonddata) och lokala vindmätningar i Helsingborg. Dessa meteorologiska data utnyttjas också i detta arbete.

Rutinmeteorologiska data från Västerås och radiosonddata från Bromma utnyttjas för att beskriva de meteorologiska förhållandena i Örebro.

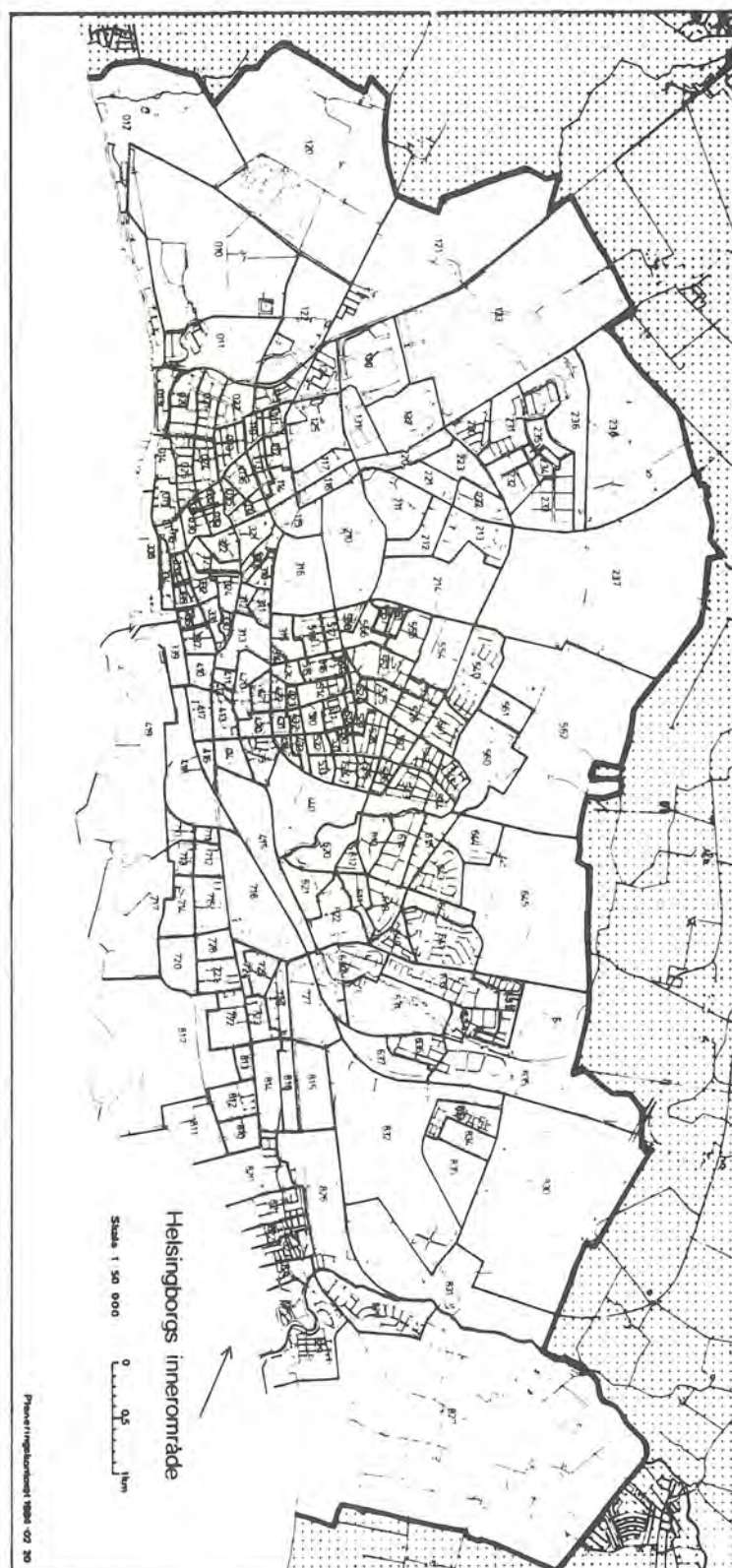
3. Bakgrundshaltsdata

För att beräkna föroreningshalterna i en tätort behövs också haltbidragen från alla källor utanför tätorten inkluderas. Detta görs genom att till beräknade halter addera uppmätta bakgrundhalter från en närliggande PMK-station. De data som här utnyttjas är uppmätta halter av NO_2 och O_3 från Lövblad och Sjöberg (1988). Bakgrundshalten av NO_x beräknas genom att antaga fotokemisk jämvikt mellan NO , NO_2 och O_3 .

4. Befolkningsdata

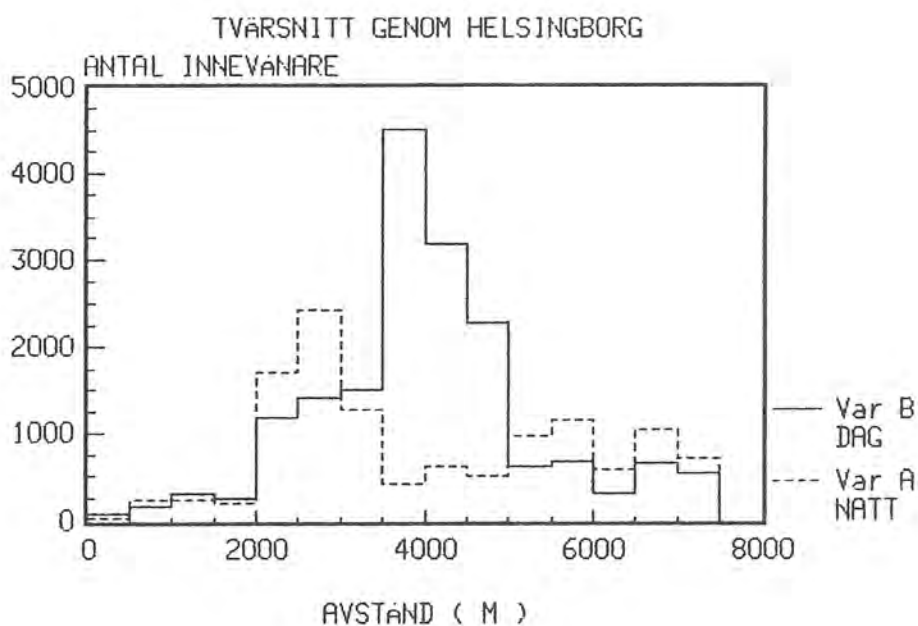
Från Helsingborgs och Örebros kommun har befolkningsstatistik för 1985 erhållits från kommunernas statistikområden. I figur 4 visas karta på Helsingborgs statistikområden. För varje område anges:

- A. Antalet förvärvsarbetande med bostad i området.
- B. Antalet förvärvsarbetande med arbetsplats i området.
- C. Samtliga boende i området.



Figur 4. Karta för Helsingborg och dess statistikområden.

Dessa data har interpolerats till de beräkningsrutnät som utnyttjats i detta arbete. I varje ruta, om $500 \cdot 500$ meter, anges dag- och nattbefolkningen. I figur 5 visas ett exempel på sådana data i ett tvärsnitt genom Helsingborg. Tvärsnittet har orienterats i nord-sydlig riktning till centrum, därefter i väst-östlig riktning. Som framgår av figuren är skillnaderna mellan dag- och nattbefolkningen betydande.



Figur 5. Dag- och nattbefolkningen i Helsingborg för ett tvärsnitt orienterat i nord-sydlig riktning till centrum, därefter i väst-östlig riktning.

3.2 Beräkningsresultat

Beräkningsresultaten visas i figurerna 6-12. I figur 6 visas beräknad exponering (ekvation 8), uttryckt i gram persontimmar/m³ för Helsingborg. Av figuren framgår att den största exponeringen erhålls i centrala delar av Helsingborg. Orsaken är samtidigt höga halter och många människor. I figurerna 7 och 8 visas beräknade dagmedelhalter och nattmedelhalter av NO_x(µg/m³) för Helsingborg. Under dagen är halterna i genomsnitt högre än under natten. I figur 9 visas beräknade medelhalter av NO_x(µg/m³) i ett tvärsnitt genom Helsingborg. Tvärsnittet är orienterat på samma sätt som det i figur 5.

I figurerna 10-12 visas beräkningsresultat för Örebro. I figur 10 visas beräknad exponering, uttryckt i gram persontimmar/m³. I figurerna 11 och 12 visas beräknade medelhalter under dagtid respektive nattetid av NO_x(µg/m³). De högsta halterna erhålls nära fjärrvärmeverket i Örebro, se figur 11. Den största exponeringen inträffar dock centralt i Örebro, se figur 10.

Beräkningsresultaten kan jämföras med uppmätta föroreningshalter i området. Opsis AB har med DOAS-teknik mätt NO₂-halter längs två mätsträckor nära Bolidens anläggningar i södra Helsingborg. IVL har utfört NO₂-mätningar centralt i Helsingborg och Örebro med punktmätande instrument. Dessa mätdata tillsammans med beräkningsresultaten visas i tabell 1. Beräkningsresultaten avser NO_x-halter, varför en direkt jämförelse inte kan göras. Kvoten mellan NO₂ och NO_x beror på ett komplicerat sätt på olika kemiska och fysikaliska processer. Avståndet till utsläppskällan är viktig. Kvoten kan variera mellan 0.2 nära en källa till 0.9 på stora avstånd från en källa (Simpson, et.al, 1990).

Helsingborg

Opsis, NO ₂ (µg/m ³)	Beräknat NO _x (µg/m ³)
---	---

mätsträcka 1	26.3	26.3
mätsträcka 2	32.4	60.2

IVL, NO₂ (µg/m³)

Kullagatan	29.4	113.
------------	------	------

Örebro

IVL, NO₂ (µg/m³)

Centrum	23.1	60.
---------	------	-----

Tabell 1. Uppmätta NO₂-halter jämfört med beräknade NO_x-halter i Helsingborg och Örebro för vinterhalvårsmedelvärden.

Modellen kan också utnyttjas för att beräkna exponeringen för halter ovanför ett givet tröskelhaltsvärde (ekvation 10) och antalet persontimmar då halten varit ovanför detta värde (ekvation 11). Sådana beräkningar kan vara av speciellt intresse vid jämförelse med riktvärden för luftkvalitet. Riktvärden formuleras ofta som att ett givet haltvärde ej bör överskridas mer än ett visst antal timmar under en längre tidsperiod. Den medicinska bedömningen för t.ex. kvävedioxid är att timmedelvärdet $190 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ej bör överskridas mer än 12 timmar per år. (SNV, 1990). Med hjälp av modellen kan antalet timmar då ett givet tröskelhaltsvärde överskridits beräknas, se tabell 2, och antalet persontimmar tröskelhaltsvärdet överskridits, se tabell 3. Tröskelhaltsvärdet har här valts för NO_x till $380 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Om vi antar att i genomsnitt 50 % av NO_x -halterna föreligger som NO_2 i beräkningsområdet medför det att tabellerna 2 och 3 direkt kan jämföras med SNV:s riktvärde för kvävedioxid. För Helsingborgs del betyder detta antagande att kvävedioxidhalten $190 \mu\text{g}/\text{m}^3$ beräknas överskridas 1.7 miljoner persontimmar under vinterhalvåret 1988. Motsvarande värde för Örebro för vinterhalvåret 1989/90 är 0.9 miljoner persontimmar.

3.3 Jämförelse med förenklade beräkningsmetoder

Låt oss jämföra exponeringsmodellens resultat med exponeringsuppskattningar från förenklade beräkningsmetoder.

Den rums- och tidsintegrerade exponeringen kan enligt ekvation (7) skrivas på följande sätt:

$$E_{a,t} = A \cdot T (\overline{[c]} \cdot \overline{[p]} + \overline{[c]'} \cdot \overline{[p]'} + \overline{[c''] \cdot [p'']})$$

(1) (2) (3)

Med hjälp av exponeringsmodellen har dessa termer beräknats. För Helsingborgs del beräknas term (1) till 68 %, term (2) beräknas vara försumbar och term (3) till 32 % av den rums- och tidsintegrerade exponeringen, $E_{a,t}$. Motsvarande värden för Örebro är för term (1) 65 %, term (2) också försumbar och term (3) 35 %.

Om exponeringsuppskattningen därför görs förenklat, genom följande approximation:

$$E \cong \overline{[c]} \cdot \overline{[p]} \cdot A \cdot T$$

kommer exponeringen underskattas, för Helsingborgs del med ca 32 % och för Örebros del med cirka 35 %, jämfört med detaljerade modellberäkningar. Orsaken till detta är att förenklade beräkningar ej tar hänsyn till den positiva korrelation som finns mellan föroreningshalter och människors rörelse- och vistelsemönster.

I det så kallade Urban-projektet (Svanberg m.fl., 1990) utförts mätningar av svavel-dioxid, kvävedioxid och sot i många svenska tätorter. Mätningarna utförs på snarlika sätt under vinterhalvår i anslutning till öppna bilfria platser och gågator i tätorternas centrala delar. Ett omfattande mätdata material finns således att tillgå för bedömningar av luftkvaliteten i svenska tätorter. Låt $\overline{c_c}$ beteckna tidsmedelvärdet (vinterhalvår) av en föroreningshalt uppmätt centralt i en tätort. Med hjälp av de detaljerade beräkningarna som presenterats ovan kan vi bestämma följande faktor:

$$K = \frac{E_{a,t}}{c_c \cdot [\overline{p}] \cdot A \cdot T} \quad (12)$$

För Helsingborg och Örebro beräknas denna faktor vara 0.43 respektive 0.61. Denna faktor har utnyttjats av Steen m.fl. (1991) för att med utgångspunkt från Urban-projektets mätdata bestämma exponeringen av mutagena ämnen för den svenska befolkningen.

4. SAMMANFATTNING OCH SLUTSATSER

Människors exponering för luftföroreningar beror på ett komplicerat sätt av föroreningshalters variationer i tid och rum liksom av människors rörelse- och vistelse-mönster. För att på ett rimligt sätt ta hänsyn till detta samspel har en modell för exponeringsberäkningar i tätorter formulerats. Modellen består av två delar. I den första delen beräknas föroreningshalters variation i tid och rum med hjälp av en modern spridningsmeteorologisk modell (Omstedt, 1988, Robertsson, 1989). Indata är rutinmeteorologiska data, utsläppsdata och bakgrundshaltsdata. Denna del av modellen har tidigare utnyttjats för beräkningar av föroreningshalter i svenska tätorter (Backström och Bringfelt, 1989, Svanberg m.fl., 1990). Modellen baseras på metoder från en modell, som bland annat utnyttjats för beräkningar av föroreningshalter i danska tätorter (Löfström and Stenfalk, 1987).

Den andra delen av exponeringsmodellen beskriver populationsdynamiken i en tätort med hjälp av statistiska data över boendetäthet, sysselsättningstäthet och total befolkningstäthet i enlighet med Szegö (1974, 1987).

Modellen illustreras med hjälp av två beräkningsfall, Helsingborg och Örebro. De beräknade halterna av NO_x jämförs med uppmätta NO₂-halter. Kartor visar hur exponeringen varierar i rummet. Tabeller visar hur många persontimmar som föroreningshalter överskridit vissa kritiska värden.

Beräkningsresultaten jämförs med förenklade exponeringsuppskattningar. Vid denna jämförelse framgår att:

- förenklade beräkningar, som utnyttjar rums- och tidsmedelvärdesbildade halter underskattar exponeringen jämfört med detaljerade modellberäkningar. Orsaken är att sådana förenklade beräkningar inte tar hänsyn till att det finns en positiv korrelation mellan föroreningshalter och människors rörelse- och vistelsemönster.
- förenklade exponeringsberäkningar, som utnyttjar haltdata i centrala delar av en tätort, kan fås att överensstämma med detaljerade beräkningar om de förenklade beräkningarna multipliceras med en faktor. Denna faktor uppskattas till 0.43 för Helsingborg och till 0.61 för Örebro.

5. REFERENSER

Backström, H. och Bringfelt, B., 1989. Spridningsberäkningar och analys av mätdata för luftföroreningar i Helsingborg 1986-88. SMHI-rapport.

Boström, C.E., 1982. Luftföroreningar, dosberäkningar för vissa utvalda carcinogena ämnen. SNV.

Folk- och bostadsräkningen 1980. Del 2:3. Statistiska centralbyrån.

Laurin, S., 1984. Population exposure to SO₂ and NO_x from different sources in Stockholm. SMHI-rapport, RMK 44.

Löfström, P.J. and Stenfalk, L., 1987. SO₂ calculations in several Danish cities. Environmental Meteorologi, Kluwer Academic Publishers.

Lövblad, G. och Sjöberg, K., 1989. Atmosfärskemisk övervakning vid IVL:s PMK-stationer. SNV-rapport, 3465.

Omstedt, G. 1988. An operational air pollution model, SMHI-report, RMK-nr 57.

Palmén, E. and Newton, C., W., 1969. Atmospheric Circulation systems. Academic Press (sid 12).

Robertson, L. och Wern, L., 1989. System för luftkvalitetsstudier vid flygplatser. SMHI-rapport.

Statens Naturvårdsverk, 1990. Riktvärden för luftkvalitet i tätorter. Allmänna råd 90:9.

Steen, B. och Omstedt, G., 1989. Olika trafikflödens belastning på luftmiljön. Rapport nr 12, Miljöprojekt Göteborg.

Steen, B., Boström, C.E. och Omstedt, G., 1991. Populationsexponering i Sverige av mutagena ämnen (pågående arbete).

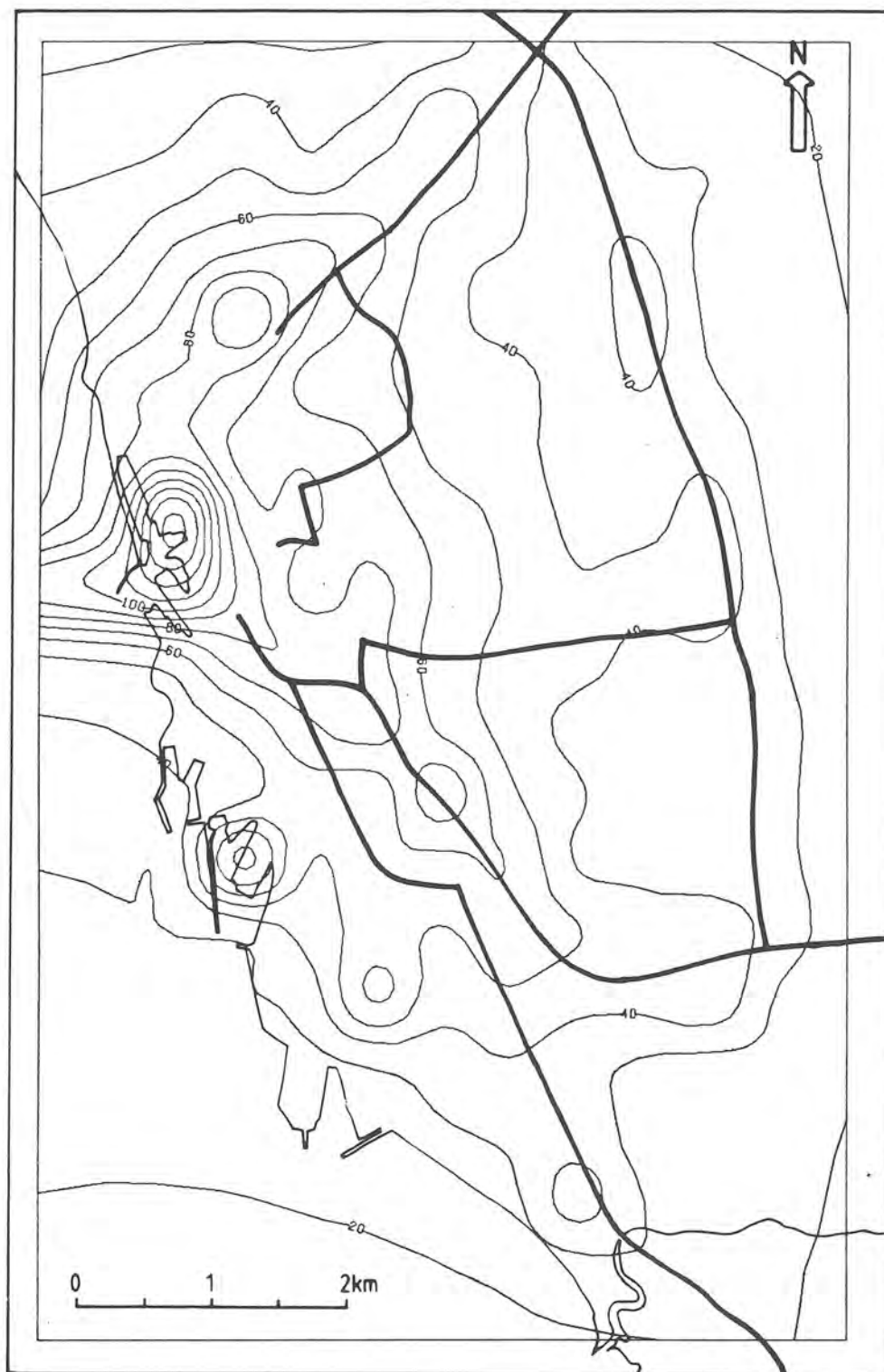
Sundberg, P.A., m.fl., 1990. Halter av svaveldioxid, sot och kvävedioxid i svenska tätorter vintern 1989.1990. IVL-rapport, L90/258.

Szegö, J., 1974. Befolkningstäthet, markanvändning, planering. Total befolknings-täthet som centralt element i en modell för beskrivning, analys och planering av städers aktivitetsmönster. Meddelande från Lunds Universitets Geografiska Institution. Avhandlingar nr 73, vol 1-2.

Szegö, J., 1987. Användning av GIS för konsekvensanalys i samhällsplanering. Svensk lantmäteritidskrift 4-5.



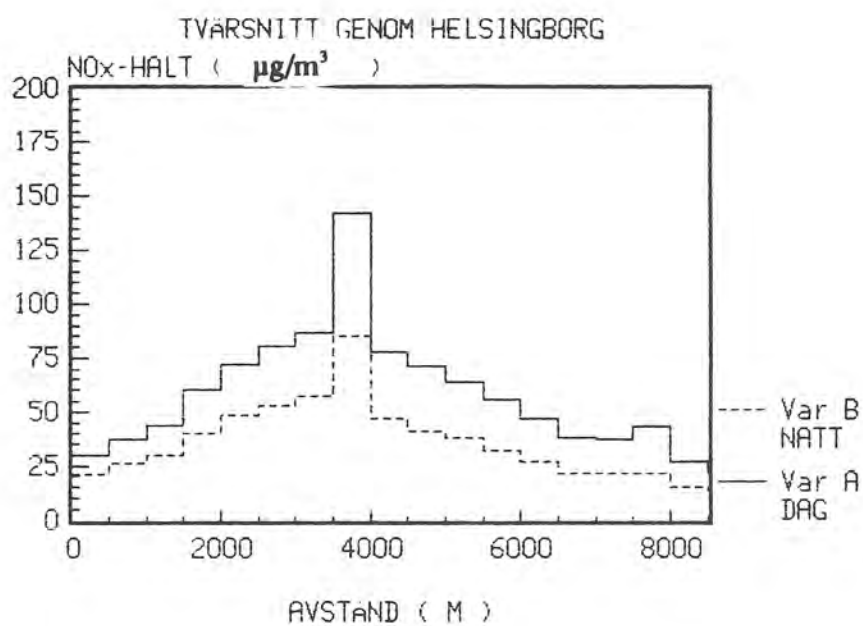
Figur 6. Beräknad exponering (gram persontimmar/m³) för Helsingborg under ett vinterhalvår.



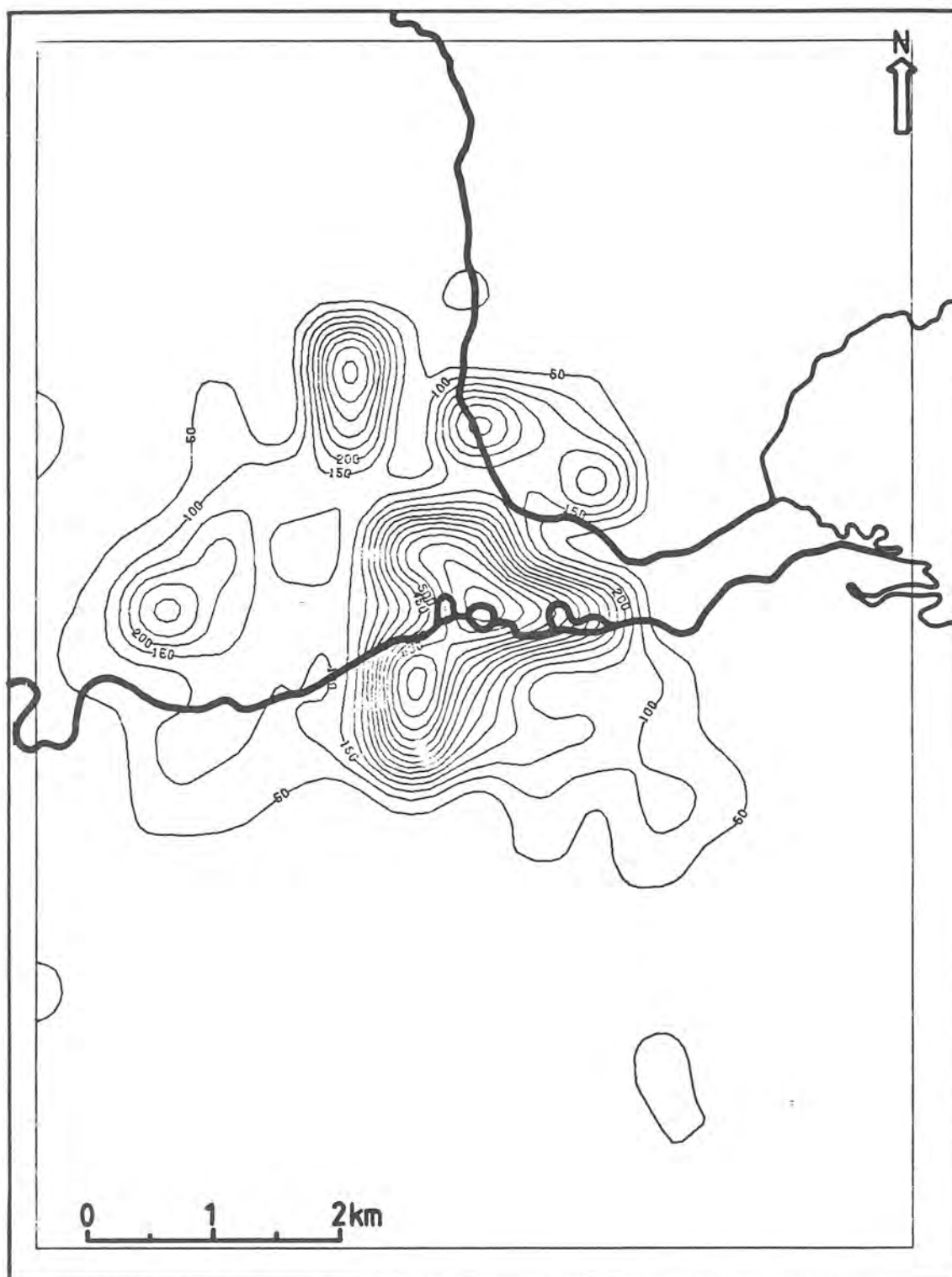
Figur 7. Beräknade dagmedelhalter av NO_x (µg/m³) för Helsingborg under vinterhalvåret 1988.



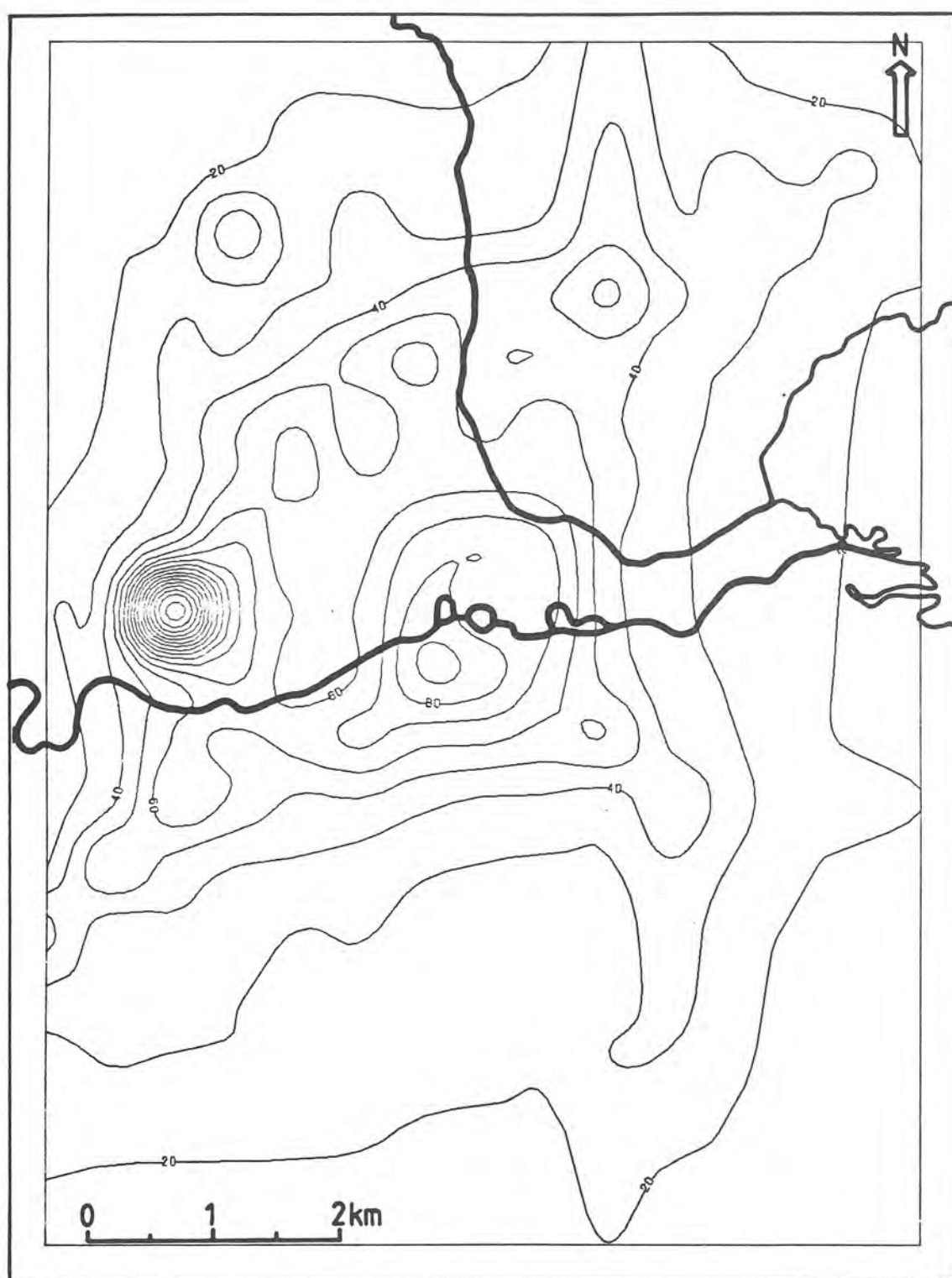
Figur 8. Beräknade nattmedelhalter av NO_x (µg/m³) för Helsingborg under vinterhalvåret 1988.



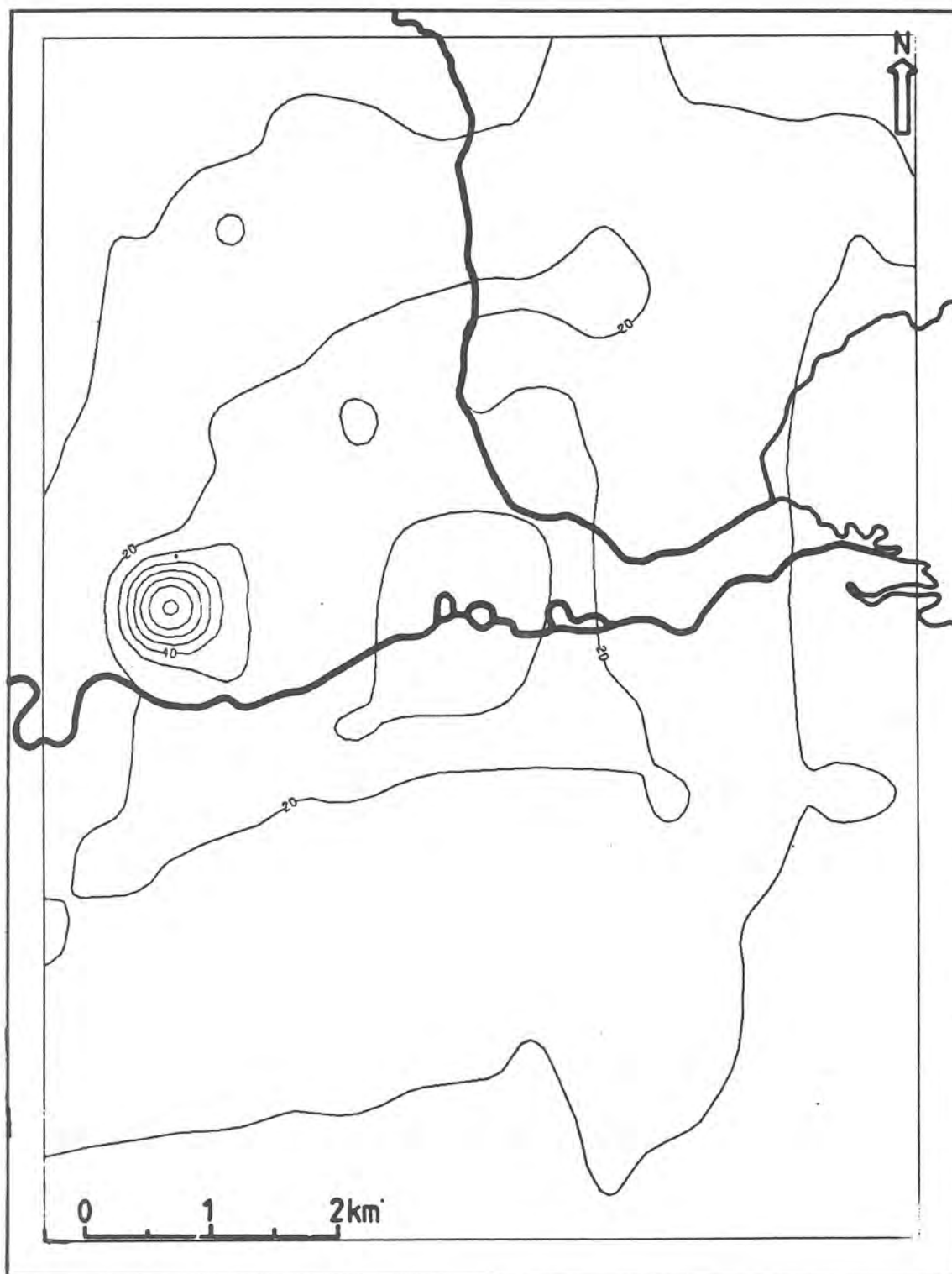
Figur 9. Beräknade dagmedel- och nattmedelhalter av NO_x($\mu\text{g}/\text{m}^3$) i Helsingborg i ett tvärsnitt orienterat i nord-sydlig riktning till centrum, därefter i väst-östlig riktning.



Figur 10. Beräknad exponering (gram persontimmar/m³) för Örebro under ett vinterhalvår.



Figur 11. Beräknade dagmedelhalter av NO_x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) för Örebro under vinterhalvåret 1989/90.



Figur 12. Beräknade nattmedelhalter av NO_x(µg/m³) för Örebro under vinterhalvåret 1989/90.

VINTERHALVÅR : 88													
HELSINGBORG													
ANTAL TIMMAR ÖVERSTIGANDE TRÖSKELVÄRDET: 380.0													
9750. l	0.	0.	2.	3.	1.	2.	4.	15.	5.	1.	0.	0.	0.
9250. l	1.	2.	4.	9.	5.	6.	22.	9.	2.	1.	1.	0.	0.
8750. l	3.	7.	11.	21.	10.	19.	13.	7.	1.	4.	4.	1.	0.
8250. l	5.	13.	24.	34.	40.	22.	8.	5.	3.	5.	2.	1.	0.
7750. l	8.	17.	33.	60.	29.	9.	5.	4.	1.	1.	2.	1.	0.
7250. l	7.	28.	40.	25.	11.	5.	5.	3.	3.	1.	2.	1.	1.
6750. l	5.	29.	38.	12.	23.	15.	6.	4.	2.	1.	8.	1.	1.
6250. l	6.	26.	67.	27.	17.	18.	13.	11.	5.	1.	6.	1.	1.
5750. l	49.	46.	74.	48.	21.	29.	23.	16.	6.	5.	5.	6.	1.
5250. l	11.	10.	7.	24.	33.	29.	18.	12.	9.	5.	3.	5.	1.
4750. l	1.	0.	1.	5.	22.	28.	15.	10.	3.	2.	1.	5.	0.
4250. l	0.	0.	0.	1.	8.	6.	34.	11.	6.	2.	2.	6.	0.
3750. l	0.	0.	0.	62.	1.	9.	8.	26.	6.	3.	2.	6.	1.
3250. l	0.	0.	0.	0.	0.	4.	6.	11.	14.	6.	4.	9.	2.
2750. l	0.	0.	0.	0.	0.	6.	3.	7.	10.	12.	13.	6.	1.
2250. l	0.	0.	0.	0.	0.	0.	2.	2.	4.	3.	3.	3.	0.
1750. l	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	1.	4.	2.	0.	1.	0.
1250. l	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	5.	3.	0.	0.	0.
750. l	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	2.	2.	0.	0.
250. l	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	1.	0.
(m)	250.	750.	1250.	1750.	2250.	2750.	3250.	3750.	4250.	4750.	5250.	5750.	6250.

MAX VÄRDE : 74.
X-KOORDINAT: 1250.
Y-KOORDINAT: 5750.

Tabell 2. Antal timmar som beräknats överskrida tröskelvärde 380 µg/m³ för Helsingborg.

VINTERHALVÅR:88													
HELSINGBORG													
ANTAL PERSONTIMMAR ÖVERSTIGANDE TRÖSKELVÄRDET 380.0													
9750. l	0.	0.	160.	75.	40.	1500.	3000.	5380.	0.	20.	0.	0.	0.
9250. l	60.	10.	780.	2405.	3300.	4800.	15442.	2729.	26.	71.	53.	0.	0.
8750. l	440.	400.	4122.	10833.	7000.	2520.	8343.	5807.	737.	355.	264.	0.	0.
8250. l	835.	4130.	6697.	8585.	28100.	24055.	6812.	3315.	1245.	45.	50.	5.	0.
7750. l	0.	14932.	42838.	112053.	16867.	4184.	4380.	2400.	20.	0.	0.	0.	0.
7250. l	0.	38996.	65983.	51682.	2365.	700.	168.	270.	0.	5.	20.	0.	0.
6750. l	0.	14850.	57285.	22399.	4828.	5910.	7410.	4060.	436.	70.	160.	13.	0.
6250. l	0.	250.	278792.	83932.	43225.	12200.	9380.	3432.	3984.	545.	0.	0.	0.
5750. l	0.	0.	27625.	106934.	64926.	60192.	16318.	6103.	2208.	600.	25.	120.	0.
5250. l	0.	0.	900.	27243.	56458.	21723.	3340.	1976.	2133.	930.	0.	0.	0.
4750. l	0.	0.	10.	5400.	22000.	23100.	7755.	2730.	1612.	280.	0.	0.	0.
4250. l	0.	0.	0.	65.	10120.	3480.	13176.	11544.	1728.	380.	128.	0.	0.
3750. l	0.	0.	0.	12210.	1464.	4446.	3834.	9464.	2130.	1216.	742.	0.	0.
3250. l	0.	0.	0.	0.	0.	2060.	4440.	5200.	3360.	2136.	548.	0.	0.
2750. l	0.	0.	0.	0.	0.	3129.	2586.	5571.	270.	120.	5278.	2676.	270.
2250. l	0.	0.	0.	0.	0.	0.	626.	1950.	2200.	0.	1365.	999.	0.
1750. l	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	349.	2400.	594.	0.	50.	0.
1250. l	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	4085.	975.	13.	0.	0.
750. l	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	200.	258.	50.	0.
250. l	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
(m)	250.	750.	1250.	1750.	2250.	2750.	3250.	3750.	4250.	4750.	5250.	5750.	6250.

TOTALA ANTALET
PERSONTIMMAR : 1668091

Tabell 3. Antal persontimmar som beräknats överskrida tröskelvärde 380 µg/m³ för Helsingborg.

- Nr 1 Thompson, T, Udin, I, and Omstedt, A
Sea surface temperatures in waters surrounding Sweden
Stockholm 1974
- Nr 2 Bodin, S
Development on an unsteady atmospheric boundary layer model.
Stockholm 1974
- Nr 3 Moen, L
A multi-level quasi-geostrophic model for short range weather
predictions
Norrköping 1975
- Nr 4 Holmström, I
Optimization of atmospheric models
Norrköping 1976
- Nr 5 Collins, W G
A parameterization model for calculation of vertical fluxes
of momentum due to terrain induced gravity waves
Norrköping 1976
- Nr 6 Nyberg, A
On transport of sulphur over the North Atlantic
Norrköping 1976
- Nr 7 Lundqvist, J-E, and Udin, I
Ice accretion on ships with special emphasis on Baltic
conditions
Norrköping 1977
- Nr 8 Eriksson, B
Den dagliga och årliga variationen av temperatur, fuktighet
och vindhastighet vid några orter i Sverige
Norrköping 1977
- Nr 9 Holmström, I, and Stokes, J
Statistical forecasting of sea level changes in the Baltic
Norrköping 1978
- Nr 10 Omstedt, A, and Sahlberg, J
Some results from a joint Swedish-Finnish sea ice experi-
ment, March, 1977
Norrköping 1978
- Nr 11 Haag, T
Byggnadsindustrins väderberoende, seminarieuppsats i före-
tagsekonomi, B-nivå
Norrköping 1978
- Nr 12 Eriksson, B
Vegetationsperioden i Sverige beräknad från temperatur-
observationer
Norrköping 1978
- Nr 13 Bodin, S
En numerisk prognosmodell för det atmosfäriska gränsskiktet
grundad på den turbulenta energiekvationen
Norrköping 1979
- Nr 14 Eriksson, B
Temperaturfluktuationer under senaste 100 åren
Norrköping 1979
- Nr 15 Udin, I, och Mattisson, I
Havsis- och snöinformation ur datorbearbetade satellitdata
- en modellstudie
Norrköping 1979
- Nr 16 Eriksson, B
Statistisk analys av nederbördsdata. Del I. Arealnederbörd
Norrköping 1979
- Nr 17 Eriksson, B
Statistisk analys av nederbördsdata. Del II. Frekvensanalys
av månadsnederbörd
Norrköping 1980
- Nr 18 Eriksson, B
Årsmedelvärden (1931-60) av nederbörd, avdunstning och
avvinning
Norrköping 1980
- Nr 19 Omstedt, A
A sensitivity analysis of steady, free floating ice
Norrköping 1980
- Nr 20 Persson, C och Omstedt, G
En modell för beräkning av luftföroreningars spridning och
deposition på mesoskala
Norrköping 1980
- Nr 21 Jansson, D
Studier av temperaturinversioner och vertikal vindskjuvning
vid Sundsvall-Härnösands flygplats
Norrköping 1980
- Nr 22 Sahlberg, J och Törnevik, H
A study of large scale cooling in the Bay of Bothnia
Norrköping 1980
- Nr 23 Ericson, K and Hårsmar, P-O
Boundary layer measurements at Klockrike. Oct. 1977
Norrköping 1980
- Nr 24 Bringfelt, B
A comparison of forest evapotranspiration determined by some
independent methods
Norrköping 1980
- Nr 25 Bodin, S and Fredriksson, U
Uncertainty in wind forecasting for wind power networks
Norrköping 1980
- Nr 26 Eriksson, B
Graddagsstatistik för Sverige
Norrköping 1980
- Nr 27 Eriksson, B
Statistisk analys av nederbördsdata. Del III. 200-åriga
nederbördsrekorder
Norrköping 1981
- Nr 28 Eriksson, B
Den "potentiella" evapotranspirationen i Sverige
Norrköping 1981
- Nr 29 Pershagen, H
Maximienödjup i Sverige (perioden 1905-70)
Norrköping 1981
- Nr 30 Lönnqvist, O
Nederbördsstatistik med praktiska tillämpningar
(Precipitation statistics with practical applications)
Norrköping 1981
- Nr 31 Melgarejo, J W
Similarity theory and resistance laws for the atmospheric
boundary layer
Norrköping 1981
- Nr 32 Liljas, E
Analys av moln och nederbörd genom automatisk klassning av
AVHRR data
Norrköping 1981
- Nr 33 Ericson, K
Atmospheric Boundary layer Field Experiment in Sweden 1980,
GOTEX II, part I
Norrköping 1982
- Nr 34 Schoeffler, P
Dispersion, dispersion and stability of numerical schemes
for advection and diffusion
Norrköping 1982
- Nr 35 Undén, P
The Swedish Limited Area Model (LAM). Part A. Formulation
Norrköping 1982
- Nr 36 Bringfelt, B
A forest evapotranspiration model using synoptic data
Norrköping 1982
- Nr 37 Omstedt, G
Spridning av luftförorening från skorsten i konvektiva
gränsskikt
Norrköping 1982
- Nr 38 Törnevik, H
An aerobiological model for operational forecasts of pollen
concentration in the air
Norrköping 1982
- Nr 39 Eriksson, B
Data rörande Sveriges temperaturklimat
Norrköping 1982
- Nr 40 Omstedt, G
An operational air pollution model using routine meteorologi-
cal data
Norrköping 1984
- Nr 41 Persson, Christer, and Funkquist, Lennart
Local scale plume model for nitrogen oxides.
Model description.
Norrköping 1984
- Nr 42 Gollvik, Stefan
Estimation of orographic precipitation by dynamical
interpretation of synoptic model data.
Norrköping 1984
- Nr 43 Lönnqvist, Olov
Congression - A fast regression technique with a great number
of functions of all predictors.
Norrköping 1984
- Nr 44 Laurin, Sten
Population exposure to SO₂ and NO_x from different sources in
Stockholm.
Norrköping 1984
- Nr 45 Svensson, Jan
Remote sensing of atmospheric temperature profiles by TIROS
Operational Vertical Sounder.
Norrköping 1985
- Nr 46 Eriksson, Bertil
Nederbörda- och humiditetsklimat i Sverige under vegetations-
perioden.
Norrköping 1986
- Nr 47 Taesler, Roger
Köldperioder av olika längd och förekomst.
Norrköping 1986
- Nr 48 Wu Zengmao
Numerical study of lake-land breeze over Lake Vättern,
Sweden.
Norrköping 1986
- Nr 49 Wu Zengmao
Numerical analysis of initialization procedure in a two-
dimensional lake breeze model.
Norrköping 1986
- Nr 50 Persson, Christer
Local scale plume model for nitrogen oxides. Verification.
Norrköping 1986
- Nr 51 Melgarejo, José W.
An analytical model of the boundary layer above sloping
terrain with an application to observations in Antarctica
Norrköping 1986
- Nr 52 Bringfelt, Björn
Test of a forest evapotranspiration model
Norrköping 1986
- Nr 53 Josefsson, Weine
Solar ultraviolet radiation in Sweden
Norrköping 1986
- Nr 54 Dahlström, Bengt
Determination of areal precipitation for the Baltic Sea
Norrköping 1986
- Nr 55 Persson, Christer (SMHI), Rodhe, Henning (MISU), De Geer,
Lars-Erik (FOA)
The Chernobyl accident - A meteorological analysis of how
radionuclides reached Sweden
Norrköping 1986
- Nr 56 Persson, Christer, Robertsson, Lennart (SMHI), Grennfelt,
Feringe, Kindbom, Karin, Löfblad, Gun, och Svanberg, Per-
Arne (IVL)
Luftföroreningsepisoden över södra Sverige 2 - 4 februari
1987
Norrköping 1987
- Nr 57 Omstedt, Gunnar
An operational air pollution model
Norrköping 1988
- Nr 58 Alexandersson, Hans, Eriksson, Bertil
Climate fluctuations in Sweden 1860 - 1987
Norrköping 1989
- Nr 59 Eriksson, Bertil
Snödjupsförhållanden i Sverige - Säsongserna 1950/51 -
1979/80
Norrköping 1989
- Nr 60 Omstedt, Gunnar, Szegö, Janos
Människors exponering för luftföroreningar
Norrköping 1990
- Nr 61 Mueller, Lars, Robertsson, Lennart, Andersson, Erik,
Gustafsson, Nils
Meso-γ scale objective analysis of near surface tempera-
ture, humidity and wind, and its application in air pollu-
tion modelling
(Åven serie Promis) Norrköping 1990



Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
601 76 Norrköping. Tel 011-15 80 00. Telex 64400 smhi s.