

Seminarieuppsats nr 111

Kadmium i skånska vattendrag

– en metodstudie i föroreningsmodellering

Louise Tränk

2005
Centrum för Geobiosfärsvetenskap
Naturgeografi och Ekosystemanalys
Lunds Universitet
Sölvegatan 12
223 62 Lund



KADMIUM I SKÅNSKA VATTENDRAG – EN METODSTUDIE I FÖRORENINGSMODELLERING

Louise Tränk

Handledare:

Emilie Stroh och Susanna Gustafsson

vid GIS-centrum och Institutionen för naturgeografi och
ekosystemanalys, Lunds universitet

Institutionen för naturgeografi och ekosystemanalys,
Lunds universitet, 2005

SAMMANFATTNING

Modellering av förorenings-spridning är vanligt förekommande inom arbete med miljöfrågor. Kravet på datatillgång är dock ofta stort vid modelleringar varför behov och intresse för mer generaliserande modeller uppstår. Modeller som slår samman en rad av funktioner till ett fåtal övergripande kan då vara ett alternativ.

En metod- och verktygsutveckling för spridning av kadmium i vattendrag i Skåne har genomförts. Verktøget kallas "KadmiumKalkylatorn". Avrinnande vatten har multiplicerats med schablonhalter baserade på markanvändningsklasser och redovisas på årsbasis för SMHI:s delavrinningsområden. I jämförelse med andra modellerade kadmiumbelastningar i regionen är värdena låga men samtidigt är de högre än uppmätta mängder. De modellerade koncentrationerna är inom samma intervall som de uppmätta koncentrationerna men är negativt korrelerade mot de uppmätta vilket troligtvis beror på schablonhalternas olika ursprung och att de är framtagna för olika syften. Mätdatas låga tidsupplösning svårgör valideringen av modellens skattningar av medelkoncentrationer vilket kan vara en indikation på att dessa möjligen inte bör användas för studier av enskilda vattendrag utan främst för belastningsberäkningar i något större områden.

Relativt sett genererar KadmiumKalkylatorn ett god totalbelastning av kadmium jämfört med andra regionala föroreningsmodeller och verktøget går även att tillämpa på andra regioner och andra föroreningar.

ABSTRACT

Modelling of pollutants is commonly used in research and at departments working with environmental issues. The need to use large amounts of data when modelling creates the opportunity for more generalised models with lower data demands. Aggregating functions into coarser elements is a sort of generalisation of actual features in nature.

A development of a method and a modelling tool called "KadmiumKalkylatorn" has been performed to model cadmium pollution in rivers in Skåne, Sweden. The water runoff has been multiplied with cadmium standard concentrations based on membership in landuse classes. The result is based on, and reported for, watersheds and river basins defined by the Swedish Meteorological and Hydrological Institute, SMHI.

Compared to other models KadmiumKalkylatorn generates smaller loads of cadmium in the region. However, compared to monitored loads the model results are high. A negative correlation exists between measured and modelled concentrations. This is probably caused by the fact that the standard concentrations used in the model have various origins and are developed for different usage. The temporal resolution of validation data results in an unsatisfying testing of the model's efficiency. The uncertainties in standard concentrations and data for validating the cadmium concentrations in the water courses could be seen as an indication of the inappropriate use of the model for concentration estimations. It works better for calculating the cadmium loads.

The KadmiumKalkylator is generating relevant results, compared to other regional pollutant models and the tool could easily be used in other regions and for other pollutants than cadmium.

1. INLEDNING OCH SYFTE	1
2. BAKGRUND	5
2.1 PRODUKTION OCH ANVÄNDNING.....	5
2.2 LAGAR OCH MILJÖMÅLSARBETE.....	6
2.3 INTAG OCH TOXICITET.....	7
2.3.1 Djur och växter	8
2.3.2 Människor	9
2.4 KADMIUM I MILJÖN.....	9
2.5 HYDROLOGI.....	12
2.5.1 HBV-modellen.....	13
2.6 TIDIGARE ARBETE.....	13
2.6.1 StormTac.....	14
2.6.2 Vägverket.....	15
2.6.3 Kadmiumsituationen i Skåne.....	17
2.6.4 TRK.....	17
2.6.5 Biguglia box-modell	18
3. MATERIAL	19
3.1 KARTDATA.....	19
3.2 ÖVRIG DATA.....	21
3.3 PROGRAMVARA	24
4. METOD	25
4.1 DATABEARBETNING	25
4.1.1 Spatial anpassning av markanvändningsskiktet.....	25
4.1.2 Bearbetning av avrinningsmängder och avrinningsberäkning för markanvändningsskiktet	27
4.1.3 Kadmiumhalt i matjord.....	28
4.1.4 Beräkning av belastning per markanvändningspolygon.....	29
4.1.5 Avloppsreningsverk.....	30
4.2 PROGRAMUTVECKLING AV VERKTYGET KADMIUMKALKYLATORN	31
4.2.1 Huvudfunktioner.....	31
4.2.2 Extentioner.....	36
4.3 UTVÄRDERING.....	37
5. RESULTAT	40
5.1 DATABASEN	40
5.2 KADMIUMKONCENTRATIONER OCH KADMIUMBELASTNINGAR	40
5.4 AGGREGERAD KADMIUMBELASTNING.....	45
5.5 KÄLLFÖRDELNING	47
6. DISKUSSION	49
6.1 INDATA & METODIK.....	50
6.1.1 Markanvändning	50
6.1.2 Avrinning.....	50
6.1.3 Schablonhalter.....	51
6.1.4 Punktkällor.....	52
6.1.5 Retention.....	53
6.1.6 Temporal upplösning	53

6.1.7 Kontrollvärden	53
6.2 RESULTAT	54
6.2.1 Totalbelastning.....	54
6.2.2 Koncentrationer.....	55
6.2.3 Källfördelning.....	56
6.3 FRAMTIDA UTVECKLING OCH ANVÄNDNING AV KADMIUMKALKYLATORN	56
7. SLUTSATSER OCH UPPNÅDDA RESULTAT	58
8. REFERENSER	60
8.1 LITTERATURREFERENSER.....	60
8.2 OPUBLICERADE REFERENSER.....	61
8.3 INTERNETREFERENSER	62
8.4 MUNTliga REFERENSER.....	63
 Bilaga 1. Klassindelning av markanvändningsklasser från svensk marktäckedata till de klasser som representerar en kadmiumkoncentration i StormTac-modellen.....	 64
 Bilaga 2. Avrinningsmängder från HBV-modellen (TRK) och egen uträkning av de olika områdenas andel av huvudavrinningsområdets area.....	 65
 Bilaga 3. Sammanställning över reningsverk i Skåne län.....	 66
 Bilaga 4. Programkod KadmiumKalkylatorn.....	 68

1. INLEDNING OCH SYFTE

Produktionen och användandet av kadmium har minskat genom en rad restriktioner som införts de senaste årtiondena. En minskning av kadmiumhalterna i atmosfär, mark och vattendrag har kunnat iakttas, men kadmiumhalten i Östersjöns strömning ökade in på 1990-talet medan andra tungmetaller minskade (*Bignert och Olsson, 1999*). Spekulationer kring hur detta kunnat ske förekommer eftersom orsakerna till ökningen av kadmium har varit svåra att fastställa. Markförsurning tas upp som en viktig bidragande faktor till att kadmiummängderna fortsatte att öka i Östersjön, då tillförseln av kadmium till mark och vatten minskar men urlakningen av kadmium från marken fortsätter att öka på grund av att pH-värdet i marken minskar. Markförsurningen i sig spelar inte så stor roll om det inte hade varit för kombinationen med den onaturliga ackumulering av kadmium som fortfarande förekommer. Ackumuleringen beror på antropogen verksamhet som förbränning av biobränslen och fossila bränslen, sopförbränning, användande och förädling av vissa metallprodukter med mera.

Studier har gjorts på kadmiums effekter på levande organismer. Kadmium är en tungmetall utan någon som helst biologisk funktion och den orsakar problem när den tas upp av organismer och hamnar på platser där andra ämnen ska sitta och på så vis blockerar en plats och en funktion som organismen är beroende av. Exempelvis kan ett högt kadmiumintag ge nedsatt njurfunktion och benskörhet. Människor utsätts främst för kadmium genom kosten och rökning. Vattenlevande djur kan få i sig kadmium både genom sin kost och genom att andas in kadmiumhaltigt vatten (*Kim et al, 2003*).

På grund av kadmiums giftiga egenskaper är det av intresse att förstå dess beteende i naturen. Att modellera kadmiumspridning är ett sätt att förstå och eventuellt minska eller förhindra spridningen. Transporten och retentionen av kadmium styrs dock av ett komplext system som spänner över flertalet discipliner. Hydrologi, markkemiska egenskaper, temperatur, biologisk aktivitet och tillgången till våtmarker och sjöar nedströms utsläppskällan är viktiga faktorer som påverkar. Intresset och ambitionen att modellera kadmiumspridning är stort. Länsstyrelsen i Skåne län, Vägverket, SWECO VIAK och TRK-projektet (inom IVL, SMHI, SLU och Naturvårdsverket) är exempel på organisationer och

projekt där tid och pengar ägnats åt denna typ av modellering. Alla tappar de med samma problem inom modelleringen. Det är datatillgång, generaliseringsgrader, tidsbrist och ekonomi som styr möjligheterna. Detta arbete syftar till att utvärdera möjligheterna att modellera kadmiumspridning i miljön. Det är en metodstudie i vilken modeller och schablonhalter jämförs och situationen i dagens skånska vattendrag studeras i GIS-miljö. Ett praktiskt redskap för belastningsberäkningarna har tagits fram, "KadmiumKalkylatorn". Detta är ett program som kan användas för belastnings- och koncentrationsskattningar av kadmium i vattendrag. KadmiumKalkylatorn är möjlig att applicera även på andra ämnen och inte enbart kadmium. Den är inte heller områdesberoende utan möjligheterna att modellera föroreningar i vattendrag kan appliceras på andra områden också. Nedanstående punkter visar arbetets syfte. Numreringen återfinns även för slutsatserna för att underlätta möjligheterna att jämföra syften och slutsatser.

-
1. Att skapa en databas med data för kadmiummodellering i Skåne.
 2. Verktögsutveckling för belastningsmodellering av kadmium i de skånska vattendragen med hjälp av de grunddata som har tagits fram och för de förhållanden som råder i Skåne.
 3. Utvärdering av skattningarna. Ger modelleringen ett resultat som överrensstämmer med uppmätta koncentrationer och mängder?
 4. Finns det speciellt utsatta områden i Skåne som uppvisar högre föroreningsbelastning än andra? Finns det områden som har markant lägre belastning? Vad beror i så fall dessa variationer på?
 5. Hur ser fördelningen av föroreningsbelastningen ut mellan olika markanvändningsklasser? Är det någon markanvändning som står för en särskilt stor del av den totala belastningen i Skåne?
 6. Överskrids gränsvärdena för effekter på miljön?
-

Detta är ett examensarbete motsvarande 20 akademiska poäng och 20 veckors heltidsstudier. Uppsatsen är det avslutande arbetet på en magisterutbildning i naturgeografi vid Lunds universitet. Arbetet är främst en GIS-studie men databashantering, hantering av klimatdata, hydrologiska data, markkemi, modellering och programmering har också behandlats.

Författaren önskar tacka

Region Skånes Miljöfond för finansiering av projektet

Emilie Stroh och Susanna Gustafsson, GIS-centrum för god handledning och stöd

Petter Pilesjö, GIS-centrum för korrekturläsning av arbetet

Helene Ejhed, IVL för diskussion kring metod till kadmiummodelleringen

Maja Brandt, SMHI för information om HBV-modellen och avrinning

Jan Eriksson, SLU för jordhaltsdata

Andreas Olsson, Vägverket Kristianstad för Vägatabanken

Lars Harrie, GIS-centrum för genomgång av KadmiumKalkylatorn

Daniel Tynell, Vägverket Borlänge för allmän support och tillhandahållande av material om Vägverkets dagvattenmodellering

Lars Eklundh, INES för korrekturläsning av interpoleringsmetodiken

Fredrik Andreasson, Länsstyrelsen i Skåne län för uppslag till projektet

Examensarbetare och anställda vid GIS-centrum och Institutionen för naturgeografi och ekosystemanalys

Carl Stenberg, familj och vänner

2. BAKGRUND

Kadmium upptäcktes av år 1817 vid en kontroll av ett läkemedelspreparat med zinkkarbonat. Det skulle dock dröja länge innan ämnet började användas och det är inte förrän de senaste 50 åren som produktionen och användningen blivit storskalig. Kadmium räknas till tungmetallerna då den har en täthet på mer än $4,5 \text{ kg/dm}^3$ men också då den, vilket i vardagligt tal främst karakteriserar tungmetallerna, är giftig. Vid högre doser och koncentrationer är kadmium giftigt för alla former av liv. Metallen är mjuk, silvervit men liksom kvicksilver flyktig varför den sällan förekommer i ren form. Kadmium finns spritt i jordskorpan med en koncentration av endast 0,08 – 0,5 g/t vilket är ungefär lika mycket som silver. Det är oftast tillsammans med zink man finner kadmium, framförallt i mineralet zinkblände. I denna är halten kadmium 0,05-0,8 %. Kadmium har en rad användningsområden som korrosionsskydd, färgämne och stabilisator i plaster men sprids även i miljön via andra processer från ämnen där kadmiumet enbart är en förorening. Exempel på detta är att det vid förbränning av fossila bränslen eller biobränslen avgår kadmium till atmosfären med rökgaserna. Kadmium förekommer också som en förorening i de fosforkällor som används för framställning av konstgödsel.

I och med samhällets utnyttjande av kadmium och kadmiumhaltiga produkter har en ackumulering av ämnet i luft, mark och vatten skett vilket i sin tur har gjort att exponeringen för kadmium ökat. I vissa områden är kadmiumhalten i åkermark så hög idag att kadmiumhalten i vete kan överskrida FAO/WHO:s rekommenderade högsta halt i spannmål (0,1 mg/kg torr kärna).

2.1 PRODUKTION OCH ANVÄNDNING

Från 1945 till 1979 näst intill fyrdubblades kadmiumproduktionen i världen. Tillverkningen av kadmiumvaror gick från 4 600 till 18 900 ton per år. Därefter stagnerade den och efter en topp på 1980-talet var produktionen under 1993-1997 i genomsnitt 17 800 ton per år. Under 1993-1997 stod Sverige för 1,6 % av kadmiumkonsumtionen i världen.

Kadmium är en biprodukt vid zink-, koppar- och blyframställning och utvinns främst ur rökgaserna som bildas vid upphettning av malmerna. Men även återvinning av nickel-

kadmiumbatterier, kadmium-tennlegeringar och kadmiumhaltiga färgpigment är en viktig källa för kadmiumframställningen. Sjunkande marknadspriser gynnar dock inte minskad användning och återvinning (*www^f*).

Bil- och flygplansindustrin har varit stora konsumenter av kadmierade (ytbehandlade) delar. Detta eftersom kadmium är ett bra skydd mot korrosion samtidigt som den är mjuk och har låg friktion, något som kan utnyttjas exempelvis i gängade detaljer. Inom kärnkraftsindustrin används kadmiums neutronabsorberande kapacitet i kontrollstavar för att styra reaktorer.

Fram till 1982 användes kadmium främst till ytbehandling (30 %), framställning av nickel-kadmiumceller (30 %), färgpigment (12 %) och som stabilisator i plaster (6 %). Därefter förbjöds användandet av kadmium som stabilisator i plaster, som färgpigment och som ytbehandling, varpå kadmiumanvändandet idag till 90 % är till framställning av nickel-kadmiumbatterier (*www^f*).

2.2 LAGAR OCH MILJÖMÅLSARBETE

Sveriges regering utfärdar förordningar med stöd av miljöbalken. Dessa finns utgivna i Svensk författningssamling (SFS). En av förordningarna är ”förordning (1998:944) om förbud med mera i vissa fall i samband med hantering, införsel och utförsel av kemiska produkter”. Förordningen är utfärdad 1998-06-25 och ändrad 2003. Den gäller kadmiumämnen, klorerade lösningsmedel, kvicksilver, tungmetaller i förpackningar med mera. Med kadmiumämne menas metallen kadmium eller en kemisk förening vari metallen ingår. Dessa får inte användas för ytbehandling, stabilisator eller som färgämne. Varor där kadmiumämnen har använts i sådant syfte får inte säljas eller överlåtas och inte heller importeras från länder som inte är medlemmar i Europeiska unionen. Det åligger Kemikalieinspektionen att meddela föreskrifter för undantag från eller att medge dispens från föreskrifterna.

Kadmium förekommer i råfosfat som används för att tillverka fosforgödselmedel men halten i slam som sprids på åkrarna är högre än den i konstgödslet. För att begränsa spridningen av kadmium på jordbruksmark förekommer restriktioner för kadmiuminnehåll i de ämnen som sprids. Handelsgödsel får inte innehålla högre halt av kadmium än 100 gram per ton fosfor

för att kunna säljas i Sverige. Om halten kadmium överstiger 5 mg/kg fosfor ska en avgift motsvarande 30 kr per gram kadmium som sprids ut betalas. Gränsvärdet för kadmium i avloppsslam som ska användas inom jordbruksnäringen är 2 mg/kg torrsubstans (SFS 1998:944) och åkerjorden som slammet sprids på får inte ha högre halt än 0,4 mg/kg torrsubstans.

De av riksdagen antagna miljökvalitetsmålen (Regeringens proposition 1997/98:145) berör kadmiumhanteringen på flera sätt. Målen för långsiktig hållbarhet i vår natur- och kulturmiljö ska enligt planen vara uppfyllda inom en generation vilket innebär ungefär år 2020 (<http://www.m.lst.se>). Intentionen är att de stora miljöproblemen ska vara lösta till dess. Ett av miljömålen är ”Giftfri miljö”. Inom detta miljömål ingår arbetet att minimera halterna av naturfrämmande ämnen i miljön, minska människors exponering för farliga ämnen, samt att undersöka och sanera förorenade områden. Även miljömålet ”Levande sjöar och vattendrag” påverkar hanteringen av kadmium. Åtgärdsprogram för ”God ytvattenstatus” är ett arbete som sker inom miljömålsarbetet men som också är en del av arbetet för att uppfylla EU:s ramdirektiv för vatten. Totalt sett har vattenvården ändrat inriktning från att mest handla om grovstädning av stora föroreningar till att man idag försöker stoppa och minska utsläppen vid källan. Det har blivit tydligt att ett helhetstänkande är viktigt och att därför arbeta med hela avrinningsområdena som ett område, både med avseende på att utsläpp påverkar den akvatiska miljön nedströms och med avseende på den totala föroreningsmängden som med tiden belastar kustområdet där avrinningsområdet mynnar.

2.3 INTAG OCH TOXICITET

Vissa tungmetaller är trots sin giftighet essentiella i mindre mängder, som exempelvis koppar, zink och nickel som är av betydelse för växter (Asp, 1999). Det är när metaller som är snarlika de essentiella tas upp av organismen och sätter sig på den plats som det nödvändiga ämnet ska ha som det blir giftigt eftersom det tar det essentiella ämnets plats men inte fyller dess funktion (Asp, 1999). Hittills har kadmium inte upptäckts vara nödvändigt för någon organism.

2.3.1 Djur och växter

Höga halter av kadmium i den akvatiska miljön kan orsaka skador på vattenlevande organismer (Kim et al, 2003; Larm, 1994). Experiment på japansk flundra (*Paralichthys olivaceus*) har gjorts med olika exponeringstid och kadmiumhalt (Kim et al, 2003). Det visade sig att kadmiumet hämmade tillväxten, reproduktionen och störde regleringen av det osmotiska trycket hos fiskarna. Det påverkade också andningen och blodvärden med kalciumbrist, kaliumbrist och förhöjd blodsockerhalt som följd. För vattenlevande djur kommer problemet att de utsätts för kadmium både genom andning och föda. Kadmiumet omdistribueras sedan i kroppen men förekommer främst i gälar, lever, njurar och tarmar (Kim et al, 2003). I tabell 2.1 redovisas de gränsvärden som är uppsatta av Naturvårdsverket för kadmiumkoncentration i sjöar och vattendrag.

Tabell 2.1. Gränsvärden för kadmiumkoncentrationer i sjöar och mindre vattendrag. (<http://www.naturvardsverket.se/index.php3?main=/dokument/fororen/metaller/tungmet.html>)

Cd (µg/l)	Klass	Risk för biologiska effekter
< 0,01	Mycket låg halt	Ingen eller mycket liten risk
0,01 - 0,1	Låg halt	Liten risk
0,1 - 0,3	Måttligt hög halt	Risk föreligger främst i mjuka, närings- och humusfattiga vatten samt i sura vatten
0,3 - 1,5	Hög halt	Ökad risk
> 1,5	Mycket hög halt	Hög risk redan vid kort exponering

Kadmiumet kan lätt ackumuleras i sedimenten och når på så vis de högre trofiska nivåerna genom detritusätare varpå föroreningen sprider sig i naturen, även till icke-akvatiska livsformer. De totala effekterna av tungmetallföroreningar på ett ekosystem kan visa sig som en minskning av artmångfald. Den aktuella sammansättningen av arter kan indikera graden av förorening eftersom olika arter är olika känsliga för föroreningar och de mer toleranta kan fylla en känslig arts nisch i ett ekosystem då denna slås ut. Det har visat sig att dagvattnens sammansättning och föroreningshalt kan ge ett instabilt ekosystem (Larm, 1994). Även bioackumulering i vissa arter av mussla och mossor används som indikator på miljöns föroreningsgrad. Genom sin känslighet och genom att upptaget följer mängden av ämnet i organismens livsmiljö ger en sådan inventering en bild av de effekter som föroreningarna har på ekosystemet.

2.3.2 Människor

Främst är det genom kost och rökning som människor får i sig kadmium. Kvinnor är mer utsatta då de genom lägre järndepåer har ett högre upptag av kadmium i mag-tarmkanalen än män (*Nishijo et al, 2004; <http://www.slv.se>*). Kadmiumet ansamlas i njurarna där det orsakar skador, men även urkalkning av skelettet och nedsatt fertilitet kan förekomma (*Matsuda et al, 2003; Kyi et al, 2000*). Lungskador (kemisk lunginflammation) och cancer kan drabba kadmiumexponerade yrkesgrupper (*Backe et al, 2003*).

Under 1950- och 60-talet uppdagades ett fall av allvarlig kadmiumförgiftning i Jinzus avrinningsområde, Japan, den så kallade itai-itai-sjukan. Invånarna åt ris som hade bevattnats med flodvatten som var förorenat med kadmium från en zinkgruva med smältverk uppströms. Kvinnor som hade lågt kalciumintag och som hade fött många barn och ammat dem drabbades hårdast med multipla benbrott till följd av benskörhet på grund av kadmiumförgiftning i njurarna (*Matsuda et al, 2003; Nordberg, 2004*).

Det dagliga intaget av kadmium är vanligen ca 10-20 µg. WHO/FAO:s expertkommitté JECFA har angivit ett tolerabelt intag på ca 60-70 µg/dag under lång tid. I april 2002 började gemensamma EU-gränsvärden gälla för kadmium i livsmedel. Gränsvärdet för kadmium i dricksvatten är 5 µg/l. Senare tids forskning har visat att effekter kan uppkomma vid lägre kadmiumbelastning än vad som angivits i tidigare riskbedömningar (*www⁷*). Rökning kan medföra en signifikant exponering.

2.4 KADMIUM I MILJÖN

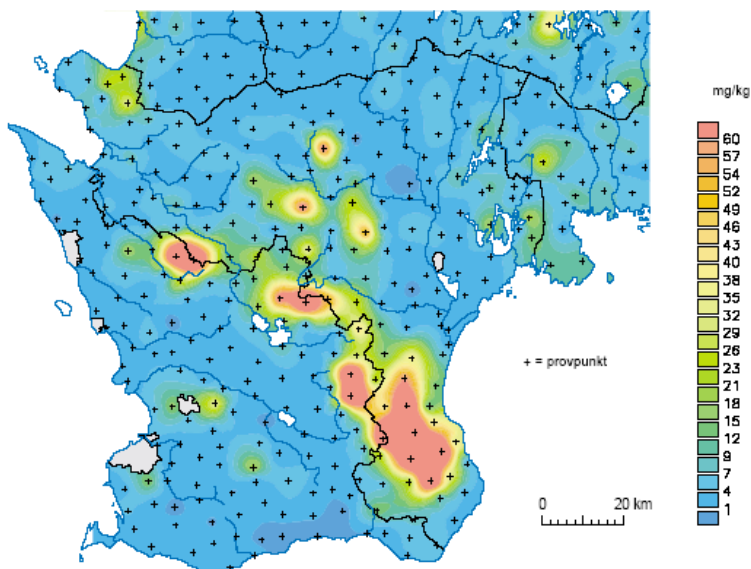
Utsläpp av kadmium till luft sker vid förbränning av fossila bränslen, vid metalltillverkning, sopförbränning till följd av ofullständig insamling av nickel-kadmiumbatterier, industriprocesser eller naturligt genom skogsbränder och vulkanutbrott. Atmosfärsdepositionen är den största kadmiumkällan till jordbruksmark och skogsmark och i södra Sverige är den största delen av denna från utländska källor (*Backe et al, 2003a*). Atmosfärsdepositionen är störst i sydvästra Sverige. Man skiljer på våtdeposition och torrdeposition. Våtdeposition kallas den del av kadmiumet som finns i nederbörden medan torrdepositionen är gas- eller partikelformiga luftföroreningar vars mängd beror på landskapets uppfångande förmåga. Skogsmark, framförallt med barrträd samlar upp mest

föroreningar och då kan torrdepositionen vara större än våtdepositionen (*Knulst och Westling, 2002*).

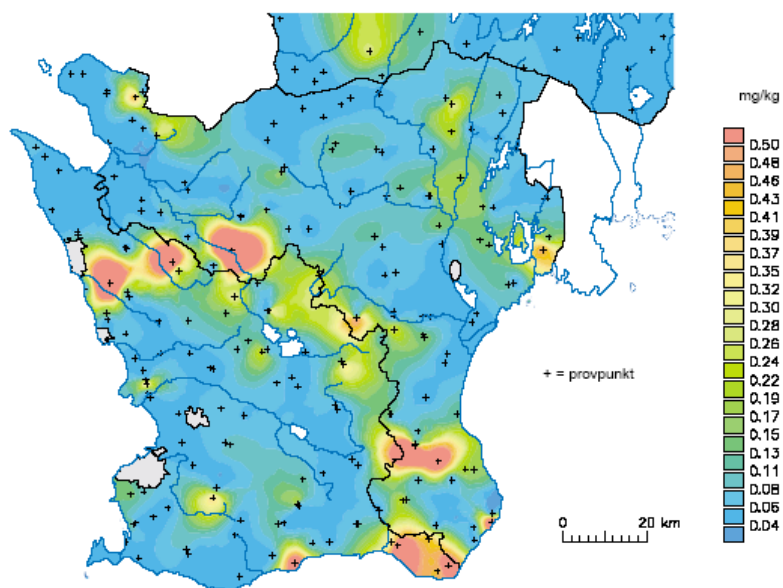
Genom en rad faktorer varierar halten av kadmium i det avrinnande vattnet från marken. Det beror på markanvändningen, underliggande berg och jord, luftdeposition, pH och andra faktorer som påverkar biogeokemiska processer. SGU har i en undersökning kartlagt kadmiumhalten i bäckvattenväxter och brunnsvatten i Skåne. Figurerna 2.1 och 2.2 visar resultaten av inventeringarna. Ett band av förhöjda halter kan ses i nordväst-sydostlig riktning, vilket till stor del förklaras med den höga halten av kadmium i den sandsten som underlagrar området (*unm¹⁰*). Koncentrationerna i brunnsvattnet var länge föremål för stor skepsism, de var så höga att det antogs vara fel i mätningarna. Det visade sig dock att så inte var fallet, kadmiumkoncentrationen i de skånska brunnarna var verkligen så hög som inventeringen hade visat.

Till skillnad från bly och koppar så binds inte kadmium starkt till DOC (*"Dissolved Organic Carbon"*) utan som en utbytbar tvåvärd katjon i jorden vilket gör att kadmiumet och kadmiumjonernas koncentration i sura jordar regleras av processer för jonutbyte (*Bergkvist, 2001*). Därmed spelar koncentrationerna av Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} och H^+ stor roll genom sin laddning. Den viktigaste faktorn är koncentrationen av H^+ , pH-värdet, vilket gör att kadmiumkoncentrationen ökar med ökad markförsurning. Detta har bevisats i ett test med DOC och kadmium i jordvatten (*Strobel et al, 2001*). Kadmium urlakades till liten grad från åkerjord vid pH-värden över 5 men ökade sedan exponentiellt när pH blev lägre än 5. Ingen signifikant effekt av mängden DOC kunde ses. Det är viktigt att poängtera betydelsen av gödning av jordbruksmarken då den fyller på med katjoner vilket gör att pH-värdet inte sjunker, men tillförseln av fosforgödning ger även tillförsel av kadmium. Parametrarna som styr retentionen, kvarhållandet av ämnet i marken, som pH, jordmån/jordart, koncentration, närvaro av andra ämnen/föroreningar med mera, avgör vad som händer med kadmiumet i markvattnet. Just närvaron av andra föroreningar är intressant. Ett exempel på detta är då kadmium och bly förekommer tillsammans. Studier av hur närvaron av dessa båda ämnen påverkade retention och koncentrationer i avrinnande vatten har gjorts. Det visade sig att bly hade högre retentionsgrad än kadmium och att bly även kunde lösa ut det redan bundna kadmiumet (*Rodriguez-Maroto et al, 2003*).

Lagret av kadmium i jorden styrs främst av atmosfärsdepositionen, upptag av växter, läckage från markvattnet och till viss mån av vittring av mineraljord. Denna kan dock vara



Figur 2.1. Interpolering av uppmätta halter kadmium i bäckvattenväxter i Skåne från en biogeokemisk kartering genomförd av SGU under 1980-talet (www¹⁰).



Figur 2.2. Kadmium i brunnsvatten i Skåne, från en inventering gjord av SGU under 1980-talet (www¹⁰).

försumbar i jämförelse med de andra mängderna (*Bergkvist, 2001*). I jordbruksmark sker också tillförsel via olika gödningsmedel. Totalt sett så sker en ökning av kadmiumhalten i jordbruksmark till följd av tillförseln men också genom att läckaget är litet genom en låg markförsurning jämfört med skogsmarken.

I skogsmark är situationen en annan än i jordbruksmarken. Där har man en högre kadmiumdeposition från atmosfären än på öppen mark på grund av torrdepositionen (*Knulst och Westling, 2002*). I skogsmark ger även den större mängden rötter (jämfört med jordbruksmark) större mängd exuderade protoner (H^+) till följd av respiration i rötterna, vilket tillsammans med produktionen av organiska syror i förnan leder till markförsurning som ger högre koncentration av löst kadmium i markvattnet (*Strobel et al, 2001*).

Kadmiumutsläpp direkt till vattnet sker via avloppsvatten från industrier och hushåll, lakvatten från avfallsdeponier och i dagvatten från urbana ytor som exempelvis vägar och hus. Genom förbud mot användning av kadmium är idag hushållen en större kadmiumkälla än industrierna (*Backe et al, 2003a*). Kadmium i dagvatten är dock större än både hushålls- och industriavloppsvatten och är därför den viktigaste källan till kadmiumförorening i svenska vattendrag (*Larm, 1994*).

När kadmium når vatten kan det komma att genomgå kemiska, fysikaliska och biologiska förändringar. Det kan adsorberas på lerpartiklar samt tas upp av växter och djur och på så vis uppkommer variationer i den årliga lösta kadmiumhalten i en sjö. Kadmiumhalten är lägst på somrarna när större mängder humuspartiklar transporteras ner i vattnet till vilka kadmiumet kan bindas och upptaget i växtplankton och djurplankton är stort. Humuspartiklar och döda plankton sedimenterar sedan till botten av sjön eller vattendraget. Det sedimenterade materialet kan dock resuspendera beroende på förändrade förhållanden av koncentration löst syre, pH och temperatur (*Larm, 1994*).

2.5 HYDROLOGI

Den generella idén om avrinningsbildning som gäller för Sverige och områden med liknande hydrologiska förhållanden grundas på principen att avrinningen är en kombination av regn-, smältvatten och grundvatten. Flödestoppar (*eng. Stormflow*) bildas när det regnar eller är

snösmältning. Det extra vattnet i flödestopparna består inte enbart av regn- eller smältvattnet utan är till stor del grundvatten. Detta beror på att grundvattennivån ligger nära eller vid markytan och vid nederbörd sker därför en ökad grundvattenströmning när nederbörden infiltrerar marken och pressar fram grundvatten till bäckarna (*Grip och Rohde, 1988*). Vattenflödet i bäckarna när det inte regnar kallas basflöde och vattnet i flödestopparna hänvisas ofta till som yt- eller dagvatten. Ytavrinning (avrinning på markytan) är en väldigt liten del av den totala avrinningen då ytavrinning förutsätter att nederbörden är större än markens infiltrationsförmåga. I Sverige är markens infiltrationskapacitet nästan alltid större än nederbörden med undantag för när grundvattennivån ligger i nivå med markytan och för urban mark med hårdgjorda ytor. Exempel på ytavrinningsfaktorer för urbana ytor finns i tabell 3.2.

2.5.1 HBV-modellen

Den hydrologiska modellen HBV-modellen (*Hydrologiska Byrån Vattenbalansavdelningen*) som utvecklades på SMHI i början 1970-talet modellerar avrinning genom en semi-empirisk modell. Den används bland annat till dimensionsberäkningar, konsekvensanalyser och beräkning av vattenföring på platser där mätningar saknas. I modellen räknas meteorologiska observationer (främst nederbörd och temperatur) om till vattenföring för hydrologiska prognoser. Hänsyn tas bland annat till det undersökta avrinningsområdets höjdzoner samt till andelen skog och öppen mark (wmm^{12}). Modellen används i ett 40-tal länder och dess noggrannhet har testats i ett flertal försök. Modellens effektivitet kan påvisas med ett R^2 -värde motsvarande 89,1 – 90,8% och ett relativt ackumulerat volymfel på 0,4 – 2,7% (Lindström et al, 1997).

2.6 TIDIGARE ARBETE

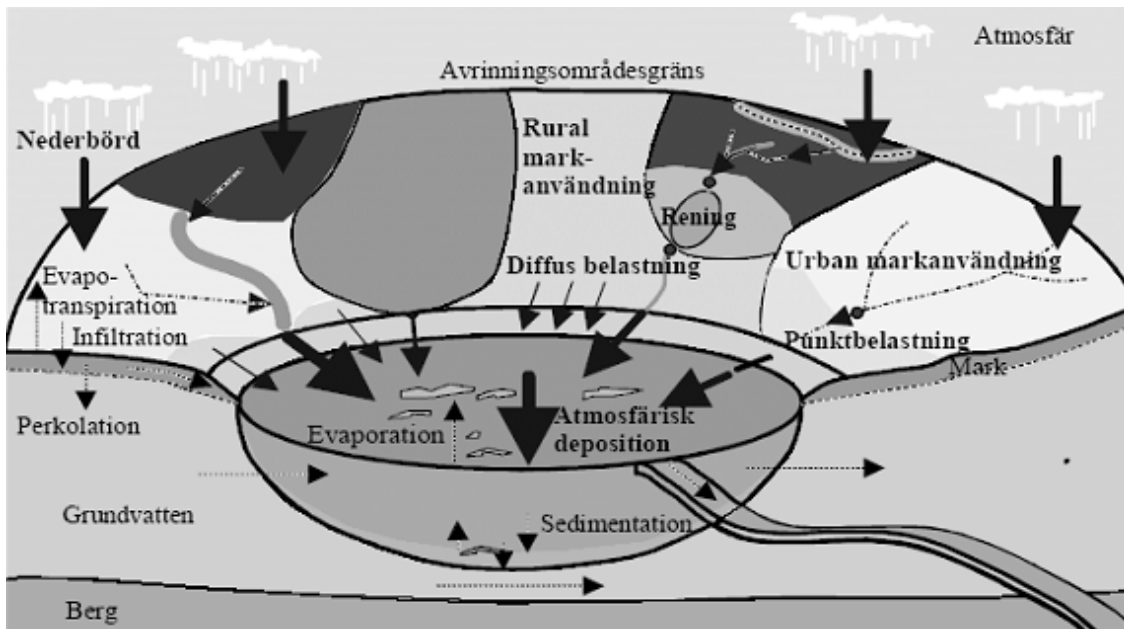
Modeller har en viktig funktion som hjälpmedel vid beslutsfattning och utveckling av strategier rörande föroreningars emissioner och omhändertagande. En anledning till varför man använder modeller är för att förstå de faktorer som påverkar ett ämnes transport i miljön. Genom att ta med allt fler påverkande faktorer blir resultatet närmare de verkliga halterna och förståelsen för ämnet ökar. Modeller kan också användas för framtidsscenarier vad gäller ämneshalter i natur och miljö men detta förutsätter att ämnets egenskaper redan är

utreda så att förändringar i ingående parametrar verkligen genererar ett resultat som ligger inom tänkbara intervall.

Tidsupplösningen i modellen kan fungera som en indikator på modellens totala noggrannhet. En hög temporal upplösning innebär ofta stora datamängder, varför mindre geografiska områden behandlas, både på grund av modellkörningstid och kostnader för inskaffning av data. Många gånger finns dock ingen valmöjlighet gällande den temporala upplösningen då mätvärdena har en viss tidsskala. Data finns exempelvis som årsmedelvärden och dessa tar inte hänsyn till säsongsvariationer.

2.6.1 StormTac

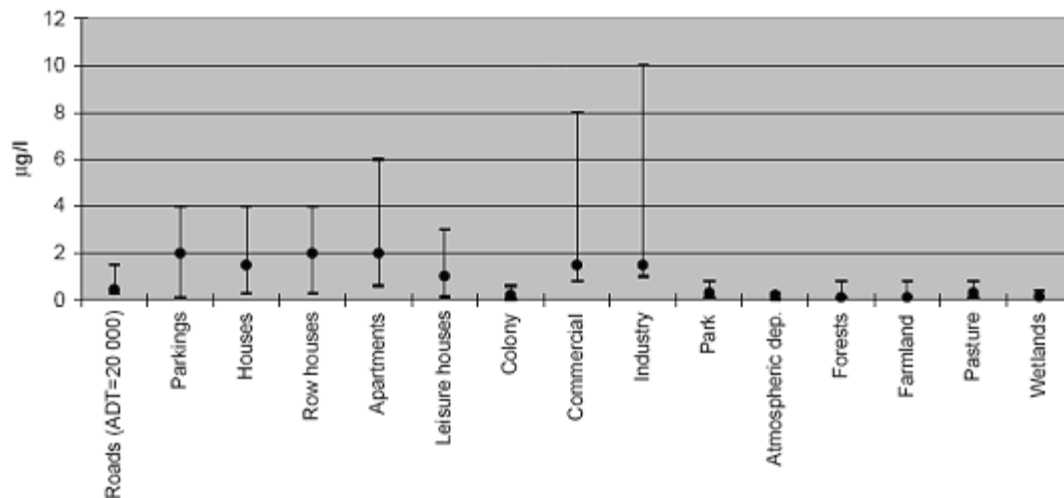
StormTac är en modell som framarbetats på SWECO VIAK. Den integrerar avrinning och föroreningarnas beteende med funktioner för dagvattenbehandling (se figur 2.3 för principskiss av modellens ingående parametrar). Framtagandet av modellen bygger på behovet av att förhindra kraftiga ytvattenflöden (framförallt från urban mark) från att nå ut i vattendrag och sjöar då dessa har betydligt högre föroreningshalter än normala markflöden. Tidsupplösningen går att variera mellan år och månader. Den reducerande effekten av diken, dammar och våtmarker på kadmiumhalten anges till mellan 50 och 90%.



Figur 2.3. Principskiss över StormTac-modellens ingående parametrar (www¹³).

Koncentrationerna i avrinnande vatten redovisas i figur 2.4. Koncentrationerna i det avrinnande vattnet varierar mellan olika källor. Exempelvis ligger halterna i Stormtac-modellen generellt högre än de som är redovisade i Vägverkets modell (se stycke 2.5.2 för mer information om denna modell) vilket troligtvis beror på att StormTacs koncentrationer ska vara gällande för de föroreningsmängder som härstammar från höga flöden (kraftiga regn, snösmältning med mera).

Standardavvikelsen för kadmiumkoncentrationer i avrinnande vatten är mindre för rurala markanvändningsklasser än för urbana markanvändningsklasser eftersom koncentrationerna i basflöden och dagvatten varierar mer på urban mark. Osäkerheten vid val av schablonhalter är dock stor för samtliga klasser. StormTac-modellens schablonhalter kan därför anpassas efter mätvärden som görs för det område inom vilket modellen ska användas (*www*¹³).



Figur 2.4. Variationer i kadmiumkoncentration i avrinnande vatten från givna markanvändningstyper (Larm, 2000).

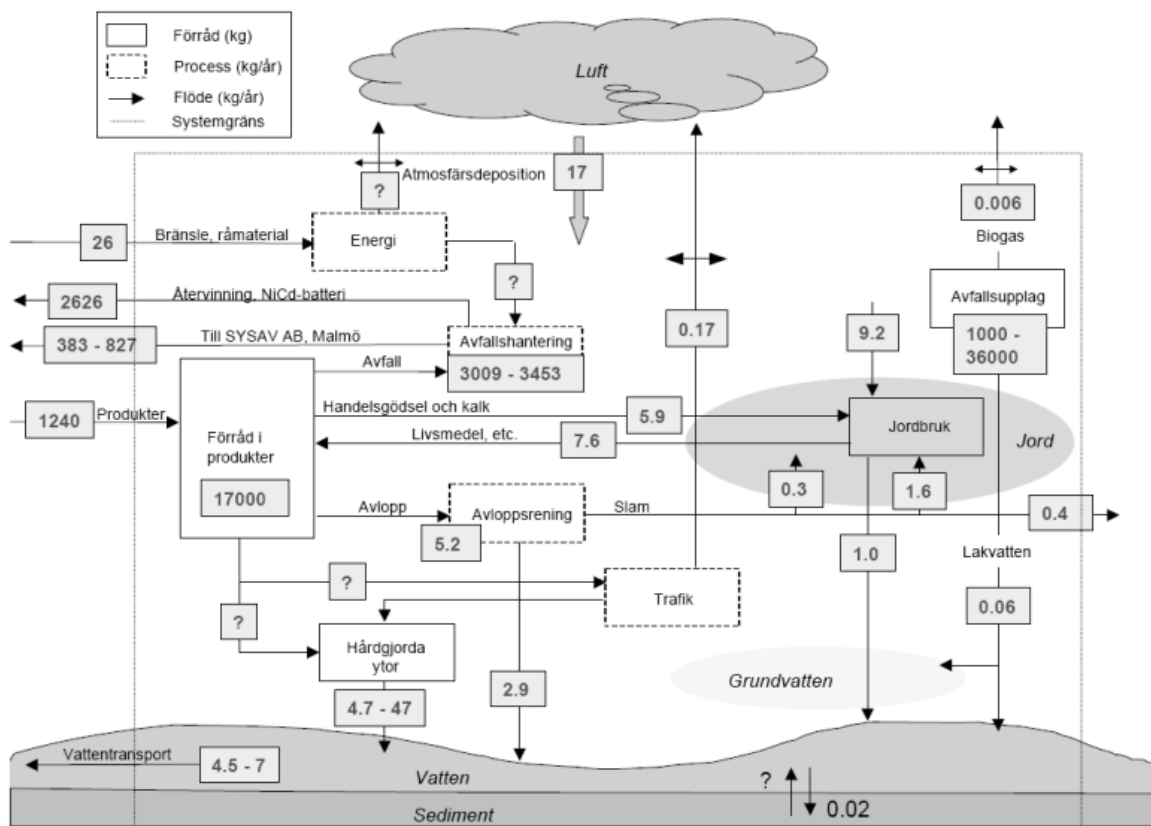
2.6.2 Vägverket

Vägverket har i en rapport tagit fram en modell med vilken de skattar dagvattens föroreningsbelastning på en recipient i jämförelse med andra källor. Detta för att undersöka var och hur deras anläggningar för rening av vägdagvatten faller ut. Den kan till exempel användas för att ta reda på vilket område som är det mest effektiva att placera anläggningen på för att fånga upp största möjliga mängd föroreningar. Vägverket konsult har även utarbetat en metod för att kunna utföra föroreningsberäkningarna i ett GIS. Metoden bygger

på att ett antal rasterskikt multipliceras för att få fram belastningen, vilket visas i formeln (Jagaric och Jonsson, 2003):

$$\text{Belastning (g/år)} = \text{area (m}^2\text{)} * \text{nederbörd (m/år)} * \text{avrinningsfaktor} * \text{schablonvärde (g/l)}$$

Metoden kräver att man har tillgång till höjddata över området för att kunna räkna ut flödesriktning i rastret. Belastningen i varje pixel summeras därefter enligt den givna flödesriktningen. Resultatet blir således en hög spatial upplösning medan den temporala är låg. Enligt metoden ska schablonhalterna varieras mellan de lägsta och högsta redovisade belastningarna beroende på områdets bakgrundshalt, vilken kan fås ur SGU:s biogeokemiska karta. I rapporten uppger man att osäkerheten vid val av schablonhalt är stor eftersom variationen är hög, framförallt för naturmark.



Figur 2.5. Modell över kadmiumanvändning och cirkulation av kadmium inom Höje ås avrinningsområde (Backe et al, 2003b).

2.6.3 Kadmiumsituationen i Skåne

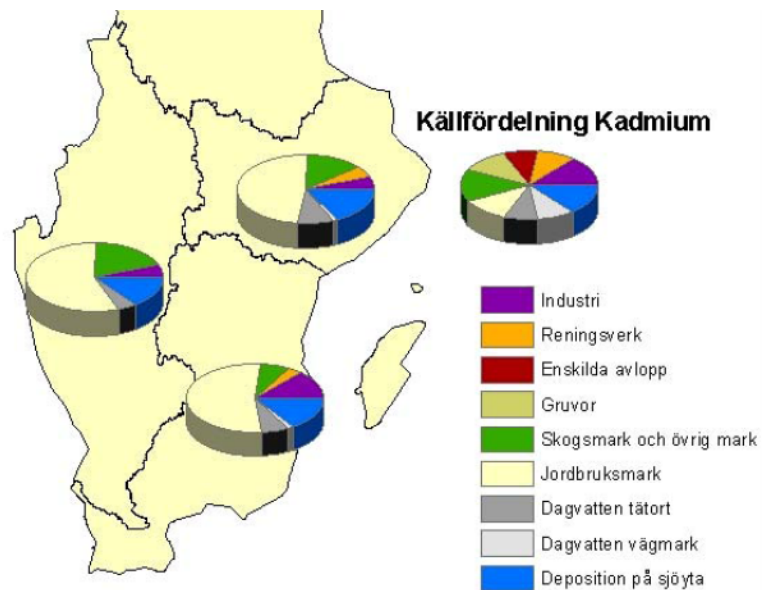
Länsstyrelsen i Skåne län har sammanställt en rapport om kadmiumsituationen i Skåne. Rapporten är uppdelad i två delrapporter där den första utgör en studie av kadmiumbelastningen på miljö och samhälle. Syftet är att öka kunskapen och förståelsen av de flöden av kadmium som sker mellan olika delar av miljön (Backe et al, 2003a). En substansflödesanalys för kadmium i Höje ås avrinningsområde har därför gjorts (se figur 2.5). Delrapport 2 är ett försök till att visa på halter av kadmium i miljön och var kadmiumet kommer ifrån (Backe et al, 2003b). Målet är att hindra eller minska utsläppen från de olika källorna. I figuren (2.5) kan man se på de stora osäkerheter som döljer sig i föroreningsmängderna från de diffusa belastningarna i dagvatten, här främst för hårdgjorda ytor.

2.6.4 TRK

TRK-projektet (Transport, Retention, Källfördelning) är ett samarbete mellan ett flertal svenska myndigheter, universitet och organisationer. De som är inblandade är bland andra IVL Svenska Miljöinstitutet AB, SLU (Sveriges lantbruksuniversitet), Naturvårdsverket och SMHI (Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut). Det är SLU och SMHI som på uppdrag av Naturvårdsverket ska beräkna den svenska belastningen på Östersjön för att

rapportera till en rad internationella miljöprojekt, nationell rapportering och till analyser inom EU:s ramdirektiv för vatten (mm^{14}). För detta utvecklas ett verktyg för belastningsberäkningar av övergödande ämnen som kväve och fosfor samt förorenande tungmetaller som kadmium, bly, kvicksilver och koppar.

Belastningsberäkningarna och



Figur 2.6. Källfördelning av kadmium i södra Sverige (Ejhed et al, 2005).

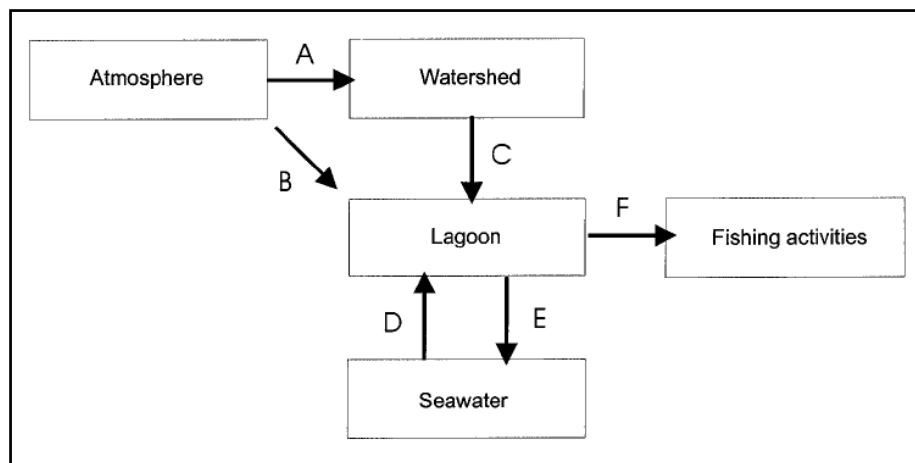
källfördelningarna (se figur 2.6) täcker hela landet och grundas på nya schablonhalter och samband för urlakning från olika marktyper samt på befintliga schablonhalter då dessa ansetts trovärdiga (Ehjed *et al*, 2005). Nya schablonhalter för skogsmark och jordbruksmark baserade på mätvärden har tagits fram. För det delområde av Sverige som Skåne tillhör har kadmiumkoncentrationen från skogsmark satts till 0,013 µg/l och för jordbruksmark har följande samband tagits fram, vilket bygger på matjordens pH-värde:

$$\text{Cd } (\mu\text{g/l}) = 24,17 - 6,95 * \text{pH} + 0,50 * \text{pH}^2$$

För urbana markklasser har schablonhalter från StormTac-modellen använts (mm^3). Beräknade kadmiumbelastningar för tre huvudavrinningsområden i Skåne från TRK-projektet redovisas i kapitel 5, resultat (tabell 5.2).

2.6.5 Biguglia box-modell

I den franska box-modellen för en lagun på Korsika (Mouillot *et al*, 2000) görs uppskattningar av balansen av kadmium och koppar. Fem boxar står för skilda system som har utbyte med varandra; lagunen, atmosfären, avrinningsområdet, havet och fiskeriverksamheten (se figur 2.7). Utbytet mellan boxarna är nettot av de komplexa processer som verkar på området och räknas ut med en rad ekvationer för vattenflöde, retention med mera.



Figur 2.7. De fem ingående enheterna i box-modellen för lagunen Biguglia, Korsika (Mouillot *et al*, 2000).

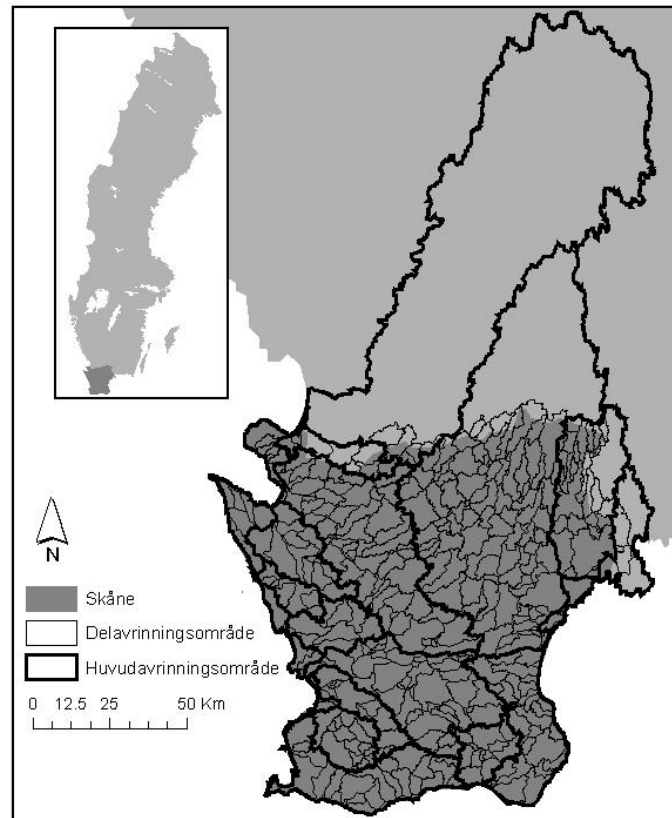
3. MATERIAL

För att skapa en modell över kadmiumspridning behövs ett antal grunddata som kan anses utgöra en god grund för kadmiumflödet i miljön. Urvalet av dessa data ger indirekt en uppfattning om arbetets generaliseringsgrad; hur noggrann har man varit i sitt val av indata? Hur många parametrar har man valt att räkna med? Detta är oftast beroende av tillgången på data, och således kan man tvingas välja en mer generaliserande modell av praktiska, ekonomiska och/eller tidsmässiga skäl.

3.1 KARTDATA

Avrinningsområden utgör en grund för studier som innefattar hydrologi eftersom de kan visa hur vattnet förflyttar sig inom ett område. Ett avrinningsområde är en yta från vilken nedfallande regn rinner till samma punkt och dess gränser utgörs av vattendelare, det vill säga en fysisk barriär eller rygg, exempelvis en geologisk formation som gör att vattnet rinner åt olika håll på sidorna om denna. Från SMHI har huvudavrinningsområdena och delavrinningsområdena köpts in som två shape-filer. Områdena är uttagna från topografiska kartor.

Huvudavrinningsområdena ska ha en storlek av minst 200 km², annars räknas de som delavrinningsområde. Skåne täcks av 24 huvudavrinningsområden och 419 delavrinningsområden. Figur 3.1 visar avrinningsområdenas gränser och Skåne län (det mörkare området). I attributtabellen till delavrinningsområdena från SMHI bifogades information om hur vattnet förflyttar sig mellan delavrinningsområdena i form av in- och utloppskoordinater. Om ett områdes



Figur 3.1 Avrinningsområden i Skåne.

avrinnande vatten går vidare till ett underordnat delavrinningsområde kommer länken mellan dem att vara att det första områdets utloppskoordinater är desamma som det andra områdets inloppskoordinater.

Kadmiumhalt i matjord är en utav de faktorer som påverkar kadmiumkoncentrationen i avrinnande vatten. Kadmiumdatan i detta arbete kommer från undersökningar gjorda i en riksomfattande inventering av humusinhåll och markkemiska egenskaper hos åkermark genomförd 1988-1995 (främst 1994-1995). Mätpunkterna ligger i ett rutnät med 10 kilometers mellanrum. Inventeringen presenteras i rapporten ”Tillståndet i svensk åkermark” (Eriksson *et al*, 1997). En koordinatsatt tabell med tillhörande kadmiumhalt i matjorden (mg/kg) täckande stora delar av Sverige erhöles från denna undersökning.

Svensk Marktäckedata från Lantmäteriverket, täckande Skåne län, har använts som grund för den egna markanvändningskartan. Kartskiktet (som i detta fall var i shape-format) färdigställdes 2003 och har ett 60-tal klasser fördelade på huvudkategorierna anlagda ytor, jordbruksmarker, skog och halvnaturliga marker, öppna våtmarker och vatten. Minsta karteringsenhet är 1-5 hektar.

Miljöfarlig verksamhet. Shapefil med punkter från Länsstyrelsen i Skåne från vilken positioner för avloppsreningsverk har hämtats (*wmm*⁸). Från denna fil kommer även information om avfallsdeponiers position. Det ursprungliga kartmaterialet är från 2000 men ajourförs kontinuerligt. Den version som använts i detta arbete är ajourförd i mars 2004.

Vägverkets vägdatabank över Skåne. Shapefil som täcker in de statliga vägarna i regionen och ett fåtal kommunala och enskilda vägar i de fall där de utgör sammanlänkning mellan de statliga vägarna. Databanken är uppbyggd på ett sådant sätt att en väg kan bestå av flera parallella linjer som representerar olika körfält och vägrenar. Vägbredd finns med som ett attribut till de ca 18000 vägsegmenten men saknas för 1400 segment, främst icke-statliga vägar.

Översiktskartans vägsikt innehåller motorvägar, motortrafikleder och allmänna vägar redovisade enligt GSD (Geografiska Sverigedata) ”Förenklat vägnät” men med vissa

generaliseringar, exempelvis utglesning för att passa skalan som är större i Översiktskartan än i ”Förenklat vägnät”.

3.2 ÖVRIG DATA

Avloppsreningsverk. Positioner för de flesta avloppsreningsverk i Skåne fanns inlagda i Länsstyrelsens shapefil ”*Miljöfarlig verksamhet*”. För de reningsverk som inte fanns med i kartsiktet har punkter för dessa digitaliserats med vägledning från anställda på kommunerna, vilka har angett positioner för reningsverken. Flödesdata och reningstyp för reningsverken har samlats in från samtliga kommuner och för reningsverk större än 500 pe (personekvivalenter) eller 40 000 m³/år⁻¹. Reningstyperna har delats in i kategorier efter förmåga att rena utgående vatten från kadmium (*Lindgren, 2001*). Följande reningskategorier med tillhörande mängd kadmium per ansluten person redovisas i *Lindgren (2001)*.

1. kemisk rening (0,03 g/person och år)
2. biologisk/kemisk rening (0,04 g/person och år)
3. kväverening (0,01 g/person och år)

Om ett reningsverk har flera av de olika reningssätten har den reningstyp som ger minst kadmium i utgående vatten angivits. Reningsverken testar kadmiumhalt i slam men bara i utgående vatten om det finns exempelvis industrier som förhöjer kadmiumkoncentrationen i avloppsvattnet.

Anfallsdeponier. Information om avrinnande vatten från de skånska deponierna erhöles muntligt från Länsstyrelsen i Skåne län. För många av deponierna tas lakvattnet tillvara, till exempel genom att vattnet används till bevattning av energiskog. Enligt en studie, ”*Kadmiumsituationen i Skåne*” av Backe et al (*2003a*) behöver man veta deponins volym för att kunna avgöra kadmiumbelastningen i lakvattnet. Då detta inte gick att få reda på från Länsstyrelsen i Skåne län och då vattnet i flera fall leddes bort från deponin sattes kadmiumhalten i lakvattnet till 0,5 µg/l, vilket är samma halt som använts i Backe et al (*2003a*).

Schablonhalt i yt-/dagvatten från olika markanvändningstyper. Flera sammanställningar av schablonvärden för kadmiumkoncentrationer i dagvatten finns från bland andra StormTac-modellen, Vägverket och Svenska vatten och avloppsföreningen (VAV). Den sammanställning av schablonhalter som har använts för urban markanvändning och vatten/våtmark i detta arbete är den som används i StormTac-modellen (*www¹³*), se tabell 3.1. För rural mark har halter från TRK-projektet använts, för jordbruksmark 0,05 µg/l (enligt formel i 2.6.4) och för skogsmark 0,013 µg/l. Detta för att schablonhalterna från StormTac-modellen för dessa klasser är för höga (*mundligt Ejbed, IVL*), jämför med värdena i tabell 3.1.

Tabell 3.1. Kadmiumkoncentration i avrinnande vatten från olika markanvändningsklasser efter *www¹³*

Markanvändning	Cd (µg/l)
Urban markanvändning	
Vägar	0,44
Parkeringsgar	0,45
Hus	0,5
Radhus	0,6
Lägenheter	0,7
Fritidshus	0,5
Koloniområden	0,2
Handelsenheter	1
Industri	1
Parker/gronområden	0,3
Golfbanor	0,3
Rural markanvändning	
Skog	0,2
Jordbruk	0,1
Äng	0,3
Våtmark	0,15

Avrinningsfaktorer för olika markanvändningstyper. Andel av nederbörd som bildar dagvatten redovisas i avrinningsfaktorer (*Svenska vatten och avloppsföreningen, 1976*). Avrinningfaktorn är enhetslös och multipliceras med nederbörden för att få fram andelen av denna som blir avrinnande vatten (se tabell 3.2).

avloppsföreningen, 1976; Lindgren, 2001).

Markanvändning	Avrinningsfaktor	Källa
Bostad/centrumområde	0,7	VAV
Flerfamiljsområde	0,4	VAV
Park	0,1	VAV
Väg	0,8	VV

Halt av kadmium i nederbörd. På IVL:s hemsida finns miljödata från mätstationer runt om i landet (*www⁵*). I Skåne har kadmium i nederbörd mätts i Arup. Från denna station har medelvärdet av årsmedelhalten för

2000-2002 använts. Medelhalten för åren uppgår till 0,048 µg/l.

pH i matjord. Medelvärde för pH i matjord i Skåne län (Eriksson et al, 1997) har använts för att beräkna kadmiumkoncentrationen i avrinnande vatten från jordbruksmark. För 558 provpunkter i åkermark är medelvärdet 6,7 med en variation mellan 4,8 och 8,3.

Avrinning. HBV-modellen har använts för att modellera avrinning i TRK-projektet (www^4). Avrinningen är redovisad för de så kallade TRK-områdena som består av en sammanslagning av ett fåtal av SMHI:s delavrinningsområden. Områdena är således större än delavrinningsområdena men mindre än huvudavrinningsområdena. Avrinningen är redovisad som $l/(s \cdot km^2)$ och är ett årsmedelflöde baserat på meteorologiska data och vattenföringsdata för åren 1985-1999 (muntligt Maja Brandt, SMHI Norrköping).

Kadmiumkoncentrationer i vattendrag. SLU agerar datavärd för bland annat data om vattenkemi som samlas in i en databas inom den nationella och regionala miljöövervakningen. Naturvårdsverket är huvudman och projektens finansiär och analyserna utförs av SLU. I denna databas finns 13 mätstationer i Skåne där man i vattenproverna analyserar kadmiumkoncentration. Vidare har två mätstationer vardera från Ekologgruppens mätningar i Höje å (www^3) och Alcontrols mätningar i Skräbeån (www^1) lagts till kontroll-punkterna, vilka samtliga finns redovisade i tabell 3.3.

Tabell 3.3. Mätstationer i Skåne med medelkadmiumkoncentration för de angivna mätåren. Källor: (www^1 , www^1 och www^3).

<i>Mätstation</i>	<i>Cd µg/l</i>	<i>Delaro</i>	<i>Mätår</i>	<i>Referens</i>
Drivån Osby	0,034	88-11:3	2001-2003	SLU
Krusån Osby	0,028	88-11-1:1	2000-2002	SLU
Rönneb. Simontorp	0,036	88-6:5	2001-2003	SLU
Kilingaån Svenst.	0,040	88-9:3	2000-2002	SLU
Ekeshultsån Immeln	0,050	87:15:00	2002	SLU
Hörlingeån Rökeå	0,043	88-7-4-1:1	2001-2003	SLU
Rökeån Vedema	0,050	88-7-4:3	2003	SLU
Hörlinge	0,057	88-7-4:2	1998-2000	SLU
Rönneån Klippan	0,028	96:08:00	2001-2003	SLU
Helgeån Hammarsjön	0,027	88:06:00	2001-2003	SLU
Råån Helsingborg	0,020	94:03:00	2001-2003	SLU
Kävlingeån Rinneback	0,017	92-1:1, 92:4	1996-1997	SLU
Kävlingeån Högsmölla	0,017	92:02:00	2001-2003	SLU
Trolleberg	0,030	91:04:00	2003	Ekologgruppen
Bjällerup	0,017	91-3:1, 91:5	2003	Ekologgruppen
Holjeån Ivösjön	0,030	87-4:1, 87:7	2002	Alcontrol AB
Skräbeån Käsemölla	0,010	87:02:00	2002	Alcontrol AB

Kadmiumbelastning. Från de koncentrationer som uppmätts av SLU uppskattas totalbelastning av kadmium för olika avrinningsområden och län (*mm'*). Likaså redovisas en totalbelastning av kadmium (kg/år) för Höje ås avrinningsområde i Backe et al (2003b) samt i Ejhed et al (2005) för tre huvudavrinningsområden i Skåne. Samtliga belastningar redovisas i tabell 5.2.

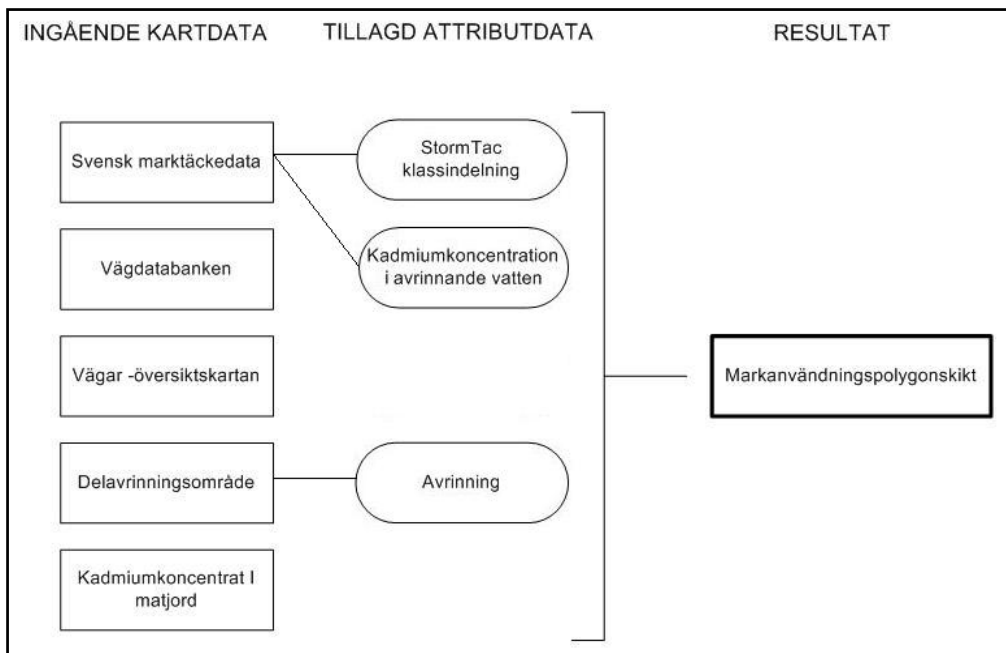
3.3 PROGRAMVARA

ArcGIS 8.3 är det GIS-program som har använts mest i detta arbete. I de fall där operationerna har varit lättare att genomföra i ArcView 3 har detta program istället använts. Microsoft Visual Basic 6.0 har använts vid programutvecklingen och Microsoft Access har använts som databasformat för data när KadmiumKalkylatorn skulle beräkna kadmiumbelastningar.

4. METOD

4.1 DATABEARBETNING

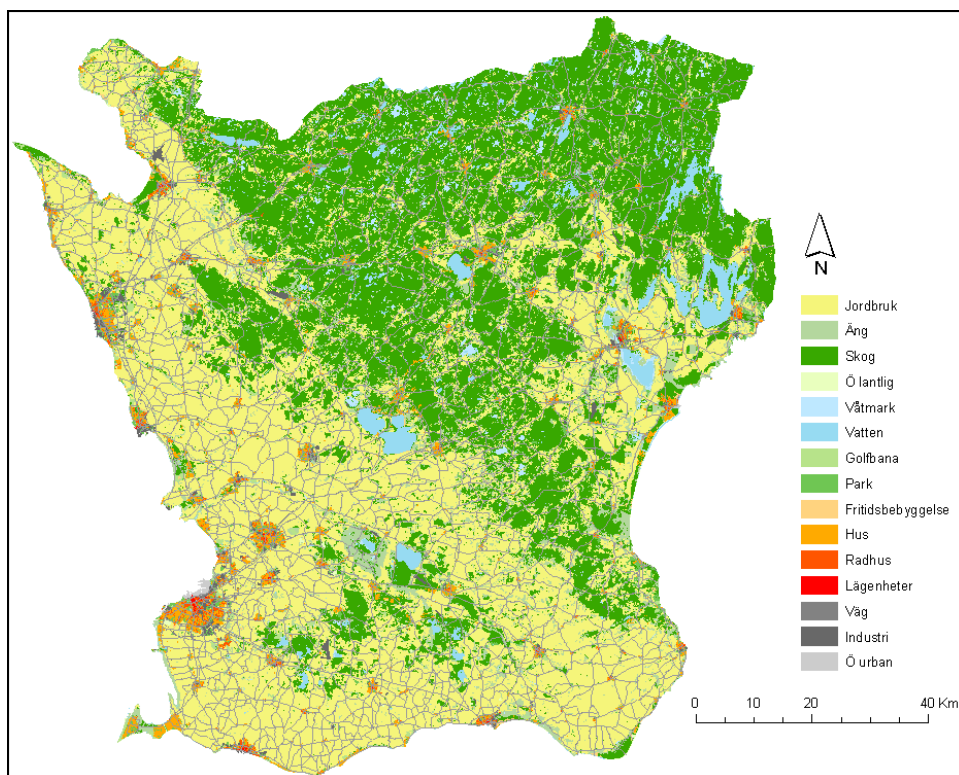
Avrinningsområdena, markanvändningen, vattenflödena och schablonhalterna är grunden i kadmiummodellen. Avrinningsområdenas vattendelare utgör systemgräns för beräkningarna medan markanvändningen avgör koncentrationen av kadmium i det aktuella vattenflödet. Överlagringar av ett flertal kartskikt har gjorts för att föra samman data från de olika kartskikten ("Ingående data" i figur 4.1) och attribut har lagts till. All den sammanställda informationen återfinns i det resulterande kartskiktet "Markanvändningspolygonskikt" (i flödesscheman och dylikt förkortat *MAP*) vilket även kan ses i figur 4.2.



Figur 4.1. Sammanställning av ingående data till markanvändningspolygonskiktet, analysens huvudkartskikt.

4.1.1 Spatial anpassning av markanvändningsskiktet

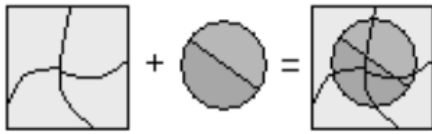
För att skapa ett skikt där varje yta som representeras är homogen avseende kadmiumhalt i avrinnande vatten har Lantmäteriverkets "Svensk marktäckedata" använts som utgångsmaterial. Markanvändningstyperna från denna har delats in i de klasser som representerar olika kadmiumhalter enligt StormTac-modellen, se bilaga 1. Klasserna i tabellen är extraherade från kartskiktet svensk marktäckedata för Skåne län och klasserna för kadmiumkoncentration från StormTac-modellen på StormTacs hemsida. Den nya indelningen har lagts till som en ny kolumn i attributtabeln. För de



Figur 4.2. Markanvändningspolygonskiktets klassindelning enligt StormTac:s klasser.

markanvändningsklasser som har varit svåra att dela in i de existerande klasserna har markanvändningsklasserna övrig lantlig/rural och övrig urban tillkommit. Schablonhalterna för dessa klasser har sedan antagits till medelvärdet för samtliga rurala respektive urbana klasser.

Eftersom förbränning av fossila bränslen genererar en stor mängd kadmiumutsläpp är det av intresse att få med trafiken i markanvändningsskiktet. Då vägar nästan helt saknas i svensk marktäckedata har Vägverkets vägdatatabank och Översiktsskartans vägnät använts som komplettering. Eftersom vägdatatabanken främst täcker in de statliga vägarna har Översiktsskartans vägar använts som komplement inom exempelvis tätorter där vägar helt saknas i vägdatatabanken. För de vägsegment som saknade vägbredd i attributtabeln har medelvärdet för övriga vägsegment i databasen, sju meter, tilldelats. Detta är naturligtvis en generalisering av vägbredderna som varierar stort men efter samtal med Kerstin Andersson vid Vägverket i Kristianstad, visade det sig motiverat att göra på detta sätt eftersom det inte finns någon bra medelvägbredd för olika kategorier av vägar (som exempelvis motortrafikled, enskild väg et cetera). Buffertbildningar har sedan gjorts runt linjesegmenten med halva vägbredden som buffertmått och på så vis har ett ytskikt skapats av vägarna.



Figur 4.3. Funktionen "Union of two layers" i ArcGIS.

Detta vägsnitt har sedan med "Union two layers" klippts in i markanvändningsskiktet. Union-funktionen skapar ett nytt kartskikt som har båda lagrens gemensamma utbredning och nya polygoner vars gränser bygger på de båda ingående lagrens gränser, enligt figur 4.3.

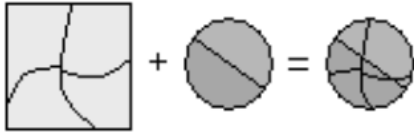
För de avrinningsområden som inte helt täcks in av det skånska markanvändningsskiktet är den totala aggregerade belastningen inte möjlig att modellera med de tillgängliga kartskikten. Det beror på att koncentrationen av kadmium i det vattenflöde som härstammar från områden utanför Skåne inte kan avgöras utan markanvändningsdata och därmed kommer en del av den

totala belastningen för dessa huvudavrinningsområden att saknas.

4.1.2 Bearbetning av avrinningsmängder och avrinningsberäkning för markanvändningsskiktet

Den för TRK-projektet modellerade avrinningen var redovisad i liter per sekund och kvadratkilometer avrinningsyta ($l/s \cdot km^2$) fördelat på mellan ett och elva avrinningsområden per huvudavrinningsområde (mm^{14}), se bilaga 2. Avrinningen för huvudavrinningsområdena har viktats samman genom att summera arean för de delavrinningsområden som utgör TRK-avrinningsområdena och därefter vikta avrinningen för dessa med dess procentuella andel av huvudavrinningsområdets area. Efter enhetsomvandling till $l/(år \cdot m^2)$ redovisas avrinningen för de skånska huvudavrinningsområdena i tabell 4.2.

Avrinningsområde	$l/(år \cdot m^2)$
86/87	198
87	284
87/88	198
88	325
88/89	279
89	309
89/90	306
90	281
90/91	238
91000	281
91/92	238
92	344
92/93	238
93	312
93/94	238
94	289
94/95	238
95	325
95/96	238
96	410
96/97	614
97	602
97/98	614
98	442



Figur 4.4. Funktionen "Intersect two layers" i ArcGIS

Markanvändningsskiktet har överlagrats med delavrinningsområdena ("Intersect two layers", se figur 4.4) för att det för varje delavrinningsområde ska gå att beräkna kadmiumbelastning. Genom denna överlagring kommer markanvändningsskiktet också att ha det huvudavrinningsområde som det ingår i som attribut. En dbf-fil med huvudavrinningsområden och avrinning enligt tabell 4.2 har länkats samman i ArcGIS ("Join attributes from a table"). Därefter har arean för varje markanvändnings-polygon i markanvändningsskiktet multiplicerats med avrinningen varpå en avrinningsmängd för varje markanvändningspolygon i liter per år erhöles.

4.1.3 Kadmiumhalt i matjord

För att skapa en shape-fil med kadmiumhalten i matjorden i Skåne valdes mätvärdena för Skåne med omgivning ut från den riksomfattande inventeringen av kadmiumhalten i den svenska matjorden. Genom att skapa en tom databas i Microsoft Access och i den hämta externa data kan tabellen i Access konverteras till dbf-format. I ArcView öppnas databasen som ett Table, därefter väljs "Add Event Theme" varpå en konvertering till Shape-format av det nya punktskiktet är möjlig.

För kadmiumhalt i matjord var det den lokala variationen som var intressant. Således behövdes en lokal interpolationsmetod för att skapa en kontinuerlig yta av datapunkterna. Lokal polynominterpolation och universell kriginginterpolation är två lokala metoder som passar för att interpolera kontinuerliga data. Avståndsviktad medelvärdesinterpolation är den mest använda metoden och Kriginginterpolation den som anses ge bäst resultat (Eklundh, 1999). Målet vid Kriginginterpolering är att anpassa ett korrekt semivariogram. Det är därför av betydelse att prova olika inställningar för semivariogrammetts variabler, samt att studera resultaten från valideringsfunktionen i ArcMap. Val av inställningar avgjordes både visuellt och statistiskt. Som förlaga för det visuella resultatet var kartan för kadmiumkoncentration i matjord (Eriksson et al, 1997) samt uppmätta kadmiumkoncentrationer i bäckvattenväxter (*www¹⁰*). I valideringsmetoden väljs ett testdataset med mätpunkter ut från mätpunkterna, som sedan jämförs med de interpolerade värdena i samma punkter. Därmed gäller valideringen för den interpolation som görs med den del av punkterna som inte används för

att utvärdera interpolationen. Denna interpolation blir således sämre än den som görs med samtliga punkter och därför ger den slutgiltiga kartan bättre resultat än testinterpoleringen. Valideringen ger uträknade värden för ”Mean Prediction Errors” som ska vara nära noll och ”Root Mean Square Prediction Errors” som ska vara när ett. Med inställningar för interpolationen enligt tabell 4.3 blev ”Mean Prediction Error” 0,0003 och ”Root Mean Square Prediction Error” 1,004 vid testinterpoleringen.

Interpoleringen konverterades till ett vektorskikt där kadmiumhalten i matjorden delades in i tre klasser för låg, normal och hög halt. Gränsen för hög halt valdes till 0,30 mg/kg Cd vilket är gränsen för när brödsäd måste analyseras för kadmiuminnehåll för att kunna säljas under Svenskt Sigill (på grund av risk för njurskador). Medelhalten för de skånska provpunkterna är 0,24 Cd mg/kg. Gräns nedåt för låga halter var svårt att hitta och därför valdes 0,18 Cd mg/kg vilket är ger lika stor avvikelse från medelvärdet som gränsen för höga värden.

Tabell 4.3. Inställningar av interpolationsparametrar vid Kriginginterpolation av kadmiumhalt i matjord.

<i>Interpolationsparameter</i>	<i>Värde</i>
Major Range	45 000
Partial Sill	0,02
Nugget	0,002
Lag size	3000
Number of lags	30
Neighbours to include	8
Include at least	2
Model	Spherical

Markanvändningspolygoner med centrum i polygoner med samma jordhalt valdes ut. Jordhaltsklassstillhörigheten användes för att korrigera halterna av kadmium i avrinnande vatten för naturmarksklasserna skogsmark, jordbruksmark och ängsmark.

4.1.4 Beräkning av belastning per markanvändningspolygon

Två olika inställningar av schablonhalterna valdes för att testa KadmiumKalkylatorn. Den första modellkörningen var med StormTac-modellens koncentrationer för samtliga markklasser utom jordbruksmark, ängsmark och skogsmark. För de tre naturmarksklasserna användes koncentrationerna från TRK-projektet (*mundligt Ejbed, IVL*) som redovisas i stycke 2.6.4, men enbart i de fall då jordhalten befanns vara i mellanklassen. Om jordhalten var hög tilldelades en koncentration med lika stor procentuell avvikelse från medelvärdet som den procentuella avvikelsen som återfinns hos jordhalterna och likadant gjordes för den låga klassen. De halter som användes för jordbruksmark låg därför i intervallet 0,0363 – 0,0875

$\mu\text{g/l}$ och för skogsmark 0,0094 – 0,0227 $\mu\text{g/l}$. I den andra modellkörningen ändrades halten kadmium från våtmarker och vatten till den halt som enligt IVL:s mätningar halten i regn uppgår till i Skåne, 0,048 $\mu\text{g/l}$ (mm^5). De urbana markklasserna reducerades också genom att belastningen från föregående uträkning multiplicerades med avrinningsfaktorn för respektive markanvändningsklass. Detta gjordes på grund av att StormTac:s schablonhalter endast är anpassade efter dagvattens kadmiumkoncentrationer och inte för allt avrinnande vatten (*mundligt Larm, SWECO VIAK*). En lägre koncentration skulle således kunna appliceras på den del av vattnet som inte rinner av, men i denna uträkning tas enbart hänsyn till den del som bildar dagvatten eftersom inga andra schablonhalter finns att tillgå.

I ArcMap beräknades den slutliga kadmiumbelastningen från varje markanvändningspolygon. Detta genom att ta varje markanvändningspolygons avrinning i liter/år multiplicerat med dess angivna koncentration i $\mu\text{g/l}$. På så vis åstadkoms en kolumn med belastning i $\mu\text{g}/\text{år}$.

4.1.5 Avloppsreningsverk

Avloppsreningsverk står för de största punktutsläppen av kadmium. För att få med denna kadmiumkälla i modellen skapades ett punktskikt i ArcGIS med reningsverken i Skåne. Samtliga skånska kommuner kontaktades och frågor ställdes rörande deras reningsverk och reningsprocesser. Reningsverkets flöde per år och reningsverkets reningstyp är nödvändiga fakta för att kunna beräkna reningsverkets belastning på recipienten (*Lindgren, 2001*). Position, reningstyp och utflöde per år för reningsverk större än 500 pe (personekvivalenter) eller 40 000 kubikmeter per år har lagts in i databasen. Var värdena är hämtade ifrån finns redovisat i bilaga 3. Reningstypen avgör koncentrationen kadmium i utgående vatten (*Lindgren, 2001*). Ett problem med beräkningen av koncentrationerna av kadmium i utgående vatten uppstod genom att det i Vägverkets rapport var angivet kadmiumvärden för de olika reningstyperna i $\text{g}/\text{person}\cdot\text{år}$. I ett stycke står det att flödet motsvarar 420 liter per person och dygn men på Vägverket kunde man inte verifiera om det är den siffran som har använts för att beräkna belastningen. Problemet består också i att en personekvivalent enligt allmän praxis motsvarar 200-220 $\text{l}/\text{person}\cdot\text{dygn}$ varför 420 liter klart skulle vara en överskattning av personförbrukningen av vatten per dygn. Problemet löstes genom att jämföra de resulterande koncentrationerna vid 200 respektive 420 liter/person*dygn med uppmätta

halter i Eslövs avloppsreningsverks utgående vatten. På grund av att matföretaget Findus har sin fabrik ansluten till reningsverket finns förhöjda halter av kadmium i vattnet varför deras koncentrationer måste anses som höga. Om antalet gram per person och år skulle delas med 220 l per dygn skulle halterna bli mycket högre än de i detta reningsverk och på grund av detta delades kadmiumbelastningen per person med $420 \text{ l/person*dygn}$, vilket överrensstämde bättre med de uppmätta halterna från reningsverket i Eslövs kommun.

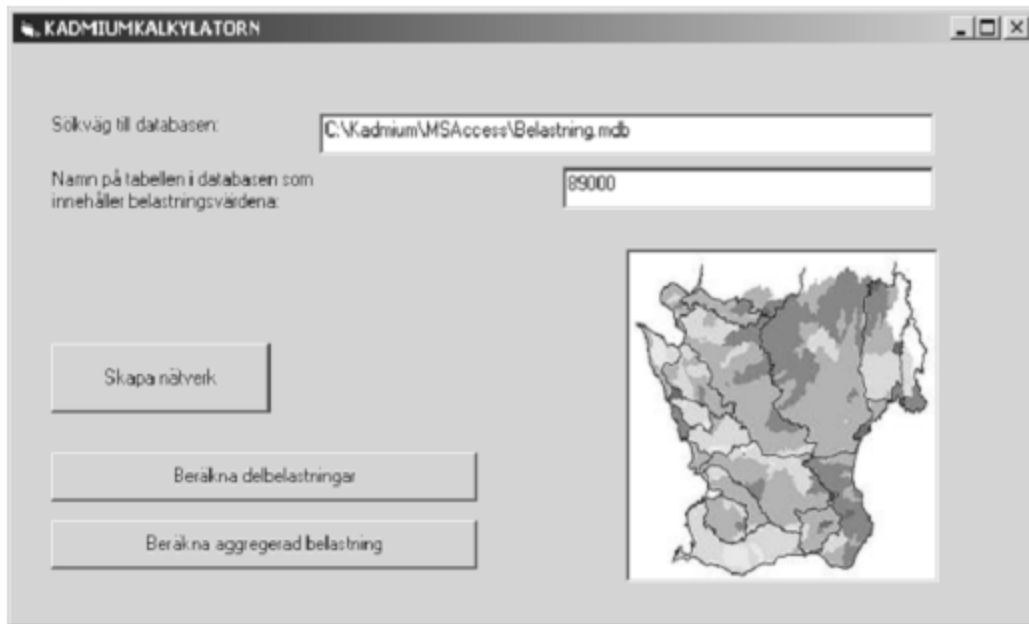
4.2 PROGRAMUTVECKLING AV VERKTYGET KADMIUMKALKYLATORN

4.2.1 Huvudfunktioner

Programmet *KadmiumKalkylatorn* som summerar kadmiumbelastningen per delavrinningsområde samt beräknar aggregerad belastning och kadmiumkoncentration är skrivet i Visual Basic 6. Algoritmen för aggregerad belastning och koncentrationsberäkning är skriven rekursivt, ett programmeringssätt där samma algoritm anropas återkommande så många gånger som nätverket av delavrinningsområden kräver för att täcka in det aktuella huvudavrinningsområdet. Programmets användargränssnitt visas i figur 4.5. I programmet används Microsofts ”*ActiveX Data Objects*” (ADO) för kommunikation med den skapade databasen. Databasen är en exportering av attributtabellerna från de producerade kartskikten till en Microsoft Access-databas. Databasen innehåller följande tabeller:

- *Markanvändningstabeller* (en för varje huvudavrinningsområde, innehåller information om kadmiumbelastning ($\mu\text{g}/\text{år}$) och avrinnande vatten ($\text{l}/\text{år}$), samt delavrinningsområdestillhörighet)
- *Reningsverkstabell* (delavrinningsområdestillhörighet, mängd kadmium ($\mu\text{g}/\text{år}$) och mängd vatten ($\text{l}/\text{år}$) som släpps ut från reningsverket)
- *Utloppstabell* (samtliga delavrinningsområden i Skåne, innehåller information om vilket huvudavrinningsområde varje post tillhör samt dess in- och utkoordinater, det är denna tabell som uppdateras med delbelastningar, aggregerade belastningar och kadmiumkoncentrationer som beräknats med hjälp av markanvändningstabeller och reningsverkstabellen).

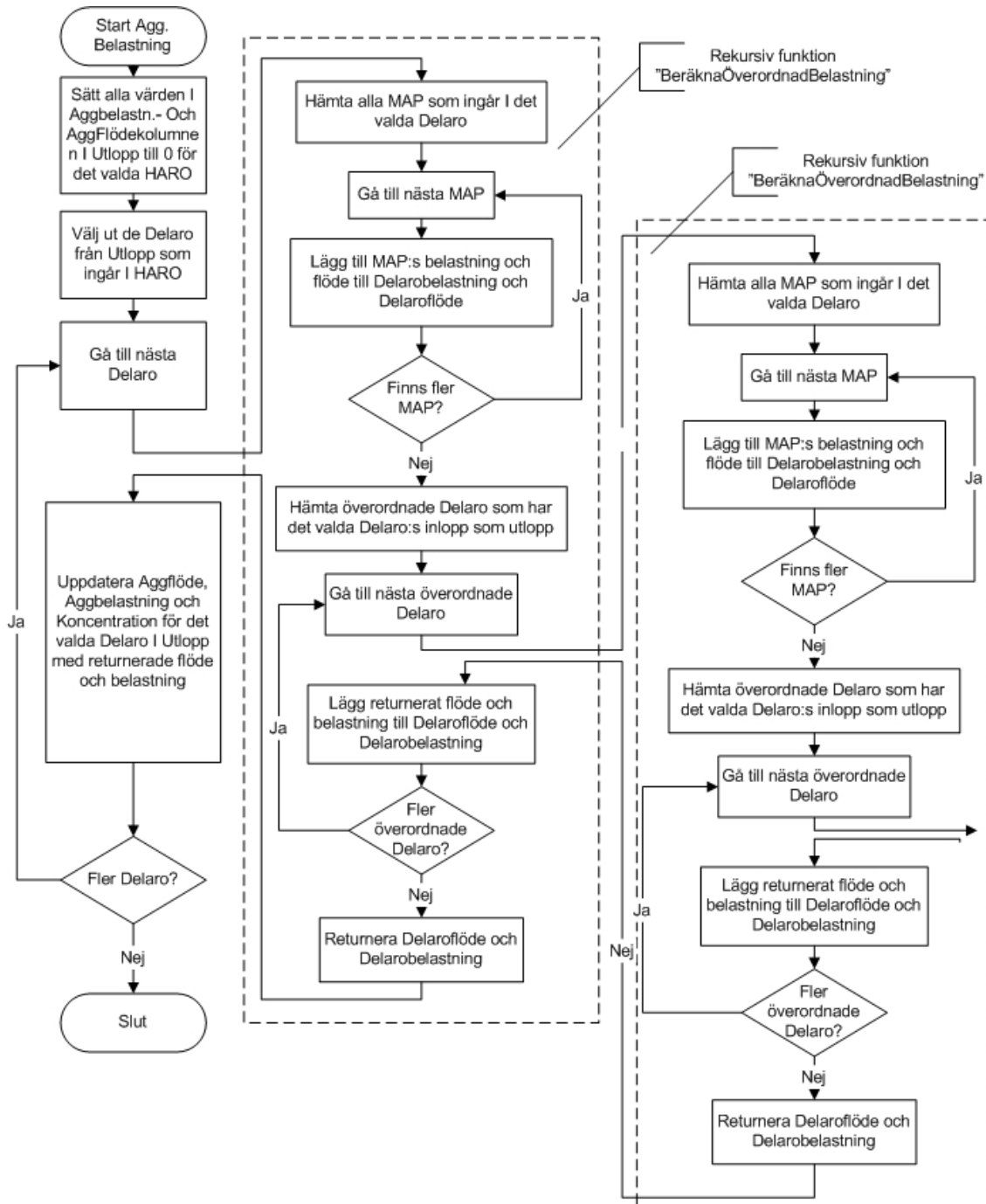
I SMHI:s delavrinningsområden finns koordinater för områdenas in- och utlopp angivna. Ett delavrinningsområdes utlopp är detsamma som dess underordnade delavrinningsområdes inlopp vilket gör att man kan använda sig av koordinaterna för att



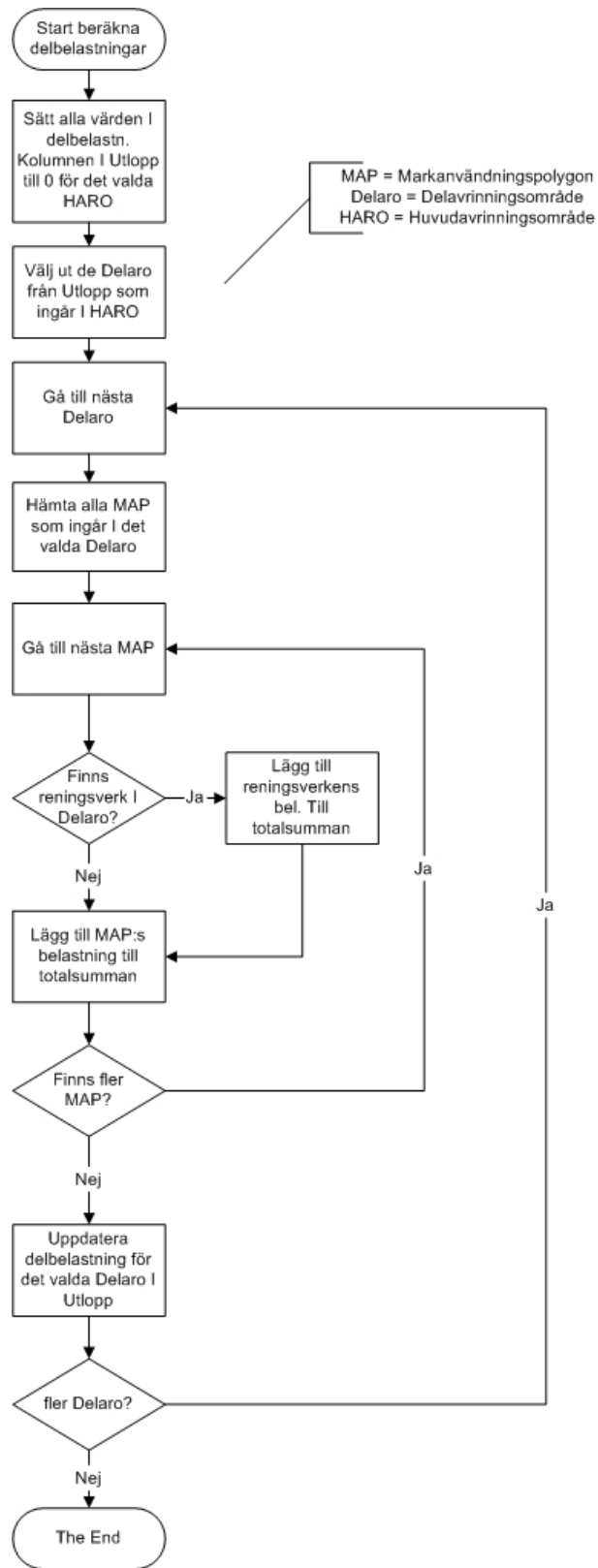
Figur 4.5. KadmiumKalkylatorns användargränssnitt.

göra en belastningsberäkning i en utloppspunkt och i den lägga till överordnade delavrinningsområdets belastningar. Det är detta som genomförs när KadmiumKalkylatorn exekveras för beräkning av aggregerad belastning (se figur 4.6 för algoritmens flödesschema och bilaga 4 för programkoden). Algoritmens huvudfunktion läser in aktuellt huvudavrinningsområde från en textruta och sökvägen till databasen med tabellen för huvudavrinningsområdets data från en annan textruta, som båda fylls i av användaren. För varje delavrinningsområde i detta huvudavrinningsområde anropas en rekursiv funktion som räknar ut den aggregerade belastningen i detta delavrinningsområde genom att i sin tur anropa den rekursiva funktionen för sina överordnade delavrinningsområden. Funktionen skapar ett recordset med samtliga delavrinningsområden i huvudavrinningsområdet som poster från utloppstabellen. För varje delavrinningsområde hämtas alla markanvändningspolygoner som ingår till ett nytt recordset liksom eventuella avloppsreningsverk varpå dessa summeras. Funktionen testar därefter om det finns något överordnat delavrinningsområde och i sådana fall summeras även dettas markanvändningspolygoner och avloppsreningsverk varpå belastningen returneras till den anropande funktionen som lägger samman belastningarna och slutligen returnerar den aggregerade belastningen till huvudfunktionen där fältet uppdateras i utloppstabellen. Huvudfunktionen går därefter vidare till nästa delavrinningsområde och går igenom samma moment med detta.

Funktionen för delbelastningar fungerar på ett liknande sätt men utan rekursivitet eftersom detta inte behövs då ingen vidarekickning av belastningar sker mellan delavrinningsområdena. På samma vis som tidigare beskrivits läses aktuellt huvudavrinningsområde in. I utloppstabellen hämtas samtliga delavrinningsområdesposter som ingår i huvudavrinningsområdet och för varje delavrinningsområde hämtas de markanvändningspolygoner som ingår samt eventuella avloppsreningsverk, deras belastningar summeras och belastningsvärdet skrivs in i utloppstabellen. Se figur 4.7 för flödesschema och bilaga 4 för programkoden.



Figur 4.6. Flödesschema beskrivande algoritmen i KadmiumpKalkylatorn för beräkning av aggregerad belastning, aggregerat flöde och medelkoncentration i det avrinnande vattnet.

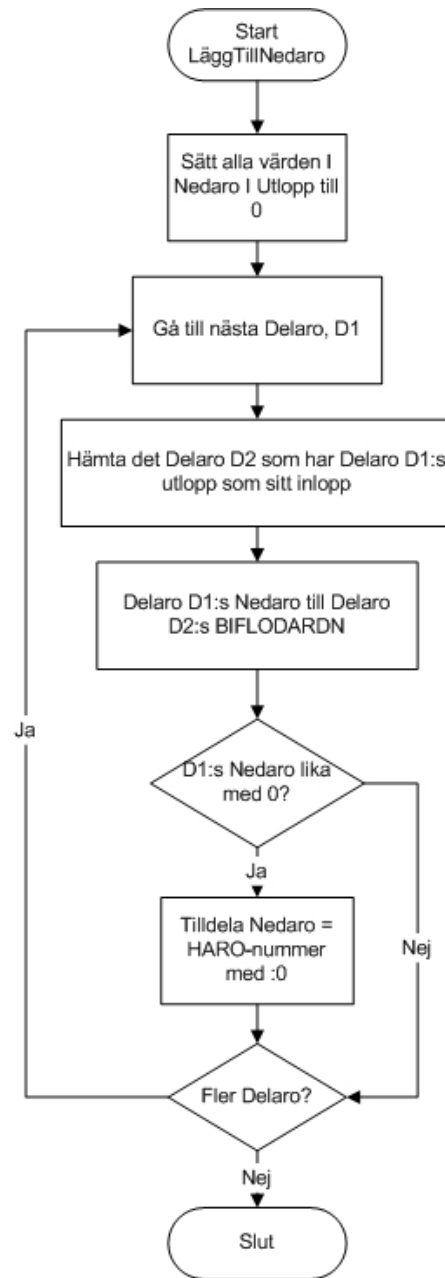


Figur 4.7. Flödesschema beskrivande algoritm i KadmiumKalkylatorn för beräkning av kadmiumbelastning ($\mu\text{g}/\text{år}$) från varje delavrinningsområde i ett huvudavrinningsområde.

4.2.2 Extentioner

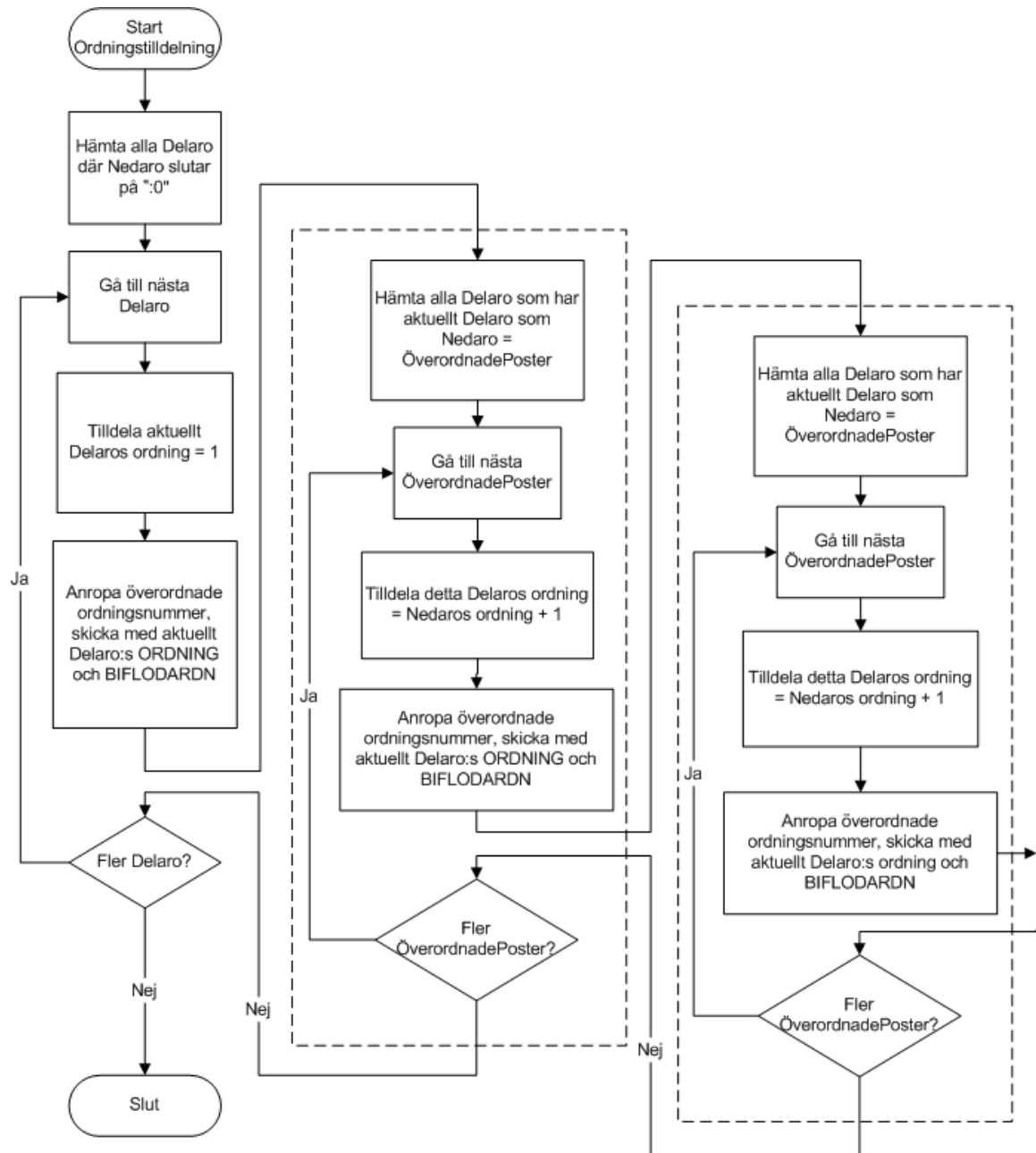
En funktion för beräkning av till vilket delavrinningsområde varje delavrinningsområde rinner har också skapats, som ett steg i en vidareutveckling av programmet från dess ursprungliga form. Detta är främst utvecklat för att KadmiumKalkylatorn inte ska behöva räkna ut till vilket delavrinningsområde vattnet transporteras varje gång modellen körs, då nätverket för hur delavrinningsområdena hör samman är statiskt. Denna algoritm skulle således göra programmet snabbare. Istället för att i funktionen söka igenom utloppsposterna efter överordnade delavrinningsområden genom att jämföra koordinater kan hierarkin nu lätt hittas i en kolumn. I figur 4.8 presenteras flödesschemat för algoritmen där samtliga delavrinningsområden går igenom och underordnat delavrinningsområde söks ut, dess delavrinningsområdesnamn ("BIFLODARDN") skrivs in i delavrinningsområdets kolumn för "Nedaro" (avrinningsområdet som ligger nedan aktuellt delavrinningsområde). Programkoden redovisas i bilaga 4.

En ordningsalgoritm har skrivits för att påskynda exekveringstiden. Med denna är det tänkt att algoritmen alltid ska starta på det delavrinningsområden som ligger längst ifrån kustutloppet (vilket har högst ordningsnummer), lagra dess belastning och sedan stegvis gå närmre slututloppet och på så vis inte behöva beräkna delavrinningsområdenas aggregerade belastning flera gånger. Ordningen är utformad så att kustutloppen har ordningsnummer 1 och alla delavrinningsområden vars vatten rinner till ett sådant delavrinningsområde har ordningsnummer 2. Om ett delavrinningsområde



Figur 4.8. Flödesschema för extensionen som tilldelar delavrinningsområden namn på underordnat delavrinningsområde.

ansluter till ett delavrinningsområde med ordningsnummer 2 blir dess ordningsnummer 3 och så vidare (se flödesschemat i figur 4.9 och programkod i bilaga 4).



Figur 4.9. Flödesschema för extensionen "Ordningstilldelning" som tilldelar delavrinningsområdena ett ordningsnummer beroende på position i huvudavrinningsområdet.

4.3 UTVÄRDERING

För att kunna kontrollera KadmiumKalkylatorns beräkningar har mätstationerna med kadmiumkoncentration i bäckvatten från SLU:s vattendatabas, Ekologgruppen och

ALcontrol sammanställts i ett punktskikt på samma vis som avloppsreningsverksskiktet skapats (se stycke 4.1.5). Antalet redovisade mättillfällen för respektive mätstation varierar samt vilka år värden finns från. Medelvärden för mätningar gjorda 2001-2003 har använts i första hand och där detta inte funnits har medelvärdet för de tre senast redovisade åren använts (se tabell 3.3 för information för samtliga mätstationer).

Eftersom Kadmiumkalkylatorns resultat är en koncentration eller belastning för utloppspunkten till ett specifikt delavrinningsområde är det en fördel om mätstationerna ligger på samma plats som delavrinningsområdenas utloppspunkter. De flesta mätstationerna ligger i en utloppspunkt och i de fall där det inte gör det har närmaste utloppspunkts koordinater använts för mätstationen. I tre fall har mätstationerna flyttats uppströms och då hamnat i en punkt till vilken vattendrag från två delavrinningsområden flyter samman. I de fallen har mätvärdet testats mot båda utloppens koncentrationer och därför finns kontrollpunkterna inlagda två gånger med samma koordinater men med olika delavrinningsområde. I figur 4.10 visas mätstationernas fördelning i Skåne. De modellerade koncentrationerna i de 17 punkterna har jämförts med den uppmätta koncentrationen. Standardavvikelse har räknats ut för dem, regressioner har gjorts och differenserna har jämförts.

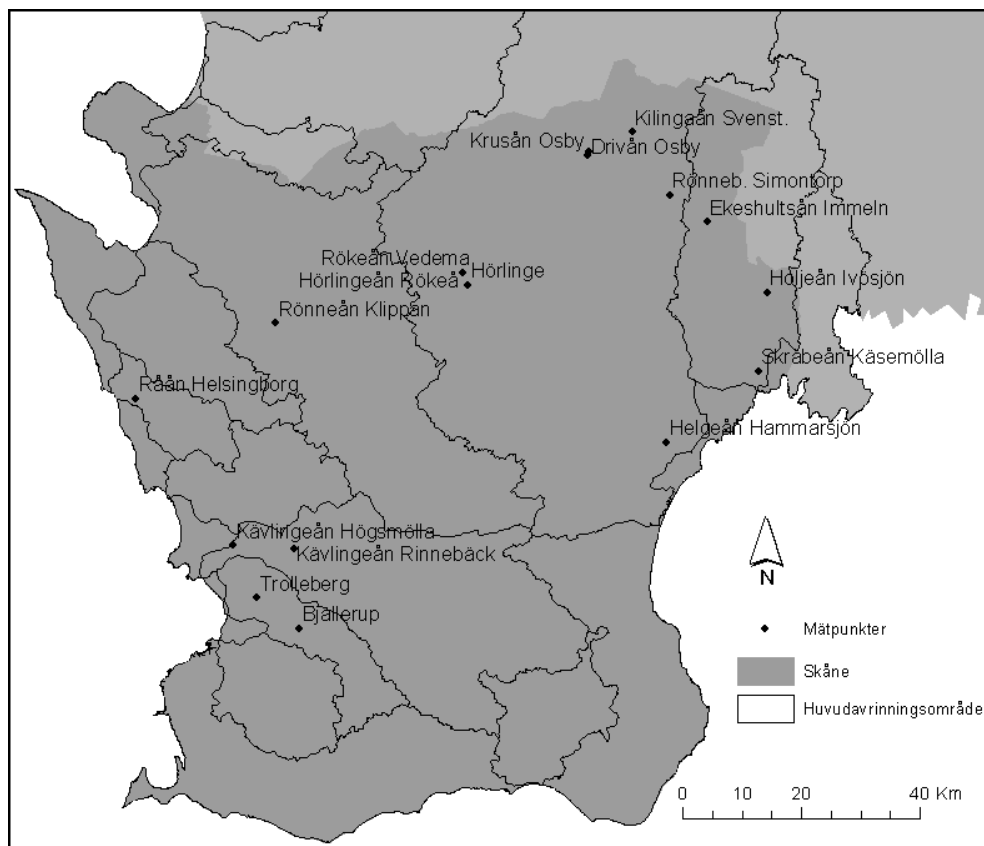
Kadmiumbelastning för tre skånska huvudavrinningsområden redovisas i ”Uppskattning av utsläpp för Cd, Hg, Cu och Zn på TRK-områden” (Ejhed *et al*, 2005). Beräknade totalbelastningar ställs mot uppmätta belastningar i huvudavrinningsområdenas flodmynningar, vilket redovisas i tabell 5.2.

Kadmiumbelastning på kust från Höje å enligt Länsstyrelsen i Skåne län är uppskattad till att vara 4,5 – 7 kg/år (dock med osäkerheten på belastningen från hårdgjorda ytor som anses ligga mellan 4,5 och 47 kg/år). Länsstyrelsens värden jämfördes med de modellerade värdena.

Den totala kadmiumbelastningen per år för Skåne län jämfördes också med den uppskattade totalbelastningen för Skåne som finns redovisad i SLU:s vattendatabas. Den av SLU

redovisade totalbelastningen grundas på de uppmätta koncentrationerna i ett antal vattendrag och vattenföringsmängderna och extrapoleras för att gälla hela länets avrinning.

För att visa på schablonhalternas stora intervall har även modellkörningar gjorts för de högsta schablonhalterna. Dessa jämförs sedan med modellkörning 2 som är de lägsta antagna schablonhalterna. Schablonhaltsintervall har inte funnits att tillgå för samtliga markklasser utan det är de urbana markklassernas intervall som redovisas i figur 2.4 som tillämpats för respektive markklass.

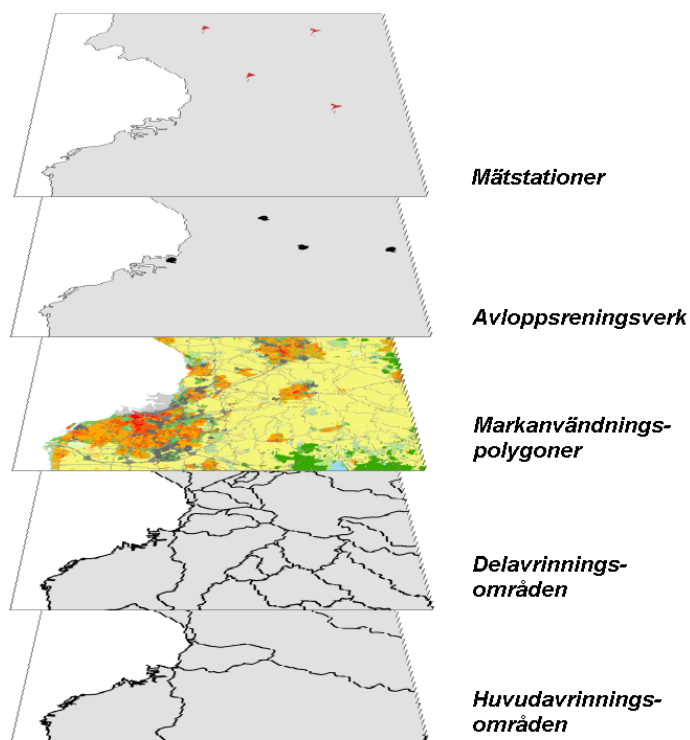


Figur 4.10. Mätstationer i Skåne med kadmiumkoncentrationsdata som används i utvärdering av KadmiumKalkylatorn.

5. RESULTAT

5.1 DATABASEN

Sammanläggningen av de kartsnitt som berör markanvändningen resulterade i det kartsnitt som ligger till grund för belastningsberäkningarna i KadmiumKalkylatorn. För varje polygon i kartsnittet ”Markanvändningspolygoner” finns information om markanvändningsklass enligt svensk marktäckedata och StormTac, delavrinningsområde, huvudavrinningsområde, avrinning, kadmiumhalt i jord, kadmiumkoncentration i avrinnande vatten samt kadmiumbelastning i $\mu\text{g}/\text{år}$. Vidare innehåller databasen kartsnittet huvudavrinningsområden och delavrinningsområden från SMHI. Till delavrinningsområdessnittet är det i attributtabeln tillagt resultatcolumner för delbelastningar, aggregerade belastningar, aggregerade flöden och kadmiumkoncentrationer. Två punktsnitt ingår, ett för avloppsreningsverken och ett för mätstationerna. Se figur 5.1 för överskådlig bild över databasens kartsnitt. Databasen är lättöverskådlig och kartsnittet har beskrivande namn.

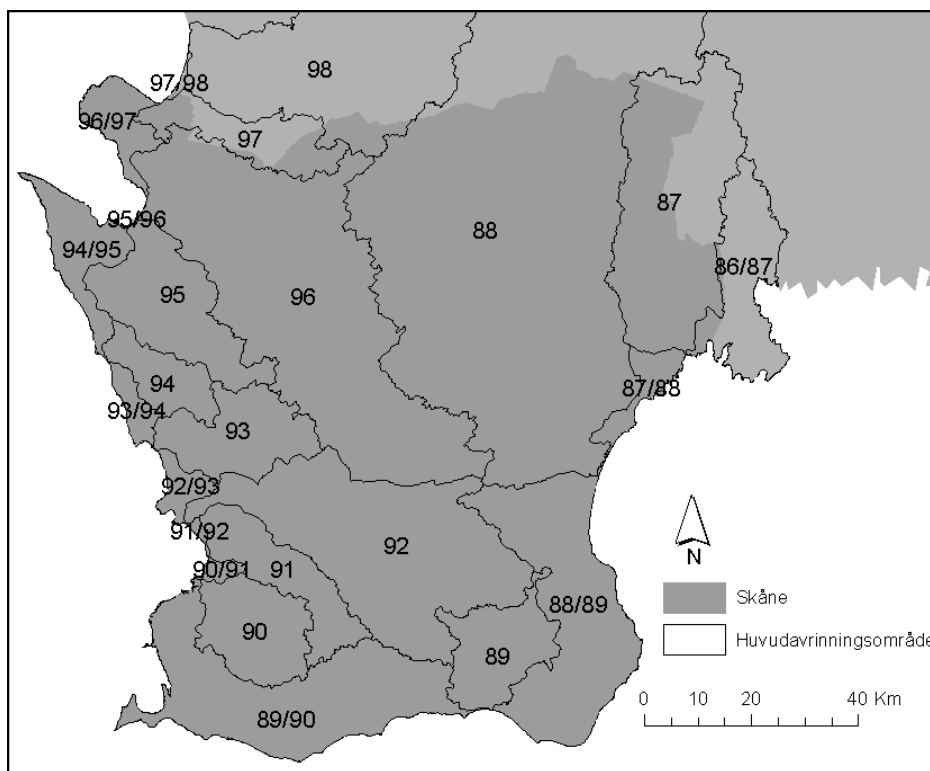


Figur 5.1. Databasens kartsnitt.

5.2 KADMIUMKONCENTRATIONER OCH KADMIUMBELASTNINGAR

Tabell 5.1 visar resultatet av modellkörningar med KadmiumKalkylatorn. För varje huvudavrinningsområde redovisas min, max, medel och standardavvikelse för den modellerade kadmiumkoncentrationen och en arealviktad delbelastning. Samtliga delavrinningsområdets koncentrationer och delbelastningar kan studeras i figurerna 5.3 – 5.6. Höga koncentrationer kan konstateras i mindre huvudavrinningsområden med stor andel urban markanvändning och i ett par fall där avloppsreningsverk mynnar i ett

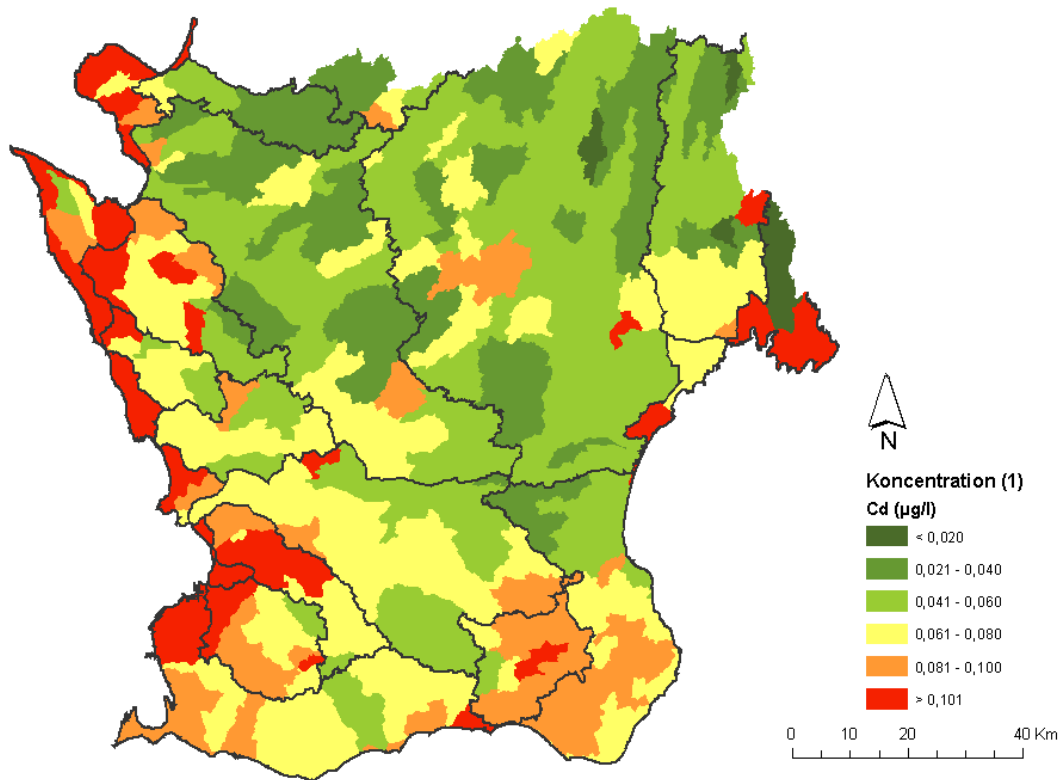
delavrinningsområde, som exempelvis i Nybroåns huvudavrinningsområde (huvudavrinningsområde 89 i figur 5.2 och i tabell 5.1). Generellt har de jordbruksdominerade slätterna i sydväst högre koncentrationer än de mer skogsdominerade områdena i nordöst. Detta blir tydligast i modellkörning 2 och kan ses i figur 5.4. Den arealviktade belastningen (figur 5.5 och 5.6) visar delbelastningen av punktkällor och diffusa källor för varje delavrinningsområde uträknad med algoritmen för delbelastningar. Delbelastningen är dividerad med delavrinningsområdets areal för att belastningarna ska bli lättare att jämföra.



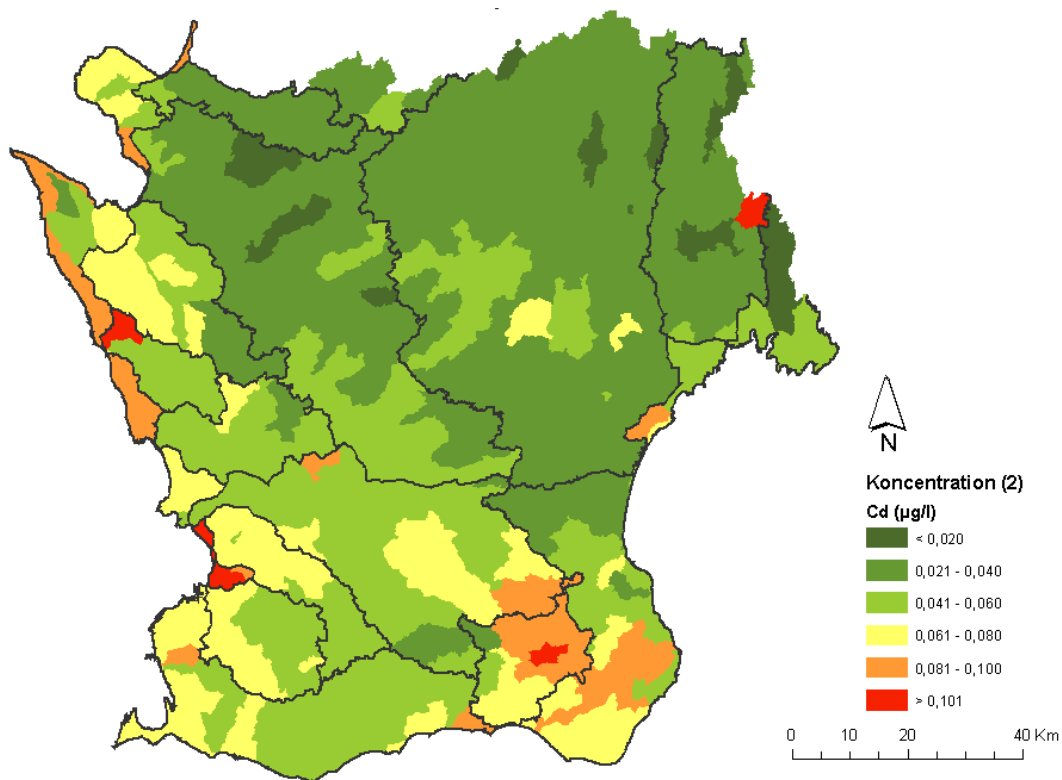
Figur 5.2. Huvudavrinningsområden som täcker Skåne län.

Tabell 5.1. Resultat av modellkörning (1) och (2) med KadmiumKalkylatorn för Skåne, uppdelat på huvudavrinningsområdena.

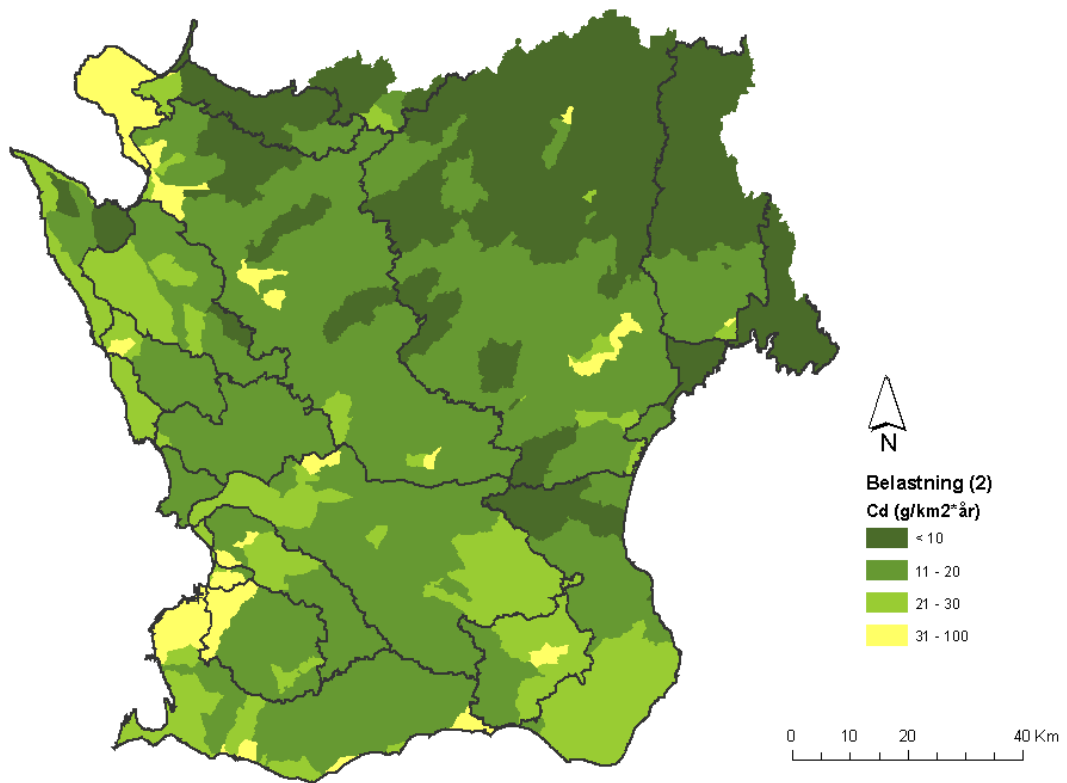
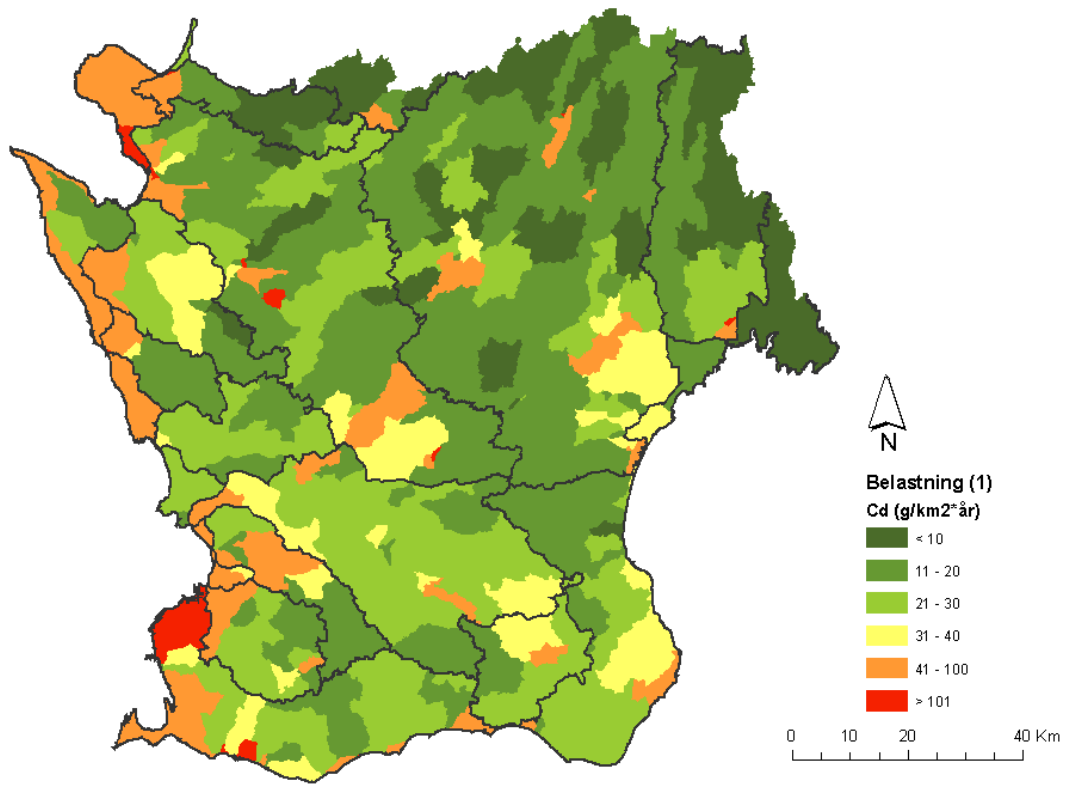
Huvudavrinnings- område	Area (km ²)	Kadmiumkoncentration (µg/l)				Delbelastning kadmium (g/km ² *år)			
		Minimum	Maximum	Medel	St.avvikelse	Minimum	Maximum	Medel	St.avvikelse
86/87 (1)	226,48	0,013	0,114	0,040	0,050	0,00	4,59	1,30	2,20
86/87 (2)		0,012	0,050	0,022	0,019	0,00	2,02	0,63	0,93
87 (1)	796,96	0,018	0,189	0,046	0,031	0,03	141,09	14,93	25,67
87 (2)		0,013	0,153	0,030	0,024	0,03	55,06	8,54	11,21
87/88 (1)	101,35	0,070	0,178	0,118	0,055	13,87	38,83	29,35	13,52
87/88 (2)		0,050	0,088	0,066	0,020	9,84	17,33	13,65	3,75
88 (1)	3124,29	0,019	0,114	0,048	0,015	0,15	150,44	21,78	21,74
88 (2)		0,016	0,067	0,032	0,008	0,10	53,76	12,91	8,72
88/89 (1)	832,26	0,036	0,131	0,067	0,023	8,84	43,04	22,35	9,51
88/89 (2)		0,030	0,092	0,054	0,018	8,11	28,09	16,02	5,78
89 (1)	315,84	0,050	0,202	0,098	0,037	15,56	77,59	28,14	16,27
89 (2)		0,040	0,142	0,080	0,025	12,31	54,83	21,79	10,97
89/90 (1)	877,92	0,049	0,166	0,081	0,022	15,09	313,26	49,43	62,01
89/90 (2)		0,043	0,096	0,061	0,011	13,21	225,20	32,16	40,56
90 (1)	334,42	0,059	0,121	0,084	0,019	16,49	71,91	27,53	14,88
90 (2)		0,044	0,069	0,054	0,008	11,16	33,24	17,21	5,72
90/91 (1)	25,32	0,130	0,244	0,187	0,065	31,08	67,03	47,97	19,50
90/91 (2)		0,080	0,122	0,101	0,024	18,98	32,58	25,16	6,94
91 (1)	315,97	0,058	0,111	0,086	0,023	16,38	93,22	36,34	27,24
91 (2)		0,045	0,069	0,060	0,010	12,58	39,46	21,84	10,15
91/92 (1)	10,29	0,244	0,244	0,245	0,000	58,31	58,31	58,31	0,00
91/92 (2)		0,111	0,111	0,111	0,000	26,53	26,53	26,53	0,00
92 (1)	1203,80	0,039	0,210	0,071	0,029	13,58	79,14	28,06	14,87
92 (2)		0,038	0,099	0,056	0,013	12,38	51,25	20,96	7,71
92/93 (1)	73,17	0,067	0,111	0,091	0,022	16,06	29,94	22,90	6,95
92/93 (2)		0,051	0,066	0,061	0,009	12,09	16,39	14,64	2,26
93 (1)	359,92	0,042	0,087	0,066	0,013	13,21	36,12	23,05	6,59
93 (2)		0,039	0,065	0,054	0,007	12,14	23,54	18,03	3,21
93/94 (1)	66,60	0,166	0,166	0,166	0,000	46,46	46,46	46,46	0,00
93/94 (2)		0,092	0,092	0,092	0,000	28,27	28,27	28,27	0,00
94 (1)	192,75	0,051	0,215	0,082	0,052	14,86	101,54	40,03	31,19
94 (2)		0,048	0,103	0,061	0,017	13,77	40,70	22,77	9,70
94/95 (1)	233,72	0,053	0,232	0,117	0,072	12,46	55,24	23,31	18,17
94/95 (2)		0,039	0,100	0,064	0,023	9,39	23,91	13,59	5,99
95 (1)	488,12	0,026	0,128	0,076	0,032	8,51	43,60	24,75	11,64
95 (2)		0,025	0,074	0,052	0,015	7,99	27,49	17,24	5,49
95/96 (1)	1,13	0,110	0,110	0,110	0,000	26,22	26,22	26,22	0,00
95/96 (2)		0,023	0,023	0,023	0,000	5,53	5,53	5,53	0,00
96 (1)	1896,63	0,023	0,098	0,051	0,015	6,28	195,21	33,88	35,29
96 (2)		0,017	0,052	0,035	0,009	6,21	79,68	19,75	14,54
96/97 (1)	153,02	0,080	0,166	0,111	0,029	49,48	103,88	66,84	18,95
96/97 (2)		0,051	0,082	0,065	0,010	31,71	51,23	40,74	6,67
97 (1)	284,47	0,031	0,069	0,042	0,012	0,64	247,17	43,94	77,78
97 (2)		0,025	0,040	0,029	0,005	0,42	85,36	20,28	26,07
97/98 (1)	9,18	0,263	0,263	0,263	0,000	27,17	27,17	27,17	0,00
97/98 (2)		0,093	0,093	0,093	0,000	9,60	9,60	9,60	0,00
98 (1)	161,57	0,034	0,094	0,055	0,026	0,07	41,91	15,47	16,03
98 (2)		0,023	0,050	0,033	0,012	0,04	22,25	9,22	8,39



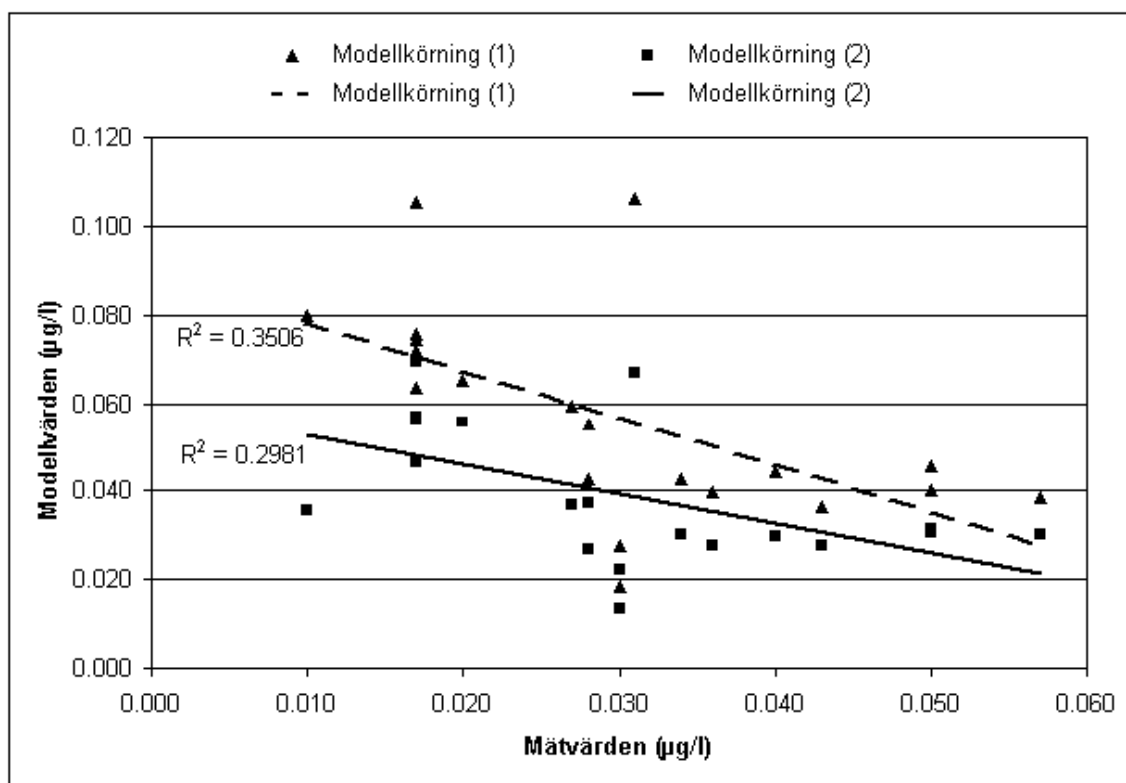
Figur 5.3. Modellerad kadmiumkoncentration i vattendrag i Skåne med schablonhalter (1).



Figur 5.4. Modellerad kadmiumkoncentration i vattendrag i Skåne med schablonhalter (2).



Figur 5.6. Modellerad delbelastning av kadmium via vattendrag för delavrinningsområden i Skåne med schablonhalter (2).



Figur 5.7. Regression av modellvärden (1) och (2) mot mätvärden.

Korrelationen mellan mätstationernas medelkoncentrationer och de modellerade koncentrationerna visas i figur 5.7. En negativ korrelation är resultatet av regressionen. De kontrollpunkter som har högst beräknad kadmiumkoncentration enligt modellen återfinns i Höje ås huvudavrinningsområde (91 i figur 5.2) som har stor andel jordbruksmark och urban markanvändning.

5.4 AGGREGERAD KADMIUMBELASTNING

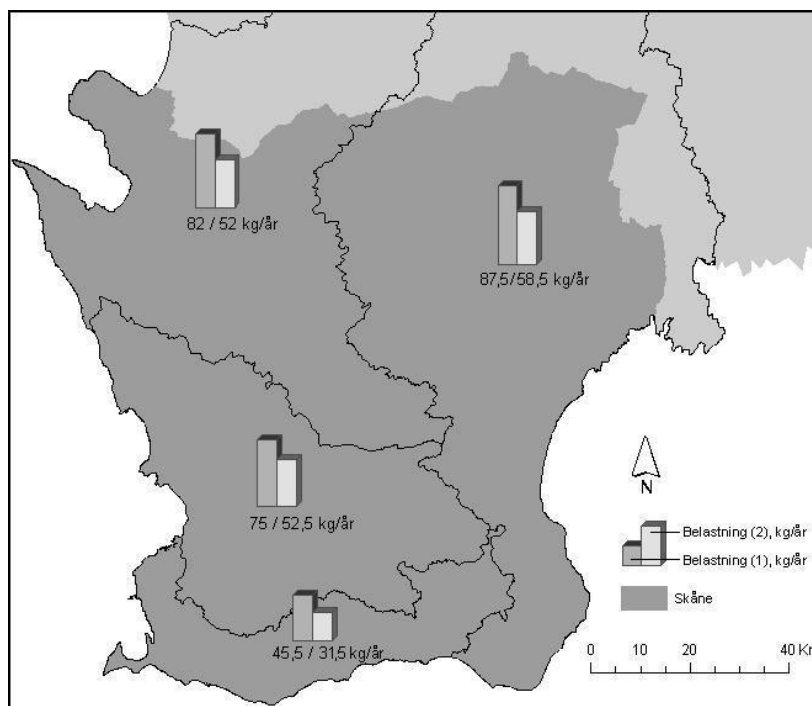
Den totala kadmiumbelastningen i Skåne län uppgår till 292 kg/år om man använder de första schablonhalterna och 196 kg/år om man använder de andra schablonhalterna, se tabell 5.2. Totalbelastningen kan jämföras med SLU:s totalbelastning för Skåne län som finns uträknad på samma internetsida som vattendatabasen, 96 kg/år. En jämförelse kan också göras med TRK:s uträkning för kadmiumbelastning från vilken kadmiumbelastningen för tre skånska huvudavrinningsområden har kunnat hämtas och jämföras med beräknade kadmiumbelastningar i KadmiumKalkylatorn och uppmätta kadmiumvärden i flodmynningar. I tabell 5.2 återfinns en sammanställning över dessa kontroller mot modellerade och uppmätta värden, liksom kontrollvärden från Länsstyrelsen i Skåne läns flödesanalys (från figur 2.5) och SLU:s sammanräknade kadmiumbelastning för Skåne län.

Tabell 5.2. Kadmiumbelastning beräknad i andra källor ("Cd beräknat"), i KadmiumKalkylatorn (modellkörning 1 och 2) och uppmätta kadmiumbelastningar i kg/år. Källor: * Backe et al, 2003, **Ejhed et al, 2005, ***www¹¹

Huvudavrinnings- område	Cd beräknat	Cd beräknat (1)	Cd beräknat (2)	Cd uppmätt
91	4,5-7*	11,5	7	(4,3)*
92	67**	32	24,5	6**
94	5**	5,5	3,5	1**
96	105**	45	29,5	11**
Hela Skåne		292	196	96***

För Höje ås avrinningsområde är den modellerade kadmiumbelastningen 11,5 eller 7 kg/år, beroende på vilken modellkörning man studerar, vilket kan jämföras med de uppskattningar av kadmiumtransporten ut till Lommabukten från Höje å som har gjorts av Länsstyrelsen i Skåne län som uppgår till 4,5 – 7 kg/år. Mätningar görs i Höje ås huvudavrinningsområde men inte vid åns mynning i Lomma bukten utan en bit upp i avrinningsområdet. Dessa mätningar genererar en kadmiumbelastning motsvarande 4,3 kg/år varför "Cd uppmätt" i detta huvudavrinningsområde står inom parentestecken.

I figur 5.8 visas fördelningen av belastningen på olika kuststräckor i Skåne för modellkörning



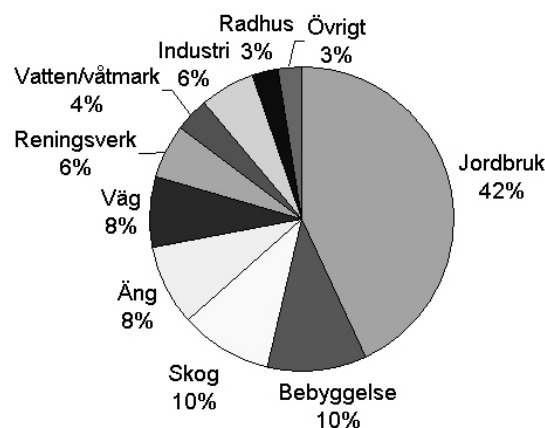
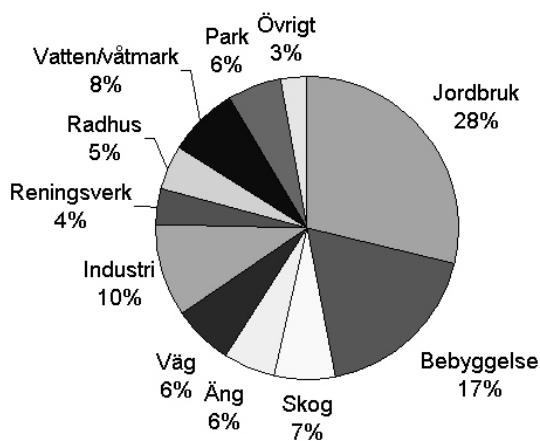
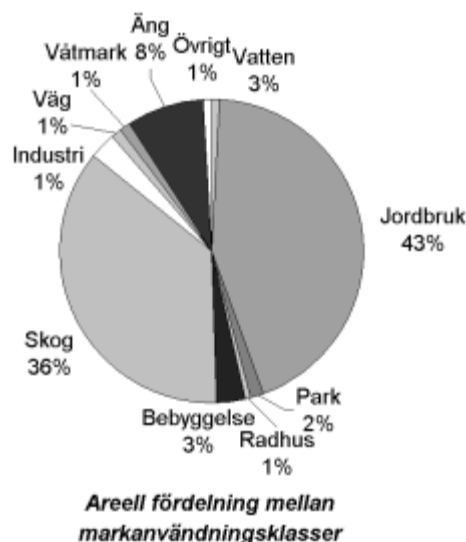
Figur 5.8. Kadmiumbelastning i Skåne uppdelad på olika kuststräckor i Skåne (kg/år).

(1) och (2). Områdena är indelade efter huvudavrinningsområdenas gränser efter åt vilket kustområde vattnet rinner.

Modellkörningen med de högsta schablonhalterna från figur 2.4 genererade en total kadmiumbelastning för Skåne motsvarande 800 kg/år vilket motsvarar det totala luftnedfallet i hela Sverige under ett år.

5.5 KÄLLFÖRDELNING

Markanvändningsklassernas relativa bidrag till totalbelastningen av kadmium i Skåne visas i figur 5.9 för de båda modellkörningarna. Skillnaderna mellan de olika körningarnas fördelning är tydliga och kan jämföras med de i TRK-projektet uträknade källfördelningarna, se figur 2.6.. Det är viktigt att poängtera att den absoluta mängden av kadmium från rural mark är samma i båda körningarna medan de urbana klassernas belastningsmängd minskats i den andra körningen.

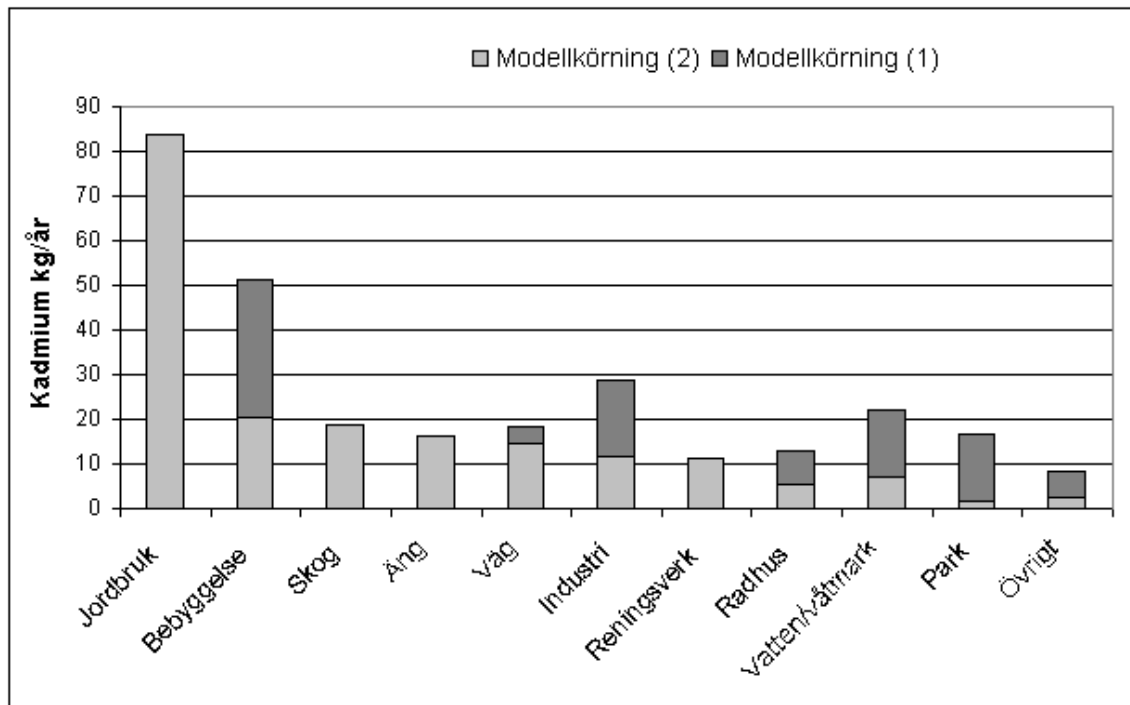


Schablonhalter (1)

Schablonhalter (2)

Figur 5.9. Kadmiumbelastning i Skåne uppdelad på olika markanvändningsklasser, så kallad källfördelning.

Detta kan ses i figur 5.10 där kadmiumbelastningen för jordbruksmark, skog och äng inte har förändrats i modellkörning (2) utan endast övriga klasser har en lägre kadmiumbelastning i den andra modellkörningen. Ljus stapel i figur 5.10 visar belastning i modellkörning (2) och mörk stapel hur mycket högre belastningen är i modellkörning (1).



Figur 5.10. Kadmiumbelastning i modellkörning (1) och (2). För de kategorier där endast modellkörning (2) kan ses är belastningen oförändrad från modellkörning (1).

6. DISKUSSION

Kadmium sprids i naturen genom människors användande av kadmiumhaltiga produkter. Bakgrundshalterna av kadmium i naturen är på vissa håll hög och i dessa områden är det av betydelse att ökad ackumulering undviks i möjligaste mån. All minskning av kadmiumutsläpp i sådana områden är naturligtvis positiv men många gånger kan det vara svårt att komma åt de stora föroreningskällorna. För kadmiumtillförseln till svensk jordbruksmark står atmosfärsdepositionen för det absolut största tillskottet (*Ejbed et al, 2005*). Närmare hälften av allt kadmium kommer från luftnedfall medan resten härstammar från gödningsmedel, kalk och utsäde. Det är således tydligt att en minskning av kadmiumutsläppet till luft blir avgörande ifall kadmiumbalansen mellan tillförsel och bortförsel från de svenska åkermarkerna ska balansera. En minskning av luftnedfallet skulle även minska de höga halterna i dagvatten i stadsmiljöer vilket i sin tur skulle minska riskerna för att kritiska nivåer för vattenlevande organismer överskrids. Att minska bakgrundsvärdena i jorden låter sig inte göras eftersom halterna beror på underliggande berggrunds kadmiuminnehåll, däremot kan en minskning av vidare markförsurning förhindra att kadmiumet sprids till vattnet (*Bignert och Olsson, 1999*). De kadmiumflöden som är möjliga att minska är de med antropogen härstamning. Alternativa färdsätt till fossilbränslefordon är en möjlighet. När det gäller energifrågan är en förändring från förbränning av olja till biobränsle nödvändigtvis inte bättre för kadmiumsituationen då även biobränslen bidrar till kadmiumutsläpp. Här kan man dock använda argument som används inom diskussionen kring global uppvärmning och koldioxidutsläpp att det kadmium som frigörs till atmosfären inte hämtas från djupliggande lager av kadmium utan att det härstammar från ett alldeles nyligen bioackumulerat kadmium. Gränsvärdena för kadmiumkoncentrationer har ifrågasatts (*mm⁷*) då dessa tycks vara för höga. Det är också av betydelse att de mätningar av kadmiumkoncentration som görs främst motsvarar koncentrationerna i normalflöden och inte vid de kraftiga flöden då koncentrationen är betydligt högre (*Larm, 2000*). När detta är fallet innebär det att de högsta koncentrationerna inte detekteras över huvudtaget och skador på vattenlevande organismer kan uppkomma trots att de kadmiumkoncentrationer som uppmätts ligger lägre än de som dokumenterat ger skador.

6.1 INDATA & METODIK

Metoden som använts har många likheter med dem som har använts av TRK, StormTac och Vägverket. Liksom för StormTac har ett verktyg utvecklats för att underlätta beräkningarna. Vägverket konsult har utarbetat en GIS-metod för att beräkna dagvattenbelastningar men det stannar vid att beskriva hur man utför de olika nödvändiga operationerna i GIS-miljön. Metoden att multiplicera avrinning med area och schablonhalt och addera punktkällor till detta är det vanligaste använda sättet vid regionala föroreningsberäkningar.

I arbetet med modeller är det nödvändigt att tänka på att en modell aldrig blir bättre än det indata som används. Det blir heller aldrig bättre än de antaganden och generaliseringar som görs. Valet eller tillgången till indata är därför avgörande för resultatet. Preferenserna vid modellanvändning vid beslutsstöd styrs ofta av tillgången till data som i sin tur styr vilka modeller som används. På grund av att vetenskapliga riktlinjer saknas förekommer ofta ad hoc-lösningar av kombinationer av modeller i denna typ av arbete. Dessa kan både vara för komplexa och för generella för ändamålet. Den ideala lösningen skulle vara att slutanvändaren sätter upp kriterier för resultatet och modell väljs eller skapas utifrån dessa premisser (*de Kok et al, 2004*).

6.1.1 Markanvändning

Former generaliseras och objekt tas bort för att detaljeringsgraden ska passa skalan som kartan produceras i. Detta gäller både Svensk Marktäckdatas kartskikt och de vägsnitt som har använts. Om alla vägar skulle ha kunnat räknas med hade kadmiumbelastningen blivit märkbart större, framförallt i delavrinningsområden med stor andel bebyggt område. Svensk Marktäckdata är dock mer detaljerad än exempelvis Översiktskartans markanvändning och innehåller fler klasser för urban markanvändning vilket har kunnat utnyttjas i detta arbete. Tillägget av vägar har varit en viktig anpassning av markanvändningsskiktet vilket har lett till ett säkrare källfördelningsresultat.

6.1.2 Avrinning

En av de generaliseringar som gjorts är att avrinningsbildningen är jämnt fördelad över hela delavrinningsområdet, vilket inte är fallet i verkligheten. Dels är avrinningen från olika marktyper inte lika stor och dels avgör avståndet till vattendraget hur mycket vatten som

kommer att rinna av från ett område och dels är nederbörden inte heller jämt fördelad över delavrinningsområdet vilket också påverkar avrinningsfördelningen.

En uppdelning av avrinnande vatten i ytvatten och basflöde hade möjligen varit bättre för modellen eftersom kadmiumkoncentrationen i dessa två flöden varierar mycket. Här kan även tilläggas att om man hade haft vetskap om ifrån vilka områden som dagvatten tas omhand hade resultatet blivit bättre, detta för att en viss del av dagvattnet leds till avloppsreningsverken och därför räknas de med där en gång redan. Som det ser ut nu riskerar tillförseln av kadmium från dagvatten att beräknas två gånger och överskattas eftersom vattnet har en lägre kadmiumkoncentration när det har behandlats i reningsverken.

För de huvudavrinningsområden som benämns kustområden (de som har två huvudavrinningsområdesnummer, som till exempel 89/90) uppstår ett fel i den aggregerade belastningen då samtliga delavrinningsområden anges ha samma utlopp, det vill säga endast ett slutligt delavrinningsområde. Så är fallet för de naturliga huvudavrinningsområdena, som bara har ett utlopp till kusten, men kustområden kan ha ett stort antal kustutlopp och därmed blir angivandet av ett enda kustutlopp felaktigt. Detta gör att koncentrationen som byggs på aggregerad belastning och flöde kan påverka områden som inte borde bli påverkade eftersom vattendragen i delavrinningsområdena egentligen aldrig kommer i kontakt med varandra. Ingen form av kontroll av detta har dock kunnat ske då inga kadmiumkoncentrationer registrerats från kustavrinningsområdena. Den totala kadmiumbelastningen i kg/år blir dock densamma.

6.1.3 Schablonhalter

Osäkerheten vid val av schablonhalter är stor. Enligt Vägverkets rapport står naturmarken för den största osäkerheten. StormTac och TRK säger att den största variationen hos schablonhalterna återfinns bland de urbana klasserna vilket beror på den stora skillnaden i koncentration mellan yt- och basflödet hos de urbana markklasserna.

För de schablonhalter som har använts finns tydliga skillnader i hur de har tagits fram. Kadmiumkoncentrationen i vatten från jordbruksmark räknas ut med en ekvation som bygger på områdets pH-halt i jorden. Sambandet grundas på mätningar gjorda i direkt

anslutning till jordbruksmark, så är inte fallet för skogsmark från vilken kadmiumkoncentrationerna varierade så mycket att inte ens koncentrationerna i bäckvatten ansågs vara tillräckligt tillförlitligt för att grunda schablonhalter. Istället ligger koncentrationen i skogssjöar till grund för schablonhalten (Ejhed *et al*, 2005). Detta innebär att avskiljning av kadmium till mark och sediment redan är inräknad i koncentrationen. Man anser dock att den direktdeposition av kadmium från nederbörd kompenserar för retentionen (Ejhed *et al*, 2005). Schablonhalterna för urban markanvändning från StormTac har tagits fram för att visa på koncentrationerna i ”stormflövs” det vill säga i de kraftigare flöden som följer på större nederbördsmängder eller så kallat ytvatten eller dagvatten. Dessa skillnader i hur schablonhalterna har kommit till gör att de inte visar på samma saker vilket är negativt för fördelningen av kadmiumbelastningen mellan olika markanvändningstyper och en felfördelning som i denna modell blir möjlig mellan skogsbyggd och jordbruksbyggd.

Den allmänrådande uppfattningen har länge varit att kadmiumkoncentrationen i avrinnande vatten är högre från skogsmark än jordbruksmark (Bergkvist, 2001; *mm*⁹). Detta har dock börjat ifrågasättas då tillförseln av kadmium till åkermark är mycket större (*mundligt Ejhed, IVL*). I Vägverkets schabloner är kadmium-belastningen från skogsmark större än från jordbruksmark men då deras enda komplett redovisade schabloner är angivna i gram per hektar har de inte kunnat tillämpas i en modell där mängden avrinnande vatten medräknas.

6.1.4 Punktkällor

Bland avloppsreningsverken kan man se att de avloppsreningsverk som ingått i studien endast täcker in en viss andel av det totala avloppsvattnet från industrier och hushåll i Skåne län. Vissa avloppsreningsverk blev bortsorterade eftersom de var för små för att ingå i modellen och för en hel del enskilda avlopp finns ingen tillgång till information om storlek eller avloppshantering. Eftersom ett hushålls eller industris avloppsvatten inte behöver släppas ut i samma delavrinningsområde eller ens samma huvudavrinningsområde som hushållet eller industrin ligger i ansågs det inte möjligt att göra ett schablonlägg till belastningen för de avlopp som saknas i beräkningarna. Då krävs att man vet exakt vilka hushåll som är kommunalt anslutna.

Vidare finns andra punktkällor som inte har inventerats i detta arbete, exempelvis avfallsdeponier, industrier, gruvor och biltvättar. En utökning av punktutsläppen hade genererat högre belastningar.

6.1.5 Retention

Om avståndet mellan en markanvändningspolygon och närmaste vattendrag hade tagits hänsyn till hade modellen stämt bättre med dagens kunskap om hur kadmium rör sig i naturen. Detta beror på att kadmiumet kan avskiljas från markvattnet under transporten mot vattendraget genom bindning till partiklar eller bioackumulering. Därtill hade någon form av retentionssiffror kunnat användas för de markanvändningsklasser som medför en sedimentering eller upplagring av kadmium som till exempel sjöar, våtmarker och vattendrag. Med retentionsberäkningar hade belastningen blivit lägre än den nuvarande upp till 5,5 gånger högre än totalbelastningen som är beräknad på uppmätta värden av SLU. Nedströms utsläppspunkter för reningsverk och uppsamlingsplatser från diken till större vägar är ofta våtmarker anlagda. Dessa samlar upp mycket föroreningar som inte transporteras vidare i vattendragen och denna effekt har inte heller tagits hänsyn till i modellen.

6.1.6 Temporal upplösning

En modell som tar med årsvariationer kan ge ett bättre resultat eftersom utlakning och retention varierar med bland annat temperatur och nederbörd (*Larm, 2000; Larm, 1994*) vilka har en säsongsvariation. Säsongdata för avrinning skulle denna kunna multipliceras med schablonhalter som är anpassade efter säsongen om sådana hade funnits att tillgå.

6.1.7 Kontrollvärden

Kontrollvärdena är vattenprover tagna en gång per månad i vattendragen. Eftersom SLU:s totalbelastning (se tabell 5.2) enbart bygger på uppmätta halter blir den för låg i och med att de högsta kadmiumkoncentrationerna uppmäts under höga flöden. Detta har diskuterats på SLU men man anser där att inget kan göras åt detta faktum då en oregelbunden flödesviktad mätning skulle vara dyrare och mer tidsödande att genomföra än den som bedrivs idag (*mundligt Karlsson, SLU*). När vattenkvalitetsdata mäts en gång i månaden eller mer sällan ger denna endast en ögonblicksbild av situationen i bäcken. Genom den dåliga temporal

upplösningen blir mätningarna mindre lämpliga för att kontrollera modeller (*Moore I. D, s. 205, GIS and Hydrologic Modeling i Goodchild, 1993*).

Även användbarheten i SGU:s kartbilder av inventeringarna av bäckvattenväxter och brunnsvattens kadmiumkoncentrationer kan diskuteras. Detta då interpoleringar har gjorts utifrån ett fåtal mätpunkter (detta gäller främst brunnsvatteninventeringen) utan att hänsyn har tagits till vattendelare och andra hydrologiska företeelser. Bilden av höga koncentrationer hade således kunnat sett annorlunda ut om dessa faktorer hade tagits hänsyn till i interpoleringen.

6.2 RESULTAT

6.2.1 Totalbelastning

De totalbelastningar som har skattats med KadmiumKalkylatorn ligger i storleksordningen mellan de skattade i TRK-projektet och de i flodmynningarna uppmätta belastningarna. Det är rimligt att KadmiumKalkylatorns belastningar är lägre än i TRK-projektet eftersom TRK inkluderar fler punktbelastningar och eftersom ingen hänsyn tas till retention i något av arbetena. Totalbelastningarna varierar mellan 1 – 4 gånger storleken på uppmätta belastningar om jämförelsen görs med modellkörning (2) och mellan 1,5 – 5,5 gånger så stora för modellkörning (1). Bäst stämmer totalbelastningen med mätvärdena/modellerade värdena för Höje å (se tabell 5.2). Det är svårt att avgöra hur stor totalbelastningen för Skåne faktiskt är. Med tanke på de brister i mätvärdena som tidigare nämnts är det troligare att totalbelastningen är större än den som beräknats med hjälp av de uppmätta koncentrationerna. Det är dessutom troligt att totalbelastningen är lägre än den som beräknats i TRK-projektet eftersom retentionen inte har medräknats där. Men var emellan dessa två totalbelastningar sanningen ligger är svår att avgöra utan att ha data för hur stor retentionen av kadmium är för olika områden/markanvändningstyper. Den modellkörning som gjordes med de högsta schablonhalterna från figur 2.4 genererade en totalbelastning för Skåne motsvarande 800 kg/år vilket är åtta gånger så stor som den av SLU uppskattade totalbelastningen. Att använda StormTacs schablonhalters maximumvärden för samtliga områden kan därigenom visas ge en alltför hög totalbelastning.

6.2.2 Koncentrationer

Kadmiumkoncentrationen i de skånska vattendragen har jämförts med uppmätta koncentrationer. De modellerade koncentrationerna varierar mellan 0,018 och 0,106 µg/l för modellkörning (1) och mellan 0,013 och 0,069 µg/l för modellkörning (2) i de delavrinningsområden som kontrollpunkterna ligger i medan de uppmätta koncentrationernas medelvärden ligger mellan 0,017 och 0,057 µg/l. Koncentrationerna är inte alltför höga med avseende på att ingen retention har tagits hänsyn till i modelleringarna och att höga koncentrationer sällan innefattas i mätningarna. Regressionen mellan modellkoncentrationer och uppmätta koncentrationer ger negativ korrelation. Det framgår i tabell 3.3 att de högsta koncentrationerna är vanligast i nordöstra delen av Skåne, det vill säga den del som har mest skogsmark medan lägre halter är vanligare i sydvästra Skåne där jordbruksmark dominerar. Eftersom schablonhalten för skogsmark är lägre än för jordbruksmark så blir det ett negativt samband. Man kan också se att i de jordbruksstäta områdena är andelen urban mark större vilket märkbart höjer belastningen och därmed även koncentrationerna. Det påvisade problemet med schablonhalten för skog som är lägre än jordbruksmarkens schablonhalt kan bero på att skogsmarkens schablonhalt är anpassad för ett större område än Skåne, nämligen stora delar av sydöstra Sverige, i vilka atmosfärsdepositionen är betydligt lägre än i Skåne. En anpassning av schablonhalten till de koncentrationer som har uppmätts i vattendrag i skånska skogsmarker hade troligtvis kunnat förändra det negativa sambandet mellan modellerade och uppmätta koncentrationer.

Att kadmiumkoncentrationerna från TRK tillämpats på rural mark trots osäkerheten i det relativa förhållandet mellan klassernas koncentrationer beror på att inga andra kompletta schablonhalter finns att tillgå. Att anta en egen koncentration för skogsmark övervägdes men genomfördes inte då det ansågs säkrare att använda en koncentration som bygger på mätningar och inte gissningar.

De modellerade kadmiumkoncentrationerna i vattendragen kan möjligen ge en föreställning om att användandet av modellen för att beräkna kadmiumkoncentrationer, samt användandet av uppmätta kadmiumkoncentrationer för validering inte är helt riskfritt. Variationerna i kadmiumkoncentrationer i vattendragen är så stora att förmågan att ange en, i och för sig genomsnittlig men ändå en, kadmiumkoncentration kan ge intryck av att

modellens resultat är bättre än vad det är. Som valideringen ser ut nu kan det vara mindre lämpligt att kadmiumkoncentrationerna används för analys av kadmiumsituationen eftersom koncentrationerna inte kan styrkas mot uppmätta data.

6.2.3 Källfördelning

Intresset för hur stort bidraget av kadmium är från olika markanvändningsklasser är stort. Det beror dels på att informationen ger en fingervisning om var de största åtgärderna bör vidtas men även i vilken miljö djur och natur är mest drabbad. Den källfördelning som tagits fram (figur 5.9) har många likheter med den som är framtagen i TRK-projektet (*Ejbed et al, 2005*) och som redovisas i figur 2.6 där jordbruksmarken står för den största enskilda kadmiumkällan och de urbana markklasserna är överrepresenterade i förhållande till sin areella utbredning. En skillnad mellan källfördelningarna är industriernas påverkan, vilken är större i TRK-projektet. Detta beror på att fler punktutsläpp har inventerats och medräknats. Sjöytor har också större andel av kadmiumbelastning i TRK-projektet vilket kan härledas till ett annat beräknings sätt. Det bör poängteras att källfördelningen är en produkt av de givna schablonhalterna och fel i dessa genererar fel i källfördelningen varför den senare aldrig kan vara närmre sanningen än schablonhalterna.

6.3 FRAMTIDA UTVECKLING OCH ANVÄNDNING AV KADMIUMKALKYLATORN

Schablonhalterna som använts i detta arbete är inte specifika för Skåne förutom de för vatten som bygger på halter i nederbörd vid mätstationen i Arup vilka användes i modellkörning (2). Tillgången till kontrollvärden för andra delar av landet är lika stor som för Skåne och därför skulle KadmiumKalkylatorn med lätthet kunna användas till kadmiummodellering för andra områden med samma indata som använts för denna skånska studie. På samma vis fungerar Vägverkets, StormTacs och TRK:s modeller för olika föroreningar och för olika områden.

I en framtida utveckling av KadmiumKalkylatorn kan fler uträkningar förläggas in i programmet så att det blir lättare att variera variabler som schablonhalter eller avrinning. På det sättet skulle man kunna ha indatatabeler för schablonhalterna (vilket gör att man skulle

kunna byta ämne utan att ändra i grundfilen) och avrinningsmängderna (för att kunna variera flödena eventuellt på årstidsbasis).

När man antar att ett markslag har en viss koncentration av ett ämne i avrinnande vatten så förenklar man de fysikaliska egenskaperna som styr utlakningen. Därmed kan inte dessa data användas för att avgöra vad som behöver förändras för att minska kadmiumbelastningen. Detta är dock ett faktum man får räkna med när man gör regionala modeller eftersom det inte är möjligt att få med alla inverkande processer och det är lika för samtliga regionala modeller som har beskrivits.

7. SLUTSATSER OCH UPPNÅDDA RESULTAT

Här följer en sammanfattning av de resultat och slutsatser som har tagits fram i arbetet. Numreringen hänvisar till de nummer som återfinns i syftet, kapitel 1, för möjligheten att jämföra frågeställningarna med slutsatserna.

1. En databas har skapats med de kartsikt som krävs för att genomföra en kadmiummodellering. De kartsikt som ingår är huvudavrinningsområden, delavrinningsområden, markanvändningspolygoner, avloppsreningsverk och mätpunkter.
2. Beräkningsverktyget KadmiumKalkylatorn har skapats vilket underlättar beräkningarna av kadmiumbelastningar och kadmiumkoncentrationer.
3. Den beräknade totalbelastningen för Skåne län ligger i storleksordning mellan de uppmätta mängderna och totalbelastningarna uträknade i TRK-projektet. Den beräknade totalbelastningen uppgår till mellan 196 och 292 kg kadmium per år. Intervallet för de modellerade kadmiumkoncentrationerna ligger bra i förhållande till de uppmätta kadmiumkoncentrationerna (0,018 - 0,106 µg/l för modellkörning 1 och 0,013 - 0,069 µg/l för modellkörning 2 att jämföra med mätvärdena 0,017 - 0,057 µg/l) men korrelationen är negativ mellan beräknade och uppmätta kadmiumkoncentrationer. Schablonhalter och mätdatas användbarhet kan ifrågasättas i och med den stora variationen och osäkerheten hos dessa. Schablonhalterna är framtagna på olika sätt vilket kan vara anledningen till den negativa korrelationen mellan modellerade och uppmätta värden. Problemet ligger således inte i metoden utan i schablonhalterna samt i mätdatas otillräcklighet för att utvärdera modellens skattningar.
4. I befintlig mätdata från SGU framträder ett område som sträcker sig från Österlen i ett bälte mot nordväst på grund av höga bakgrundhalter i den underliggande sandstenen. I de modellerade kartorna utmärks istället områden med stor andel urban markanvändning med höga koncentrationer vilket beror på den stora antropogena belastningen från denna typ av markanvändning. För de kadmiumkoncentrationer som finns i SLU:s vattendatabas återfinns de höga koncentrationerna i nordost och de låga koncentrationerna i sydost. En viss samstämmighet kan tydas mellan SGU:s och SLU:s undersökningar medan

- sambandet med de modellerade koncentrationerna är låga. Detta beror troligtvis på att schablonhalterna som används i modellen inte är korrelerade i förhållande till varandra. De områden som är mest utsatta är således både de områden som har hög bakgrundshalt och urbana områden till följd av antropogena utsläpp.
5. Trots att den urbana markanvändningen är mindre till ytan än den rurala bidrar den med en stor andel av den totala kadmiumbelastningen i miljön, detta för att utsläppen i dessa miljöer är mycket högre än i de rurala. Bebyggelse ("hus" i StormTac-klasserna) står för en betydande del i båda modellkörningarna (10% respektive 17%) vilket beror på att Skåne är relativt tätbefolkat och denna klass är utbredd och samtidigt har hög kadmiumkoncentration i avrinnande vatten. Den största enskilda bidragaren är ändå jordbruksmarken (28% respektive 42%).
 6. De högsta modellerade koncentrationerna i modellkörningarna ligger inom klassen "Måttligt hög halt" enligt Naturvårdsverkets indelning, där risk förekommer främst vid känsliga vatten. Dock bör det uppmärksammas att högre koncentrationer förekommer i naturen vid kraftiga flöden, vilket de urbana schablonhalterna tyder på.
-

8. REFERENSER

8.1 LITTERATURREFERENSER

Asp H (1999). *Vegetabilier största kadmiumkällan i kosten*. Fakta Trädgård. Nr 6 1999. Sveriges lantbruksuniversitet.

Backe C, Björn H, Holmqvist J och Andreasson F (2003a). *Kadmiumsituationen i Skåne, Delrapport 1: Exempel på kadmiumkällor och halter i den skånska miljön*. Skåne i utveckling 2003:46. Miljöenheten Länsstyrelsen i Skåne län.

Backe C, Björn H, Holmqvist J och Andreasson F (2003b). *Kadmiumsituationen i Skåne, Delrapport 2: Kadmium inom Höjeåns avrinningsområde –en substansflödesanalys*. Skåne i utveckling 2003:47. Miljöenheten Länsstyrelsen i Skåne län.

Bergkvist B (2001). *Changing of lead and cadmium pools of Swedish forest soils*. Water, Air, and Soil Pollution: Focus 1: 371-383. Kluwer Academic Publishers. Nederländerna.

Bignert A och Olsson M (1999). *Miljögifter –kadmium ökar trots minskad användning*. Året som gått, Östersjö '99. Naturhistoriska museet.

Eklund, L redaktör (1999). *Geografisk informationsbehandling –metoder och tillämpningar*. Byggeforskningsrådet, Stockholm, CentralTryckeriet, Borås.

Eriksson J, Andersson A och Andersson R (1997). *Tillståndet i svensk åkermark*. Rapport nr 4778. Naturvårdsverket.

Goodchild M F, Parks B O och Steyaert L T (1993). *Environmental Modeling with GIS*. Oxford University Press, USA..

Grip H och Rohde A (1988). *Vattnets väg från regn till bäck*. Hallgren och Fallgren. Uppsala.

Jagaric N och Jonsson G (2003). *Spridning av föroreningar via dagvatten –en metodbeskrivning för analys av ämnestransport i GIS-miljö*. Vägverket Konsult. Örebro.

Johnston K, Verhef J M, Krivoruchko K och Lucas N (2001). *Using ArcGIS Geostatistical Analyst –GIS by ESRI*. USA.

Kim S-G, Jee J-H och Kang J-C (2003). *Cadmium accumulation and elimination in tissues of juvenile olive flounder, Paralichthys olivaceus after sub-chronic cadmium exposure*. Environmental Pollution 127 (2004) 117-123. Elsevier Ltd. USA.

Knulst J C och Westling O (2002). *Deposition och avrinning av metaller, svavel och kväve vid Holmsvattnet nära Rönnskärsverken 1986-2001*. IVL Rapport B1480.

Kyi Y, Kobayashi E, Nogawa K, Okubo Y, Suwazono Y, Kido T och Nakagawa H (2000). *Renal effects of cadmium intake of Japanese general population in two areas unpolluted by cadmium*. Archives of Environmental Health, Mars/april.

Larm T (1994). *Dagvattnets sammansättning, recipientpåverkan och behandling*. Svenska vatten- och avloppsverksföreningen. Rapport nr 1994-06.

Larm T (2000). *Watershed-based design of stormwater treatment facilities: model development and applications*. Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm.

Lindgren Å redaktör (2001). *Dagvattenbelastning på sjöar och vattendrag i förhållande till andra föroreningskällor*. Publ 2001:114. Vägverket.

Lindström G, Johansson B, Persson M, Gardelin M och Bergström S (1997). *Development and test of the distributed HBV-96 hydrological model*. Journal of Hydrology 201(1997):272-288.

Matsuda K, Kobayashi E, Okubo Y, Suwazono Y, Kido T, Nishijo M, Nakagawa H och Nogawa K (2003). *Cadmium intake and mortality among residents in the Jinzu River Basin, Japan*. Archives of Environmental Health april 58(4):218-222.

Mouillot D, Titeux A, Migon C, Sandroni V, Frodello J och Viale D (2000). *Anthropogenic influences on a mediterranean Nature Reserve: modeling and forecasting*. Environmental Modeling and Assessment 5:185-192, 2000. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

Nishijo M, Satarug S, Honda R, Tsuritani I och Aoshima K (2004). *The gender differences in health effects of environmental cadmium exposure and potential mechanisms*. Molecular and Cellular Biochemistry 255:87-92, 2004. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

Nordberg G F (2004). *Cadmium and health in the 21st Century –historical remarks and trends for the future*. BioMetals 17: 485-489, 2004. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

Rodriguez-Maroto J M, Garcia-Delgado R A, Gomez-Lahoz C, Vereda-Alonso C, Garcia-Herruzo F och Perez-Munoz M P (2003). *Competitive retention of lead and cadmium on an agricultural soil*. Environmental Monitoring and Assessment 89:165-177. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.

Strobel B W, Bruun Hansen H C, Borggaard O K, Anderssen M K och Raulund-Rasmussen K (2001). *Cadmium and copper kinetics in relation to afforestation of cultivated soil*. Geochimica et Cosmochimica Acta. Vol 65, No 8, 1233-1242. Elsevier Science Ltd. USA

Svenska vatten- och avloppsföreningen (1976). *Anvisningar för beräkning av allmänna avloppsledning*. Publikation VAV P28 april 1976.

8.2 OPUBLICERADE REFERENSER

Ejhed H, Zakrisson J, Ryegård A, Liljeberg M, Westling O, Munthe J, Uggla E, Ulén B, Sonesten L, Karlsson B och Wikström H (2005). *Uppskattning av utsläpp för Cd, Hg, Cu och Zn på TRK-områden*.

8.3 INTERNETREFERENSER

ALcontrol Laboratories. *Skräbeån 2002. En kortversion av årsrapporten 2002 med långtidsutvärdering*. Skräbeåns vattenvårdskommitté. (Besökt 2005-01-13)

¹http://www.k.lst.se/version1/miljo/miljoovo/pdf/Skrabean_2002_kortversion.pdf

de Kok J L, van der Wal K U, Booij M J (2004). Appropriate Accuracy of Models for Decision-Support Systems: Case Example for the Elbe River Basin. The International Environmental Modelling and Software Society. (Besökt 2005-03-23)

²<http://www.iemss.org/iemss2004/pdf/catchmod/de%20kappr.pdf>

Ekologgruppen i Landskrona AB. *Höje å recipientkontroll 2003*. Landskrona 2004. (Besökt 2005-01-13)

³<http://www.hojea.lund.se/pdf/arsrap-03.pdf>

HELCOM, Helsinki Commission; Baltic Marine Environment Protection Commission, (2002) *Guidance Document on Cadmium and its Compounds*. (Besökt 2005-01-14)

⁴<http://www.helcom.fi/land/Hazardous/cadmium.pdf>

IVL. Nederbörds kemi. (Besökt 2005-03-01)

⁵<http://www.ivl.se/miljo/db/>

Kemikalieinspektionen. Begränsningsdatabasen. (Besökt 2004-11-19)

⁶<http://www.kemi.se>

Livsmedelsverket. Mat och hälsa. (Besökt 2004-05-25)

⁷<http://www.slv.se>

Länsstyrelsen i Skåne län. GIS-data för eget bruk (Besökt 2005-02-24)

⁸<http://www.m.lst.se/ims/website/extract>

Naturvårdsverket. (Besökt 2005-02-24)

⁹<http://www.naturvardsverket.se>

SGU. *Kadmium i Skåne*. (Besökt 2005-01-20)

¹⁰http://www.sgu.se/kartpubl/infoblad/geokemi/kadmium_skane.pdf

SLU. Institutionen för miljöanalys databank. (Besökt 2004-12-15)

¹¹<http://info1.ma.slu.se/db.html>

SMHI. HBV-modellen. (2005-01-14)

¹²<http://www.smhi.se>

StormTac. An easy-to-use stormwater and recipient model. (Besökt 2005-02-25)

¹³<http://www.stormtac.com>

TRK. Transport, retention, källfördelning. (Besökt 2005-02-25)

¹⁴<http://www-nrciws.slu.se/TRK>

8.4 MUNTliga REFERENSER

Andersson Kerstin, Vägverket Kristianstad 2004-09-08
Brandt Maja, SMHI Norrköping 2004-12-15
Ejhed Helene, IVL Stockholm 2004-11-25
Karlsson Bert, SLU Uppsala 2005-01-26
Larm Tomas, SWECO VIAK, Stockholm 2005-01-19
Lindgren Åsa, Vägverket Borlänge 2004-06-02
Tynell Daniel, Vägverket Borlänge 2004-06-02
Westling Olle, IVL Göteborg, 2004-05-06
Widell Anders, NV Stockholm 2004-04-05

Bjuvs kommun, Jan-Åke Svensson 2004-05-11
Bromölla kommun, Anders Jonsson 2004-05-10
Burlövs kommun, Henrik Berg 2004-05-06
Båstad kommun, Jonas Håkansson 2004-05-11
Eslövs kommun, Katarina Hansson 2004-05-10
Helsingborgs kommun, Åsa Pettz 2004-04-29
Hässleholms kommun, Henrik Brink 2004-05-11
Höganäs, Christer Klang 2004-05-11
Hörby kommun, Dilip Roy 2004-05-13
Hörs kommun, Lars Sparrhult 2004-05-06
Klippans kommun, Wanja Karlsson 2004-05-11
Kristianstad kommun, Charlotta Persson 2004-05-10
Kävlinge kommun, Nejmina Sajmovic 2004-05-10
Landskrona kommun, Jan E Pettersson 2004-05-04
Lomma kommun, Peter Johansson och Conny Bäck 2004-05-04/10
Lunds kommun, Krister Jonasson 2004-05-04
Malmö kommun, Anna-Kerstin Lumberg och Susanne Flygare 2004-05-10
Osby kommun, Stig-Åke Johansson 2004-05-17
Perstorps kommun, Tomas Persson 2004-05-04
Simrishamns kommun, Linda Nilsson 2004-05-14
Sjöbo kommun, Ingemar Olsson 2004-05-10
Skurups kommun, 2004-05-10
Staffanstorps kommun, 2004-05-10
Svalövs kommun, Mats Ljung 2004-05-11
Svedala kommun, Birger Sandell 2004-05-10
Tomelilla kommun, B Stålhammar 2004-05-10
Trelleborgs kommun, Stig Hansson 2004-05-17
Vellinge kommun, 2004-05-10
Ystad kommun, Jonny Stålhammar 2004-05-10
Åstorps kommun, Krister Stål 2004-05-10
Ängelholms kommun, Leif Persson 2004-05-10
Örkelljunga kommun, Krister Jonsson 2004-05-13
Östra Göinge, Gösta Jonsson 2004-05-10

Bilaga 1. Klassindelning av markanvändningsklasser från svensk marktäckedata till de klasser som representerar en kadmiumkoncentration i StormTac-modellen.

<i>Storm Tac</i>	<i>Svensk marktäckedata</i>
Fritidsbebyggelse	Campingplats och fritidsbebyggelse
Golfbana	Golfbana
Hus	Idrottsanläggning, skjutbana, motorbana samt hästportanläggning och hundkapplöpningsbana Landortsbebyggelse med tomtmark av öppen karaktär Orter med mindre än 200 invånare Orter med mindre än 200 invånare och med större områden av trädgårdar och grönområden
Industri	Deponier Flygplats Industri, handelsenheter, offentlig service och militära förläggningar
Jordbruk	Åkermark
Lägenheter	Tät stadstruktur
Park	Busksnår Ej urban park Frukt- och bärodling Urbana grönområden
Radhus	Orter med mindre än 200 invånare och mindre områden av trädgårdar och grönområden
Skog	Barrskog ej på lavmark > 15 meter Barrskog ej på lavmark 5-15 meter Barrskog på berg-i-dagen Barrskog på myr Blandskog på berg-i-dagen Blandskog på myr Blandskog, ej på myr eller berg-i-dagen Hygge Lövskog på berg-i-dagen Lövskog på myr Lövskog, ej på myr eller berg-i-dagen Ungskog
Vatten	Estuarier Kusthav och oceaner, vegetationstäckyta Kusthav och oceaner, öppen yta Kustlagun Sjöar och dammar, vegetationstäckt yta Sjöar och dammar, öppen yta Vattendrag
Våtmark	Blöt myr Limnogena våtmarker Saltpåverkade våtmarker Torvtäkt Ovrig myr
Väg	Byggplatser Väg- och järnvägsnät med kringområden Vägar
Äng	Betesmarker Flygfält (gräs) Hedmark (utom gräshed) Naturlig gräsmark
Övrig rural	Berg i dagen och blockmark Grus- och sandtag Stränder, sanddyner och sandslätter Ovriga mineralextraktionsplatser
Övrig urban	Hamnområden

Bilaga 2. Avrinningsmängder från HBV-modellen (TRK) och egen uträkning av de olika områdenas andel av huvudavrinningsområdets area.

Huvud- avrinnings- område	TRK-id	Namn	Avrinning (l/s*km ²)	Andel av HARO-area
87	87-001	Skräbeån	8,4	0,41
87	87-002	Skräbeån	9,1	0,11
87	87-003	Skräbeån	9,1	0,50
88	88-004	Helge å	12,0	0,11
88	88-005	Helge å	10,3	0,18
88	88-006	Helge å	13,3	0,07
88	88-007	Helge å	10,7	0,22
88	88-008	Helge å	10,0	0,08
88	88-009	Helge å	8,5	0,06
88	88-010	Helge å	7,7	0,16
88	88-011	Helge å	10,6	0,12
89	89-001	Nybroån	10,2	0,21
89	89-002	Nybroån	9,7	0,79
90	90-001	Sege å	8,9	0,30
90	90-002	Sege å	9,0	0,10
90	90-003	Sege å	8,9	0,60
91	91-001	Höje å	9,1	0,50
91	91-002	Höje å	8,8	0,25
91	91-003	Höje å	8,4	0,25
92	92-001	Kävlingeån	12,2	0,22
92	92-002	Kävlingeån	12,2	0,16
92	92-003	Kävlingeån	9,6	0,16
92	92-004	Kävlingeån	11,9	0,11
92	92-005	Kävlingeån	9,9	0,35
93	93-001	Saxån	9,8	0,41
93	93-002	Saxån	10,0	0,59
94	94-001	Råån	9,2	1
95	95-001	Vege å	11,7	0,24
95	95-002	Vege å	9,3	0,80
96	96-001	Rönne å	13,6	0,08
96	96-002	Rönne å	10,6	0,13
96	96-003	Rönne å	12,2	0,29
96	96-004	Rönne å	13,7	0,13
96	96-005	Rönne å	14,7	0,10
96	96-006	Rönne å	14,8	0,14
96	96-007	Rönne å	12,5	0,13
97	97-001	Stenån	22,2	0,66
97	97-002	Stenån	14,7	0,30
98	98-019	Lagan	14,0	0,63
98	98-020	Lagan	14,0	0,37
86/87		Kustområde	6,3	1
87/88		Kustområde	6,3	1
88/89		Kustområde	8,8	1
89/90		Kustområde	9,7	1
90/91		Kustområde	7,6	1
91/92		Kustområde	7,6	1
92/93		Kustområde	7,6	1
93/94		Kustområde	7,6	1
94/95		Kustområde	7,6	1
95/96		Kustområde	7,6	1
96/97		Kustområde	19,5	1
97/98		Kustområde	19,5	1

Bilaga 3. Sammanställning över reningsverk i Skåne län.

I kolumnen "Data hämtad från" anges årtal i de fall då data kommer från årsmiljörapporter eller * då data är ett medelvärde för flera år eller det inte har framgått vilket år data är hämtad.

Namn	Kommun	Delavrinnings- område	Renings- typ	Flöde (m3/år)	Belastning (g/år)	Data hämtad från
Torekovs avloppsreningsverk	Båstad	96097:4	3	1700000	117	*
Ekebro avloppsreningsverk (Bjuv)	Bjuv	95:3	3	1341000	146	2002
Ekeby avloppsreningsverk (Skromberga)	Bjuv	95-3:1	2	350000	45	2002
Bromölla avloppsreningsverk	Bromölla	87:1	2	620000	196	*
Näsum avloppsreningsverk	Bromölla	87:5	2	128000	87	*
Billinge avloppsreningsverk	Eslöv	96:13	2	127000	91	2003
Ellinge Avloppsreningsverk	Eslöv	92-1:2	0	3700000	105	2003
Flyinge avloppsreningsverk	Eslöv	92:5	2	144000	49	2003
Hurva avloppsreningsverk	Eslöv	92-1:4	1	46000	65	2003
Löberöd avloppsreningsverk	Eslöv	92:5	2	150000	45	2003
Örtofta avloppsreningsverk	Eslöv	92:4	2	69000	66	2003
Stehag avloppsreningsverk	Eslöv	96:15	2	305000	332	2003
Stockamöllan avloppsreningsverk	Eslöv	96:14	2	47000	162	2003
Hässleholms avloppsreningsverk	Hässleholm	88-7:7	3	4366000	94	2003
Håstveda avloppsreningsverk	Hässleholm	88-7:2:1	2	153000	274	2003
Sösdala avloppsreningsverk	Hässleholm	88-7:8	2	407000	391	2003
Vinslövs avloppsreningsverk	Hässleholm	88-5:1:1	2	2363000	476	2003
Vittsjö avloppsreningsverk	Hässleholm	88-13:2	3	200000	48	2003
Öresundsverket, AVR	Helsingborg	94095:1	3	21190000	34	2003
Höganäs avloppsreningsverk	Höganäs	94095:1	3	3196000	116	2003
Ormanäs avloppsreningsverk	Hörby	96:17	3	1010000	111	*
Lyby reningsverk	Hörby	96:19	3	688000	3064	2003
Kävlinge Avloppsreningsverk	Kävlinge	92:2	3	2107000	456	2003
Klippans avloppsreningsverk	Klippan	96-4:3	2	1825000	62	*
Ljungbyheds avloppsreningsverk	Klippan	96:9	2	183000	782	*
Arkelstorp avloppsreningsverk	Kristianstad	87-2:1	2	77000	170	2003
Centrala Avloppsreningsverket i Kristianstad	Kristianstad	88:6	3	6856000	78	2003
Degerberga avloppsreningsverk	Kristianstad	88089-1:1	2	85000	78	2003
Gårds Köpinge avloppsreningsverk	Kristianstad	88-3:1	2	75000	297	2003
Tollarp avloppsreningsverk	Kristianstad	88-3:4	3	295000	1382	2003
Vittskövle avloppsreningsverk	Kristianstad	88-1:2	2	41000	185	2003
Lundåkravet	Landskrona	93094:1	3	4550000	326	2003
Borgeby avloppsreningsverk	Lomma	92:1	3	750000	39	2003
Dalby avloppsreningsverk	Lund	91-3:1	3	950000	248	*

Fe Revingeled - enskilt avlopp	Lund	92-3:2	2	177000	447	*
Genarps avloppsreningsverk	Lund	91:5	2	300000	19	*
Källby avloppsreningsverk	Lund	91:4	3	12000000	86	*
S. Sandby Avloppsreningsverk	Lund	92-2:1	2	650000	495	*
Veberöds avloppsreningsverk	Lund	92-5:1	2	300000	238	*
Klagsharnns avloppsreningsverk	Malmö	89090:12	3	7000000	285	2003
Sjölunda Avloppsreningsverk	Malmö	89090:12	3	47000000	40	2003
Lönsboda avloppsreningsverk	Osby	87:17	2	360000	13	*
Osby avloppsreningsverk	Osby	88:21	2	1050000	46	*
Perstorps avloppsreningsverk	Perstorp	96-4-2:1	2	1500000	20	*
Kiviks avloppsreningsverk	Simrishamn	88089:6	2	329000	11	2003
Sankt Olofs avloppsreningsverk	Simrishamn	88089-7:1	2	113000	22	2003
Simrisharnns avloppsreningsverk	Simrishamn	88089:9	2	1897000	18	2003
Bjertarps avloppsreningsverk	Sjöbo	92-5:3	1	57000	6	2003
Lövestads avloppsreningsverk	Sjöbo	92-6:1	1	64000	33	2003
Staffanstorps Reningsverk	Staffanstorp	91:4	3	1300000	33	*
Kågeröds avloppsreningsverk	Svalöv	95:6	2	257000	38	2003
Röstånga avloppsreningsverk	Svalöv	96-8:1	2	76000	9	2003
Svalövs avloppsreningsverk	Svalöv	93-1-1:1	2	516000	39	2003
Tågarps avloppsreningsverk	Svalöv	94:5	2	163000	80	2003
Svedala avloppsreningsverk	Svedala	90:4	3	1000000	12	*
Brösarps avloppsreningsverk	Tomelilla	88089-3:1	2	66000	18	2003
Rosendals avloppsreningsverk (Tomelilla)	Tomelilla	89-2-1:1	2	1272000	208	2003
Skåne-Tranås avloppsreningsverk	Tomelilla	92-6:1	2	23000	43	2003
Srnygehamns avloppsreningsverk	Trelleborg	89090-5:1	3	600000	20	*
Trelleborgs avloppsreningsverk	Trelleborg	89090:9	3	3800000	26	*
Ystads avloppsreningsverk	Ystad	89090:1	3	5000000	29	*
Kvidinge avloppsreningsverk	Åstorp	96:5	2	131000	67	*
Nyvängsverket AVR (Åstorp)	Åstorp	95-2:1	3	1783000	85	*
Ångelholms avloppsreningsverk	Ångelholm	96:2	3	3650000	135	*
Örkelljunga avloppsreningsverk	Örkelljunga	96-3:3	2	751000	106	*
Skånes Fagerhults avloppsreningsverk	Örkelljunga	98-8-1:3	2	100000	617	*
Broby avloppsreningsverk	Östra Göinge	88:16	2	447000	13	2003
Krikslinge avloppsreningsverk	Östra Göinge	88:13	2	560000	11	2003
Sibbhult avloppsreningsverk	Östra Göinge	88-6:4	2	171000	20	2003

Bilaga 4. Programkod KadmiumKalkylatorn.

VERSION 5.00

```
Private Type AggResult
    AggBelastning As Double
    AggFlöde As Double
End Type
```

```
Private Sub AddNedaro_Click()
    LäggTillNedaro
    Ordningstilldelning
End Sub
```

```
Private Sub cmdAggBelastning_Click()
    BeräknaAggregeradeVärden
End Sub
```

```
Private Sub cmdDelbelastningar_Click()
    BeräknaDelbelastningar
End Sub
```

```
'-----
'   Denna Sub summerar kadmiumbelastningarna för delavrinningsområdena
'   i det aktuella huvudavrinningsområdet samt lägger till eventuella
'   reningsverks belastningar. Värdena skrivs sedan in i utlopps-
'   tabellen som är attributtabeln till SMHI:s delavrinningsområden.
'-----
```

```
Private Sub BeräknaDelbelastningar()

    Dim Anslutning As ADODB.Connection
    Dim UtloppPoster As ADODB.Recordset
    Dim BelastningPoster As ADODB.Recordset
    Dim ReningsverkPoster As ADODB.Recordset

    Set Anslutning = New ADODB.Connection
    Set UtloppPoster = New ADODB.Recordset
    Set BelastningPoster = New ADODB.Recordset
    Set ReningsverkPoster = New ADODB.Recordset

    Anslutning.Provider = "Microsoft.Jet.OLEDB.4.0"

    Dim Sql As String
    Dim Summa As Double
    Dim ReningsverkBelastning As Double
    Dim ReningsverkFlöde As Double

    'Skriver in 0 i kolumnen Delbelastning i utloppstabellen för de
    poster som ingår i huvudavrinningsområdet
    Anslutning.Open txtDatabas.Text
    Sql = "UPDATE utlopp SET Delbelastn=0 WHERE HARO = " &
txtTabell.Text
    Anslutning.Execute Sql
    Anslutning.Close
```

```

    'Väljer ut de poster (delavrinningsområden) från utloppstabellen
    som ingår i huvudavrinningsområdet
    Anslutning.Open txtDatabas.Text
    Sql = "SELECT UTX, UTY, INX, INY, Delbelastn, BIFLODARDN FROM
    utlopp WHERE HARO = " & txtTabell.Text & " ORDER BY ID"
    UtloppPoster.Open Sql, Anslutning, adOpenDynamic, adLockOptimistic

    'Går igenom utloppstabellen
    While Not UtloppPoster.EOF
        Summa = 0
        'Hämtar alla polygoner som ligger i delavrinningsområdet
        (BIFLODARDN)
        Sql = "SELECT BELASTNING FROM " & txtTabell.Text & " WHERE
        BIFLODARDN = '" & UtloppPoster("BIFLODARDN") & "'"
        BelastningPoster.Open Sql, Anslutning, adOpenForwardOnly,
        adLockReadOnly

        'Summerar polygonernas belastningar
        While Not BelastningPoster.EOF
            Summa = Summa + BelastningPoster("BELASTNING")
            BelastningPoster.MoveNext
        Wend
        BelastningPoster.Close
        'Lägger till eventuella reningsverk
        Sql = "SELECT BIFLODARDN, FLÖDE, KONC, MÄNGD FROM ARV
        WHERE BIFLODARDN = '" & UtloppPoster("BIFLODARDN") & "'"
        ReningsverkPoster.Open Sql, Anslutning,
        adOpenForwardOnly, adLockReadOnly

        While Not ReningsverkPoster.EOF
            Summa = Summa + ReningsverkPoster("MÄNGD")
            ReningsverkPoster.MoveNext
        Wend

        'Uppdaterar utloppstabellen
        UtloppPoster("Delbelastn") = Summa
        UtloppPoster.Update

        'gå till nästa rad i utloppstabellen
        UtloppPoster.MoveNext
        ReningsverkPoster.Close
    Wend
End Sub

```

```

'-----
'   Suben väljer ut samtliga delavrinningsområden i aktuellt
'   huvudavrinningsområde och för samtliga delavrinningsområden kör
'   funktionen som genom ett nätverk av in- och utpunkter för
'   delavrinnings områdena summerar den aggregerade belastningen
'   som passerar ett område.
'-----

```

```

Private Sub BeräknaAggregeradeVärden()
    Dim Anslutning As ADODB.Connection
    Dim UtloppPoster As ADODB.Recordset

    Set Anslutning = New ADODB.Connection
    Set UtloppPoster = New ADODB.Recordset

    Anslutning.Provider = "Microsoft.Jet.OLEDB.4.0"

    Dim Sql As String
    Dim Summa As Double
    Dim AggResultat As AggResult

    'Nollställning av resultatkolonner endast för aktuella poster
    (de som ligger i huvudavrinningsområdet/HARO)
    Sql = "UPDATE utlopp SET Aggbelastn=0 WHERE HARO = " &
txtTabell.Text
    Anslutning.Open txtDatabas.Text
    Anslutning.Execute Sql
    Anslutning.Close

    Sql = "UPDATE utlopp SET AggFlöde=0 WHERE HARO = " & txtTabell.Text
    Anslutning.Open txtDatabas.Text
    Anslutning.Execute Sql
    Anslutning.Close

    'Väljer ut de poster (delavrinningsområden/BIFLODARDN) som ingår i
    huvudavrinningsområdet från utloppstabellen
    Anslutning.Open txtDatabas.Text
    Sql = "SELECT INX, INY, UTX, UTY, AggBelastn, AggFlöde, Konc, HARO
    FROM utlopp WHERE HARO=" & txtTabell.Text & " ORDER BY ID"
    UtloppPoster.Open Sql, Anslutning, adOpenDynamic, adLockOptimistic

    'Går igenom utloppstabellen
    While Not UtloppPoster.EOF
        'If UtloppPoster("Aggbelastn") = 0 Then
            'Nollställer resultatkolonnen i utloppstabellen
            AggResultat.AggBelastning = 0
            AggResultat.AggFlöde = 0
            'Anropar funktionen som räknar ut belastning och flöde,
            skickar med in- och utkoordinater
            'för delavrinningsområdet som beräkningen ska gälla
            AggResultat =
            BeräknaÖverordnadBelastning(UtloppPoster("INX"), UtloppPoster("INY"),
            UtloppPoster("UTX"), UtloppPoster("UTY"), Anslutning)
            If AggResultat.AggBelastning > 0 Then
                'Skriver in resultatet i utloppstabellen i databasen
                UtloppPoster("AggBelastn") = AggResultat.AggBelastning
                UtloppPoster("AggFlöde") = AggResultat.AggFlöde
            End If
        End If
    End While

```

```

        UtloppPoster("Konc") = (AggResultat.AggBelastning /
AggResultat.AggFlöde)
        UtloppPoster.Update
    End If

```

```

        'gå till nästa rad i utloppstabellen
        UtloppPoster.MoveNext
    Wend
End Sub

```

```

'-----
'   Denna funktion räknar ut kamdiumbelastning och vattenflöde för det
'   delavrinningsområde vars in- och utlopp är medskickade.
'   Funktionen börjar med att summera belastning och flöde för
'   aktuellt delavrinningsområde, därefter lägger den till eventuella
'   reningsverks belastningar och flöden. När detta är gjort söker den
'   efter överordnade delavrinningsområden och om det finns så kör den
'   funktionen rekursivt för det området/områdena.
'-----

```

```

Private Function BeräknaÖverordnadBelastning(inX As Long, inY As Long,
utX As Long, utY As Long, Anslutning As ADODB.Connection) As AggResult

```

```

    Dim BelastningPoster As ADODB.Recordset
    Dim UtloppPoster As ADODB.Recordset
    Dim UnikaUtloppPoster As ADODB.Recordset
    Dim ReningsverkPoster As ADODB.Recordset

```

```

    Set BelastningPoster = New ADODB.Recordset
    Set UtloppPoster = New ADODB.Recordset
    Set UnikaUtloppPoster = New ADODB.Recordset
    Set ReningsverkPoster = New ADODB.Recordset

```

```

    Dim TotalBelastning As Double
    Dim TotalFlöde As Double
    Dim ReningsverkBelastning As Double
    Dim ReningsverkFlöde As Double
    Dim AggResultat As AggResult
    Dim AggResultat2 As AggResult
    Dim Delaro As String

```

```

    TotalBelastning = 0
    TotalFlöde = 0

```

```

    'Hämtar alla polygoner som har dessa koordinater för in- och utlopp
    Sql = "SELECT INX, INY, BELASTNING, AVR, BIFLODARDN FROM " &
txtTabell.Text & " WHERE UTX = " & utX & " AND UTY = " & utY & " AND
INX=" & inX & " AND INY=" & inY

```

```

    BelastningPoster.Open Sql, Anslutning, adOpenForwardOnly,
adLockReadOnly

```

```

    'Hämtar unika delavrinningsområden som har det medskickade
'delavrinningsområdets utlopp som inlopp

```

```

    Sql = "SELECT DISTINCT INX, INY, UTX, UTY, AggBelastn, AggFlöde
FROM utlopp WHERE UTX = " & inX & " AND UTY = " & inY & " AND HARO = "
& txtTabell.Text

```

```

    UnikaUtloppPoster.Open Sql, Anslutning, adOpenDynamic,
adLockOptimistic

```

```

    'för varje polygon, summera belastningen för det första
delavrinningsområdet
    While Not BelastningPoster.EOF
        TotalBelastning = TotalBelastning +
BelastningPoster("BELASTNING")
        TotalFlöde = TotalFlöde + BelastningPoster("AVR")
        Delaro = BelastningPoster("BIFLODARDN")
        BelastningPoster.MoveNext
    Wend
    BelastningPoster.Close

    'för detta delavrinningsområde, lägg till eventuella reningsverk
        ReningsverkBelastning = 0
        ReningsverkFlöde = 0
        Sql = "SELECT BIFLODARDN, FLÖDE, MÄNGD FROM ARV WHERE
BIFLODARDN = '" & Delaro & "'"
        ReningsverkPoster.Open Sql, Anslutning, adOpenForwardOnly,
adLockReadOnly
        While Not ReningsverkPoster.EOF
            ReningsverkBelastning = ReningsverkBelastning +
ReningsverkPoster("MÄNGD")
            ReningsverkFlöde = ReningsverkFlöde +
ReningsverkPoster("FLÖDE")
            ReningsverkPoster.MoveNext
        Wend
        ReningsverkPoster.Close
        TotalBelastning = TotalBelastning + ReningsverkBelastning
        TotalFlöde = TotalFlöde + ReningsverkFlöde

        'Beräkna belastningen för polygonens inpunkt, om den inte
redan är beräknad
        'lägg till denna till totalbelastningen
        While Not UnikaUtloppPoster.EOF
            If UnikaUtloppPoster("AggBelastn") = 0 Then
                'Returnerar det överordnade delavrinningsområdets
belastning
                AggResultat =
BeräknaÖverordnadBelastning(UnikaUtloppPoster("INX"),
UnikaUtloppPoster("INY"), UnikaUtloppPoster("UTX"),
UnikaUtloppPoster("UTY"), Anslutning)
                TotalBelastning = TotalBelastning +
AggResultat.AggBelastning
                TotalFlöde = TotalFlöde + AggResultat.AggFlöde
            Else
                TotalBelastning = TotalBelastning +
UnikaUtloppPoster("AggBelastn")
                TotalFlöde = TotalFlöde + UnikaUtloppPoster("AggFlöde")
            End If
            'Lägger belastningen från aktuellt och eventuella
överordnade
            'delavrinningsområdets belastningar till variabeln som ska
returneras med funktionen
            AggResultat2.AggBelastning = TotalBelastning
            AggResultat2.AggFlöde = TotalFlöde
            UnikaUtloppPoster.MoveNext
        Wend

```

```

UnikaUtloppPoster.Close
AggResultat2.AggBelastning = TotalBelastning
AggResultat2.AggFlöde = TotalFlöde
'Returnerar totalbelastningen
BeräknaÖverordnadBelastning = AggResultat2

```

```
End Function
```

```

'-----
'   Denna sub letar reda på till vilket delavrinningsområde aktuellt
'   delavrinningsområdes avrinning går. För varje delavrinningsområde
'   söks underordnat delavrinningsområde ut och dettas nummer läggs in
'   som Nedaro. Om delavrinningsområdet saknar underordnat
'   delavrinningsområde är det ett kust-/slututlopp och då tilldelas
'   det Nedaro som är samma huvudavrinningsområde och efter kolon
'   nummer noll (HARO:0).
'-----

```

```
Private Sub LäggTillNedaro()
```

```

    Dim Anslutning As ADODB.Connection
    Dim UtloppsPoster As ADODB.Recordset
    Dim NedaroPoster As ADODB.Recordset

```

```

    Set Anslutning = New ADODB.Connection
    Set UtloppsPoster = New ADODB.Recordset
    Set NedaroPoster = New ADODB.Recordset

```

```
    Anslutning.Provider = "Microsoft.Jet.OLEDB.4.0"
```

```
    Dim Sql As String
```

```

' Uppdatera Till-kolumnen med nollor i samtliga rader
    Sql = "UPDATE utlopp SET Nedaro=0 "
    Anslutning.Open txtDatabas.Text
    Anslutning.Execute Sql
    Anslutning.Close

```

```
    Anslutning.Open txtDatabas.Text
```

```

' Skapa ett recordset med samtliga utloppsposter
    Sql = "SELECT INX, INY, UTX, UTY, HARO, BIFLODARDN, NEDARO FROM
utlopp"
    UtloppsPoster.Open Sql, Anslutning, adOpenDynamic, adLockOptimistic

```

```

' Gå igenom samtliga delavrinningsområden
While Not UtloppsPoster.EOF

```

```

    'If UtloppsPoster("UTX") <> Null And UtloppsPoster("UTY") <> Null
And UtloppsPoster("HARO") <> Null Then

```

```

    ' Skapa ett recordset med de utloppsposter som har aktuellt
delaro:s utlopp som inlopp

```

```

    Sql = "SELECT BIFLODARDN FROM utlopp WHERE INX = " &
UtloppsPoster("UTX") & " AND INY = " & UtloppsPoster("UTY") & " AND
HARO = " & UtloppsPoster("HARO")

```

```

    NedaroPoster.Open Sql, Anslutning, adOpenDynamic,
adLockOptimistic

```



```

        ' Om det finns ett delaro nedströms, ska dettas Biflodardn
tilldelas UtloppsPostens Till-kolumn
        While Not NedaroPoster.EOF
            UtloppsPoster("NEDARO") = NedaroPoster("BIFLODARDN")
            NedaroPoster.MoveNext
            UtloppsPoster.Update
        Wend
        NedaroPoster.Close

        ' Om det inte finns något delaro nedströms, ska ett nytt "kust-
nedaro" tilldelas
        If UtloppsPoster("NEDARO") = 0 Then
            UtloppsPoster("NEDARO") = UtloppsPoster("HARO") & ":0"
            UtloppsPoster.Update
        End If

        'End If
        UtloppsPoster.MoveNext

Wend

UtloppsPoster.Close
End Sub

```

```

'-----
'   De två kommande sub:arna tilldelar samtliga delavrinningsområden
'   ett ordningsnummer utifrån hur långt från kustutloppet det ligger.
'   Den börjar med att söka ut samtliga kust-/slututlopp och tilldelar
'   dem Ordning 1. De delavrinningsområde som har detta som
'   underordnat område får tidigare delavrinningsområdes Ordning plus
'   1. Samtliga överordnade delavrinningsområden söks upp genom
'   den påföljande rekursiva funktionen ÖverordnadeOrdningsnummer.
'-----

```

```

Private Sub Ordningstilldelning()

    Dim Anslutning As ADODB.Connection
    Dim KustDelaroPoster As ADODB.Recordset

    Set Anslutning = New ADODB.Connection
    Set KustDelaroPoster = New ADODB.Recordset

    Anslutning.Provider = "Microsoft.Jet.OLEDB.4.0"

    Dim Sql As String

    ' Uppdatera Ordning-kolumnen med nollor i samtliga rader
    Sql = "UPDATE utlopp SET Ordning=0 "
    Anslutning.Open txtDatabas.Text
    Anslutning.Execute Sql
    Anslutning.Close

    Anslutning.Open txtDatabas.Text

    ' Skapa ett recordset med samtliga kustutlopp/delaro
    Sql = "SELECT BIFLODARDN, NEDARO, ORDNING FROM utlopp WHERE NEDARO
LIKE ':%:0'"

```

```
KustDelaroPoster.Open Sql, Anslutning, adOpenDynamic,  
adLockOptimistic
```

```
While Not KustDelaroPoster.EOF  
    KustDelaroPoster("Ordning") = 1  
    KustDelaroPoster.Update  
    ÖverordnadeOrdningsnummer KustDelaroPoster("ORDNING"),  
KustDelaroPoster("BIFLODARDN")  
    KustDelaroPoster.MoveNext  
Wend  
KustDelaroPoster.Close  
End Sub
```

```
'-----  
Private Sub ÖverordnadeOrdningsnummer(NedarosOrdning As Integer,  
NedaroBiflodardn As String)  
    Dim Anslutning As ADODB.Connection  
    Dim ÖverordnadePoster As ADODB.Recordset  
  
    Set Anslutning = New ADODB.Connection  
    Set ÖverordnadePoster = New ADODB.Recordset  
  
    Anslutning.Provider = "Microsoft.Jet.OLEDB.4.0"  
  
    Dim Sql As String  
  
    Anslutning.Open txtDatabas.Text  
    ' Skapa ett recordset med de delaro som har aktuellt delaro som nedaro  
    Sql = "SELECT BIFLODARDN, ORDNING FROM utlopp WHERE NEDARO = '" &  
NedaroBiflodardn & "'" &  
    ÖverordnadePoster.Open Sql, Anslutning, adOpenDynamic,  
adLockOptimistic  
  
    While Not ÖverordnadePoster.EOF  
        ÖverordnadePoster("ORDNING") = NedarosOrdning + 1  
        ÖverordnadePoster.Update  
        ÖverordnadeOrdningsnummer ÖverordnadePoster("ORDNING"),  
ÖverordnadePoster("BIFLODARDN")  
        ÖverordnadePoster.MoveNext  
    Wend  
    ÖverordnadePoster.Close  
End Sub
```

Lunds Universitets Naturgeografiska institution. Seminarieuppsatser. Uppsatserna finns tillgängliga på Naturgeografiska institutionens bibliotek, Sölvegatan 12, 223 62 LUND.

The reports are available at the Geo-Library, Department of Physical Geography, University of Lund, Sölvegatan 12, S-223 62 Lund, Sweden.

1. Pilesjö, P. (1985): Metoder för morfometrisk analys av kustområden.
2. Ahlström, K. & Bergman, A. (1986): Kartering av erosionskänsliga områden i Ringsjöbygden.
3. Huseid, A. (1986): Stormfällning och dess orsakssamband, Söderåsen, Skåne.
4. Sandstedt, P. & Wällstedt, B. (1986): Krankesjön under ytan - en naturgeografisk beskrivning.
5. Johansson, K. (1986): En lokalklimatisk temperaturstudie på Kungsmarken, öster om Lund.
6. Estgren, C. (1987): Isälvsstråket Djurfälla-Flädermo, norr om Motala.
7. Lindgren, E. & Runnström, M. (1987): En objektiv metod för att bestämma läplanteringsläverkan.
8. Hansson, R. (1987): Studie av frekvensstyrd filtringsmetod för att segmentera satellitbilder, med försök på Landsat TM-data över ett skogsområde i S. Norrland.
9. Matthiesen, N. & Snäll, M. (1988): Temperatur och himmelsexponering i gator: Resultat av mätningar i Malmö.
- 10A. Nilsson, S. (1988): Veberöd. En beskrivning av samhällets och bygdens utbyggnad och utveckling från början av 1800-talet till vår tid.
- 10B. Nilson, G., 1988: Isförhållande i södra Öresund.
11. Tunving, E. (1989): Översvämning i Murcia-provinsen, sydöstra Spanien, november 1987.
12. Glave, S. (1989): Termiska studier i Malmö med värmebilder och konventionell mätutrustning.
13. Mjölbo, Y. (1989): Landskapsförändringen - hur skall den övervakas?
14. Finnander, M-L. (1989): Vädrets betydelse för snöavsmältningen i Tarfaladalen.
15. Ardö, J. (1989): Samband mellan Landsat TM-data och skogliga beståndsdata på avdelningsnivå.
16. Mikaelsson, E. (1989): Byskeälvens dalgång inom Västerbottens län. Geomorfologisk karta, beskrivning och naturvärdesbedömning.
17. Nhilen, C. (1990): Bilavgaser i gatumiljö och deras beroende av vädret. Litteraturstudier och mätning med DOAS vid motortrafikled i Umeå.
18. Brasjö, C. (1990): Geometrisk korrektion av NOAA AVHRR-data.
19. Erlandsson, R. (1991): Vägbanetemperaturer i Lund.
20. Arheimer, B. (1991): Näringsläckage från åkermark inom Brååns dränerings-område. Lokalisering och åtgärdsförslag.
21. Andersson, G. (1991): En studie av transversalmoräner i västra Småland.
- 22A. Skillius, Å., (1991): Water harvesting in Bakul, Senegal.
- 22B. Persson, P. (1991): Satellitdata för övervakning av höstsådda rapsfält i Skåne.
23. Michelson, D. (1991): Land Use Mapping of the That Luang - Salakham Wetland, Lao PDR, Using Landsat TM-Data.
24. Malmberg, U. (1991): En jämförelse mellan SPOT- och Landsatdata för vegetationsklassning i Småland.
25. Mossberg, M. & Pettersson, G. (1991): A Study of Infiltration Capacity in a Semiarid

- Environment, Mberengwa District, Zimbabwe.
26. Theander, T. (1992): Avfallsupplag i Malmöhus län. Dränering och miljöpåverkan.
 27. Osaengius, S. (1992): Stranderosion vid Löderups strandbad.
 28. Olsson, K. (1992): Sea Ice Dynamics in Time and Space. Based on upward looking sonar, satellite images and a time series of digital ice charts.
 29. Larsson, K. (1993): Gully Erosion from Road Drainage in the Kenyan Highlands. A Study of Aerial Photo Interpreted Factors.
 30. Richardson, C. (1993): Nischbildningsprocesser - en fältstudie vid Passglaciären, Kebnekaise.
 31. Martinsson, L. (1994): Detection of Forest Change in Sumava Mountains, Czech Republic Using Remotely Sensed Data.
 32. Klintenberg, P. (1995): The Vegetation Distribution in the Kärkevagge Valley.
 33. Hese, S. (1995): Forest Damage Assessment in the Black Triangle area using Landsat TM, MSS and Forest Inventory data.
 34. Josefsson, T. och Mårtensson, I. (1995). A vegetation map and a Digital Elevation Model over the Kapp Linné area, Svalbard -with analyses of the vertical and horizontal distribution of the vegetation.
 35. Brogaard, S och Falkenström, H. (1995). Assessing salinization, sand encroachment and expanding urban areas in the Nile Valley using Landsat MSS data.
 36. Krantz, M. (1996): GIS som hjälpmedel vid växtskyddsrådgivning.
 37. Lindegård, P. (1996). Vinterklimat och vårbakslag. Lufttemperatur och kåd-flödessjuka hos gran i södra Sverige.
 38. Bremborg, P. (1996). Desertification mapping of Horqin Sandy Land, Inner Mongolia, by means of remote sensing.
 39. Hellberg, J. (1996). Förändringsstudie av jordbrukslandskapet på Söderslätt 1938-1985.
 40. Achberger, C. (1996): Quality and representability of mobile measurements for local climatological research.
 41. Olsson, M. (1996): Extrema lufttryck i Europa och Skandinavien 1881-1995.
 42. Sundberg, D. (1997): En GIS-tillämpad studie av vattenerosion i sydsvensk jordbruksmark.
 43. Liljeberg, M. (1997): Klassning och statistisk separabilitetsanalys av marktäckningsklasser i Halland, analys av multivariata data Landsat TM och ERS-1 SAR.
 44. Roos, E. (1997): Temperature Variations and Landscape Heterogeneity in two Swedish Agricultural Areas. An application of mobile measurements.
 45. Arvidsson, P. (1997): Regional fördelning av skogsskador i förhållande till mängd SO₂ under vegetationsperioden i norra Tjeckien.
 46. Akselsson, C. (1997): Kritisk belastning av aciditet för skogsmark i norra Tjeckien.
 47. Carlsson, G. (1997): Turbulens och supraglacial meandering.
 48. Jönsson, C. (1998): Multitemporala vegetationsstudier i nordöstra Kenya med AVHRR NDVI
 49. Kolmert, S. (1998): Evaluation of a conceptual semi-distributed hydrological model – A case study of Hörbyån.
 50. Persson, A. (1998): Kartering av markanvändning med meteorologisk satellitdata för förbättring av en atmosfärisk spridningsmodell.
 51. Andersson, U. och Nilsson, D. (1998): Distributed hydrological modelling in a GIS perspective – an evaluation of the MIKE SHE model.
 52. Andersson, K. och Carlstedt, J. (1998): Different GIS and remote sensing techniques

- for detection of changes in vegetation cover - A study in the Nam Ngum and Nam Lik catchment areas in the Lao PDR.
53. Andersson, J., (1999): Användning av global satllitdata för uppskattning av spannmålsproduktion i västafrikanska Sahel.
 54. Flodmark, A.E., (1999): Urban Geographic Information Systems, The City of Berkeley Pilot GIS
 - 55A. Lyborg, J. och Thurfell, L., (1999): Forest damage, water flow and digital elevation models: a case study of the Krkonose National Park, Czech Republic.
 - 55B. Tagesson, I. och Wramneby, A., (1999): Kväveläckage inom Tolångaans dräneringsområde – modellering och åtgärdssimulering.
 56. Almqvist, E., (1999): Högfrekventa tryckvariationer under de senaste århundradena.
 57. Alstorp, P. och Johansson, T., (1999): Översiktlig buller- och luftföroreningsinventering i Burlövs Kommun år 1994 med hjälp av geografiska informations-system – möjligheter och begränsningar.
 58. Mattsson, F., (1999): Analys av molnklotter medIRST-data inom det termala infraröda våglängdsområdet
 59. Hallgren, L. och Johansson, A., (1999): Analysing land cover changes in the Caprivi Strip, Namibia, using Landsat TM and Spot XS imagery.
 60. Granhäll, T., (1999): Aerosolers dygnsvariationer och långväga transporter.
 61. Kjellander, C., (1999): Variations in the energy budget above growing wheat and barley, Ilstorp 1998 - a gradient-profile approach
 62. Moskvitina, M., (1999): GIS as a Tool for Environmental Impact Assessment - A case study of EIA implementation for the road building project in Strömstad, Sweden
 63. Eriksson, H., (1999): Undersökning av sambandet mellan strålningstemperatur och NDVI i Sahel.
 64. Elmqvist, B. och Lundström, J., (2000): The utility of NOAA AVHRR data for vegetation studies in semi-arid regions.
 65. Wickberg, J., (2000): GIS och statistik vid dräneringsområdesvis kväveläckagebeskrivning i Halland.
 66. Johansson, M., (2000): Climate conditions required for re-glaciation of cirques in Rasepautasjtjåkka massif, northern Sweden.
 67. Asserup, P. och Eklöf, M., (2000): Estimation of the soil moisture distribution in the Tamne River Basin, Upper East Region, Ghana.
 68. Thern, J., (2000): Markvattenhalt och temperatur i sandig jordbruksmark vid Ilstorp, centrala Skåne: en mättnings- och modelleringsstudie.
 69. Andersson, C. och Lagerström, M., (2000): Nitrogen leakage from different land use types - a comparison between the watersheds of Graisupis and Vardas, Lithuania.
 70. Svensson, M., (2000): Miljökonsekvensbeskrivning med stöd av Geografiska Informationssystem (GIS) – Bullerstudie kring Malmö-Sturup Flygplats.
 71. Hyltén, H.A. och Ugglå, E., (2000): Rule-Based Land Cover Classification and Erosion Risk Assessment of the Krkonoše National Park, Czech Republic.
 72. Cronquist, L. och Elg, S., (2000): The usefulness of coarse resolution satellite sensor data for identification of biomes in Kenya.
 73. Rasmusson, A-K., (2000): En studie av landskapsindex för kvantifiering av rumsliga landskapsmönster.
 74. Olofsson, P. och Stenström, R., (2000): Estimation of leaf area index in southern

- Sweden with optimal modelling and Landsat 7 ETM+Scene.
75. Ugglå, H., (2000): En analys av nattliga koldioxidflöden i en boreal barrskog avseende spatial och temporal variation.
 76. Andersson, E. och Andersson, S., (2000): Modellering och uppmätta kväveflöden i energiskog som bevattnas med avloppsvatten.
 77. Dawidson, E. och Nilsson, C., (2000): Soil Organic Carbon in Upper East Region, Ghana - Measurements and Modelling.
 78. Bengtsson, M., (2000): Vattensänkningar - en analys av orsaker och effekter.
 79. Ullman, M., (2001): El Niño Southern Oscillation och dess atmosfäriska fjärrpåverkan.
 80. Andersson, A., (2001): The wind climate of northwestern Europe in SWECLIM regional climate scenarios.
 81. Laloo, D., (2001): Geografiska informationssystem för studier av polyaromatiska kolväten (PAH) – Undersökning av djupvariation i BO01-området, Västra hamnen, Malmö, samt utveckling av en matematisk formel för beräkning av PAH-koncentrationer från ett kontinuerligt utsläpp.
 82. Almqvist, J. och Fergéus, J., (2001): GIS-implementation in Sri Lanka. Part 1: GIS-applications in Hambantota district Sri Lanka : a case study. Part 2: GIS in socio-economic planning : a case study.
 83. Berntsson, A., (2001): Modellering av reflektans från ett sockerbetsbestånd med hjälp av en strålningsmodell.
 84. Umegård, J., (2001): Arctic aerosol and long-range transport.
 85. Rosenberg, R., (2002): Tetratermmodellering och regressionsanalyser mellan topografi, tetraterm och tillväxt hos sitkagran och lärk – en studie i norra Island.
 86. Håkansson, J. och Kjörling, A., (2002): Uppskattning av mängden kol i trädform – en metodstudie.
 87. Arvidsson, H., (2002): Coastal parallel sediment transport on the SE Australian inner shelf – A study of barrier morphodynamics.
 88. Bemark, M., (2002): Köphultssjöns tillstånd och omgivningens påverkan.
 89. Dahlberg, I., (2002): Rödlistade kärlväxter i Göteborgs innerstad – temporal och rumslig analys av rödlistade kärlväxter i Göteborgs artdataarkiv, ADA.
 90. Poussart, J-N., (2002): Verification of Soil Carbon Sequestration - Uncertainties of Assessment Methods.
 91. Jakubaschk, C., (2002): Acacia senegal, Soil Organic Carbon and Nitrogen Contents: A Study in North Kordofan, Sudan.
 92. Lindqvist, S., (2002): Skattning av kväve i gran med hjälp av fjärranalys.
 93. Göthe, A., (2002): Översvämningskartering av Vombs ängar.
 94. Lööv, A., (2002): Igenväxning av Köphultasjö – bakomliggande orsaker och processer.
 95. Axelsson, H., (2003): Sårbarhetskartering av bekämpningsmedels läckage till grundvattnet – Tillämpat på vattenskyddsområdet Ignaberga-Hässleholm.
 96. Hedberg, M. och Jönsson, L., (2003): Geografiska Informationssystem på Internet – En webbaserad GIS-applikation med kalknings- och försurningsinformation för Kronobergs län.
 97. Svensson, J., (2003): Wind Throw Damages on Forests – Frequency and Associated Pressure Patterns 1961-1990 and in a Future Climate Scenario.

98. Stroh, E., (2003): Analys av fiskrättsförhållandena i Stockholms skärgård i relation till känsliga områden samt fysisk störning.
99. Bäckstrand, K., (2004): The dynamics of non-methane hydrocarbons and other trace gas fluxes on a subarctic mire in northern Sweden.
100. Hahn, K., (2004): Termohalin cirkulation i Nordatlanten.
101. Möllerström, L., (2004): Modelling soil temperature & soil water availability in semi-arid Sudan: validation and testing.
102. Setterby, Y., (2004): Igenväxande hagmarkers förekomst och tillstånd i Västra Götaland.
103. Edlundh, L., (2004): Utveckling av en metodik för att med hjälp av lagerföljdsdata och geografiska informationssystem (GIS) modellera och rekonstruera våtmarker i Skåne.
104. Schubert, P., (2004): Cultivation potential in Hambantota district, Sri Lanka
105. Brage, T., (2004): Kvalitetskontroll av servicedatabasen Sisyla
106. Sjöström, M., (2004): Investigating Vegetation Changes in the African Sahel 1982-2002: A Comparative Analysis Using Landsat, MODIS and AVHRR Remote Sensing Data
107. Danilovic, A. och Stenqvist, M., (2004): Naturlig föryngring av skog
108. Materia, S., (2004): Forests acting as a carbon source: analysis of two possible causes for Norunda forest site
109. Hinderson, T., (2004): Analysing environmental change in semi-arid areas in Kordofan, Sudan
110. Andersson, J., (2004): Skånska småvatten nu och då - jämförelse mellan 1940, 1980 och 2000-talet
111. Tränk, L., (2005): Kadmium i skånska vattendrag –en metodstudie i föroreningsmodellering