Examensarbete
TVVR 08/5008

Användbarheten av programverktyget SADA ur ett hydrogeologiskt perspektiv

- Med applikation på Helsingborgs hamn

Anneli Palm

Division of Water Resources Engineering
Department of Building and Environmental Technology
Lund University

Avdelningen för Teknisk Vattenresurslära
ISRN LUTVDG/TVVR-08/5008+nnp
ISSN-1101-9824

Användbarheten av programverktyget SADA ur ett hydrogeolgiskt perspektiv

-Med applikation på Helsingborgs hamn

Anneli Palm

Titel:
Användbarheten av programverktyget SADA ur ett hydrogeologiskt perspektiv -Med applikation på Helsingborgs hamn

Författare:
Anneli Palm

Handledare:
Ronny Berndtsson, Professor, Teknisk Vattenresurslära, Lunds Tekniska Högskola
Anders Jönsson, Fil Dr Biogeokemi, Tyréns AB, Stockholm
Mats Svensson, Tekn Dr Geoteknik/Geofysik, Tyréns AB, Helsingborg
Sofia Wäborg, Civ Ing Ekosystemteknik, Tyréns AB, Malmö

Sammanfattning

När ett förorenat område ska undersökas och utvärderas kan en visuell bild över föroreningens utbredning vara till stor hjälp. Denna bild beräknas utifrån en mängd data till exempel i form av en viss förorenings koncentrationsnivå i marken i ett antal undersökningspunkter. För att utföra beräkningen används en interpoleringsmetod som beräknar, beroende på metod, hur området runt de kända undersökningspunkterna ser ut. Vikten av att denna beräkning är tillförlitlig är stor.

Det finns flera program att använda då man vill utföra interpolering och SADA (Spatial Analysis and Decision Assistance) är ett av dem. Detta program är utvecklat på The University of Tennessee i Knoxville på The Institute for Environmental Modeling. Programmet finansieras av the United States Environmental Protection Agency (USAs Naturvårdsverk) och The United States Nuclear Regulatory Commission. Programmet, som idag är gratis, innehåller bland annat funktioner för att visualisera och genomföra geostatistiska analyser och mänsklig och ekologisk riskutvärdering av miljöförhållandena inom ett område. I SADA finns flera interpoleringsmetoder att välja på och de tre interpoleringsmetoder som använts i föreliggande examensarbete är Nearest Neighbor, Inverse Distance och Ordinary Kriging. Den först nämnda av metoderna, Nearest Neighbor ger väldigt grova resultat i sin beräkning och lämpar sig bara för en snabb överblick av situationen. De två övriga metoderna är mer avancerade och ger desto bättre resultat.

Som utgångspunkt för min undersökning har jag använt prover tagna i Helsingborgs hamnområde. Proverna var tagna under en sjuårsperiod i flera olika undersökningar och var ojämnt fördelade på en område 500x1500 m stort. Detta material lämpade sig väl för att undersöka hur SADAs olika metoder fungerade, framförallt kring vad de hade för för- och nackdelar vid användandet av denna typ av data.

Av de två metoderna Ordinary Kriging och Inverse Distance är den först nämnda mest avancerade och har dessutom ett verktyg för verifiering av riktigheten i interpoleringen och borde därför, rent teoretiskt, leda fram till det resultat som bäst överensstämmer med verkligheten. Dock visar det sig att under vissa förutsättningar kan Inverse Distance ge likvärdiga resultat fast med mycket mindre arbetsinsatts.

I Ordinary Kriging metoden tas en verifiering av resultatet fram i form av en varianskarta. Denna varianskarta säga berätta hur bra interpoleringen blev men i själva verket visar den bara spridningen på resultatet. SADA erbjuder däremot en annan metod som kallas korsvalidering där användaren får reda på hur bra interpoleringen blivit i varje punkt genom att i tur och ordning ta bort en provpunkt, genomföra interpoleringen igen och jämföra det nya resultatet med den borttagna punktens värde. Genom denna metod kan de olika interpoleringsmetodernas resultat jämföras.

Min undersökning visar att den mer avancerade metoden, Ordinary Kriging, inte alltid ger bäst resultat utan att enklare metoder, så som Inverse Distance, kan vara lika bra, om inte bättre. Så är exempelvis fallet då de prover som ska analyseras inte tagits över ett tillräckligt stort område, eller då spridningen mellan dem inte är jämn. Metoden har även den stora fördelen att dess användande tar betydligt kortare tid.

Nyckelord:
SADA (Spatial Analysis and Decision Assistance), interpolering, Nearest Neighbor, Inverse Distance, Ordinary Kriging, variogram, korsvalidering, Helsingborgs hamn, oljeförorening.

Foto: Helsingborg Hamn AB

Lund 2008

Innehållsförteckning

1. Inledning 5
2. Syfte 6
3. Avgränsningar 7
4. Ämnen 8
   4.1 Alifater och aromater 8
   4.2 Gruppindelning 8
   4.3 Petroleumprodukter 9
      4.3.1 Bensin 9
      4.3.2 Flygfotogen 9
      4.3.3 Diesel och eldningsolja 9
5. Beskrivning av SADA 10
   5.1 Geostatistik 11
   5.2 Anisotropi 11
6. Analyser och Metodik 12
   6.1 Datamängder 12
   6.2 Visualisering, modellering och analyser 13
      6.2.1 Set up the site 13
      6.2.2 Set GIS overlays 16
      6.2.3 Grid specs 16
      6.2.4 Search neighborhood 17
   6.3 Interpolering 17
      6.3.1 Nearest Neighbor 17
      6.3.2 Inverse Distance 18
      6.3.3 Ordinary Kriging 18
      6.3.4 Säkerhet i resultat 26
7 Resultat 28
   7.1 Grundinställningar 28
      7.1.1 Grid 28
      7.1.2 Vertical Layers 29
      7.1.3 Search Neighborhood 30
      7.1.4 Polygoner 33
   7.2 Interpoleringsmetoder 34
      7.2.1 Nearest Neighbor 34
      7.2.2 Inverse Distance 35
      7.2.3 Ordinary Kriging 36
8. Validering av resultat 39
   8.1 Variance map 40
   8.2 Cross validation 45
   8.3 J&W 47
9 Tillämpning 48
   9.1 Riktvärden och platsspecifika riktvärden 48
   9.2 Jämförelse med Riktvärden 49
      9.2.1 Överskrider riktvärdet 49
      9.2.2 Överskrider platsspecifikt riktvärde 52
   9.3 Samband geologi 54
      9.3.1 Geologi 54
      9.3.2 Yt- och grundvatten 54

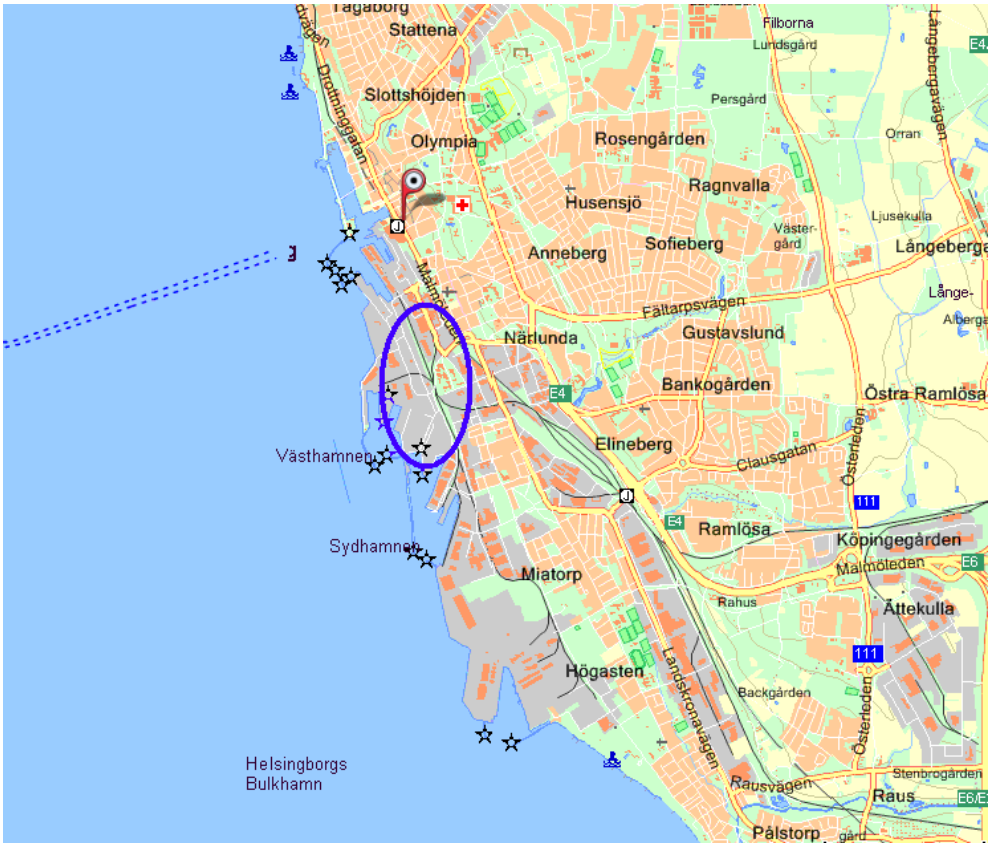
9.3.3 Föroreningsspridning 54
9.3.4 Verksamheter 55
9.3.5 Utvärdering riktvärde 55
9.3.6 Utvärdering platsspecifika riktvärdet 58
10 Diskussion 60
10.1 Grid och Vertical layers 60
10.2 Search neighborhood 60
10.3 Polygoner 61
10.4 Nearest Neighbor 61
10.5 Inverse Distance 61
10.6 Ordinary Kriging 62
10.7 Jämförelse Interpoleringsmetoder 63
11 Slutsats 65
12 Referenser 66
Bilagor 69
Bilaga 1 69
Bilaga 2 74
Bilaga 3 79
Bilaga 4 87
Bilaga 5 105
Bilaga 6 107
Bilaga 7 108
Bilaga 8 119
Bilaga 9 120

1. Inledning

Helsingborg har varit en hamnstad i flera hundra år och bolaget Helsingborgs hamn AB har bedrivit flera verksamheter där sedan 1988 då det privata stuveribolaget Skåneterminalen AB och det kommunala Helsingborgs Stads Hamnförvaltning slogs samman. Helsingborgs hamn AB och tidigare verksamhetsutövare har sedan 1920-talet bedrivit oljedepåverksamhet i hamnen. Då en stor mängd av verksamheterna som bedrivits på området har orsakat föroreningar av mark och vatten har under åren flertalet miljögeotekniska undersökningar utförts av olika konsulter. I samband med att hamnen utvecklas låter man under 2007 göra en sammanställning av befintligt material samt utförs också kompletterande undersökningar (se figur1)(Helsingborgs hamn 2003).

En viktig uppgift i projektet är att göra sammanställningen av all information tydlig. Sedan en tid finns det i branschen ett nytt verktyg, programmet SADA, för att statistiskt analysera en datamängd till exempel i form av markföroreningar Detta program har parallellt med projektet studerats för att undersöka dess potential, användningsområde mm. Studien har utförts i form av föreliggande examensarbete, i samband med Tyréns AB och Helsingborgs hamn AB.

Eftersom programvaran SADA är gratis är användningsintresset stort och det finns en tendens att SADA blir någon form av branschstandard. Programmet används redan av flera över hela världen och även av flera i Sverige till exempel Länsstyrelser. Inom Tyréns och andra företag har programmet hittills huvudsakligen används för att grafiskt presentera en bild över provpunkternas föroreningshalt på det undersökta området vid några enstaka miljögeotekniska undersökningar.



Figur 1. Provpunkterna är hämtade inom det inringade området i Helsingborgs hamn. (bild från eniro.se)

2. Syfte

Syftet med examensarbetet är att utvärdera SADA som verktyg och de interpoleringsmetoder som programmet erbjuder. Innan interpolering kan ske ska en mängd inställningar anpassas efter områdets egenskaper och utseende. Dessa inställningar optimeras till datamängden för att få fram bästa resultat. Här utreds vilka parametrar som är känsliga och vilka som är obligatoriska.

Flera interpoleringsmetoder finns att välja på i SADA: *Nearest Neighbor*, *Inverse Distance* och *Ordinary Kriging*. *Ordinary Kriging* är den mest avancerade interpoleringsmetoden enligt litteraturen och ger större möjligheter till påverkan i interpoleringsskedet. Metoden undersöks för att utröna om den ger bättre resultat än de andra två interpoleringsmetoderna.

Med hjälp av programmet kan bilder över föroreningarnas utbredning i marken tas fram. Dessa bilder kan användas för att knyta samman föroreningsbilden med rådande geologiska och hydrogeologiska förhållande.

3. Avgränsningar

Undersökningarna från Helsingborgs hamn lämpar sig bra för att utvärdera SADA eftersom datamängden är tillräckligt stor för att kunna ge tillfredställande resultat. De äldre undersökningar som genomförts har generellt gjorts inom mindre områden i hamnen vilket resulterat i flera mindre områden med tät provtagning. I den senaste kompletterande undersökningen gjord hösten 2006 – våren 2007, har provpunkter placerats ut över området så att tidigare icke undersökta områden har tagits med. Trotts detta är provpunkternas utbredning över hamnen ojämnt fördelade.

Området som provtagningarna är gjorda inom sträcker sig 1,5km i nord-sydlig riktning med Hamnkontoret längst i norr och Oljeterminalen och Oljehamnen i söder. I Öst-västlig riktning är området upp till 500m brett där spårområdet utgör den östra gränsen och havet med västhamnen den västra (Helsingborgs hamn 2003).

Från de analyser som tidigare har genomförts används enbart data från jordprover. Grundvattenprover bedöms ge förhållandevis stora tidsberoende variationer och då SADA endast kan modellera en statisk bild över föroreningarnas utbredning lämnas de utanför studien. Då Helsingborgs hamn varit förvaringsplats för petroleumprodukter som till exempel olja och bensin, har föroreningstypen petroleumprodukter valts ut. Detta för att hantering och förvaring har lett till att marken runt cisternerna förorenats.

Även om petroleumprodukter sakta bryts ned i marken antas de halter som mätts upp i tidigare undersökningar gälla. De högsta halterna är så pass höga att även med viss nedbrytning bör betydande mängder finnas kvar i marken. Det finns en viss risk att föroreningarna förflyttat sig så att utbredningsbilden har förändrats men förändringen bedöms vara liten och bortses ifrån.

4. Ämnen

De utvalda petroleumprodukterna är en stor grupp ämnen som beroende på sin kemiska uppbyggnad har olika egenskaper. I detta kapitel görs en närmare beskrivning av den indelning som har gjorts.

4.1 Alifater och aromater

Huvudbeståndsdelarna i petroleumprodukterna är kolkedjor och deras utseende och längd bestämmer den kemiska indelningen. De två stora grupper som kolkedjorna delas in i är:

- Alifater
- Aromater

De *alifatiska kolvätena* består av alkaner och alkener. Alkaner har raka kolkedjor och förgrenade kolkedjor och kan alla beskrivas med den kemiska formeln C_nH_{2n+2}. Alkener är även de raka eller förgrenade kolkedjor men har en eller flera dubbelbindningar mellan kolatomerna. Dubbelbindningarna gör molekylerna mindre stabila och mer reaktiva och kallas också för omättade alifater. I gruppen alifatiska kolväten brukar även alicykliska kolväten ingå. Dessa består av en eller flera mättade ringstrukturer.

Den andra gruppen är de *aromatiska kolvätena* och dessa bygger på en eller flera bensenmolekyler (C_6H_6). Det finns flera varianter på sidokedjor till bensenringen och de molekyler där flera bensenringar är sammankopplade kallas polycykliska aromatiska kolväten förkortat PAH. På grund av de delokaliserade dubbelbindningarna är aromaterna stabila och mindre reaktiva än alifaterna, vilket gör att de stannar kvar i naturen längre. Dessa kan orsaka bland annat cancer.

Generellt för kolväten gäller att med stigande antal kolatomer minskar flyktigheten och vattenlösligheten medan förmågan att binda till organiskt material ökar. De aromatiska kolvätena har ofta högre vattenlöslighet och sämre förmåga att binda till organiskt material än vad de alifatiska kolvätena har. Dessa egenskaper gör att aromatiska kolväten blir mer mobila (Naturvårdsverket & SPI 1998).

4.2 Gruppindelning

I de jordanalyser som har gjorts delas petroleumprodukterna inte bara in i alifater och aromater utan inom varje grupp görs ytterligare en indelning beroende på längden på kolkedjorna. Den metod som används för att dela in alifater och aromater i grupper kommer från USA (utvecklat av TPHCWG, 1997a, b, och c) Där delas alifater och aromater in i 6 respektive 7 fraktioner. De 13 gruppernas indelning beror på ämnenas likheter i kemiska, fysikaliska och toxiska egenskaper. De olika gruppernas indelning är gjord efter deras så kallade ekvivalenta koltal vilket fås fram genom ämnets kokpunkt eller retentionstid vid gaskromatografering normaliserat till motsvarande för n-alkener. Man skiljer på alifater och aromater eftersom deras egenskaper är så vitt skilda.

När analys av jordprover görs tas halter fram för fem alifatgrupper och två aromatgrupper. Grupperna namnges efter hur långa kolkedjorna är, vilket ger gruppen med alifatiska kolkedjor större än 5 kol upp till 8 kol namnet Alifater C5-C8, osv. (Naturvårdsverket & SPI 1998).

4.3 Petroleumprodukter

De petroleumprodukter som förekommer i studien ges en kort beskrivning.

4.3.1 Bensin

Bensin består i huvudsak av alifater i form av alkener och monoaromater. De flesta av bensinens beståndsdelar förångas mycket snabbt och därför kan de lättaste beståndsdelarna vid spill och varm årstid förångas på kort tid. Kolkedjorna är mellan 3 och 12 kol långa. Till den mesta bensin som tillverkas tillsätts MTBE, metyltertiärbutyleter, som är syreinnehållande. Förr tillsattes bly till all bensin som smörjmedel för motorerna. Idag är det inte mycket bly som tillsätts, istället används tensider utan metaller. Dessa tillsätts i små mängder som har en emulgerande effekt vilket leder till att lösligheten för kolväten ökar i vatten.

4.3.2 Flygfotogen

Flygfotogen kallas även jetbränsle då det används som bränsle i flygplan. Flygfotogen har något längre kolkedjor än bensin och något kortare än diesel och eldningsolja, mellan 8 och 12 kol långa.

4.3.3 Diesel och eldningsolja

Diesel består till största delen av alifater, i form av alkener och alicykliska föreningar, och förångas normalt långsammare och i mindre grad från marken än bensin. Till diesel tillsätts inga tillsatser i form av blyföreningar, alkoholer eller MTBE. Istället tillsätts renare additiver, så som tensider utan metaller, och polymerer som modifierar uppbyggnaden av vax vid låga temperaturer. Eldningsolja har kolkedjor i samma storlek som diesel med kolkedjor mellan 10 och 22 kol (Naturvårdsverket & SPI 1998).

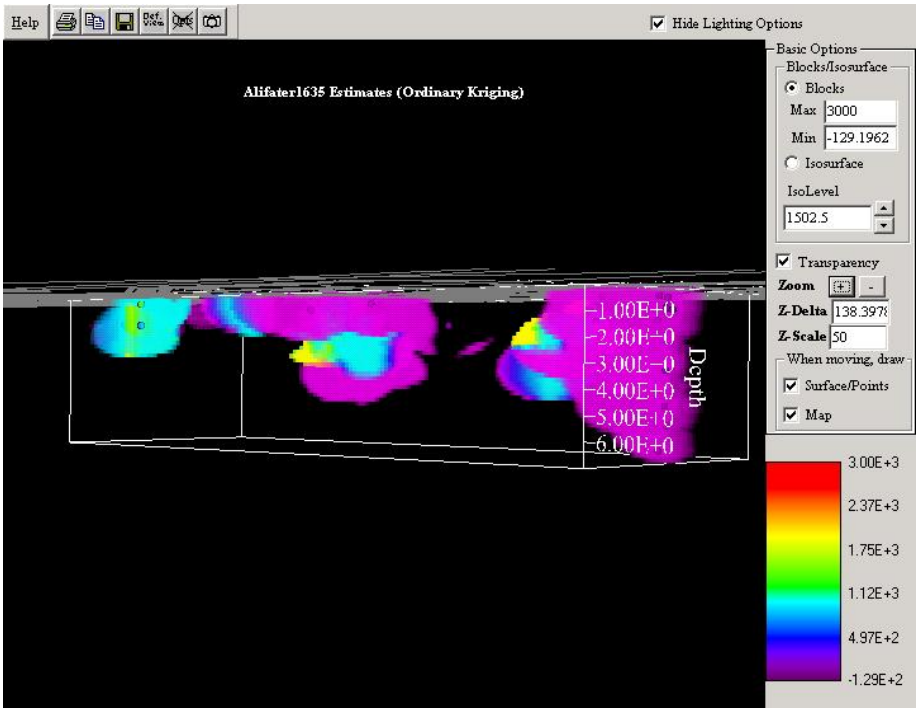
5. Beskrivning av SADA

Programmet SADA (Spatial Analysis and Decision Assistance) är utvecklat på The University of Tennessee i Knoxville på The Institute for Environmental Modeling. Programmet finansieras av the United States Environmental Protection Agency (USAs Naturvårdsverk) och The United States Nuclear Regulatory Commission. Programmet som idag är gratis innehåller bland annat funktioner för att visualisera och genomföra geostatistiska analyser och mänsklig och ekologisk riskutvärdering av miljöförhållandena inom ett område. Mer detaljerad information finns på SADAs hemsida, http://www.tiem.utk.edu/~sada/index.shtml. Programmet utvecklas hela tiden men i detta examensarbete har SADA version 4 använts.

Syftet med att använda SADA i studien är att genom de värden för olika föroreningar som man har uppmätt i diskreta punkter, få en bild över hur koncentrationen kan se ut för hela ens förorenade område genom de olika interpoleringsmetoderna (se figur 2). I SADA ritas provpunkterna upp som punkter på ett kartblad och i de fall man har tredimensionell data, dvs. olika djup på markproverna, kan man i SADA få en roterbar tredimensionell bild över området. SADA erbjuder olika interpoleringsmetoder för att ta fram troliga markparametrar för icke provmätta punkter. De interpoleringsmetoder som använts i detta examensarbete är

- *Inverse Distance*
- *Nearest Neighbor*
- *Ordinary Kriging*

vilka ges en ingående förklaring nedan. För enkelhetens skull används de engelska uttrycken som finns i SADA och där det behövs översätts de och ges en förklaring. Interpoleringsmetoderna bygger på den delen inom statistiken som kallas geostatistik.



Figur 2. En typisk bild på interpoleringsresultat. Enheten är mg/kg TS.

5.1 Geostatistik

Geostatistik är en gren av statistiken där man beaktar den rumsliga variansen av data och tar hänsyn till att markparametrar oftast inte är oberoende eftersom varandra närliggande mätpunkter ofta har lika halter av ett ämne (Gilbertsson 2001).

Ett rumsligt samband finns det om parametervärdena (mätvärdena) i de olika provpunkterna har ett visst beroende. Ett rumsligt samband visas i att punkter som ligger närmare en utvald punkt har ett mer lika värde än en punkt som ligger längre bort. Om mätvärdena visar sig alla vara slumpvariabler dvs. att det inte finns något samband mellan halterna av tex. alifater eller aromater i de olika punkterna, kan inte heller interpolering ske för att få fram en bild av hur området ser ut mellan mätpunkterna (Gilbertsson 2001).

5.2 Anisotropi

Det geostatistiska sambandet kan se olika ut i olika riktningar och fenomenet kallas anistotropi (Delin 2000). Ett sådant fenomen kan tex. förklaras med att en förorening har spridits mer i en riktning pga grundvattenflödesriktningen, och därför resulterar i att punkterna längs med spridingsriktningen har större rumsligt beroende är de punkter som har tagits vinkelrät mot riktningen där det rumsliga beroendet avtar snabbare. Då interpolering görs för att beräkna föroreningens utseende mellan provpunkterna är det intressant att veta i vilken riktning anisotropin förekommer (Statens folkhälsoinstitut 2005).

6. Analyser och Metodik

Nedan följer en beskrivning av den metodik som har använts för att utvärdera interpoleringsmetoderna genom SADA. Huvudsakligen innebär det en genomgång av alla de funktioner och variabler som programmet innehåller, och vilken effekt som erhålles då dess värden förändras. Kapitlet har karaktären av handbok. Resultat, diskussion och utvärdering kommer senare.

6.1 Datamängder

I Helsingborgs hamn har flera undersökningar gjorts genom åren och alla provpunkter sammanförs i en gemensam fil för att få en samlad bild över hela området. Antalet punkter där jordproverna analyserats är 66 st. De parametrar som SADA kräver för att kunna rita upp området är x,y-koordinater för varje provpunkt, ett parametervärde för provpunkten, alltså koncentrationen på föroreningen i just den punkten, eventuella djup, datum och namnet på föroreningen (SADA User Guide 2005).

Punkterna delas inte upp efter ålder eller mindre områden. Alla provpunkter sammanförs även om vissa undersökningar genererat flera punkter inom ett litet område och andra är mer utspridda (se figur 4). En fil skapas dock för varje förorening och indelningen av föroreningarna görs, som nämnts tidigare, i alifater och aromater och efter hur långa deras kolkedjor är. Alla koncentrationer anges i mg/kg TS. Vidare anges punkternas koordinater och djup, då dessa finns angivna, datum för utförandet och namnet på föroreningen. Då inga djupangivelser för provet förekommer har i aktuell studie djupet satts till noll meter under markytan. Sammanlagt blir det sju filer, fem för alifaterna och två för aromaterna.

- Alifater C5-C8
- Alifater C8-C10
- Alifater C10-C12
- Alifater C12-C16
- Alifater C16-C35
- Aromater C8- C10
- Aromater C10-C35

Koordinaterna för provpunkterna har tagits fram ur gamla rapporter, och i de fall där koordinaterna är angivna enligt Helsingborgs gamla koordinatsystem har de transformerats till det nya koordinatsystemet SWEREF 991330 med hjälp av AutoCAD.

En äldre undersökning från J&W har en annorlunda indelning på alifat- och aromatgrupperna och har därför att analyseras separat. Dessa jordprover har heller inga djupangivelser. Att ha en annan indelning på föroreningarna leder till att man inte direkt kan jämföra föroreningsspridningen, men eftersom antalet provpunkter är många är det intressant för det samlade resultatet att de tas med. Dessa filer har använts som en komplettering för att få en samlad bild över områdets förorening.

För att SADA ska kunna läsa in filerna krävs det att det är en kommaseparerad textfil. För att kunna skapa en sådan fil kan andra program utöver Microsoft Excel behövas. I detta fall sparades först filen i csv-format i Microsoft Excel och sedan användes UltraEdit för att byta ut alla semikolon, som används som listavgränsare, till kolon (SADA Home Page 2007).

Eftersom SADA är utvecklat i USA kan andra inställningar behöva ändras på datorn för att användningen av SADA ska ske smärtfritt. Bland det viktigaste är att datorn är inställd på att punkter ska användas istället för kommatecken då decimaltal anges. Det finns mer information på SADA:s hemsida om vilka ändringar som bör göras (SADA Home Page 2007).

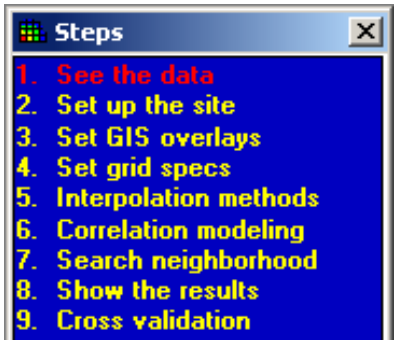
6.2 Visualisering, modellering och analyser

När datamängden är formaterad för SADA (se bilaga 1) kan ett stort antal inställningar göras för att visualisera provpunkterna och deras respektive koncentration. Alla steg måste gås igenom för att få en rimlig bild över det förorenade området. Det finns i programmet ett hjälpavsnitt som visar hur man ska gå tillväga. Oftast är det dock lämpligt att prova sig fram för att se vad som passar just de aktuella data.

För att visa hur de olika inställningarna (se figur 3) påverkar resultatet, vid interpolering, görs i föreliggande kapitel olika försök och resultatet redovisas. För varje test behålls de tidigare redovisade inställningarna konstanta på, för dem, den bästa inställningen. Varje förorening interpoleras med de tre interpoleringsmetoderna, *Ordinary Kriging*, *Inverse Distance* och *Nearest Neighbor*, vilka förklaras mer ingående nedan. Då *Ordinary Kriging* är den interpoleringsmetod som medger flest anpassningsbara inställningar används denna då bilder på de olika inställningarna visas.

De inställningar som kan göras i SADA är:

- *Set up the site*
    - *Site boundary*
    - *Set vertical layers*
    - *Polygon*
- *Set GIS overlays*
- *Grid specs*
- *Search neighborhood* (endast tillgänglig då *Inverse Distance* och *Ordinary Kriging* används)



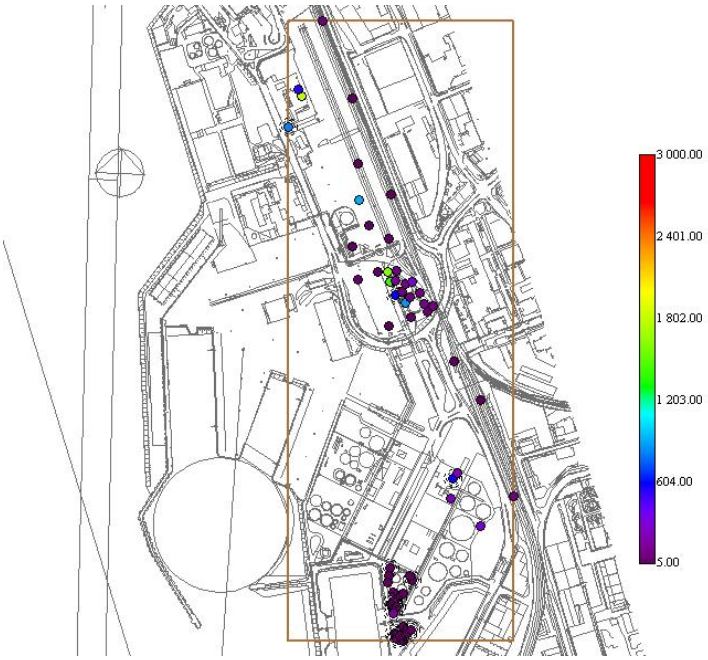
Figur 3. Inställningsmenyn i SADA.

Då *Ordinary Kriging* väljs dyker ytterligare inställningar upp under

- *Correlation modeling*

6.2.1 Set up the site

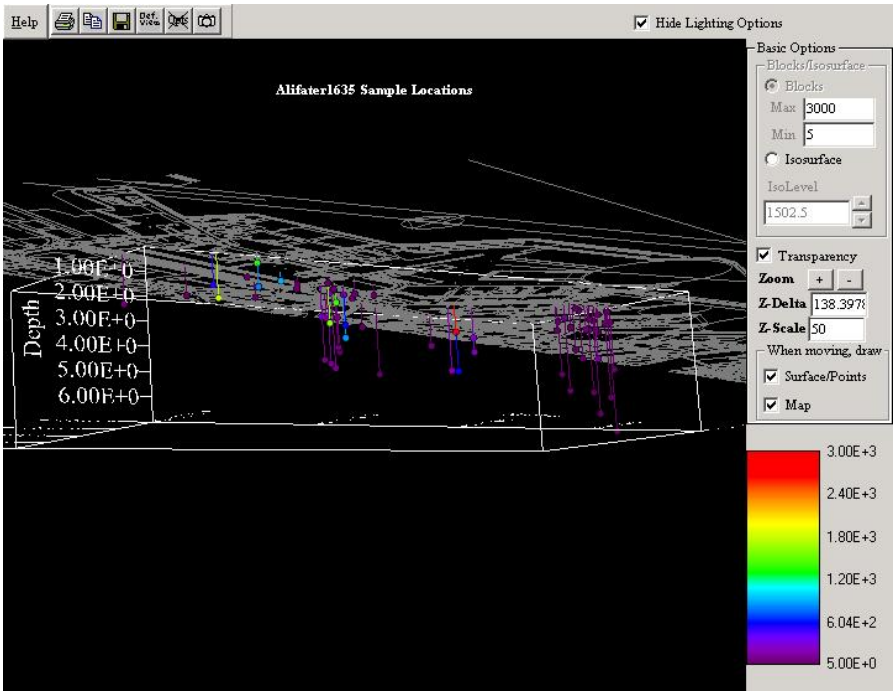
Under rubriken *Set up the site* definieras det område som visas i SADA. Koordinater för gränserna på området sätt automatiskt efter de yttersta punkterna i området, men kan justeras vid behov. Till höger i bild visas området ovanifrån med provpunkterna utplacerade efter sina koordinater.



Figur 4. Helsingborgs hamn sett från ovan i plan med provpunkterna och deras respektive koncentrationer för Alifater C16-C35. Enheten är mg/kg TS.

SADA antar som standard att alla observationerna är normalfördelade och även då det finns en funktion för att ange att data är lognormalt fördelade bör denna inte användas. Det är vanligt att föroreningsdata är lognormalt fördelade enligt Singh & Ananda (2005) men på grund av vissa beräkningsproblem i *Ordinary Kriging* interpoleringen ska den undvikas.

Då flera jordprover har tagits i samma borrhål på olika djup visas dessa punkter i plan med en streckad ring kring sig. Det går även att rita området i 3D, där bilden blir roterbar, för att lättare att se provpunkterna på djupet. I 3D-bilden finns fler möjligheter som tex att rita ut borrlinjer från det översta borrprovet ner till det djupaste, ändra färg på bakgrunden, visa interpolationsmolnen i transparenta färger mm. Skalan för djupet kan ändras så att bilden blir tydligare. I 3D-bilden kan z-skalan visas i 50 gånger större för att djupet inte ska bli försvinnande litet i jämförelse med storleken på xy-planet (se figur 5).



Figur 5. Helsingborgs hamn sett i 3D snett underifrån. Borrlinjer och provpunkter utritade. Enheten är mg/kg TS.

6.2.1.1 Site boundary

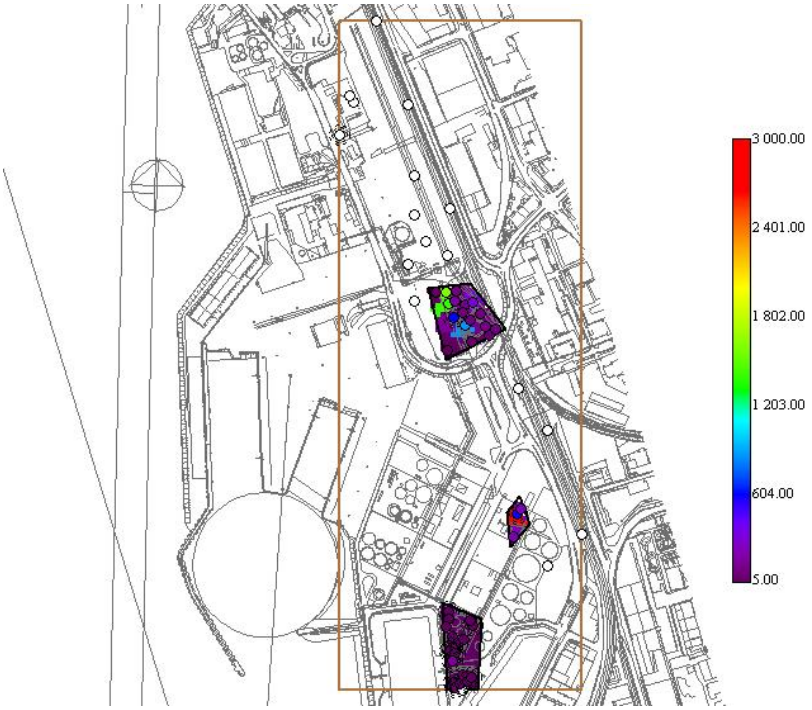
Under *Site boundary* bestäms det område som ska ritas upp angett i koordinater.

6.2.1.2 Set vertical layers

På *Vertical layers,* vertikala lager, bestäms hur många lager som området ska delas in i på djupet, z-led. Eftersom varje block behandlas som en punkt vid interpoleringen är det viktigt att anpassa djupindelningen efter hur aktuell data är fördelad på djupet. I Helsingborgs hamn har prover tagits ner till 6,5m. Som standard erbjuder SADA indelningen *all* där djupet betraktas som endast ett lager. Andra standardindelningar som SADA ger är *5 layer* som automatiskt delar in djupet i fem lager.

6.2.1.3 Polygoner

Eftersom områdets provpunkter ligger tätare på vissa områden kan dessa områden skäras ut som polygoner och interpoleras separat för att minska påverkan av punkterna utanför polygonen (se figur 6). Eftersom det genomsnittliga minsta avståndet mellan punkterna minskar betydligt då man skär bort omkringliggande provpunkter kan detta påverka interpoleringsresultatets tillförlitlighet. De omkringliggande punkterna kan fortfarande tas med i interpoleringen men genom att välja *use only selected data during interpolation* kan interpoleringen anpassas till de punkter som befinner sig inom polygonen.



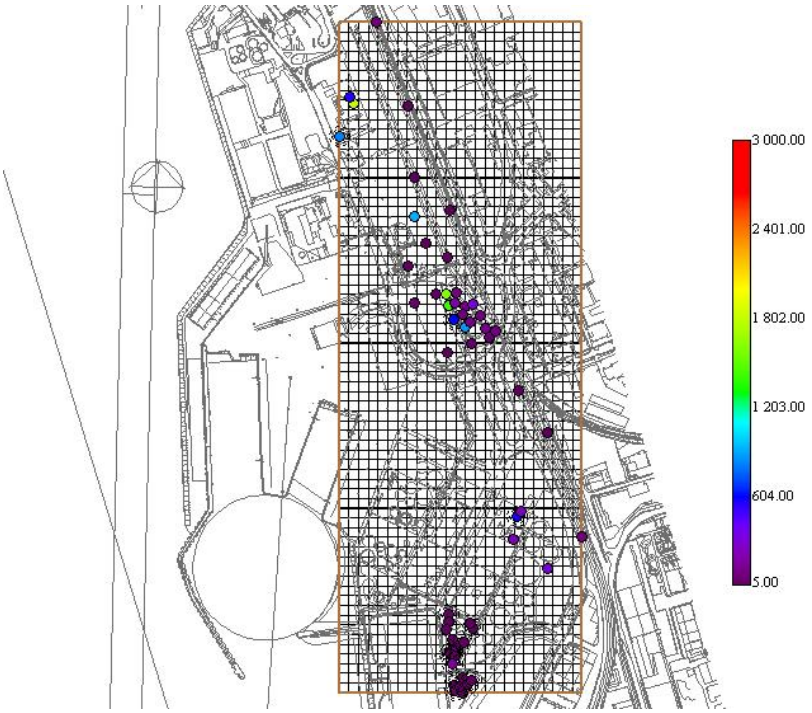
Figur 6. Tre stycken polygoner inom vilka interpolering är gjord med hjälp av *Nearest Neighbor*-metoden. Enheten är mg/kg TS.

6.2.2 Set GIS overlays

Under rubriken *Set GIS overlays* kan kartblad läggas till bilden för att man lättare ska kunna orientera sig på området och se var provpunkterna ligger. Dessa kartblad kan anpassas så att de får lämplig färg då bakgrunden visas svart i 3D-visningsläget.

6.2.3 Grid specs

Vid interpolering ges områdena runt de kända provpunkterna en koncentration beräknad utifrån närliggande kända punkters koncentrationer. För att denna beräkning inte ska behöva göras i alla tänkbara punkter delas området in i mindre områden som får ett värde var. I SADAs fall delas området in i mindre rutor, eller block i det tredimensionella fallet (se figur 7). Dessa rutor behandlas senare som en punkt och varje ruta/block ges ett värde vid interpolering. Storleken på dessa rutor och block har betydelse för resultatet. Eftersom provpunkterna i Helsingborgs hamn är tredimensionella behöver hamnområdet delas upp i block. Vad den optimala storleken på rutindelningen är kan vara svårt att beräkna men enligt Mardikis, Kalivas & Kollias (2005) kan halva det minsta avståndet mellan punkterna anges. Eftersom provpunkterna i hamnen inte är jämnt fördelade kan olika storlekar på rutnätet, *Grid*, behöva testas. För att se påverkan av olika storlekar på rutnätet ritas området upp i plan.



Figur 7. *Grid*-nät med 20x20 m storlek. Enheten är mg/kg TS.

6.2.4 Search neighborhood

Med funktionen *Search neighborhood,* sökområde, bestäms det område kring varje punkt som interpoleringen ska ske över. Området anges som en sfär, i tre dimensioner, och kan göras olika lång i olika riktningar. Att kunna interpolera olika långt i olika riktningar är användbart vid anisotropi.

6.3 Interpolering

I SADA finns flera möjliga interpoleringsmetoder. De metoder som har använts är

- *Nearest Neighbor*
- *Inverse Distance*
- *Ordinary Kriging*

Av dessa är *Ordinary Krigning* den mest avancerade metoden. Bland annat måste ett variogram, som visar hur provpunkternas koncentrationer förhåller sig till varandra, ritas upp innan interpoleringen kan ske. *Ordinary Kriging* är också den enda av de tre metoderna som anger osäkerheten i resultatet, vilket gör att fokus i denna studie ligger på denna metod.

6.3.1 Nearest Neighbor

Nearest Neighbor, närmsta granne, är den enklaste av interpoleringsmetoderna i SADA. Provpunkterna och deras respektive uppmätta koncentration ritas upp. Vid interpoleringen ges varje okänd punkt (varje ruta) samma som den närmsta provpunkten har.

Vid interpolation med *Nearest Neighbor*-metoden i SADA tas ingen hänsyn till djupet och det värdet som tas fram för ytan ges till hela djupet. Av denna anledning bör inte *Nearest Neighbor*-metoden användas när SADA visar 3D data utan bara i 2D och lagerindelningen bör visa *all* dvs ingen lagerindelning på djupet.

För att genomföra *Nearest Neighbor*-metoden i SADA krävs inga inställningar förutom *Grid*-indelningen (SADA User Guide 2005).

6.3.2 Inverse Distance

Inverse Distance-metoden motsvarar traditionell rätlinjig interpolering (triangulering). När ett värde ska ges till en okänd punkt viktas de omkringliggande punkterna med avseende på avståndet till dem. Inversen på detta avstånd används, vilket på så sätt ger starkare vikt åt närliggande punkter och svagare vikt åt de långt bort. De omkringliggande punkternas koncentration multipliceras med deras respektive vikt och resultatet delas på antalet inblandade punkter. Resultatet blir den koncentration som tilldelas den okända punkten. På så sätt får den okända punkten ett värde som liknar de runt omkring, beroende på avståndet till dem (se ekvation1).

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^{N} \frac{z_i}{d_i^P}}{\sum_{i=1}^{N} \frac{1}{d_i^P}} \qquad \textbf{Ekvation 1}$$

Z - värdet på den interpolerade punkten
Z_i - känt värde
N - Totala antalet punkter använda i interpoleringen
D – avståndet
(SADA User Guide 2005)

Utöver att välja *Inverse Distance* som interpoleringsmetod bestäms det område, utifrån varje provpunkt, som ska tas med i beräkningen. Denna inställning görs under *Search neigborhood*.

6.3.3 Ordinary Kriging

Kriging har fått sitt namn efter D.G. Krige som var bergsingenjör inom guldbrytningsbranchen där han använde nya metoder att leta fram områden med en viss typ av bergart (Corvi et al. 1992). I kriging är avståndet mellan punkterna bara en av flera parametrar som vägs in vid interpolering. Som tidigare har nämnts bygger geostatistik på att det finns ett samband mellan de provtagna punkternas halter i rummet. *Ordinary Kriging* bygger på att de kända provpunkternas halter har ett inbördes beroende, vilket kallas ett rumsligt beroende. Hur långt detta rumsliga beroende sträcker sig kan man få fram ur ett s.k. variogram. Genom att rita upp ett variogram och få fram det rumsliga beroendet, och anpassa en modell till detta, kan värdet i alla okända punkter i området beräknas på ett statistiskt relevant sätt.

I variogrammets modell ges en vikt till varje känd mätpunkt vilken används för att ta fram värdet för de okända punkterna. Om många kända mätpunkter ligger i närheten av den beräknade punkten får de kända punkterna vars lägre vikt och i de fall då flera punkter ligger på rad i riktning från den okända punkten kommer de punkter som ”ligger i lä” att få lägre vikt.

Kriging ger inte bara ett värde på en okänd punkt utan beräknar även spridningen, krigingvarians σ_K^2, på värdet. Detta anses vara styrkan med kriging jämfört med andra interpoleringsmetoder, som inte tar hänsyn till osäkerheten i beräkningarna (Delin 2000).

Det finns olika sorters kriging och bland dessa metoder bör nämnas punktkriging, där varje punkt får ett uppskattat värde, till skillnad från blockkriging som uppskattar ett medelvärde i ett område, av bestämd storlek, runt punkten (Delin 2000). I SADA tillämpas blockkriging

och det som bland annat avgör kan styra hur noggrann krigingen blir är hur många block som området är indelat i.

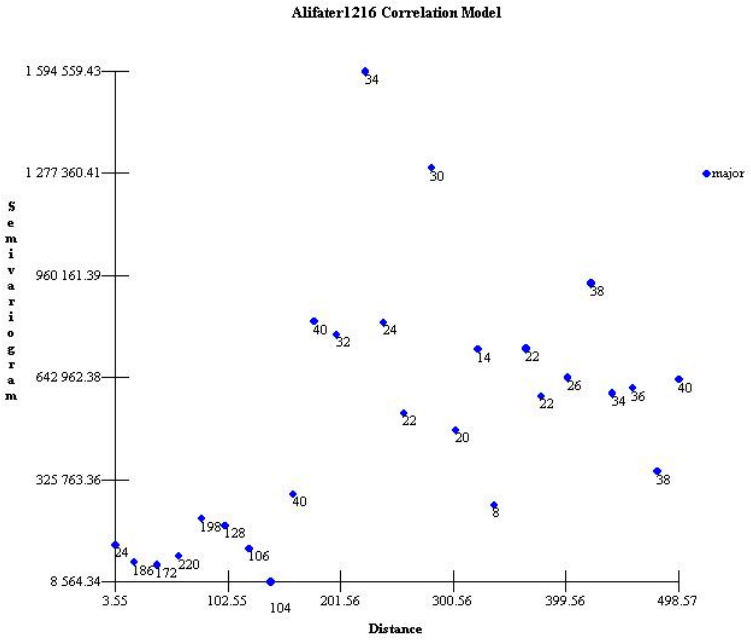
6.3.3.1 Variogram

Centralt vid kriging är det så kallade variogrammet. För att kunna avgöra om det finns ett rumsligt samband mellan olika punkter ritas ett experimentellt variogram upp. I variogrammet (se figur 8) plottas semivariansen mot avståndet. Semivariansen är variansen mellan två punkters värden som befinner sig på ett visst avstånd från varandra (Mardikis, Kalivas & Kollias 2005). Om det finns många provtagna punkter brukar det också finnas flera punkter som har ungefär samma avstånd till varandra. Avståndet mellan dessa punkter delas in i intervall för att man ska kunna gruppera punkterna efter vilka som har ungefär samma avstånd till varandra. Dessa grupperingar kallas grupper eller lags och avståndet från en punkt till den punkt som den ska bilda ett par med kallas *Lag distance* (Deutsch & Journel 1998).

Avståndet mellan punkterna, h, som är riktningsberoende, sätts till vektorer och blir $h = |h|$.
En definition för semivariansen som används av SADA och som återkommer på många ställen är

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N_h}\sum_{i=1}^{N_h}\left[Z(x+h) - Z(x)\right]^2 \qquad \textbf{Ekvation 2}$$

där N_h är antalet talpar i intervallet (lag) $h_{min} \le |h| \le h_{max}$ (Follin 1995)



Figur 8. Variogrammet visar hur semivariansen förändras mellan olika par då avståndet mellan punktena blir större och större. Distance, avståndet, anges i meter och semivariogram i m^2.

Sill, range och nugget

Om ett rumsligt samband (se kapitel 5.1) finns kommer punkternas semivarians att öka med avståndet mellan dem för att efter ett visst avstånd plana ut. Detta visar just att variansen mellan två närliggande punkter är lägre än för två punkter på större avstånd. Vid ett visst avstånd slutar semivariansen att öka, dvs fram till detta avstånd kan man se ett rumsligt samband. I variogrammet kallas detta avstånd *range* eller räckvidd. Den semivarians som

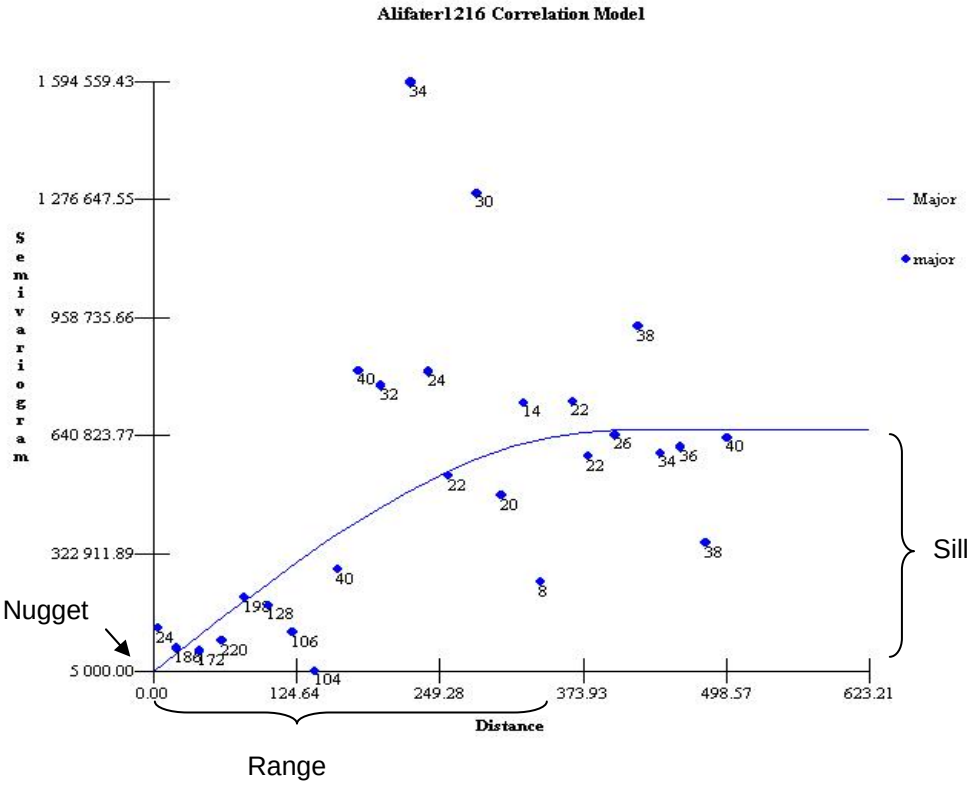
uppnås när kurvan planar ut kallas *sill* och visar på den varians som uppnås då provpunkternas parametrar är oberoende av varandra (Mueller et al 2001).

De punkter som ligger på minimalt avstånd från varandra ska ju intuitivt ha en väldigt liten semivarians. Så är inte alltid fallet utan semivariansen för dessa avstånd visar på ett visst brus som gör att punkterna inte börjar vid origo utan en bit upp på y-axlen. Avståndet på y-axeln kallas *nugget* och kan bero på provtagningsfel och/eller mätbrus (Mueller et al 2001). Det finns en risk med att ha en kraftig *nugget*-effekt. Om skillnaden mellan *sill* och *nugget* är liten försvinner variationer i variogrammet lättare (Delhomme 1978).

Till det experimentella variogrammet anpassas en modell som kallas modellvariogrammet (se figur 9). Då en modell anpassas bör enkla modeller användas. Det kan tyckas finnas mer avancerade samband i variogrammet, men dessa är ofta orsakade av mindre fluktuationer i data och ska bortses ifrån enligt Delhomme (1978). Från den modell som tas fram fås krigingvikterna som används för att ta fram parametervärden för alla okända punkter i området. Ett typexempel på hur krigingvikten för punkten noll tas fram är

$$Z_0^* = \lambda_1^0 Z_1 + \lambda_2^0 Z_2 + \lambda_3^0 Z_3 \quad \textbf{Ekvation 3}$$

där $\lambda_k^0, k \in (1,2,3)$ är krigingvikterna. Viktigt är att krigingvikterna tillsammans blir precis ett. (Follin 1995)



Figur 9. När modellen anpassats till variogrammet syns *sill, range* och *nugget*. Avståndet anges i meter och semivariansen i m^2.

Vid interpolering med *Ordinary Kriging* beräknas även spridningen på interpoleringen, krigingvariansen. Ett sätt att beskriva krigingvariansen enligt Follin (1995) är

$$\sigma_\varepsilon^2 = \lambda_1^0\gamma(h_{10}) + \lambda_2^0\gamma(h_{20}) + \lambda_3^0\gamma(h_{30}) + \mu \quad \textbf{Ekvation 4}$$

Där $\lambda_k^0, k \in (1,2,3)$ är krigingvikterna och γ är semivariansen för ett givet avstånd (lag), h, som fås från modellvariogrammet (μ är en så kallad hjälpvariabel, kallad ”Lagrange multiplier”). Denna krigingvarians beräknas så att den blir så minimal som möjligt.

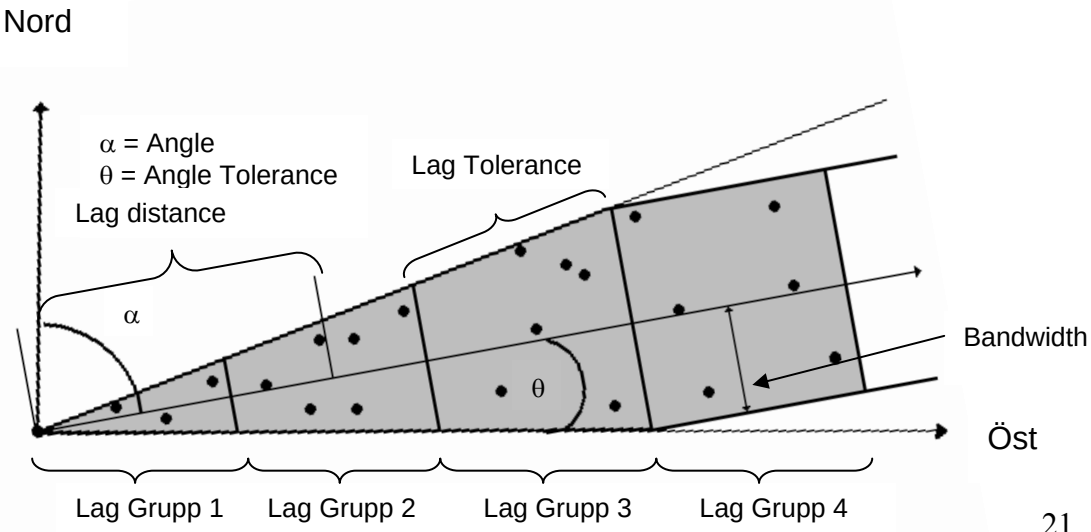
Om ekvationen antas vara normalfördelad kan den användas för att beräkna ett 95% konfidensintervall för Z_0,

$$Z_0 = \sum_i^n \lambda_0^i Z_i \pm 2\sigma_\varepsilon \quad \textbf{Ekvation 5}$$

Detta konfidensintervall visas i SADA när en *Variance map* skapas vilket kan läsas vidare om nedan (Follin 1995).

Correlation modeling
I SADA måste ett tillräckligt bra variogram med tillhörande modell ritas upp för att interpolering med *Ordinary Kriging* ska kunna ske. Parametrarna för hur variogrammet ska ritas ska användaren själv ange. Efter att variogrammet är uppritat ska en modell anpassas och i SADA finns en hjälpfunktion för just denna anpassning.

Den metod som används i SADA för att beräkna och rita upp semivariansen bygger på att en riktning väljs ut och att provpunkter i denna riktning, utgående från varje känd mätpunkt (se figur 11), tas med i beräkningen av variansen. Från varje känd provpunkt ritas en tänkt linje ut i en viss riktning. Eftersom sannolikheten att det ska ligga andra provpunkter precis längs denna linje är väldigt liten utökas området till en kon (se figur 10) med viss vinkel. De parametrar som styr hur de tänkta konerna ska se ut, och i vilken riktning de ska söka, måste användaren själv ange. I det tredimensionella fallet blir parametrarna fler då konen även kan justeras i z-led (Deutsch & Journel 1998).

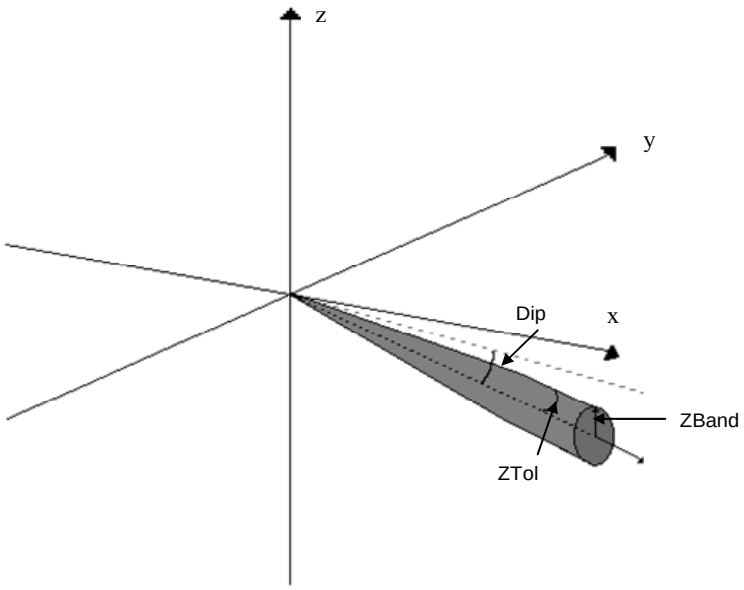


Figur 10 och 11. Då konens form och riktning bestämts mäts variansen mellan alla punkter utifrån varje provpunkt.

I *Correlation modeling* anges det antal lags eller intervall som ska tas med i variogrammet, *Lag number*. Vidare anges avståndet mellan varje lag, *Lag distance*, och hur långt fram och bak som mäts kring varje lags mittlinje, *Lag tolerance* (se figur 10). Om *Lag tolerance* inte anges till samma bredd som *Lag distance* kommer vissa områden mellan dessa ”lags” att hoppas över, och punkter som ligger där tas inte med i beräkningen. Antalet lags som anges, *Lag number*, måste justeras efter hur man angivit *Lag distance* och *Lag tolerance* om man vill att det rumsliga beroendet ska beräknas över hela ens område. Inom varje lag bildas ett antal par och detta antal står angivet i variogrammet intill respektive punkt (Deutsch & Journel 1998). För att få ett representativt medelvärde på variansen, för varje lag, är det lämpligt att de finns åtminstone 30 par inom varje lag (Lönnerholm 2006). Det har visats att riktigheten i variogrammet blir högre då fler par bildas inom varje lag enligt Schloeder, Zimmerman & Jacobs (2001).

Eftersom det rumsliga beroendet kan sträcka sig olika långt i olika riktningar, kan konernas riktning ha betydelse för resultatet. Konens riktning bestäms genom att ange *Angle* (α i bilden, se figur 10) vilket är vinkeln i xy-planet mätt från y-axeln eller norr. Denna vinkel är viktig vid anisotropi där vinkeln med lägst varians ska hittas. För att kunna undersöka olika vinklar och inställningar har man möjligheten att rita upp två riktningar samtidigt, *Major* och *Minor*. Under *Caption* har man möjlighet att namnge dem för att kunna skilja dem åt (Deutsch & Journel 1998).

För att bestämma hur bred konen ska vara ges värden till *Tol* och *Band*. *Tol* anger med vilken vinkel som konen ökar kring mittlinjen och *Band* är den bredd som konen uppnått när den inte längre tillåts öka i bredd.



Figur 12. Konens riktning i 3D med de parametrar som anges.

Dip används då datamängden är tredimensionell och anger hur den tredimensionella konen förhåller sig horisontellt (se figur 12). Vinkeln anges alltid negativt då man vill att konen ska luta nedåt under xy-planet. Denna vinkel är viktig för att närliggande punkter, som ligger djupare, ska tas med i beräkningen. *Ztol* anger den tolerans som tas med kring vinkeln i z-planet, den vinkel som konen har kring mittlinjen fram tills att *Zband* uppnås. *Zband* blir följaktligen den bredd som konen tillåts få innan bredden hålls konstant. (SADA User Guide 2005)

Tillvägagångssätt

Som nämnts tidigare följer *Lag number* och *Lag distance* varandra. Om *Lag distance* sätts till ett kort avstånd måste ett högre *Lag number* anges för att beräkningen ska sträcka sig över hela området. Enklast är att dela det längsta avståndet i området med *Lag distance* för att få fram ett lägsta *Lag number*. Ett bra sätt är också att ange ett för högt *Lag number*, som sträcker sig utanför området, som kan minskas då de andra parametrarna ställts in rätt.

Correlation Modeling

Variogram Type: Standard — Edit

Variography

Variogram: Major — Rose

Name	Major	Minor
Caption	Major	Minor
Lag Number	60	60
Lag Distance	20	20
Lag Tol	20	20
Angle	152	62
Tol	90	90
Band	100	100
Dip	0	0
ZTol	90	90
ZBand	1000	1000

Figur 13. Modellens parametrar.

Utan stor erfarenhet, finns det inget snabbt sätt att hitta de bästa inställningarna på (se figur 13) men det finns vissa parametrar som fokus bör ligga på mer än andra. Parametrarna *Lag distance*, *Lag number* och *Angle* är de som kan behöva justeras om och om igen. Lämpliga inställningar att börja med på resterande parametrar kan vara att sätta *Tol* till 90 grader för att få en kon med 90 graders vinkel, som då kommer att innefatta många punkter i en riktning, och att sätta *Band* till ett högt värde, tex 100m. *Dip*, som styr konens riktning i z-led, sätts från början till noll. Om många mätpunkter ligger nära varandra i xy-planet, men på olika djup, kan

Dip-vinkeln behöva justeras så att närliggande punkter fångas upp av konen. *Ztol* kan precis som *Tol* sättas till 90 grader och *Zband* till ett högt värde tex 1000m.

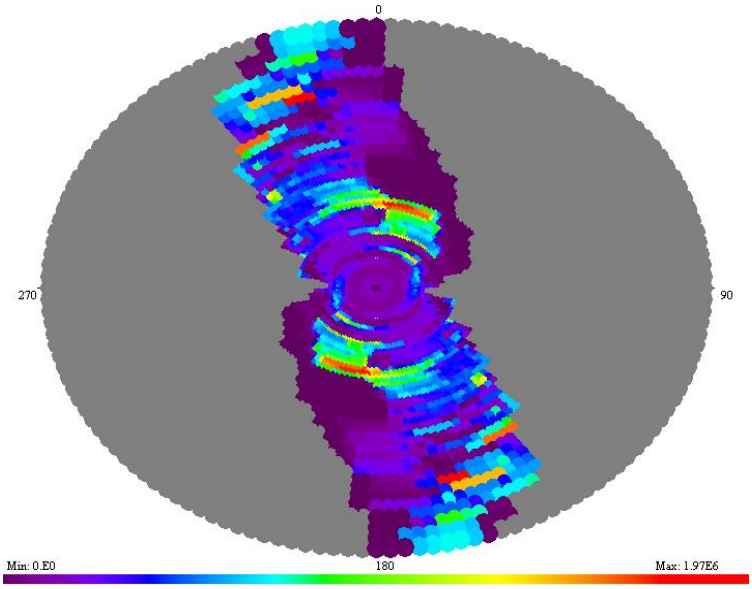
Lag Tol bör hela tiden få samma värde som *Lag distance*, eftersom förändringar i variogrammet då *Lag distance* ändras kan bli osynliga om inte *Lag Tol* ändras samtidigt. Detta gäller då man ökar avståndet till på *Lag distance* men behåller ett kortare avstånd på *Lag Tol*. Tanken med att öka avståndet på *Lag distance* är att fånga fler punkter inom en Lag men om inte *Lag Tol* ökas samtidigt, till samma bredd, blir varje Lag-område lika stort som innan, bara avståndet till provpunkten ökar.

I variogrammet visas medelvariansen för alla par inom ett visst Lag. Antalet par som tas med bör, som nämnts innan vara över 30 st men att få det för alla Lags kan vara svårt. Ett bra *Lag distance* visar ett variogram där fler än 30 par finns med inom de flesta Lags men det är inte nödvändigt att det finns inom alla. Ett för högt *Lag distance* kan dela upp området i för stora intervall, Lags, så att mindre förändringar missas och variogrammet känns kantigt. För många punkter inom ett och samma lag gör att varje punkt får mindre betydelse, lägre krigingvikt, då modellen ska anpassa.

Om vissa områden har tätare provtagning kan det vara intressant att skapa en polygon. Polygonen skär ut området och ett eget variogram kan anpassas för dessa punkter (SADA User Guide 2005).

Ett optimalt variogram ska visa ett monotont stigande trend men i verkligheten kan det vara svårt att skapa ett sådant. Om det inte går att justera variogrammet till att visa en någorlunda stigande trend kanske det inte finns någon rumslig korrelation för den aktuella datamängden eller också är sambandet mycket mer komplicerat och når utanför SADAs möjligheter.

För att hitta den riktning som har den lägsta variansen dvs den bästa vinkeln, *Angle*, kan *Rose*-diagrammet vara till hjälp (se figur 14). När *Rose*-diagrammet ritas upp utgår den ifrån de parametrar som redan har ställts in men ritar ett variogram i alla riktningar samtidigt. Bilden blir som en färgglad ros där koncentrationshalterna inom varje lag syns i alla riktningar (SADA User Guide 2005).



Figur 14. *Rose*-diagrammet visar variogram i alla riktningar kring varje provpunkt.

I *Rose*-diagrammet kan man klicka på varje vinkel och få fram dess variogram för att hitta den riktning som har den lägsta semivariansen. Viktigt är också att *range* bör uppnås i variogrammet. Vissa riktningar i området kanske har så pass få provpunkter på en kort sträcka att *range*, eller gränsen för den rumsliga korrelationen, aldrig kan uppnås. Ett variogram i denna riktning kan förvisso ge en låg högsta semivarians men är inte lämplig att användas som bästa riktning.

I och med att de andra inställningarna som *Lag distance* justeras kan förutsättningarna för *Angle* ändras. Kanske är det en annan riktning som visar sig vara bäst då *Lag distance* ökar.

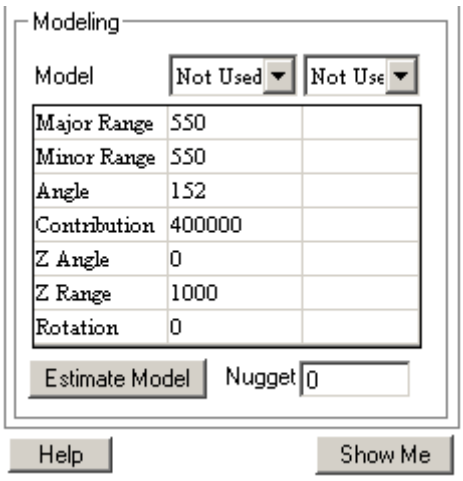
För att enklare kunna avgöra om anistotropi finns eller om en annan riktning ger bättre resultat kan man använda sig av de två riktningarna, *Major* och *Minor*, samtidigt. Överst i fönstret anges om man vill rita upp bara den ena eller båda riktningarna som variogram. När en riktning med låg semivarians hittas kan konens form ändras. Till exempel kan konens vinkel minskas för att skapa en smalare kon. Andra parametrar som kan behöva justeras är de olika toleranserna och *Band*. Att minska *Tol*, både i xy-planet och i z-planet, kan te sig onödigt eftersom vissa punkter då hoppas över. Däremot kan *Band*-bredden minskas då konen inte alltid behöver uppnå en stor bredd för att innefatta intressanta punkter. *Angle* kan i vissa fall minskas eftersom konerna inte alltid behöver vara så breda (SADA User Guide 2005).

Om ingen skillnad finns i de olika riktningarna är förhållandet i området isotropa och den rumsliga korrelationen sträcker sig lika långt i alla riktningar (SADA User Guide 2005).

De fem alifatgruppernas variogram modelleras med samma parametrar då de fem föroreningsgrupperna antas uppföra sig ungefär lika på grund av deras likhet i kemisk uppbyggnad. På samma sätt antas de båda aromatgrupperna uppföra sig lika i marken (Naturvårdsverket & SPI 1998)

Modellvariogrammet

En kurva, som kallas modellvariogrammet, anpassas till de punkter som ritats in i variogrammet (se figur 9). SADA erbjuder tre varianter av modeller: *Spherical*, *Exponential* och *Gaussian*. Som en hjälpfunktion finns en automatisk modellanpassning då SADA själv ritar upp en modell till variogrammet. Inställningarna för modellen kan justeras, men någon funktion för att veta om kurvan är bra anpassad finns inte. Det vanligaste sättet att avgöra vilken modell som passar bäst är helt enkelt visuell anpassning, dvs. att titta på modellerna och avgöra vilken som följer punkterna bäst. För att få ett så stabilt variogram som möjligt, så att en modell kan anpassas utan problem, krävs många provpunkter minst 50st (Kravchenko 2003). För få par ger en kurva utan en tydlig trend. I Helsingborgs hamn finns 66st provpunkter.



Figur 15. Prametrar som anges då modellen skapas.

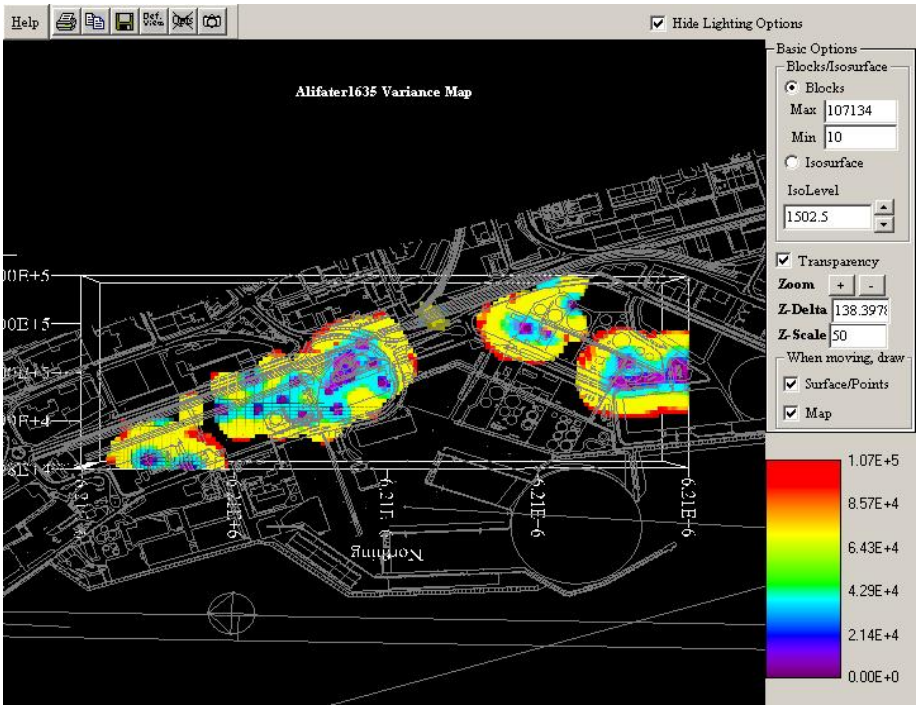
Anpassningen av en modell till variogrammet kan användaren själv göra och de parametrar som ska fyllas i finns under *Correlation modeling* och *Modeling* (se figur 15). Under *Major* och *Minor Range* anges fram till vilket avstånd som variansen ökar. *Angle* sätts till

samma vinkel som i variogrammet. *Contribution* bestämmer på vilken varians som kurvan planar ut, dvs *sill* i variogrammet. *Nugget* som syns under tabellen sätts till den varians där kurvan börjar på y-axeln. De resterande parametrarna ska inte justeras.

Modellen som tas fram används då interpoleringen genomförs. Då viktas varje värde utifrån modellvariogrammet (Delin 2000).

6.3.4 Säkerhet i resultat

Till interpoleringsresultatet för *Ordinary Kriging* kan även en figur över krigingvariansen tas fram, och ur menyn väljs *Variance map* (se figur 16). Då visas krigingvariansen med ett 95% konfidensintervall. *Ordinary Kringing*-metodens styrka sägs vara att den tar hänsyn till variansen för varje interpolerad punkt (SADA User Guide 2005).



Figur 16. *Variance map* visar variansen på interpoleringen med *Ordinary Kriging*-metoden. Enheten är mg/kg TS.

Ett annat sätt att kontrollera sitt resultat på är att göra en s.k. *Cross validation*, korsvalidering (se figur 17), där varje provpunkt tas bort, en i taget, samtidigt som interpolering sker med hjälp av de övriga punkterna. Den borttagna punktens plats får då en koncentration uträknad utifrån de andra provpunkterna och detta resultat jämförs med den borttagna punktens verkliga koncentration. Skillnaden mellan den verkliga koncentrationen och det beräknade värdet visas i bilden och det går att välja att rita ut felet, det absoluta felet eller det procentuella felet. Om interpoleringen ger ungefär samma resultat som det verkliga värdet kan det beräknade värdet antas vara relevant. Denna validering går att genomföra för alla de tre aktuella interpoleringsmetoderna (SADA User Guide 2005).

Figur 17. Här syns *Cross validations*-resultatet med felet utritat. Enheten är mg/kg TS.

7 Resultat

Då de ovan genomgångna inställningarna har optimerats har beräkningar/interpoleringar utförts för de föroreningsgrupper som angavs i kapitel 6.1. Den föroreningsgrupp som används för att visa resultaten i nedanstående kapitel är i de flesta fall Alifater C16-C35 om inget annat anges. Resterande föroreningsgruppers resultat visas i bilaga 2, 3 och 4.

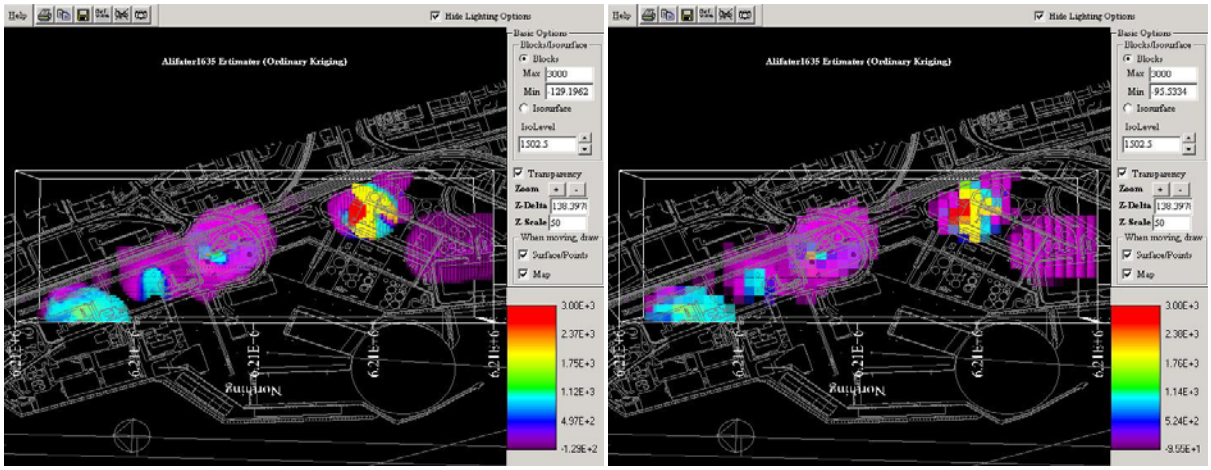
7.1 Grundinställningar

Grundinställningarna redovisas genom att olika inställningars påverkan visas.

7.1.1 Grid

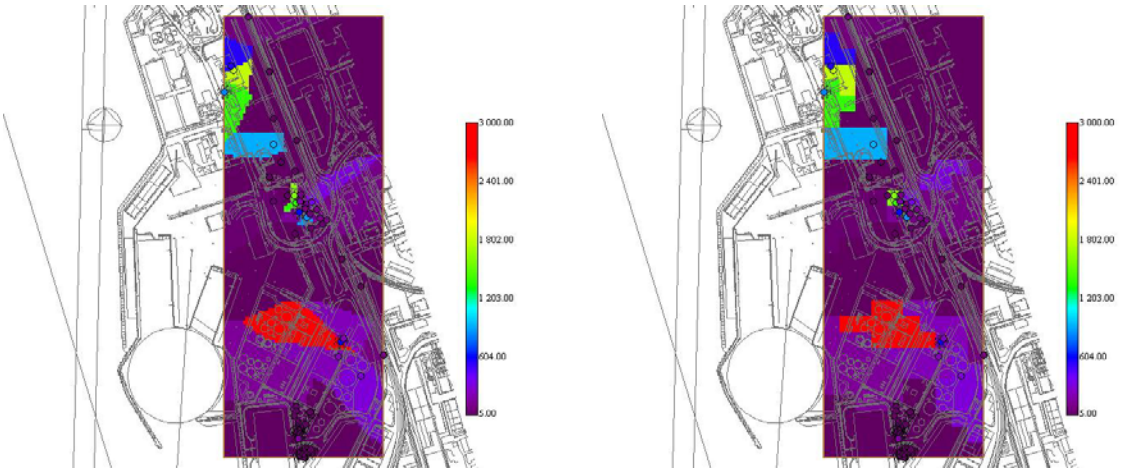
Grid-inställningarna används för alla interpoleringsmetoder. För två av interpoleringsmetoderna, *Ordinary Kriging* och *Nearest Neighbor*, visas två olika *Grid*-storlekar. Interpoleringsmetoden *Inverse Distance* visas inte här då dess resultat påverkas på liknande sätt som *Ordinary Kriging*.

De *Grid*-avstånd som redovisas är 10×10 m och 30×30 m för Alifater C16-C35 med *Ordinary Kriging*. I figurerna 18 och 19 är norr åt vänster i bilden.



Figur 18 och 19. Resultat från interpolering med *Ordinary Kriging* då *Grid*-avståndet är 10x10m i bilden till vänster och 30x30m i bilden till höger. Enheten är mg/kg TS.

Då *Nearest Neighbor*-metoden används är *Grid*-inställningarna de enda inställningar som kan påverka resultatet. Nedan visas två bilder (figur 20 och 21) med *Grid*-inställningar med till vänster 10×10 m och till höger 50×50 m.



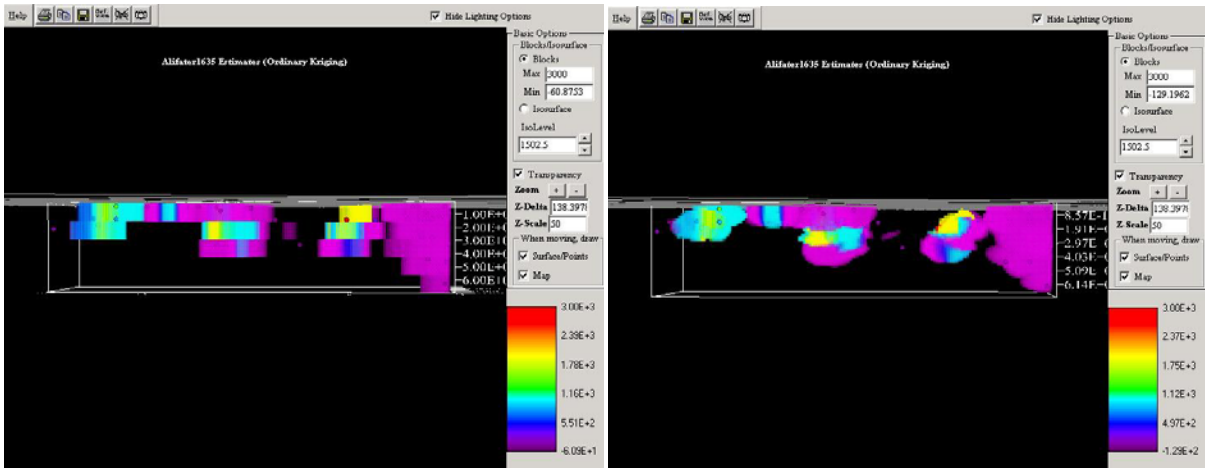
Figur 20 och 21. Resultat från interpolering med *Nearest Neighbor* då *Grid*-avståndet är 10x10m i bilden till vänster och 50x50m i bilden till höger. Enheten är mg/kg TS och norr är uppåt i bilden.

7.1.2 Vertical Layers

De block som skapas då *Grid* och *Vertical layers* delat in området används vid interpolering med

- *Inverse Distance*
- *Ordinary Kriging*

Eftersom skalfaktorn är helt olika mellan xy- och z-planet kan inte tjockleken på de vertikala lagren följa storleken på *Grid*-indelningen. Flera jordprover har tagits i samma borrhål och avstånden mellan proverna på djupet är generellt mycket mindre än avståndet till nästa borrhål. Som standard erbjuds *5 layer*, en vertikal indelning på fem lager som visas nedan till vänster. Egna indelningar på djupet kan göras och i figur 22 visas *5 layer*, medan i figur 23 visas en indelning med 20cm lager.



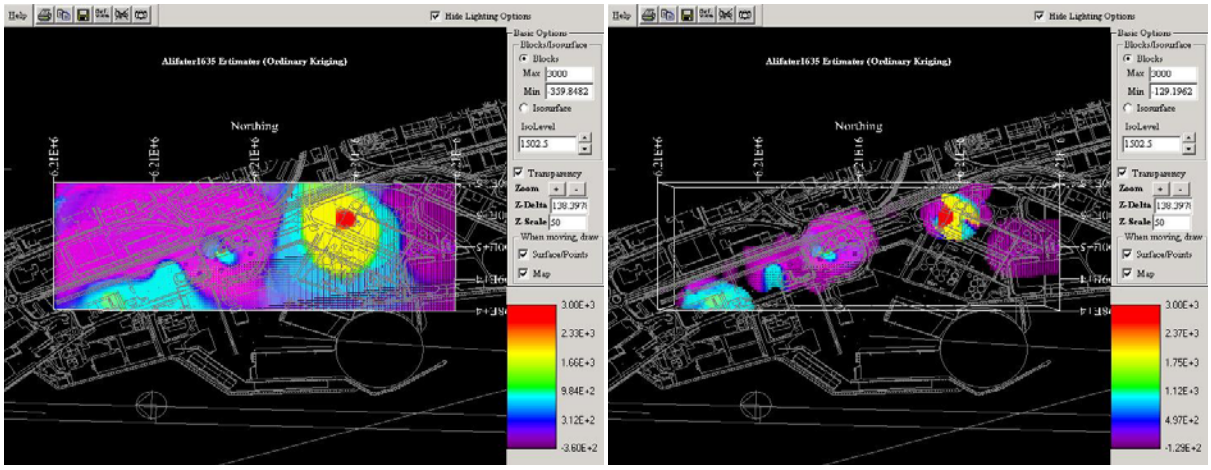
Figur 22 och 23. Interpoleringsresultat med *Ordinary Kriging* då djupet delas in i *5 layer* i bilden till vänster och i 20cm lager i bilden till höger. Enheten är mg/kg TS.

7.1.3 Search Neighborhood

På *Search neighborhood,* sökområde, ställs det område in som interpolationen ska ske över utifrån varje provpunkt vilket används i interpoleringsmetoderna

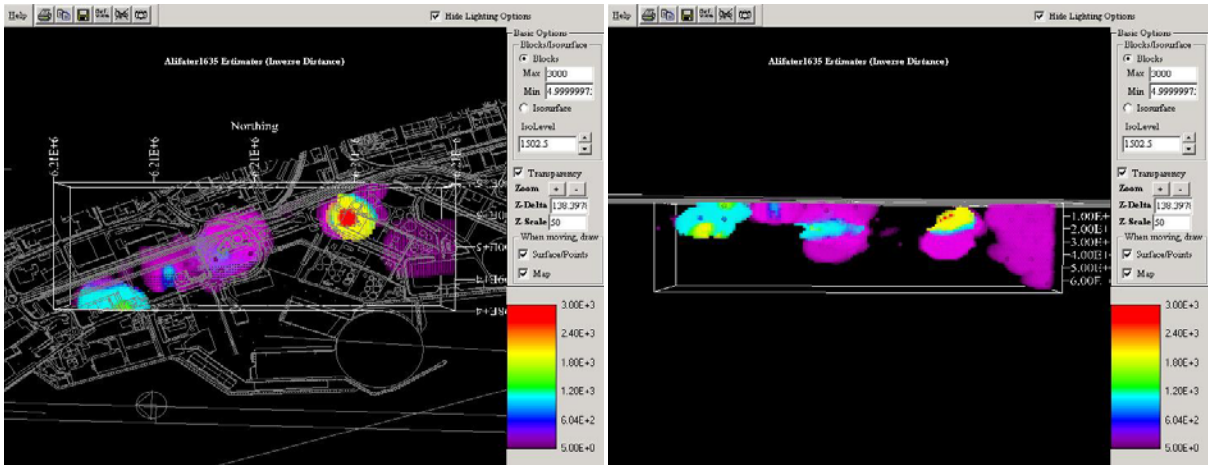
- *Ordinary Kriging*
- *Inverse Distance*

I de inställningar som testats i modellen används hela tiden en helt cirkulär sfär som sträcker sig lika långt i norr och östlig riktning. Däremot sätts inte sfärens sökradie till ett lika långt avstånd på djupet. Avståndet mellan provpunkterna är så mycket större i xy-led än vad det är i z-led och det är dessa proportioner som styr sfärens utsträckning. För tillräckligheten i resultatet bör sökområdet vara så stort som möjligt. Olika värden på *Search neigborhood* har därför testats för att se dess påverkan. Bilden till vänster (figur 24) visar ett *Search neighborhood* område på $500 \times 500 \times 1{,}5$ m och bilden till höger (figur 25) visar $100 \times 100 \times 1{,}5$ m för interpolering med *Ordinary Kriging*.



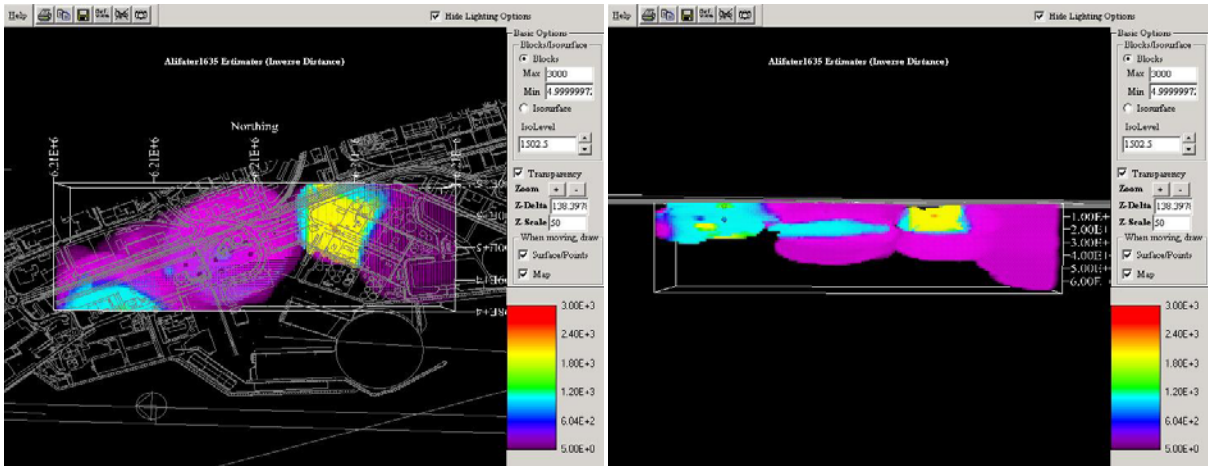
Figur 24 och 25. Interpoleringsresultatet med *Ordinary Kriging*. I bilden till vänster är sökområdet 500x500m och i bilden till höger är sökområdet 100x100m. Enheten är mg/kg TS.

Interpoleringens utseende ändras då *Search neighborhood*-området ändras i de olika riktningarna. Nedan visas bilder över interpoleringsmetoden *Inverse Distance* och olika inställningar på sökområdet. Bilderna nedan till vänster och höger (figur26 och 27) visar $100 \times 100 \times 1{,}5$ m från sidan och från ovan.



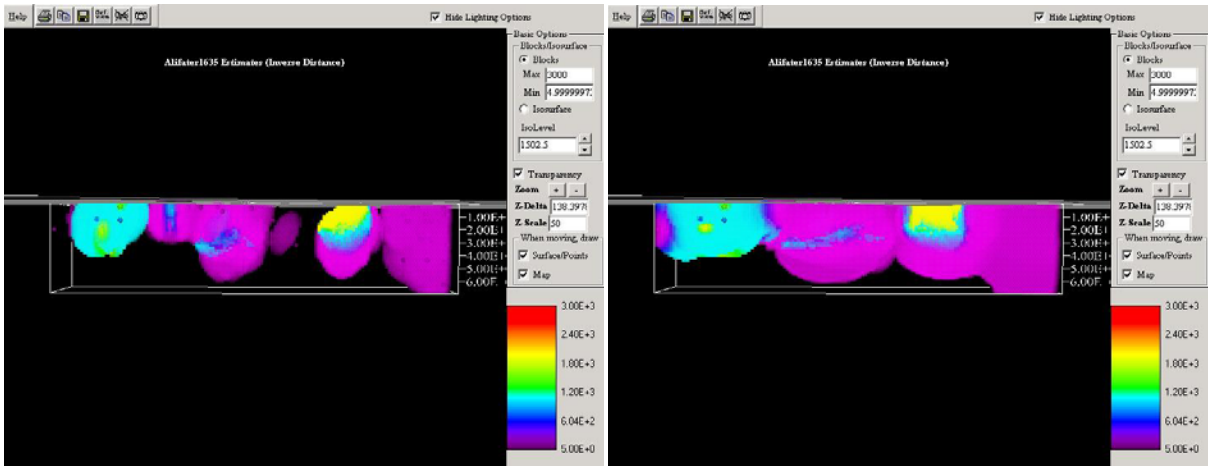
Figur 26 och 27. Interpoleringsresultatet med *Ordinary Kriging*. Bilderna visar sökområdet med inställningen 100x100x1,5m från ovan, till vänster, och från sidan, till höger. Enheten är mg/kg TS.

Då sökområdet ändras till 200×200 m i xy-planet med 1,5m behålls som sökområde i z-led blir resultatet som visas nedan (figur 28 och 29).



Figur 28 och 29. Interpoleringsresultatet med *Ordinary Kriging*. Bilderna visar sökområdet med inställningen 200x200x1,5m från ovan, till vänster, och från sidan, till höger. Enheten är mg/kg TS.

Om istället sökområdet ändras i z-led till 3m och sökområdet i xy-planet behålls på 100×100 m blir resultatet som i figur 30. I den sista bilden (figur 31) visas hur resultatet ser ut då sökområdet sätts till $200 \times 200 \times 3$ m.

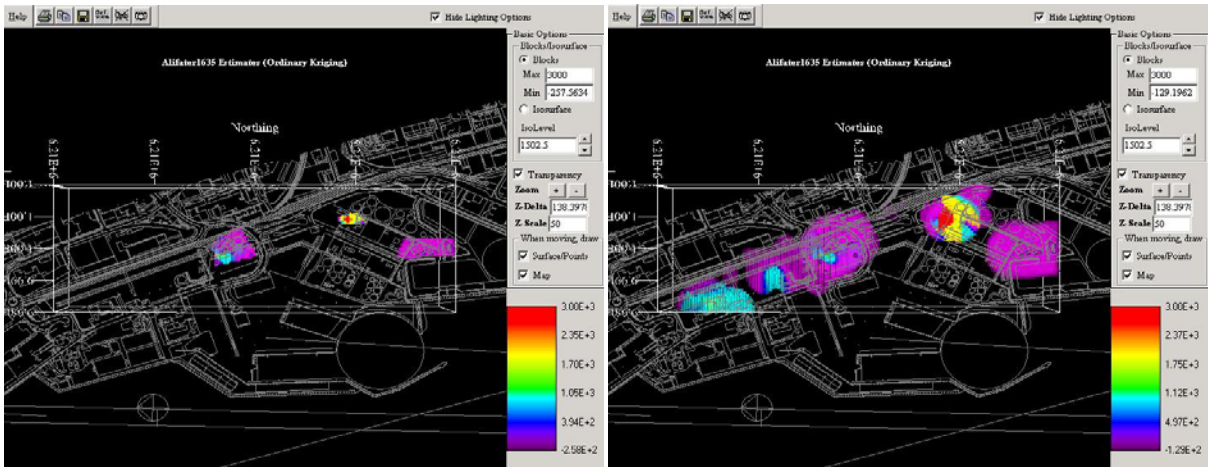


Figur 30 och 31. Interpoleringsresultatet med *Ordinary Kriging*. Bilden till vänster visar sökområdet med inställningen 100x100x3m från sidan. Bilden till höger visar sökområdet med inställningen 200x200x3m från sidan. Enheten är mg/kg TS.

7.1.4 Polygoner

Tanken med att använda polygoner är att rama in intressanta områden för att kunna anpassa inställningar efter polygonens förutsättningar. Områden klipps ut från de resterande provpunkterna och variogram anpassas till endast dessa punkter.

I området Helsingborgs hamn kan tre polygoner ritas in på området där provpunkterna ligger tätt. Då dessa tre polygoner ritats in väljs alternativet att bara data inom polygonerna tas med i beräkningarna, *use only selected data during interpolation*. Variogrammet anpassas då efter de nya förhållandena. Den stora skillnaden blir att Lag Distance kan göras kortare pga mer tätliggande provpunkter. Då modellen anpassats till det nya variogrammet kan en ny interpolering göras med hjälp av *Ordinary Kriging*. Nedan följer en bild (figur 32) över interpoleringen och de parametrar som användes till det anpassade variogrammet.



Figur 32 och 33. Till vänster ses hur interpoleringen blir annorlunda då vissa mindre områden skärs ut som polygoner. Bilden till höger är *Ordinary Kriging* utan polygoner. För att en jämförelse ska kunna göras finns en bild över *Ordinary Kriging* utan polygoner till höger. Enheten är mg/kg TS.

Caption	Major
Lag Number	70
Lag Distance	5
Lag Tolerance	5
Angle	152
Tol	90
Band	100
Dip	0
ZTol	90
ZBand	1000

Tabell 1. Variogrammets inställningar vid användning av polygoner.

Model	Spherical
Major range	60
Minor range	60
Angle	152
Contribution	100000
Z Angle	0
Z Range	1000
Rotation	0
Nugget	0

Tabell 2. Modellvariogrammets inställningar vid användning av polygoner.

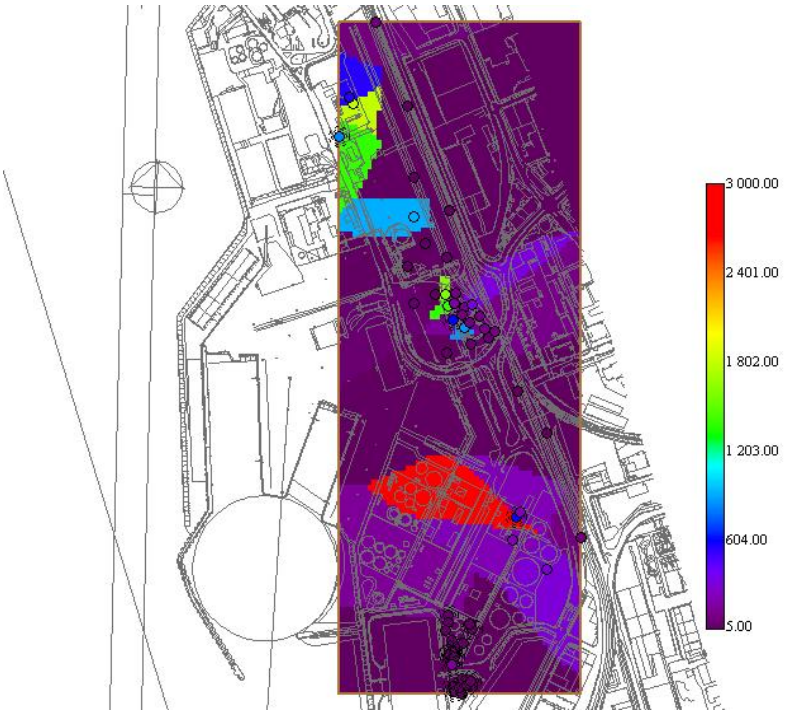
7.2 Interpoleringsmetoder

Efter att grundinställningarna ställts in kan interpolering genomföras och nedan visas de tre interpoleringsmetodernas resultat med respektive grundinställningar.

7.2.1 Nearest Neighbor

Nearest Neighbor-metoden används endast för interpolering i två dimensioner. Den enda inställning som kan påverkas är *Grid*-storleken. Interpoleringen ger ett värde på varje block och skillnaden på olika *Grid*-inställningar syns i resultatets upplösning.
Här används

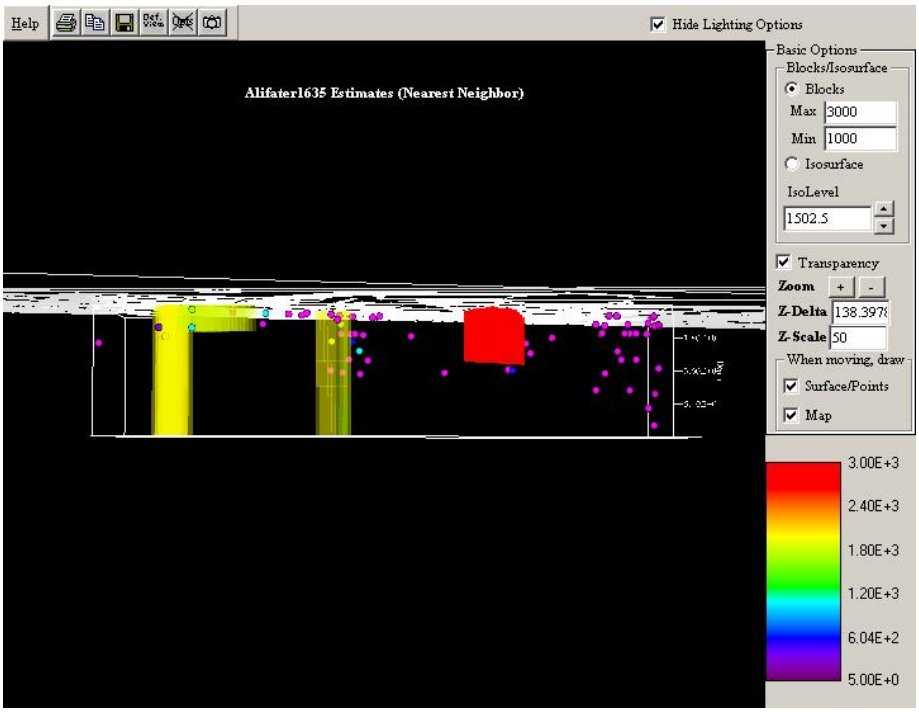
- Grid 10×10 m



Figur 34. *Nearest Neighbor*-metodens bästa resultat med grid-storlek 10x10m. Enheten är mg/kg TS.

Interpoleringen skapar en grov indelning av området (se figur 34) där stora ytor ges samma koncentration. Ett stort område, med halter på 3000 mg/kg TS, interpoleras fram över en yta utan provpunkter där resultatet orsakas av en enda provpunkt i kanten med denna höga koncentration. Resterande föroreningsgrupper finns i bilaga 2.

Det sker en viss interpolering på djupet (se figur 35) men denna interpolering blir inte annorlunda då lagerindelningen ändras och lämpar sig inte för utvärdering.



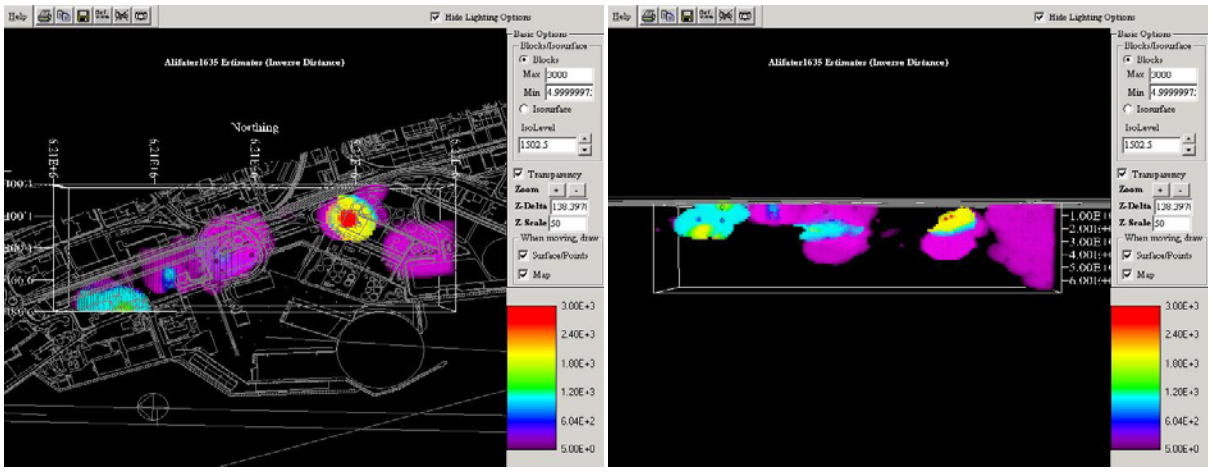
Figur 35. Här syns den interpoleringen på djupet som faktiskt sker med *Nearest Neighbor*. Denna interpolering blir inte bättre då fler lager anges. Bilden visar bara halter över 1000 mg/kg TS som är riktvärdet för Alifater C16-C35. Enheten är mg/kg TS.

7.2.2 Inverse Distance

Vid användning av *Inverse Distance*-metoden behöver endast *Grid*-storleken, *Search neighborhood* och *Vertical layers* anges.

- *Grid* 10×10 m
- *Vertical layers* är 20cm lager från ytan ner till 7m djup.
- *Search neighborhood* är på ytan 100×100 moch 1,5m på djupet.

Interpolering sker på djupet. Nedan visas en bild på interpoleringen ovanifrån och en från sidan (figur 36 och 37) med de bästa inställningarna för den aktuella datamängden. De inställningar som kan påverka interpoleringsresultatet är *Search neighborhood* som visats i kapitel 7.1.3. Resterande föroreningsgrupper finns i bilaga 3.



Figur 36 och 37. Interpolering med *Inverse Distance*-metoden. Enheten är mg/kg TS.

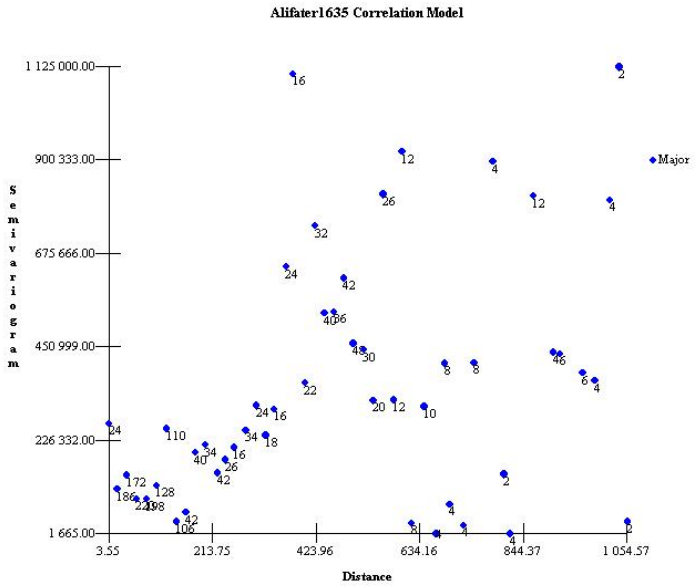
7.2.3 Ordinary Kriging

Till *Ordinary Kriging*-metoden används samma grundinställningar som för de andra interpoleringsmetoderna.

- *Grid* 10×10 m
- *Vertical layers* är 20cm lager från ytan ner till 7m djup.
- *Search neighborhood* är på ytan 100×100 m och 1,5m på djupet.

Interpolering med *Ordinary Kriging* kräver ett fungerande modellvariogram som erhålls först när det experimentella variogrammet är uppritat. Variogrammet (se figur 38) och dess inställningar visas nedan för gruppen Alifater C16-C35. Resterande föroreningsgrupper finns att se i bilaga 4.

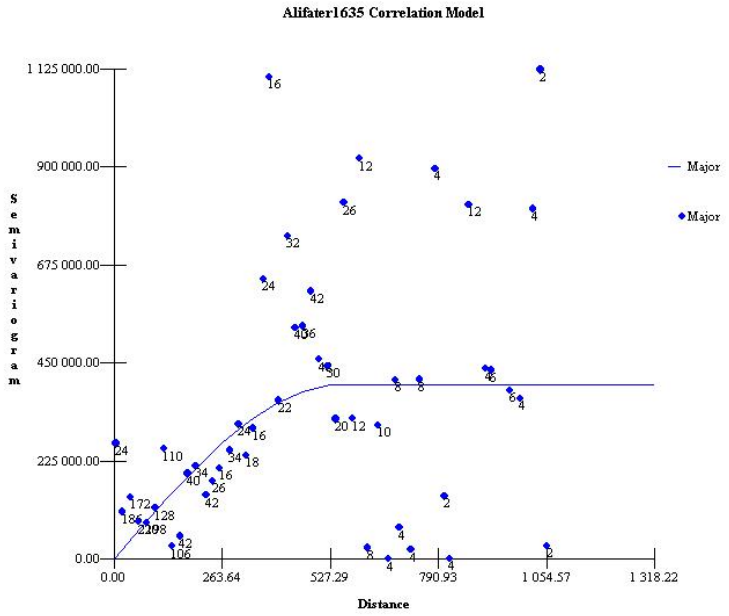
Caption	Major
Lag Number	60
Lag Distance	20
Lag Tolerance	20
Angle	152
Tol	90
Band	100
Dip	0
ZTol	90
ZBand	1000



Tabell 3 och figur 38. Parameterinställningarna för *Ordinary Kriging*, Alifater C16-C35, visas i tabellen till vänster och motsvarande variogram visas i bilden till höger.

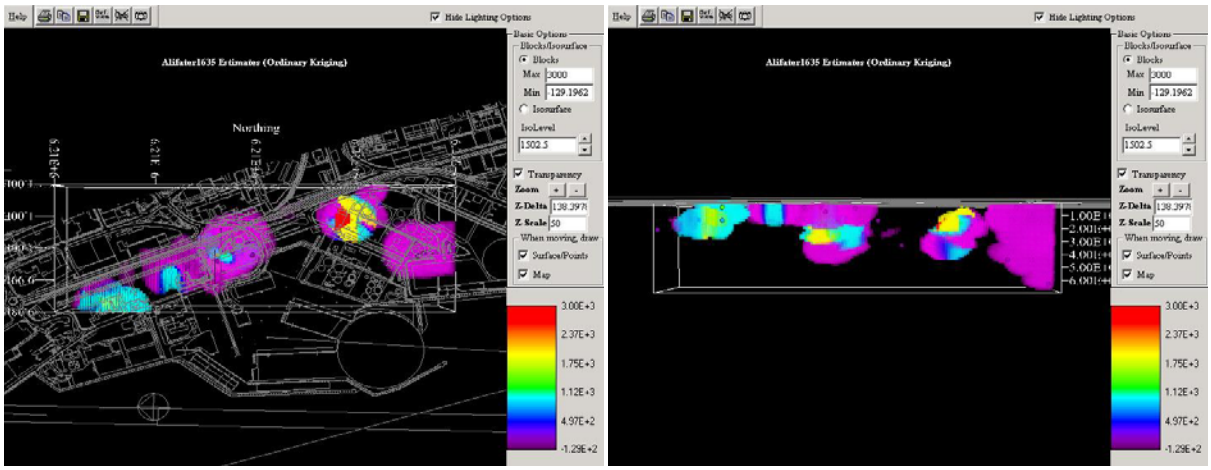
En modell anpassas till det experimentella variogrammet och dess parametrar visas i tabellen nedan. I modellanpassningen används *Spherical* -modellen eftersom den följer punkterna i variogrammet bättre än de andra modellerna (*Gaussian* och *Exponential*). Modellens utseende syns i bilden nedan till höger (figur 39).

Model	Spherical
Major range	550
Minor range	550
Angle	152
Contribution	400000
Z Angle	0
Z Range	1000
Rotation	0
Nugget	0



Tabell 4 och figur 39. Modellvariogrammets inställningar visas i tabellen till vänster och motsvarande modellvariogram till höger.

Utifrån modellen kan sedan interpolering ske och resultatet för Alifater C16-C35 visas i figur 40 och 41.

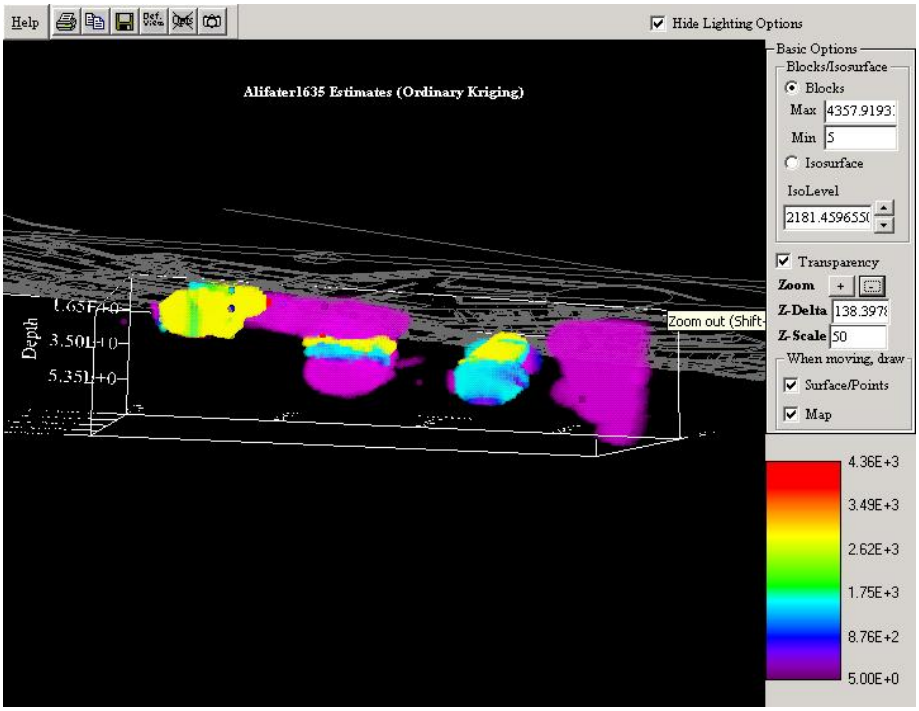


Figur 40 och 41. Resultat från interpolering med *Ordinary Kriging*-metoden. Enheten är mg/kg TS.

De resterande föroreningsgruppernas variogram finns att se i bilaga 4. De olika Alifatgrupperna ges samma inställningar till det experimentella variogrammet då dessa grupper enligt tidigare kapitel anses bete sig lika i marken. Aromatgrupperna får inställningar anpassade efter deras uppförande. Då deras respektive experimentella variogram ritats upp visas varierande resultat på variogrammets form och ett modellvariogram anpassas. Grupperna Alifater C5-C8, Alifater C8-C10 och Aromater C10-C35 ger modellvariogram med höga nugget-värden och flacka kurvor.

7.2.3.1 Fallgropar

I SADA kan en ruta kryssas i då markdata är lognormalfördelade vilket många markparametrar är. Faran med att anta lognormalitet är att resultaten från *Ordinary Krigning* kan blir fel då de framräknade koncentrationshalterna vida överskrider indata.



Figur 42. Resultat med Interpoleringsmetoden *Ordinary Kriging* då datamängden är lognormalfördelad. Enheten är mg/kg TS.

I bilden över krigingen syns på skalan till höger att den högsta koncentrationen som interpolerats fram är 4360 mg/kg TS vilket är betydligt högre än den högsta koncentrationen på indata som är 3000 mg/kg TS. Då olika sökområden testades kunde den högsta koncentrationen bli flera gånger så hög som indata. Att interpoleringen beräknar en högre koncentration än vad som ges i indata kan i vissa fall anses vara rimligt, men att få fram halter så höga som i detta fall är anmärkningsvärt.

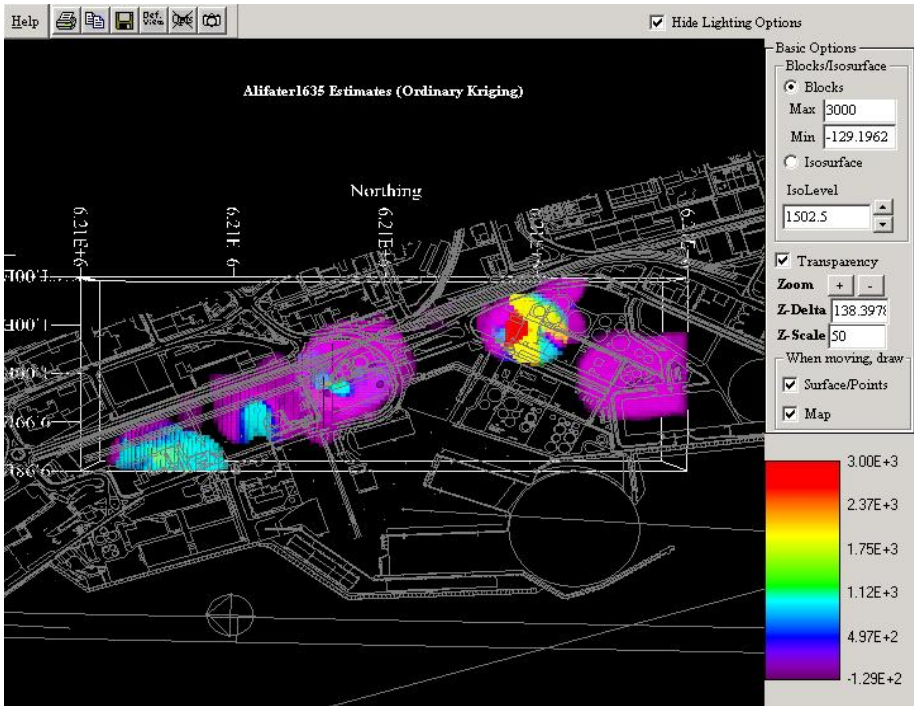
8. Validering av resultat

Vid interpolering mellan data från ett förorenat område blir resultatet aldrig mer tillförlitliga än den data som används. Vid alla sorters modelleringar blir resultatet bara en modell som liknar verkligheten, och metoder för att bedöma tillförlitligheten i resultatet är viktiga. Ovan visade resultat visar att de kan variera betydligt beroende på vilka inställningar som görs i SADA. Flera av interpoleringsmetoderna går att genomföra utan kunskap om inställningarnas betydelse vilket kan leda till att resultatets kvalité kan bli otillräcklig. De parametrar som kan justeras till de mer avancerade interpoleringsmetoderna, *Ordinary Kriging*, påverkar resultatet i olika grad. I interpoleringsmetoden *Ordinary Kriging* finns flera hjälpmedel att tillgå för att bedöma om resultaten är tillförlitliga. Funktionerna är *Variance map* och *Cross validation* och dessa funktioner redovisas nedan.

En äldre undersökning inom aktuellt område, utfört av J&W, används för att jämföra de nu framtagna resultatet med.

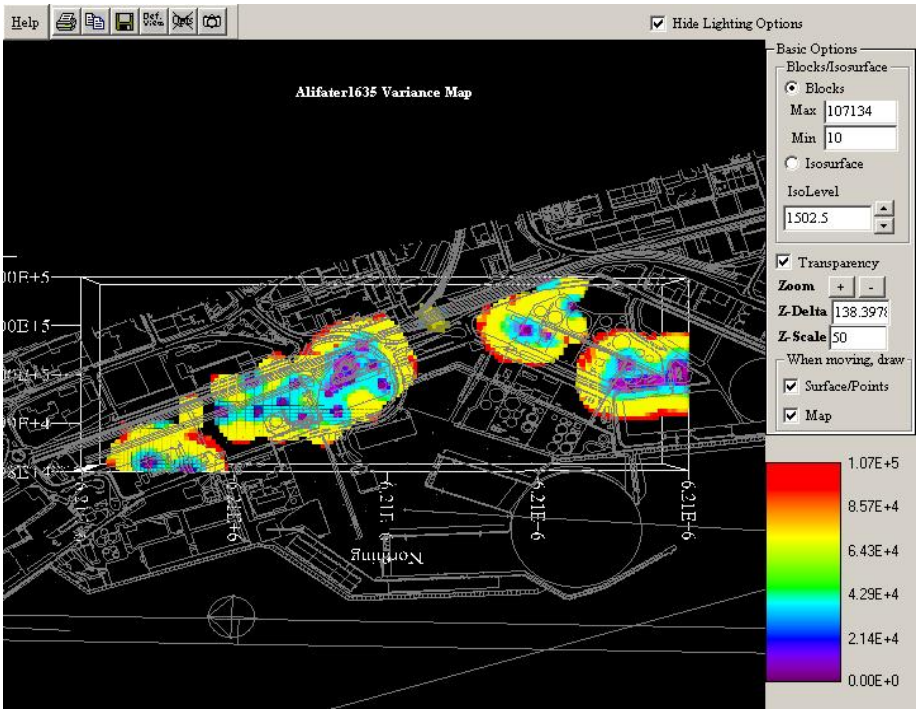
8.1 Variance map

En *Variance map* tas fram till *Ordinary Kriging*-resultatet för varje föroreningsgrupp (se bilaga 5). Nedan visas *Ordinary Kriging* resultatet (se figur 43) för Alifater C16-C35 så att en jämförelse kan göras.



Figur 43. Interpolering med *Ordinary Kriging*. Enhet mg/kg TS.

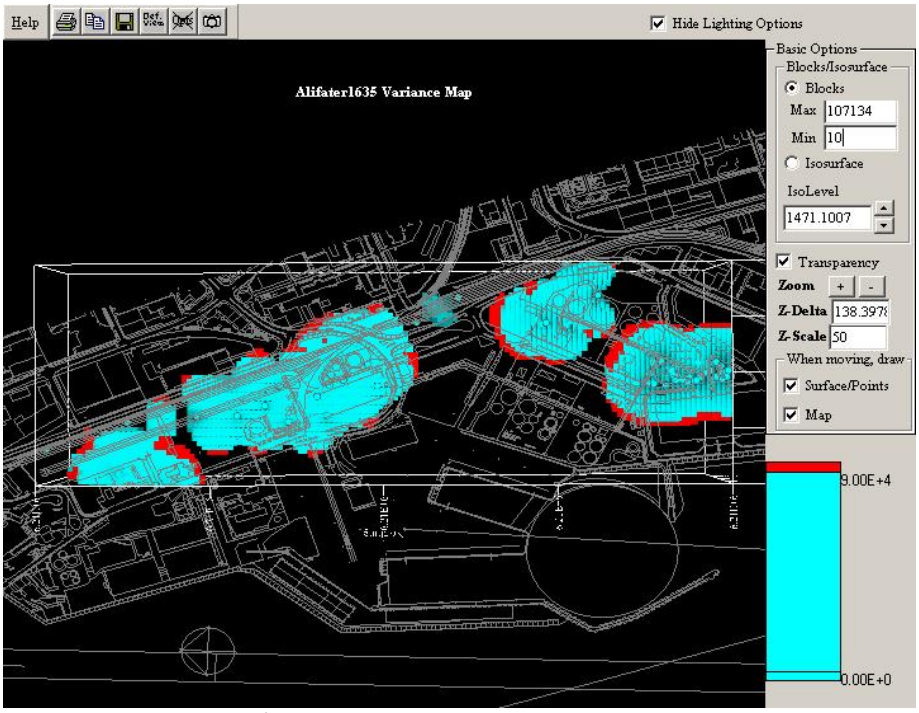
Nedan visas bilden (se figur 44) över varianskartan för Alifater C16-C35.



Figur 44. *Variance map*, varianskartan, för interpoleringsresultatet med *Ordinary Kriging*-metoden. Enheten är mg/kg TS.

Denna varianskarta är framtagen till den slutgiltiga *Ordinary Kriging*-bilden för Alifater C16-C35. Varianskartan visar hur spridningen beräknas till interpoleringen. Det finns skilda åsikter om hur vida krigingvariansen bör användas som validering, då den inte tar hänsyn till provpunkternas värde utan baseras enbart på semivarians och rumsligt beroende (Pilger 2006) (se Ekvation 4, sidan 20), men enligt Pebesma (2006) kan krigingvariansen användas som ett osäkerhetsmått på interpoleringen. I varianskartan visas det 95% konfidensintervallet för krigingvariansen. För att lättare avgöra vilken nivå på variansen som kan tillåtas omvandlas variansen till standardavvikelse.

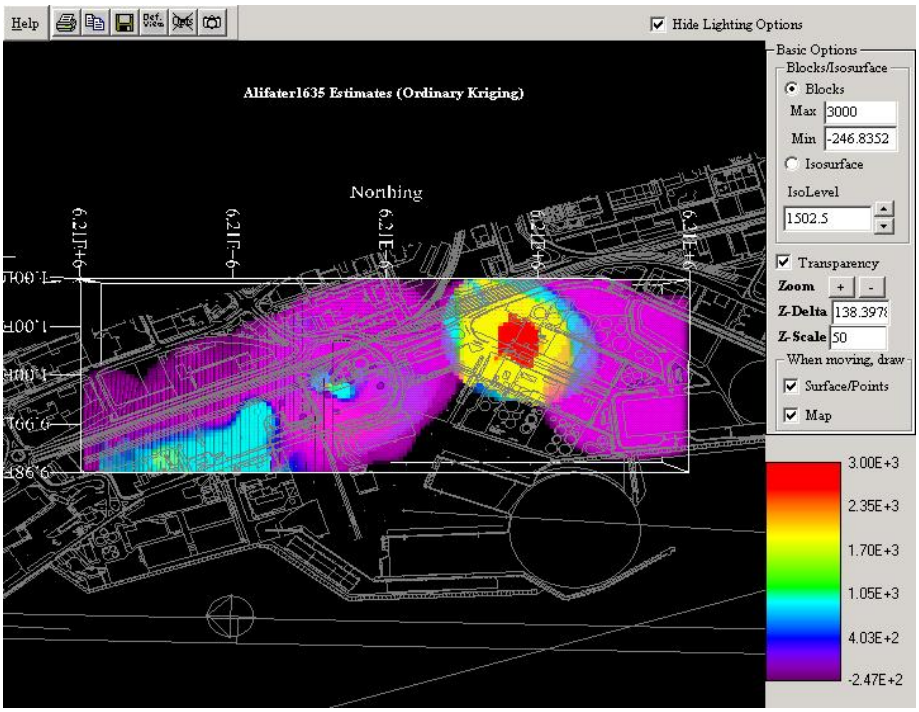
Om en 10% felmarginal kan tillåtas, så som i en studie enligt Bahri, Berndtsson & Jinno (1993), där högsta koncentrationen för Alifater C16-C35 är 3000 mg/kg TS, blir 300 mg/kg TS den största tillåtna avvikelsen. Enligt Delhomme (1978) kan standardavvikelsen användas då krigingvariansen undersöks. Eftersom standardavvikelsen i kvadrat blir variansen, blir den högsta tillåtna variansen (300^2=) 90000 $(mg/kg\ TS)^2$. Då denna gräns visas i skalan i varianskartan (se figur 45), betraktas områden med krigingvarians över denna nivå som områden med för hög interpoleringsosäkerhet.



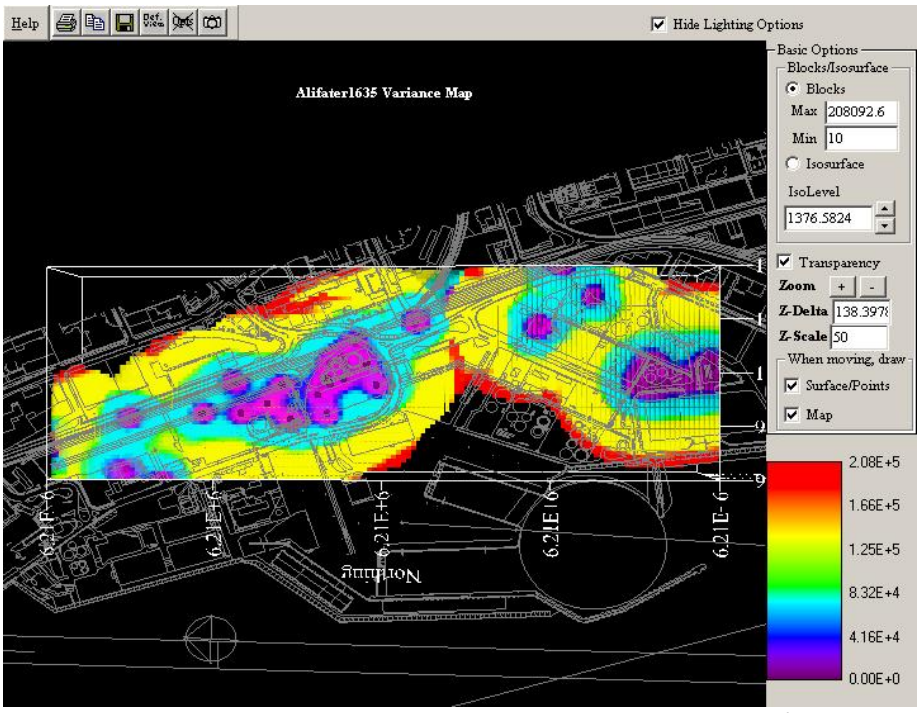
Figur 45. De röda områdena markerar var interpoleringsosäkerheten är för hög. Enheten är mg/kg TS.

Områdena närmst provpunkterna har ingen varians eftersom resultatet efter interpolering ger samma koncentration i provpunkterna som före start. Då enbart punkter inom sökområdet, *Search neighborhood*, tas med vid interpoleringen, är det också bara dessa punkter som beaktas vid framtagandet av krigingvariansen. Områdena längst ut på ”koncentrationsmolnen” har högst varians eftersom semivariansen mellan de kända observationerna, hämtad från modellvariogrammet, är högre pga mindre rumslig korrelation då avståndet mellan dem är längre (se ekvation 4, sidan 20).

För att visa hur variansen kan påverkas, ändras området *Search neighborhood* från 100×100 m till 200×200 m i xy-planet. Resultatet från interpoleringen och varianskartan visas nedan (se figur 46 och 47).

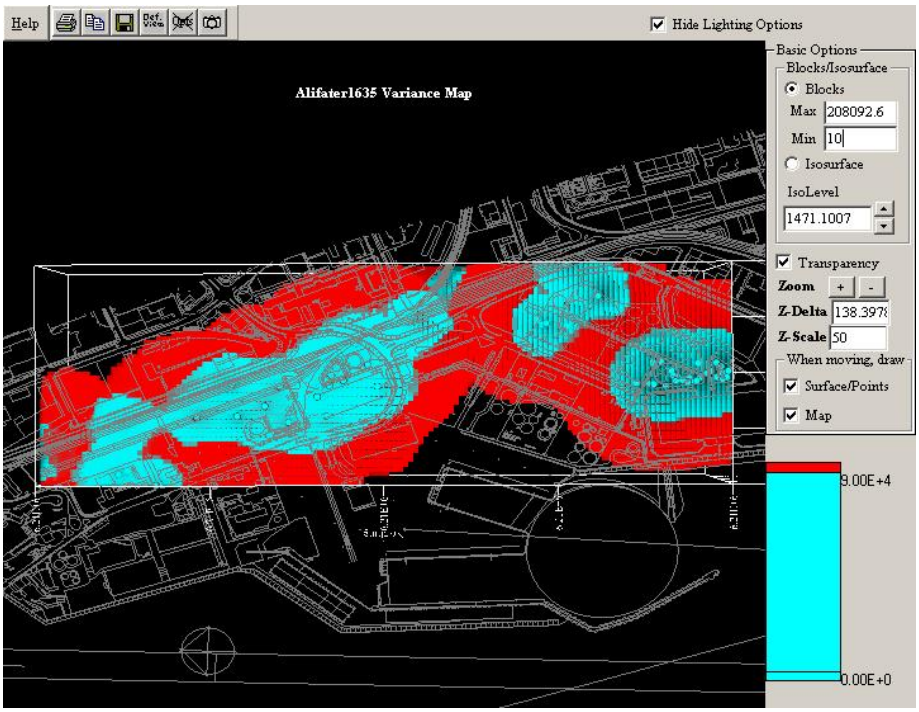


Figur 46. Interpoleringsresultatet från *Ordinary Kriging* på Alifater C16-C35 med ett *Search neighborhood* på 200x200m i xy-planet. Enheten är mg/kg TS.



Figur 47. Varianskartan för interpoleringen med *Ordinary Kriging* då *Search neighborhood* är 200x200m. Enheten är mg/kg TS.

I varians kartan visar skalan att variansen når upp till cirka 200000 $(\text{mg/kg TS})^2$ vilket är dubbelt så högt som i interpoleringen med sökområdet 100×100 m. Om samma gräns för felmarginalen, 10%, visas i varianskartan blir resultatet följande.



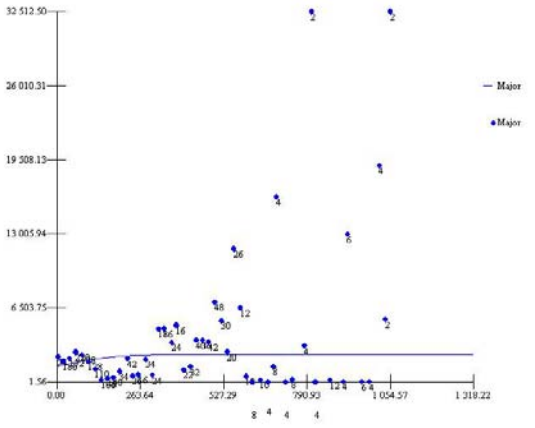
Figur 48. De röda områdena, som visar var interpoleringsosäkerheten är för hög, blir betydligt större då sökområdet utökas under *Search neighborhood*. Enheten är mg/kg TS.

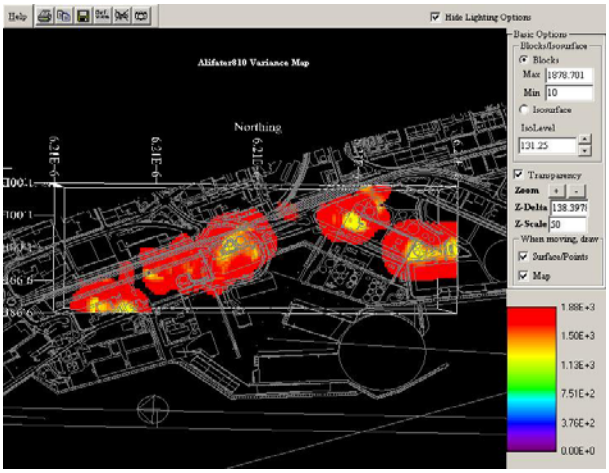
Att ha ett större sökområde ger som interpoleringen visar, ett större resultatområde men det får samtidigt till följd att krigingvariansen för interpoleringen blir betydligt högre och stora områden når över standardavvikelsen på 300 mg/kg TS, som motsvarar en felmarginal på 10%.

Krigingvariansen är beroende av variogrammets utseende och framförallt *nugget*-värdet. Till de föroreningsgrupper där variogrammet har ett modellvariogram med flack lutning till följd av ett högt *nugget*-värde blir skillnaderna på semivariansen mellan olika lags låg. Föroreningsgrupper med flackt variogram är

- Alifater C5-C8
- Alifater C8-C10
- Aromater C10-C35

Detta ger en varianskarta, för dessa tre grupper, med ungefär samma krigingvarians över hela området (se bilaga 5). Variansens skala börjar inte på noll vilket medför att en felmarginal på 10% inte går att använda. Inget område på varianskartan har en lägre krigingvarians än den framräknade 10% felmarginalen. Nedan visas ett exempel på hur modellvariogrammet och varianskartan kan se ut då modellvariogrammet är för flackt, gruppen Alifater C8-C10.

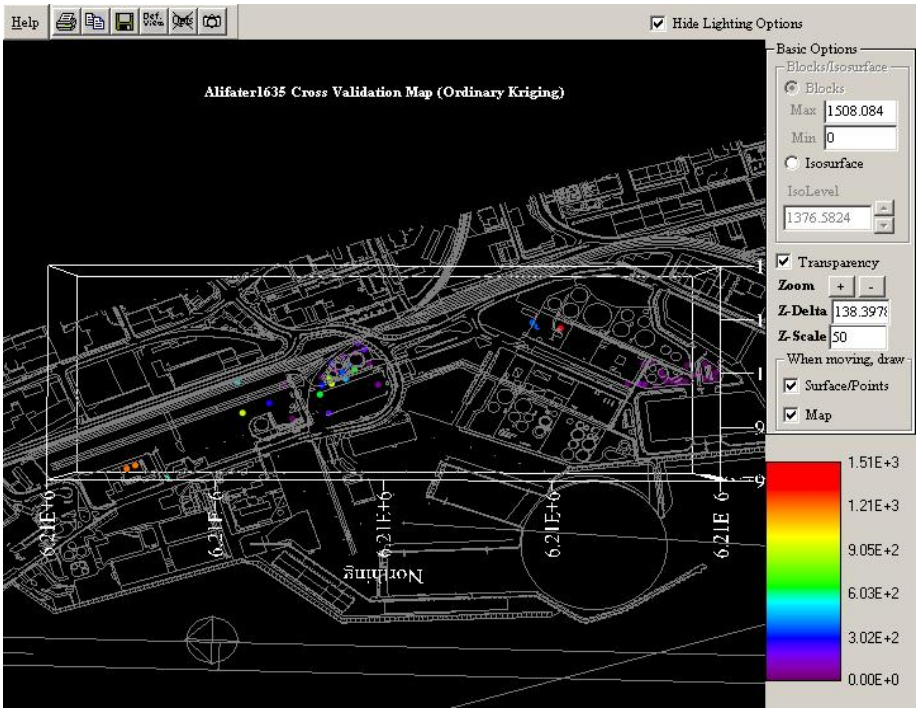




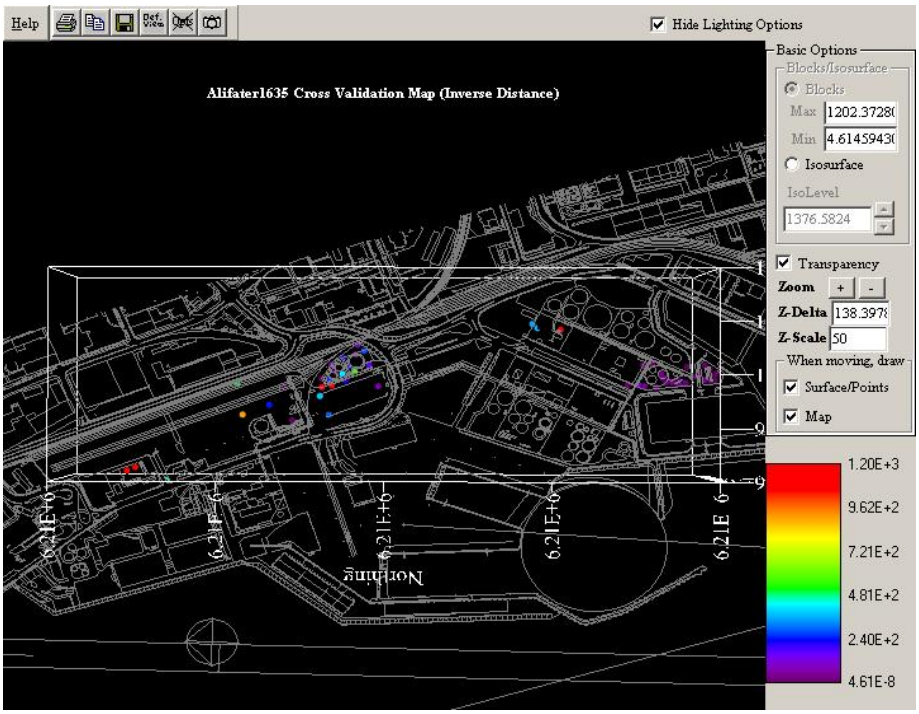
Figur 49 och 50. Modellvariogrammet för Alifater C8-C10 visar en låg lutning på linjen tillsammans med ett högt *nugget*-värdet i bilden till vänster. Detta ger varianskartan till höger som enbart har krigingvarianser högt över 676 (mg/kg TS)^2 som ska motsvara en felmarginal på 10%. Enheten är mg/kg TS.

8.2 Cross validation

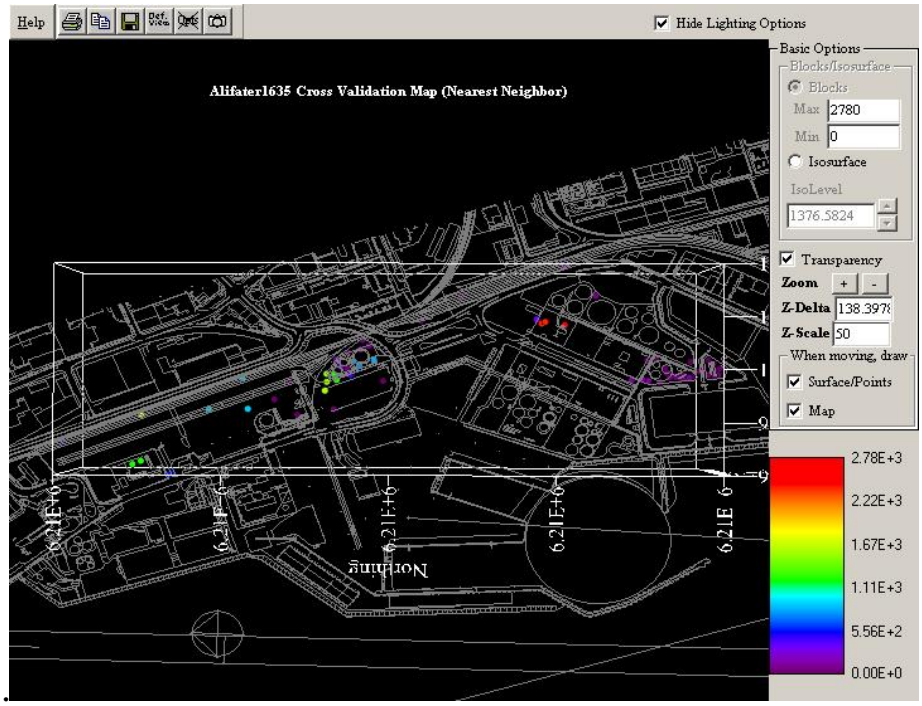
Korsvalidering, *Cross validation*, går att genomföra för alla interpoleringsmetoder och visar vad interpoleringen skulle ha gett för värde till en provpunkt om den togs bort. Det fel som räknas fram kan visas på olika sätt och i bilderna som följer visas det ”absoluta felet”. En *Cross validation*-bild för varje interpoleringsmetod för Alifater C16-C35 tas fram.



Figur 51. Det absoluta felet då *Ordinary Kriging*-metoden används. Enheten är mg/kg TS.



Figur 52. Det absoluta felet då metoden *Inverse Distance* används. Enheten är mg/kg TS.



Figur 53. Det absoluta felet då metoden *Nearest Neighbor* används. Enheten är mg/kg TS.

För varje föroreningsgrupp genomförs korsvalideringen för de tre interpoleringsmetoderna och bilderna kan ses i bilaga 7. Nedan visas en tabell med det absoluta felet för varje metod.

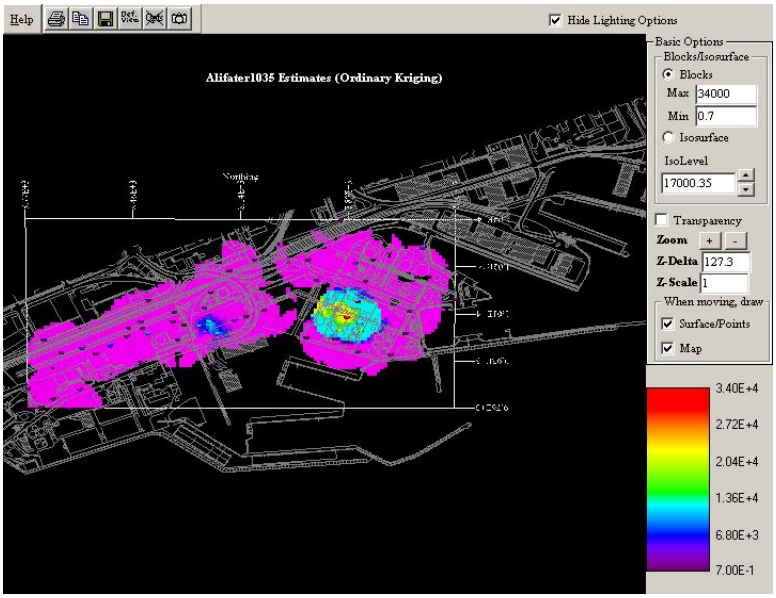
	Det absoluta medelfelet för interpoleringsmetoderna (mg/kg TS)		
Grupp	**Ordinary Kriging**	**Inverse Distance**	**Nearest Neighbor**
Alifater C5-C8	7	**6**	9
Alifater C8-C10	**20**	21	37
Alifater C10-C12	**50**	67	118
Alifater C12-C16	**228**	236	470
Alifater C16-C35	207	**192**	442
Aromater C8-C10	168	**151**	244
Aromater C10-C35	35	**34**	168

Tabell 5. Den metod som ger det lägsta medelfelet för varje metod är markerat med fetstil.

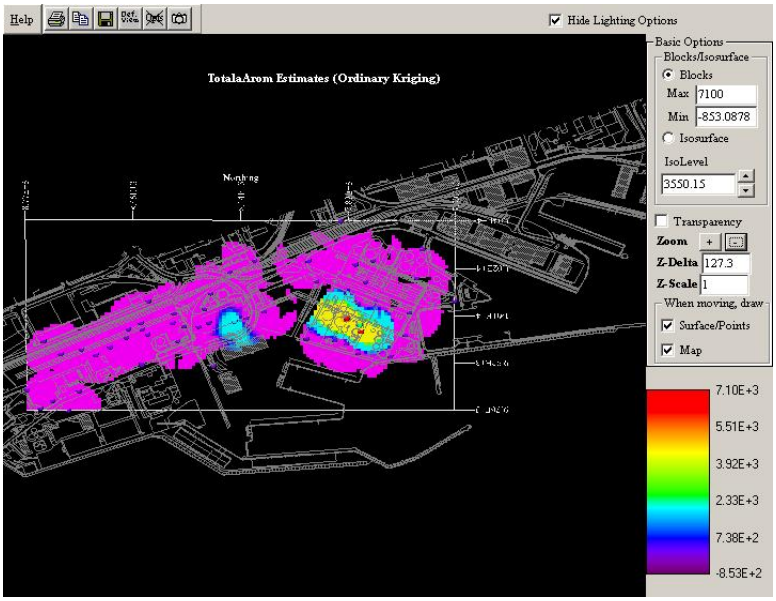
Interpoleringsmetoderna *Ordinary Kriging* och *Inverse Distance* får, för alla grupper, ungefär lika höga medelfel. *Nearest Neighbor*-metoden får däremot högst medelfel för alla grupper.

8.3 J&W

I en tidigare undersökning som genomförts av J&W finns 51st undersökta i Helsingborgs hamn. Jordanalysen av provpunkterna har en annorlunda indelning på alifater och aromater än de data som sedan har undersökts och behandlas därför separat. En fil skapades för *Alifater C10-C35* och en fil för *Totala aromater* enligt undersökningens benämningar. Samma grundinställningar som tidigare används, dock saknas djupangivelser för provtagningarna. Alla de tre interpoleringsmetoderna används på J&W-punkterna och respektive variogram och interpoleringsbild visas i bilaga 2,3 och 4. Nedan visas *Ordinary Kriging*-metodens resultat för båda föroreningsgrupperna.



Figur 54. *Ordinary Kriging*-resultatet för *Alifater C10-C35*. Enheten är mg/kg TS.



Figur 55. *Ordinary Kriging*-resultatet för *Totala Aromater*. Enheten är mg/kg TS.

9 Tillämpning

När föroreningsbilderna är framtagna och validerade kan en utvärdering av föroreningsnivåerna genomföras. Genom att använda de framtagna riktvärdena och koppla samman förorenade områden men rådande geologi och hydrogeologiska förhållanden är det möjligt att skapa en samlad bild över området i Helsingborgs hamn.

9.1 Riktvärden och platsspecifika riktvärden

Naturvårdsverket kom 1998 ut med en rapport ”Förslag till riktvärden för förorenade bensinstationer” (Rapport 4889) Naturvårdsverket 1997 slutit ett avtal med SPI och Svenska Kommunförbundet där de svenska oljebolagen, genom sitt bolag SPIMFAB, åtagit sig att undersöka och sanera gamla bensinstationer. Riktvärden som används vid utredning av förekommande föroreningar i Helsingborgs hamn fås från denna rapport. I rapporten finns riktvärden framtagna för de ämnen som man förmodar oftast medför de största riskerna för människor på bensinstationer. Riktvärden är den nivå som ”bör underskridas för att undvika risk för oönskade effekter”. Riktvärdena i rapporten är branschspecifika vilket innebär att de är framtagna för att passa ett tänkt branschtypiskt objekt.

Det finns olika nivåer för riktvärdena baserat på vilket användningsområde marken har. Om marken utnyttjas av människor om bostadsområde måste lägre gränser för riktvärden förekomma jämfört med mark som används för till exempel industriverksamhet. Det finns riktvärden framtagna för KM (känslig markanvändning), MKM GV (mindre känslig markanvändning med grundvattenskydd), MKM (mindre känslig markanvändning), Park (Parkmark) och MLU (mark med litet utnyttjande).

Vad gäller Helsingborgs hamn betraktas området som MKM och mark som klassas som MKM kan användas till kontor, industrier eller vägar och de exponerade grupperna kan vara människor som arbetar inom området och barn som tillfälligt vistas där.

För vissa föroreningsgrupper finns flera riktvärden beroende på vilken jordartstyp marken har och på vilket djup föroreningen befinner sig. För Helsingborgs hamn används riktvärdet för genomsläppliga jordar. Samma riktvärde används för alla provtagningsdjup för just dessa föroreningar. Längre ner följer en tabell över de riktvärden som gäller för alifater och aromater.

Eftersom riktvärden ofta är satta med försiktighet kan det för vissa områden vara intressant med platsspecifika riktvärden. Helsingborgs hamn är ett område som är inhägnat och inte öppet för allmänheten. Stora delar av området är asfalterade eller består av annan hårdgjordyta och området används idag huvudsakligen till omlastning och förvaring av containers. Till den utredning som Tyréns AB (Kockum & Wäborg 2007) har gjort för området har platsspecifika riktvärden tagits fram som förslag att användas vid bedömning av föroreningshalter. Generellt kan sägas att de framräknade platsspecifika riktvärdena tillåter en högre koncentration av alifater och aromater i marken än Naturvårdsverkets riktvärden. Nedan följer en tabell med halterna (Naturvårdsverket & SPI 1998).

Markanvändning/ Jordart		**Riktvärde för MKM** (mg/kg TS)	**Platsspecifika riktvärden** (mg(kg TS)
Alifater >C5-C8		**200**	**600**
Alifater>C8-C10	normaltäta	350	
	täta	500	
	genomsläppliga	**35**	**830**
Alifater >C10-C12	normaltäta, täta	500	
	genomsläppliga	**120**	**1500**
Alifater >C12-C16		**500**	**1500**
Alifater >C16-C35		**1000**	**3000**
Aromater >C8-C10	normaltäta, täta	200	
	genomsläppliga	**30**	**180**
Aromater >C10-C35		**40**	**120**

Tabell 6. Riktvärde och Platsspecifikt riktvärde för de olika föroreningsgrupperna. Det fetmarkerade värdet används.

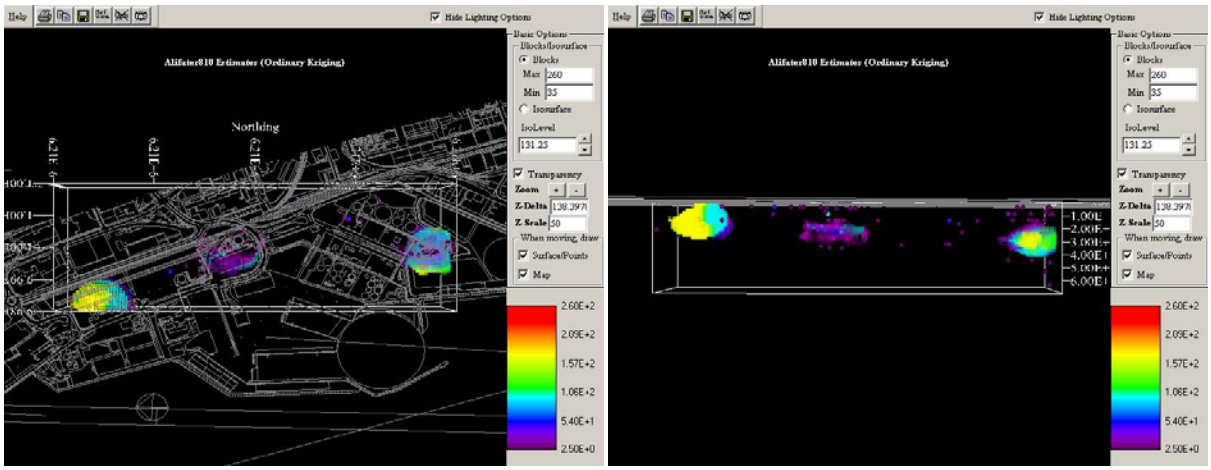
9.2 Jämförelse med Riktvärden

Både de riktvärden som Naturvårdsverket föreslår för MKM och de framtagna platsspecifika riktvärdena jämförs med de framtagna halterna från interpoleringen. Då de platsspecifika riktvärdena används visas vilka områden som överskrider föreslaget riktvärde men även Naturvårdsverkets riktvärden kan användas för att visa i vilka områden som höga halter förekommer. Dessa riktvärden används för att sortera ut de områden som har halter över riktvärdena. Bilden ändras enkelt i visningsfönstret där riktvärdet skrivs in som minimum-värde för de block som ska visas.

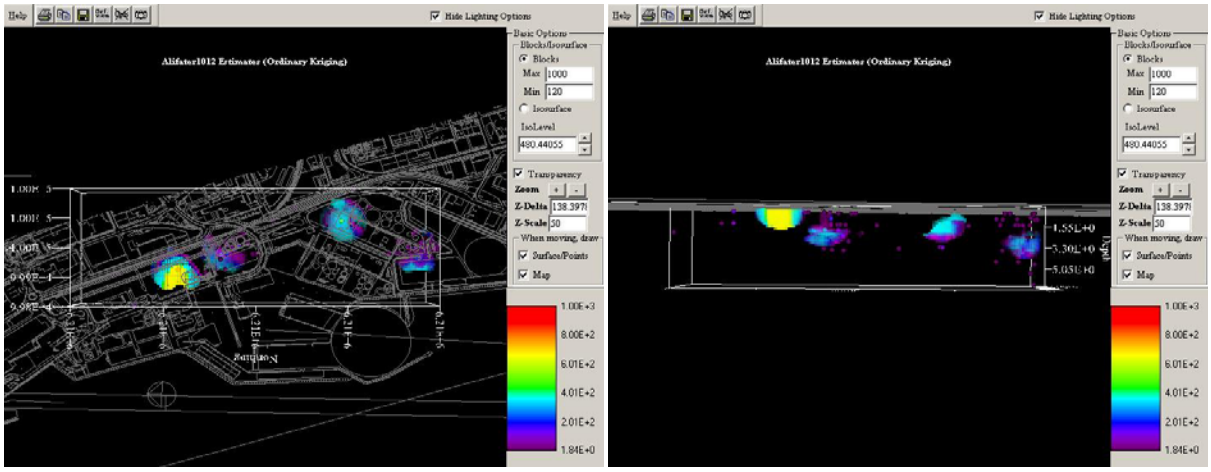
9.2.1 Överskrider riktvärdet

Resultaten från *Ordinary Kriging*-metoden används då områden med halter över riktvärdena skärs ut (se tabell 6). Gruppen Alifater C5-C8 överskrider inte riktvärdet och tas därför inte med här. Nedanstående grupper överskrider riktvärdet och respektive interpoleringsresultat visas nedan.

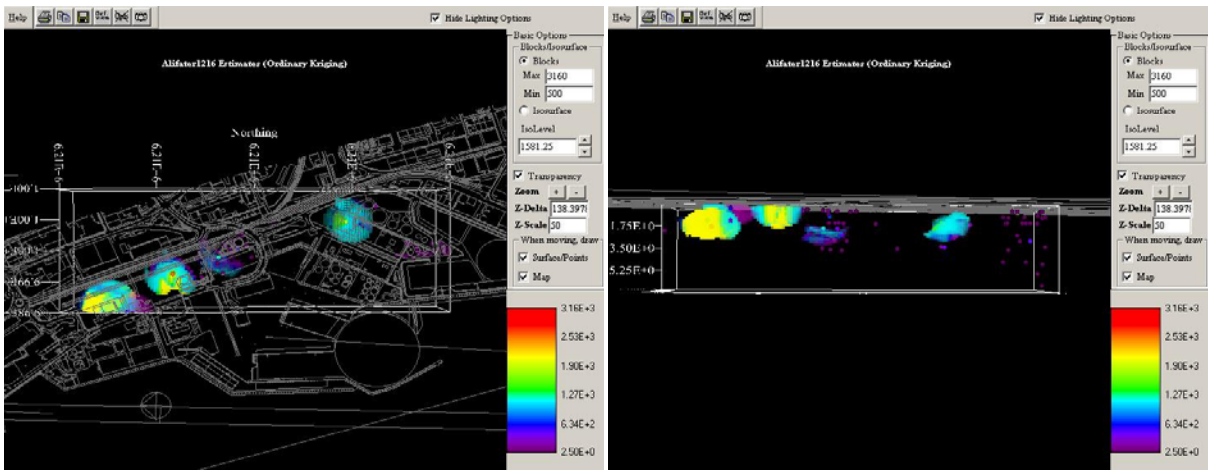
- Alifater C8-C10
- Alifater C10-C12
- Alifater C12-C16
- Alifater C16-C35
- Aromater C8-C10
- Aromater C10-C35



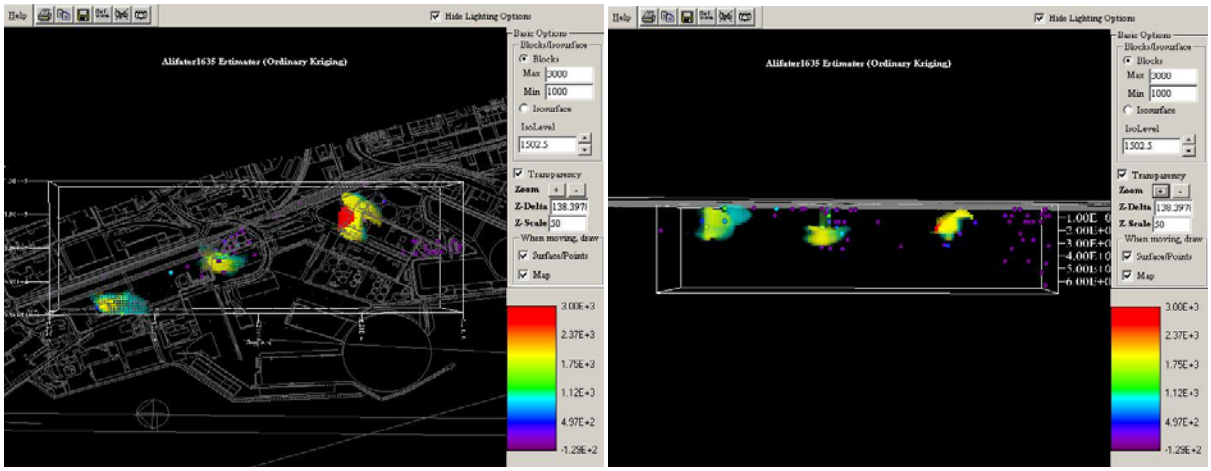
Figur 56 och 57. Alifater C8-C10 då områden med halter över 35 mg/kg TS skärs ut. Bilden till vänster visar området från ovan och bilden till höger visar från sidan. Enheten är mg/kg TS.



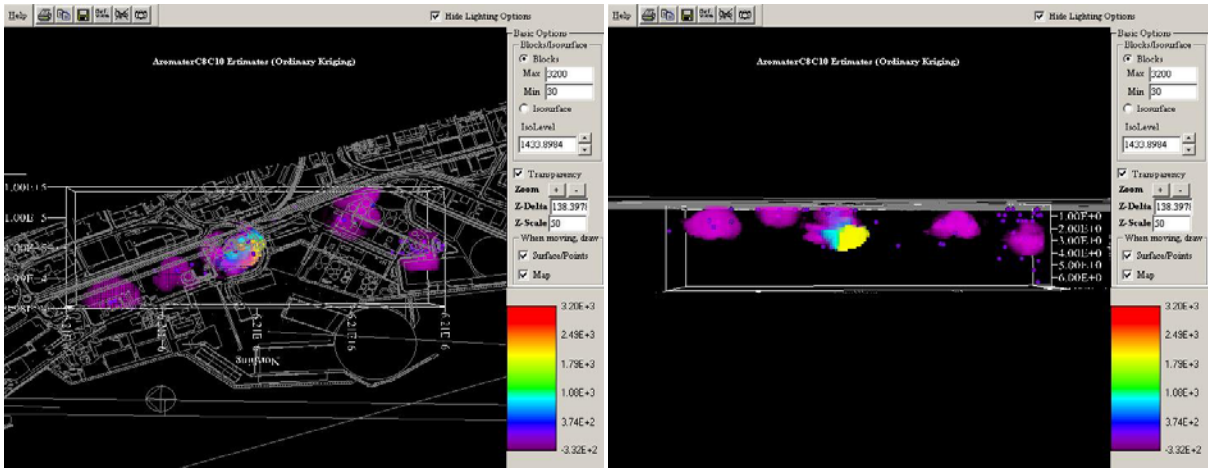
Figur 58 och 59. Alifater C10-C12 då områden med halter över 120 mg/kg TS skärs ut. Bilden till vänster visar området från ovan och bilden till höger visar från sidan. Enheten är mg/kg TS.



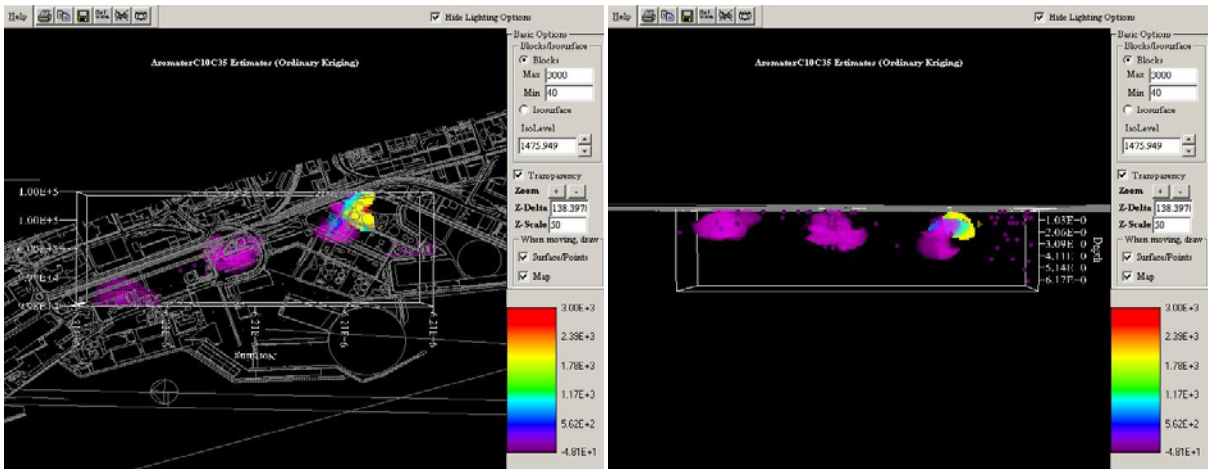
Figur 60 och 61. Alifater C12-C16 då områden med halter över 500 mg/kg TS skärs ut. Bilden till vänster visar området från ovan och bilden till höger visar från sidan. Enheten är mg/kg TS.



Figur 62 och 63. Alifater C16-C35 då områden med halter över 1000 mg/kg TS skärs ut. Bilden till vänster visar området från ovan och bilden till höger visar från sidan. Enheten är mg/kg TS.



Figur 64 och 65. Aromater C8-C10 då områden med halter över 30 mg/kg TS skärs ut. Bilden till vänster visar området från ovan och bilden till höger visar från sidan. Enheten är mg/kg TS.



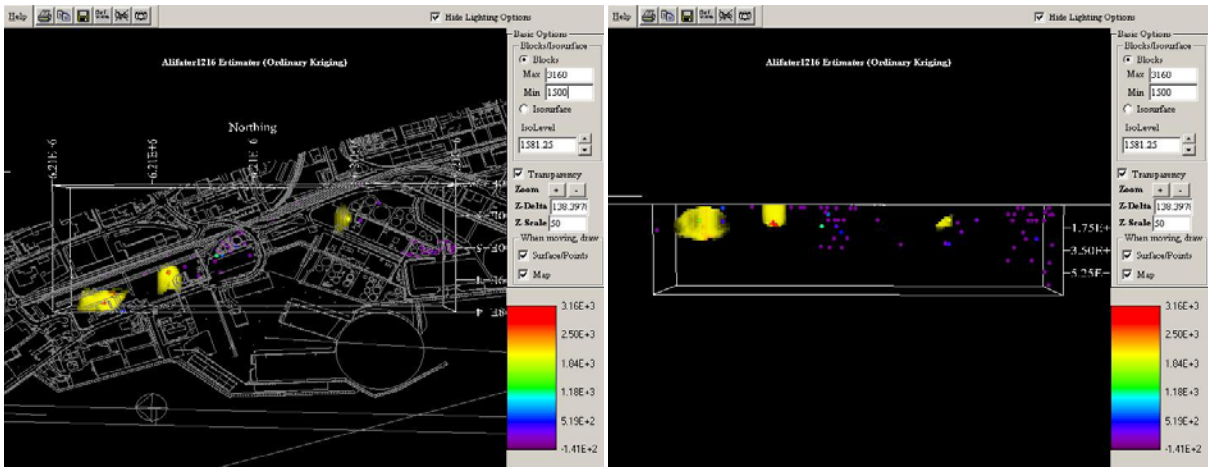
Figur 66 och 67. Aromater C10-C35 då områden med halter över 40 mg/kg TS skärs ut. Bilden till vänster visar området från ovan och bilden till höger visar från sidan. Enheten är mg/kg TS.

En samlad bild över alla föroreningars utbredning i xy-planet visas i bilaga 6.

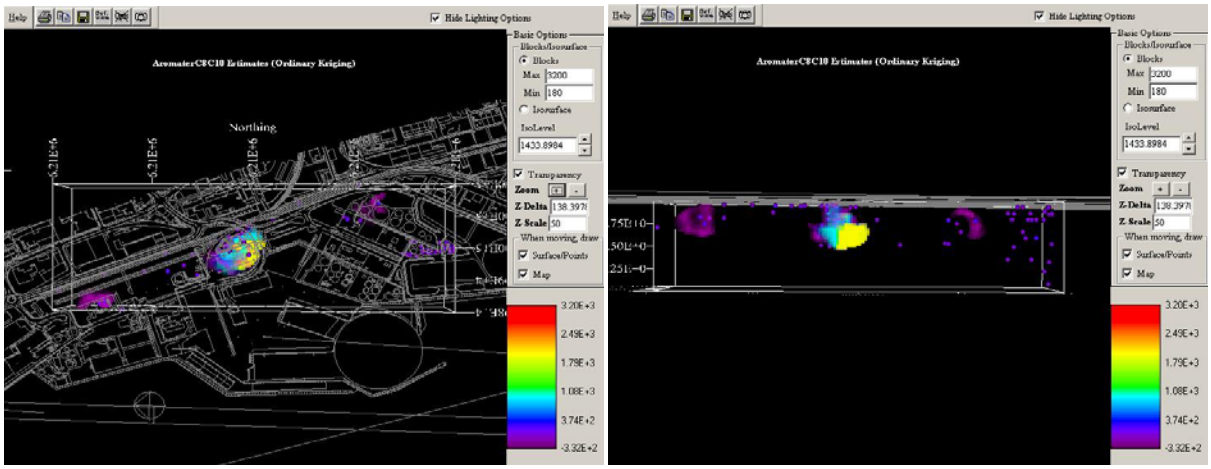
9.2.2 Överskrider platsspecifikt riktvärde

Nedan visas föroreningsgrupperna med *Ordinary Kriging*-metoden och de områden där halterna överskrider de platsspecifika riktvärdena. De grupper som har halter som överskrider de platsspecifika riktvärdena är

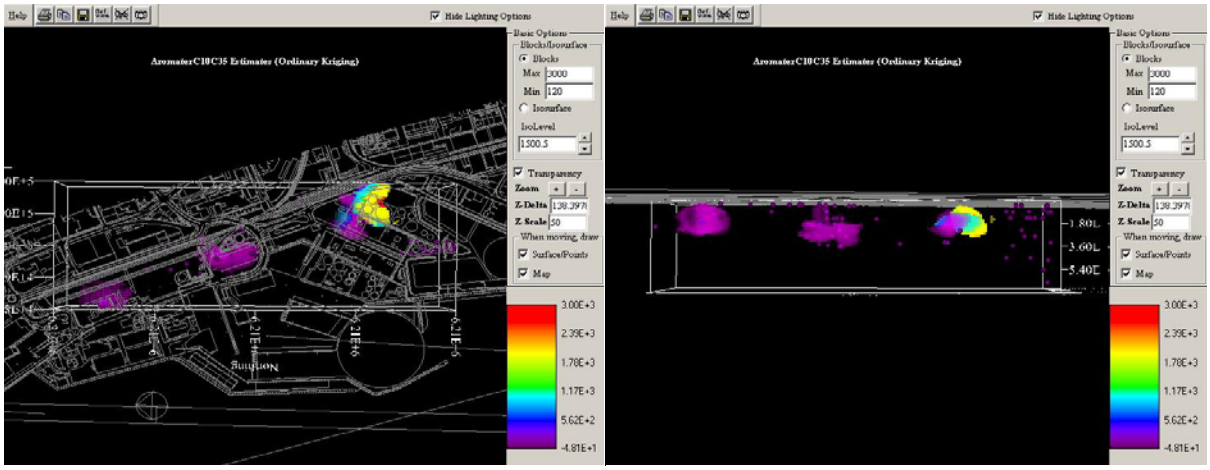
- Alifater C12-C16
- Aromater C8-C10
- Aromater C10-C35



Figur 68 och 69. Alifater C12-C16 där färgade områden överskrider det platsspecifika riktvärdet på 1500 mg/kg TS. Bilden till vänster visar området från ovan och bilden till höger visar från sidan. Enheten är mg/kg TS.



Figur 70 och 71. Aromater C8-C10 där färgade områden överskrider det platsspecifika riktvärdet på 180 mg/kg TS. Bilden till vänster visar området från ovan och bilden till höger visar från sidan. Enheten är mg/kg TS.



Figur 72 och 73. Aromater C10-C35 där färgade områden överskrider det platsspecifika riktvärdet på 120 mg/kg TS. Bilden till vänster visar området från ovan och bilden till höger visar från sidan. Enheten är mg/kg TS.

En samlad bild över alla föroreningar som överskrider det platsspecifika riktvärdet visas i bilaga 8 tillsammans med områden där J&W- undersökningen hittat höga halter

9.3 Samband geologi

De tredimensionella bilderna som fås från SADA kan användas för att göra en jämförelse med rådande geologi och hydrogeologi i området.

9.3.1 Geologi

Helsingborgs hamns övre skikt består till stor del av fyllnadsmaterial. Efterhand som hamnen byggts ut har fyllnadsmaterial byggt ut området och flyttat strandlinjen från strax innanför dagens hamnområde, vid slutet av 1700-talet, till dagens sträckning. Fyllnadsmaterialet i de norra delarna, som till stor del består av avfall från industrier i Helsingborg med inslag av slagg, aska och tegel, lades ovan på havsbotten, som bestod av sand, och fyllningen har en mäktighet på mellan 2-4 m. Fyllningen i de västra delarna av Södra Oljehamnen anses vara mindre förorenad och består mest av sand och grusig sand. Dock förekommer det slagg och tegel på några ställen.

Sanden innehåller skikt av gyttjig lera och under denna befinner sig berggrunden, bestående av sandsten och skifferlera, även kallat hall. Berggrunden ligger generellt på 3-5 m djup under markytan men eftersom berget bara påträffats i ett fåtal borrningar finns inga exakta nivåer. (Kockum & Wäborg 2007)

9.3.2 Yt- och grundvatten

Områdets ytvattenrecipient är Öresund som området gränsar till genom Södra Oljehamnens hamnbassäng, Oljehamnen. Avståndet från Öresund till Norra Oljehamnen är 250 meter och på detta område finns bl a ett värmekraftverk, reningsverk och Västhamnen. Till Västhamnen hör två hamnbassänger som benämns Västhamnen.

Stora delar av Helsingborgs hamn är hårdgjord yta anpassade efter verksamheten. En stor mängd hårdgjord yta minskar infiltrationen av regnvatten i marken.

Grundvattennivån har under uppdragets gång mätts två gånger och grundvattenytan befinner sig mellan 0,9-2,75 m under markytan, motsvarande nivån 0-1.56möh. Grundvattnet fluktuation är som störst nära havet i Södra Oljehamnen där den kan variera mellan 0,2-0,4m. Denna fluktuation kan förklaras med havsytans variation.

Grundvattennivåer och flödesmönster för området kan ses i bilaga 9. Generellt rör sig grundvattnet från öst till väst med undantag för områden inom Norra Oljehamnen där strömriktningen är annorlunda och istället varierar mellan norr och nordöst. Den hydrauliska gradienten är väldigt liten, enbart 0,5 %. (Kockum & Wäborg 2007)

9.3.3 Föroreningsspridning

Petroleumprodukternas uppträdande då de når mark och grundvatten beror till stor del på vilken sammansättning de har. Bensin som innehåller kortare kolkedjor än tex. Diesel, kan lättare avdunsta i varmare väder och mängden förorening som faktiskt stannar kvar blir mindre. Petroleumprodukternas vattenlöslighet är beroende av oljesammansättningen och även om olja generellt anses icke-vattenlösligt finns det komponenter som är vattenlösliga.

Olja som spills på marken dras av tyngdkraften och till viss del av kapillärkraften nedåt i marken. En del av oljan kommer att fastna på vägen i kapillärerna i den omättade zonen.

Eftersom delar av oljeprodukten kommer att övergå till gasfas återfinns en del flyktiga kolväten i porluften.

Oljan, som i detta förekommande fall, är lättare än vattnet kan kallas för LNAPL, *light-non-aqueous-phase-liquid*. Då oljan når den mättade zonen ökar trycket i porerna och strömningsmotståndet mot oljan ökas. Resultatet blir att oljan rör sig med grundvattenytan längs den hydrauliska gradienten. Oljan kommer att flyta som en ”pannkaka” ovan på grundvattnet och en liten del olja kommer att fastna i marken pga kapillärkraften. Strömningen längs med gradienten kommer att fortsätta tills all olja fastnat. Fluktuationen på grundvattnet kommer att påverka oljans utbredning i vertikalled (Kjeldsen, Højlund & Christensen 1996).

9.3.4 Verksamheter

Då flera olika petroleumprodukter förvarats på området och orsakat spill borde det teoretiskt sett kunna vara möjligt att härleda jordföroreningarna till en viss förvaringsplats, dess innehåll och orsaken till spridningen. I områdets norra delar har tjockolja förvarats vilket vanligtvis skulle kunna ses på föroreningarna då tjockolja innehåller längre kolkedjor. Men då denna verksamhet upphörde på 70-talet har även nedbrytningen av oljan pågått längre vilket bör ha minskat mängden förorenad jord. I de södra delarna av området har inte verksamheten pågått lika länge (Kockum & Wäborg 2007). Olyckor som orsakat spill och som eventuellt kan härledas till en viss förorening redovisas under respektive område nedan.

9.3.5 Utvärdering riktvärde

I bilaga 6 visas en samlad bild över de sex föroreningsgrupperna som överskrider riktvärdet, sett från ovan. Med hjälp av denna bild tillsammans med resultatbilderna från sidan och med kunskaper om geologin och grundvattnet i området, finns ett bra underlag för analys. Områdena har döpts till A, B, C, D och E. Eftersom gruppen Alifater C5-C8 aldrig överskrider riktvärdet, enligt Naturvårdsverket, syns denna grupp inte i bilden. Men då höga halter av ämnet förekommer tas det med i diskussionen. Förekommande aromatgrupper är svåra att koppla samman med specifika oljeprodukter då de förekommer i flera.

Område A

Område A är beläget i det nordvästra hörnet av området och interpoleringsresultaten tyder på att fler provpunkter utanför området, mot väster, hade varit intressanta då koncentrationen är hög nära kanten på området för flera av de förekommande föroreningarna. Föroreningarna tycks ligga relativt ytligt med ett maxdjup på 3m. Under detta djup har inga prover tagits och det kan vara svårt att avgöra om föroreningarna förekommer på lägre djup. Flera av föroreningarna tycks breda ut sig på djupet mellan 1-2m vilket tyder på att föroreningarna breder ut sig när det når grundvattnet. Grundvattenriktningen i detta område rör sig som i en cirkel med riktning åt väster i de södra delarna av område A, åt norr i mitten och år öster i de norra delarna. Inget samband mellan grundvattnets huvudsakliga riktning och föroreningsspridingen kan ses. Alla föroreningsgrupper förekommer förutom Alifater C10-C12.

Föroreningsgrupper över riktvärdet:

- Alifater C8-C10
- Alifater C12-C16
- Alifater C16-C35
- Aromater C8-C10
- Aromater C10-C35

Inom område A har verksamhet pågått under lång tid och lämningar efter bensinspill kan ses i de korta alifaterna. Ett stort oljeutsläpp skedde år 1976 vilket kan kopplas samman med de längre kolkedjorna som förekommer i marken (Allbratt 2007).

På område A har idag en containerförvaring byggts, över den östra delen, med en metod där marken binds och görs mer stabil för verksamheten. Detta stabiliserar förekommande föroreningar och förhindrar, med den täta ytan, att urlakning transporterar föroreningarna. På den västra delen av område A ska avveckling och återställning, av Helsingborgs hamn AB, ha påbörjats innan april år 2008 (Rosander 2007).

Område B
I område B tycks föroreningarna ligga ytligt, endast ner till 2m djup. Föroreningarna har som störst utbredning i ytan och ser inte ut att ha brett ut sig med grundvattnet. På djupet finns det bara prover tagna ner till 2m djup, under detta djup kan inga antaganden göras. Vad som är intressant är att Alifater C12-C16 har sin högsta koncentration på detta djup, vilket i sin tur skulle kunna tyda på höga koncentrationer även på större djup men utan provtagning längre ner kan inga slutsatser dras. Grundvattnet rör sig mot väster men det tycks inte ha något samband med föroreningarnas utbredning.

Föroreningsgrupper över riktvärdet:
- Alifater C10-C12
- Alifater C12-C16
- Aromater C8-C10

Föroreningarna i område B är svåra att knyta till med en enstaka händelse då det är medellånga alifater som förekommer. Troligen är det en sprucken oljecistern med diesel/ eldningsolja som orsakat dem (Allbratt 2007).

På område B finns det idag en containeryta, Combiterminalen har byggts med samma metod som nämnts ovan. Containerytan sträcker sig över område A och B. På området står en ensam cistern kvar, som innehåller vatten till bruk för kraftvärmeverket (Rosander 2007).

Område C
Prover är tagna ner till ett djup av 4m och föroreningar förekommer ner till detta djup, där de båda aromatgrupperna tycks ligga djupare är alifatgrupperna. Alifaterna håller sig över 3m djup där även sanden börjar. Alla grupper tycks ha brett ut sig i höjd med grundvattnet på djup mellan 1,5 till 4m. De lite längre kolkedjorna tycks ha en förbindelse med markytan men Alifater C8-C10 återfinnes först på djupet 1,5m vilket kan förklaras med att de lättare avdunstar på grund av sin storlek. Även Alifater C5-C8, som inte har halter över riktvärdet, har höga koncentrationer inom område C mellan 2-3m djup. Resultatet från J&W-provpunkterna visar att det har funnits ett område något mer åt väster med aromatföroreningar redan tidigare. Grundvattnet rör sig åt väster inom område C men utbredningen av föroreningarna tycks inte ha något direkt samband med denna.

Föroreningsgrupper över riktvärdet:

- Alifater C8-C10
- Alifater C10-C12
- Alifater C12-C16
- Alifater C16-C35
- Aromater C8-C10
- Aromater C10-C35

På område C har både bensin och diesel förvarats i flertalet cisterner och känt är att bensinspill skett vid överpumpningar. Då alla föroreningsgrupper förekommer kan inga enstaka händelser kopplas samman med föroreningsbilden (Allbratt 2007).

En stor del av område C, ca 80%, är åtgärdat med samma teknik som för Combiterminalen. Resterande verksamhet ska avvecklas och återställas med start innan slutet av år 2008 (Rosander 2007).

Område D

Inom område D har provtagningar gjorts ner till ett djup av 3,25m men interpoleringen ger ett resultat, för gruppen Aromater C10-C35, ner till 4,5m. Alifatgrupperna som förekommer uppför sig likadant och tycks breda ut sig på djupet åt norr och väster vilket följer grundvattnets riktning i viss mån. Aromatgrupperna breder istället ut sig åt alla håll under ett djup av 0,5m. Aromater C8-C10 har ingen kontakt med markytan och tycks ha som störst utbredning på 3m djup. Grundvattenytan ligger något djupare inom detta område, på cirka 2m djup och det är kring detta djup som föroreningarna ser ut att breda ut sig och det är även här som sandlagret börjar.

Föroreningsgrupper över riktvärdet:

- Alifater C10-C12
- Alifater C12-C16
- Alifater C16-C35
- Aromater C8-C10
- Aromater C10-C35

Ett större utsläpp av diesel/flygfotogen skedde år 1989 och kan förklara förekomsten av de lite längre alifatgrupperna (Allbratt 2007).

Ett mindre område inom område D har fått nya ägare och där ägarna har ingått avtal om kostnadsansvar då verksamheten upphör. På resterande område, ca 80% av område D, planeras samma åtgärd som för Combiterminalen, påbörjat under år 2009 (Rosander 2007).

Område E

Inom område E finns prover tagna ner till 6,5m djup men föroreningar med halter över riktvärdet finns bara ner till 4m djup. Dessa föroreningar har ingen kontakt med ytan utan återfinnes först på 1 meters djup. Grundvattnets rörelseriktning kan inte kopplas samman med föroreningarnas utbredningsriktning utan de ser ut att ha brett ut sig åt alla håll. Alla föroreningsgrupper finns inte representerade i detta område. Däremot har gruppen Alifater C5-C8 höga halter inom området, dock inte över riktvärdet.

Föroreningsgrupper över riktvärdet:

- Alifater C8-C10
- Alifater C10-C12
- Aromater C8-C10

På område E har bensin och flygfotogen förvarats, vilket också avspeglar sig i de korta alifatgrupper som har hittats i marken. Spillet kan inte kopplas samma med någon specifik händelse (Allbratt 2007).

Område E är åtgärdat genom att s.k. hotspots, områden med höga halter, har åtgärdats (Rosander 2007).

Område J&W
I de områden där J&W har gjort undersökningar hittades höga halter i området norr om område E. Detta område hade ett större spill av diesel under år 1994, men området är planerat att åtgärdas med samma metod som för Combiterminalen, och framtida förvaring av containers (Allbratt 2007).

9.3.6 Utvärdering platsspecifika riktvärdet

Då de platsspecifika riktvärdena ligger högre än riktvärdena kommer färre områden att anses vara starkt förorenade. En samlad bild över föroreningarna och deras utbredning i xy-planet kan se i bilaga 8. Område E har inga halter över de platsspecifika riktvärdena och kommer därför att utelämnas från diskussionen.

Endast tre föroreningsgrupper överstiger de platsspecifika riktvärdena:

- Alifater C12-C16
- Aromater C8-C10
- Aromater C10-C35

Område A
På område A finns de tre föroreningsgrupperna representerade i halter över det platsspecifika riktvärdet. Som nämnts tidigare ligger de höga koncentrationerna nära ytterkanten på området och det finns en möjlighet att höga halter återfinns även väster om området. Föroreningarna finns från ytan och ner till 3m djup. Under 3m har inga provpunkter tagits. I likhet med föregående kapitel ses inget samband med grundvattens rörelseriktning. Aromater C8-C10 tycks finnas inom en något mindre volym jämfört med de andra två grupperna.

Föroreningsgrupper över det platsspecifika riktvärdet:

- Alifater C12-C16
- Aromater C8-C10
- Aromater C10-C35

Område B
På område B återfinns bara gruppen Alifater C12-C16 över det platsspecifika riktvärdet. De höga halterna når ner från ytan till ett djup av 1,75m.

Föroreningsgrupper över det platsspecifika riktvärdet:

- Alifater C12-C16

Område C

Endast aromatgrupperna har halter över det platsspecifika riktvärdet i område C. Dessa tycks ha brett ut sig då de nått grundvattnet, och det syns tydligt var de har kontakt med markytan. Föroreningarna förekommer ner till 4m där också provtagningen upphört.

Föroreningsgrupper över det platsspecifika riktvärdet:

- Aromater C8-C10
- Aromater C10-C35

Område D

Inom område D förekommer alla tre grupperna med halter över det platsspecifika riktvärdet. Gruppen Aromater C10-C35 har den största volymen kraftigt förorenad jord. Föroreningarna finns i området mellan ytan och 2,5m djup, förutom Alifater C12-C16 som endast har ett litet område mellan 1-2m djup som uppnår dessa halter.

Föroreningsgrupper över det platsspecifika riktvärdet:

- Alifater C12-C16
- Aromater C8-C10
- Aromater C10-C35

10 Diskussion

Att sätta sig in i och lära sig hantera SADA tar relativt lång tid och mycket kraft måste, innan interpolering genomförs, läggas på en stor mängd grundinställningar. Dessa påverkar interpoleringen i hög grad både med avseende på upplösning och på utbredning. Nedan diskuteras den inverkan som de olika inställningarna har på resultatet. SADA erbjuder dessutom två verktyg för validering av interpoleringsresultatet, för- och nackdelar med dessa diskuteras nedan.

10.1 Grid och Vertical layers

Inställningarna på *Grid* och *Vertical layers* styr bara upplösningen på resultatbilden. Dock kan det vara bra att skapa en blockindelning så pass noggrann att förorenade områden framstår tydligt och inte riskerar att suddas ut.

Då området i Helsingborgs hamn har provpunkter utspridda väldigt ojämnt över området är det bästa sättet att få fram en bra *Grid*-storlek helt enkelt att prova sig fram. *Grid*-storleken är en okänslig parameter och vilken noggrannhet som passar bäst är upp till användaren. Dock kan det enligt Mardikis, Kalivas & Kollias (2005) vara en rimlig start att prova halva medelavståndet mellan provpunkterna.

Lagerindelningen, *Vertical layers*, bör anpassas efter hur djupt proverna är tagna och hur tätt de ligger på djupet. I Helsingborgs hamn är prover tagna ner till 6,5m och på vissa mindre områden ligger punkterna tätt på både djupet och i horisontalled. För att få med förändringar på djupet har en noggrann lagerindelning på 20 cm lager valts för att föroreningarnas 3D-form syns tydligare då. Ännu tunnare lager ger en marginel förbättring och tar betydligt längre tid att interpolera fram vilket gör att det känns tillräckligt med 20 cm lager. När tjockare lager väljs, så som 1m lager, syns det hur föroreningarna är utspridda på djupet men finare skillnader kan missas, tex att föroreningarna breder ut sig vid grundvattenytan.

10.2 Search neighborhood

Att kunna forma sökområdet, *Search neighborhood*, på flera sätt kan vara bra då ens förorenade område är väldigt anisotropt men enklast är att hålla sig till ett helt cirkulärt sökområde. Sökområdet anger hur stort område kring varje provpunkt som interpolering ska ske över. Men då ett stort sökområde anges verkar interpoleringen ge resultat, med höga föroreningshalter, över hela sökområdet istället för att ange låga halter eller inga halter alls i utkanten av sökområdet.

Vad gäller sökområdets utbredning på djupet bör den anpassas efter det maximala djupet och lagerindelningen. Då ett för stort sökområde sätts på djupet suddas halterna ut och höga halter ser ut att nå längre ner i marken än vad det finns belägg för genom provtagning.

Genom att jämföra olika inställningar på sökområdet med respektive varianskarta och korsvalidering syns att krigingvariansen och medelfelet båda blir högre, i ytterkanterna, då sökområdet utökas. En avvägning måste göras för att sökområdet inte ska bli för litet, då interpoleringen känns otillräcklig, och när den blir för stor och ger en för stor spridning på resultatet. Till sin hjälp kan man använda korsvalideringen för att hitta interpoleringen med lägst antal fel. Sökområdesinställningarna kan således anses vara en känslig parameter.

10.3 Polygoner

Polygoner ska kunna användas för att ett mindre område ska kunna sorteras ut och få ett variogram anpassat och som då avspeglar de inringade provpunkterna bättre vid interpolering med *Ordinary Kriging*-metoden. Om för få punkter skärs ut kan risken vara att antalet blir otillräckligt då ett variogram skapas. Faran finns också att omkringliggande provpunkter inte får ge sin del till resultatet och att ytterkanten av polygonens interpolering blir mer osäker.

Om områden finns med tätare provtagning kan dessa punkter ge större inverkan på variogrammet och modellvariogrammet riskerar att avspegla ett litet område istället för hela provtagningsområdet (Schloeder, Zimmerman & Jacobs 2001). Men även om variogrammet anpassas efter polygonernas provpunkter blir skillnaden i interpoleringen inte påtaglig. Det som skiljer är att områden med höga halter inte tillåts nå utanför polygonens gränser. Men metoden bör inte förkastas då den kan vara användbar för andra provtagningsområden, även om den inte har varit utslagsgivande för Helsingborgs hamn.

10.4 Nearest Neighbor

Interpoleringsmetoden *Nearest Neighbor* är en enklare metod som bara tillåter interpolering i två dimensioner. Interpoleringen blir grov och stora fält ges hög koncentration. Även om *Grid*-indelningen görs finare blir resultatet grovt och inte tillfredsställande.

I interpoleringsmetoden tas ingen hänsyn till spridningen på resultatet då metoden är tämligen enkel. Det visas tydligt i resultatet att interpoleringens säkerhet påverkas av tätheten på punkterna. Då punkter ligger tätt hittas en närmsta punkt enkelt men då avståndet till närmsta punkt blir längre minskar rimligheten på interpoleringsresultatet. Till exempel interpoleras ett stort område fram med hög koncentration, upp till 3000 mg/kg TS, där området med de högsta koncentrationerna når ut över ett område som inte har några provpunkter. Detta för att närmsta punkt, som befinner sig långt därifrån, har hög koncentration.

Då en interpoleringsmetod anpassad för två dimensioner används på tredimensionell data blir resultatet missvisande då punkter som egentligen ligger på olika djup behandlas som om de ligger i plan, närmre varandra.

10.5 Inverse Distance

De två interpoleringsmetoderna *Inverse Distance* och *Ordinary Kriging* ger resultat som liknar varandra. Den stora skillnaden mellan användningen av de två interpoleringsmetoderna är just hur enkelt det är att använda *Inverse Distance* jämfört med *Ordinary Kriging*, vilket ger en klar fördel rent tidsmässigt. Att de båda metoderna ger liknande resultat kan inte användas för att säkerställa att parametrarna är rätt inställda då de båda metoderna har fått samma grundinställningar i undersökningen.

Den skillnad som kan ses är att *Inverse Distance* bilden för Alifater C16-C35, sett i plan, ger cirkulära områden med hög koncentration medan *Ordinary Kriging* ger samma område en mer avlång form på området med hög koncentration, vilket kan ses på område D. I en studie gjord av Schloeder, Zimmerman & Jacobs (2001) drar de slutsatsen att *Ordinary Kriging* är mer användbar då den inte ger perfekta cirklar, men sjunkande koncentration, kring provpunkterna. Detta tyder på att *Ordinary Kriging*-metoden tar mer hänsyn till enskilda

punkter med lägre koncentration och låter dessa punkter inverka på området med hög koncentration.

10.6 Ordinary Kriging

För att ett variogram ska skapas i SADA behöver alla parametrar ställas in och ingen går att hoppa över. Detta kräver att användaren är väl insatt i hur ett variogram fungerar och hur SADA går tillväga för att rita upp ett. Flera parametrar finns för att konen, som senare skapar variogrammet, ska få önskad form och riktning. Några parametrar är viktigare än andra där bland annat *Lag number*, *Lag distance*, *Angle* och *Tol* kan nämnas. Dessa parametrar behöver ställas in om och om igen innan ett bästa resultat nås och ett bra hjälpmedel är *Rose*-diagrammet. Några parametrar, så som *Band*, *Ztol* och *Zband*, förefaller ha mindre betydelse eftersom väldigt liten förändring har noterats då inställningarna ändras. Det är denna del av *Ordinary Kriging*-metoden som i litteraturen har fått mest kritik då det kan vara mycket svårt att veta hur ett bra variogram ser ut och när det har uppnåtts. Tillförlitligheten i krigingens resultat beror, enligt Mardikis, Kalivas & Kollias (2005), till stor del på hur väl variogrammet är format. Det finns en viss risk med variogrambildandet då även ett illa uppritat variogram ger ett *Ordinary Kriging*-resultat.

Att få den form på variogrammet som visas i användarmanualen, med en jämnt stigande kurva som planar ut, kan te sig omöjligt och verkar till stor del bero på provdatans utseende. Då SADAs programutvecklare inte rekommenderar att lognormalfördelning används försvåras variogrambildandet ytterligare (Stewart 2007). Förklaringen är att eftersom koncentrationshalterna på petroleumprodukterna stiger logaritmiskt skiljer sig semivariansen enormt mellan provpunktsparen i variogrammet, och en kurvanpassning, modellvariogrammet, blir svårare och tidskrävande att genomföra, dock inte omöjlig.

Även om SADA erbjuder en autoanpassat modellvariogram tycks denna funktion inte alltid fungera och en anpassning får göras förhand. I de fall där modellvariogrammet anpassas förhand görs denna anpassning väldigt godtyckligt och det finns ingen hjälp att få för att veta om anpassningen blir bättre eller sämre då justeringar görs.

Till *Ordinary Kriging*-interpoleringen kan en varianskarta tas fram. Krigingvariansen kas ses som ett verktyg för att visa inom vilka områden som interpoleringens resultat har hög spridning. Diskussioner kring användandet av krigingvariansen som ett ”osäkerhetsmått” är många. Enligt Pilger (2006) bör inte krigingvariansen användas för detta syfte då värdet på observationerna inte tas med i beräkningen, utan enbart provpunkternas placering. Placeringen ger enligt modellvariogrammet en semivarians och lokala variationer inom området ignoreras. Pebesma (2006) däremot menar att krigingvariansen visst är ett bra verktyg vid osäkerhetsanalys. Dock bör området inte innehålla lokala variationer och då transformering av data till tex lognormalfördelning används bör detta beaktas vid utvärdering av krigingvariansen.

Att säga att krigingvariansen eller snarare motsvarande standardavvikelse, inte får överskrida 10% av den högsta koncentrationen i provpunkterna, bör inte tas som ett facit på var interpoleringen är för osäker utan ska hela tiden sättas i relation till modellvariogrammets utseende. En för stor spridning på resultatet, en hög krigingvarians, visar snarare på att koncentrationen mellan två närliggande punkter är hög, dvs semivariansen mellan dem blir hög. Då detta visar att provpunkter i området har stora skillnader mellan sig bör alltid interpoleringen anses vara lite mer osäker än om modellvariogrammet visat på en tydlig trend. Som synes i kapitel 8.1 blir varianskartan för de olika grupperna olika och för de grupper där

variogrammet är flackt kan inte varianskartan användas till att säkerställa resultatet. Var gränsen går för ett bra variogram, med en lutning på modellvariogrammet som ger tillräckliga skillnader på krigingvariansen och ett lagom högt *nugget*-värde, går inte att säga. Kanske bör varianskartan inte alls användas som utvärderingsmetod, inte ens för de föroreningsgrupper som har en större lutning på modellvariogrammet och därmed får en bättre varianskarta.

De flesta markföroreningar har en skev fördelning vilket medför att lognormal fördelning beskriver dem bäst (Singh & Ananda 2005). I SADA bör dock, enligt programutvecklaren, inte lognormal fördelning antas då *Ordinary Kriging*-resultaten blir felaktiga. Då lognormalfördelning antas görs en log-transformation av data redan innan interpoleringen påbörjas. När sedan interpoleringen genomförs vill SADA bakåttransformera data genom att använda krigingmedelvärdet och variansen för varje block. Eftersom bakåttransformationen av medelvärdet, i varje block, är en funktion av variansen, i varje block, blir resultatet fel. Koncentrationer långt över de högsta indata kan fås fram (Stewart 2007).

10.7 Jämförelse Interpoleringsmetoder

För att göra en jämförelse på interpoleringsmetodernas riktighet används verktyget *Cross validation*, korsvalidering. I tabell 5 på sidan 44 visar resultatet att metoden *Nearest Neighbor* ger de högsta medelfelen för alla föroreningsgrupper. Dessutom är dessa fel alltid betydligt högre än felen för de andra två interpoleringsmetoderna. Då detta sammanfaller väl med tidigare utvärdering av metoden *Nearest Neighbor* kan slutsatsen bli att metoden ger sämst resultat av de tre undersökta.

Korsvalideringen jämförs mellan de två metoderna *Inverse Distance* och *Ordinary Kriging*. Nästa samma fel beräknas för de två metoderna för de olika föroreningsgrupperna och ingen metod kan sägas ge bättre resultat än de andra enligt denna utvärdering.

Interpoleringen som skett i utkanten av området, både åt sidorna och neråt i marken, ser lite annorlunda ut för de båda metoderna *Ordinary Kriging* och *Inverse Distance*. *Inverse Distance* utgår ifrån den närmsta provpunktens koncentration, och om denna är hög får även området i utkanten, denna koncentration. *Ordinary Kriging* däremot beräknar hur långt bort den höga koncentrationen sträcker sig, utifrån modellvariogrammet, och kan därmed ge ett annat resultat än *Inverse Distance* (Schloeder, Zimmerman & Jacobs 2001). Detta syns i resultatet, i bilaga 3 och 4, bland annat för Alifater C8-C10, på område A, där *Inverse Distance* har gett ett litet område en högre koncentration än *Ordinary Kriging*.

Ordinary Kriging metoden sägs ha fördelen att den även beräknar variansen på resultatet, krigingvariansen. Men som diskuterats tidigare kan denna varians bara användas i viss omfattning. Om variogrammet inte har hög lutning och ett relativt lågt *nugget*-värde kan inte krigingvariansen användas till osäkerhetsbedömning av resultatet. Att en hög krigingvarians fås från data där *nugget* är lågt jämfört med *sill* och där data är dåligt korrelerad, datamängden begränsad i antal och/eller starkt varierande visar även Schloeder, Zimmerman och Jacobs (2001) i sin studie.

Då *Inverse Distance*-metoden är betydligt lättare att genomföra än *Ordinary Kriging*-metoden kan metoden, med de relativt goda resultat som ges, i vissa lägen vara ett bättre alternativ. Att få snabba resultat kan ibland väga upp förlusten av en lite bättre interpolering. I en annan studie, utförd av Mardikis, Kalivas & Kollias (2005) har slutsatsen gjorts att det inte går att

avgöra vilken interpoleringsmetod som är bäst utan resultatet beror till stor del på datamängdens spatiala konfiguration, dvs. densiteten på provpunkterna och deras utbredning, och antagande som görs. De säger också att interpoleringsmetoderna inte går att jämföra då de inte är likadant optimerade i en och samma situation. I den studien jag har gjort har *Inverse Distance* och *Ordinary Kriging* samma grundinställningar, då samma inställningar är möjliga att genomföra, använts. Kanske har de två metoderna inte samma optimala inställningar och hade visat större skillnader om grundinställningarna anpassats efter varje metod. Då detta inte är fallet kan ingen slutsats dras kring vilken metod som är den bättre. Enligt Delin (2000) kan interpolering med *Inverse Distance* ge lika bra resultat som *Ordinary Kriging* då provpunkterna är jämnt utspridda och enligt min studie tycks detta vara fallet även då provpunkterna inte är det.

En annan studie visar att *Inverse Distance* är att föredra då datamängden är liten och det finns stora avstånd mellan punkterna (Kravchenko 2003). I samma studie visar Kravchenko (2003) att *Ordinary Kriging* kan ge lika bra resultat som *Inverse Distance* om datamängden är stor vilket även Mueller et al. (2001) konstaterar i sin studie. Vad gäller den spatiala strukturen i data så anser Mueller et al. (2004) att *Inverse Distance* ger bättre resultat i de fall där ingen tydlig spatial korrelation kan ses i variogrammet vilket då ger ett sämre *Ordinary Kriging*-resultat. Detta kan delvis förklara resultatet i denna studie då variogrammen inte alltid visade på en tydlig struktur. Detta tillsammans med en datamängd på enbart 66 provpunkter och ojämn utbredning av data tycks ha orsakat ett *Ordinary Kriging*-resultat som inte överträffar *Inverse Distance*- resultatet.

11 Slutsats

Att sätta sig in i och lära sig hantera SADA tar relativt lång tid och mycket kraft måste, innan interpoleringen genomförs, läggas på en stor mängd grundinställningar. Då dessa utförs på rätt sätt är dock belöningen ett mycket användbart hjälpmedel för att visualisera föroreningssituationen inom ett område. För validering av de framtagna resultaten används några olika valideringsverktyg . När sedan den tredimensionella bilden över föroreningssituationen slås samman med rådande geologi, grundvattennivåer med flödesriktning, kunskaper om föroreningarnas uppförande i mark och rådande riktvärden kan den totala bilden fås fram. Att dessutom kunna se föroreningsbilden i tre dimensioner ger ett bra underlag för utvärdering och tolkning.

I denna studie har metoderna *Inverse Distance* och *Ordinary Kriging* resulterat i likvärdiga resultat. Resultaten har validerats med korsvalidering. Det medför att *Inverse Distance* kan vara att föredra då denna metod tar betydligt kortare tid att genomföra. *Ordinary Kriging* kan däremot visa spridningen på interpoleringsresultatet utifrån modellvariogrammet. Dock är det bara i vissa fall som det går att använda valideringsverktygen till utvärdering av resultatets osäkerhet. I de fall där modellvariogrammets kurva har för liten lutning kan inte krigingvariansen användas för tolkning av resultatets tillförlitlighet. Den skillnad som märks på de båda interpoleringsmetoderna är att *Ordinary Kriging* inte ger samma form på område med hög koncentration som *Inverse Distance*. *Ordinary Kriging* visar här på ett mer hänsynstagande till intilliggande provpunkter med låg koncentration. Absolut sämst resultat ger den tredje interpoleringsmetoden *Nearest Neighbor*.

SADA medger en möjlighet att optimera en provtagning. SADA kan tex. vid kompletterande provtagning och ett redan befintligt variogram, användas för att ta fram en plan över i vilka punkter den kompletterande provtagningen behöver utföras för att interpolering ska kunna genomföras på proverna. Det finns även möjligheter att låta SADA utforma provtagningsstrategier för områden utan tidigare provtagning, för att få fram antalet provpunkter och deras placering.

12 Referenser

- Bahri, A., Berndtsson, R. & Jinno, K. (1993). Spatial Dependence of Geochemical Elements in a Semiarid Agricultural Field: I. Scale Properties. *Soil Science Society of America Journal.* Vol 57, s.1316-1322.

- Corvi, Peter et al. (1992). *Reservoir Characterization – Using Expert Knowledge, Data and Statistics*. (Elektronisk). PDF-format. Tillgänglig: <www.slb.com/media/services/resources/oilfieldreview/ors92/0192/p25_39.pdf > (2007-03-23)

- Delhomme, J.P. (1978). Kriging in the Hydrosciences. *Advances in Water Resources*, Vol.1 No.5, s.251-266.

- Delin, Sofia (2000). *Hantering av geografisk data inom ett jordbruksfält, Kurskompendium, Kurs i precisionsodling 5p, Institutionen för Jordbruksvetenskap Skara.* PDF-format. Tillgänglig: <http://www-mv.slu.se/po/jvsk/tekpiv4.pdf> (070319)

- Deutsch, Clayton V & Journel, André G (1998). *GSLIB: Geostatistical Software Library and user´s guide.* New York; Oxford: Oxford University Press. s.47-50

- Follin, Sven (1995). *Användning av geostatistik inom hydrogeologiska tillämpningar*. Lund: Lunds tekniska högskola, Avdelningen för teknisk geologi. ISRN: LUTVDG/TVTG—3045—SE.

- Gilbertsson, Mikael (2001). *Sensorer för att mäta markparametrars variation inom fält*. JTI - Institutet för jordbruk- och miljöteknik. PDF-format. Tillgänglig: <http://www.jti.se/publikat/rapporter/l&i/r-276mg.pdf> (070319)

- Helsingborgs hamn. Hemsida. *Hamnens historia*, 9 april 2003. <http://www.port.helsingborg.se/> (2007-06-20)

- Kjeldsen, Peter & Højlund Christensen, Thomas (1996). *Kemiske stoffers opførsel i jord och grundvand – Bind 1*. Miljø- og Energiministeriet Miljøstyrelsen. (Projekt om jord og grundvand fra Miljøstyrelsen Nr.20 1996)

- Kockum, Karin & Sofia Wäborg (2007), *Miljöteknisk markundersökning inom Helsingborgs oljeterminal.* Utvärderingsrapport beställd av Helsingborgs hamn AB. Tyréns AB.

- Kravchenko, A.N. (2003). Influence of Spatial Structure on Accuracy of Interpolation Methods. *Soil Science Society of America Journal.* Vol 67, s.1564-1571. Tillgänglig: <http://soil.scijournals.org/cgi/content/full/67/5/1564?ijkey=de8a6fd9d497c9154f0cf3ce63172135babbe24c> (070730)

- Lönnerholm, Björn (2006). *Examensarbete, Transporttidsmodellering vid provpumpning i heterogen jord – spårämnesförsök i en isälvsavlagring.* Refererar till

Niemi, A. (1994). *Modeling flow in fractured medium, Uncertainty analysis with stochastic continuum approach.* VVT Publ. 184, Tech. Res. Cent. of Finland, Espoo, Finland. Tillgänglig: <http://www.w-program.nu/filer/exjobb/Bj%C3%B6rn_L%C3%B6nnerholm.pdf> (070319)

- Mardikis, M.G., Kalivas, D.P. & Kollias, V.J. (2005). Comparison of Interpolation Methods for the Prediction of Reference Evapotranspiration – An Application in Greece. *Water Resources Management,* Vol. 19, s.251-278. (DOI: 10.1007/s11269-005-3179-2.)

- Mueller, T.G., Pierce, F.J., Schabenberger, O. & Warncke, D.D. (2001). Map Quality for Site-Specific Fertility Management. *Soil Science Society of America Journal.* Vol 65, s.1547-1558. Tillgänglig: <http://soil.scijournals.org/cgi/content/full/65/5/1547?ijkey=b613443b23088a4c4a8294fe5bdfa250b48923d2> (070730)

- Mueller, T.G., Pulusuri, N.B., Mathias, K.K., Cornelius, P.L., Barnhisel, R.I. & Shearer, S.A. (2004). Map Quality for Ordinary Kriging and Inverse Distance Weighted Interpolation. *Soil Science Society of America Journal.* Vol 68, s.2042-2047. Tillgänglig: <http://soil.scijournals.org/cgi/content/full/68/6/2042#BIB12> (070730)

- Naturvårdsverket & Svenska Petroleum Institutet (1998). *Rapport 4889 - Förslag till riktvärden för förorenade bensinstationer*. Stockholm: Naturvårdsverket.

- Pebesma, Edzer J. (2006). *Re: AI-GEOSTATS: kriging variance and accuracy.* AI-GEOSTATS Forum. (2006-09-29) Tillgänglig: <http://www.mail-archive.com/ai-geostats@jrc.it/msg02892.html>

- Pilger, Gustavo G. (2006). *Re: AI-GEOSTATS: kriging variance and accuracy.* AI-GEOSTATS Forum. (2006-09-29) Tillgänglig: <http://www.mail-archive.com/ai-geostats@jrc.it/msg02891.html>

- SADA (Spatial Analysis and Decision Assistance), Home Page. 1 februari 2007. <http://www.tiem.utk.edu/~sada/index.shtml>

- SADA User Guide (2005). Spatial *Analysis and Decision Assistance (SADA), Version 4,1*.PDF format. Tillgänglig: <http://www.tiem.utk.edu/~sada/SADA_4_1_Usersguide.pdf> (2007-02-01)

- Schloeder, C.A., Zimmerman, N.E. & Jacobs M.J. (2001). Comparison of Methods for Interpolating Soil Properties Using Limited Data. *Soil Science Society of America Journal*, Vol 65, s.470-479. Tillgänglig: <http://soil.scijournals.org/cgi/content/full/65/2/470?ijkey=3cc9f75be454a59c33a8f71cc5b53a5b45c7c586> (070730) Citerar Gotway, C.A., Ferguson, R.B., Hergert, G.W., & Peterson, T.A. (1996). Comparison of kriging and inverse-distance methods for mapping soil parameters. *Soil Science Society of America Journal.* Vol 60, s.1237-1247.

- Singh, Ashok K. & Ananda M.M.A. (2005). Rank kriging for characterization of mercury contamination at the East Fork Poplar Creek, Oak Ridge, Tennessee. *Environmnetrics,* Vol. 13, s.679-691. (DOI: 10.1002/env.537)

- Statens folkhälsoinstitut (2005). *Platsen, individen och folkhälsan – Teorier, metoder och tolkningar* (Rapport R2005:16) (Elektronisk). s.240-256. Tillgänglig: <http://www.fhi.se/upload/ar2005/rapporter/r200516platsenindividen3_0505.pdf> (2007-03-19)

- Stewart, Robert (2007). *RE: [sadausers] problems with kriging.* SADA Users group, Yahoo. (Mailsvar från Robert Stewart, medlem i 'the SADA development team', angående problem med kriging, den 1 maj 2007) Tillgänglig: <http://tech.groups.yahoo.com/group/sadausers/>

Muntliga källor

- Allbratt, Ingva-Britt. Miljösamordnare vid Helsingborgs hamn AB. (2007-06-29)

- Rosander, Mats. Trafikchef vid Helsingborgs hamn AB. (2007-06-29)

Bilagor

Bilaga 1
Provpunkter

Bilaga 2
Nearest Neighbor

Bilaga 3
Inverse Distance

Bilaga 4
Ordinary Kriging

Bilaga 5
Varianskartor

Bilaga 6
Karta med område där förorening överskrider riktvärdet.

Bilaga 7
Korsvalideringskartor

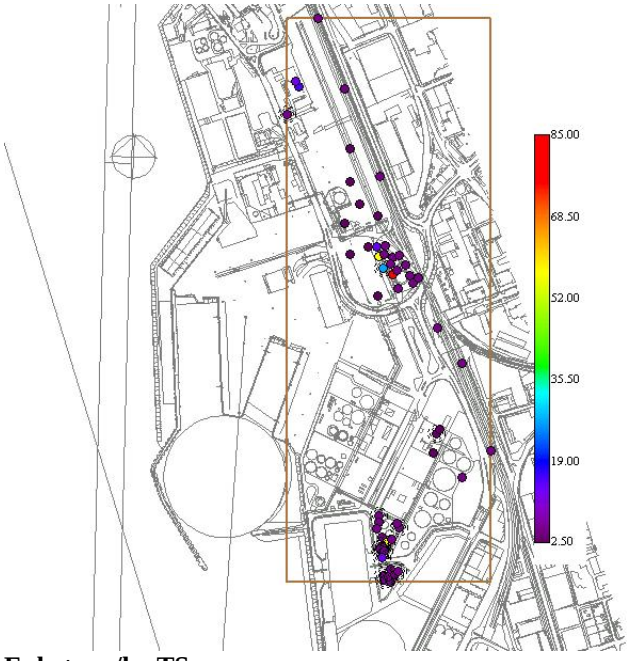
Bilaga 8
Karta med område där förorening överskrider det platsspecifika riktvärdet.

Bilaga 9
Flödeskarta (Kockum & Wäborg 2007)

Provpunkter
Bilaga 1

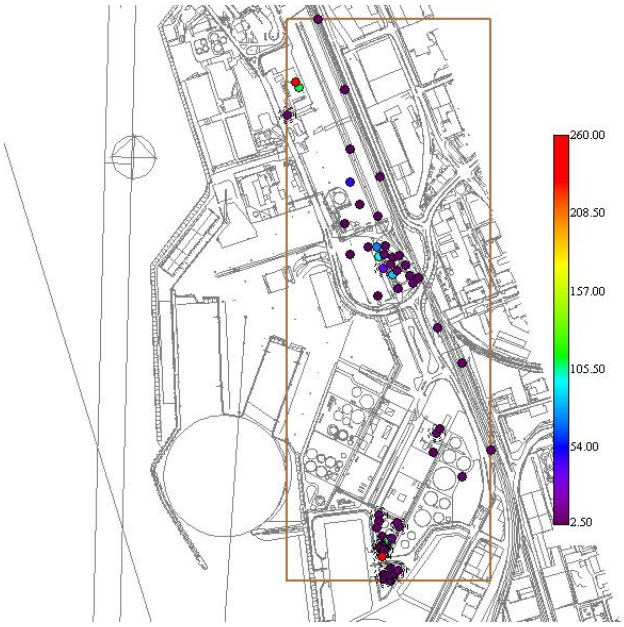
Översiktsbild

Alifater C5-C8



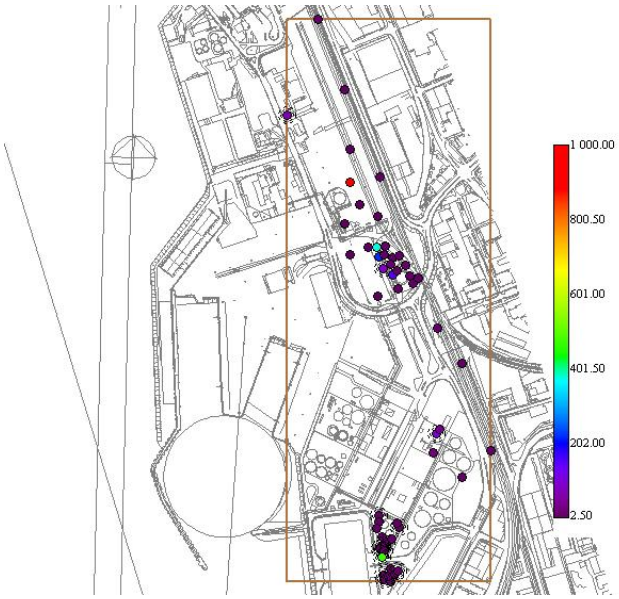
Enhet mg/kg TS

Alifater C8-C10



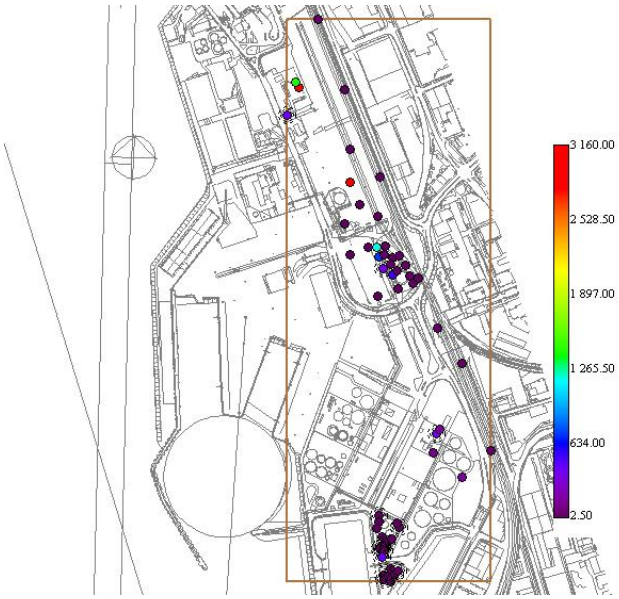
Enhet mg/kg TS

Alifater C10-C12



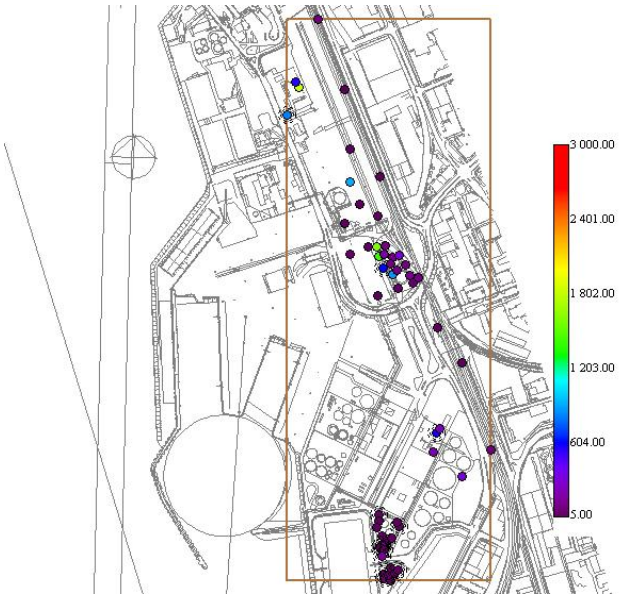
Enhet mg/kg TS

Alifater C12-C16



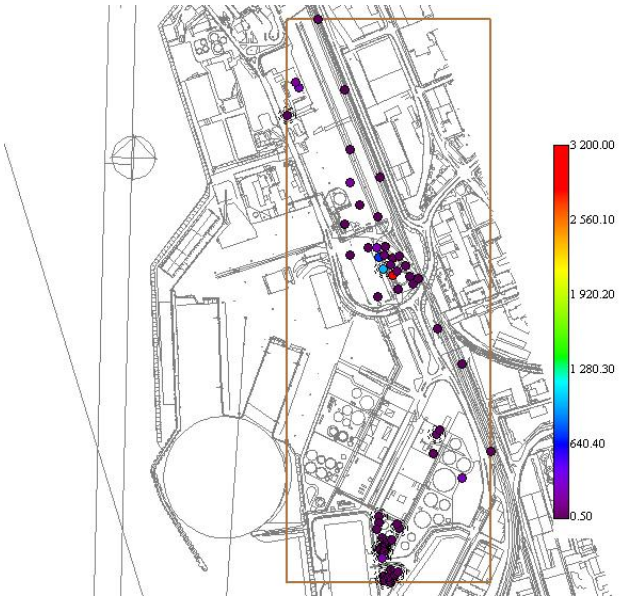
Enhet mg/kg TS

Alifater C16-C35



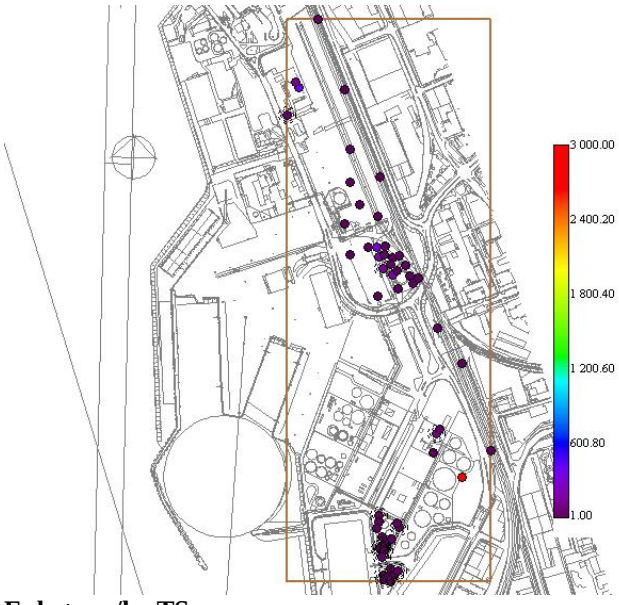
Enhet mg/kg TS

Aromater C8-C10



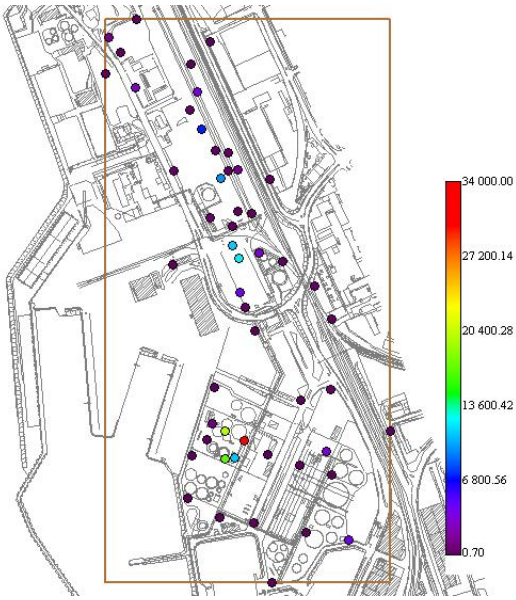
Enhet mg/kg TS

Aromater C10-C35



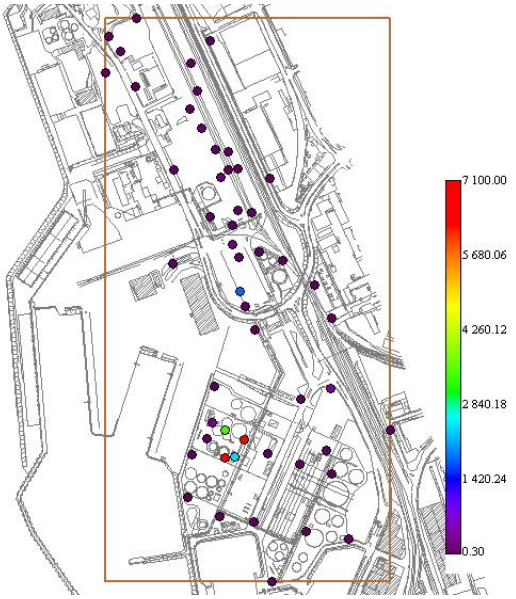
Enhet mg/kg TS

J&W Alifater C10-C35



Enhet mg/kg TS

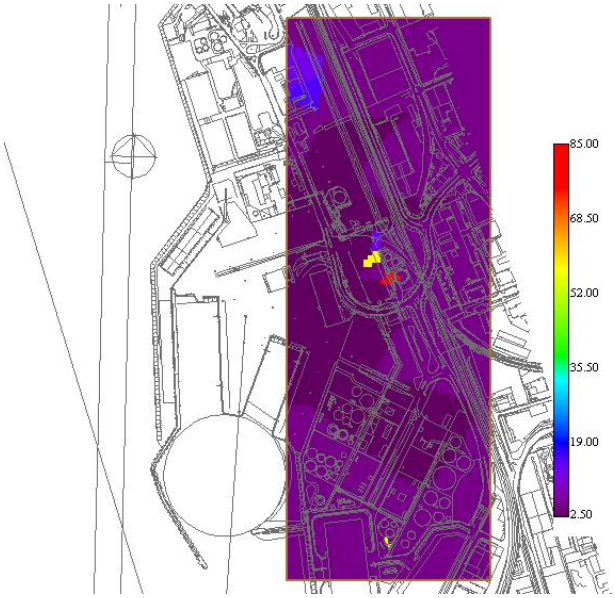
J&W Totala aromater



Enhet mg/kg TS

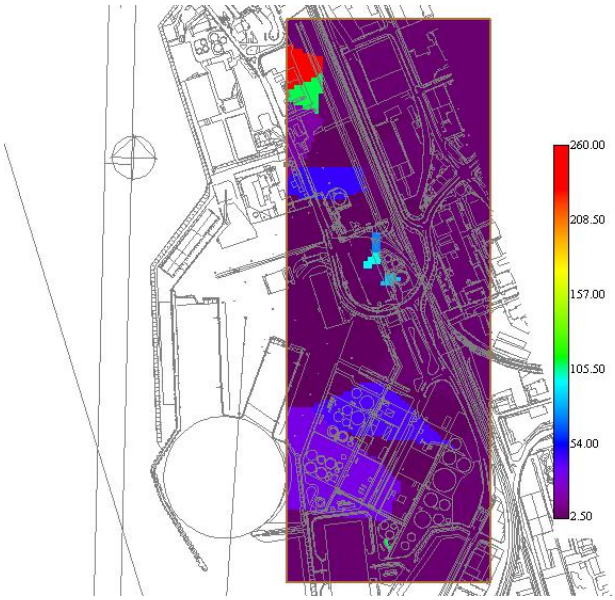
Nearest Neighbor
Bilaga 2

Alifater C5-C8



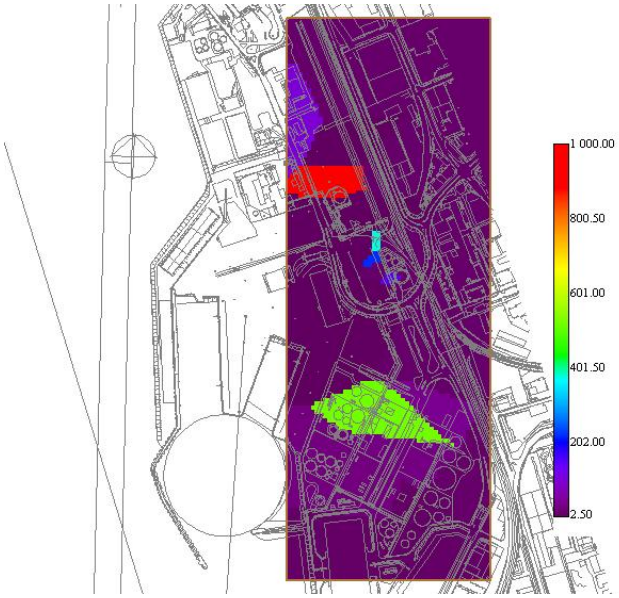
Enheten är mg/kg TS

Alifater C8-C10



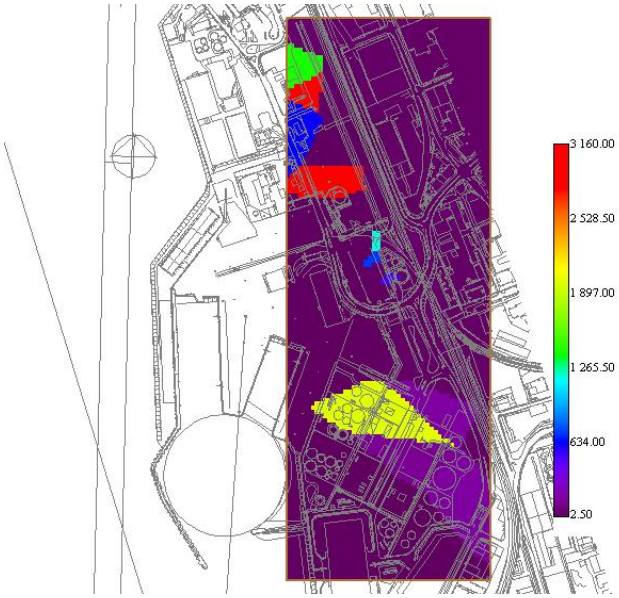
Enheten är mg/kg TS

Alifater C10-C12



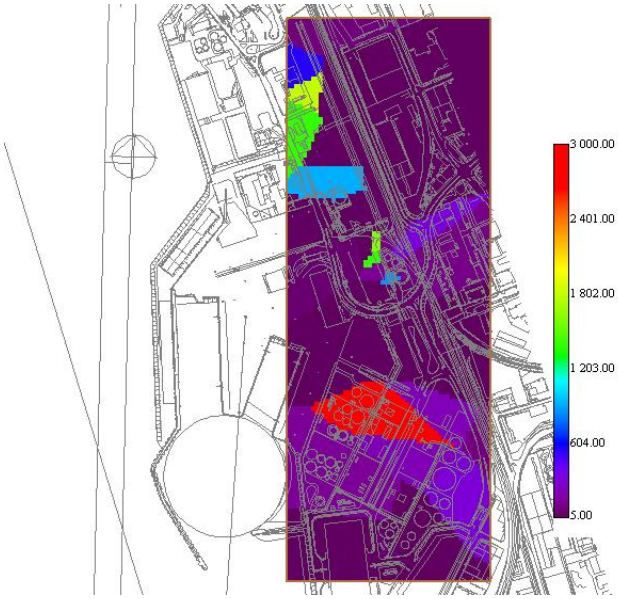
Enheten är mg/kg TS

Alifater C12-C16



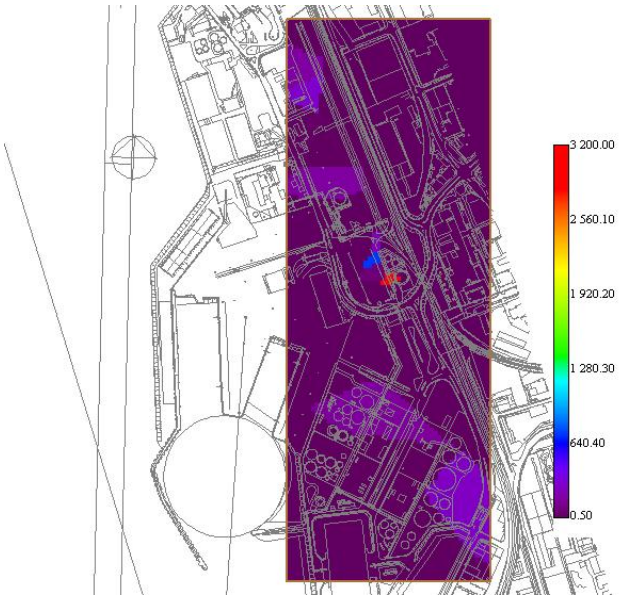
Enheten är mg/kg TS

Alifater C16-C35



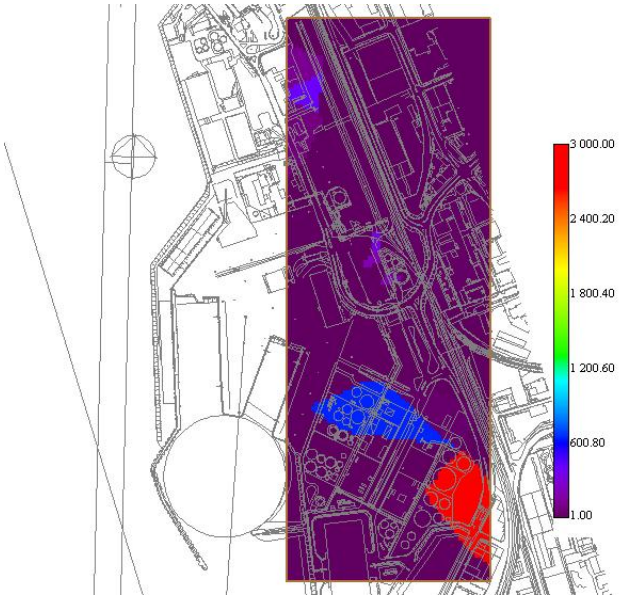
Enheten är mg/kg TS

Aromater C8-C10



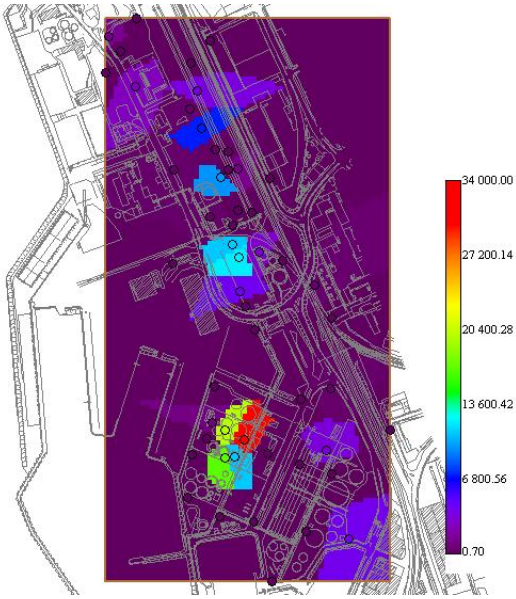
Enheten är mg/kg TS

Aromater C10-C35



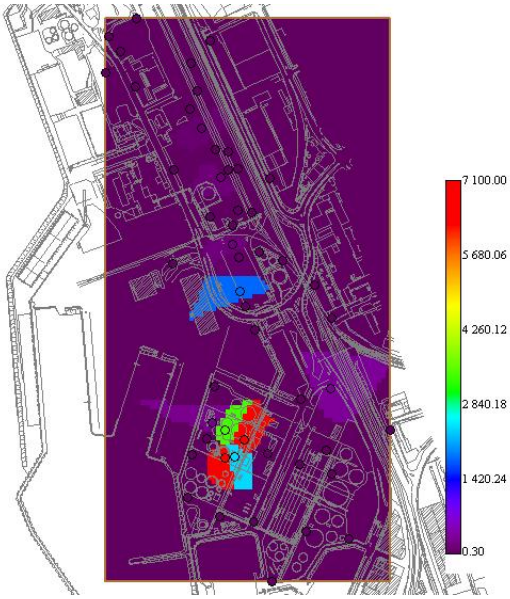
Enheten är mg/kg TS

J&W Alifater C10-C35



Enheten är mg/kg TS

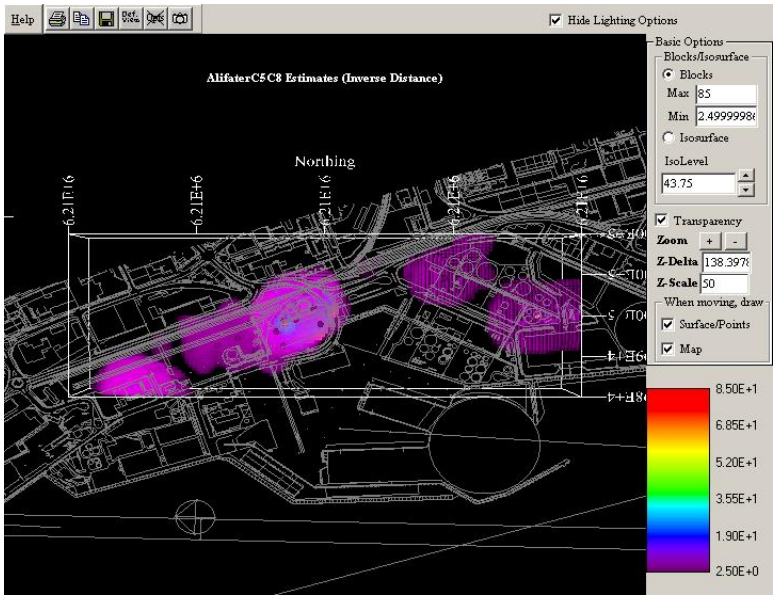
J&W Totala Aromater



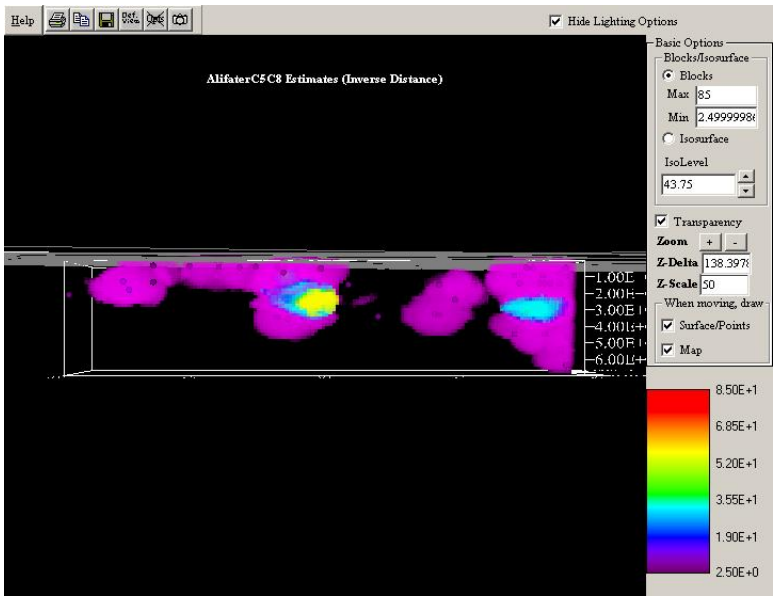
Enheten är mg/kg TS

Inverse Distance
Bilaga 3

Alifater C5-C8

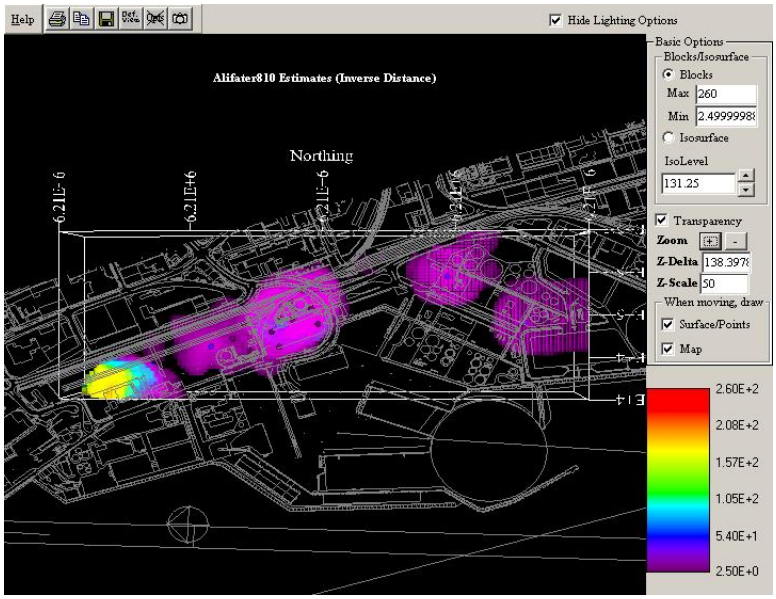


Från ovan. Enheten är mg/kg TS.

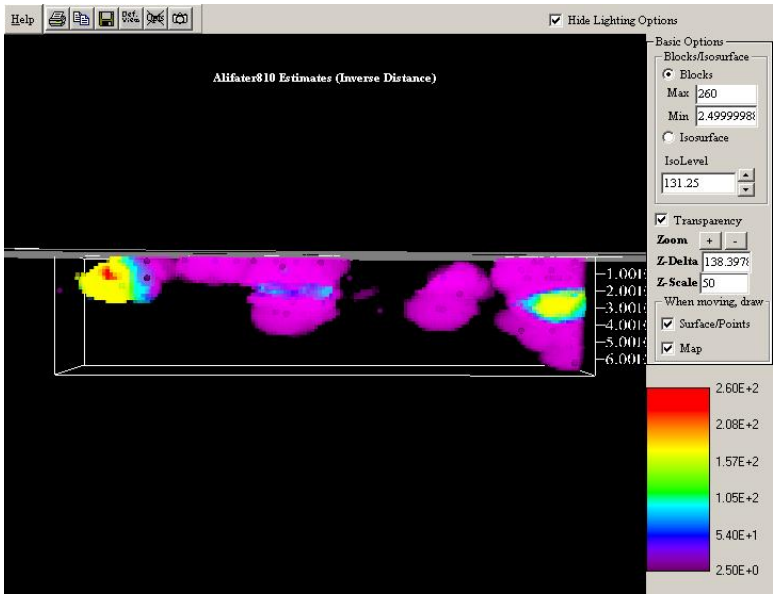


Från sidan. Enheten är mg/kg TS.

Alifater C8-C10

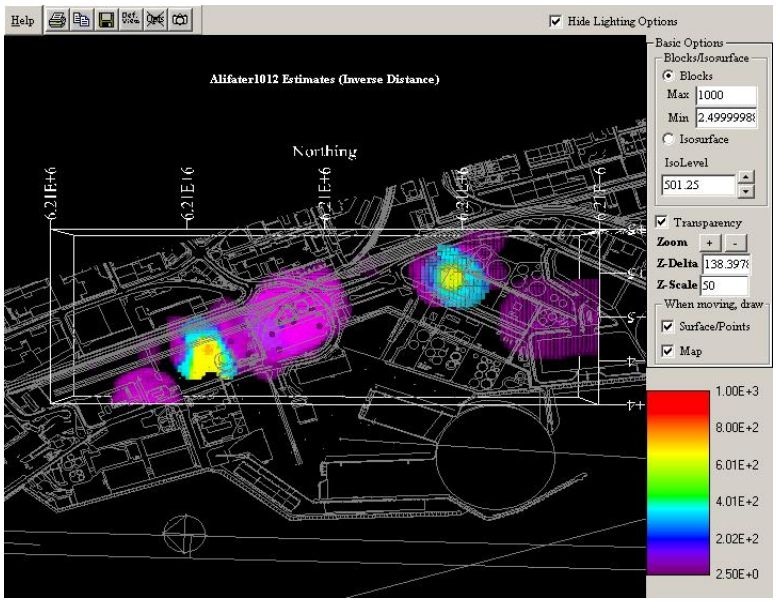


Från ovan. Enheten är mg/kg TS.

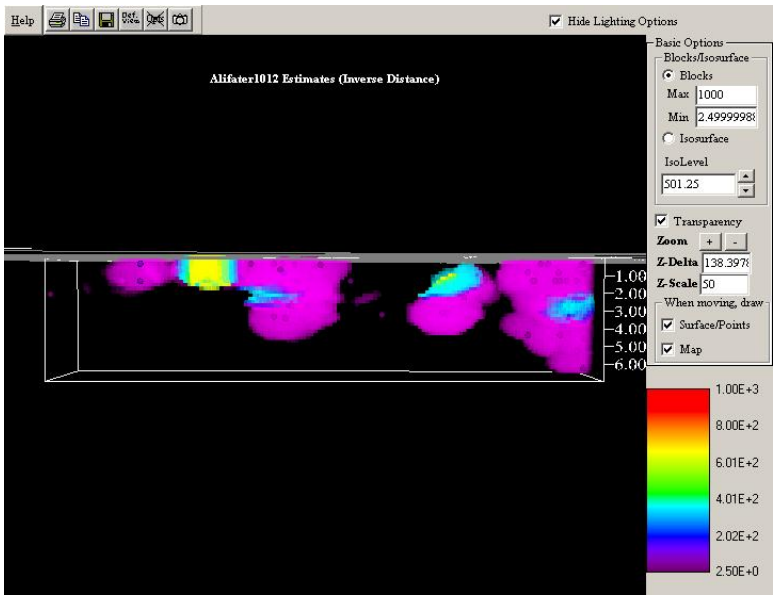


Från sidan. Enheten är mg/kg TS.

Alifater C10-C12

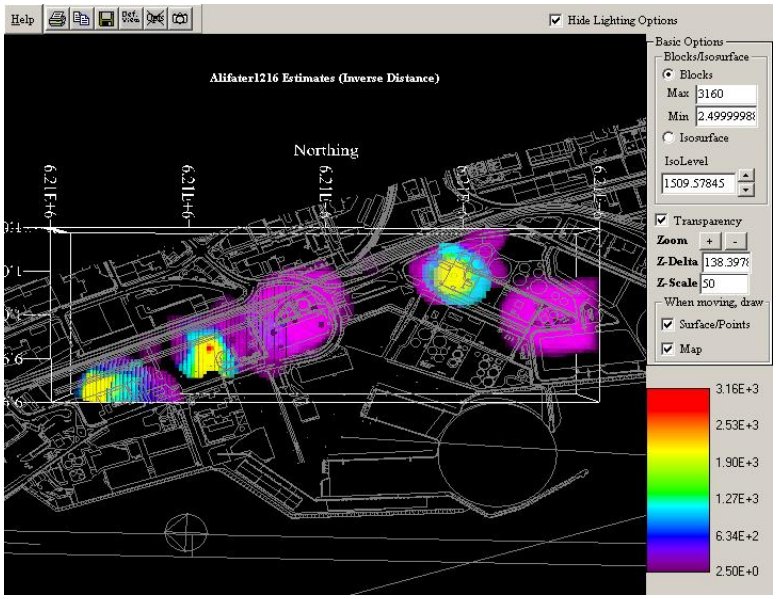


Från ovan. Enheten är mg/kg TS.

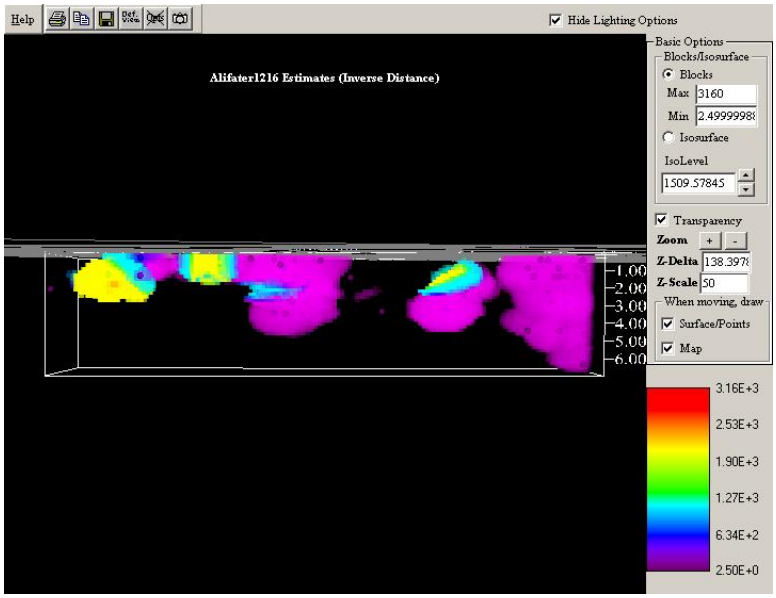


Från sidan. Enheten är mg/kg TS.

Alifater C12-C16

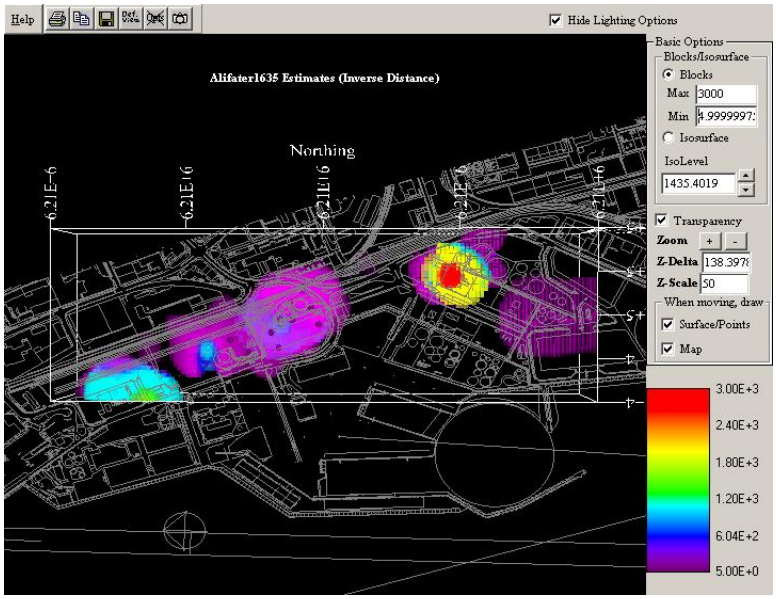


Från ovan. Enheten är mg/kg TS.

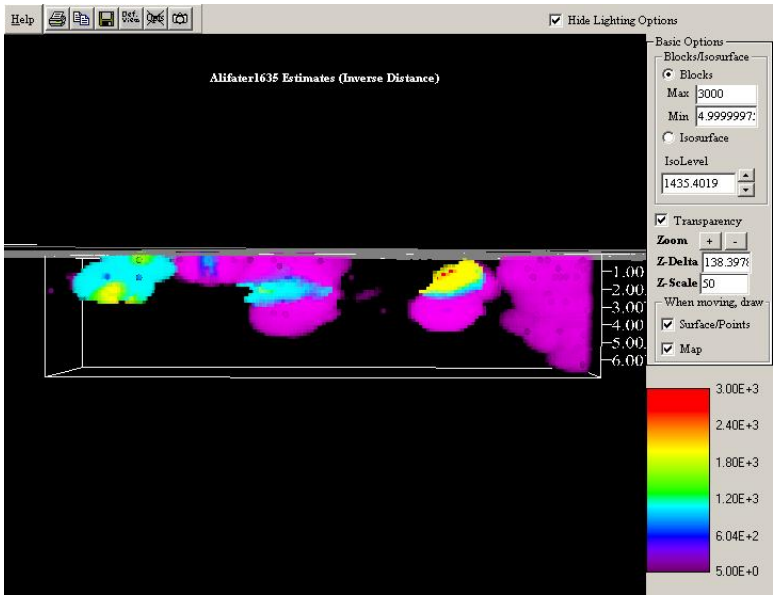


Från sidan. Enheten är mg/kg TS.

Alifater C16-C35

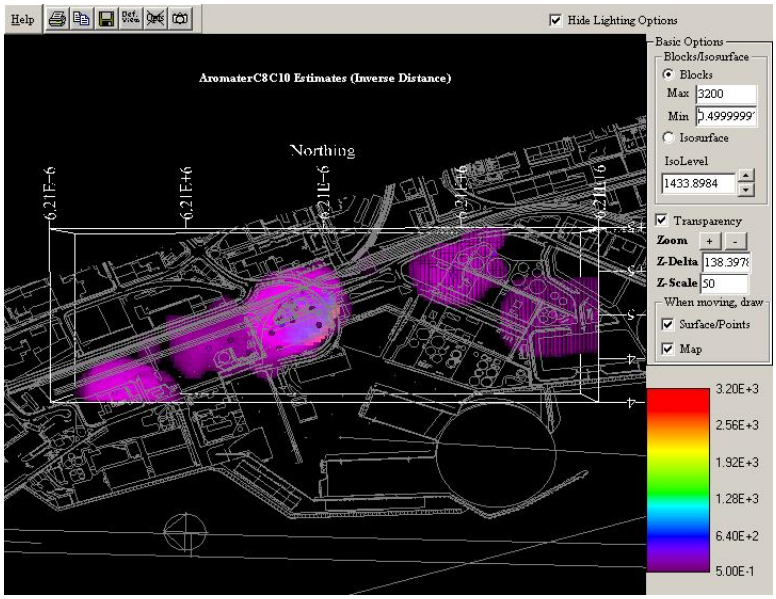


Från ovan. Enheten är mg/kg TS.

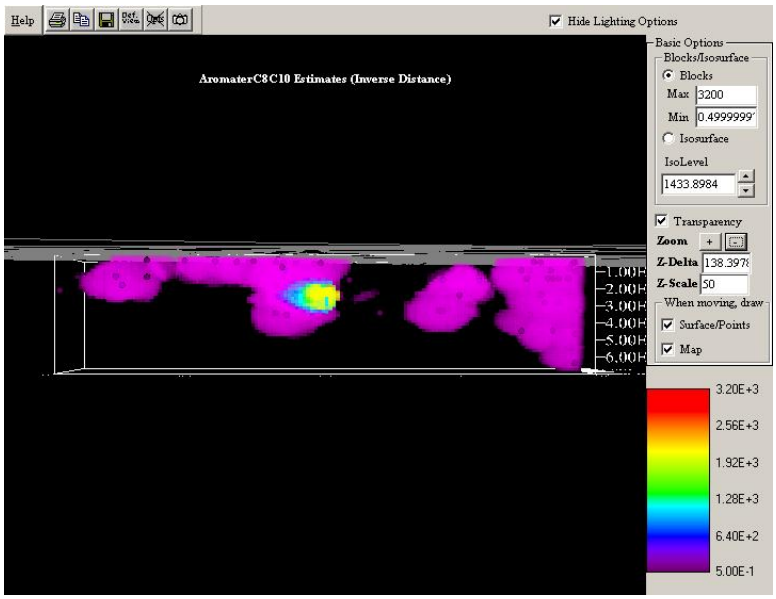


Från sidan. Enheten är mg/kg TS.

Aromater C8-C10

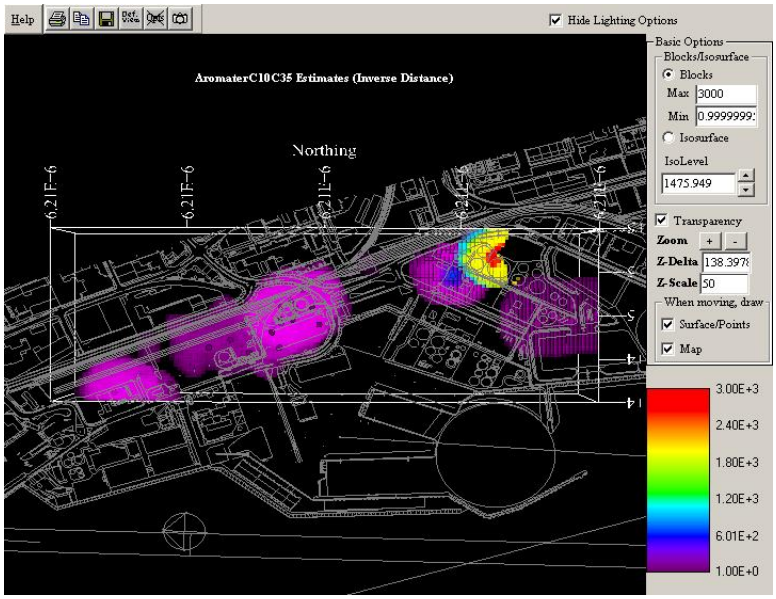


Från ovan. Enheten är mg/kg TS.

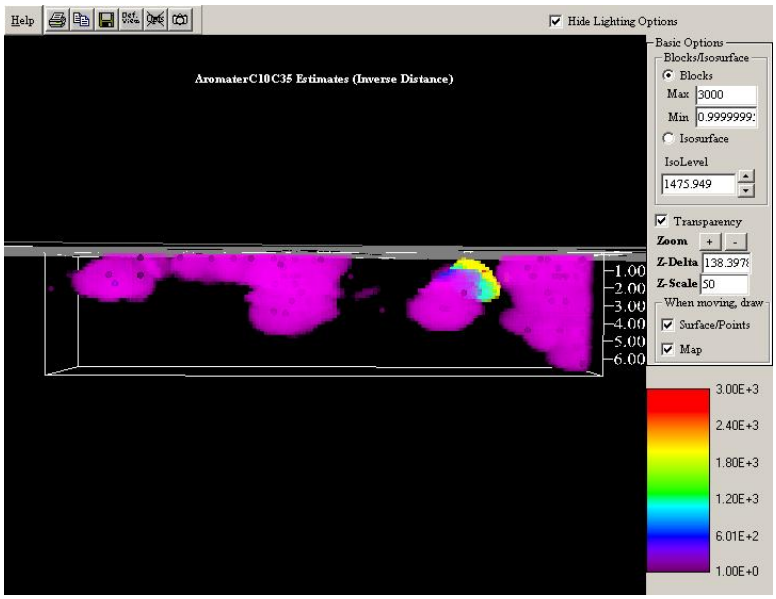


Från sidan. Enheten är mg/kg TS.

Aromater C10-C35

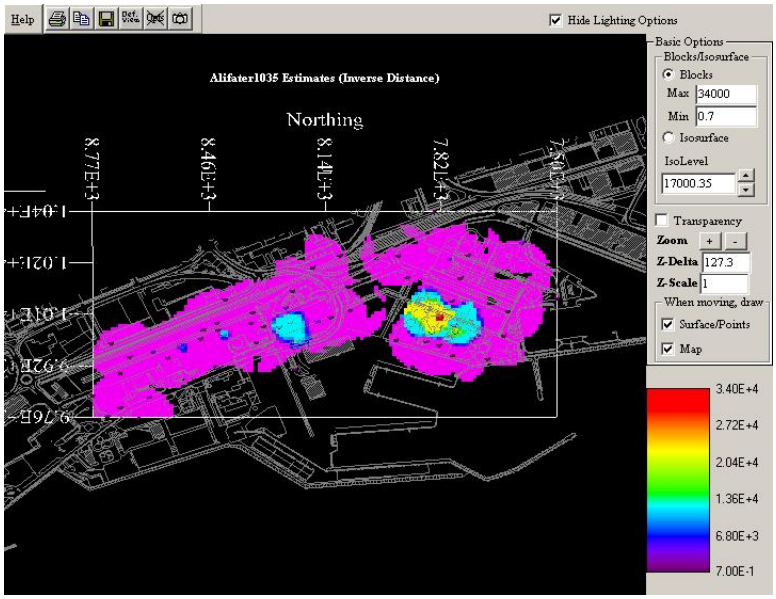


Från ovan. Enheten är mg/kg TS.



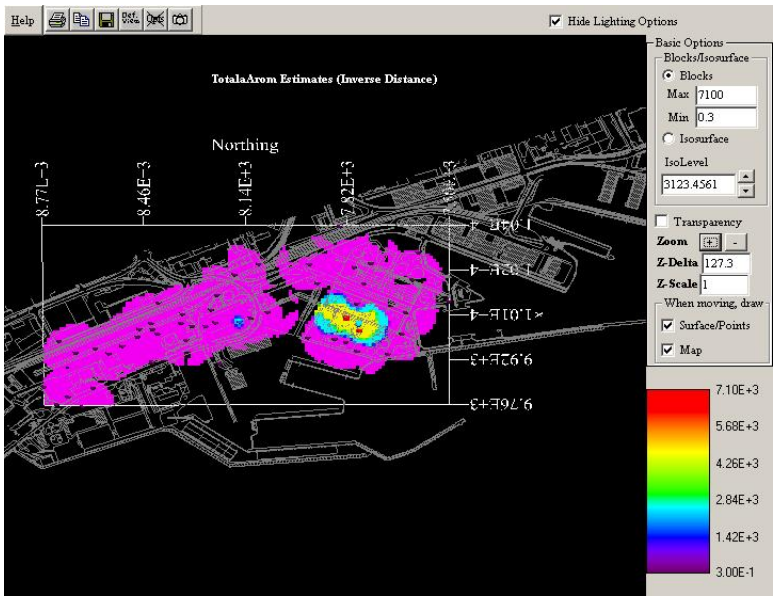
Från sidan. Enheten är mg/kg TS.

J&W Alifater C10-C35



Från ovan. Enheten är mg/kg TS.

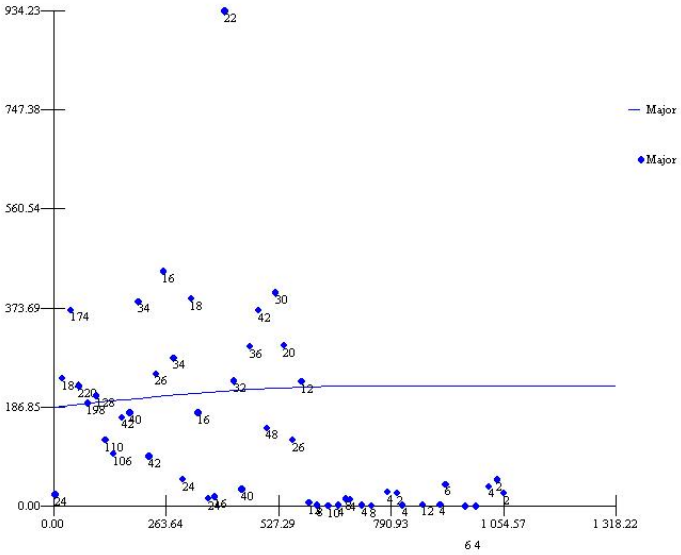
J&W Totala Aromater

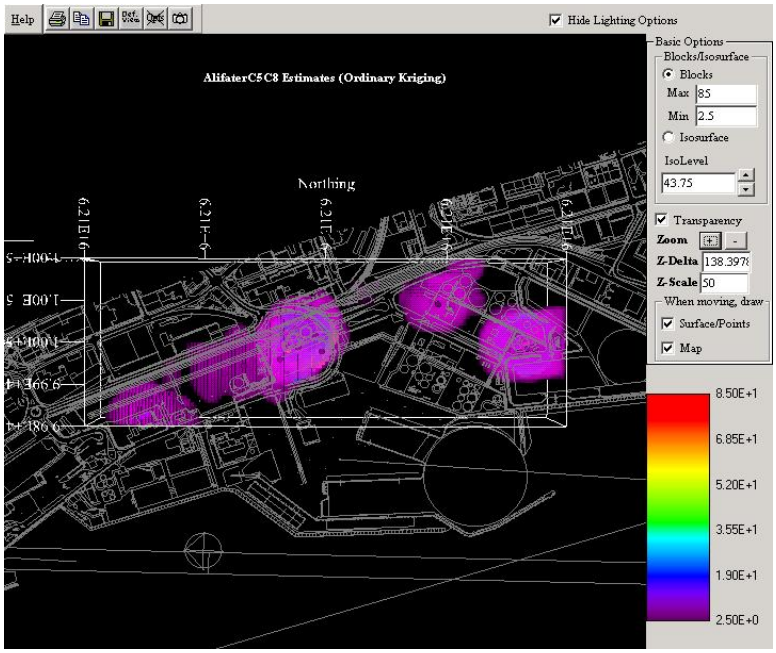


Från ovan. Enheten är mg/kg TS.

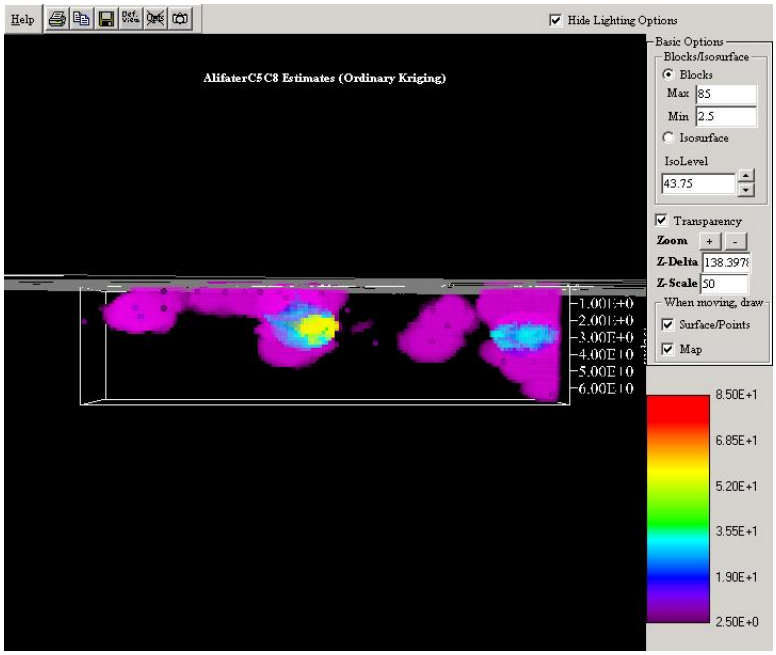
Ordinary Kriging
Bilaga 4

Alifater C5-C8



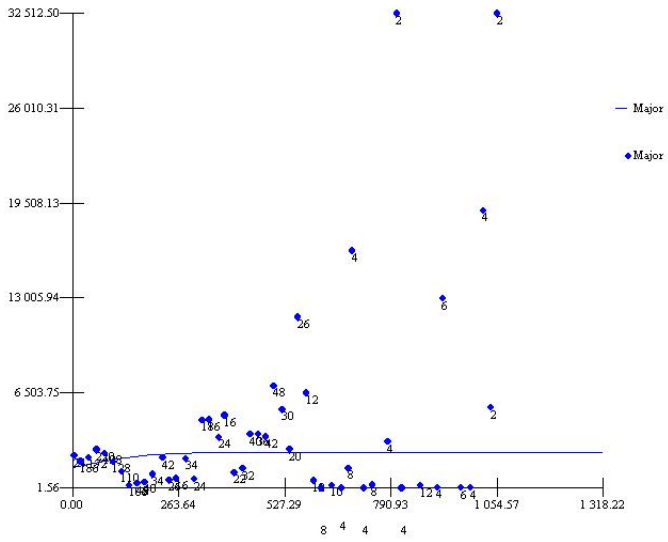


Från ovan. Enheten är mg/kg TS.



Från sidan. Enheten är mg/kg TS.

Alifater C8-C10

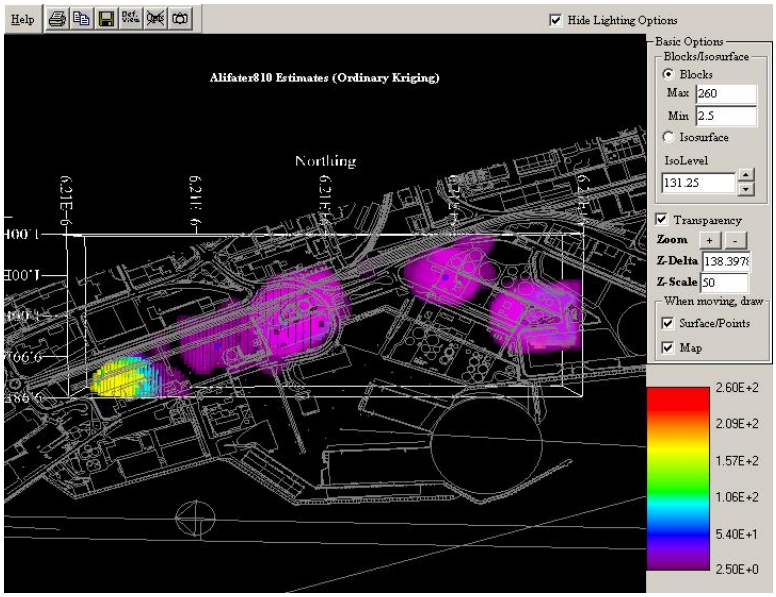


Variogram med modellvariogram inritat. Avstånd i meter och semivarians i m^2.

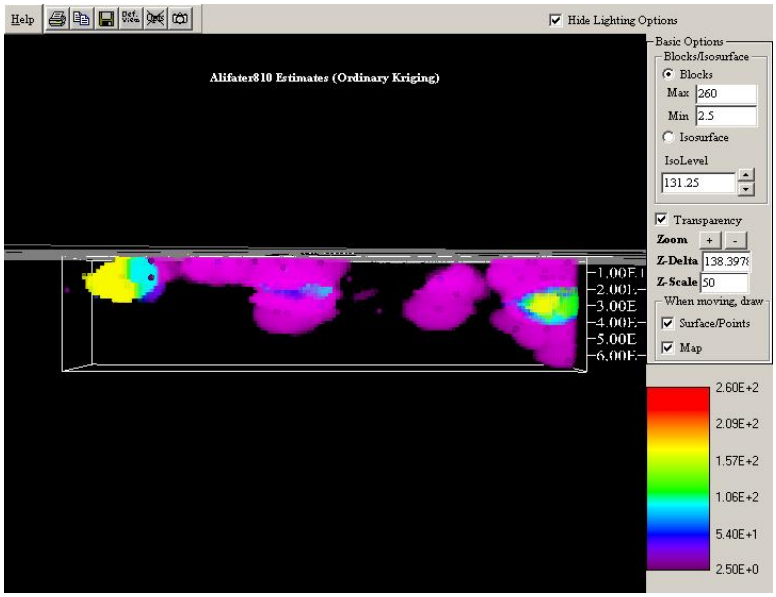
Variograminställningar	Major	Minor
Lag Number	60	60
Lag Distance	20	20
Lag Tol	20	20
Angle	152	62
Tol	90	90
Band	100	100
Dip	0	0
ZTol	90	90
ZBand	1000	1000

Modellvariograminställningar	Spherical
Major Range	300
Minor Range	300
Angle	152
Contribution	1000
Z Angle	0
Z Range	1000
Rotation	0
Nugget	1400

Tabeller med variogram och modellvariograminställningar.

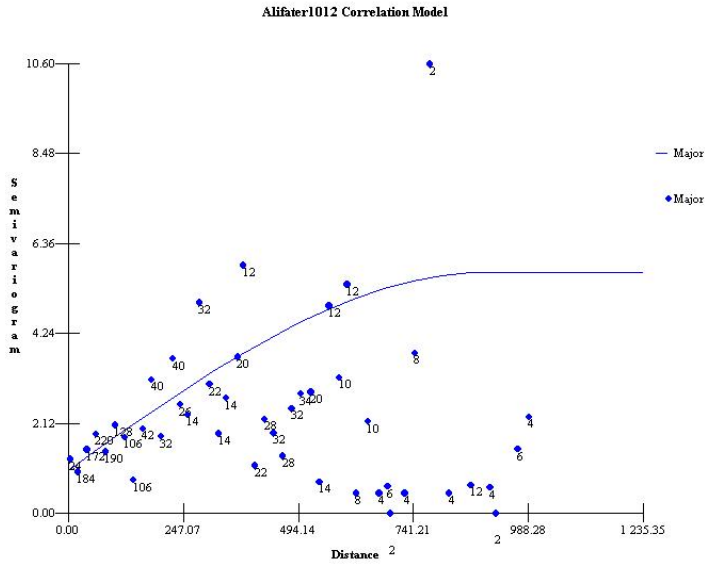


Från ovan. Enheten är mg/kg TS.



Från sidan. Enheten är mg/kg TS.

Alifater C10-C12

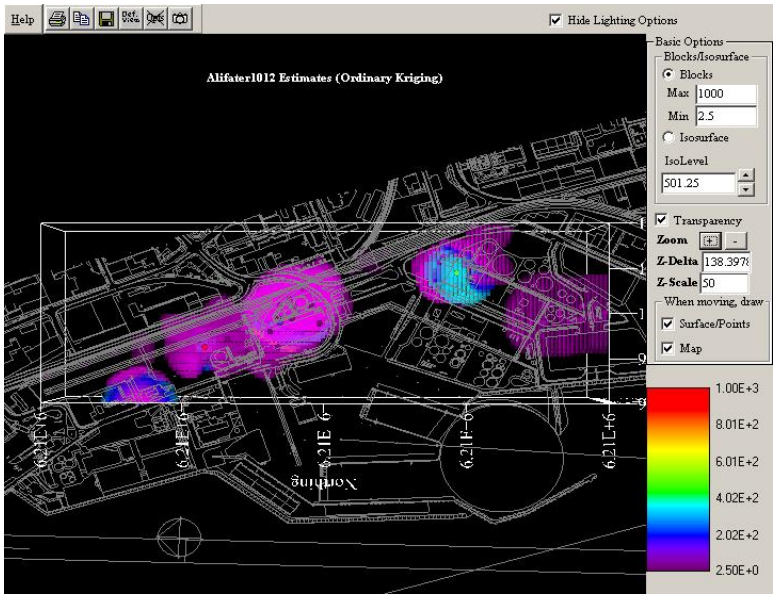


Variogram med modellvariogram inritat. Avstånd i meter och semivarians i m^2.

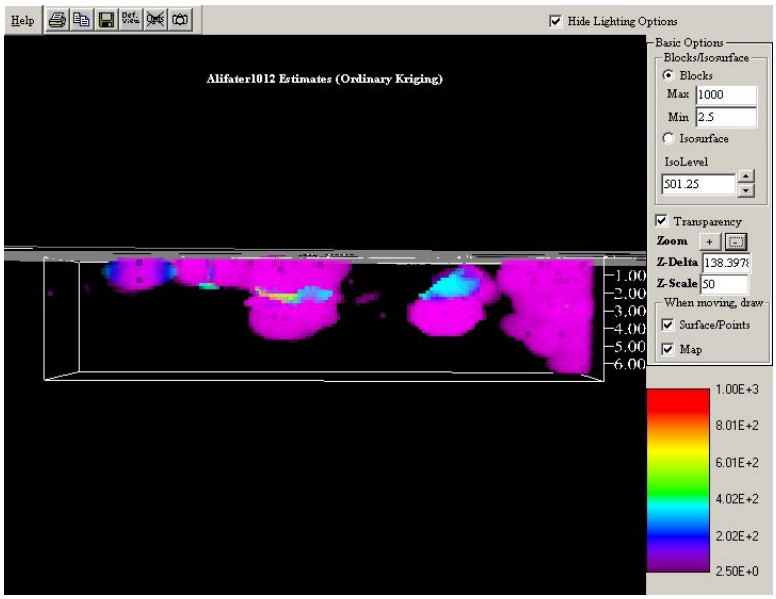
Variograminställningar	Major	Minor
Lag Number	60	60
Lag Distance	20	20
Lag Tol	20	20
Angle	152	62
Tol	90	90
Band	100	100
Dip	0	0
ZTol	90	90
ZBand	1000	1000

Modellvariograminställningar	Spherical
Major Range	896.6061
Minor Range	896.6061
Angle	152
Contribution	4.668
Z Angle	0
Z Range	1000
Rotation	0
Nugget	1.0181

Tabeller med variogram och modellvariograminställningar.

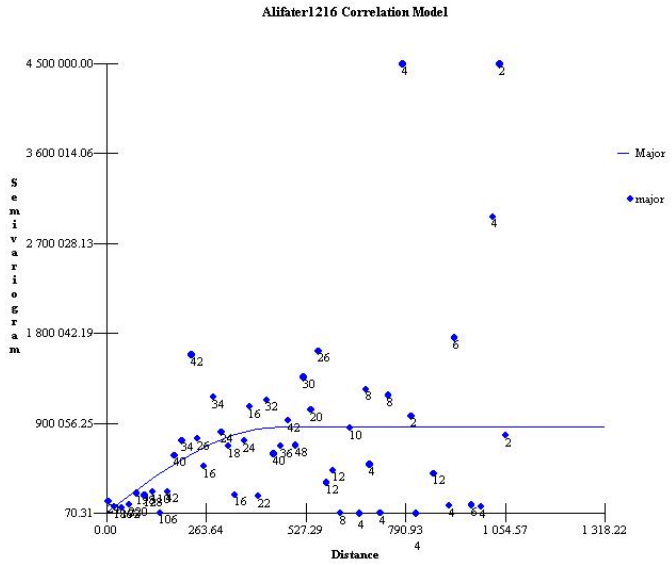


Från ovan. Enheten är mg/kg TS.



Från sidan. Enheten är mg/kg TS.

Alifater C12-C16

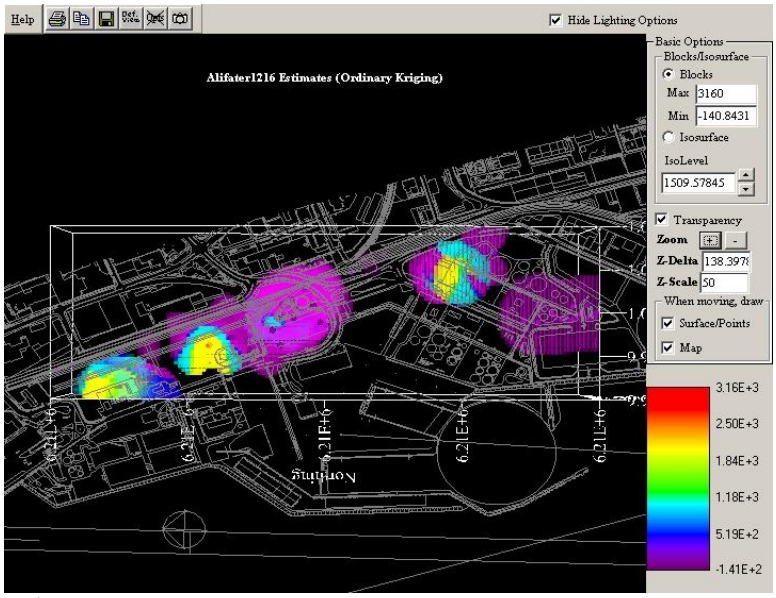


Variogram med modellvariogram inritat. Avstånd i meter och semivarians i m^2.

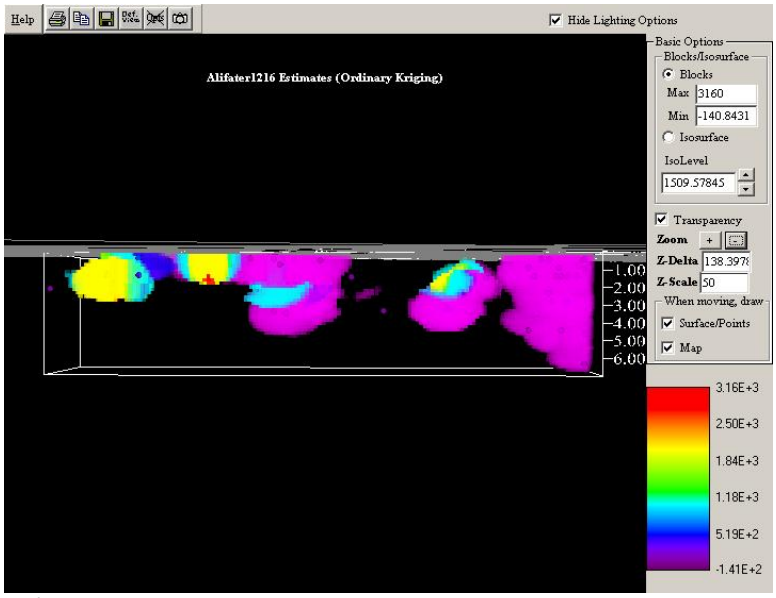
Variograminställningar	Major	Minor
Lag Number	60	60
Lag Distance	20	20
Lag Tol	20	20
Angle	152	62
Tol	90	90
Band	100	100
Dip	0	0
ZTol	90	90
ZBand	1000	1000

Modellvariograminställningar	Spherical
Major Range	450
Minor Range	450
Angle	152
Contribution	850000
Z Angle	0
Z Range	1000
Rotation	0
Nugget	10000

Tabeller med variogram och modellvariograminställningar.

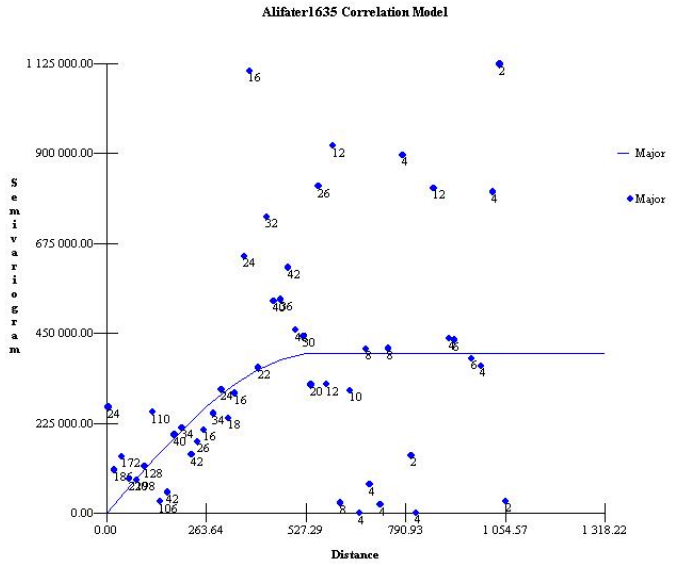


Från ovan. Enheten är mg/kg TS.



Från sidan. Enheten är mg/kg TS.

Alifater C16-C35

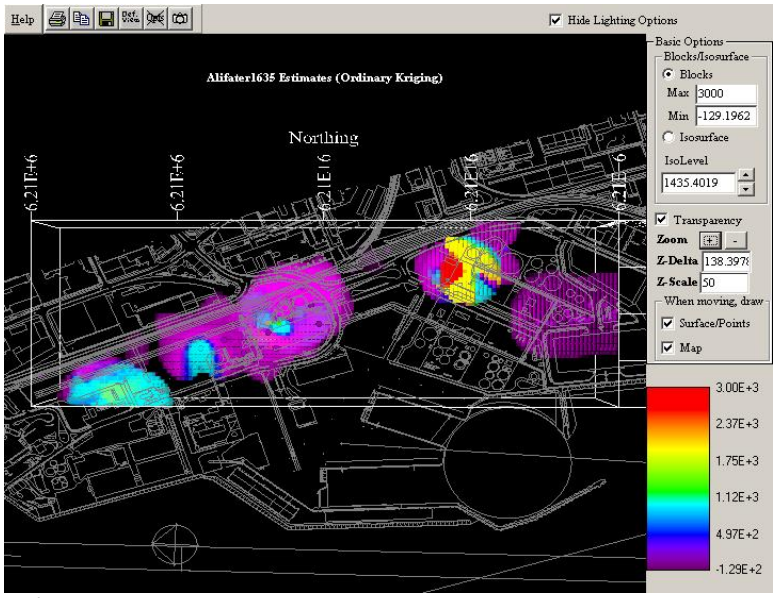


Variogram med modellvariogram inritat. Avstånd i meter och semivarians i m^2.

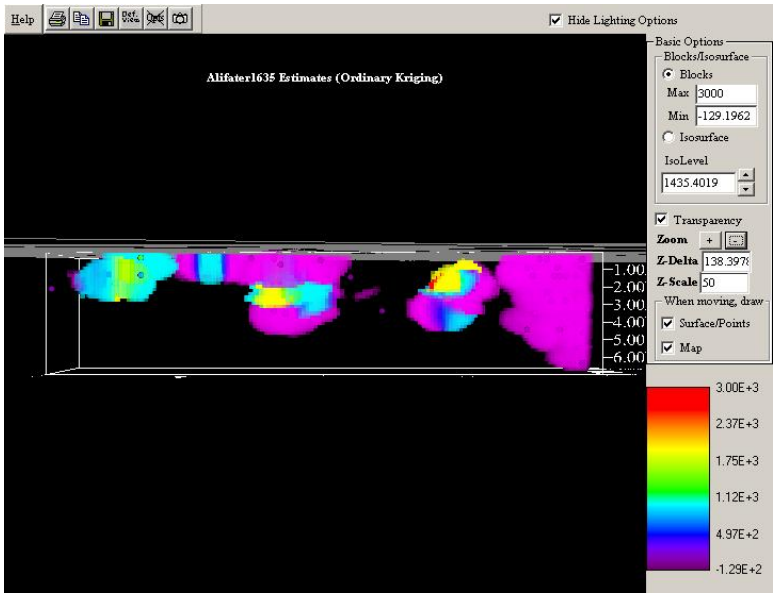
Variograminställningar	Major	Minor
Lag Number	60	60
Lag Distance	20	20
Lag Tol	20	20
Angle	152	62
Tol	90	90
Band	100	100
Dip	0	0
ZTol	90	90
ZBand	1000	1000

Modellvariograminställningar	Spherical
Major Range	550
Minor Range	550
Angle	152
Contribution	400000
Z Angle	0
Z Range	1000
Rotation	0
Nugget	0

Tabeller med variogram och modellvariograminställningar.

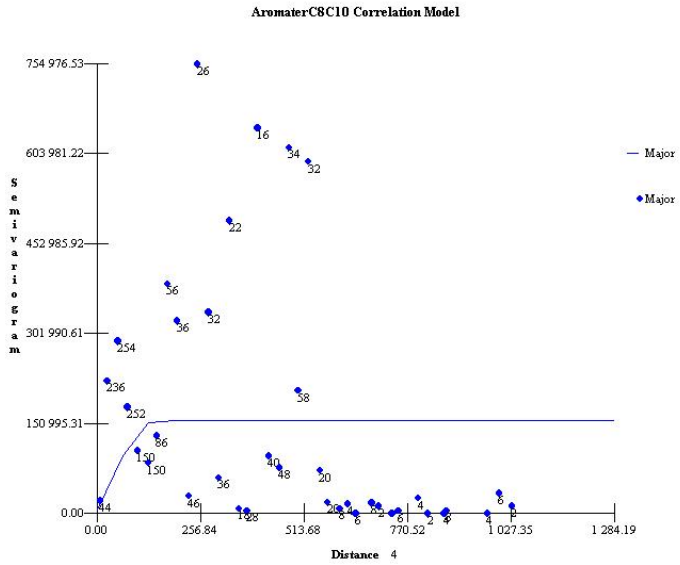


Från ovan. Enheten är mg/kg TS.



Från sidan. Enheten är mg/kg TS.

Aromater C8-C10

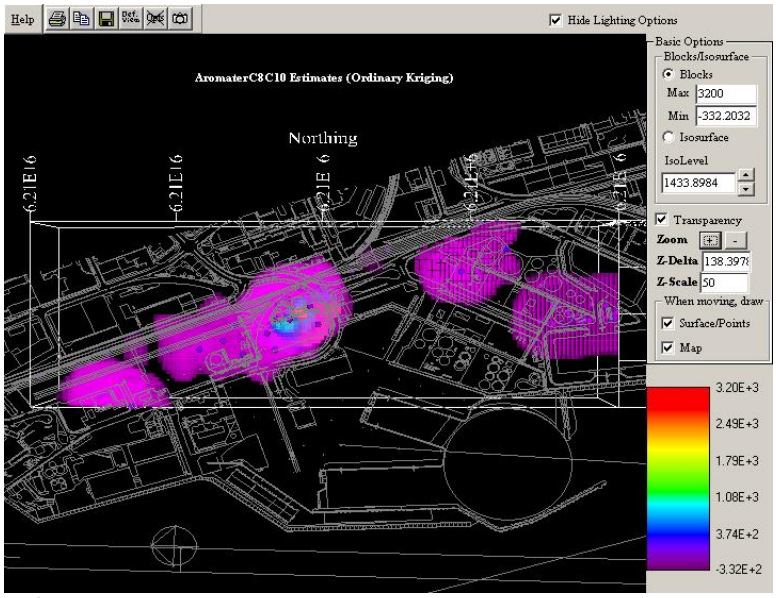


Variogram med modellvariogram inritat. Avstånd i meter och semivarians i m^2.

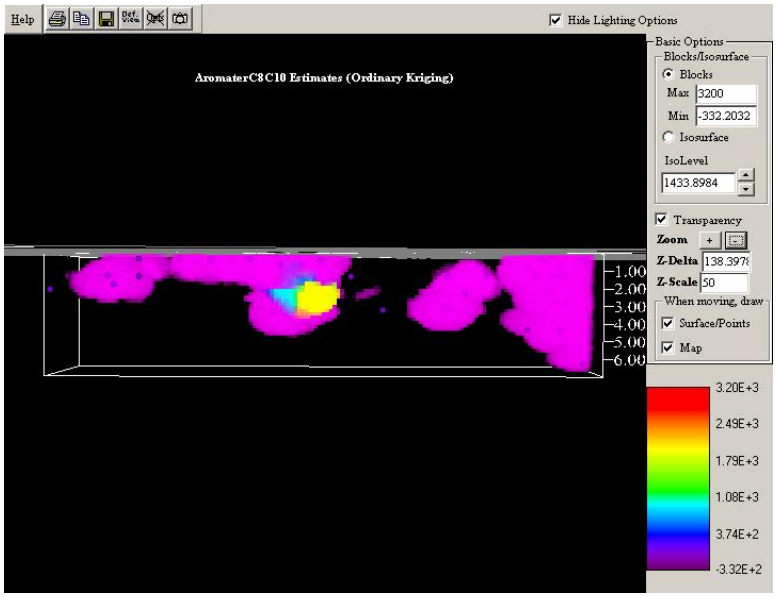
Variograminställningar	Major
Lag Number	70
Lag Distance	25
Lag Tol	25
Angle	150
Tol	90
Band	100
Dip	0
ZTol	90
ZBand	1000

Modellvariograminställningar	Spherical
Major Range	150
Minor Range	150
Angle	150
Contribution	150000
Z Angle	0
Z Range	1000
Rotation	0
Nugget	6000

Tabeller med variogram och modellvariograminställningar.

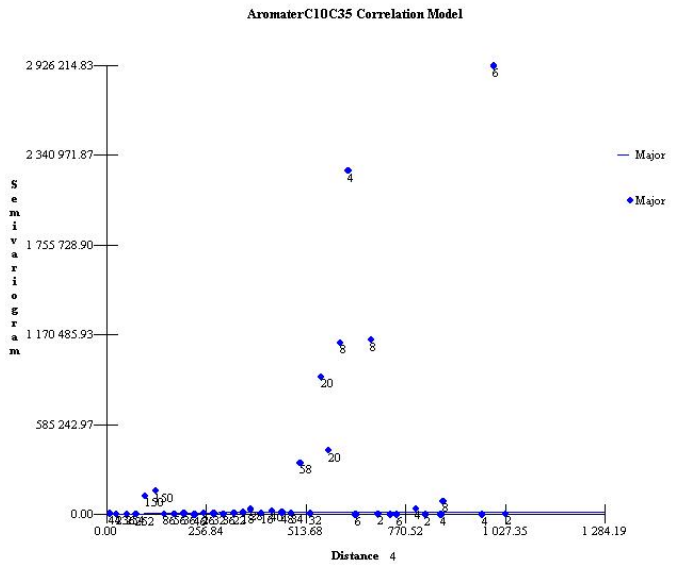


Från ovan. Enheten är mg/kg TS.



Från sidan. Enheten är mg/kg TS.

Aromater C10-C35

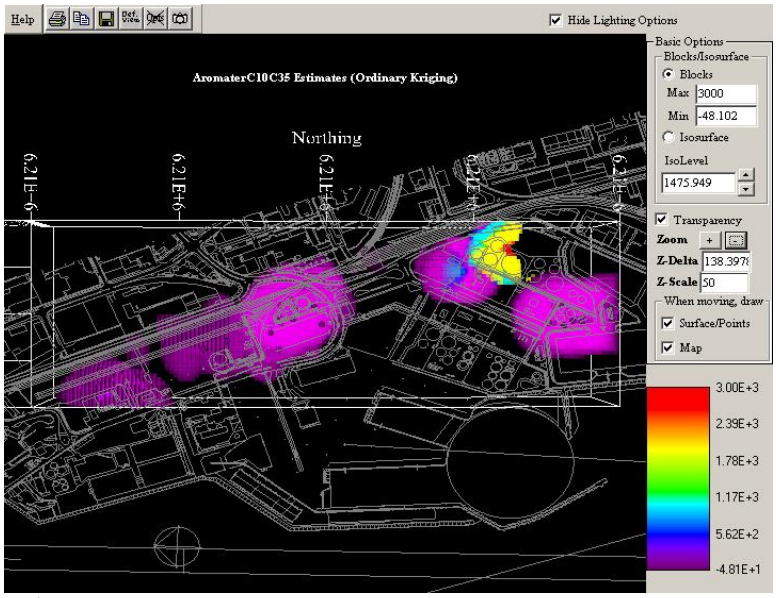


Variogram med modellvariogram inritat. Avstånd i meter och semivarians i m^2.

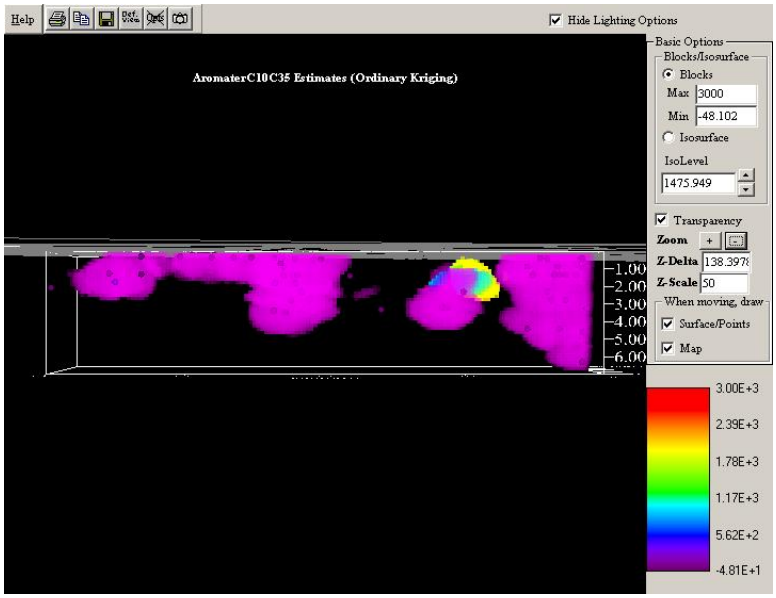
Variograminställningar	Major
Lag Number	70
Lag Distance	25
Lag Tol	25
Angle	150
Tol	90
Band	100
Dip	0
ZTol	90
ZBand	1000

Modellvariograminställningar	Spherical
Major Range	650
Minor Range	650
Angle	150
Contribution	18000
Z Angle	0
Z Range	1000
Rotation	0
Nugget	1

Tabeller med variogram och modellvariograminställningar.

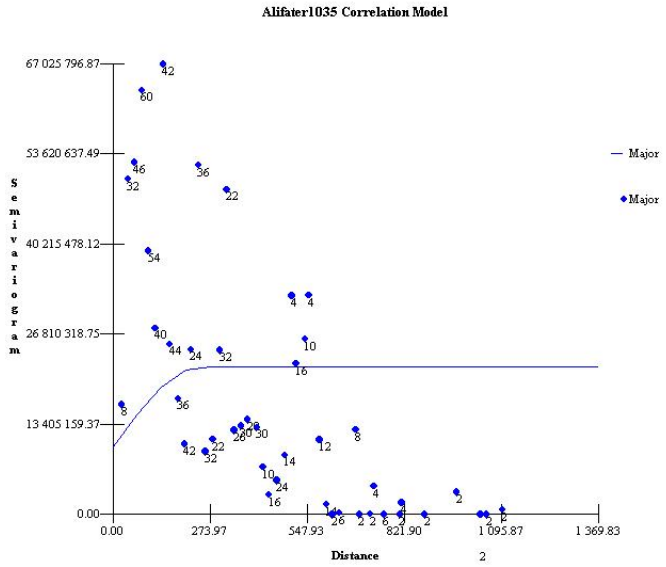


Från ovan. Enheten är mg/kg TS.



Från sidan. Enheten är mg/kg TS.

J&W Alifater C10-C35

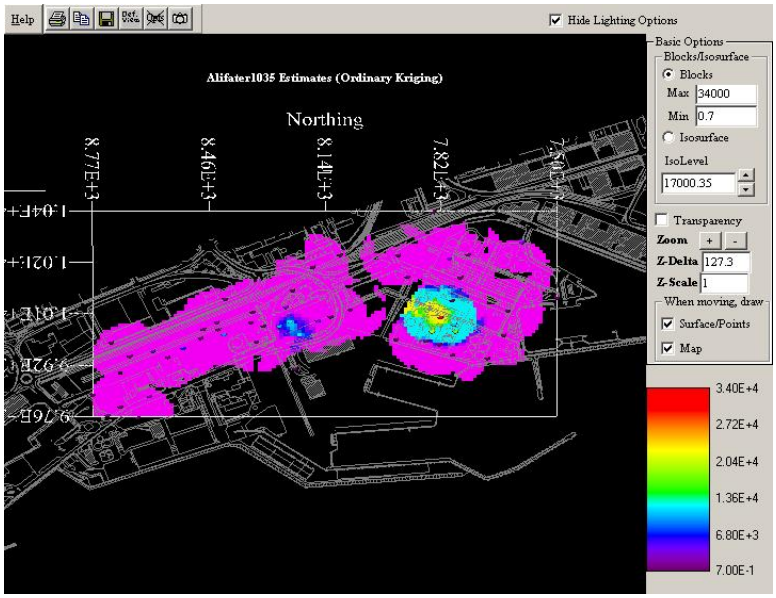


Variogram med modellvariogram inritat. Avstånd i meter och semivarians i m^2.

Variograminställningar	Major
Lag Number	100
Lag Distance	20
Lag Tol	20
Angle	140
Tol	90
Band	100
Dip	0
ZTol	90
ZBand	1000

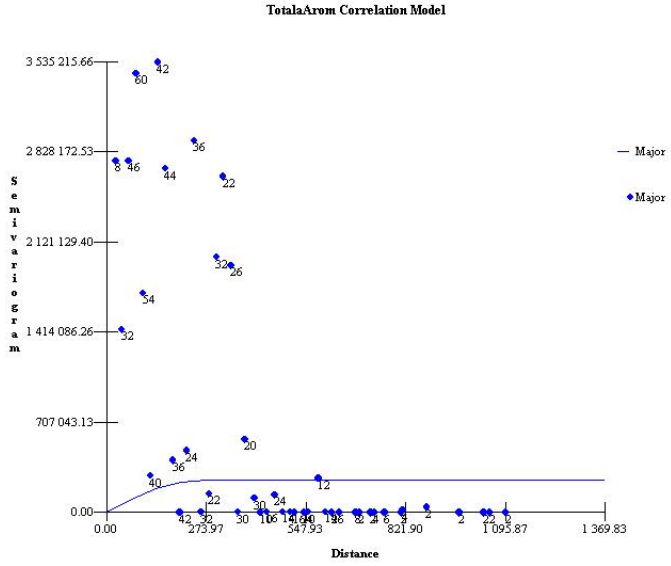
Modellvariograminställningar	Spherical
Major Range	250
Minor Range	250
Angle	140
Contribution	12000000
Z Angle	0
Z Range	1000
Rotation	0
Nugget	10000000

Tabeller med variogram och modellvariograminställningar.



Från ovan. Enheten är mg/kg TS.

J&W Totala Aromater

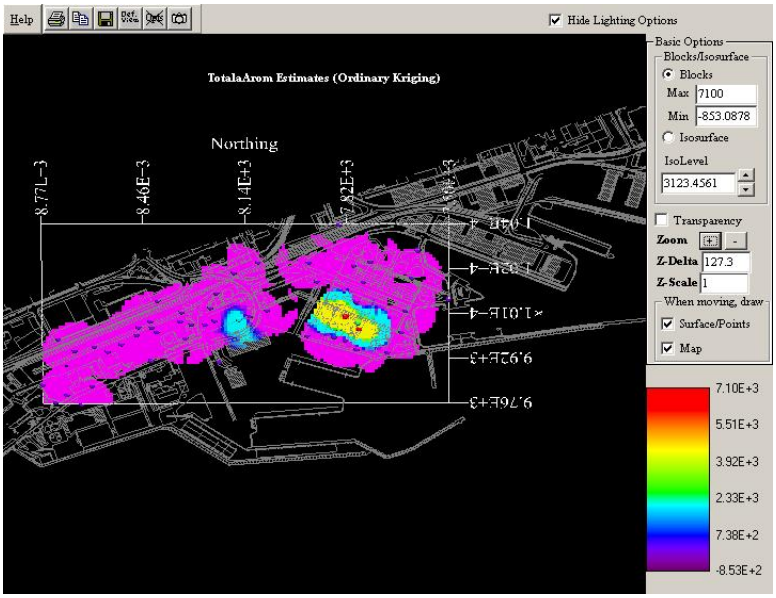


Variogram med modellvariogram inritat. Avstånd i meter och semivarians i m^2.

Variograminställningar	Major
Lag Number	100
Lag Distance	20
Lag Tol	20
Angle	140
Tol	90
Band	100
Dip	0
ZTol	90
ZBand	1000

Modellvariograminställningar	Spherical
Major Range	250
Minor Range	250
Angle	140
Contribution	250000
Z Angle	0
Z Range	1000
Rotation	0
Nugget	0

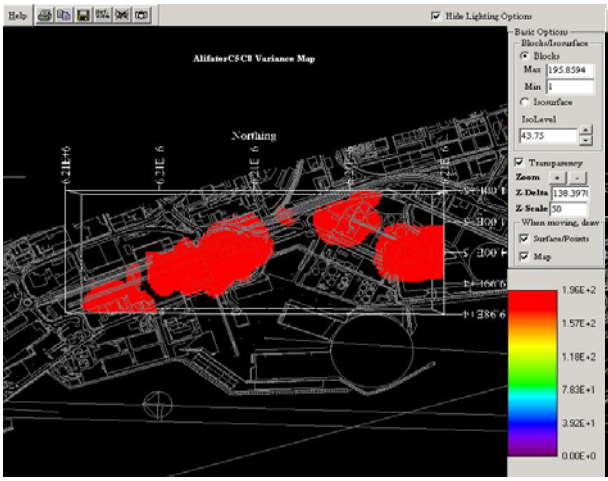
Tabeller med variogram och modellvariograminställningar.



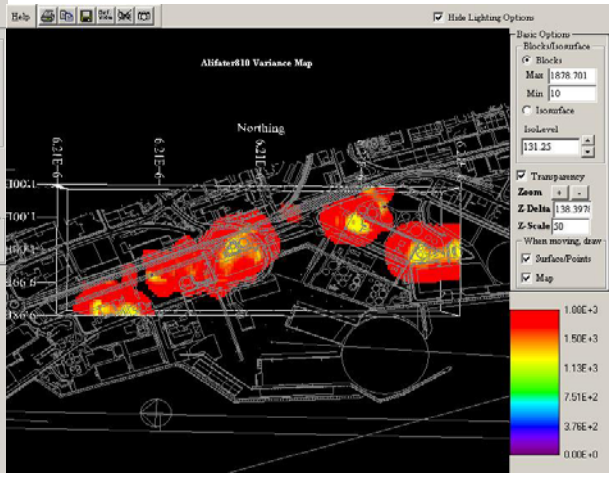
Från ovan. Enheten är mg/kg TS.

Varianskartor
Bilaga 5

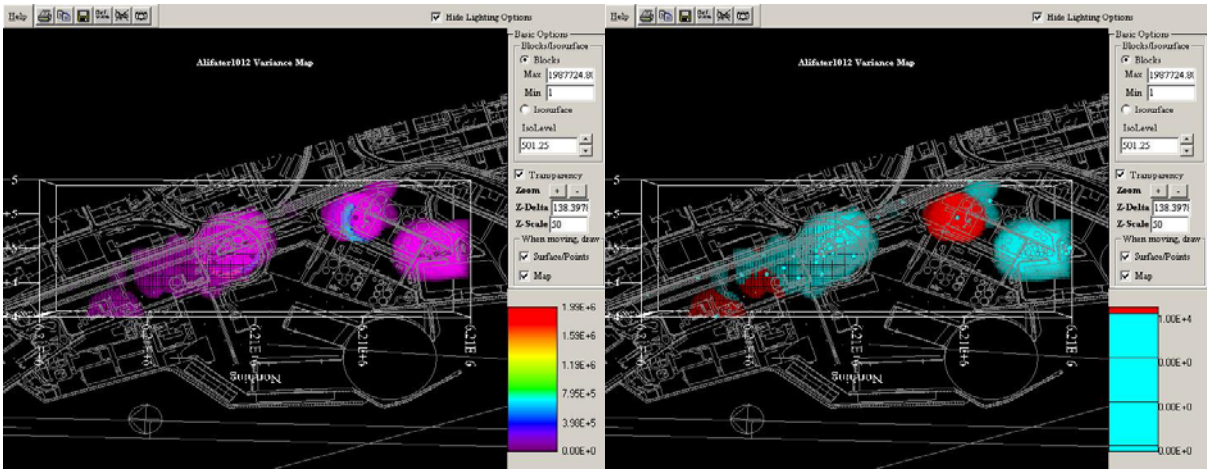
Alifater C5-C8



Alifater C8-C10

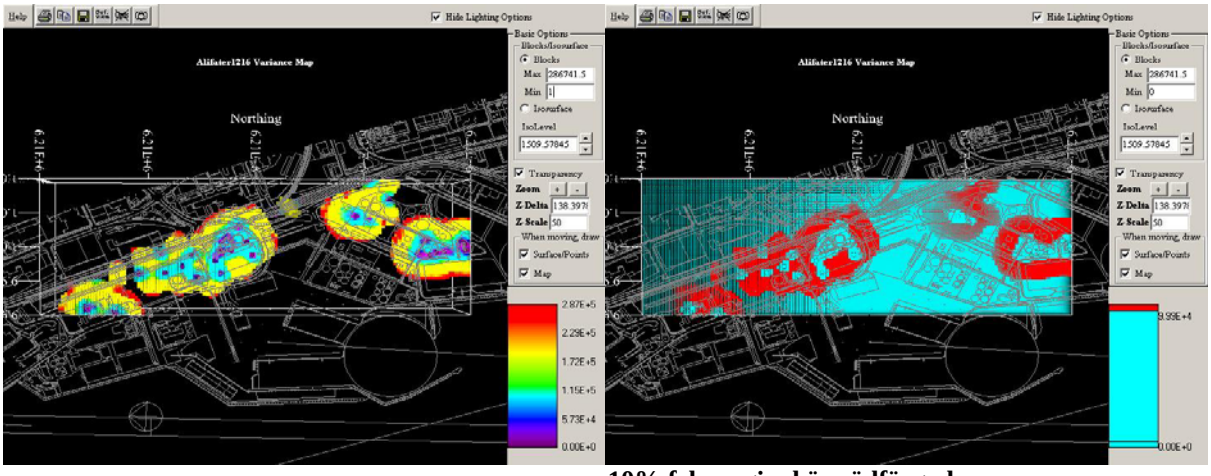


Alifater C10-C12



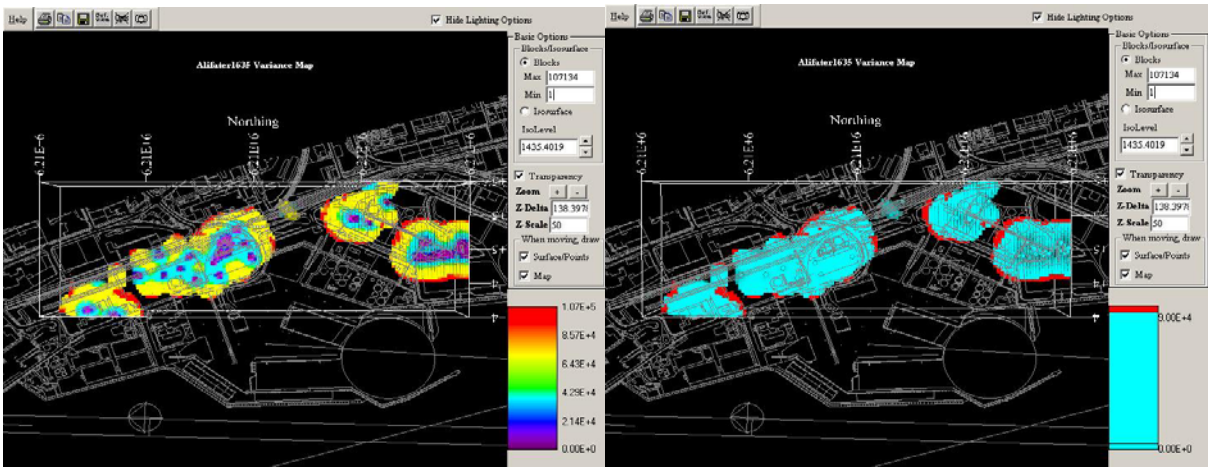
10% felmarginal är rödfärgad.

Alifater C12-C16



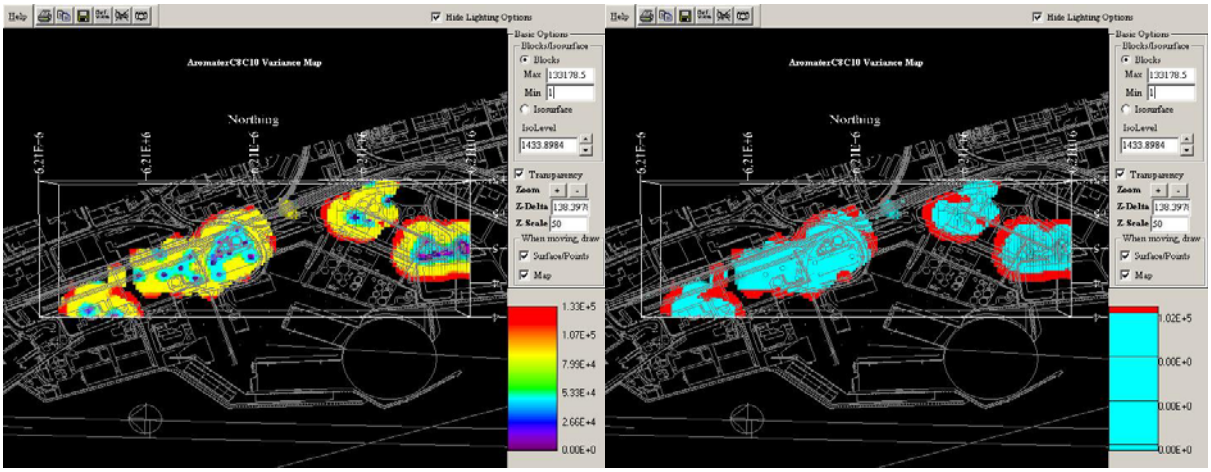
10% felmarginal är rödfärgad.

Alifater C16-C35



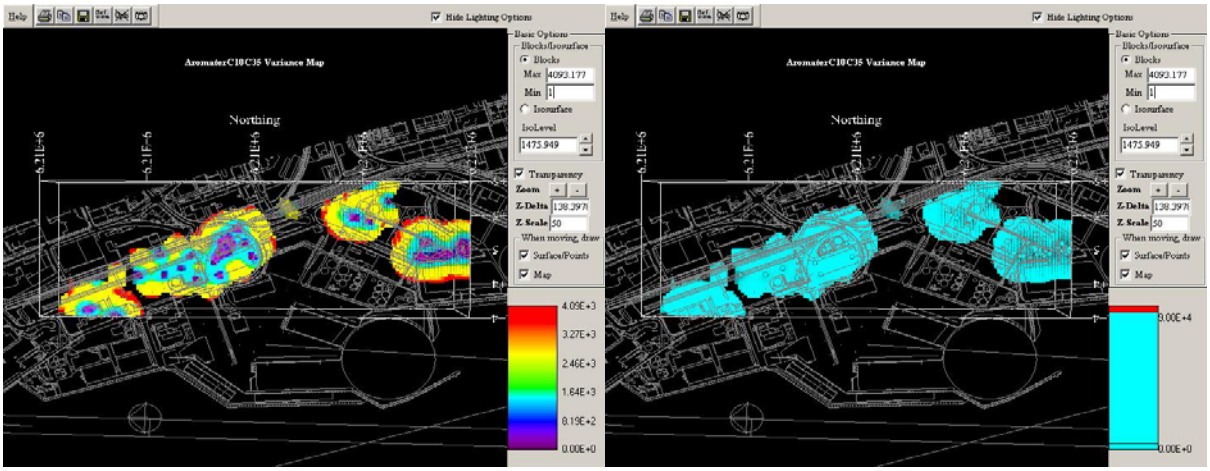
10% felmarginal är rödfärgad.

Aromater C8-C10



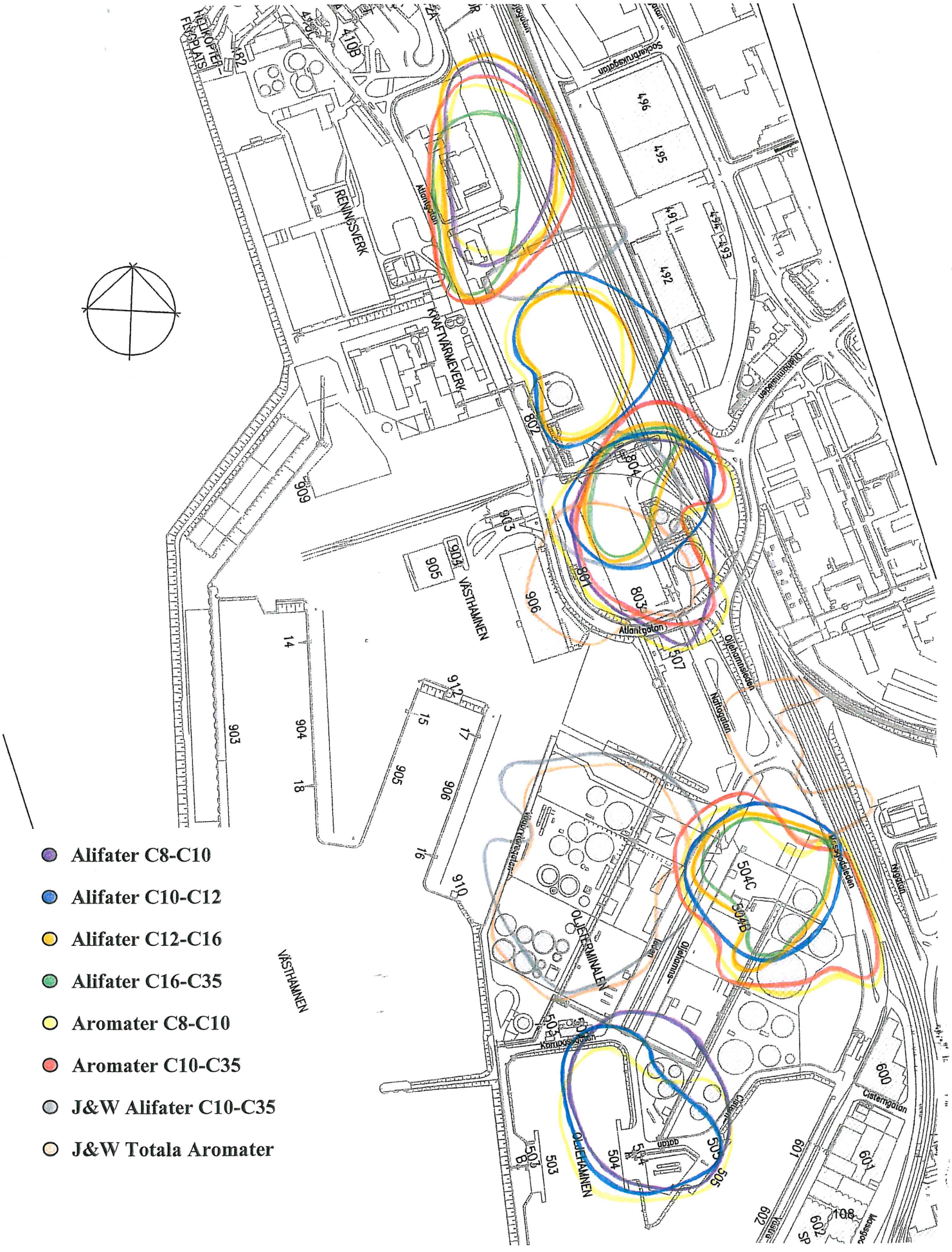
10% felmarginal är rödfärgad.

Aromater C10-C35



10% felmarginal är rödfärgad.

Föroreningsgruppernas utbredning med halter över riktvärdet **Bilaga 6**

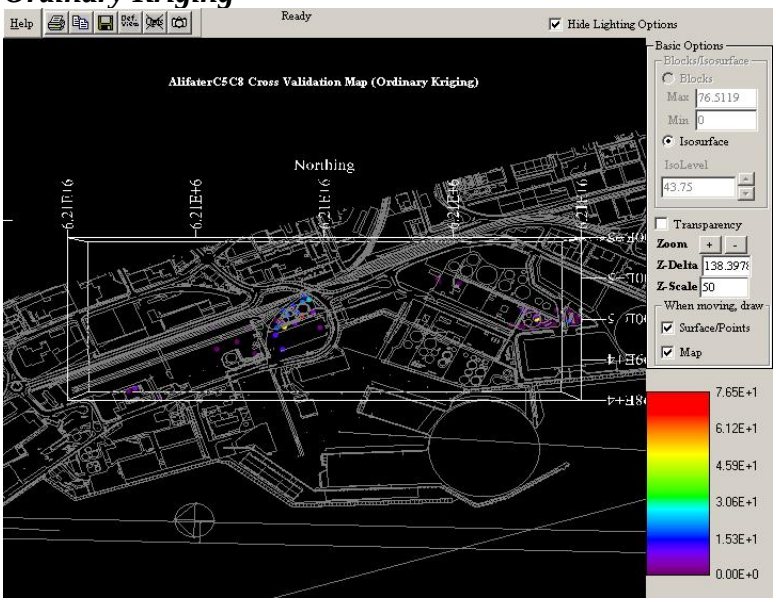


- Alifater C8-C10
- Alifater C10-C12
- Alifater C12-C16
- Alifater C16-C35
- Aromater C8-C10
- Aromater C10-C35
- J&W Alifater C10-C35
- J&W Totala Aromater

Korsvalidering
Bilaga7

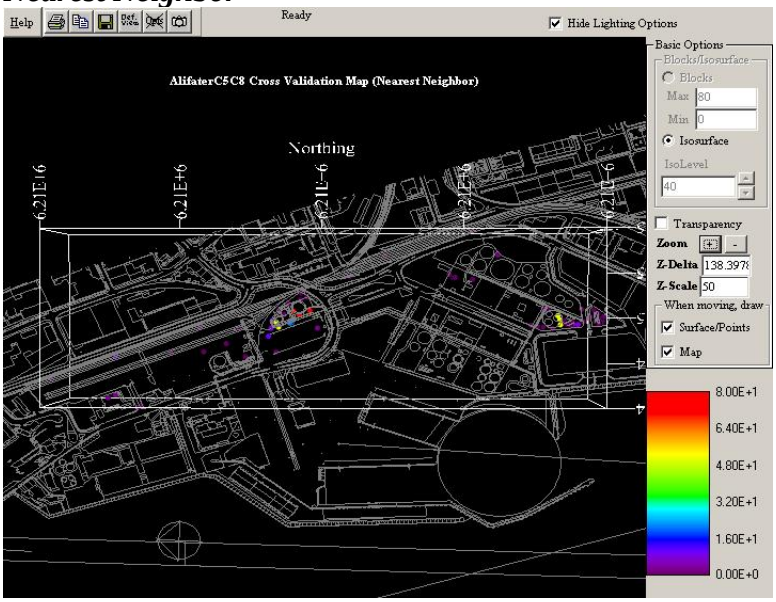
Alifater C5-C8

Ordinary Kriging



Inverse Distance

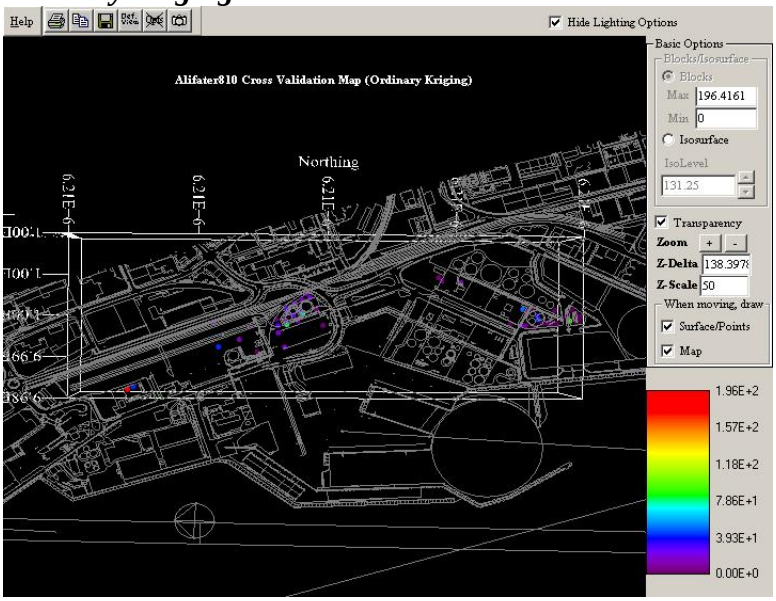
Nearest Neighbor



Interpoleringsmetod	Medel absoluta felet
Ordinary Kriging	6.607
Inverse Distance	6.288
Nearest Neighbor	9.318

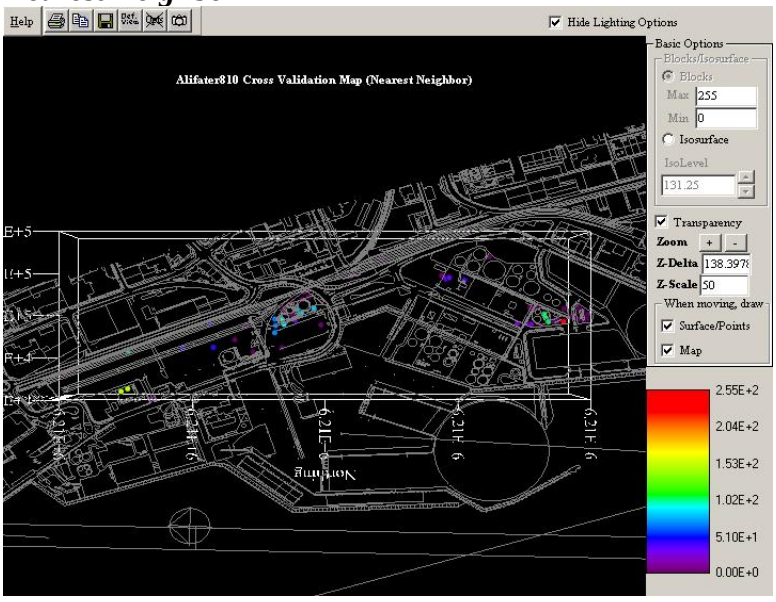
Alifater C8-C10

Ordinary Kriging



Inverse Distance

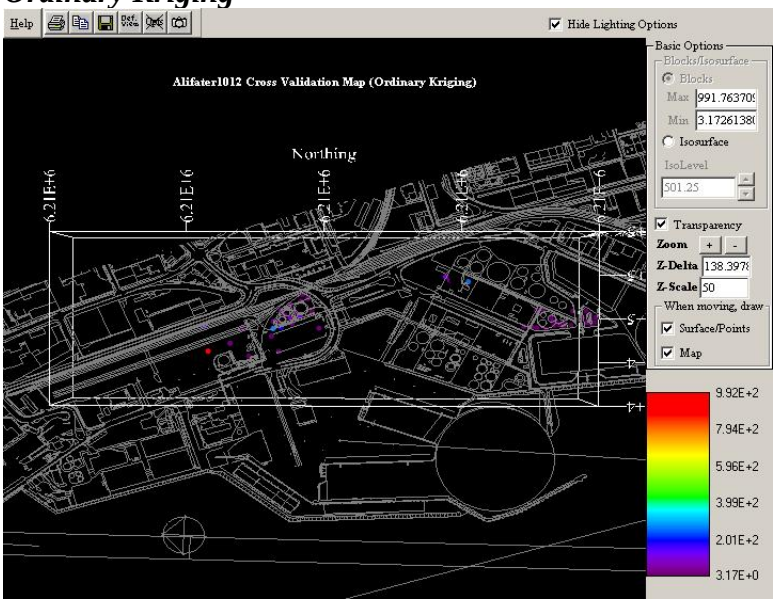
Nearest Neighbor



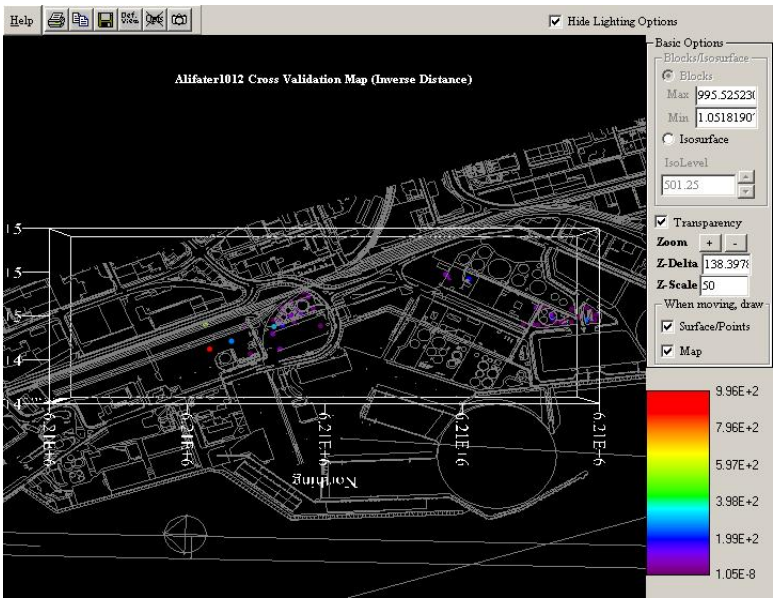
Interpoleringsmetod	Medel absoluta felet
Ordinary Kriging	20.04175
Inverse Distance	21.2768522966074
Nearest Neighbor	37.3393939393939

Alifater C10-C12

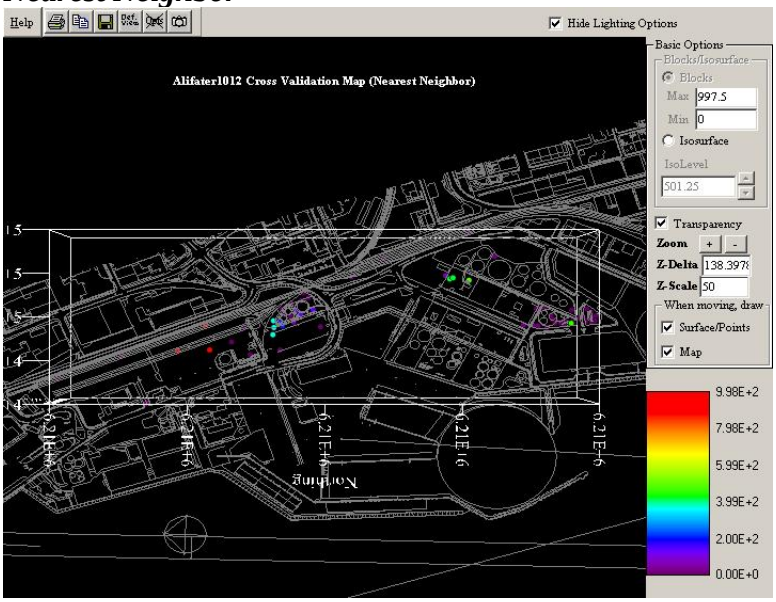
Ordinary Kriging



Inverse Distance



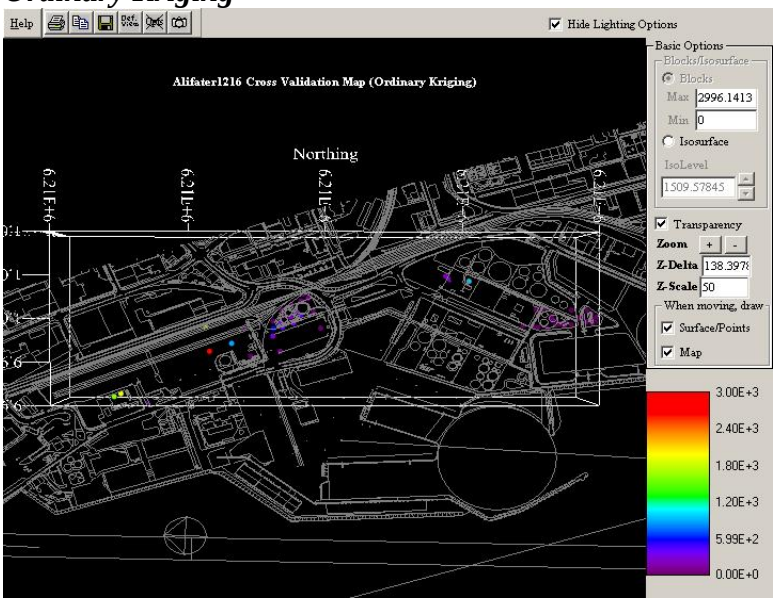
Nearest Neighbor



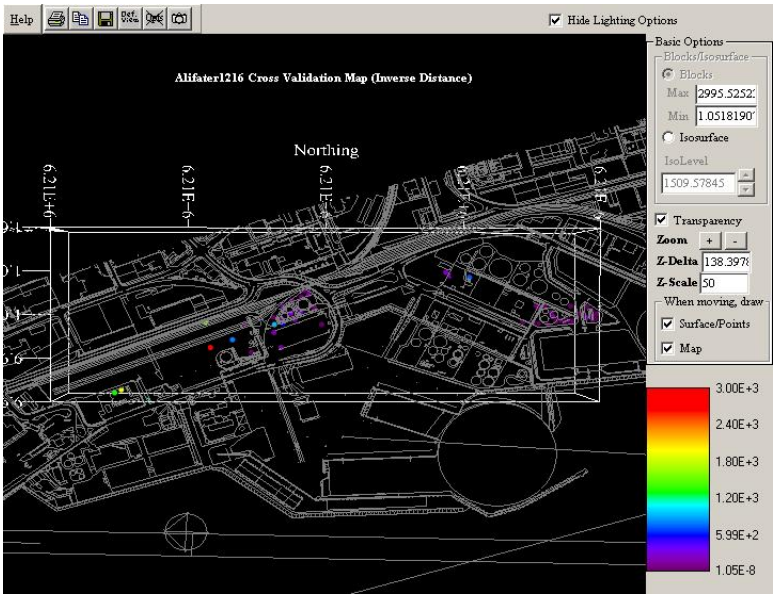
Interpoleringsmetod	Medel absoluta felet
Ordinary Kriging	49.874
Inverse Distance	67.030
Nearest Neighbor	118.258

Alifater C12-C16

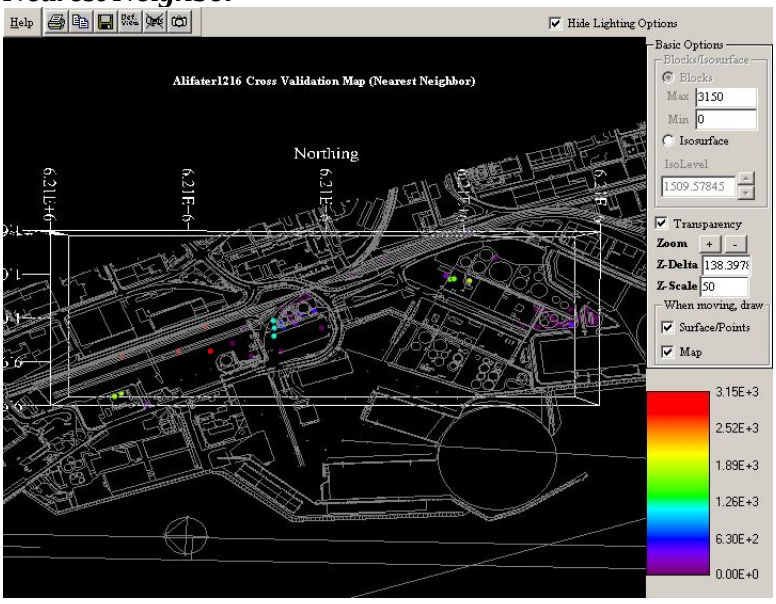
Ordinary Kriging



Inverse Distance



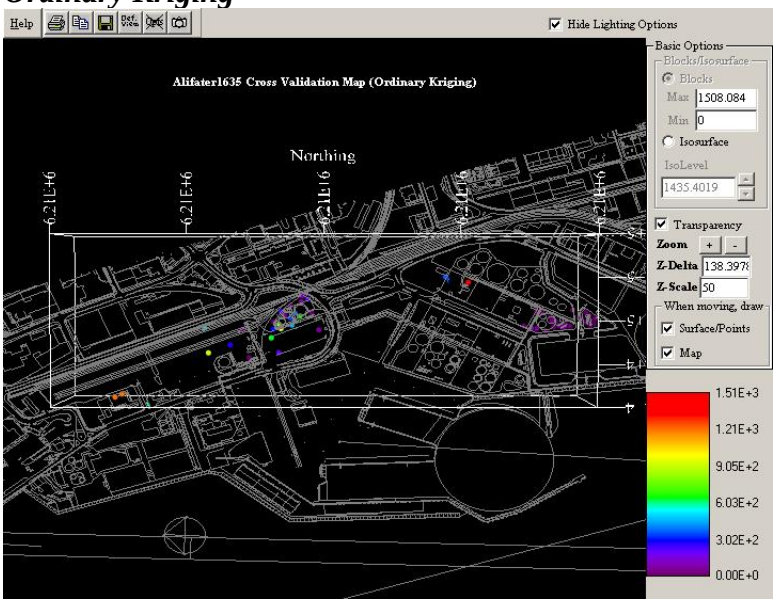
Nearest Neighbor



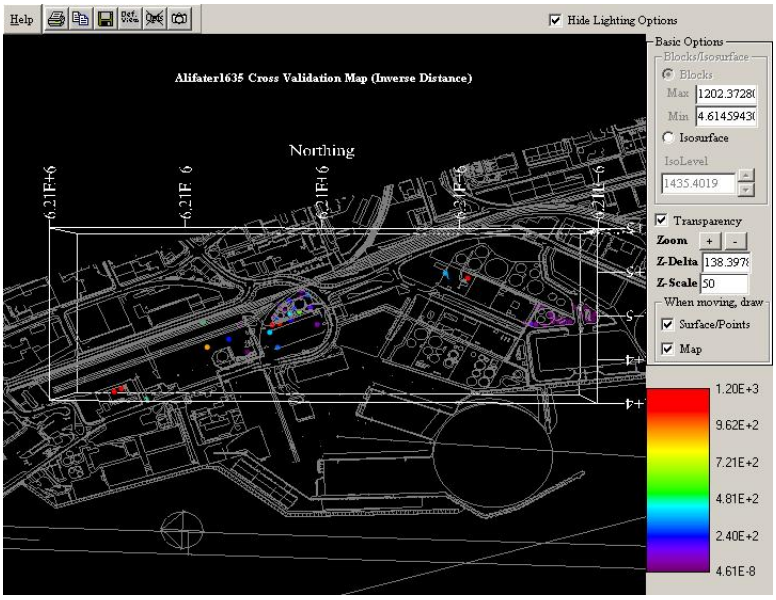
Interpoleringsmetod	Medel absoluta felet
Ordinary Kriging	227.767
Inverse Distance	236.474
Nearest Neighbor	469.924

Alifater C16-C35

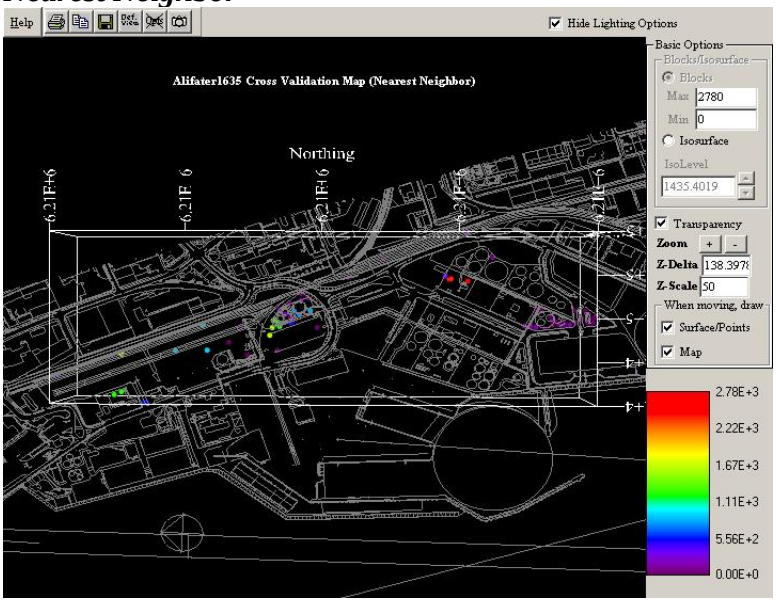
Ordinary Kriging



Inverse Distance



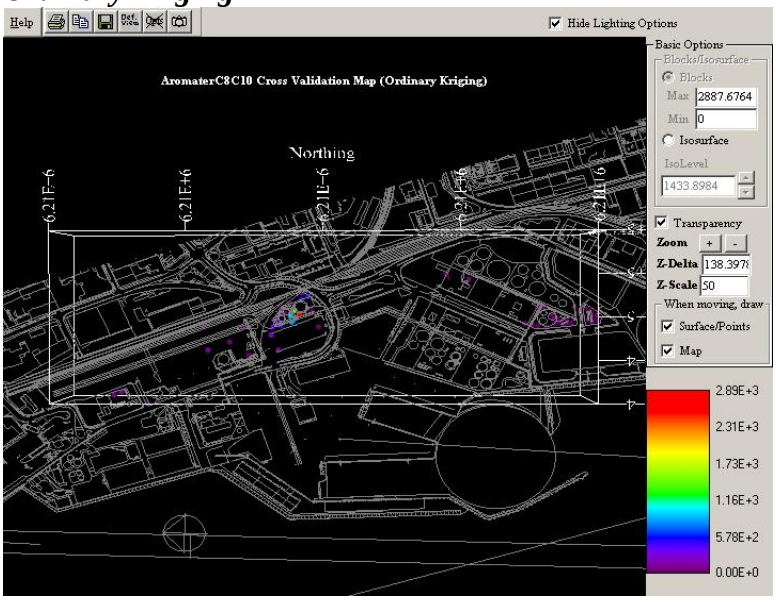
Nearest Neighbor



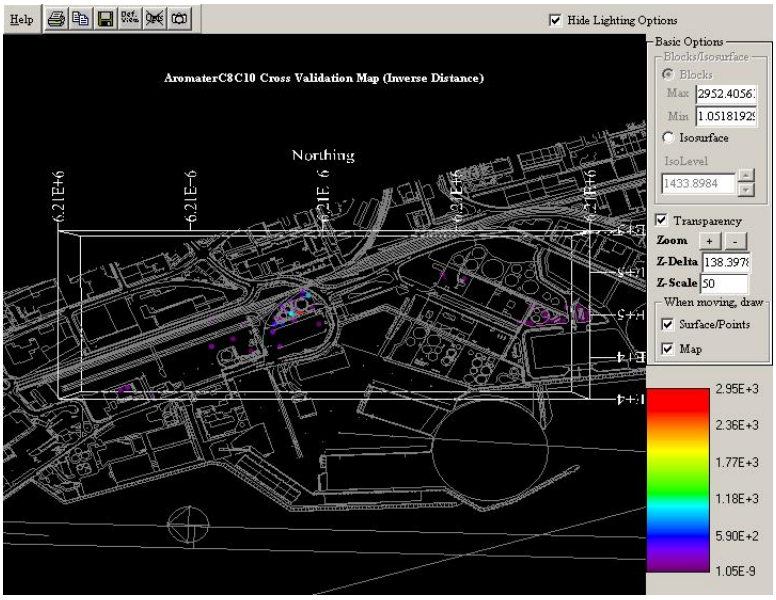
Interpoleringsmetod	Medel absoluta felet
Ordinary Kriging	207.170
Inverse Distance	191.628
Nearst Neighbor	442.409

Aromater C8-C10

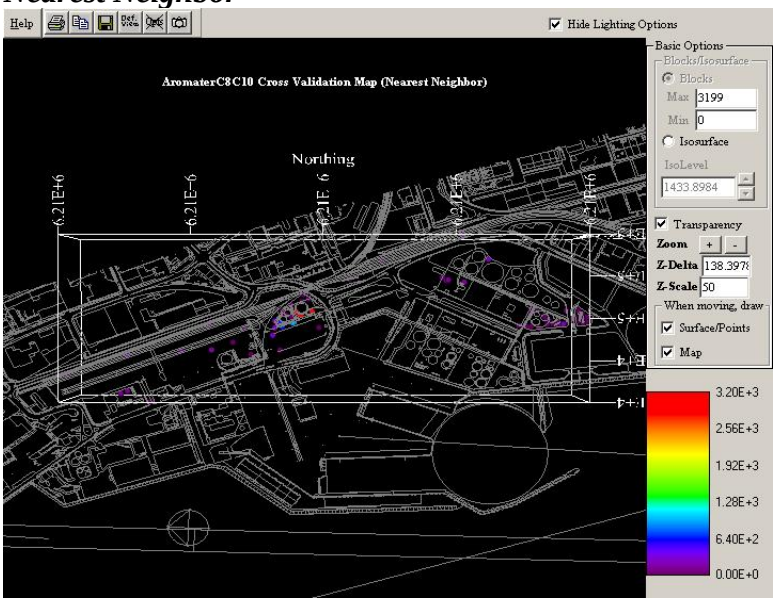
Ordinary Kriging



Inverse Distance



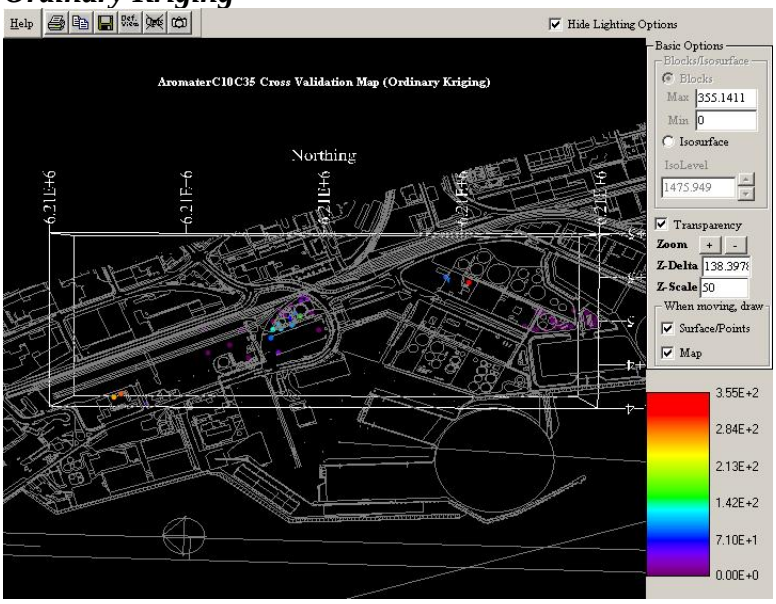
Nearest Neighbor



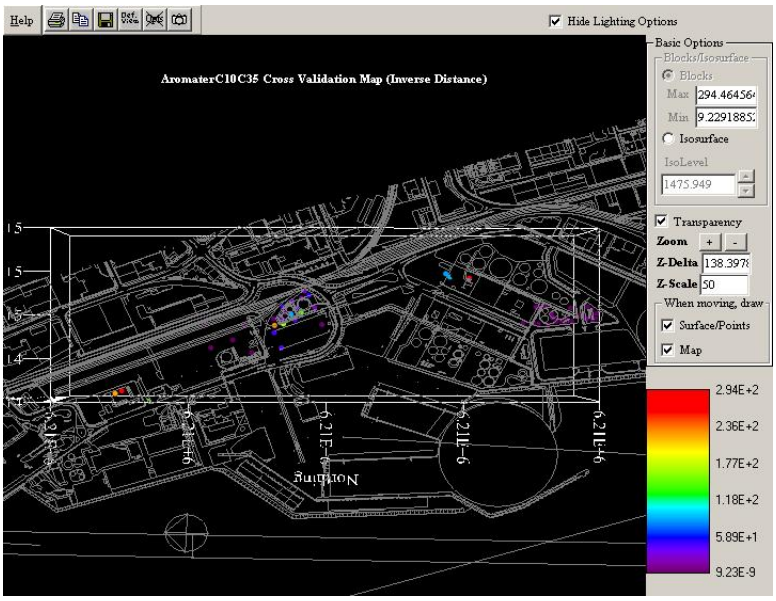
Interpoleringsmetod	**Medel absoluta felet**
Ordinary Kriging	167.842
Inverse Distance	151.004
Nearest Neighbor	243.737

Aromater C10-C35

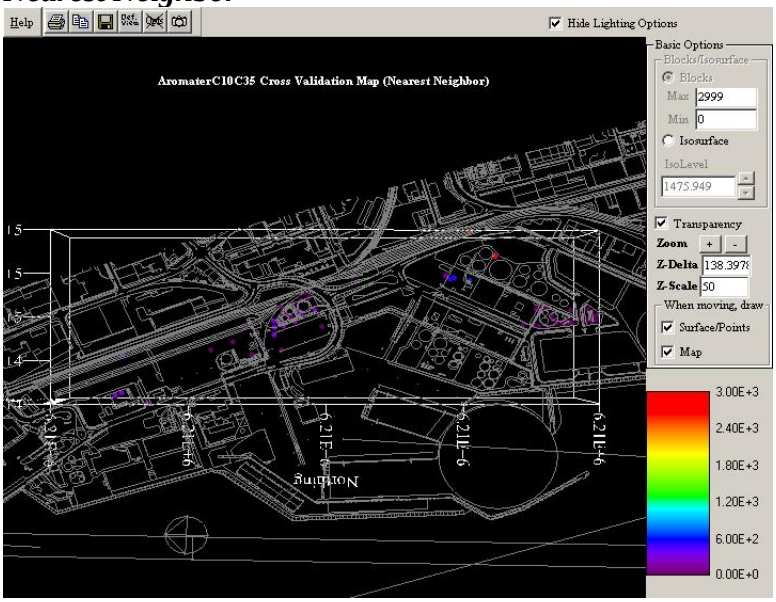
Ordinary Kriging



Inverse Distance



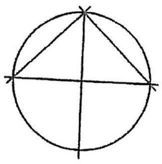
Nearest Neighbor

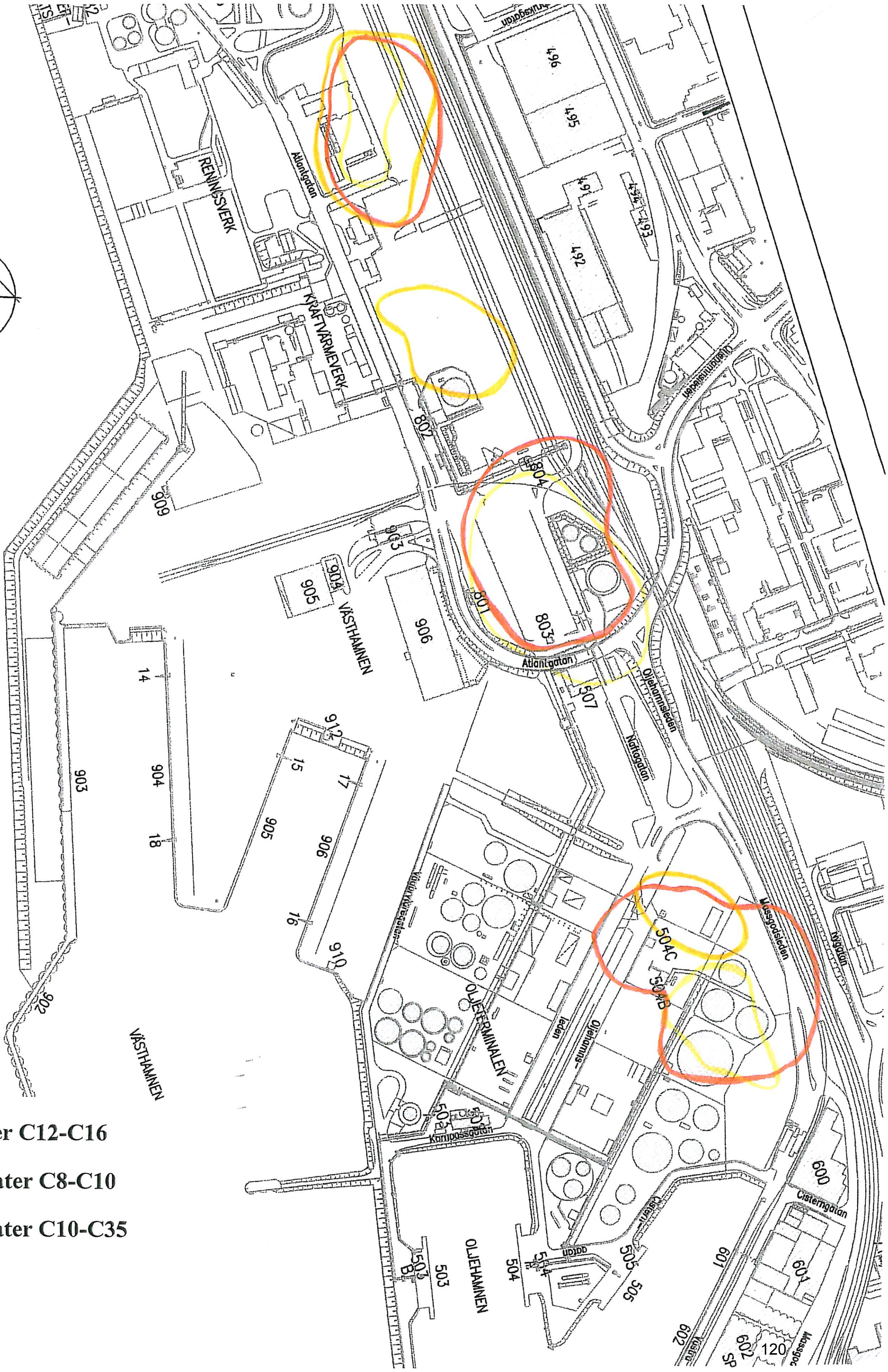


Interpoleringsmetod	Medel absoluta felet
Ordinary Kriging	35.475
Inverse Distance	34.094
Nearest Neighbor	168.133

Bilaga 8

Föroreningsgruppernas utbredning med halter över platsspecifika riktvärdet





- Alifater C12-C16
- Aromater C8-C10
- Aromater C10-C35

Grundvattennivåer och flödesmönster

Bilaga 9

Grundvattennivåer mätta under vintern 2006-2007. Framtagen till utvärderingsrapporten: Miljöteknisk markundersökning inom Helsingborgs oljeterminal. (Kockum & Wäborg 2007)