



Kadmium i hushålls- spillvatten

Förord

Denna rapport utgör ett examensarbete med omfattningen 20 högskolepoäng. Arbetet har varit en del av civilingenjörsutbildningen i Kemiteknik vid Kungliga Tekniska Högskolan i Stockholm och har utförts på uppdrag av Stockholm Vatten AB.

Jag vill tacka mina handledare, Agneta Bergström, Stockholm Vatten AB och Per Olof Persson, Industriellt miljöskydd vid KTH för all hjälp under arbetets gång.

Ett stort tack vill jag också rikta till alla er som deltagit i provtagningarna under hösten och alla på avdelningen Vattenvård på Stockholm Vatten som tagit emot alla mina prover och analyserat dem.

Stockholm Februari 2001

Erik Wall

Sammanfattning

Idag tillförs inte kadmium till reningsverken alls i samma utsträckning som för ett par decennier sedan. Tillförseln från industrin har nästan upphört. Minskad kadmiumtillförsel förklaras främst av ett kadmiumförbud som infördes 1982. Förbudet innefattar användning av kadmium inom områdena: ytbehandling, stabilisatorer och användning som pigment. Det förekommer dock flera undantag från förbudet, se bilaga 6. Idag återstår främst diffusa kadmiumkällor och hushållen uppskattas stå för nästan 50 % av det totala bidraget till reningsverken.

En del av det kadmium som finns i hushållspillvattnet kommer från maten via spillvatten från toaletterna eftersom kadmium i marken lätt tas upp av grödor. Övriga källor är dock dåligt kartlagda. Det här examensarbetet innefattar provtagning av bad- disk och tvättvatten för att kunna spåra och kvantifiera källor till kadmiumutsläpp. Undersökningen har även innefattat fosforanalyser för att avgöra hur näringsrikt spillvattnet är vilket har betydelse för, det i reningsverket producerade, slammet.

Vid reningsverket hamnar cirka 90 % av kadmiumet i slammet tillsammans med näringsämnen som fosfor och kväve. Under förutsättning att slammet innehåller tillräckligt låga halter av olika metaller, som t.ex. kadmium, är det ett lämpligt gödningsmedel. Oavsett hur slammet skall tas om hand är det av betydelse att föroreningshalterna är så låga som möjligt så att så lite som möjligt kommer ut i naturen.

Provtagning på BDT-vatten (bad-, disk- och tvättvatten) även kallat gråvatten har skett i 20 olika hushåll där sammanlagt 42 personer bor. Resultatet av denna undersökning är att hushållen i Stockholm bidrar med ca 4-10 kilo kadmium per år via gråvatten. Textiltvätt och vatten för personlig hygien står för en stor del av bidraget. Tänkbara material som utgör kadmiumkällor i gråvatten är bland andra mässing, zink, PVC och järn. Fosforinnehållet i gråvatten är relativt litet jämfört med svartvatten. De påtagliga bidrag som finns är matrester och tvättmedel och då främst fosfatbaserade tvättmedel. Förutom de egna provtagningarna och analyserna har sammanställningar av kadmium och fosfor i hushållspillvatten från tidigare undersökningar gjorts.

Abstract

Today cadmium is not supplied to the sewage treatment works as much as twenty years ago. The cadmium supplying from the industries has almost stopped and big discharges don't exist anymore. Less supplying can be explained principally by the prohibition of using cadmium which has been valid since 1982. The prohibition includes use of cadmium in the following areas: surface treatment, stabilisers and pigmentation. However, there are some exceptions to the prohibition (appendix 6). Today diffuse cadmium sources principally remains and the household contribution is estimated to be almost 50 % of the total contribution to the sewage treatment works.

One part of the cadmium sources in household waste water comes from the food via the toilet since the cadmium in the soil easily is absorbed by crops. The remaining sources are poorly investigated. This paper includes sampling of all wastewater from households except toilet water, called greywater, to discover and quantify cadmium sources. The investigation also includes analyses of phosphorus to decide if the waste water is nutrient and how it influences the sewage sludge.

In the sewage treatment works about 90 % of the cadmium ends up in the sewage sludge together with nutrients like phosphorous and nitrogen. On condition that the sewage sludge contains low content of metals, like cadmium, it is suitable as fertilizer. Even if the sewage sludge not is used as fertilizer it is important that the content of pollutants are as low as possible so it won't reach the environment.

Sampling of greywater has been performed in 20 different households in Stockholm including 42 persons. The result of this investigation is that the greywater in Stockholm contributes with about 4-10 kilograms of cadmium per year. Textile washing and water for personal hygiene contributes with a big part. Materials that can contribute with cadmium to the waste water are brass, zinc, PVC and iron among others. The phosphorous content in greywater is relatively small compared to toilet water, including urine and faeces. The only obvious sources that exist are food scraps and washing powder, preferably the washing powder that are based on phosphates. Except for the sampling this investigation, earlier investigations of cadmium and phosphorous in waste water from households have been put together in this report.

INNEHÅLL

| | |
|---|-----------|
| 1 BAKGRUND OCH SYFTE | 8 |
| 2 LAGSTIFTNING | 9 |
| 3 ANVÄNDNINGSSOMRÅDEN | 10 |
| 3.1 Stabilisatorer | 10 |
| 3.2 Pigment | 10 |
| 3.3 Ytbehandling | 10 |
| 3.4 Batterier | 10 |
| 3.5 Legeringar | 11 |
| 4 KADMIUM I JORDBRUKET | 12 |
| 4.1 Bakgrundshalter..... | 12 |
| 4.2 Åkermark..... | 12 |
| 4.2.1 Tillförsel och borttransport..... | 12 |
| 4.2.2 Slammets roll i kretsloppet..... | 13 |
| 4.3 Kadmium i jordbruksprodukter..... | 14 |
| 5 MILJÖ- & HÄLSOEFFEKTER VID KADMIUMEXPONERING | 16 |
| 5.1 Miljö | 16 |
| 5.2 Hälsa..... | 16 |
| 6 KADMIUM & FOSFOR TILL RENINGSVERKEN | 18 |
| 6.1 Gråvatten..... | 18 |
| 6.2 Svartvatten..... | 18 |
| 6.2.1 Kadmium..... | 18 |
| 6.2.2 Fosfor | 20 |
| 6.3 Samlat avloppsvatten..... | 21 |
| 6.3.1 Kadmium..... | 21 |
| 6.3.2 Fosfor | 22 |
| 7 FÖRSÖKSBESKRIVNING | 23 |
| 7.1 Omfattning..... | 23 |
| 7.2 Provtagningsförfarande..... | 23 |
| 7.2.1 Maskindisk | 24 |
| 7.2.2 Handdisk..... | 24 |
| 7.2.3 Tvättmaskin (kulörtvätt & ofärgad tvätt)..... | 24 |

| | |
|---|-----------|
| 7.2.4 Matlagning | 24 |
| 7.2.5 Avtorkning av diskbänk | 24 |
| 7.2.6 Dusch..... | 24 |
| 7.2.7 Tvättställ..... | 24 |
| 7.2.8 Oanvänt spolvatten från toalett..... | 25 |
| 7.2.9 Golvtorkning | 25 |
| 7.2.10 Dammtorkning..... | 25 |
| 7.3 Analyismetoder..... | 25 |
| 7.4 Beräkningar..... | 25 |
| 8 RESULTAT | 27 |
| 8.1 Kadmium och fosfor i grävatten..... | 27 |
| 8.1.1 Kadmiumhalter..... | 27 |
| 8.1.2 Vattenförbrukning i de aktuella hushållen..... | 28 |
| 8.1.3 Mängd kadmium..... | 29 |
| 8.1.4 Kadmiumbidrag beräknat från statistiska data | 29 |
| 8.1.2 Fosfor | 32 |
| 8.2 Sammanställning av kadmiummängder i avloppsvatten..... | 33 |
| 9 DISKUSSION | 34 |
| 9.2 Källor till kadmiumutsläpp..... | 34 |
| 9.2.1 Installationer..... | 34 |
| 9.2.2 Disk | 34 |
| 9.2.3 Textiltvätt | 35 |
| 9.2.4 Matlagning | 35 |
| 9.2.5 Avtorkning av diskbänk | 36 |
| 9.2.6 Dusch..... | 36 |
| 9.2.7 Tvättställ..... | 36 |
| 9.2.8 Oanvänt spolvatten från toalett..... | 36 |
| 9.2.9 Golvtorkning | 36 |
| 9.2.10 Dammtorkning..... | 37 |
| 9.2.11 Konstnärsfärger | 37 |
| 9.2.12 Kemikalier | 37 |
| 9.2.13 Svartvatten..... | 37 |
| 9.2.14 Biltvätt..... | 37 |
| 9.3 Fosfor | 37 |
| 9.4 De olika beräkningssätten | 37 |
| 9.5 Felkällor | 38 |
| 10 SLUTSATSER..... | 39 |
| 11 FÖRSLAG TILL FORTSATT ARBETE..... | 40 |
| 12 REFERENSER | 41 |
| 12.1 Litteratur | 41 |
| 12.2 Muntliga källor..... | 43 |

| | |
|--------------------------|-----------|
| 12.3 Internetsidor | 43 |
| BILAGOR | 44 |

1 Bakgrund och syfte

Problematiken kring kadmium i avloppsvatten i Stockholm inkluderar inte längre punktutsläpp från t ex industrier. Den främsta anledningen till det är att ett kadmiumförbud trädde i kraft 1982. I och med förbudet återstår främst diffusa källor vilka är mycket svåra att identifiera eftersom det oftast handlar om föroreningar i mycket små mängder. Till Stockholms tre reningsverk, Henriksdal, Bromma och Loudden, inkom år 2000 ca 30 kg kadmium [29]. Dessa 30 kg kommer till största delen från diffusa källor som är utspridda över hela staden. Undersökningar visar på att närmare 50 % av allt kadmium som kommer in till reningsverken finns i hushållspillvattnet [4]. I hushållspillvatten ingår bad-, disk-, och tvättvatten (även kallat BDT-vatten eller gråvatten) plus det spillvatten som kommer från toaletter (svartvatten). Svartvatten innehåller stora mängder av de betydande näringsämnen fosfor och kväve vilka till stor del hamnar i slammet genom kemisk fällning [29]. I en överenskommelse från 1995 mellan Lantbrukarnas riksförbund (LRF), Svenska vatten- och avloppsverksföreningen (VAV) och Statens naturvårdsverk (SNV) har parterna bl.a. åtagit sig att verka för att näringsämnen och mullbildande ämnen i slam från reningsverk återförs till åkermarken i ett uthålligt kretslopp [24]. För att detta skall vara möjligt krävs också att slammet innehåller tillräckligt låga halter av oönskade organiska ämnen och metaller. Kadmium är den metall som har det hårdaste gränsvärdet vid slamspridning på åkermark [27].

Syftet med det här examensarbetet är att få klarhet i vilka som är de betydande källorna till kadmium i gråvatten i Stockholm. Gråvattnet har delats upp i flera delar och kadmiumbidraget från respektive källa redovisas. Examensarbetet skall även besvara om gråvatten ger något bidrag av fosfor till reningsverken. Halter av kadmium och fosfor i svartvatten redovisas som ett komplement till gråvattenundersökningen. Livsmedel som är den främsta källan till kadmium i svartvatten behandlas också i rapporten. Halter i olika grödor och animaliska livsmedel redovisas.

Undersökningen av gråvatten har genomförts med provtagningar i hushåll i Stockholm. Proverna analyserades med avseende på fosfor och kadmium av Stockholm Vattens laboratorium. Även sammanställningar av tidigare undersökningar om svartvattens och gråvattens kadmium- och fosforinnehåll har gjorts.

2 Lagstiftning

1982 infördes i Sverige ett förbud mot användning av kadmium. Sedan 1 januari 1999 gäller förordning SFS 1998:944 och enligt § 3 får kadmiumämne inte användas för ytbehandling, som stabilisator eller som färgämne. Med kadmiumämne menas metallen kadmium eller en kemisk förening i vilken metallen ingår. De varor som har ytbehandlats med ett kadmiumämne eller som innehåller ett sådant ämne som stabilisator eller som färgämne får inte yrkesmässigt saluföras eller överlåtas. Varorna får inte heller yrkesmässigt importeras från länder som inte är medlemmar i Europeiska unionen. Kemikalieinspektionen får i vissa fall meddela föreskrifter om undantag och medge dispens från föreskrifterna [22]. Exempelvis används fortfarande kadmium i konstnärsfärger, vissa militära applikationer och elektriska apparater. Se bilaga 6, KIFS 1998:8 för övriga undantag från förbudet.

Handels gödsel med en kadmiumhalt över 100 gram per ton fosfor får inte saluföras eller överlåtas. Sedan den 2 november 1994 tas en miljöavgift ut på 30 kr för varje gram som överstiger 5 g kadmium per ton fosfor [45].

För slutna nickel-kadmium batterier som överlåts på den svenska marknaden eller förs in till Sverige för eget bruk i yrkesmässig verksamhet tas en miljöavgift ut med 300 kr per kilogram batteri enligt förordning om batterier, SFS 1997:645. Avgiften är tänkt att täcka kostnader för bl.a. insamling, återvinning och information om miljöfarliga batterier [20]

3 Användningsområden

Det dröjde ända fram till 1817 innan grundämnet kadmium identifierades [14]. I Sverige kom kadmiumanvändningen igång på allvar så sent som 1940 [15]. Kadmium har använts och används inom i huvudsak fem områden: i pigment, i stabilisatorer, till ytbehandling, som legeringsmetall och i Ni-Cd batterier. Användningen av kadmium för ytbehandling, som stabilisator och som pigment har efter 1982 begränsats kraftigt genom lagstiftade restriktioner [15].

3.1 Stabilisatorer

För att förlänga plasters livslängd har man tidigare använt organiska kadmiumsalter, huvudsakligen bensoat och stearat, som stabilisatorer. Det är främst PVC-plaster för utomhusbruk som stabiliserats på detta sätt [15]. En undersökning av olika PVC-plaster, utförd av naturvårdsverket 1978, visade på att vissa PVC-material innehöll upp till 0,58% kadmium [37]. Den industriella användningen av Cd-stabilisatorer har i Stockholm gått från 3 000-4 000 kg Cd/år på mitten av 70-talet till i princip ingen användning 1994 [15].

3.2 Pigment

Salter av kadmium används som pigment. Kadmiumsulfid och kadmiumselenid ger olika färger på den rödgula skalan. Pigmenten ingår främst i plast, glas, keramik och konstnärsfärger. I och med restriktioner för användningen av kadmium i plast är det användningen av kadmium i konstnärsfärger som dominerar idag [15].

3.3 Ytbehandling

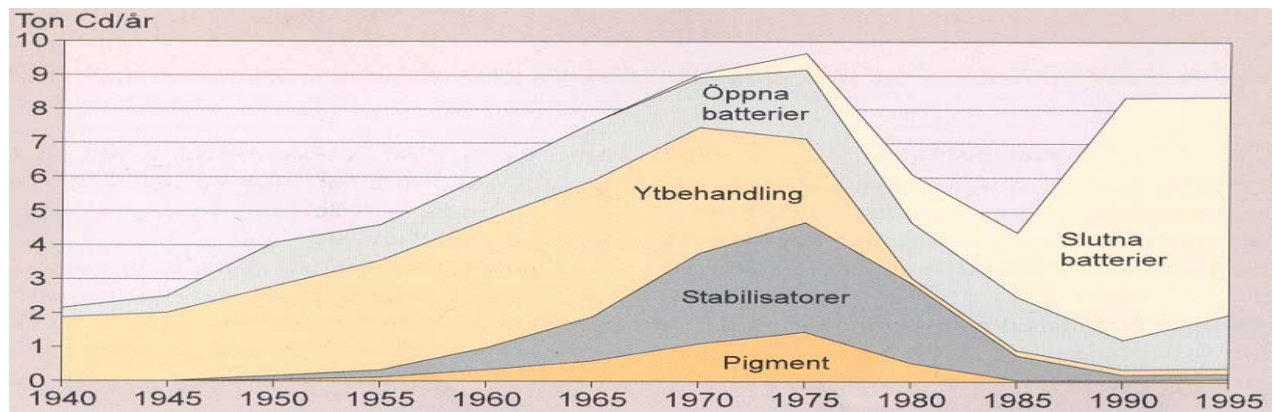
Användningen av kadmium för ytbehandling har minskat avsevärt sedan mitten av 70-talet, från ca 3 000 kg Cd/år 1975 till 40 kg 1994. Kadmium ger ett bra korrosionsskydd i utsatta miljöer som t.ex. havsatmosfär, hårt vatten, kondensvatten, stillastående vatten, alkalier, ångor och olika kemikalier. Kadmium ger också en yta med lägre friktion och används därför till muttrar m.m. inom flygindustrin och tidigare också inom bilindustrin [15].

3.4 Batterier

Idag utgör batterier det största användningsområdet för kadmium. Nickelkadmiumbatterier har förmågan att ge hög strömstyrka under kort tid vilket är nödvändigt i t.ex. sladdlösa bormaskiner. Det finns två olika typer av nickelkadmiumbatterier; öppna och slutna. De slutna batterierna är sådana som finns inbyggda i elektronik som mobiltelefoner, bormaskiner, bärbara datorer etc. De öppna batterierna är ofta stora och stationära och anpassas efter verksamheten. De öppna batterierna innehåller ungefär 5 % kadmium och de slutna innehåller 15-20 %. Insamlingen av de öppna batterierna uppgår nästan till 100% med motsvarande siffra för de slutna endast är 30% [15]. Användningen av tungmetallen inom detta område ökade kraftigt under 80-talet till skillnad mot de andra användningsområdena. Under början av 90-talet avtog ökningen [26] för att sedan minska under den senare delen av 90-talet [47]. Idag minskar försäljningen av nickelkadmiumbatterier i Sverige eftersom de ersätts med de mer miljöanpassade och i många fall mer effektiva nickelmetallhydridbatterierna eller litium-jonbatterierna [46].

3.5 Legeringar

Kadmium får fortfarande användas i legeringar. En vanlig legering är tillsammans med koppar. Cu-Cd-legeringar används bland annat i teleledningar och i bilkylare [4]. Vid lödning används ibland kadmiumlegerade silverlod när det finns krav på låg arbetstemperatur med bibehållen hög brottgräns [44].



Figur 1. Användning av kadmium i olika produktkategorier 1940-1995 i Stockholm
Källa: Kadmium – exponering och effekter på människans hälsa [26]

4 Kadmium i jordbruket

4.1 Bakgrundshalter

Kadmium är en tungmetall som förekommer naturligt i jordskorpan. Halten är normalt 0,1-0,15 mg/kg men koncentrationen i olika bergarter kan variera mellan 0,02 och 200 mg/kg [18]. Förekomsten är speciellt hög i zinkmineral och i fosfatmineral men förekommer även i t.ex. kalk, järnmineral, råolja och antracit. Medelhalten för kadmium i zinkfyndigheter ligger på 0,23% [4].

Kadmium finns också naturligt i grundvatten till följd av urlakning ur jordskorpan. Halterna i grundvatten påverkas även av mänsklig aktivitet. Medianhalten för kadmium i Sveriges grundvatten är 0,027 µg/l medan medianhalten i Stockholm ligger på nästan det dubbla, 0,052 µg/l [2]. Sveriges skogsmark uppges innehålla 0,17 mg Cd/kg torrsvikt i genomsnitt [18].

4.2 Åkermark

Kadmiumhalten i matjorden varierar över hela Sverige beroende på bakgrundshalter och nedfall. Höga halter på grund av inslag av kadmiumrika mineral i berggrunden finns bl.a. i Skåne, Östergötland, Mälardalen och Jämtland. År 1900 var medelinhållet av kadmium i svensk matjord ca 450 gram per hektar. Idag ligger halten på ca 600 gram per hektar vilket innebär 30 % ökning under 1900-talet [29]. Genomsnittshalten för kadmium i matjord är 0,26 mg Cd/kg matjord [18]. Uppskattningsvis har 374 ton kadmium tillförts svenska jordbruksmarker sedan 1900 och då främst via atmosfärisk deposition och gödselmedel [39].

4.2.1 Tillförsel och borttransport

Tillförsel av kadmium sker främst via luftdeposition, handelsgödsel, slam och kalk [4]. Borttransporten sker dels genom upptag av grödor som sedan skördas och förs bort dels genom utlakning till vattendrag och underliggande jordar [4].

Luftdeposition står för stor del av tillförseln. Enligt Statistiska centralbyrån är luftdepositionen idag störst i södra Götaland med ett nedfall på 0,52 g/ha,år. Sydöstra & norra Götaland tillsammans med Svealand uppges ha ett nedfall på 0,37 g/ha,år. Norrland har minst nedfall med 30 g/ha,år [30]. Av den totala luftdepositionen i Sverige kommer den större delen från andra länder. I genomsnitt står utländska källor för 70 % av metallbidraget. För kadmium är den siffran ännu högre [2]. En stor del av det kadmium som tillförs Sverige härstammar från koleldningen i Europa. Kadmium från koleldningen transporteras som aerosoler och fina partiklar och tillförs Sverige via våt eller torr deposition [18]. Kvantitativt dominerar den våta depositionen [39]. Partiklarna har en diameter på 0,1-0,2 µm och har en lång uppehållstid i atmosfären, från några dagar upp någon vecka [39]. I Sverige uppskattades 1990 punktkällor ge ett utsläpp till luft på mindre än 5 ton medan den totala luftdepositionen i Sverige var ungefär 20 ton [18]. I Sverige var utsläppen 1996 till luft och vatten störst från skogsindustrin och metallverken [39].

Handelsgödsel har under 1900-talet också gett ett ansevärt bidrag av kadmium till jordbruket. Kadmiumhalten varierar kraftigt för olika fyndigheter av råfosfat. Kadmiumhalten har sjunkit på senare tid i handelsgödsel. Idag tillförs ungefär 0,30 g/ha,år via handelsgödsel [4].

Mark som behöver kalkas får ett ytterligare bidrag då kalk i genomsnitt innehåller 0,25 mg kadmium per kg [30]. Marken bör underhållskalkas vid ett pH lägre än 6,5 vilket omfattar knappt 70 % av den odlade marken i Sverige [49].

En del kadmium tillförs marken via slamspridning. Sedan år 2000 får endast 0,75 g/ha,år spridas på detta sett. Tidigare gällde att 1,75 g Cd/ha,år fick spridas på åkermark [23]. Om maximal fosforgiva skall spridas på åkermarken utan att halten på 0,75 g/ha,år överskrids krävs det att innehållet av kadmium i slammet är ca 1 mg/kg TS. År 2000 hade slammet i Henriksdals reningsverk en genomsnittlig kadmiumhalt på 1,4 mg/kg TS, Bromma 1,1 mg/kg TS och Loudden 1,2 mg/kg TS. Det gällande gränsvärdet för slammet är dock 2 mg/kg TS vilket alla reningsverken klarar [29].

4.2.2 Slammets roll i kretsloppet

I takt med att vattentoaletter introducerades i samhället avtog större delen av det naturliga och direkta tillbakaförandet av urin och fekalier från oss människor till jordbruket. Det är via våra grödor, dvs. vår föda, som vi för bort stora delar av näringsämnena från åkermarken. Fosfor mineral för tillverkning av handelsgödsel finns bara i en begränsad omfattning och tar slut på sikt. I ett uthålligt kretslopp måste därför fosfor som finns i svartvattnet, dvs. urin och fekalier, föras tillbaka till åkermarken. Numera blandas svartvattnet tillsammans med gråvatten, dagvatten och avlopp från industriell verksamhet mm vilket bidrar till en komplex avloppssammansättning. Därför är det mycket viktigt att alla typer av avloppsvatten innehåller låga halter av miljöstörande ämnen.

Fosfor avskiljs till hög grad i reningsverken och hamnar i slammet tillsammans med föroreningar som exempelvis kadmium [3]. För att slammet från reningsverken skall kunna användas på åkermark krävs att slammet har hög kvalitet. Detta innebär bl.a. att kadmiuminnehållet skall vara lågt samtidigt som näringsinnehållet skall vara högt. Det som är önskvärt ur ett hållbart perspektiv skulle vara att det fanns en balans mellan tillförsel och borttransport av kadmium så att inte halterna i jordbruksmarken ökar. Idag är tillförseln större än borttransporten i den grad att ökningstakten för kadmiumhalten i åkermark beräknas ligga på 0,1 % per år [4].

4.3 Kadmium i jordbruksprodukter

Hur mycket kadmium som tas upp av en växt beror på flera faktorer som mängden kadmium i marken, pH-halt, förekomst av andra spårelement (främst zink), jordarten (särskilt lerhalten) och mängden organiskt material i marken. En ökad kadmiumhalt i marken kan leda till en ökad kadmiumhalt i grödan. Starkast samband för kadmiumhalten i marken och i grödan har iakttagits hos vete. Lösligheten hos kadmium ökar med sjunkande pH-värde. Ökad löslighet leder till ökad mobilitet och ökad biotillgänglighet av kadmium för växten. Vid försurning av marken kan man vänta sig att kadmiumhalten i grödor ökar. Högre mullhalt dvs. mer organiskt material i marken gör kadmium mindre tillgängligt för växten eftersom det organiska materialet har förmågan att binda kadmium. Jordarten påverkar markens förmåga att binda upp kadmium och göra det mindre tillgängligt för grödan. Lerjordar binder kadmium mer effektivt än sandjordar. Likheten mellan zink och kadmium gör att det blir en konkurrens mellan metallerna vid växternas upptag. För höstvetete har ett samband påvisats där kadmiumupptaget minskar vid ökad zinkhalt [6].

Grödan i sig har olika egenskaper som påverkar hur mycket kadmium som tas upp. Bland våra sädeslag tar vårvetete upp mest, därefter höstvetete, havre, korn och till sist råg (tabell 1). För varje sädeslag finns skillnader mellan olika sorter [30]. Vissa svampar ackumulerar också mycket kadmium och då speciellt vildväxande snöbolls- och kungschampinjoner [19]. Trots höga halter i vissa livsmedel som inälvsmat och skaldjur står ändå brödsäd, potatis och rotfrukter för mer än 75 % av vår kadmiumkonsumtion [6].

Tabell 1. Genomsnittliga tabellvärden för kadmiumhalter i olika grödor. Vikten avser färskvikt. [30]

| Gröda | (mg Cd/kg färskvikt) |
|-------------|----------------------|
| Vårvetete | 0,059 |
| Höstvetete | 0,038 |
| Havre | 0,031 |
| Korn | 0,016 |
| Råg | 0,014 |
| Oljeväxter | 0,075 |
| Morot | 0,034 |
| Socketbetor | 0,037 |
| Potatis | 0,011 |

För animaliska livsmedel kan generellt sägas att inälvsmat har höga kadmiumhalter. Njure och lever hos både tamt boskap och vilt samlar på sig mycket kadmium. Livsmedelsverket rekommenderar att man inte äter njure från vuxna djur. Även skaldjur innehåller mycket kadmium. Krabba och räkor har nästan 100 gånger så hög halt kadmium jämfört med vanligt nötkött och griskött. Torsk innehåller mycket litet kadmium, mindre än 0,001 mg/kg medan strömming har ett något högre kadmiuminnehåll på 0,008 mg/kg.

Tabell 2. Kadmium innehåll i några animaliska livsmedel [6,18]

| Livsmedel | Halt (mg Cd/kg färskvikt) |
|------------------|--------------------------------------|
| Kött, nötkött | 0,001 |
| Lever, nötkött | 0,07 |
| Njure, nötkött | 0,35 |
| Kött, gris | 0,001 |
| Lever, gris | 0,019 |
| Njure, gris | 0,11 |
| Kött, älg | 0,003 |
| Njure, älg | 2,3 |
| Lever, Älg | 0,41 |
| Strömming | 0,008 |
| Torsk | <0,001 |
| Gädda | 0,002 |
| Krabba | 0,081 |
| Musslor | 0,016 |
| Räkor | 0,079 |

5 Miljö- & hälsoeffekter vid kadmiumexponering

5.1 Miljö

De finns speciella faktorer som gör den svenska miljön extra känslig mot extra tillskott av kadmium. Större delen av Sveriges berggrund innehåller magmatiska bergarter som är täta och svårvittrade vilket har bidragit till att svenska sjöar har väldigt mjukt vatten och de flesta jordarna har låg buffertkapacitet vilket innebär att försvaret mot försurning är lågt. Kadmium är en mycket lättlöslig metall vid lågt pH-värde och i takt med ökad försurning ökar mobiliteten. Växter t.ex. tar lättare upp kadmium vid lågt pH. Vissa träd, buskar och svampar ackumulerar kadmium till halter som är toxiska för dem själva. Växter med höga kadmiumhalter innebär även ett hot mot växtätande fåglar och däggdjur [18]. Kadmiumhalten ökar uppåt i näringskedjan vilket kallas för biomagnifikation vilket beror på att tungmetallen har en lång halveringstid och till stor del samlas i mjukdelarna som äts av rovdjuren [4].

Vattenlevande organismer påverkas också av kadmium med effekter som försämrade tillväxthastighet, reproduktionsstörningar och förhindrat kalciumupptag. Östersjöns låga salthalt gör att många organismer lever på gränsen av sin fysiologiska toleransnivå och stressfaktorer som ökad kadmiumhalt kan innebära extra påfrestningar. Den låga salthalten bidrar även till att biotillgängligheten av kadmium är högre jämfört med marina system med hög salthalt [18].

5.2 Hälsa

Vår föda är generellt den största källan till kadmiumexponering hos icke-rökare på grund av grödors förmåga att ackumulera kadmium. Kadmiumintaget via föda är 10-15 μ g per dag. Stora variationer förekommer dock pga. olika matvanor och energibehov. Rökare och vissa yrkesgrupper utsätts för en hög exponering via inandning [9]. Anledningen till att rökare är utsatta beror på att tobaksplantan växer i mark med lågt pH där kadmium är lättlösligt och biotillgängligt och därför lätt kan tas upp av plantan [5]. Absorption av kadmium från föda via magtarmkanalen ligger på några få procent medan absorptionen i lungorna vid inandning ligger på 10-50 %. Rökare har därför ett väsentligt högre intag än icke-rökare. Koncentrationen av kadmium i blodet är 4-5 gånger högre hos rökare jämfört med icke-rökare och dubbelt så hög i njurbarken [9]. Höga koncentrationer av kadmium i kroppen kan ge upphov till njurskador och påverka skelettet [9].

5.2.1 Njuren

Kadmium i njure har en lång halveringstid på 7-30 år och ackumuleras således i hög grad. Njuren tillsammans med levern står för ca 50 % av kroppens kadmiuminnehåll. De högsta koncentrationerna finns i njurbarken. Den kritiska nivån där skador börjar uppkomma anses vara 200 mg/kg njurbark. Ett av de första tecknen på njurskada är en ökad utsöndring av lågmolekylära proteiner med urinen. Denna funktionsstörning beror på en skada i njurtubuli där normalt resorptionen av proteiner tillbaka till blodbanan sker. Den nedsatta funktionen hos njurtubuli gör att färre proteiner transporteras tillbaka till blodet och njuren ”läcker”. Även den glomerulära filtrationen i njuren, som hindrar stora proteiner att transporteras till urinen, kan skadas vilket leder till större genomsläpplighet av dessa proteiner. Vid grav nedsättning av glomerulifunktionen kan uremi, dvs. urinförgiftning av blodet uppstå [9].

5.2.2 Ben

Hög kadmiumexponering kan även bidra till minskad benmassa i form av osteoporos (benskörhet) eller osteomalaci (benuppmjukning). Mekanismen är dock okänd. En hypotes involverar den nedsatta funktionen hos de tubulära cellerna vid hög kadmiumkoncentration. Den normala aktiveringen av D-vitamin till hormonet 1,25-dihydroxycalcitrol skulle i de tubulära cellerna reduceras vilket bidrar till försämrat upptag av kalcium i tarmkanalen och därmed också minskad benmineralisering enligt denna hypotes [9].

6 Kadmium & fosfor till reningsverken

6.1 Gråvatten

Undersökningar på gråvatten har gjorts i bostadsområden med avloppssystem med separerade svartvatten och gråvatten. Palmqvist (2001) har studerat gråvatten i bostadsområdet Vibyåsen i Sollentuna strax norr om Stockholm. Gråvattnet har analyserats med avseende på 105 parametrar däribland kadmium. Provtagningen skedde två gånger under den tid på dagen då vattenförbrukningen generellt är liten, vardagar mellan 10.00 och 16.00 (~3 l/min) och två gånger då vattenförbrukningen är hög, kvällar och helger (~15 l/min). Varje provtagning pågick under tre timmar. Samma provvolym togs ut var sjätte minut till ett samlingsprov. Provtagningen var således inte flödesproportionell. Högt flöde förekommer 60 % av dygnet och lågt flöde under 40 % av dygnet. Flödet per person och dygn beräknades fram genom antagandet att flödet är 15 l/min 60 % av dygnet och 3 l/min 40 % av dygnet. Resultatet blir ett flöde på 66,4 liter gråvatten per person och dygn. Medelvärde av de fyra analyserade kadmiumhalterna (0,097 µg/l), tillsammans med det uppskattade volymflödet ger en kadmiumtillförsel på 6,4 µg per person och dag. Genomsnittshalten av fosfor i svartvattnet var 7,53 mg/l. Med ett flöde på 66,4 l/p,d blir fosforbidraget för gråvatten 0,50 g per person och dygn. Totalt ingick 169 personer i undersökningen varav 112 var vuxna och 57 var barn [20].

Vinnerås (2001) undersökning behandlar en studie i Ekoporten i Norrköping. Flödesproportionell provtagning utfördes. 35 personer ingick i undersökningen, 34 vuxna och ett barn. Provtagning skedde under tre perioder. En undersökning pågick under elva dagar och de andra två under tolv dagar. Vinnerås redovisar ett kadmiumbidrag på 14,4 mg/p,år vilket motsvarar 39 µg/p,d. Fosforbidraget har beräknats till 162 g/p,år vilket motsvarar 0,44 g/p,d [38].

Tabell 3. Kadmium och fosfor i gråvatten

| | Kadmium i gråvatten | fosfor i BDT-vatten |
|-----------------|---------------------|---------------------|
| Palmqvist, 2001 | 6,4 µg/p,d | 0,50 g/p,d |
| Vinnerås, 2001 | 39 µg /p,d | 0,44 g/p,d |

Både Palmqvists och Vinnerås uppmätta värden för gråvatten motsvarar den tid som spenderats i hemmet. En möjlig förklaring till att Vinnerås värde är högre än Palmqvists för kadmium i gråvatten kan delvis vara att ett större volymflöde har uppmätts i Vinnerås undersökning. Palmqvist redovisar ett flöde på 66,4 l/p,d medan Vinnerås har ett gråvattenflöde på 104 l/p,d. Kadmiumhalten i Palmqvists undersökning varierar mycket och är 100 % högre tredje provtagningstillfället jämfört med det första vilket tyder på stor spridning. Omräknat till tillförsel till Stockholms tre reningsverk per år ger Vinnerås värde ett bidrag på 13,5 kg och Palmqvists 2,2 kg. Antalet personer som är anslutna anges i tabell 12.

6.2 Svartvatten

6.2.1 Kadmium

Urin och fekalier eller svartvatten utgör en stor del av hushållsbidraget vad gäller kadmiumtillförsel till reningsverken. Denna del är svår att komma ifrån eftersom den härstammar från födan. Kadmium liksom de flesta andra tungmetaller utsöndras främst med fekalier. Generellt utsöndras mindre än 10 % av tungmetallerna med urinen. Undantaget är

kvicksilver som till 75 % utsöndras med urin. Vissa tungmetaller utsöndras också via svett och då främst koppar, krom och zink [38].

Palmqvist (2001) har studerat svartvatten i Vibyåsen i Sollentuna. Provtagning skedde i samband med tömning av svartvattentanken. Prov togs ut efter två respektive tre dagar. Ett bidrag på 0,011 mg Cd/p,d redovisas (tabell 4) [20].

Vinnerås redovisar kadmiuminnehåll i svartvatten från provtagningar i Ekoporten i Norrköping. Urin och fekalier samlades upp separat. Mätningar på volymer och halter har gett ett bidrag på 0,4 mg Cd/p,år i urin och 3,3 mg Cd/p,år i fekalier. Dessa värden är omräknade för att motsvara 24 timmars spenderad tid hemma. Tiden spenderad hemma var 13,9 timmar i denna undersökning (tabell 4) [38].

Sundberg (1995) har sammanställt undersökningar på kadmium i urin och fekalier (NV 4425). Redovisade data av Vater, Friberg, Hansen & Tjell har sammanställts (tabell 4) [29].

Sonesson och Jönsson (1996) har gjort en omfattande litteratursammanställning med förslag till schablonvärden för urin och fekalier vilken redovisas i Naturvårdsverkets rapport (1995a). 0,4 mg Cd/p,år i urin och 3,7 mg Cd/p,år i fekalier redovisas (tabell 4).

Tabell 4. Kadmium i urin och fekalier

| | Enhet | Födointag | Urin | Fekalier | Svartvatten |
|---|----------|-----------|-------|----------|-------------|
| Cd, Vater 1990, Stockholm ¹ | (µg/p,d) | | | 8,4 | |
| Cd, Friberg & al, 1986 ¹ | (µg/p,d) | 10-20 | 0,5-1 | 9-20 | |
| Cd, Hansen & Tjell, 1986 ¹ | (µg/p,d) | | | 25 | |
| NV 1995; Sonesson & Jönsson 1996 ^{2,3} | (µg/p,d) | | 1,1 | 10,1 | |
| Vinnerås (Ekoporten) [22] ³ | (µg/p,d) | | 1,1 | 9,0 | |
| Palmquist (Vibyåsen) [11] (motsvarar den tid som spenderas hemma) | (µg/p,d) | | | | 11 |

¹Källa: Rapport 4425, Naturvårdsverket

²Källa: Vinnerås 2001

³Beräknat från mg per person & år

⁴Beräknat från halt och uppmätt volym

Omräknat till mg per person & år blir kadmiumbidraget till svartvatten enligt nedan. De olika undersökningarna är inte direkt jämförbara då Sonesson & Jönsson och Vinnerås värden motsvarar allt svartvatten som produceras under hela dygnet medan Palmqvists värden motsvarar den del som produceras i hushållet under den tid som spenderas där.

Tabell 5. Kadmiumbidrag från svartvatten

| Undersökning | (mg/p,år) |
|----------------------------------|-----------|
| NV 1995; Sonesson & Jönsson 1996 | 4,1 |
| Vinnerås, 2001 | 3,7 |
| Palmquist, 2001 | 4,0 |

Palmqvists uppgift används för fortsatta beräkningar i detta arbete då detta motsvarar hushållets bidrag. Inkommande mängd kadmium till respektive reningsverk har beräknats med uppgift om antalet anslutna personer till verken (tabell 6). Antalet anslutna personer anges i tabell 12.

Tabell 6. Tillförsel av kadmium från svartvatten till reningsverken baserat på Palmqvists undersökning.

| Reningsverk | (kg/år) |
|-------------|---------|
| Henriksdal | 2,56 |
| Bromma | 1,13 |
| Loudden | 0,11 |
| Totalt | 3,8 |

6.2.2 Fosfor

Mängden fosfor i svartvatten har ökat de senaste 40 åren. Detta beror på förändrade matvanor. Kväve- och fosformängderna har ökat med 20 % från 1960 till 1992 främst beroende på ökad konsumtion av framförallt mjölk och ost fram till år 1980 [23]. Även köttkonsumtionen har ökat och därigenom intaget av fosfor och kväve [35]. Dessutom har kroppsvikt och kroppslängd ökat hos den svenska befolkningen. Efter 1980 har intaget av kväve och fosfor inte ökat nämnvärt [23]. Se tabell 7.

Tabell 7. Fosforintag i Sverige (Becker & Robertsson 1994) [23]

| År | Fosfor (g/pd) |
|------|---------------|
| 1960 | 1,38 |
| 1970 | 1,45 |
| 1980 | 1,66 |
| 1992 | 1,66 |

Sundberg 1995 har sammanställt data för fosfor i urin och fekalier. Även Vinnerås och Palmqvist har studerat fosforinnehåll i svartvatten. Provtagningsförfarandet är likadant som för kadmiumundersökningen då dessa parametrar studerades samtidigt. Se avsnitt 6.2.1. Vinnerås värden motsvarar all produktion av svartvatten medan Palmqvist värden motsvarar den svartvattenproduktion som sker i hushållet.

Tabell 8. Fosfor i urin & fekalier

| Källa | Urin (g/p,d) | Fekalier (g/p,d) | Urin + fekalier (g/p,d) |
|---|--------------|------------------|-------------------------|
| Jordbrukslära, Tabell III, Lantbrukets bok I ¹ | 0,9-1,2 | 0,58-0,82 | 1,48-2,02 |
| Scientific tables ¹ | 0,8-2 | 0,63-1,53 | 1,43-3,53 |
| Gotaas, WHO (1956), Geneva ¹ | 0,55-1,5 | 0,46-1,67 | 1,01-3,17 |
| Kungl VoV Pu8.6, (1966) ¹ | | | 1,3 |
| Household Waste Water ¹ | | | 1,6 |
| Viel (1941) ¹ | 0,8 | 0,6 | 1,4 |
| Best & Taylor (1952) ¹ | 1,0 | 0,4 | 1,4 |
| Spector (1956) ¹ | 1,0 | 0,6 | 1,6 |
| Camp (1963) ¹ | 0,6 | 0,3 | 0,9 |
| Arrhenius ¹ | 1,1 | 0,3 | 1,4 |
| Holtan, 1990, Norska värden ¹ | | | 1,3 |
| Palmqvist, 2001 ² | | | 1,53 |
| Vinnerås, 2001 ² | | | 1,50 |

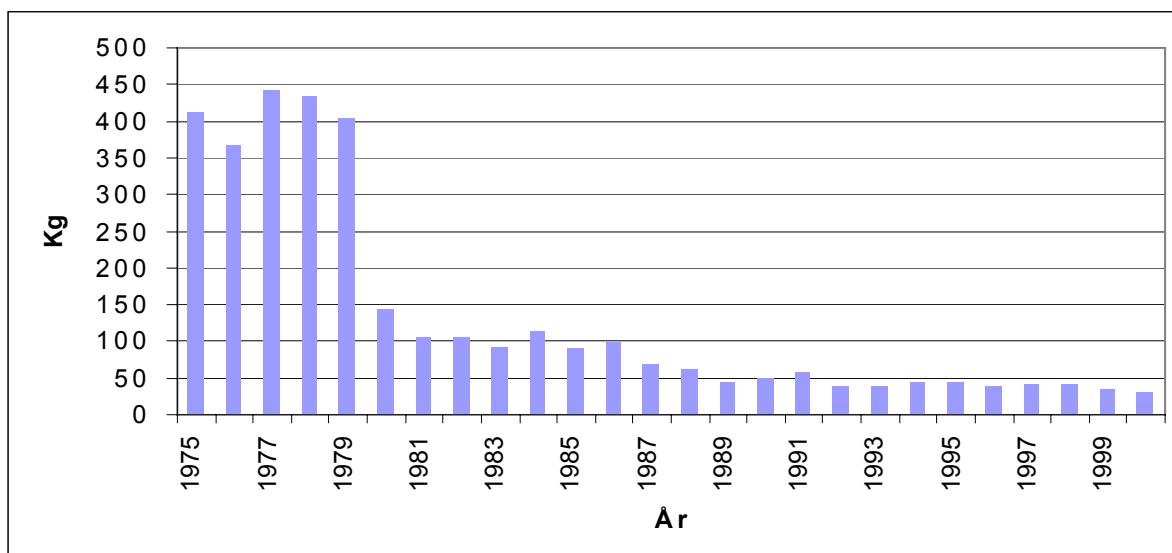
¹Litteratursammanställning i NV 4425

²Redovisade data är omräknad för att uttryckas som g/p,d

6.3 Samlat avloppsvatten

6.3.1 Kadmium

Inkommande mängd kadmium till reningsverken har minskat dramatiskt under de senaste 25 åren. Under senare hälften av 70-talet tog Stockholms reningsverk emot ca 400 kg kadmium per år jämfört med ca 30 kg år 2000.



Figur 2. Inkommande mängd kadmium till Stockholms reningsverk 1975-1996 [24]. Data för 1997-2000 är beräknat för mängden i slammet plus mängd i utgående vatten. Halterna i utgående vatten innan år 1999 är beräknad från "mindre än"-värden varför dessa i vissa fall är något för höga.

Då kadmiumutsläpp idag i stort sett endast härrör från diffusa utsläppskällor kan endast uppskattningar av källornas bidrag presenteras. Lina Enskog Broman har sammanställt olika beräkningar på bidrag och kommit fram till följande fördelning:

Tabell 9. Kadmiumkällor till reningsverkens avloppsvatten [4]

| Källa | Alla tre verk, andel av totala (%) | Henriksdal, andel av totala (%) | Bromma, andel av totala (%) | Loudden, andel av totala (%) |
|-----------------|------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Hushåll | 46 | 43 | 54 | 47 |
| Bilvård | 16 | 16 | 16 | 16 |
| Dagvatten | 16 | 16,5 | 13 | 29 |
| Konstnärsfärger | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Övrigt | 12 | 14,5 | 7 | 0 |

Hushållsbidraget har beräknats utifrån en undersökning i Skarpnäck. 10 veckoinsamlingsprov under perioden 1995-1999 gav ett medelvärde på 49,2 µg Cd/person & dag vilket skulle stå för 46% av det totala bidraget till reningsverken. Bilvårdsanläggningar tros ge ett stort bidrag av kadmium till reningsverken i samband med biltvätt. Kadmium förekommer bland annat i bromsbelägg, däck [4] och hjulbultar [15]. Bidraget 1998 från bilvårdsanläggningar i Stockholmsområdet uppskattas till 5,8 kg vilket motsvarar 16% av den totala kadmiummängden det året [4]. Det procentuella bidraget från bilvård antas utgöra 16 % i alla tre verken. Kadmiumbidraget från dagvatten var 1998 totalt 5,75 kg. Andelen till respektive reningsverk varierar beroende på olika upptagningsområden (Se tabell 9).

Konstnärsfärger uppskattas grovt ge ett bidrag med 3,5 kg kadmium vilket motsvarar 10 % av av den tillförda mängden kadmium i Stockholm [4].

Enskog Broman redovisar även några källor med litet bidrag:

Tabell 10. Mindre kadmiumkällor till reningsverkens i Stockholm [4]

| Källa | Mängd (kg) | Andel av total mängd (%) |
|---------------------|-------------------|---------------------------------|
| Industrier | 0,232 | 0,65 |
| Fällningskemikalier | 0,041 | 0,11 |
| Dricksvatten | 0,190 | 0,53 |
| Lakvatten | 0,168 | 0,47 |
| Totalt | 0,801 | 2,23 |

Sammanställning av miljörapporter inkomna till Stockholm Vatten redovisar att 232 g Cd släpptes ut från industrier 1998. Det är endast Volvo Aero Engine Service i Stockholm Vattens upptagningsområde som har tillstånd att använda och släppa ut kadmium. 1998 släpptes 55 gram ut från denna industri [4].

Fällningskemikalierna som används i reningsverken innehåller små mängder kadmium och uppges ha bidragit med 0,041 g 1998 [4].

Kadmiummängden i dricksvatten är beräknad från halva detektionsgränsen eftersom halten var för låg för att mäta. Det redovisade värdet är 190 g/år i Stockholm [4]. Det skall tilläggas att detta är en grov uppskattning.

Sofielundstippen som är den enda deponien i Stockholm Vattens upptagningsområde gav år 1998 ett bidrag på 0,168 kg Cd till Henriksdals reningsverk [4]. Med en uppskattad deposition av 1500 ton kadmium i Sverige mellan 1949 och 1990 framstår detta flöde som litet [39].

6.3.2 Fosfor

Total tillförd mängd fosfor år 2000 (totalfosfor) uppgick till 797 ton fördelat på respektive reningsverk enligt tabell nedan.

Tabell 11. Fosfortillförsel 2000 för respektive reningsverk [29]

| | Totalfosfor halt (mg/l) | Totalfosformängd (ton/år) |
|------------|--------------------------------|----------------------------------|
| Henriksdal | 6,1 | 580 |
| Bromma | 3,9 | 190 |
| Loudden | 5,2 | 27 |
| Totalt | | 797 |

7 Försöksbeskrivning

7.1 Omfattning

Totalt har 20 hushåll med totalt 42 personer medverkat i provtagningarna under september och oktober 2001. Dessa personer har varit bosatta i Stockholms stad och dess grannkommuner. Hushållen är anslutna till ett avloppsnät som leder till något av reningsverken Henriksdal, Bromma, Loudden eller Käppala. Råvatten till de aktuella hushållen har kommit från Mälaren via Norsborgs vattenverk, Lovö vattenverk och i några fall Görvälnverket.

7.2 Provtagningsförfarande

Varje provtagare har fått en instruktion för hur provtagningen skall gå till för respektive provtagningspunkt. Till instruktionen har det medföljt ett provtagningsformulär där provtagarna har kunnat fylla i uppgifter som är relevanta för beräkningar och utvärderingar av analyssvaren. För all vattenanvändning som sker i ungefär samma omfattning från dag till dag har provtagningstiden valts till 24 sammanhängande timmar för respektive prov. Att välja provtagningstiden till ett helt dygn istället för att ta stickprov någon gång under dagen har flera fördelar. De flesta människor har ju anpassat sig efter en cykel på 24 timmar av förklarliga skäl och på så sätt återkommer samma vanor normalt med 24 timmars intervall. En provtagning som tar hänsyn till hela dygnets vattenanvändning borde därför ge ett representativt prov. En annan fördel är att man undviker variationer av metallhalter i dricksvatten under dygnet. Viss korrosion bidrar till att metallhalterna ofta är högre på morgonen då vattnet stått still i ledningarna under natten.

Separat provtagningsutrustning har använts för varje typ av vatten. Exempelvis användes vissa dunkar bara till tvättmaskinvatten och andra till avloppsvatten från tvättställ osv. Alla dunkar, trattar och bägare har märkts upp för respektive ändamål. All utrustning har sköljts av med kallt vatten mellan provtagningsstillfällena.

För att härleda källorna till kadmiumutsläppen har provtagningen delats upp på ett flertal provtagningsställen i hushållen. Gråvattnet har delats upp på 11 olika delar. För varje provtagningsställe är ca 5 hushåll representerade. Spillvatten från följande områden har ingått i undersökningen:

- Maskindisk
- Handdisk
- Kulörtvätt
- Ofärgad tvätt
- Matlagning
- Avtorkning av diskbänk
- Dusch
- Tvättställ
- Oanvänt spolvatten från toalett
- Golvtorkning
- Dammtorkning

7.2.1 Maskindisk

Utgående vatten från ett maskindiskprogram har samlats upp i en 25-litersdunk. Hushållen har varit fria att använda valfritt maskindiskmedel. Disken har inte sköljts av från matrester före diskning utan har ställts in i diskmaskinen direkt. En uppskattning av respektive hushålls användningsfrekvens av diskmaskinen har gjorts av de boende själva.

7.2.2 Handdisk

Provtagning ur ett volymbestämt diskvatten har skett efter diskning. Även det vatten som använts för avsköljning av matrester innan disk finns representerat i de analyserade proverna antingen som separat prov eller proportionerligt blandat med diskvattnet. Allt diskvatten som producerats under 24 timmar är representerat i provet. Vatten som används för sköljning efter disk finns inte med i provet.

7.2.3 Tvättmaskin (kulörtvätt & ofärgad tvätt)

Det från tvättmaskin utgående tvättvattnet, första sköljvattnet och resterande sköljvatten har samlats upp separat i en 25-litersdunk och volymen har bestämts. Ett prov med proportionerliga delar från respektive vatten har blandats för att representera hela tvättprogrammets avloppsvatten. De separata proverna togs ut för att kunna analyseras ifall det blandade proverna skulle ha en halt som var lägre än detektionsgränsen. Misstanke om att tvättvattnet skulle ha de högsta halterna fanns då detta vatten innehåller mest smuts och har störst innehåll av tvättmedel som i sig kan innehålla kadmium. I 8 fall av 11 har två tvättmedel använts som har analyserats på kadmiuminnehåll. En uppskattning av respektive hushålls användningsfrekvens av tvättmaskinen har gjorts av de boende själva.

7.2.4 Matlagning

Det vatten som under 24 timmar har använts vid matlagning har samlats upp i en 1-litersbägare för provtagning och volymbestämmning. Vatten som inte använts utan bara spolats för att t ex åstadkomma kallt dricksvatten är inte representerat i proverna.

7.2.5 Avtorkning av diskbänk

Tidigare undersökningar har visat att avtorkning av diskbänk kan ge förhöjda kadmiumhalter [4]. Sådana undersökningar har därför även genomförts i denna studie. Allt vatten som har använts till avtorkning av diskbänk har samlats upp under 24 timmar för provtagning.

7.2.6 Dusch

Duschning har skett i badkar med bottenpluggen stängd för att möjliggöra volymbestämmning och ge ett representativt prov. Proportionerliga provvolymerna från respektive duschvatten från hushållets duschtillfällen under 24 timmar har blandats till ett dygnsprov.

7.2.7 Tvättställ

Vattenlåset har skruvats isär under tvättställen och en 25-liters dunk har samlat allt producerat avloppsvatten under 24 timmar. Proven innehåller vatten från all aktivitet som sker i tvättstället och innehåller därför exempelvis tandkräm, smink, tvål och raklödder.

7.2.8 Oanvänt spolvatten från toalett

Spolvatten har samlats upp precis under kanten där det når toalettsskålen vid spolning. Bakgrunden till det är att det är svårt att ta ett representativt prov ur cisternen som ofta innehåller ett sediment i botten med höga kadmiumhalter. Endast en liten del av sedimentet följer med vid spolning eftersom cisternen aldrig töms helt. Det mest representativa provet tas därför på vatten som rinner ut ur cisternen utan att nå det vatten som står nere i vattenlåset. Antalet spolningar under 24 timmar har noterats i hushållet. Dessutom har spolvolymen mätts upp för de aktuella toalettstolarna.

7.2.9 Golvtorkning

Golvtorkning av bostaden har gjorts med en bestämd volym vatten i egen skurhink. Antal dagar sedan förra golvtorkningstillfället noterades av de boende.

7.2.10 Dammtorkning

Våt dammtorkning av bostaden utförts genom att trasan har sköljts ur i en bestämd volym vatten. Prov togs ut från det vatten som använts. De boende fick uppge hur många dagar det gått sedan bostaden dammtorkades förra gången.

7.3 Analyismetoder

Samtliga analyser, för denna undersökning, har utförts av Stockholm Vattens laboratorium. Kadmiumhalten har bestämts med flamlös atomabsorptionsspektrometri genom elektrotermisk atomisering i grafitugn. Detta har varit nödvändigt för att kunna detektera alla kadmiumhalter i de olika proverna som uppvisar en relativt låg halt. Lägsta detektionsgräns var för det flesta analyserna 0,1 µg/l. Undantaget är spolvattenproverna från toalett där en noggrannare analysmetod med detektionsgränsen 0,01 µg/l användes. Vid analys av kadmium med grafitugn, metod SS 028184-1,83-1, är mätosäkerheten 10% [34,35].

Fosforanalyserna genomfördes genom uppslutning med kaliumperoxidsulfat som fungerar som oxidationsmedel. För halter inom intervallet 0,01-1,0 mg/l används en spektrofotometrisk metod. Halter inom intervallet 1,0-12,5 mg/l analyseras med FIA (Flow Injection Analysis). Mätosäkerheten anges som 2 gånger relativa standardavvikelsen. 5 % gäller för en kontroll på 0,3 mg/L på spektrofotometern. För FIA gäller motsvarande 7 % för en kontroll på 9 mg/l och 16 % för en kontroll på 1,2 mg/l [33].

7.4 Beräkningar

Det har antagits att duschning, användning av tvättställ, matlagning, avtorkning av diskbänk och spolning av toalett sker i samma utsträckning varje dag under året. Den uträknade kadmiumtillförseln från dessa provtagningsställen ger därför direkt ett dygnsmedelvärde av bidraget.

För maskindisk, handdisk, textiltvätt, golvtorkning och städning har volymbestämning vid provtagningsstillfället och kadmiumhalten används i kombination med de boendes egna uppskattningar av vattenanvändningen för respektive ändamål, för att på så sätt få fram ett dygnsmedelvärde per person för kadmiumbidraget från dessa källor.

Ett medelvärde för tillförseln har beräknats för varje typ av provtagningsställe. Hushållets bidrag har dividerats med antal personer i hushållet. Mängderna är sedan multiplicerade med 365 dagar och antal personer anslutna till respektive reningsverk (se tabell 12) vilket resulterar i den mängd kadmium som under ett år tillförs reningsverken från olika källor i

hushållen. Undantaget från detta är diskproverna. Endast 50 % av Sveriges hushåll har tillgång till diskmaskin [49]. För beräkningar av diskvattens kadmiumbidrag har antalet anslutna personer till respektive reningsverk delats med hälften för att motsvara antalet anslutna med och utan diskmaskin.

Kadmiumbidraget har även beräknats på två andra sätt med uppgifter om vattenförbrukning från VAV och en undersökning i Halmstad 1999.

Tabell 12. Antal anslutna till Stockholms reningsverk

| Reningsverk | Antal anslutna |
|--------------------|-----------------------|
| Henriksdal | 639485 |
| Bromma | 282015 |
| Loudden | 26700 |
| Totalt | 948200 |

Källa: Stockholm vatten, Basstatistik 2000, Ledningsnät [27]

8 Resultat

8.1 Kadmium och fosfor i grävatten

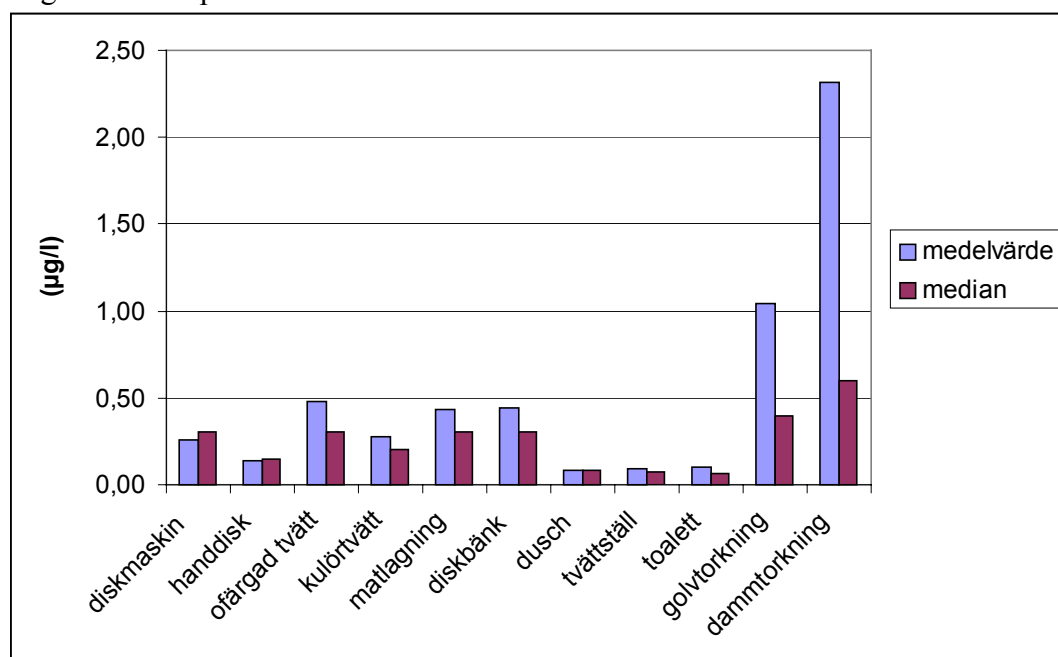
8.1.1 Kadmiumhalter

Proverna som ingick i undersökningen hade alla detekterbara halter av kadmium med tillgängliga analysmetoder. I tabell 11 presenteras medelvärde, medianvärde, standardavvikelse och antalet hushåll som undersökts för varje provtagningsställe. För halter i respektive hushåll se Bilaga 1. Kadmiumhalterna kan jämföras med inkommande avloppsvatten till Henriksdals reningsverk 1994 som i genomsnitt låg på 0,4 µg/l [40].

Tabell 13. Kadmiumhalter i undersökta grävatten

| Provtagningsställe | Medelhalt (µg/l) | Median (µg/l) | standardavvikelse | antalet undersökta hushåll |
|-------------------------|------------------|---------------|-------------------|----------------------------|
| Maskindisk | 0,26 | 0,3 | 0,20 | 5 |
| Handdisk | 0,14 | 0,15 | 0,06 | 5 |
| ofärgad tvätt | 0,48 | 0,3 | 0,33 | 6 |
| Kulörtvätt | 0,28 | 0,2 | 0,11 | 5 |
| Matlagning | 0,43 | 0,3 | 0,12 | 5 |
| Avtorkning av diskbänk | 0,44 | 0,3 | 0,36 | 5 |
| Dusch | 0,08 | 0,08 | 0,02 | 5 |
| Tvättställ | 0,09 | 0,07 | 0,02 | 5 |
| Spolvatten från toalett | 0,10 | 0,06 | 0,05 | 3 |
| Golvtorkning | 1,04 | 0,4 | 1,66 | 5 |
| Dammtorkning | 2,32 | 0,6 | 3,43 | 6 |

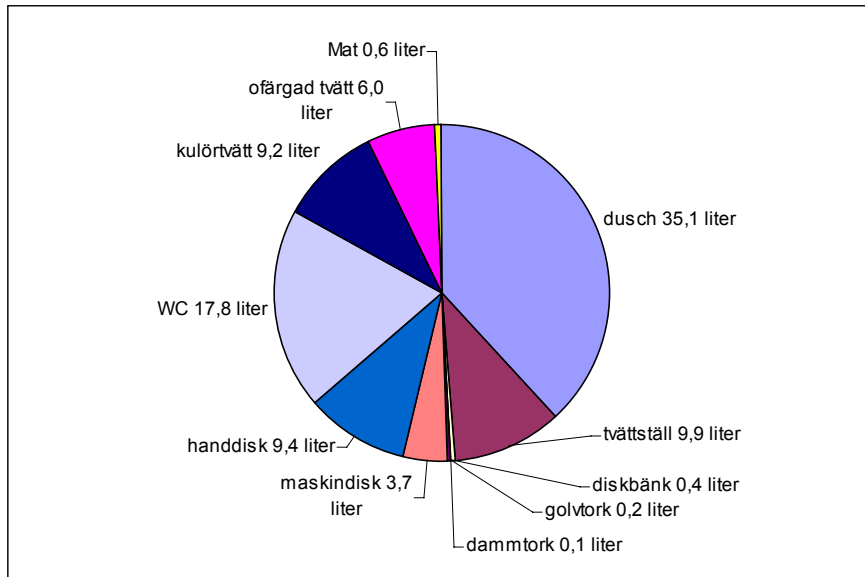
I figur 3 nedan presenteras medelvärde och medianvärde av kadmiumhalterna i diagramform.



Figur 3. Kadmiumhalter i undersökta grävatten

8.1.2 Vattenförbrukning i de aktuella hushållen

Figur 4 visar den genomsnittliga vattenanvändningen per dygn i de hushåll där provtagningen skett. Uppgifterna är framtagna med mätningar och uppskattningar i samband med provtagningen. I vissa hushåll har provtagning skett på en vardag medan andra provtagningar har pågått under helgen. Att toalettvolymerna är små kan delvis förklaras med att provtagning skett på vardagar då inte lika mycket tid spenderas i hemmet och att två toaletter var snålspolande. Vattenförbrukningen kan även vara större inom andra områden under helg jämfört med vardag. Sammanlagt blir förbrukningen i de aktuella hushållen 92,4 liter per person och dygn. Sköljvatten för handdisk och vatten som spolats direkt ner i avloppet t.ex. för att åstadkomma kallt dricksvatten är inte medtaget i de uppmätta volymerna.



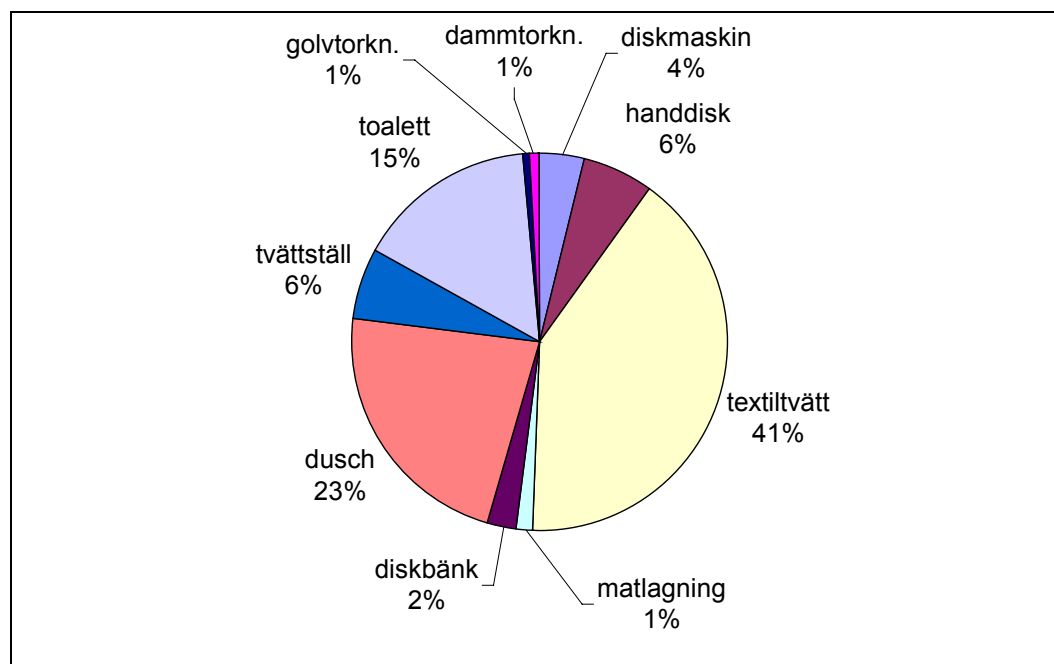
Figur 4. Vattenanvändning i de aktuella hushållen

8.1.3 Mängd kadmium

Utifrån de volymbestämmingar och uppskattningar som gjorts av respektive provtagare i samband med provtagningen har medelvärdet för halterna räknats om till tillförd mängd kadmium per dag. Dessa data har sedan använts för att beräkna den totala tillförda mängden kadmium till Stockholms reningsverk per år. I tabell 14 presenteras kadmiumbidraget från hushållens gråvatten. Fördelningen av källorna kan även ses i figur 5.

Tabell 14. Tillförd mängd kadmium från gråvatten

| Provtagningsställe | µg/p,d | Henriksdal (kg/år) | Bromma (kg/år) | Loudden (kg/år) | Totalt till alla reningsverken (kg/år) |
|-------------------------------------|--------|--------------------|----------------|-----------------|--|
| Maskindisk | 0,46 | 0,11 | 0,05 | 0,00 | 0,16 |
| Handdisk | 0,70 | 0,16 | 0,07 | 0,01 | 0,24 |
| Ofärgad tvätt | 1,43 | 0,33 | 0,15 | 0,01 | 0,50 |
| Kulörtvätt | 3,22 | 0,75 | 0,33 | 0,03 | 1,11 |
| Matlagning | 0,16 | 0,04 | 0,02 | 0,00 | 0,06 |
| Avtorkning av diskbänk | 0,26 | 0,06 | 0,03 | 0,00 | 0,09 |
| Dusch | 2,59 | 0,60 | 0,27 | 0,03 | 0,89 |
| Tvättställ | 0,71 | 0,17 | 0,07 | 0,01 | 0,24 |
| Spolvatten toalett (ej svartvatten) | 1,77 | 0,41 | 0,18 | 0,02 | 0,61 |
| Golv-torkning | 0,08 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,03 |
| Dammtorkning | 0,09 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,03 |
| Totalt | 11,47 | 2,67 | 1,19 | 0,11 | 3,96 |



Figur 5. Fördelning av kadmiumkällor i gråvatten

8.1.4 Kadmiumbidrag beräknat från statistiska data

En beräkning med statistiska data för vattenanvändningen från VAV tillsammans med de analyserade kadmiumhalterna har också gjorts för några av provtagningsställena. Se tabell 15 och figur 6.

Halten som anges för disk är ett medelvärde för maskin- och handdisk. Denna halt kunde inte viktas eftersom sköljvattnet inte finns representerat i handdiskproverna. Kadmiumhalten för personlig hygien är ett viktat värde för dusch och tvättfat. Kadmiumhalten i tvättvatten är ett viktat värde för kulör- och vittvätt.

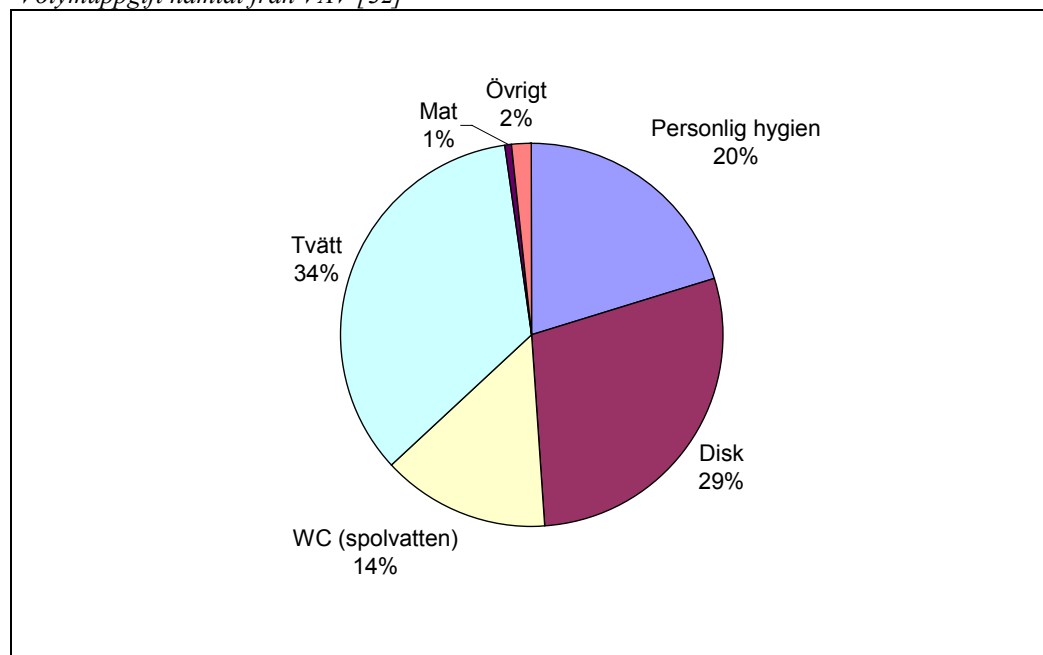
Tabell 15. Tillförd mängd kadmium fördelat på reningsverk & år, beräknat från statistiska data om vattenanvändning från VAV

| Användnings- område | Vatten- förbrukning (liter/dag) ³ | Kadmiumhalt (µg/l) | Henriksdal (kg Cd/år) | Bromma (kg Cd/år) | Loudden (kg Cd/år) | Totalt (alla reningsverk) |
|------------------------|--|-----------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------------|
| Personlig hygien | 70 | 0,08 | 1,31 | 0,58 | 0,05 | 1,94 |
| Disk | 40 | 0,20 | 1,86 | 0,82 | 0,08 | 2,76 |
| WC, spolvatten | 40 | 0,10 | 0,93 | 0,41 | 0,04 | 1,38 |
| Tvätt | 30 | 0,36 | 2,52 | 1,11 | 0,11 | 3,74 |
| Mat ¹ | 10 | | 0,04 | 0,02 | 0,00 | 0,06 |
| Övrigt ² | 10 | | 0,10 | 0,04 | 0,00 | 0,14 |
| Totalt | 200 | | 6,76 | 2,98 | 0,28 | 10,02 |

¹Matlagningens bidrag är inte omräknat med de nya volymerna (Data från tidigare beräkning)

²Övrigt inkluderar diskbänk, golvtorkning & dammtorkning och är inte omräknat med de nya volymerna (Data från tidigare beräkning)

³Volymuppgift hämtat från VAV [32]



Figur 6. Fördelning av kadmiumkällor beräknat med VAV:s uppgifter om vattenanvändning

En beräkning av kadmiumtillförseln har även gjorts med uppgifter om vattenanvändning från en undersökning gjord i Halmstad 1999. Se tabell 16 och figur 7. Beräkningarna har gjorts på samma sätt som för VAV-uppgifterna.

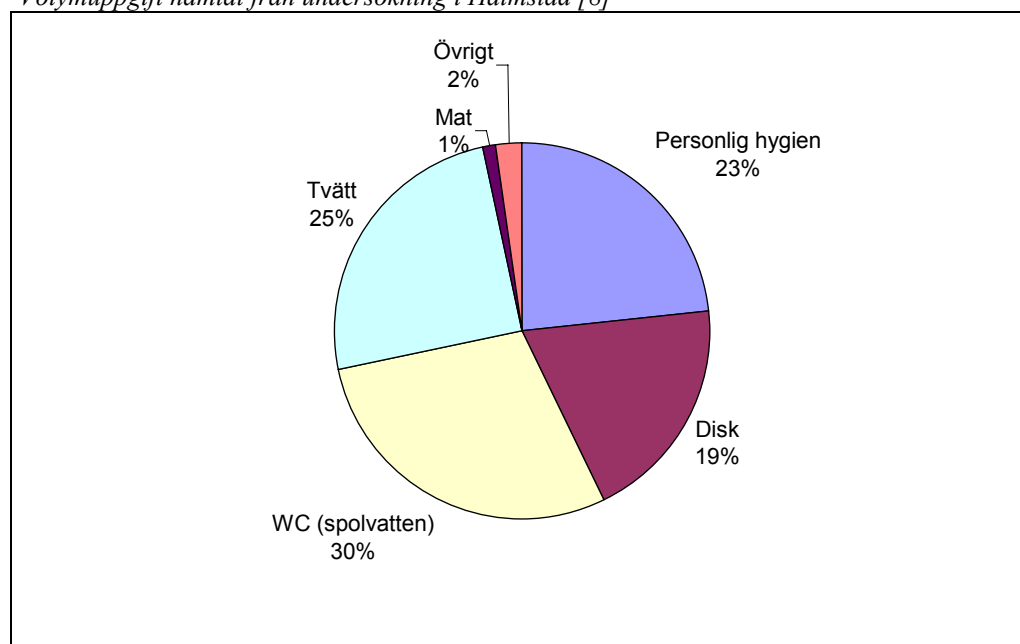
Tabell 16. Tillförd mängd kadmium fördelat på reningsverk & år, beräknat från statistiska data om vattenanvändning från undersökning i Halmstad 1999

| Användningsområde | Vattenförbrukning ³ (liter/dygn) | Kadmiumhalt (µg/l) | Henriksdal (kg/år) | Bromma (kg/år) | Loudden (kg/år) | Totalt (kg/år) |
|-------------------------------|---|--------------------|--------------------|----------------|-----------------|----------------|
| Personlig hygien ³ | 54 | 0,08 | 1,01 | 0,44 | 0,04 | 1,49 |
| Disk ³ | 18 | 0,2 | 0,84 | 0,37 | 0,04 | 1,25 |
| WC, spolvatten ³ | 53 | 0,10 | 1,24 | 0,24 | 0,02 | 1,5 |
| Tvätt ³ | 13 | 0,36 | 1,09 | 0,48 | 0,05 | 1,62 |
| Mat ¹ | 10 | | 0,04 | 0,02 | 0,00 | 0,06 |
| Övrigt ^{1,2} | 10 | | 0,10 | 0,04 | 0,00 | 0,14 |
| Totalt | 200 | | 4,32 | 1,59 | 0,15 | 6,06 |

¹Matlagningens bidrag är inte omräknat med de nya volymerna (Data från tidigare beräkning)

²Övrigt inkluderar diskbänk, golv-torkning & dammtorkning och är inte omräknat med de nya volymerna (Data från tidigare beräkning)

³Volymuppgift hämtat från undersökning i Halmstad [8]



Figur 7. Fördelning av kadmiumkällor beräknat med Halmstadundersökningens uppgifter om vattenanvändning

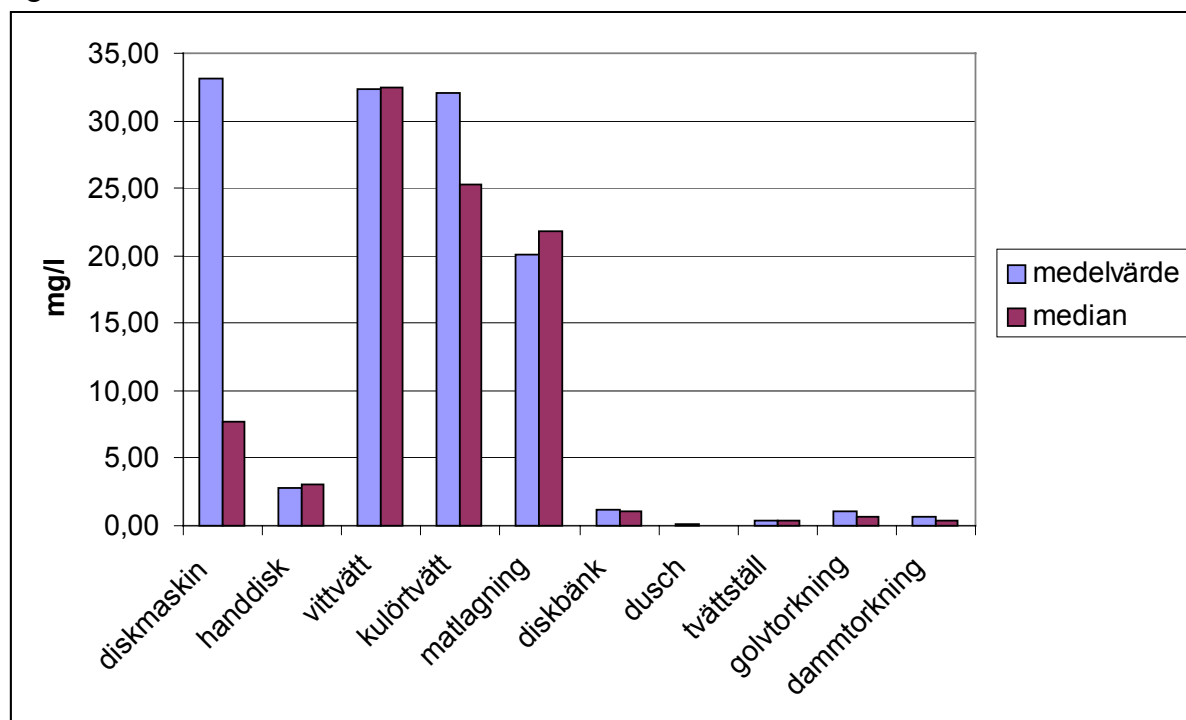
8.1.2 Fosfor

I tabell 7 och figur 8 nedan redovisas fosforhalten i de undersökta grävattenproverna. För resultat för respektive hushåll, se bilaga 3.

Tabell 17. Fosforhalter i olika grävatten

| Provtagningsställe | Medelhalt (mg/l) | Median (mg/l) | Standardavvikelse | Antal datapunkter |
|-------------------------|-------------------------|---------------|-------------------|-------------------|
| Maskindisk | 33,20 | 7,70 | 46,54 | 5 |
| Handdisk | 2,82 | 4,14 | 4,01 | 5 |
| fosfattvätt | 43,41 | 44,15 | 18,08 | 8 |
| zeolittvätt | 2,27 | 0,95 | 2,45 | 3 |
| Matlagning | 20,12 | 21,80 | 9,97 | 5 |
| Avtorkning av diskbänk | 1,16 | 1,10 | 0,76 | 5 |
| Dusch | 0,14 | 0,06 | 0,21 | 5 |
| Tvättställ | 0,42 | 0,40 | 0,18 | 5 |
| Spolvatten från toalett | Under detektionsgränsen | | | |
| Golvtorkning | 1,13 | 0,60 | 1,36 | 5 |
| Dammtorkning | 0,67 | 0,36 | 0,70 | 6 |

Halterna kan jämföras med halterna i inkommande avloppsvatten till reningsverken. År 2000 var halterna för samlat avloppsvatten 6,1 mg/l till Henriksdal, 3,9 mg/l till Bromma och 5,2 mg/l till Loudden.



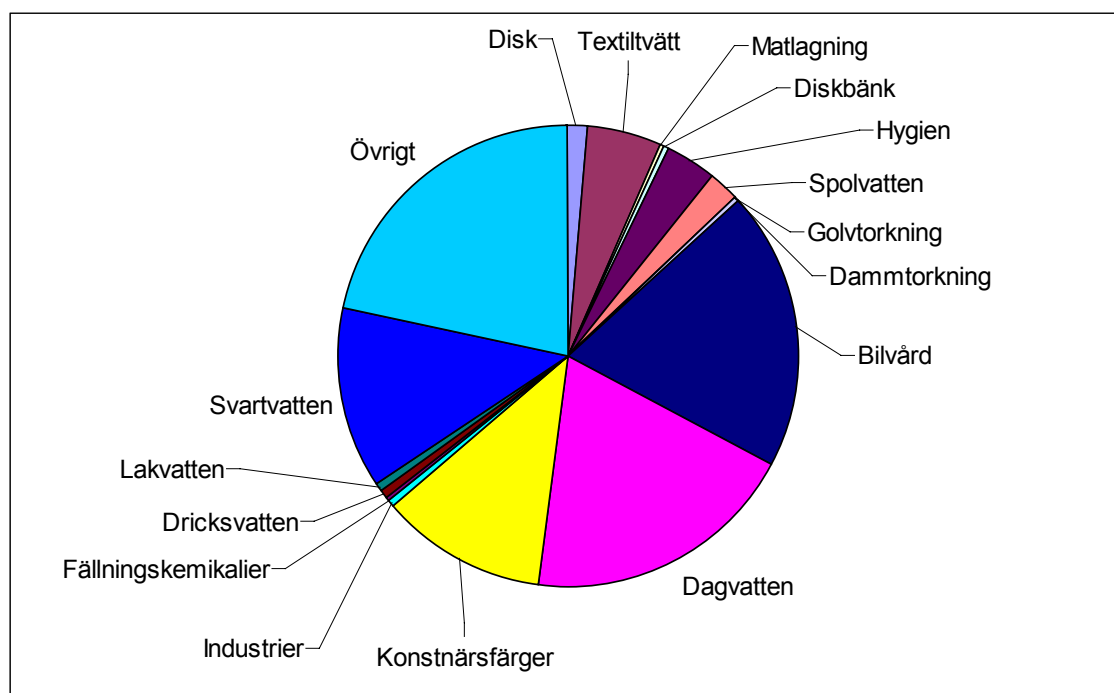
Figur 8. Fosforhalter i olika grävatten

8.2 Sammanställning av kadmiummängder i avloppsvatten

I tabell 18 och figur 9 redovisas en kombination av källor från denna undersökning¹, Enskog Bromans redovisade uppgifter² och Palmqvists redovisade värden för svartvatten³. Den del som redovisas som övrigt är skillnaden mellan den mängd kadmium som kom in till reningsverken år 2000 (30 kg) och den totala mängden från dessa redovisade källor.

Tabell 18. Fördelning av kadmiumkällor i avloppsvatten i SV:s upptagningsområde

| Källa | Kg/år | Procent av totala (%) |
|----------------------------------|-------|-----------------------|
| Disk ¹ | 0,40 | 1,3 |
| Textiltvätt ¹ | 1,61 | 5,4 |
| Matlagning ¹ | 0,06 | 0,2 |
| Diskbänk ¹ | 0,09 | 0,3 |
| Hygien ¹ | 1,13 | 3,8 |
| Spolvatten ¹ | 0,61 | 2,0 |
| Golvtorkning ¹ | 0,03 | 0,1 |
| Dammtorkning ¹ | 0,03 | 0,1 |
| Bilvård ² | 5,84 | 19,5 |
| Dagvatten ² | 5,75 | 19,2 |
| Konstnärsfärger ² | 3,50 | 11,7 |
| Industrier ² | 0,23 | 0,8 |
| Fällningskemikalier ² | 0,04 | 0,1 |
| Dricksvatten ² | 0,19 | 0,6 |
| Lakvatten ² | 0,17 | 0,6 |
| Svartvatten ³ | 3,80 | 12,7 |
| Övrigt | 6,52 | 21,7 |
| Totalt | 30,0 | 100 |



Figur 9. Fördelning av kadmiumkällor i avloppsvatten i SV:s upptagningsområde

9 Diskussion

Svårigheten i en undersökning av denna omfattning är att täcka in alla olika typer av hushåll. Alla hushåll skiljer sig från varandra med avseende en mängd faktorer som t ex ålder, varmvattenberedare, typ av rör, hushållsmaskiner, armaturer mm. Skillnad i vattenanvändningen mellan t ex en tonåring och en pensionär är markant, miljömedvetenheten påverkar vad vi slänger i vårt avlopp osv.

Resultatet av kadmiumbidraget i denna undersökning skiljer sig från Vinnerås och Palmqvists undersökning. Palmqvist redovisar ett lägre kadmiumbidrag som är ungefär hälften av bidraget i denna undersökning. Vinnerås beräknade bidrag är ungefär tre gånger så stort. I både Palmqvists och Vinnerås undersökning studeras separata bostadsområden medan denna undersökning berör många olika typer av hushåll i Stockholm. Ett problem med att välja enskilda bostadsområden som Ekoporten och Viibyåsen kan vara att det inte finns någon variation av bostadens ålder, installationer, armaturer, dricksvattenhalter mm. Ifall en viss typ av installation ger ett högt kadmiumbidrag så blir det så för alla hushåll i undersökningen och resultaten kan således bli missvisande om de används för andra bostadsområden. Detta kan vara en förklaring till skillnader i resultaten. En annan kan vara att de uppmätta grävattenflödena skiljer sig mellan undersökningarna.

9.2 Källor till kadmiumutsläpp

9.2.1 Installationer

Enligt avdelningen för miljömedicin på Göteborgsuniversitet skulle kadmium i lödningar i dryckesautomater och kranar kunna ge höga metallhalter i den del av vattnet som stått i kontakt med lödstället under längre tid [48]. Sten Wahlgren på Meltolit AB hävdar å andra sidan att kadmiumlegerade lod inte förekommer i samband med dricksvatten pga. risken för att kadmium då skulle lösas ut med varmvatten [44].

En tysk rapport har visat på att dricksvattenledningar i järn kan ge förhöjda halter av kadmium till vattnet [12]. Detta beror troligtvis på att kadmium ingår som spårämne i järnmalm [7] och följer med som restprodukt i slutprodukten. Även vissa avloppsledningar innehåller järn och skulle då också kunna bidra med en del kadmium. Enskog Broman har gjort undersökningar som ger indikationer på att varmvattenberedare och kranar bidrar med kadmium då vatten som stått still i dessa har förhöjda halter [4]. Offeranoder av zink i varmvattenberedare är också en möjlig kadmiumkälla.

Mässing som tillverkas av Nordic Brass i Västerås hade år 2001 ett genomsnittligt kadmiuminnehåll på 0,004 % [43]. Mässing ingår i armaturer och andra föremål som kommer i kontakt med vattnet (se nedan).

9.2.2 Disk

Kadmium i diskvatten från diskmaskin kan ha flera källor. Matrester står för en del av bidraget eftersom livsmedel ofta innehåller kadmium. Vissa maskindiskmedel har visat sig innehålla kadmium. Detta kan möjligen bero på att vissa diskmedel innehåller fosfor som kadmium är följeslagare till. Under 70-talet gjordes undersökningar på utlösning av kadmium från keramiskt och emaljerat gods vilka fick stå i en svagt sur lösning. Ur vissa föremål löstes betydande mängder kadmium ut [1]. Många av dessa föremål finns kvar i hushållen och skulle därför fortfarande kunna bidra till kadmiumutsläpp.

En intressant frågeställning är om diskmaskinen och metallföremål som är tillverkade av rostfritt materiel på något sätt kan bidra till kadmiumutsläpp. I ett fall i denna undersökning togs prov på diskvatten från en diskmaskin med ren disk som diskats ytterligare en gång för att utesluta matresters bidrag. Detta vatten hade en halt på 0,2 µg Cd/l. I en annan studie gjord av Miljöförvaltningen ger diskmaskin utan diskmedel och diskgoods samma halt 0,2 µg Cd/l [16]. Detta kan tyda på att diskmaskinens rostfria ytor släpper ifrån sig lite kadmium vid disk. Rostfria materiel anses generellt ha en kadmiumhalt på < 5ppm [42].

Diskvatten kommer i kontakt med många föremål av olika material. Förr var det vanligt att använda kadmium som stabilisator i PVC-plaster [37] och som pigment i keramiska material [1]. Även om användningen är förbjuden sedan 1982 så finns hushållsprodukter av PVC och keramik kvar från 70-talet i många hem. En del matrester tillförs också diskvattnet med varierande mängd kadmium beroende på ursprung.

9.2.3 Textiltvätt

Tvättmedlen innehåller till viss del kadmium. Analys av två ledande tvättmedelsmärken, ett fosfatbaserat och ett zeolitbaserat tvättmedel, som användes i 8 fall av 11 i denna undersökning, visar att kadmiumhalten är lägre än 0,05 mg/kg TS. Enligt Kemikalieinspektionen (1994) använder vi 5,8 kg tvättmedel per person och år i Sverige [10]. Med utgångspunkt från detta ger tvättmedel maximalt ett bidrag till reningsverken i Stockholm på 0,27 kg/år.

Tvättmedelsanalyser gjorda av Stockholm Vatten 1996 visar att både fosfat- och zeolitbaserade tvättmedel innehåller en del kadmium med högst halt i fosfattvättmedlen [5]. Medelvärde för de undersökta tvättmedlen, exklusive två märken som var under detektionsgränsen, var 0,25 mg/kg TS. Vid en beräkning med kemikalieinspektionens uppgift om en användning av 5,8 kg tvättmedel/p,år och 0,25 mg Cd/kg tvättmedel blir det årliga bidraget till Stockholms reningsverk 1,3 kg.

Även om kadmium är förbjudet att användas inom klädtillverkning har det förekommit att kläder med PVC importerade från Asien har innehållit kadmium som stabilisator [4]. I en undersökning av kläder i Danmark visade sig 10 av 22 klädesplagg innehålla kadmium. Den högsta halt som uppmättes var 18mg/kg kläder vilket var i ett plagg med PVC-tryck [17]. Se bilaga 4 för övriga resultat från den danska undersökningen.

Textilimportörerna är en branschorganisation som tagit fram en handledning till inköpsvillkor för kemikaliehalter i textilier. I den står att gränsvärdet är 0 för tillsats av kadmium i kläder. Dock står det att kadmium ofta är använd som stabilisator för plaster i dragkedjor och knappar [34]. Om detta användningsområde är vanligt för kadmiumstabilisatorer är det troligt att de också ger ett bidrag av kadmium i samband med textiltvätt.

9.2.4 Matlagning

Som tidigare nämnts innehåller livsmedel kadmium vilket gör att även matlagning bidrar till kadmium i avloppsvattnet. Slitage av matlagningsredskap som kastruller och stekpannor skulle också kunna utgöra en möjlig källa.

9.2.5 Avtorkning av diskbänk

Vatten som använts vid avtorkning av diskbänk har givit en av de högsta halterna. Detta förstärker misstanken om att rostfritt stål innehåller betydande mängder kadmium. Andra tänkbara källor är matrester och själva disktrasan. Inga separata undersökningar har gjorts på disktrasan.

9.2.6 Dusch

I samband med dusch använts ett antal hygienprodukter som det har visat sig i undersökningar innehåller varierande mängd kadmium. T.ex. mjällschampo innehåller höga halter kadmium och den troligaste förklaringen till detta är det höga zinkinnehållet [4]. Det har visat sig att andra produkter som innehåller zink också kan innehålla kadmium. Bertil Krakenberger på Kemi & Miljö AB uppger att produkter som t.ex. solskyddsmedel, tandkräm, barnsalvor och mjällschampo kan innehålla zink (se bilaga 7). Armaturen som i vissa fall innehåller mässing skulle också kunna lösa ut kadmium i små mängder.

9.2.7 Tvättställ

Avloppsvatten från tvättställ har ungefär samma kadmiumhalter som duschvatten. Möjliga källor är även för detta vatten hygienprodukter och armatur av mässing.

9.2.8 Oanvänt spolvatten från toalett

Spolvatten från toalettstolen har visat sig kunna ge mycket små kadmiumhalter nära detektionsgränsen samtidigt som andra prover har en halt som är hög för att vara oanvänt vatten. Vid ett tillfälle togs ett prov direkt från cisternen vilket innehöll sediment från botten. Detta prov innehöll 5,8 µg Cd/l vilket kan jämföras med de andra toalettproverna som innehöll 0,06-0,2 µg Cd/l. Sedimentet är troligen ett resultat av korrosion och utlakning från dricksvattenledningar där kadmium kan förekomma som spårämne. Även om sedimentet innehåller mycket kadmium betyder inte det att halten skulle vara högre i det vatten som spolas bort jämfört med dricksvatten om det inte finns någon kadmiumkälla i själva toalettstolen.

Toaletter som är tillverkade under de senaste decennierna innehåller främst armatur som är tillverkad av plastdetaljer som enligt uppgift är fria från kadmium [41]. De metaller som kan förekomma är järn som rostfritt stål i små mängder och mässing. Den mässing som förekommer finns i bultarna som sticker upp i botten och drar fast cisternen [41]. Detta skulle kunna vara en tänkbar kadmiumkälla i spolvattnet från toaletten. Själva godset i toalettstolen består av lera, fältspat och kvarts [43]. Det är möjligt att kadmium finns med som spårämne bland dessa mineraler. I äldre toalettstolar tillverkade på 50- och 60-talet förekommer koppar i armaturen. Bland annat så består bottenventilerna i dessa stolar av koppar.

9.2.9 Golvtorkning

Deponerat kadmium från luften är en tänkbar källa. Även skurmedel innehåller kadmium men troligtvis inte så mycket att det dominerar kadmiuminnehållet i använt skurvatten.

9.2.10 Dammtorkning

Deponerat kadmium är en trolig källa till kadmium i dammtorkningsvatten. Då föremål med högt kadmiuminnehåll torkas av bidrar även dessa med kadmium. I ett fall torkades tavelramar innehållande zink av. Det analyserade provet innehöll höga zink- och kadmiumhalter.

9.2.11 Konstnärsfärger

Konstnärsfärger är som tidigare nämnts undantagna från förbudet. Analyser av konstnärsfärger gjorda av Stockholm Vattens laboratorium visar att vissa konstnärsfärger innehåller upp till 45 % rent kadmium. Enligt uppgift från ColArt säljer de konstnärsfärger med 150 kg kadmium varje år. 30-40 % av försäljningen sker i Stockholm vilket motsvarar 45-60 kg. ColArt uppskattar sin marknadsandel i Stockholm till 70-80% [40]. Den totala mängden kadmium som säljs i konstnärsfärger i Stockholm skulle enligt dessa uppskattningar bli 55-85 kg. En betydande del av denna volym riskerar att hamna i avloppet vid penseltvätt.

9.2.12 Kemikalier

Kemikalier som tillförs avloppet kan innehålla kadmium och utgöra en källa till kadmiumutsläpp.

9.2.13 Svartvatten

En dominerande källa till kadmium i hushållspillvatten står svartvatten för som har sitt ursprung från den föda vi äter [4]. Födan i sin tur innehåller som tidigare nämnts kadmium på grund av upptag ifrån marken som tillförts kadmium på naturlig väg och genom mänsklig aktivitet. Toalettpappret som är en del av svartvattnet innehåller också kadmium till viss del. Bidraget till Henriksdals reningsverk uppskattas till 0,12 kg/år [4].

9.2.14 Biltvätt

Bilvårdsanläggningar har visat sig ge ett stort kadmiumbidrag [4]. På samma sätt skulle biltvätt hemma kunna bidra med kadmium till hushållspillvattnet.

9.3 Fosfor

De vatten som innehöll mycket fosfor var de som innehöll fosfatbaserade tvättmedel och matrester dvs diskvatten, spillvatten från matlagning och spillvatten från tvättmaskiner. Resterande spillvatten hade låga fosforhalter.

9.4 De olika beräkningssätten

Resultatet av grävattens undersökningen har presenterats baserade på tre olika beräkningar. Anledningen till det är att visa på hur resultatet förändras när vattenanvändningen i de aktuella hushållen avviker från statistiska data. Den totala spolvattenvolymen under provtagningsdygnet varierar mycket beroende på hur mycket tid som tillbringades i hemmet. Diskmaskin- och tvättmaskinanvändning under ett år kan vara svår att uppskatta. Alternativa beräkningar har också gjorts för vatten som används för personlig hygien.

I den första alternativa beräkningen används uppgifter om vattenanvändning från VAV. Uppgifterna baseras på en undersökning från 1975 [31]. Många förändringar har skett sedan dess. Vattensnålare armaturer, diskmaskiner och tvättmaskiner har kommit sedan dess. Toaletterna är mer snålpolande. Andra förändringar kan också ha skett under 25 år vad gäller vanor vid vattenanvändning. Det finns risk att vattenförbrukningen inte är så stor som här anges vilket kan medföra att de framräknade mängderna är för höga.

I den andra alternativa beräkningen används uppgifter om vattenförbrukning från en undersökning gjord i Halmstad 1999. Dessa värden är mer aktuella och möjligen mer realistiska. Stora skillnader uppkommer t.ex. när den redovisade spolvattenförbrukningen i toalett anges som 54 liter per person och dag jämfört med uppmätta 18 liter i samband med provtagningen. Vissa användningsområden för vatten sker även utanför hushållet, främst toalettanvändning och hygientvätt. Undersökningens resultat är för dessa områden därför mycket beroende av den tid som spenderas hemma.

9.5 Felkällor

I och med att provtagningen har utförts av de boende själva skiljer sig provtagningsförfarandet mellan hushållen. Alla provtagare är individer som har olika vanor som ej går att förutsäga varför egna tolkningar av instruktionen blir nödvändig.

Av praktiska skäl har samma provtagningsutrustning använts för samma typ av spillvatten varför viss kontaminationsrisk föreligger trots ursköljning med kallt vatten

Mätosäkerheten för kadmiumanalyserna ligger på 10 % och för fosforanalyserna på 5-16 %. Se avsnittet analysmetoder för noggrannare beskrivning av mätosäkerheten.

10 Slutsatser

Det visade sig i undersökningen att de källor som gav högst kadmiumhalter inte nödvändigtvis gav stort bidrag. Golv- och dammtorkningsproverna vars kadmiuminnehåll var relativt högt ger små bidrag totalt sett på grund av liten vattenanvändning.

Duschvatten plus övrigt vatten för hygien gav mycket små halter men utgör ändå en betydande del av bidraget till hushållspillvatten på grund av att så stora volymer vatten används till hygien.

Textiltvätt dominerar bidraget av kadmium till gråvatten. Här finns många tänkbara källor, som den rostfria trumman, färg i kläder, stabilisatorer i knappar och dragkedjor och metallföremål på kläder, som är svåra att kvantifiera inbördes.

Disk ger ett kadmiumbidrag på 10-30 %. Frågan om vilket bidrag de rostfria ytorna och föremålen ger kvarstår dock fortfarande.

Spolvatten i toalettstolen har visat sig kunna ge mycket små kadmiumhalter nära detektionsgränsen samtidigt som andra prover har en halt som är hög för att vara rent vatten. Underlaget för toalettproverna är litet med stor spridning vilket gör att osäkerheten är stor.

11 Förslag till fortsatt arbete

Dricksvattenledningars och diverse installationers bidrag av kadmium skulle kunna undersökas genom att prover tas på oanvänt vatten på olika ställen i hushållet. Analysmetoder med lägre detektionsgränser än i denna undersökning skulle dock krävas.

Det är oklart om det förekommer gamla PVC-rör med kadmium som stabilisator på Stockholm Vattens ledningsnät. En sådan undersökning skulle kunna avgöra om denna kadmiumkälla existerar eller ej.

På 70-talet gjordes undersökningar på utlösning av kadmium från tallrikar, fat mm i glaserad keramik [1] vilka visade sig innehålla en del kadmium. Liknande undersökningar skulle kunna göras om och även inkludera andra föremål som kommer i kontakt med vatten i hushållen för att se om situationen har förändrats. Innehållet är förhoppningsvis lägre i nyare produkter.

Olika rengöringsmedels- och hygienprodukter har visat sig innehålla kadmium. Orsaken är troligtvis att produkterna ofta innehåller zink. Det vore intressant att se om det finns ett samband mellan kadmiumhalt och zinkhalt i dessa produkter. Ifall ett samband råder så är den ursprungliga källan av kadmium i produkterna spårad.

Tvättmedelsanalyserna som gjordes 1996 hade högre halter än de som gjordes i denna undersökning. En undersökning ifall Cd-halten i tvättmedel har minskat på senare år vore intressant.

Frågetecken kvarstår varför spolvattenproverna från toaletter gav förhöjda värden. Undersökningar av godset som består av fältspat, kvarts och lera skulle kunna undersökas närmare.

12 Referenser

12.1 Litteratur

- [1] Beckman, I, 1979. Utlösning av bly och kadmium i keramiskt och emaljerat hushållsgods. Statens naturvårdsverk.
- [2] Bergström, A., Bohman, L., Ekman, B., Olsen Sjöström, I., Sang, B., Stenberg, C., Thörnelöf, S., 1999. Källor till föroreningar i dagvatten i Stockholm. Stad Del 1 Metaller. Dagvattenstrategi för Stockholm. Gatu- och fastighetskontoret, Miljöförvaltningen, Stadsbyggnadskontoret, Stadsdelsförvaltningarna, Stockholm Vatten AB.
- [3] Ekvall, A., Kadmiums kretslopp från slam till mat. (Ej utgivet).
- [4] Enskog Broman, L., 2000. Kadmium – miljö- och hälsoaspekter vid slamspridning
- [5] Enskog Broman, L. 2000. Kadmium i hushållsprodukter
- [6] Eriksson, J., Petersson-Grawe, P., Öborn, I., 1997. Kadmium - tillstånd och trender. SNV Rapport 4759.
- [7] Hannerz, Nils, 1998. Systemorienterad kommunal hantering av kadmium m.h.a. materialflödesanalys. Examensarbete TRITA-KET-IM 1998:20, Avdelningen för Industriellt miljöskydd, KTH, Stockholm.
- [8] Herrman, M., Larsson, P-O. Hushållens dricksvattenförbrukning i Halmstad 1999.
- [9] Järup, L., Berglund, M., Elinder, C. G., Nordberg, G., Vahter, M., 1998. Health effects of cadmium exposure- a review of the litterature and risk estimate. Scandinavian Journal of Work, Environment & Health, vol 24, supplement 1.
- [10] Kemikalieinspektionen, 1994. Tvätt- disk- och rengöringsmedel – redovisning av ett regeringsuppdrag. Kemikalieinspektionen rapport 2/97.
- [11] KIFS 1998:8 Varor som innehåller kadmium, 9 kap. 2 §
- [12] Koch, M., Rotard, R. On the contribution of background sources to the heavy metal content of municipal sewage sludge.
- [13] Kärman, E., Jönsson, H., Gruvberger, C., Dalemo, M., Sonesson, U. & Stenström, T-A., 1999. Miljösystemanalys av hushållens avlopp och organiska avfall – syntes av hanteringssystem undersökta inom FoU-programmet ”Organiskt avfall som växtnärsresurs”. VA-forsk Rapport 1999:15.
- [14] Lindqvist, A., 1999. Flöden och förråd av kadmium i en region. Industriell miljöteknik, Linköpingsuniversitet, 1999:1.
- [15] Lohm, U. Et al. 1997. Databasen Stockhome – Flöden och ackumulation av metaller i Stockholms teknosfär. Tema V, Rapport 25.

- [16] Miljöförvaltningen, 1992. Tungmetaller i tappvatten – en förstudie från miljöförvaltningen i Stockholm.
- [17] Miljøstyrelsen Danmark, 2000. Kemikalier i tekstiler. Miljøstyrelsen miljøprojekt Nr. 534.
- [18] National Chemicals Inspectorate, 1998. Cadmium exposure in the Swedish environment. Report 1/98.
- [19] Nationalencyklopedin, Band 10, 1993
- [20] Palmquist, H., Hanæus, J., 2001. Hazardous substances in grey- and blackwater from households at Vibyåsen housing area, Sweden.
- [21] SFS 1997:645. Förordning om batterier. Svensk författningssamling.
- [22] SFS 1998:944. Förordning om förbud m.m. i vissa fall i samband med hantering, införsel och utförsel av kemiska produkter. Svensk författningssamling.
- [23] SNFS 1994:2. Kungörelse med föreskrifter om skydd för miljön, särskilt marken, när avloppsslam används i jordbruket.
- [24] SNV (Naturvårdsverket), 1995. Vad innehåller avlopp från hushåll ? Naturvårdsverket rapport 4425.
- [25] SNV (Naturvårdsverket), 1998. Metaller i Stockholm. Naturvårdsverket rapport 4952.
- [26] SNV (Naturvårdsverket), 1999. Kadmium – exponering och effekter på människans hälsa., Temafakta Hälsa och Miljö.
- [27] SNV, VAV & LRF (Naturvårdsverket, Svenska vatten- och avloppsverksföreningen & Lantbrukarnas riksförbund), 1995.- Användning av avloppsslam i jordbruket. Naturvårdsverket rapport 4418.
- [28] Stockholm Vatten AB, 2000. Basstatistik 2000, Ledningsnät.
- [29] Stockholm Vatten AB, 2001. Miljörapport 2000. Regnr 240-439, 2001-03-01/MV-01122.
- [30] Svenska Lantbruksuniversitetet, 2001. Fakta Jordbruk nr 7 2001.
- [31] Svenska Vatten- och Avloppsverksföreningen, VAV, 1975. Vattenprognos 1975 – 2000. Riktvärden vid dimensionering av kommunala vattenförsörjningsanläggningar. VAV Publikation P30.
- [32] Svenska vatten- och avloppsverksföreningen, VAV, 2001. Fakta om vatten och avlopp.
- [33] Svensk Standard SS 02 81 27, Vattenundersökningar – Bestämning av totalfosfor i vatten – Uppslutning med Kaliumperoxodisulfat. SIS – Standardiseringskommissionen i Sverige.

[34] Svensk Standard SS 02 81 83, Vattenundersökningar – Metallhalt i vatten, slam och sediment – Bestämning med flamlös atomabsorptionsspektrometri – Elektrokemisk atomisering i grafitugn – Allmänna principer och regler. SIS – Standardiseringskommissionen i Sverige.

[35] Svensk Standard SS 02 81 84, Vattenundersökningar – Metallhalt i vatten, slam och sediment – Bestämning med flamlös atomabsorptionsspektrometri – Speciella anvisningar för aluminium, bly, järn, kadmium, kobolt, koppar, krom, mangan och nickel. SIS – Standardiseringskommissionen i Sverige.

[36] Weglin, J., 1999. Mätning på källsorterat avloppsvatten och fast organiskt avfall i miljöhuset Ekoporten, Norrköping. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbruksteknik.

[37] Westergård, B., 1978. Undersökning av vissa konsumtionsvarors innehåll av bly, kadmium och kvicksilver. SNV Rapport 1060.

[38] Vinnerås, B., Jönsson, H., & Weglin, J., 2001. The composition of biodegradable solid household waste and wastewater – flow of nutrients and heavy metals. Swedish University of Agricultural Science, Department of Agricultural Engineering.

[39] Östsvenska Kommunforskningsrådet, 1996. Dokumentation från seminariet: Kadmium – användning och föroreningsproblem.

12.2 Muntliga källor

[40] Agneta Bergström, Stockholm Vatten AB

[41] Gunnar Lundmark, Gustavsberg

[42] Helena Axelsson, Jernkontoret

[43] Hans Magnusson, Nordic Brass

[44] Sten Wahlgren, Meltolit AB

12.3 Internetsidor

[45] http://finans.regeringen.se/HUT/hallbarutveckling/energi_miljoskatter.htm

[46] <http://www.batteriforeningen.a.se>

[47] <http://www.viron.se>

[48] <http://www.miljomedicin.gu.se>

[49] <http://www-umea.slu.se/miljodata/akermark/karbonat.htm>

Bilagor

Bilaga 1: Kadmiumhalter i analyserat BDT-vatten

Bilaga 2: Tillförd mängd kadmium per person & reningsverk

Bilaga 3: Fosforhalter i analyserat BDT-vatten

Bilaga 4: Kadmium i textilier (Danmark)

Bilaga 5: Analys av tvättmedel

Bilaga 6: Undantag från kadmiumförbudet

Bilaga 7: Hygienartiklar innehållande zink