



**KTH Land and Water  
Resources Engineering**

Dagvattnets påverkan på grundvatten- och ytvattenkvaliteten

---

# **DAGVATTNETS PÅVERKAN PÅ GRUNDVATTEN- OCH YTVATTENKVALITETEN**

**Jakob Rawicki och Alexander Salmonsson**

**Maj 2013**

© Jakob Rawicki och Alexander Salmonsson 2013  
Degree Project  
Department of Land and Water Resources Engineering  
Royal Institute of Technology (KTH)  
SE-100 44 STOCKHOLM, Sweden

## 1. TILLKÄNNAGIVANDEN

Vi vill tillägna vår handledare Ann-Catrine Norrström ett stort tack för all hjälp och handledning under arbetets gång. Ett lika stort tack riktas till Tonie Wickman på miljöförvaltningen, Stockholms stad och Ulla Mörtberg, KTH.

Tack!



## 2. SUMMARY

With the increasing migration of people to cities, more and more land, both farm and rural is being transformed to urban areas. Therefore the growing demands for sustainable storm water management. Storm water contains high levels of heavy metals and other pollutants that often flows untreated into recipients such as waterways or infiltrates the soil and on down to the ground water. If poor quality stormwater is continued to be emptied into the nature without purification treatment then there is a great threat to the quality of lakes, rivers and seas and protective actions should be initiated to prohibit continued contamination.

Historically, storm water has often been diverted directly to a recipient, resulting in addition to the increased pollution load also to a disturbed water balance in both the input receiving waters and the areas dewatered. By instead allowing storm water to infiltrate locally into the ground or divert it for purification into a sewage plant, pollution levels can be reduced. This in turn will result in a long term improvement of receiving water bodies. However, there are problems with infiltration in terms of potential contamination of the groundwater. With the purification in sewage plants the problem of disturbed water balance remains, while the cleansing effect in such plants decreases with increased inflows.

In 2012 the municipality of Stockholm compiled data concerning the concentration of pollutants in groundwater in the Stockholm area. By comparing these data with standard values for storm water pollution levels, attempts have been made in this report to demonstrate different soil types importance for natural soil purification capabilities. Likewise studies with regard to land use, pH and soil depth were performed in the same order.

The results of this report are inconclusive with respect to determining a relationship between the groundwater quality, storm water quality and soil type. The only conclusion that could be drawn was that water quality increases as the thickness of soil increases and the depth to the water table increases. To infiltrate storm water is generally preferable compared to diverting it as long as there is sufficient space, and the land in question is suitable for it in terms of properties such as hydraulic conductivity, soil depth and pH.

**Key words: storm water management, purification, soil types, recipient, urban areas**



### 3. SAMMANFATTNING

I och med att inflyttningen till städer ökar och allt mer mark bebyggs ställs det allt större krav på en hållbar dagvattenhantering. Dagvattnet innehåller höga halter av tungmetaller och andra miljöskadliga ämnen som ofta rinner orenat till vattendrag, mark och vidare ner till grundvattnet. I många urbana områden är läget sett till vattenkvaliteten allvarlig och skyddsåtgärdande insatser bör övervägas.

Historiskt sett har dagvattnet ofta avletts direkt till en recipient så som sjöar och vattendrag. Detta leder förutom till en ökad föroreningsbelastning även till en störd vattenbalans i både de tillförda recipienterna och de områden som avvattnas. Genom att istället låta dagvattnet infiltrera lokalt i mark eller leda bort det för rening i reningsverk kan föroreningshalterna minskas och vattenkvaliteten i recipienter förbättras på längre sikt. Det föreligger emellertid problem med infiltration ifråga om eventuell grundvattenpåverkan. Med rening i reningsverk avhjälpas inte problemet med störd vattenbalans samtidigt som reningseffekten försämras vid ökade tillflöden.

Stockholms stad sammanställde år 2012 data över föroreningshalter i grundvattnet i ett antal punkter runt om i Stockholmsområdet. Genom att jämföra dessa data med schablonvärden för dagvattenföroreningshalter har i denna rapport försök gjorts att påvisa olika jordarters betydelse för markens naturliga reningsförmåga. Även undersökningar med avseende på markanvändning, pH och jorddjup har utförts i samma syfte.

Från resultaten har inte några slutsatser som stämmer överrens med de markegenskaper som inverkar vid den naturliga reningen kunnat dras, annat än den som gäller avtagande föroreningshalter med ökat jorddjup till grundvattennivån. De slutsatser som ändå har dragits i rapporten grundar sig främst på litteraturstudie. Att infiltrera dagvattnet är generellt sett att föredra så länge det finns utrymme till det samt marken ifråga lämpar sig för det vad gäller egenskaper så som hydraulisk konduktivitet, jorddjup och pH.

**Nyckelord: dagvattenhantering, rening, jordarter, recipient, urbana områden**





## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<b>1.</b>	<b><i>Tillkännagivanden</i></b>	<b><i>iii</i></b>
<b>2.</b>	<b><i>Summary</i></b>	<b><i>v</i></b>
<b>3.</b>	<b><i>Sammanfattning</i></b>	<b><i>vii</i></b>
<b>4.</b>	<b><i>Abstrakt</i></b>	<b><i>1</i></b>
<b>5.</b>	<b><i>Inledning</i></b>	<b><i>2</i></b>
<b>5.1.</b>	<b>Syfte</b>	<b><i>2</i></b>
<b>5.2.</b>	<b>Frågeställningar</b>	<b><i>2</i></b>
<b>5.3.</b>	<b>Genomförande</b>	<b><i>2</i></b>
<b>6.</b>	<b><i>Bakgrund</i></b>	<b><i>2</i></b>
<b>6.1.</b>	<b>Miljömål</b>	<b><i>2</i></b>
<b>6.2.</b>	<b>Dagvatten</b>	<b><i>3</i></b>
<b>6.3.</b>	<b>Grundvatten</b>	<b><i>3</i></b>
<b>6.4.</b>	<b>LOD</b>	<b><i>4</i></b>
<b>6.5.</b>	<b>Ämnen i dagvattnet</b>	<b><i>5</i></b>
6.5.1.	Näringsämnen	<i>5</i>
6.5.2.	Metaller	<i>5</i>
6.5.3.	Oljor	<i>6</i>
6.5.4.	Organiska miljögifter	<i>6</i>
6.5.5.	Bakterier	<i>6</i>
6.5.6.	Gränsvärden	<i>6</i>
<b>7.</b>	<b><i>Metod</i></b>	<b><i>7</i></b>
<b>7.1.</b>	<b>Litteraturstudie</b>	<b><i>7</i></b>
<b>7.2.</b>	<b>Analysmetodik</b>	<b><i>7</i></b>
<b>8.</b>	<b><i>Dagvattenhantering</i></b>	<b><i>9</i></b>
<b>8.1.</b>	<b>Direkt avledning</b>	<b><i>9</i></b>
8.1.1.	Kombinerade system	<i>9</i>
8.1.2.	Separerade system	<i>9</i>
<b>8.2.</b>	<b>Infiltration i mark</b>	<b><i>9</i></b>
8.2.1.	Utfällningar	<i>10</i>
8.2.2.	Adsorption	<i>10</i>
8.2.3.	Krav	<i>11</i>
<b>8.3.</b>	<b>Anläggningar</b>	<b><i>11</i></b>
8.3.1.	Perkolationsmagasin	<i>11</i>
8.3.2.	Avsättningsmagasin	<i>12</i>
8.3.3.	Dräneringsstråk	<i>12</i>
8.3.4.	Perkolationsbrunn	<i>13</i>
8.3.5.	Brunnsfilter	<i>13</i>
8.3.6.	Oljeavskiljare	<i>14</i>
8.3.7.	Gröna ytor	<i>14</i>
8.3.8.	Gröna tak	<i>15</i>
8.3.9.	Våta dammar	<i>15</i>
8.3.10.	Permeabel asfalt	<i>16</i>
<b>8.4.</b>	<b>Flödesdimensionering</b>	<b><i>16</i></b>
<b>9.</b>	<b><i>Fallstudie – Stockholms stads dagvattenstrategi</i></b>	<b><i>17</i></b>
<b>9.1.</b>	<b>Dagvattnets påverkan på recipienter</b>	<b><i>19</i></b>
9.1.1.	Recipientklassificering	<i>19</i>
9.1.2.	Recipientbeskrivning	<i>20</i>
<b>10.</b>	<b><i>Resultat</i></b>	<b><i>28</i></b>
<b>10.1.</b>	<b>Föroreningshalter i grundvattnet med avseende på jordart</b>	<b><i>28</i></b>

---

<b>10.2.</b>	<b>Föroreningshalter i grundvattnet med avseende på markanvändning</b>	<b>30</b>
<b>10.3.</b>	<b>Föroreningshalter i grundvattnet med avseende på grundvattennivån</b>	<b>32</b>
<b>10.4.</b>	<b>Föroreningshalter i grundvattnet med avseende på pH</b>	<b>33</b>
<b>10.5.</b>	<b>Procentuellt innehåll av dagvattnets föroreningshalter i grundvattnet i olika jordarter</b>	<b>34</b>
<b>11.</b>	<b><i>Diskussion</i></b>	<b>36</b>
<b>12.</b>	<b><i>Slutsats</i></b>	<b>39</b>
	<b><i>Källförteckning</i></b>	<b>40</b>
	<b><i>Bilagor</i></b>	<b>42</b>
	<b>Bilaga 1</b>	<b>42</b>

#### 4. ABSTRAKT

I urbana miljöer krävs en väl fungerande dagvattenhantering för att minska föroreningsbelastningen på yt- och grundvatten. I många områden är vattenkvaliteten försämrad på grund av att dagvatten med höga halter föroreningar tillåts rinna orenat direkt till recipient.

Dagvattnet kan generellt sett hanteras på två sätt. Avledning och infiltration. Genom att infiltrera dagvattnet utnyttjas markens naturliga reningsegenskaper samtidigt som problem med störd vattenbalans vilket kan uppkomma vid avledning undviks.

Undersökningarna i denna rapport grundar sig på data från miljöförvaltningen, Stockholms stad, gällande föroreningshalter i grundvattnet. Det som har undersökts är olika markegenskapers betydelse för rening av dagvattnet vid infiltration.

Markegenskaper som har visat sig vara av betydelse vid avgörandet huruvida dagvattnet bör avledas eller infiltreras är kornstorlek, jorddjup, pH samt markanvändning. Några andra viktiga faktorer att ta hänsyn till är platstillgänglighet för infiltrationsanläggningar samt storlek och vattenomsättning hos recipienterna i tillrinningsområdet vid avledning.

## 5. INLEDNING

Allt mer mark tas i anspråk för exploatering för att kunna tillgodose storstädernas tillväxt. I och med detta ökar andelen hårdgjorda ytor och med detta också avrinningen av nederbörden i form av dagvatten. Dagvattnet innehåller föroreningar från alla typer av mänskliga aktiviteter varav de föroreningar som kan kopplas till trafiken utgör en betydande del (Stockhoms stad, 2001).

Beroende på hur effektivt dagvattnet renas och leds bort kan vi förvänta oss att olika stora mängder av dess föroreningar på ett eller annat sätt letar sig ned till grundvattnet och därifrån vidare ut i våtmarker, sjöar och andra typer av recipienter. För att kunna leva upp till det av Sveriges riksdags satta miljömål ”Grundvatten av god kvalitet”, som i stora drag innefattar just det namnet säger, ett säkerställande av grundvattnets kvalitet både vad gäller dess beskaffenhet som dricksvatten för oss människor och dess bidrag till en god livsmiljö för växter och djur, är det viktigt att mätningar och kartläggning av dagvattnets påverkan på grundvattnet utförs och följs upp.

Hantering av dagvattnet kan generellt ske på två sätt, *avledning* eller *infiltration*. Vilken metod som lämpar sig bäst för specifika områden beror av ett flertal faktorer som presenteras i denna rapport.

### 5.1. Syfte

Det övergripande syftet med detta kandidatexamensarbete är att undersöka hur dagvattnet påverkar grundvattenkvaliteten i urbana miljöer för att sedan avgöra ifall det bör låtas infiltreras i marken på plats eller ledas bort för vidare rening.

### 5.2. Frågeställningar

Frågeställningen lyder som följer:

- Bör dagvattnet omhändertas lokalt (LOD) eller ledas bort?
  - Hur påverkar föroreningar i dagvatten grundvattenkvaliteten vid LOD?
  - Hur påverkar förekomst av markföroreningar möjligheten till LOD?
  - Vid bortledning av dagvatten: Vilka konsekvenser kan man räkna med:
    - vad gäller sänkt grundvattennivå?
    - gällande vattenkvaliteten i recipienterna, då dagvatten leds till sjö/vattendrag?
    - i reningsverken då dagvattnet leds till reningsverk?

### 5.3. Genomförande

Kandidatexamensarbetet bygger på litteraturstudier kring dagvattenhanteringsmetoder i urbana miljöer och en fallstudie där en inblick i Stockholms stads dagvattenstrategi ges.

Med data från miljöförvaltningen gällande ämneshalter i grundvattnet har en undersökning gjorts med avseende på jordartens, markanvändningens, jorddjupets samt pHs betydelse för dagvattenreningen vid infiltration i mark.

## 6. BAKGRUND

### 6.1. Miljömål

Detta avsnitt bygger på SGUs rapport Bedömningsgrunder för grundvatten (2013).

”Grundvatten av god kvalitet” är ett av de 16 nationella miljömål antagna av riksdagen som ska fungera som riktlinjer mot en hållbar utveckling.

Modeller av ekologiskt hållbara samhällen görs för att översiktligt beskriva hur arbetet ska läggas upp för att uppnå målen. Tanken är att dessa ska uppnås inom en generation, men då återhämtningen från miljöproblem kan vara långsam är definitionen av "en generation" otydlig. Målet är att efter varje generation ska de stora miljömålen vara lösta innan nästa generation tar över.

Huvudansvaret för miljömålet "Grundvatten av god kvalitet" ligger hos Sveriges geologiska undersökning (SGU). Deras uppgift är att dela upp målet i mindre delmål med åtgärder som ska bidra till att miljö kvalitetsmålet uppnås. SGU ska även komma med förslag på uppföljningsmått.

Miljö kvalitetsmålet går ut på att försörja ett samhälle med vatten av god kvalitet i tillräckliga mängder. Detta ska uppnås utan att ekosystemet och den biologiska mångfalden blir lidande, då grundvattnet har en livsviktig roll för både växter och djurliv. Den mänskliga förbrukningen får inte heller överskrida den mängd då grundvattennivån sänks och äventyrar ekosystemets funktion.

Det största problemet som ska åtgärdas är den kemiska sammansättningen i grundvattnet som långsamt har förändrats. Grundvattnet påverkas dagligen av föroreningar från bland annat dagvattnet vilket leder till en försämring av grundvattnets kvalitet. Enligt regeringens uppgifter är det rimligt att uppnå de överenskomna miljö kvalitetsmålen inom en generation, undantaget är de som gäller försurning och kväveläckage från jordbruket där en återhämtning beräknas ta längre tid.

## 6.2. Dagvatten

Dagvatten kan allmänt beskrivas som det regn-, smält- och spolvatten som ansamlas och flödar på och kring hårdgjorda ytor eller genomsläpplig mark. Det leds vanligen via diken eller ledningar bort till en recipient så som sjöar, vattendrag eller reningsverk (Stockholms stad, 2002).

I urbana miljöer kan stora vattenansamlingar leda till direkta problem så som vattendränkta gator, källaröversvämningar och vattensjuk mark. Ett annat problem rör spridningen av de föroreningar dagvattnet bär med sig. Beroende på i vilken typ av miljö dagvattnet uppkommer, bär det med sig olika stora mängder av dessa föroreningar. Föroreningssammansättningen kommer av vilken typ av aktivitet som utövas i det aktuella området. Den enskilt största föroreningsskällan är trafiken med slitage både på fordon samt vägbanor. Därtill tillkommer många andra enskilda föroreningsskällor, exempelvis industriutsläpp samt hustak som beroende på material kan bidra till t ex koppar- och zink- tillförsel till dagvattnet (Stockholms stad, 2001).

## 6.3. Grundvatten

Hela detta avsnitt bygger på Knutsson och Morfeldt (2002) och tar upp grundläggande principer bakom grundvattenbildningen.

Vatten är en av de största förutsättningarna för liv på jorden och klassas därmed som vår nödvändigaste tillgång. Förutom att grundvattnet utgör en stor del av vårt dricksvatten är det även betydelsefullt för växt- och djurliv, jordbruksbevattning och ett fungerande industrisamhälle. Den mänskliga utvecklingen har inte alltid gynnat grundvattenkvaliteten, föroreningar från industrier och bilar bl.a, vårdslöst användande av denna resurs har på många håll rubbat vattenbalansen.

Vattnets goda löslighetsegenskaper utgör en livsviktig del för ekosystemet då det transporterar och sprider nödvändiga ämnen i naturen. Samtidigt är det ännu ett växande problem för dagens samhälle då föroreningar från bilar, olyckor, och industrier löses upp och sprids lika snabbt

och försämrar grundvattenkvaliteten. Därför utgör grundvatten nuförtiden en central del vid planering, projektering och underhåll av nya anläggningar.

Grundvattnet förekommer i både jord och berg. I jorden rör sig grundvattnet i porer mellan partiklar och korn. Hastigheten som vattnet rör sig i marken beror därför av storleken på partiklarna. Små partiklar som exempelvis lera eller silt är svårgenomträngliga medan större korn i sand och grus har en hög hydraulisk konduktivitet.

I berggrunden är även sprickförekomst av stor betydelse för dess grundvattenmagasineringsförmåga. Detta gäller främst för kristallina bergarter så som exempelvis granit och gnejs vars mineralkorn är relativt små och så pass hårt packade att vattengenomsläppligheten i princip kan betraktas som obefintlig. I porösare bergarter, så som kalkstenar och sandstenar kan man i vissa fall faktiskt hitta betydande mängder grundvatten i porsystemet och därför klassa dem som porakviferer. Det är vanligt att sprickor spelar en stor roll även i dessa bergarter och därför klassas de som en kombination av både porer och sprickor, por- och sprickakviferer. I lättvittrade bergarter (ex. kalksten, marmor, dolomit) kan karst bildas vilket är av en stor betydelse för grundvattenförekomsten. Karst är hålrum i berget bildade av kemisk vittring och erosion av rinnande vatten, då framförallt i sprickor, och kan storleksmässigt utgöra allt från små håligheter till stora grottor och kanaler.

Vad gäller porakviferer i jordlager skiljs osorterade och sorterade jordarter åt. Till de sorterade hör bland annat isälvsavlagringar vilka är av stor betydelse för grundvattenförekomsten i Sverige. Morän, som täcker ca ¾ av Sveriges berggrundsytta är en typiskt osorterad jordart och generellt sett en dålig akvifer.

Då grundvattenbildningen är beroende av nederbörd utgör markens hydrauliska egenskaper en betydande faktor. Svårgenomträngliga jordar så om lera och silt begränsar grundvattenbildningen vilket kan anses vara negativt, men i många fall, speciellt i storstäder där nederbörden för med sig föroreningar samt risken för olyckor finns, är den låga hydrauliska konduktiviteten i marken till viss grad önskvärd, i reningssyfte. Dagvattnet som infiltrerar i marken kommer att transporteras (perkolera) ner i grundvattenzonen mycket snabbare i grovkorniga jordar.

#### 6.4. LOD

LOD står för "lokalt omhändertagande av dagvatten" och är en dagvattenhanteringsmetod som går ut på att försöka efterlikna naturens egna sätt att ta hand om dagvattnet. Genom fördröjning, avdunstning och infiltration i marken strävar man efter att återskapa naturens egna reningprocesser. (Stockholms stad, 2002)

LOD har varit en del av dagvattenplaneringen under en längre tid nu. I Stockholm beslutades det redan 1994 om en LOD – policy som ska gälla vid nya projekt. Denna innebär att dagvatten med låga eller måttliga halter av kartlagda ämnen ska infiltreras eller fördröjas lokalt. Däremot bör detta undvikas om:

- Det finns en risk att föroreningar sprids via det infiltrerade vattnet.
- Området där infiltreringen ska ske ligger i närheten av en känslig recipient eller skyddsvärt grundvatten.
- Det infiltrerade vattnet kan orsaka skada på befintlig bebyggelse. (Stockholms stad, 2002)

## 6.5. Ämnen i dagvattnet

I det här avsnittet listas några av de vanligaste förorenande ämnena som återfinns i dagvattnet. De presenteras med avseende på utsläppskällor och skadeverkan och är indelade i de fem undergrupperna; *näringsämnen*, *metaller*, *oljor*, *organiska miljögifter* och *bakterier*. Hela avsnittet grundar sig på Larm och Pirard (2010).

### 6.5.1. *Näringsämnen*

#### 4.5.1.1. Fosfor (P)

P tillförs dagvattnet huvudsakligen via bräddat avloppsvatten, jordbruksaktiviteter (gödsling, djurspillning), trafikavgaser, erosion av vägbana, skräp, sandning, fordons- och gatutvätt, förmultning av organiskt material samt atmosfäriskt nedfall. Förhöjda halter P bidrar till övergödning (eutrofiering) av sjöar och hav vilket leder till algbloomningar och vidare till syrebrist och döda bottnar. Då fosfor ofta är det tillväxtbegränsande näringsämnet i sjöar är de extra känsliga för förhöjda halter.

#### 4.5.1.2. Kväve (N)

Dagvattnet tillförs i huvudsak N från bräddat avloppsvatten, trafikavgaser, sandning, djurspillning och atmosfäriskt nedfall. Precis som P bidrar N till eutrofiering av sjöar och hav. Till skillnad från fosfor är kvävet det näringsämne som begränsar tillväxten i hav.

### 6.5.2. *Metaller*

#### 4.5.2.1. Bly (Pb)

Pb i dagvattnet härstammar från infrastruktur, skorstenskragar, bromsklossar, bromsbelägg, däck, bilbatterier, asfalt, fordons- och gatutvätt samt atmosfäriskt nedfall. Pb är mycket giftigt för människor och djur. Det bioackumuleras och kan vid högre halter påverka fertilitet och foster.

#### 4.5.2.2. Koppar (Cu)

Cu kommer huvudsakligen från korrosion av byggnadsmaterial (takplåt, stuprör och hängrännor), men även från däck, bromsklossar och bromsbelägg, fordons- och gatutvätt, sandning, båtbottenfärg och atmosfäriskt nedfall. Vattenlevande djur och växter är speciellt känsliga för höga halter Cu.

#### 4.5.2.3. Zink (Zn)

Byggnadsmaterial (takplåt, stuprör, hängrännor, stolpar och räcken), bilkarosser, bromsklossar, däck, erosion av vägbana, fordons- och gatutvätt, sandning och atmosfäriskt nedfall är alla betydande källor till zink-tillförseln i dagvattnet. Precis som för Cu är vattenlevande djur och växter känsliga för förhöjda halter Zn.

#### 4.5.2.4. Kadmium (Cd)

Cd återfinns i dagvatten bl a till följd av att metallen förekommer tillsammans med Zn. Det finns i färgämnen, kommer från erosion av däck och vägbana, fordons- och gatutvätt, sandning, atmosfäriskt nedfall samt som korrosionsprodukt. Förhöjda halter Cd är mycket giftigt för både människor och djur.

#### 4.5.2.5. Krom (Cr)

Dagvattnet tillförs Cr från byggnader, däckslitage från dubbar, korrosion från bildelar och sandning. Cr är en livsnödvändig metall men kan i speciella föreningar vara cancerogent och ha en negativ påverkan på människor, djur och växter.

#### 4.5.2.6. *Nickel (Ni)*

Ni är en produkt som frigörs vid förbränning av fossila bränslen och tillförs på så sätt dagvattnet. Det sprids också via avfallsförbränning, rostfritt stål, bilkarosser, fordonstvätt, batterier, sandning och fasader. Även Ni är livsnödvändigt för vissa organismer men kan precis som Cr även vara cancerframkallande. Det är generellt inte giftigt för människor utan främst för lägre djurgrupper och växtarter.

#### 4.5.2.7. *Kvicksilver (Hg)*

Hg är mycket giftigt för alla organismer och finns i dagvatten till följd av olika typer av varor som innehåller ämnet (kasserade termometrar, batterier, lågenergilampor), sandning, diffus spridning vid avfallshantering, industriutsläpp, atmosfäriskt nedfall och kremering.

#### 6.5.3. *Oljor*

Olja i dagvattnet kommer av oljeutsläpp, läckage från fordon, trafikolyckor, erosion av däck och vägbanor, bensinstationer och från fordons- samt gatutvätt. Olja är skadligt både för människor, djur och växter. Det är exempelvis cancerframkallande.

#### 6.5.4. *Organiska miljögifter*

Polyklorerade bifenyl, PCB, samt polycykliska aromatiska kolväten, PAH, är två stora grupper av organiska miljögifter. De senare kommer bland annat av vedeldning, bilavgaser, bildäck och utsläpp från industrier. PCB blandas i dagvattnet via fogmassor i byggnader, kablar, transformatorer och elkondensatorer. Utsätts människor för höga halter av ämnen från dessa miljögiftgrupper kan det leda till cancer.

#### 6.5.5. *Bakterier*

Bakterier är inte på samma sätt som de ovan beskrivna miljögifterna ett specifikt ämne utan levande organismer. De kommer av bräddat avloppsvatten, djurspillning och av naturens naturliga processer. Bakterier av olika slag i vattnet kan ofta vara skadliga för oss människor på så sätt att bakteriesmittat vatten kan sprida sjukdomar.

#### 6.5.6. *Gränsvärden*

Tabell 1 visar livsmedelverkets gränsvärden för utvalda ämnen i dricksvatten. Värden som överstiger dessa klassas som otjänliga och skadliga för människor. Notera att andra organismer kan påverkas vid lägre halter. Tabellen redovisar också SGUs bedömningsgrunder för grundvatten med avseende på halter som klassas som höga med stark påverkansgrad på omgivningen.

**Tabell 1. Gränsvärden för dricksvatten från livsmedelsverket (2001) och SGUs tillståndsklassning med avseende på "Hög halt" i grundvattnet (2013)**

Ämne	Livsmedelsverket (µg/l)	SGU (µg/l)
Cd	5	1-5
Cr	50	10-50
Cu	2,00E+03	(1,00-2,00) E+03
Hg	1	0,05-1
Ni	20	10-20
Pb	10	2-10
Zn	3,00E+03	(0,10-1,00) E+03
Klorid	1,00E+05	(1,00-3,00) E+05



## 7. METOD

Detta arbete grundar sig dels på en litteraturstudie om i första hand grundvattenkvaliteten men även ytvattenkvaliteten och hur de påverkas av dagvattnet. En andra del är mer projektinriktad och grundar sig på analys av kemiska data över föroreningshalter i dag- och grundvattnet.

### 7.1. Litteraturstudie

Litteraturstudien bygger till stor del på insamlade rapporter i ämnet, men även på kunskap som införskaffats under flera kurser vid KTH i Stockholm, speciellt från kursen AE1602 Hydrologi. En fallstudie där en närmare titt på Stockholms stads dagvattenstrategi har gjorts för att få en verklighetsförankring.

### 7.2. Analysmetodik

År 2012 sammanställde *miljöförvaltningen* vid Stockholm stad analyser gällande föroreningshalter i grundvattnet. 94 prover togs under slutet av 2011 och första halvan av 2012 från förinstallerade grundvattenrör i sammanlagt 77 punkter runt om i Stockholmsområdet. Provrören har ett minimumdjup på 2,30 m och ett maximumdjup på 18,50 m. Medianvärdet är 6,46 m och medelvärdet 7,20 m.

Dessa data sammaställdes sedan i en tabell som vi har fått ta del utav. För att få en klarare bild av provpunkterna användes programmet ArcGIS – ArcMaps. Med hjälp utav angivna koordinater i tabellen som räknades om till ett system som ArcMaps arbetade i kunde exakta positioner placeras ut på en karta över Stockholmsområdet. Med hjälp av datakartor från lantmäteriet innehållande information om jordarter och markanvändning i Stockholms stad kunde alla provpunkter tilldelas information angående just detta. En annan viktig aspekt var att veta hur dessa provpunkter låg i förhållande till känsliga recipienter, därför placerades även dessa ut på kartan. Recipienterna som beskrivs längre fram i



**Figur 2. Provpunkter och recipienter placerade på en karta över Stockholmsområdet i programmet ArcMaps (Lantmäteriet, 2012 a-d). Röd= Mycket känsliga recipienter, känsliga= orange, mindre känsliga= grön.**

rapporten är klassade i tre grupper: Mycket känsliga, känsliga och mindre känsliga beroende på deras föroreningshalter, naturvärde och betydelse för djurliv. Vi har valt att tilldela dessa en varsin färg på kartan. Mycket känsliga recipienter fick färgen röd, känsliga fick färgen orange och mindre känsliga fick färgen grön.

För att kunna undersöka hur dagvattnet påverkar grundvattenkvaliteten i de olika provpunkterna använde vi oss utav schablonvärden, tabell 2, på föroreningsinnehållet i dagvatten med avseende på markanvändning i form utav en tabell från *StormTac – Storm water solutions* (StormTac, 2013).

Med hjälp av dessa schablonvärden och data från miljöförvaltningen tillsammans med den i ArcMaps framtagna informationen har ett antal diagram efter bearbetning kunnat tas fram i programmet Microsoft Excel 2010. Diagramen innehåller information om några utvalda föroreningsämnen. Dessa har valts dels på grund av relevans, dels till följd av vilka ämnen det har funnits jämförelsevärden till i StormTacs datatabell. De valda ämnena är *klorid*, *näringsämnena N* och *P* samt *metallerna Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb* och *Zn*. Medianvärden har tagits fram för att få bort extremvärden och från dessa har diagram skapats med avseende på:

- Föroreningshalter i grundvattnet och jordart
- Föroreningshalter i grundvattnet och markanvändning
- Föroreningshalter i grundvattnet och grundvattennivå
- Föroreningshalter i grundvattnet och pH
- Det procentuella förhållandet mellan föroreningshalter i grundvattnet och dagvattnet beroende på jordart.

För varje punkt har tre stapeldiagram och ett linjediagram tagits fram. Ett med kloridhalter, ett med näringsämneshalter, ett med metallhalter och ett med en slags trendkurva över metallhalterna. Den sistnämnda kurvan har tagits fram genom att räkna fram ett medelvärde på de redan framtagna metallmedianvärdena och syftar mest till att ge en klarare bild över hur metallhaltsfördelningen skiljer sig åt mellan x-värdena (jordart, markanvändning, jorddjup och pH) i diagrammen.

**Tabell 2. Utvalda schablonvärden på föroreningsinnehåll i dagvattnet vid olika markanvändningar från StormTac**

Markanvändning	Cl (mg/l)	N (mg/l)	P (mg/l)	Cd (µg/l)	Cr (µg/l)	Cu (µg/l)	Hg (µg/l)	Ni (µg/l)	Pb (µg/l)	Zn (µg/l)
Jordbruksmark	10	5.3	0.22	0.1	1	14	0.005	0.5	9	20
Blandat grönområde	10	1	0.12	0.27	1.8	12	0.01	1	6	23
Centrumområde	40	1.9	0.28	1	5	22	0.05	8.5	20	140
Flerfamiljshusområde	40	1.6	0.3	0.7	12	30	0.025	9	15	100
Golfbana	20	2.1	0.35	0.3	0.7	15	0.01	2	5	18
Idrottsplats	20	1.2	0.12	0.3	3	15	0.02	2	6	25
Industriområde	50	1.8	0.3	1.5	14	45	0.07	16	30	270
Parkmark	20	1.2	0.12	0.3	3	15	0.02	2	6	25
Skogsmark	5	0.75	0.035	0.2	0.5	6.5	0.005	0.5	6	15
Villaområde	35	1.4	0.2	0.5	4	20	0.015	6	10	80

## 8. DAGVATTENHANTERING

Det finns olika tillvägagångssätt när det kommer till dagvattenhantering. I detta avsnitt kommer hanteringen delas upp i tre olika kategorier: *direkt avledning*, *infiltration i mark* och *anläggningar*. Med direkt avledning syftar vi på dagvatten som utan att genomgå någon rening leds bort direkt till recipient i rör och kulvertar under stadens mark och gator. Infiltration i mark avser den process då marken renar dagvattnet på naturlig väg under dess perkolation ner till grundvattnet. Anläggningar syftar på ett urval av tekniska installationer som används i, och i anslutning till dagvattensystem.

### 8.1. Direkt avledning

När man talar om avledningssystem av dagvattnet gör man det i fråga om *kombinerade* eller *separerade system*.

#### 8.1.1. *Kombinerade system*

I kombinerade system leds dagvattnet i samma ledningar som spillvattnet vidare till reningsverk. Detta är vanligast i framförallt äldre bebyggelse. Vid stora dagvattenflöden kan bräddning vara aktuellt. Det innebär att om vattenflödet till reningsverket är för stort i förhållande till vad det klarar av måste det ledas runt och det sker genom avledning direkt till recipient. I ett kombinerat system innebär det att både spill- och dagvatten leds ut i sjöar och vattendrag utan att genomgå någon typ av rening (Larm, 1994). Ökade flöden överlag ger oavsett föroreningshalterna en försämrad rening och därmed större utsläpp, varför detta bör undvikas (Nilsson och Malmquist, 1997).

Ett annat problem med avledning av dagvatten till reningsverk är dess påverkan på slammet som bildas där. Då dagvattnet ofta innehåller högre halter av bland annat tungmetaller än vad spillvattnet gör fås en större anrikning av detta i slammet som då inte kan användas som gödningsmedel på åkermarker om vidare spridning av dessa vill undvikas. (Stockholm Vatten, 2013)

#### 8.1.2. *Separerade system*

Med separerade system avses, i motsats till de ovan nämnda kombinerade systemen och som namnet antyder, ledningssystem där dagvattnet avleds i egna ledningar. Dessa delas i sin tur upp i duplikatsystem och separatsystem (Westlin, 2004). Duplikatsystem avser ledningar som utan rening leder dagvattnet direkt till recipient. Detta är sedan 50-talet det vanligaste systemet i Sverige (Larm, 1994).

Separatsystem syftar istället på det motsatta. Här tillåts dagvattnet genomgå en naturlig rening på vägen till recipient genom att istället för ledningar låta vattnet transporteras i diken och via dammar. Detta beskrivs närmare nedan under rubriken *Anläggningar*.

### 8.2. Infiltration i mark

En metod att rena dagvattnet är att låta det infiltrera i marken och på så sätt åstadkomma en naturlig rening. Stora delar, uppskattningsvis 75 %, av de föroreningar som återfinns i dagvattnet uppträder i form av partiklar (Stockholms stad, 2001). Dessa fastläggs redan i det övre markskiktet vid infiltration (Larm, 1994). De föroreningar som återfinns som lösta ämnen följer däremot med vattnet på dess vidare resa ner mot grundvattnet och annan typ av rening tar vid. Två viktiga bidragande orsaker till att denna rening möjliggörs är dels biologiskt upptag, dels kemiska mekanismer. När det gäller de kemiska mekanismerna syftar man främst på utfällning och adsorption. Här nedan beskrivs dessa mekanismer

närmare. Avsnittet grundar sig på referenser från Gustafsson med flera (2008) när inte annat anges.

### 8.2.1. *Utfällningar*

Utfällningar uppkommer när ämnen i vattnet och marken reagerar med varandra i dess strävan att uppnå jämvikt. På så sätt kan ämnen som infiltrerar i marken i en viss form, ett viss species, som på något sätt är skadligt för miljön neutraliseras. Viktigt i detta sammanhang är dock att jämviktssträvan går åt båda hållen, vilket innebär att marker som redan är förorenade då vid infiltration kan reagera med det inträngande dagvattnet för att uppnå jämvikt och på så sätt tillföra vattnet miljöfarliga ämnen och vidare förorena grundvattnet.

### 8.2.2. *Adsorption*

Med adsorption avses den process i vilken lösta ämnen reagerar med ytor på fasta partiklar och på så sätt dröjs kvar i marken. Denna mekanism är speciellt betydande för metaller och organiska ämnen. Villigheten hos ett löst ämne att adsorbera till en partikelyta beror till stor del på vilket species det förekommer i. Därför är andra kemiska processer som styr detta, exempelvis redoxprocesser, indirekt viktiga i det här sammanhanget.

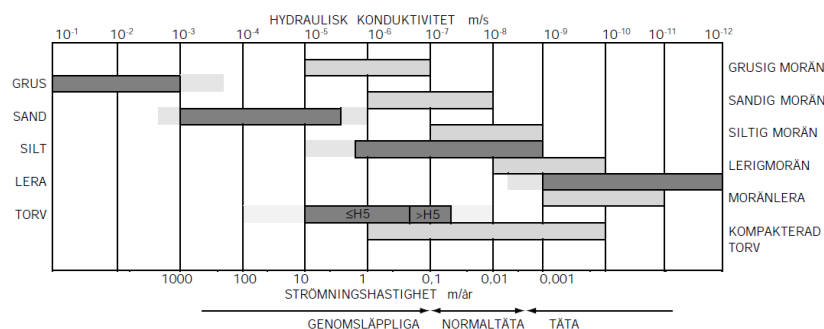
Det finns två grundläggande adsorptionsmekanismer, *jonbyte* och *ytkomplexbildning*. Jonbyte innebär att en löst jon, i detta fall i dagvattnet, adsorberas i marken då den attraheras elektrostatiskt av en laddad partikelyta. Den elektrostatiske adsorptionen innebär att jonen ifråga behåller sitt skal av vattenmolekyler och befinner sig därför relativt långt ifrån partikelytan och kan därför lätt bytas ut av joner som konkurrerar om samma partikelyta.

Vid ytkomplexbildning adsorberas den lösta jonen till ytgrupper på markpartiklar mycket starkare än vid jonbyte då vattenmolekylskalet som omger jonen vid den elektrostatiske attraktionen inte ingår i denna mekanism. Jonernas laddning är av betydelse för till vilken typ av yta de binds. Många positivt laddade joner, katjoner (ex. metaller), bildar lätt ytkomplex med hydroxylgrupper på partikelytor och till karboxylgrupper i humusämnen. Många negativt laddade joner, anjoner, bildar istället gärna ytkomplex på järn- och aluminiumoxider som förekommer i marken. Även om denna typ av adsorption är betydligt starkare än jonbytesadsorptionen kan jonerna som ingår i ytkomplexen bytas ut mot konkurrerande joner, liksom vid jonbyte.

En annan typ av adsorption är den *hydrofoba adsorptionen* som styr många organiska ämnens förmåga att dröja kvar i marken, t.ex. PCB och olja. Dessa ämnen är hydrofoba och därför inte lösliga i ett polärt lösningsmedel som vatten. Denna typ av adsorption beror av det aktuella ämnets samt reaktionsytans grad av hydrofobicitet. Organiska föroreningar kan även renas från dagvattnet genom mikrobiell nedbrytning, där vatten- och syretillgången är utslagsgivande (Gustafsson med flera, 2008).

Vilka jordar som har störst potential att rena det infiltrerade dagvattnet från de lösta föroreningarna styrs av deras partiklars specifika yta (area per massenhet). En hög specifik yta möjliggör fler kontaktytor och därmed bättre förutsättningar för adsorption. Därför är det först och främst finkorniga jordar som är intressanta i detta syfte, medan de grovkorniga jordarna, t.ex. sand blir tämligen ointressanta. I svenska jordar har vi speciellt tre partikeltyper med hög specifik yta, *lermineral*, *humusämnen* och *oxidtytor* med specifika ytor på ett tiotal ända upp till ett hundratal  $\text{m}^2/\text{g}$ .

En annan viktig, kanske den viktigaste, faktor som styr adsorptionen av joner är markens pH-värde. Detta till följd av att partiklarna som adsorberar jonerna till stor del har variabla laddningar vilket leder till att den



**Figur 3. Schematisk bild över olika jordars hydrauliska konduktivitet. De ljusgråa partierna anger osäkerhetsområden (Carlsson och Gustavsson, 1984)**

elektrostatiska attraktionen blir olika stor vid olika pH. Vid låga pH innehåller oxider fler positivt laddade ytgrupper och binder därför anjoner bättre än vid höga pH då istället humusämnen och oxider är mer negativt laddade och därför attraherar fler katjoner.

### 8.2.3. *Krav*

Reningseffekten beror på dagvattnets föroreningars uppehållstid i marken. En längre uppehållstid ger generellt en bättre rening förutsatt att de ovan beskrivna processerna fungerar väl. För att åstadkomma en lång uppehållstid krävs ett tillräckligt djup ner till grundvattennivån, rekommenderat över en meter. Det krävs också en jord som inte är för genomsläpplig då vattnet då perkolerar för snabbt, samtidigt som en allt för ogenomsläpplig jord istället får problem med att infiltrera vattnet från början (Westlin, 2004). Nedan presenteras i figur 3 hur den hydrauliska konduktiviteten varierar i några olika typer av moränjordar.

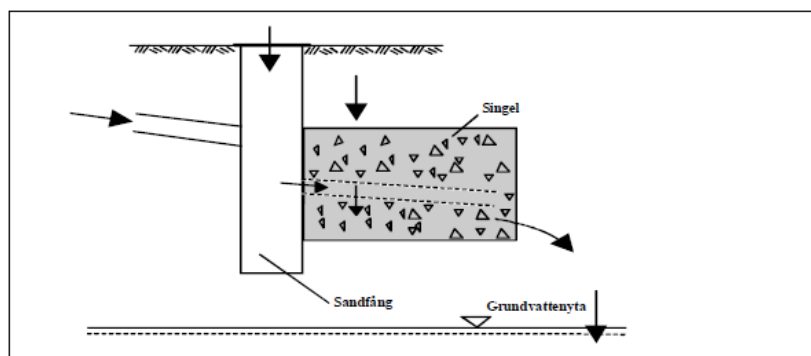
## 8.3. Anläggningar

Alla de anläggningar som presenteras under denna rubrik grundar sig på Larm med flera (1999) när inte annat anges.

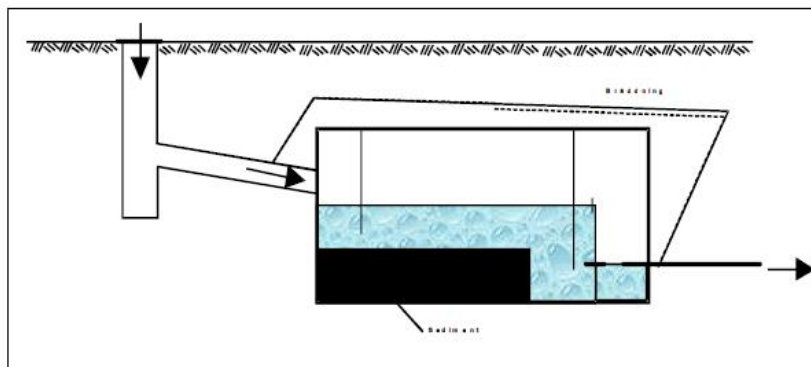
### 8.3.1. *Perkolationsmagasin*

Ett perkolationsmagasin, möjligtvis mer känt som stenkista är ett magasin under marken fyllt av ett grövre material, exempelvis grus eller stenkross. Dagvatten i magasinets närhet leds dit och där kommer vattnet tillfälligt fördröjas innan det flödar vidare ut i omkringliggande mark.

Själva reningen av dagvattnet sker inte i magasinet utan i jordlagren på samma sätt som vid direkt infiltration. Därför är magasinets nytta starkt kopplad till de intilliggande jordlagrens förmåga att på egen hand rena vattnet. Avstånd till grundvattenyta spelar också in då en för kort väg ner till markens mättade zon inte tillåter vattnet perkolera tillräckligt långt för att hinna rena ordentligt. Användningen av perkolationsmagasin är för-



**Figur 4. Perkolationsmagasin, pilar indikerar vattenrörelse (Larm med flera, 1999)**



**Figur 5. Avsättningsmagasin, pilar indikerar vattenrörelse (Larm med flera, 1999)**

delaktig i den mån de ligger under mark och gör anspråk på små utrymmen. Att använda perkolationsmagasin till avrinningsområden större än 4 respektive 2 ha för bostadshus respektive centrumområden rekommenderas inte med tanke på att stora mängder dagvatten då koncentreras till ett och samma område. Ett annat problem med perkolationsmagasin är att de har en benägenhet att sättas igen av finare material vilket kan leda till försämrat flöde och översvämningar. Detta kan dock ofta lätt hindras med hjälp av någon typ av filter och kontinuerligt underhåll.

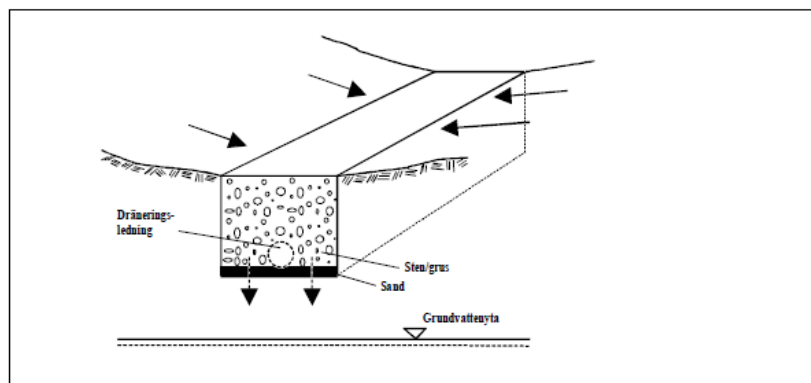
### 8.3.2. Avsättningsmagasin

Ett avsättningsmagasin är ett betongmagasin under mark där föroreningar i dagvattnet avskiljs genom fördröjning och därmed sedimentering innan det rinner vidare ut i den runtomkringliggande marken. Fällningskemikalier som aluminium eller järnsalt kan användas i processen för att förbättra sedimentationen och komma att innefatta även finare partiklar. I förloppet bildas slam som måste omhändertas. Anläggningar av detta slag har uppmätt goda reningsgrader av P, N och suspenderat material. Många lösta ämnen renas dock i regel inte med denna metod.

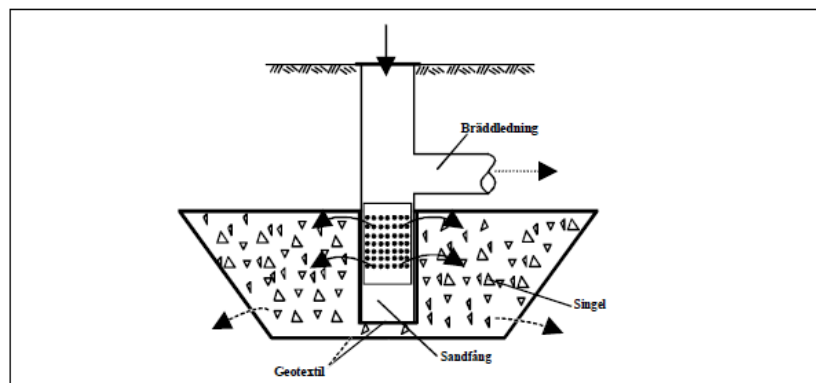
### 8.3.3. Dräneringsstråk

Genom att gräva ett dike dit dagvatten leds, som tätas mot sedimentinträngning från omgivande jordlager med geotextil och fylls igen med sten, grus och/eller sand samt ett övre, renande och dränerade jordlager har man åstadkommit ett dräneringsstråk. Dagvattnet i stråket flödar vidare ner i marken (kan då jämföras med perkolationsmagasin) eller via perforerade rör till annan recipient.

Fördelar med dräneringsstråk är att grundvattenbildningen i området kan bibehållas om vattnet tillåtes infiltrera i marken samtidigt som mängden



**Figur 6. Dräneringsstråk, pilar indikerar vattenrörelse (Larm med flera, 1999)**



**Figur 7. Perkolationsbrunn, pilar indikerar vattenrörelse (Larm med flera, 1999)**

dagvatten och därmed mängden föroreningar till recipient begränsas. Stråken är lätta att placera i oanvänd mark och har höga reningseffekter för partikelbundna föroreningar och medelbra effekter för lösta ämnen. De är dock inte konstruerade för att ta om hand grövre material. Dikesytan är ofta också för liten i förhållande till avrinningsytan för att allt dagvatten ska kunna infiltreras.

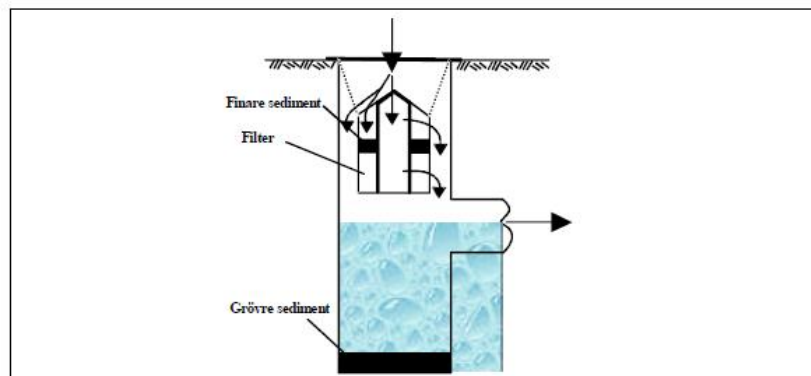
#### 8.3.4. *Perkolationsbrunn*

I en perkolationsbrunn finns ett sandfång placerat i ett omgivande lager av makadam eller singel vilket i sin tur omgärdas av geotextil. Reningprocessen grundar sig på avskiljandet av partikelbundna föroreningar och sker i flera steg. Dagvatten som leds ned i brunnen genomgår en sedimentation i sandfånget. Det tillåts sedan tränga ut i det omgivande makadammet/singeln och sedan vidare ut genom geotextilen till omgivande mark. Ett inledande filtersteg i brunnen övre del kan också ingå i processen.

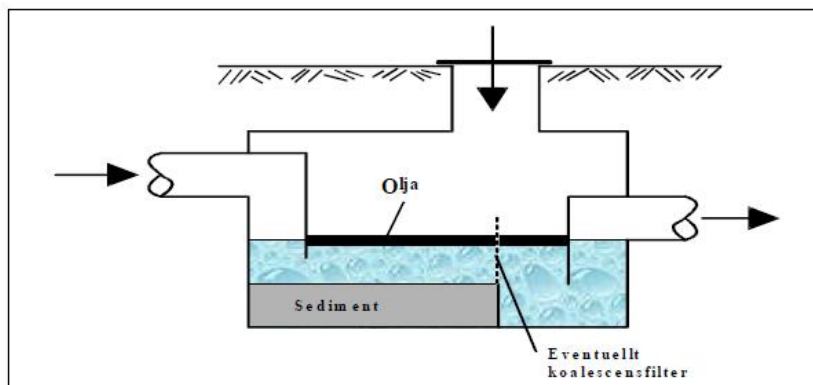
En perkolationsbrunn kan förbindas till dagvattenbrunnar men ett problem ligger i deras känslighet för igensättning och kräver därför mycket underhåll. Dessutom krävs att den omgivande marken är lämplig i reningssyfte.

#### 8.3.5. *Brunnsfilter*

I en vanlig dagvattenbrunn kan brunnsfilter installeras. Dagvatten tillåts flöda genom ett filter som upptar föroreningar. En övre perforerad del separerar det grövre sedimentet från vattnet medan en geotextilduk tar hand om det finare sedimentet. Filtermaterial som kan bestå av exempelvis furubark, aktivt kol eller kalkkross ingår tillsammans med det avskilda finare sedimentet i installationens utbytbara del. Det grövre sedimentet



**Figur 8. Brunnsfilter, pilar indikerar vattenrörelse (Larm med flera, 1999)**



**Figur 9. Oljeavskiljare, pilar indikerar vattenrörelse (Larm med flera, 1999)**

måste sugas upp.

Standardfiltret avskiljer olja och partikelbundna föroreningar. Filter för avskiljning av lösta föroreningar finns också men används inte i samma utsträckning. För att förhindra igensättning och nedsatt funktion rekommenderas filterbyten två till fyra gånger per år.

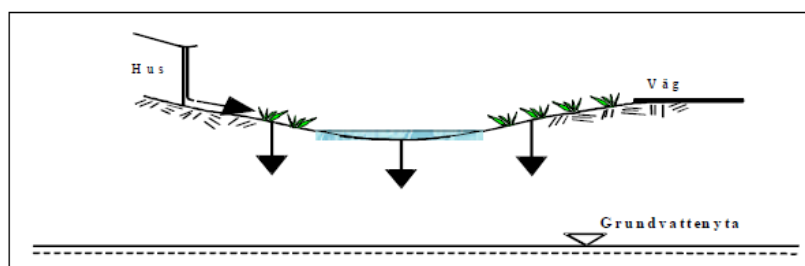
#### 8.3.6. *Oljeavskiljare*

I en oljeavskiljare separeras olja från partiklar och vatten. Oljan uppstiger till ytan medan partiklarna sjunker till botten och bildar sediment. Om ett så kallat koalescensfilter används i oljeavskiljaren underlättas separationen genom vattenströmningen samt en större avskiljningsyta. Filtret kan med fördel konstrueras i lameller vilket skapar gynnsammare förutsättningar för oljedroppar att smälta samman och stiga till ytan. Om dagvattnet i området där oljeavskiljaren placeras är partikelrikt bör den kombineras med en slamavskiljare.

Reningseffekten i oljeavskiljaren är låg, cirka 40 % av oljan kan separeras. De har en måttlig hydraulisk kapacitet och är därför inte lämpliga vid stora tillrinningsområden. Dessutom fungerar inte koalescensfiltren vid temperaturer under  $-8^{\circ}\text{C}$ . De är också dyra i både drift- och anläggningsavseende.

#### 8.3.7. *Gröna ytor*

De så kallade gröna ytorna kan utformas på olika sätt men fortfarande ha samma reningsprincip; filtrering, sedimentering samt vegetationsupptag. Exempel på metoder är *översilningsytor*, *öppna diken* och *torra dammar (infilturationsdammar)*. Översilningsytor är grönytor över vilka dagvattnet leds ut på bred front och tillåts infiltrera. Öppna diken är svagt eller kraftigt lutande grönytor som transporterar bort dagvattnet samt bidrar en viss del till rening av detsamma. Med torra dammar menas dammar som har sådan infiltrationsförmåga att de torrlägg mellan nederbördstillfällena. Gemensamt för alla metoderna är att dagvattnet strömmar ut över den vegetationsbevuxna ytan med ett grunt flöde och låg flödes hastighet.



**Figur 10. Gröna ytor, pilar indikerar vattenrörelse (Larm med flera, 1999)**



Dagvattnet kommer att infiltreras och sedimenteras i grönytan och sedan fortsätta ner genom marken och bara tillfälliga stående vattenytor kommer uppkomma.

Vid användandet av gröna ytor i dagvattenhanteringen minskar man tillflödet av vatten och föroreningar till recipienten. Ett långsammare flöde ger ett bättre omhändertagande av föroreningarna. Detta kan exempelvis kontrolleras i öppna diken genom flackare konstruktioner.

De gröna ytorna lämpar sig för relativt små tillrinningsområden, cirka två till fyra hektar hårdgjord yta och är allmänt billiga att anlägga. De kan sättas igen snabbt och det kan vara svårt att förhindra detta genom underhåll. Det är främst partikelbundna föroreningar som reduceras med hjälp av de gröna ytorna. Vintertid försämras reningseffekten.

#### 8.3.8. *Gröna tak*

Gröna tak är ett annat exempel på gröna ytor. Dessa minskar bildandet av dagvatten på så sätt att omkring 75 % av årsnederbörden avdunstar direkt från taket. De tar upp stoft i luften samt partiklar i regnet. De har även andra goda egenskaper som inte har med dagvattnet att göra så som minskat buller och minskade energiförluster genom minskad värmeutstrålning från byggnader vintertid.

De gröna taken består av ett dräneringslager, ett eventuellt vattenhållande lager, lös takjord och ett vegetationslager bestående av jordväxande mossarter och sedumarter. Våtvikten på taket skiftar mellan 40-130 kg/m<sup>2</sup> vilket kan jämföras med 50 kg/m<sup>2</sup> vilket är vikten på vanliga betongpannor. De är dyrare än vanligt tak att anlägga men billigare i drift. Driftkostnaderna ligger i dräneringskontroller samt gödsling.

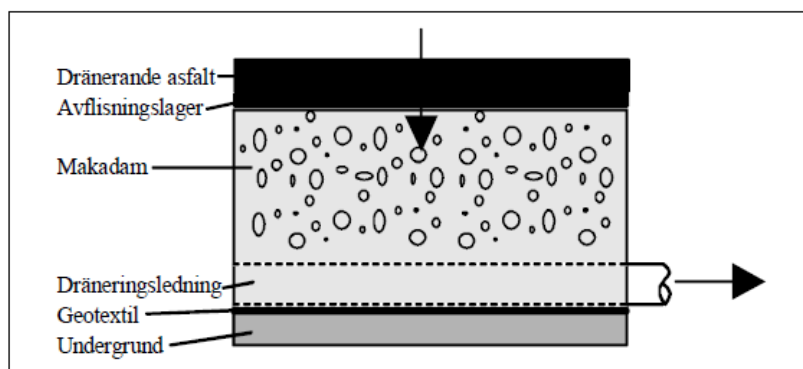
Enligt en undersökning av Czemieli Berndtsson och Bengtsson (2005) är de gröna taken fällor för N, men källor till P och kalium (K). Deras påverkan på dagvattnets tungmetallinnehåll är mindre betydande. (Czemieli Berndtsson och Bengtsson, 2005)

#### 8.3.9. *Våta dammar*

De våta dammarna har tillskillnad från de torra dammarna en permanent vattenyta. Inflödet till och utflödet från dammarna kommer via antingen öppna diken eller dagvattenledningar. I vissa fall kan botten göras tät för att förhindra infiltration från dammen till grundvattnet och utströmning av grundvattnet till dammen. Dammarna har en utjämningsseffekt och kan vid god utformning och dimensionering visa på höga reningseffekter för både lösta och partikelbundna föroreningar. Reningen i dammarna bygger på sedimentering, växtupptag samt nedbrytning med hjälp av bakterier och mikroorganismer. Reningseffekten avtar vintertid med lägre temperaturer.

Anläggandet av våta dammar är ofta dyrare än många andra alternativ men de bedöms trots detta vara kostnadseffektiva sett till den goda dagvattenreningen. Kostnaderna varierar med utformning och storlek. Generellt kan våta dammar sägas vara lämpliga för avrinningsområden större än 4 ha men mindre än 260 ha. Avrinningsområdets storlek spelar tillsammans med flödesmängder och dagvattnets partikelhalt roll för hur ofta dammarna måste underhållas vad gäller avlägsnande av sediment. Vanligt är vartannat till vart femte år.

De våta dammarna har förutom dagvattenreningssyftet även ett estetisk värde i stads- och trafikmiljö. Dock kräver de stora arealer och kan därför vara problematiska att anlägga i tät bebyggelse.



**Figur 11. Permeabel asfalt, pilar indikerar vattenrörelse (Larm med flera, 1999)**

#### 8.3.10. *Permeabel asfalt*

Genom att anlägga ett permeabelt asfaltslager över en makadambädd kan man fördröja dagvattnet innan det tillåts tillföras dagvattennätet via dräneringsrör. Dagvattnet tränger igenom asfalten ner till makadamen där det fördröjs och genomgår föroreningsavskiljning. Den permeabla ytan kan konstrueras på två sätt. Antingen exkluderar man de finare fraktionerna i asfaltsblandningen och får på så sätt en porösare och mer genomsläpplig asfalt, eller så anlägger man vanlig asfalt i moduler med öppna celler emellan.

Genom att anlägga permeabel asfalt minskar man andelen icke-permeabla ytor samtidigt som dess vattenhållande förmåga innebär att mindre dimensionerade dagvattenledningar och färre dagvattenbrunnar behöver anläggas. Reningsförmågan är god och studier har enligt Larm visat att 50-90 % av aktuella föroreningar har kunnat avlägsnas dagvattnet. Denna typ av asfalt lämpar sig för stora asfaltsytor med låg trafikbelastning, exempelvis parkeringsplatser. Problematiken med metoden ligger i igensättning. Sätts de öppna genomsläppliga porerna igen tappar den permeabla asfalten helt sitt syfte. Därför är underhåll (högtryckspolning) viktigt för att slippa byta ut hela ytan vilket skulle bli väldigt kostsamt. Vid låga temperaturer kan genomsläppligheten begränsas kraftigt om porerna fryses igen.

#### 8.4. Flödesdimensionering

Vid samtliga ovan beskrivna renings- och avledningsprocesser är dagvattenflödets storlek av betydelse. För väl fungerande anläggningar och ledningssystem krävs därför dimensionerande flödesvärden när de konstrueras. En vanlig metod för bestämning av just detta är den *rationella metoden*. Den bestämmer den maximala flödesdimensioneringen med avseende på avrinningsområdets area, typ av mark, graden av bebyggelse och form samt regnintensitet. (Westlin, 2004)

$$q_{d \text{ dim}} = A \cdot \varphi \cdot i(t_r)$$

$q_{d \text{ dim}}$  = dimensionerande flöde [l/s]

A = avrinningsområdets area [ha]

$\varphi$  = avrinningskoefficient [-]

$i(t_r)$  = dimensionerande nederbördsintensitet [l/s\*ha]

## 9. FALLSTUDIE – STOCKHOLMS STADS DAGVATTENSTRATEGI

Detta avsnitt syftar till att ge dig som läsare en översiktlig inblick i hur man arbetar med och kring frågor som rör dagvattenhanteringen på en bestämmande nivå. Som exempel presenteras här den dagvattenstrategi som Stockholms stad använder sig av, "Dagvattenstrategi för Stockholms stad", antagen av kommunfullmäktige år 2002. En uppdatering av denna är på gång vilket gör att den sannolikt inte kommer vara den som gäller länge till. All information som följer under denna rubrik är hämtat från det dokumentet om inte annat anges.

I slutet på 90-talet beslutade Stockholm Vatten AB:s styrelse tillsammans med Miljö- och hälsoskyddsnämnden, Stadsbyggnadsnämnden och Gatu- och fastighetsnämnden att ta fram en gemensam dagvattenstrategi för stadens förvaltningar och bolag som syftar till att i både ny och befintlig miljö uppnå en hållbar dagvattenhantering. I arbetet med detta utgick man från fyra huvudpunkter:

- Fastställa hur innehållet av dagvattnets föroreningar kan minskas genom att påverka källorna.
- Fastställa när reningsåtgärder krävs.
- Fastställa hur kunskap kan spridas om dagvattnets potential att bli en resurs i tätorten.
- Föra diskussioner om finansiering i både ett kort respektive långt perspektiv.

I arbetet utsågs tre förvaltningsgrupper där varje grupp hade ansvar för en av de följande tre huvudfrågorna: "Källor till förorening av dagvatten", "Klassificering av recipienter och reningskrav för dagvatten" samt "Information om dagvatten".

De övergripande principerna för dagvattenstrategin beskriver hur dagvattnet ska tas om hand av ett dagvattensystem som är säkert, miljöanpassat samt kostnadseffektivt och som på så sätt inte hotar befolkningens hälsa och ekonomiska intressen. Till att börja med ska detta åstadkommas genom att sätta in åtgärder mot de källor som bidrar till utsläppen i den mån det finns ekonomiska-, tekniska- och juridiska möjligheter till det. Vidare ska så mycket vatten som möjligt tillföras sjöar och mark utan att belastningarna föroreningarna för med sig når kritiska nivåer. Detta görs genom att väga recipientens vattentillförselbehov mot dess känslighet för föroreningar. I de fall där dagvattnet bedöms ha för höga föroreningshalter för att direkt kunna tillföras aktuell recipient krävs först antingen en lokal rening av dagvattnet, att det leds till mindre känslig recipient eller att det leds till avloppsreningsverk. Vad gäller avloppsreningsverken finns där vidare krav på att föroreningsinnehållet i slammet som bildas där ska minskas för att undvika spridning av de icke-önskvärda ämnena på åkermark vid gödsling. Prioriteringen är alltså: 1) *Infiltration och fördröjning*, 2) *Avledning till recipient ifall dagvattnet inte behöver renas*, 3) *Rening lokalt eller i reningsverk ifall det måste renas*.

I strategin beskrivs vidare åtta åtgärds punkter för att uppfylla de ovan beskrivna principerna.

- **Angrip källorna:** Det mest hållbara och i längden mest kostnadseffektiva sättet att ta itu med föroreningar i dagvattnet är att undvika att de tillförs miljön från första början. Detta kan göras genom detaljplaner, bygglov och avtal där exempelvis krav på byggnadsmaterial eller dylikt kan ställas. Spridning av information till berörda målgrupper kan öka medvetenheten och på så sätt minska utsläppen.

Föroreningshalter i dagvatten	Recipient		Mark/Grundvatten			Sjöar och vattendrag		
	Lämplig för infiltration	Inte lämplig för infiltration	Mycket känslig	Känslig	Mindre känslig			
Låga	Infiltration och fördröjning	Avledning till annan recipient än mark	Ej rening	Ej rening	Ej rening			
Måttliga	Infiltration och fördröjning	Avledning till annan recipient än mark	Viss rening eller avledning till annan recipient	Viss rening eller avledning till annan recipient	Ej rening			
Höga	Rening före infiltration	Avledning till annan recipient än mark	Rening (och eventuellt avledning till annan recipient)	Rening	Rening			

*Figur 12. Reningskrav beroende på föroreningshalter och recipient (Stockholms stad, 2002)*

- **Drift och underhåll av gator och parker:** Genom att hålla en hög städstandard på stadens gator kan ämnen som förorenar dagvattnet sopas upp och på så sätt inte bidra till ökade föroreningshalter. Om man undviker att gödsla park- och naturmark fås ingen N- och P-tillförsel. Vatten och snö på parkernas hårda ytor (gångvägar mm.) ska inte avledas till brunnar och ledningar utan låtas infiltrera i be vuxna ytor.
- **Släckvatten mm. från större olyckor:** Till omhändertagande av släckvatten och miljöfarliga rester från större olyckor bör ett program utarbetas.
- **LOD:** Stockholms stads LOD-policy togs fram 1994 och fortsätter att gälla som en del i dagvattenstrategin. Dess huvuddrag har tagits upp tidigare, se avsnitt 4.4 LOD, och säger att dagvatten med låga eller måttliga föroreningshalter ska fördröjas eller infiltreras om det är möjligt och lämpligt.
- **Dagvattentaxa:** Detta fungerar som ett slags ekonomiskt styrmedel infört av Stockholm Vatten. Det syftar till att ge fastighetsägare incitament att på fastigheten anlägga och sköta infiltrationsanläggningar och på så sätt ge drivkraft till LOD. Fastighetsägare som gör detta får rabatterade anslutnings- och vattenförbrukningsavgifter.
- **Reningskrav:** Var och hur dagvattnet ska renas skiljer från fall till fall. När reningsmetoden väljs måste dagvattnets föroreningshalter tillsammans med den tänkta recipientens föroreningsbelastning och vattenomsättning vägas in. Till det måste även ekonomiska och tekniska förutsättningar samt platsbesparandet beaktas. Figur 12 visar en generell matris över reningskrav beroende på föroreningshalter samt typ av recipient.
- **Spolvatten:** Det vatten som används i rengöringsprocesser vid byggen samt till tak, fasader och fordon bör genomgå rening innan det släpps ut i dagvattnetsystemet. Sådant avloppsvatten som kommer av spolning av vägtunnlar får inte heller ledas till recipient eller reningsverk innan det genomgår ett tidigare reningssteg.
- **Snöhantering:** I några korta punkter sammanfattas hur snöhanteringen bör genomföras. De säger att snön bör köras bort endast då det är nödvändigt för framkomligheten och trafiksäkerheten. Transportvägarna bör vara korta och landtipparna små. Platser för nya landtippar måste lokaliseras för ytterstadsområden som använder innerstadens sjötippor. De nya och befintliga landtippningsområdena bör granskas så de inte skadar miljön. Sjötippningen i Riddarfjärden får fortsätta då inga förhöjda halter av skadliga ämnen har hittats i sedimentet just där. I stadens småsjöar får snötippning däremot inte äga rum.

En ansvarsfördelning för att dagvattenstrategin ska följas och genomföras har utformats. Huvudansvaret för avledningen och reningen ligger hos Stockholm Vatten AB som ingått avtal med staden om detta. Ansvar för innefattar att Stockholm Vatten AB i största möjliga mån ska infiltrera det dagvatten som kan klassas som det något diffusa ”ej förorenat”. Stadens alla anläggningar som hör till dagvattenhanteringen ska också de skötas av Stockholm Vatten AB. Gatu- och fastighetsnämnden ska vara involverade och verka för att dagvattenplaneringen vid ombyggnad och nybyggnad av gator och parker ska göras i enlighet med dagvattenstrategin. Miljö- och hälsoskyddsnämnden har i uppdrag att se till att dagvattenhanteringen sker i samklang med förutom dagvattenstrategin även miljöbalken och Stockholms vattenprogram (där dagvattenstrategin utgör en del). Vidare ansvarar Stadsbyggnadsnämnden i rådslag med Stockholm Vatten AB och Miljö- och hälsoskyddsnämnden att dagvattenfrågor uppmärksammas vid planering och bygglovsprövningar. Stadsdelsnämnderna har fått i uppdrag att se till att drift och skötsel av gator och parker rättas efter dagvattenstrategin vid upphandlingar av entreprenörer för detta. Vägverket kommer också in i bilden när det gäller ansvaret för rening och avledning av dagvatten. Detta gäller för några större vägar i staden.

I dokumentet har en klassificering av föroreningshalterna i dagvattnet gjorts i en tregradig skala: *låga, måttliga, höga*. Klassificeringen grundar sig på halter och gränsvärden av tungmetaller, organiska miljögifter, oljor, näringsämnen samt bakterier. Även recipienter har klassificerats i en tregradig skala beroende på deras status och känslighet för mänsklig påverkan: *mindre känsliga, känsliga, mycket känsliga*.

## 9.1. Dagvattnets påverkan på recipienter

Stockholms stad består av 187 km<sup>2</sup> land och 28 km<sup>2</sup> vatten, då staden med omgivning ligger i ett så kallat spricklandskap har det skapat goda förutsättningar för tillkomsten av sjöar och vattendrag. Sjöarna och vattendragen i området är av stor betydelse för både friluftsliv- och näringsliv. (Stockholms stad, 2001)

Sjöar är de lägsta punkterna i landskapet, förutom vatten transporteras dit även lösliga och lättlösliga ämnen via tillrinningsområden och vattendrag. Just tillrinningsområdet har en stor betydelse för den kemiska sammansättningen i sjöar då det påverkar vattnets grumlighet, vegetation och djurliv. I stadslandskapet är regn och smältvatten en betydande orsak till förhöjda halter av skadliga ämnen. Under de senare åren har omfattande dagvattensystem konstruerats för att leda bort regn och smältvatten från de känsligaste recipienterna. Vatten leds då bort från det naturliga nederbördsområdet till ett reningsverk eller direkt utan rening eller fördröjning till en annan sjö. Ett problem uppstår här då många sjöar och vattendrag mister en stor del av sitt vatten, följden av detta blir en störd naturlig vattenomsättning och försämrade vattenkvalitet. (Stockholms stad, 2001)

### 9.1.1. Recipientklassificering

Nedanstående tabeller tagna från rapporten ”Dagvattenstrategi för Stockholm stad” visar olika recipients känslighet för mänsklig påverkan, dessa kommer att beskrivas noggrannare längre ner i avsnittet.

- Recipienter *mycket känsliga* för mänsklig påverkan. (figur 13)
- Recipienter *känsliga* för mänsklig påverkan. (figur 14)

Recipient	Känslighet för			Anmärkning
	Organiska föroreningar, tungmetaller	Närsalter	Förändringar i vattenomsättningen	
Brunnsviken	Mycket känslig	Mycket känslig	Känslig	Ingår i Nationalstadsparken. Mycket högt natur- och rekreationsvärde, bad och fiske.
Flaten	Mycket känslig	Mycket känslig	Mycket känslig	Naturreservatsbildning pågår. Mycket högt natur- och rekreationsvärde, bad, fiske m m.
Igelbäcken	Mycket känslig	Mycket känslig	Mycket känslig	Naturreservatsbildning pågår. Förekomst av hotad föroreningskänslig fiskart. Risk för markföroreningar.
Judarn	Mycket känslig	Mycket känslig	Mycket känslig	Ingår i naturreservat. Viktig fågelsjö och groddjurslokal.
Kyrksjön	Mycket känslig	Mycket känslig	Mycket känslig	Ingår i naturreservat. Viktig fågelsjö och groddjurslokal. Botten täckt av rödlistad kransalg som är föroreningskänslig.
Lillsjön	Mycket känslig	Mycket känslig	Känslig	Viktig lokal för fiskreproduktion.
Längsjön	Känslig	Mycket känslig	Mycket känslig	Viktig reproduktionslokal för groddjur. Mycket näringsrik sjö. Bad.
Magelungen	Känslig	Mycket känslig	Mycket känslig	Mycket näringsrik sjö. Bad och fiske.
Solfångardammen (Spegeldammen)	Mycket känslig	Mycket känslig	Känslig	Ingår i Nationalstadsparken. Viktig leklokal för groddjur.
Trekanten	Känslig	Mycket känslig	Mycket känslig	Risk för markföroreningar. Bad och fiske.
Uggleviken	Mycket känslig	Mycket känslig	Mycket känslig	Ingår i Nationalstadsparken. Naturreservatsbildning pågår för Norra Djurgården. Stockholms förnämsta fuktlövsskog/våtmark med höga naturvärden av regionalt intresse.

**Figur 13. Mycket känsliga recipienter (Stockholm stad, 2002)**

- Recipienter *mindre känsliga* för mänsklig påverkan. (figur 15)

### 9.1.2. Recipientbeskrivning

Nedanstående recipientbeskrivningar hänvisar till Stockholms stads rapport "Recipientklassificering del 1" (2000). Dessa beskrivningar är vid rapportens utförande 13 år gamla, det bör påpekas att många av sjöarna har fått en förbättrad vattenkvalitet sedan år 2000. Förslag och synpunkter om åtgärdesbehov som är tagna från rapporten "Recipientklassificering del 1" kan därför vara förändrade med mer uppdaterade källor.

#### 7.1.2.1. Djurgårdssjöarna

Laduviken

Laduviken med en våtmark i den västra delen är en grund och liten sjö som fram till 1600-talet var en vik till Saltsjön. Sjön ingår i nationalstadsparken och både stränder och själva sjön är klassade som ekologiskt känsliga områden (ESKO).

Sjön och den närmaste omgivningen som numera klassas som naturreservat är en viktig reproduktionslokal för många skyddsvärda fågelarter, kräldjur, groddjur samt lägre fauna, även åtta nationellt rödlistade arter är noterade från 1900-talet.

På grund av den höga halten näringsämnen är siktdjupet i Laduviken litet. Tidvis syrebrist och svavelbildning förekommer i bottenvattnet under vintrarna. Förutom höga halter Cu är metallhalterna i sedimenten måttliga, däremot bör ingen ytterligare tillförsel av förorenat dagvatten ske.

Recipient	Känslighet för			Anmärkning
	Organiska föroreningar, tungmetaller	Närsalter	Förändringar i vattenomsättningen	
Bällstaviken-Ulvsundasjön	Känslig	Känslig	Mindre känslig	Lågt naturvärde. Bad.
Bällstaån (Spångaån)	Känslig	Känslig	Känslig	Kraftigt belastad med föroreningar. Risk för markföroreningar.
Drevviken	Känslig	Mycket känslig	Känslig	Mycket näringsrik sjö. Bad och fiske.
Husarviken	Känslig	Känslig	Mindre känslig	Norra stranden ingår i Nationalstadsparken. Risk för markföroreningar.
Isbladskärret	Mycket känslig	Känslig	Mindre känslig	Ingår i Nationalstadsparken. Naturreservatsbildning pågår för Södra Djurgården. Mycket högt värde som fågelsjö och groddjurslokal.
Laduviken	Mycket känslig	Känslig	Mindre känslig	Ingår i Nationalstadsparken. Naturreservatsbildning pågår för Norra Djurgården. Leklokal för groddjur.
Lappkärret	Mycket känslig	Känslig	Mindre känslig	Ingår i Nationalstadsparken. Naturreservatsbildning pågår för Norra Djurgården. Högt värde som fågelsjö.
Räcksta Träsk	Känslig	Känslig	Känslig	Naturreservatsbildning av Grimstaskogen pågår. Leklokal för groddjur.
Sicklasjön	Känslig	Känslig	Känslig	Bad i Nacka.
Årstaviken	Känslig	Känslig	Mindre känslig	Ganska stort naturvärde och av värde för sportfiske. Naturreservatsbildning pågår för Årstaskogen. Risk för markföroreningar.
Åltasjön	Känslig	Känslig	Känslig	Fågellokal. Bad på Nackasidan.

Figur 14. Känsliga recipienter (Stockholms stad, 2002)

Recipient	Känslighet för			Anmärkning
	Organiska föroreningar, tungmetaller	Närsalter	Förändringar i vattenomsättningen	
Djurgårdsbrunnsviken	Mindre känslig	Känslig	Mindre känslig	Ingår i nationalstadsparken.
Hammarby Sjö	Mindre känslig	Mindre känslig	Mindre känslig	Lågt naturvärde. Fiske.
Karlbergskanalen-Klara sjö	Mindre känslig	Mindre känslig	Mindre känslig	Högt rekreationsvärde vid Karlbergskanalen och Karlbergssjön. Badförbud i Klara sjö.
Lilla Värtan	Mindre känslig	Mindre känslig	Mindre känslig	Stort friluftsintrasse, bad och fiske.
Riddarfjärden	Känslig	Mindre känslig	Mindre känslig	Stort friluftsintrasse, bad och fiske.
Saltsjön	Mindre känslig	Mindre känslig	Mindre känslig	Fiske.
Östra Mälaren*)	Känslig	Mindre känslig	Mindre känslig	Stort naturvärde och mycket stort friluftsintrasse, bad och fiske.

Figur 15. Mindre känsliga recipienter (Stockholms stad, 2002)

## Lappkärret

Lappkärret som tidigare endast var ett kärr fick en ökad vattentillförsel av grundvattnet i samband med byggarbeten under 1960-talet. Det är idag en liten, grund, vassrik sjö. Tillrinningsområdet består främst av skogs- och gräsmark, vattenutbytet domineras av grundvattnet.

Sjön och dess område ingår i nationalstadsparken och är avsatt som naturreservat. Då den utgör en värdefull häckplats för ovanliga arter som snatterand, brunand och smådopping är Lappkärret klassat som ekologiskt särskilt känslig våtmark/småvatten (ESKO). Även om ledningar som tillför dagvatten saknas är sjön näringsrik och har ett djup på ca en meter. Ingen tillförsel av förorenat dagvatten bör ske.

## Solfångardammen

Solfångardammen som även kallas för Spegeldammen är en vassrik anlagd damm. Dammen ingår i nationalstadsparken, är avsatt som naturreservat och klassas som ekologiskt särskilt känslig våtmark/småvatten (ESKO). Den utgör en viktig leklokal för rödlistade groddjur. Med ett djup på endast 1,5 meter är dammen näringsrik även om ledningsnät för dagvatten saknas och bör därför skyddas mot tillförsel av förorenat dagvatten.

## Uggleviken

Fram till 1600-talet var Uggleviken en vik av Saltsjön, efter att den successivt torrlags är den idag ett alkärr med bladvass i mitten. Den största tillrinningen utgörs av dagvatten från bebyggelsen norr om Valhallavägen. Utloppet går till Husarviken. Vattenkvaliteten är okänd men antas vara dålig då den närliggande Björnsvägen är mycket trafikerad. Kärrret ingår i nationalstadsparken, området är klassat som naturreservat och som ekologiskt särskilt känsligt (ESKO). Åtgärder bör utföras för att minska den nuvarande tillförseln av dagvatten

7.1.2.2. Bromma sjöarna

## Räcksta träsk.

Räcksta träsk är en mindre, vassrik sjö, vattentillförseln består främst av dagvatten från Bergslagsvägen vilket har orsakat stora miljökonsekvenser för djur- och växtfaunan. Sjön ingår i Grimsta-Blackebergs naturreservat där restaureringsarbeten pågår för att öka kvaliteten i vattnet. Stränderna och delar av utflödet är klassade som ekologiskt särskilt känsliga (ESKO) då sjön har ett stort rekreativvärde och utgör tidvis en viktig leklokal för fåglar och groddjur.

Siktdjupet är litet och vattnet är mycket näringsrikt, det förekommer även svavelbildningar i bottenvattnet under vintertid. Cu-halten i sedimentet är mycket hög medan resterande tungmetallhalter är höga. PAH-halterna är förhöjda. För att öka kvaliteten i Räcksta träsk bör framförallt en rening av trafikdagvattnet förbättras samtidigt som ytterligare tillförsel av dagvatten endast får ske efter rening.

## Judarn

Judarn är en liten sjö där dagvatten tillförs från den trafikerade Bergslagsvägen. Området kring sjön är ett friluftsområde med bland annat en värdefull fuktlövskog. Då sjön och våtmarken kring den utgör en viktig leklokal för Stockholms samtliga fem groddjursarter och andra rödlistade arter ingår Judarn i naturreservatet Judarskogen och är klassat som ekologiskt särskilt känsligt tillrinningsområde.



Siktdjupet och näringshalten i sjön är måttlig, syrebrist förekommer under enstaka vintrar. Halten tungmetaller i sedimentet är låga och PAH-halten är mycket låg. Då sjön redan belastas av dagvattnet från Bergslagsvägen bör inget ytterligare trafikdagvatten tillföras. Även rening av nuvarande dagvattentillförsel kombinerat med skydd mot oljeutsläpp bör övervägas.

#### Kyrksjön

Kyrksjön är en liten sjö omgiven av våtmark. Dagvattnet tillförs från den starkt trafikerade Spångavägen samt från närliggande koloniområde. Friluftsentresset kring området är stort med avseende på bad och fiske. Rödlistade arter, groddjur och fåglar vars leklokal utgörs av våtmarken förekommer i området. Kyrksjön ingår därför i naturreservatet Kyrksjölöten och dess omkringliggande område är klassat som särskilt känsligt tillrinningsområde.

Under 80-talet var läget mycket allvarligt vid sjön gällande näringshalter. Idag är halterna måttliga, siktdjupet har ökat och tungmetallhalten samt PAH-halten vid bottensedimentet är låga. Däremot förekommer fortfarande höga halter av svavelväte under vintern vilket drabbar bottenfaunan och fiskebeståndet.

För att förbättra förhållandena omkring Kyrksjön bör inget ytterligare dagvatten tillföras. Då området är attraktivt för nybyggnation bör även utökade skyddsprogram övervägas.

#### Lillsjön

Lillsjön och omgivande parkområde bör enligt "Översiktsplan Stockholm" bevaras med hänsyn till natur och rekreativ värden då dessa idag utgör en stort rekreativ angelägenhet för närboende.

Siktdjupet i Lillsjön är mycket litet och näringshalterna mycket höga. Då sjön står i förbindelse med Ulvsundasjön utgör den en viktig leklokal för fisk. Tungmetallhalten i sedimentet är måttligt med undantag för Cd, Cu och Ni där halterna är höga. Halten PAH är mycket hög.

Med tanke på de starkt trafikerade vägarna så som Ulvsundavägen, Kvarnbacksvägen och Drottningholmsvägen runt sjön bör rening av dagvatten övervägas. En ökad vattenomsättning skulle även kunna ge positiva förutsättningar.

#### 7.1.2.3. Tyresöans sjösystem

#### Magelungen

Magelungen är en av de största sjöarna i Stockholmsområdet. Den ingår i Tyresöans vattensystem och är tillsammans med sin omkringliggande våtmark en viktig leklokal för groddjur och fåglar. Sjöns östra del är klassat som Stockholms ekologiskt känsliga område (ESKO). Där påträffas väldigt fina våtmarker och naturstränder med ett rikt växt- och djurliv. Även rekreativ värden är stort kring sjön med tre officiella bad, Farsta strandbad, Ågesta friluftsbad samt Nutidsbadet i Huddinge.

Tillrinningsområdet till sjön har reducerats kraftigt under åren genom utbyggnad utav diverse dagvattensystem, numera leds vattnet från stora områden till Mälaren. Fram till 1970-talet var Magelungen kraftigt belastad av utsläpp från Huddinge reningsverk. Idag leds avloppsvattnet via Stockholm avloppssystem, vilket har förbättrat sjöns kvalitet avsevärt, men näringshalterna är fortfarande mycket höga. Halten tungmetaller är låga till måttliga med undantag för höga halter Cu, Zn och Ni i sedimentet. Halten PAH är mycket låg.

Då sjön är så pass stor och påverkas utav flera större områden bör lokala skyddsprogram övervägas. I stora drag bör man se över dagvattentillför-

seln till sjön från de största vägarna. En rening av dessa vore att föredra. En ökad vattentillförsel till de områden där tillrinningen har reducerats kraftigt skulle säkerligen ge positiva effekter.

#### Drevviken

Drevviken är Tyresöåns största sjö och omges nästan överallt av bebyggelse. Sjöns största tillflöde kommer från Magelungen via Forsån. Det grönområde som finns vid sjön ingår i Flatens naturreservat och strandområdet är klassat som ekologiskt särskilt känsligt (ESKO). I de delar som ingår i Flatenområdet är rekreativvärde väldigt stort med två officiella badplatser Sköndalsbadet och Hökarängsbadet.

Stora mängder P och N tillförs sjön via Forsån, dagvatten från delar av Nynäsvägen, bräddavlopp samt enskilda avlopp från fastigheter runt om Drevviken. Höga halter Zn, Cu och Ni förekommer, andra tungmetaller förekommer i måttliga halter. PAH-halterna är mycket låga.

Liksom Magelungen är Drevviken en stor sjö vilket gör det svårt att ge generella åtgärdslösningar. Det förorenande dagvattnet från Nynäsvägen bör definitivt renas då vägen är kraftigt trafikerad dagligen. Även utsläpp från närliggande industriområden bör ses över och minskas. Ingen ytterligare dagvattentillförsel bör ske.

#### Flaten

Flaten och omgivningarna runtomkring av värdefulla skogar med bland annat kulturmarker med månghundraåriga ekar och högt naturvärde är avsatt som naturreservat och ingår i Stockholms ekologiskt särskilt känsliga tillrinningsområden (ESKO). Utöver ett stort rekreativvärde med bad och fiske finns det en del känsliga och skyddsvärda arter, exempelvis vattenväxter som kräver näringsfattiga förhållanden. Flaten utgör även en viktig reproduktionslokal för groddjur, kräddjur och sjöfågel.

Sjön hade under en längre tid Stockholms bästa vattenförhållanden, men på grund av en ökad samhällsutveckling och minskning av tillrinningsområdet från framför allt Skogskyrkogården har den blivit allt mer känslig för hydrologiska störningar. På senare tid har algbloomingar börjat förekomma. Halten tungmetaller i sedimentet är låg och halterna PAH är mycket låga. Flatens höga känslighet för närsaltsbelastning bör leda till en ökad rening av dagvatten. Utsläppen från koloniområden omkring sjön måste upphöra och en utredning bör göras om dagvatten från Skogskyrkogården åter kan tillföras.

#### 7.1.2.4. Nackasjöarna

#### Ältasjön

Tillrinningsområdet till Ältasjön ligger till största del i Nacka kommun. Förutom ett rekreativvärde i form utav friluft- och naturintresse är sjön en viktig leklokal för groddjur samt en värdefull fågelsjö.

Sjön är idag näringsrik, halterna har återigen ökat efter att en minskning rapporterades tidigare. Åtgärder bör vidtas då belastningen är högre än vad sjön tål och riskerar att övergå till en mycket näringsrik sjö. Tungmetallhalterna och halterna PAH är låga i sedimentet. För att minska näringsinnehållet i Ältasjön bör en insats från berörda kommuner ske i syfte att avlasta sjön.

#### Sicklasjön

Den största delen av Sicklasjön ligger i Nacka kommun och tillflödet kommer från Järlasjön. Sjön och dess kringliggande område har ett stort rekreativvärde i såväl Nacka kommun som Stockholms stad. Vid sjöns södra strand finns det en fuktlovskog som anses ha ett väldigt högt naturvärde. Stranden i detta område är klassad som en ekologiskt särskilt känslig naturstrand (ESKO).

Sicklasjön är mycket näringsrik och siktdjupet är litet. Under de senare åren har sjön börjat återhämta sig tack vare Järlasjöns förbättrade tillstånd. Halterna Pb och Hg är höga i sedimentet, PCB-halterna är höga i de övre sedimenten och PAH-halterna ligger i underkant av genomsnittet för stadens sjöar. För att förbättra kvaliteten i sjön och minska belastningen bör rening av dagvatten övervägas.

#### 7.1.2.5. Övriga sjöar

##### Trekanten

Trekanten saknar naturligt tillflöde, tillrinningen består huvudsakligen utav dagvatten från tätbebyggelse, parkmark och trafikytor. Resultatet av detta blir en väldigt låg vattenomsättning och dålig vattenkvalitet. Med målet att förbättra vattenkvaliteten tillförs dricksvatten från Nybohovsreservoaren, sjön syresätts samtidigt som näringsrikt bottenvatten pumpas bort.

Trekanten och dess kringliggande område utgör ett stort rekreativvärde för allmänheten. Ett officiellt bad, kräft- och sportfiske samt skridskoåkning hittas vid sjöns nordvästradel. Även utplantering av regnbåge och öring förekommer.

Prover tagna från sedimentet visar mycket höga halter av tungmetaller samt förhöjda halter PAH. P-halterna som tidigare var mycket höga har minskat markant tack vare den ökade vattenomsättningen. En lamelloljeavskiljare har installerats där dagvatten från Essingeleden renas och leds sedan bort till sjöns västra del. Det största uppmätta vattendjupet är 6.5meter. Då sjön har en låg vattenomsättning får tillrinningen inte minska, dagvatten från närliggande tätbebyggelse och vägar bör renas innan det tillförs till Trekanten. Lamelloljeavskiljaren vid Essingeleden bör kompletteras med ökade reningssteg samt ytterligare reningsstationer bör övervägas vid utvecklingsarbete i området.

##### Långsjön

Liksom Trekanten saknar Långsjön naturliga tillrinningsområden. Den största delen av tillrinningen kommer från bebyggelse, huvudsakligen villor. Sjön har ett väldigt stort naturvärde då den är en av Stockholms mest värdefulla leklokaler för groddjur samt ett rekreativvärde med bland annat en officiell badplats och fiske.

Största djupet är på endast 3.5meter. Då belastningen med dag- och bräddvatten är stor är sjön extremt näringsrik och siktdjupet är mycket litet. Den höga P-halten orsakas av framförallt den interna belastningen på grund av tidigare utsläpp och hög biologisk produktion. Kvaliteten i sedimentet är väldigt dålig med bland annat mycket höga halter Cu, höga halter Ni samt förhöjda halter PAH. Vattennivån i sjön regleras via en damm där vattnet leds bort via diken och ledningar till Mälaren.

Långsjön delas av Stockholm och Huddinge kommun, därför bör en samordning mellan kommunerna göras för att förbättra kvaliteten i sjön.

##### Ulvsundasjön och Bällstaviken

Med förbindelse dels genom sundet vid Tranebergsbron och dels via Klarabergskanalen är Bällstaviken–Ulvsundasjön en vik av Mälaren. Båda dessa påverkas av den kraftigt förorenade Bälstaån som mynnar i Bällstaviken. Området kring sjön är bebyggt från Stockholmssidan med promenadvägar och båtkajer vid Kungsholmen, men det finns även större naturområden i Solnas och Sundbybergs delar av Ulvsundasjön.

Vattnet klassas som måttligt näringsrikt till näringsrikt med ett litet siktdjup. I sedimentet påträffas mycket höga halter Hg och Cu samt höga halter Cd, Cr och Ni. Halten PAH är hög i sedimentet.

Då det är flera kommuner som delar på sjön bör ett samarbete upptas för att avlasta recipienten, det dagvatten som tillförs idag bör renas och tillförseln av föroreningar måste begränsas.

#### Riddarfjärden

Riddarfjärdens område är bebyggt nästan överallt, undantaget är Långholmen och stranden vid Rålambshovsparken som utgör en oas mitt i Stockholm. Dessa skall enligt "Översiktsplan Stockholm" bevaras med hänsyn till deras naturvärde och friluftsintrasse. Två officiella bad finns i området.

Vattenomsättningen är hög på grund utav Mälaren, där hela utflödet passerar Riddarfjärden, uppehållstiden blir därför endast ca två veckor. Mälarevattnet för även med sig stora delar av Riddarfjärdens näringshalter, den resterande delen kommer från bräddat avloppsvatten. Prover i sedimentet har visat höga halter utav Cd, Pb, Cr, Cu, Zn och Ni, samt mycket höga halter utav PAH. Eftersom vattensomsättningen är stor skulle åtgärder på dagvattensidan ge väldigt små förändringar i vattenkvaliteten. Största problemet ligger i den höga halten tungmetaller, dessa skulle kunna reduceras genom att trafikdagvattnet renas.

#### Årstaviken

Årstaviken, som är en vik av Mälaren utgör ett stort natur- och kulturvärde. Stränderna är ekologiskt särskilt känsliga, i "Översiktsplan Stockholm" beskrivs dessa som viktiga att bevara med hänsyn till deras naturkvaliteter och rekreativa värden. Vattnet i Årstaviken har en måttlig näringshalt och ett måttligt siktdjup. Sedimentet innehåller höga halter tungmetaller samt mycket höga halter utav PAH, Hg och Cu.

Industrierna kring Årstaviken är den stora orsaken till de förhöjda halterna tungmetaller då dagvatten från bland annat industriområdet i Västberga rinner orenat till sjön. Därför bör reningsanläggningar med oljeavskiljning övervägas. Samtidigt som området är under ständig utveckling bör en omplanering av dagvattensystemet göras för att minska halten föroreningar som rinner ut i vattnet.

#### Klara sjö

Klara sjö delas mellan Solna stad och Stockholm, området sträcker sig mellan Ulvsundasjön och Riddarfjärden. I "Översiktsplan Stockholm" avses den södra stranden bevaras med hänsyn till områdets naturvärden och friluftsintrassen.

Förbindelsen mellan Klara sjö och Riddarfjärden samt Ulvsunda sjön är så trång att vattenomsättningen i sjön beräknas vara liten. För sin storlek är sjön kraftigt belastad av både trafikdagvatten och bräddavloppsvatten. Resultatet av detta blir höga närings- och bakteriehalter samtidigt som siktdjupet är litet. Sedimentet innehåller mycket höga halter Hg, Cr, Cu och PAH samt höga halter av resterande tungmetaller. De största åtgärderna bör riktas mot markföroreningar, men även trafikdagvattnet från Klarastrandsleden. Vid eventuell exploatering av kringliggande området bör försiktighet vidtas så att förorenade sediment inte transporteras bort till Riddarfjärden.

#### Saltsjön

Saltsjön och dess stränder på södra sidan ingår i nationalstadsparken, områden med höga natur-, kultur- och rekreationsvärden med bland annat stora arealer med lövträd har avsatts som naturreservat. Området ingår även i Stockholms ekologiskt särskilt känsliga områden (ESKO) med hotklassade arter så som svampar och insekter. Ett utvidgat strandskydd har utträttats då även stranden anses vara ekologiskt särskilt känslig. Utö-

ver områden med höga naturvärden omges Saltsjön utav kajer och bebyggelse.

Den största belastningen utgörs utav utströmmande föroreningar via Mälardagvattnet som genom slussen rinner ut i Saltsjön. Utöver detta belastas sjön med trafikdagvatten från Slussen, Stadsgården, Skeppsbron samt Strandvägen. Vattnet är näringsrikt till måttligt näringsrikt och även siktdjupet är måttligt. Stora föroreningar av Hg, Cu, Cd, Zn, Ni och Pb förekommer i sedimenten. Halterna PAH är mycket höga. Eftersom Mälardagvattnet är den stora föroreningskällan är det tveksamt ifall åtgärder på dagvattensidan skulle ge märkbara effekter.

#### Lilla Värtan

Liksom Saltsjön ingår Lilla Värtans stränder i nationalstadsparken, områden med höga natur-, kultur- och rekreationsvärden har avsatts som naturreservat. Med sina hotklassade arter så som svampar, insekter och vissa fågelarter ingår området i Stockholms ekologiskt särskilt känsliga områden (ESKO). Stränderna anses särskilt känsliga och ett strandskydd har utträttats i både land och vatten. Resterande områden som upptas av hamn och industriområden ingår ej i nationalparken.

Siktdjupet och halten näringsämnen är måttliga, sedimentet innehåller höga halter av tungmetaller med undantag för Hg och PAH där halterna är mycket höga. Då Lilla Värtan har en hög vattenomsättning är det tveksamt ifall åtgärder på dagvattensidan skulle ge märkbara effekter.

#### 7.1.2.6. Vikar i Saltsjön och Lilla Värtan

#### Hammarby sjö

Hammarby sjö som är ansluten till Saltsjön, Sicklasjön och Mälaren betraktas idag som en transportled för större fartyg och mindre friluftsbåtar. Trafiken blir särskilt intensiv under sommartid. Förutom vissa mindre områden kring sjön består de största delarna av bebyggelse och kajer.

Vattnet är måttligt näringsrikt och siktdjupet är måttligt. Det största vattenutbytet samt nivåförändringarna sker via Saltsjön. Utbytet med Sicklasjön tros endast ha en betydelse gällande P-halterna. Tillförseln av dagvatten kommer från Södermalm och Hammarby sjöstad. Sedimentet innehåller höga halter tungmetaller och PAH samt mycket höga halter Hg. Projektet Hammarby sjöstad har ett omfattande reningsprogram av dagvatten och utsläpp från närliggande industrier. Trots att omfattande saneringar är gjorda bör försiktighet iaktas då kvarvarande föroreningar i sediment och mark kan spridas vidare.

#### Brunnsviken

Brunnsviken ingår i nationalstadsparken. Stränderna och ädellövträdsbeståndet utgör en livsviktig miljö för hotklassade arter, tillrinningsområdet klassas som ekologiskt särskilt känsligt (ESKO). Strandskydd gäller i både land och vatten då även stränderna är klassade som ekologiskt särskilt känsliga.

Vattnet i Brunnsviken är näringsrikt och siktdjupet är litet. Vattenutbytet med Lilla Värtan beräknas vara betydligt större än bidraget från tillrinningsområdet. En tröskel mellan Lilla Värtan och Brunnsviken orsakar en sämre vattenomsättning på grund av det tyngre, saltare bottenvattnet. Tungmetallhalten i sedimentet är överlag hög, särskilt problematiskt är det i de södra delarna där halterna Hg, Cu och Cd tillhör de högsta som har registrerats i Stockholms sjöar. En stor del av tillrinningsområdet utgörs av Stockholmsåsen vilket ställer höga krav på infiltrationen, allt trafikdagvatten bör renas från anslutande vägar. Reningen bör även kombineras med skydd mot oljeutsläpp.

## Husarviken

Den norra stranden i Husarviken ingår i nationalstadsparken och ska avsättas som naturreservat. Med sina stora arealer av ädla lövträd där ek dominerar är området ett av Stockholms rikaste med avseende på skyddsvärda djur- och växtarter. Området ingår i Stockholms ekologiskt särskilt känsliga områden (ESKO). Den norra stranden som idag är ganska svårtillgänglig är klassad som ekologiskt särskilt känslig och omfattas av ett ökat strandskydd.

Siktdjupet är litet och sjön är mycket näringsrik. Syretillförseln är god då Husarviken står i förbindelse med Lilla Värtan. Sedimentet innehåller höga halter av tungmetaller och miljögifter orsakade av gasverksindustrin som ligger nära sjön. Enskilda avlopp med otillfredsställande rening finns vid delar av sjön, dessa bör undersökas i första hand. Försiktighet bör vidtas vid utbyggnation av Norra länken så att föroreningarna i sedimentet inte spolats ut till Lilla Värtan.

## Djurgårdsbrunnsviken

Djurgårdsbrunnsvikens södra och östra stränder är klassade som nationalstadspark och avsatta som naturreservat då det är områden med höga natur-, kultur- och rekreationsvärden. Stora arealer med ädla lövträd finns där ek dominerar, dessa utgör en viktig miljö för hotklassade arter så som svampar och insekter. Kanalen utgör en leklokal för groddjur. Med hänsyn till detta ingår området i Stockholms ekologiskt särskilt känsliga områden (ESKO). Utvidgat strandskydd gäller i både strand och vatten då även den klassas som ekologiskt särskilt känslig.

Vattnet är näringsrikt och siktdjupet är litet. Liksom Brunnsviken finns det en tröskel mellan förbindelsen med Lilla Värtan vilket gör att det tyngre salta bottenvattnet inte omsätts lika snabbt. Halterna Hg, Pb, Cr, Cu, Zn och Ni är mycket höga i sedimentet. Även PAH halterna är höga. Då vattenomsättningen är relativt stor kommer åtgärder på dagvattensidan inte ge några märkbara effekter, däremot bör Skansens bidrag av framförallt näringsämnen undersökas.

## Bällstaån

Den åtta km långa Bällstaån är ett av de mest förorenade vattendragen i Stockholmsområdet, belastningen kommer både från dagvatten och industriverksamhet. I dagsläget är rekreationsvärdet vid ån litet men ett pågående mellankommunalt samarbete är igång för att förbättra strandmiljön och vattenkvaliteten.

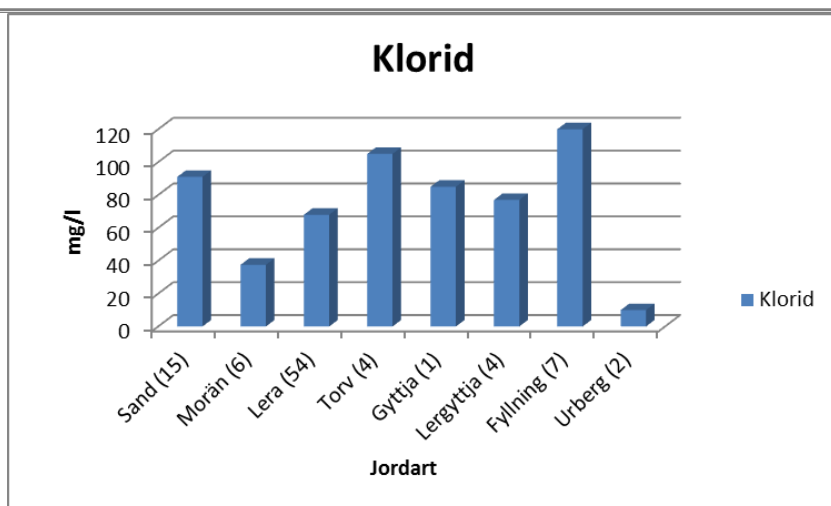
Vattnet i Bällstaån är mycket näringsrikt och utgör den största P-källan för recipienten Ulvsundasjön. För att förbättra vattenkvaliteten i ån bör tillförseln av föroreningar via dagvatten och industrier minska.

## 10. RESULTAT

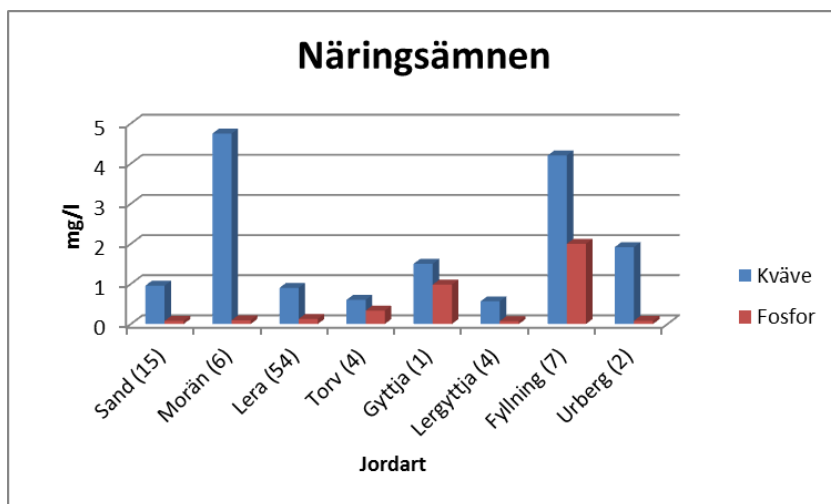
Här presenteras resultatet av datahanteringen beskriven i avsnittet *Analysmetod*. Diagrammen för varje underrubrik visar kloridhalter, halter av näringsämnen respektive metallhalter, samt tillhörande trenddiagram. Siffrorna inom parantes anger antalet provpunkter där observationer har gjorts. Siffervärden på medianen samt min- och maximumhalter finns i tabell 3-7 i Bilaga 1.

### 10.1. Föroreningshalter i grundvattnet med avseende på jordart

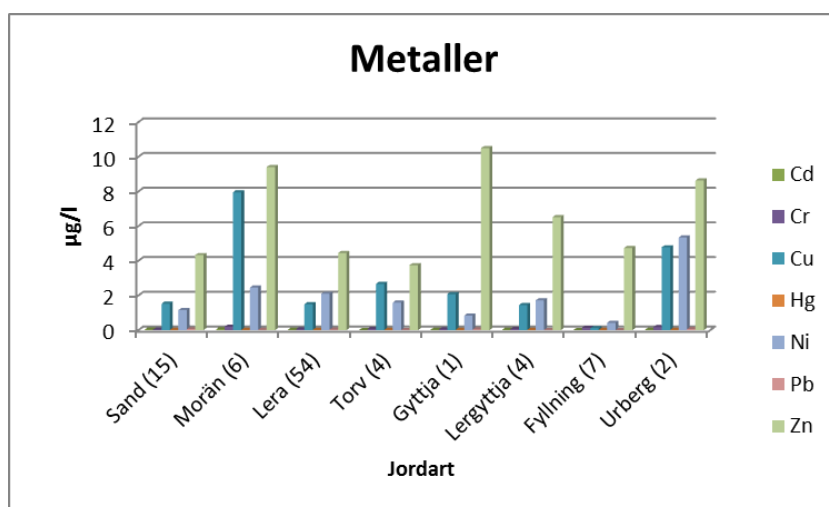
Figur 16-19 har tagits fram för att undersöka hur halterna av förorenande ämnen i grundvattnet skiljer sig åt mellan olika jordarter. Jordarterna har ordnats efter deras hydrauliska konduktivitet (från högst till lägst).



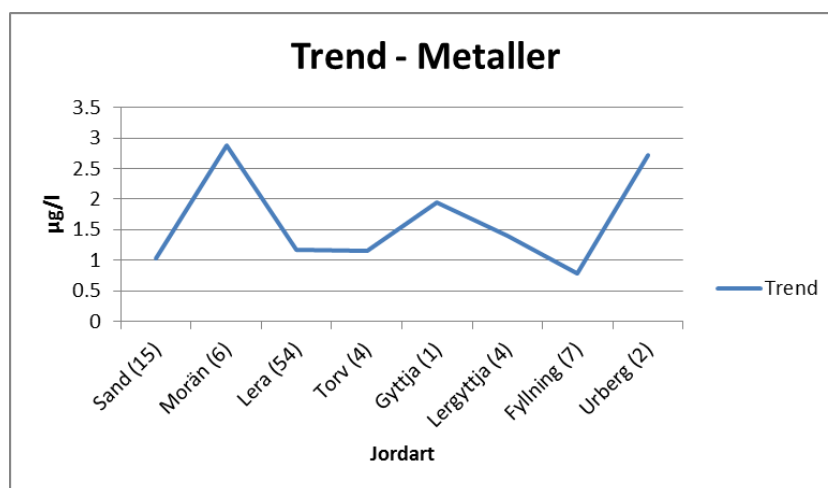
Figur 16. Diagram över kloridhalten i olika jordarter



Figur 17. Diagram över N- och P-halterna i olika jordarter



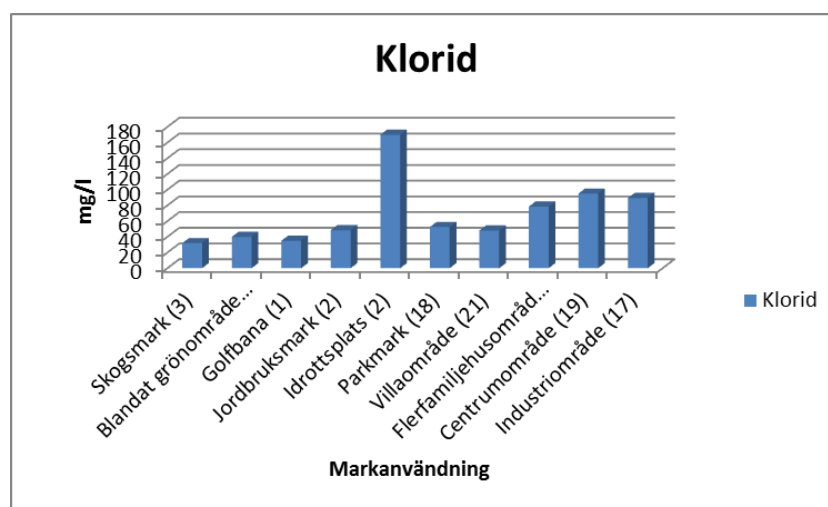
Figur 18. Diagram över Cd-, Cr-, Cu-, Hg-, Ni-, Pb- och Zn-halter i olika jordarter



Figur 19. Trendkurva över metallhalterna i olika jordarter

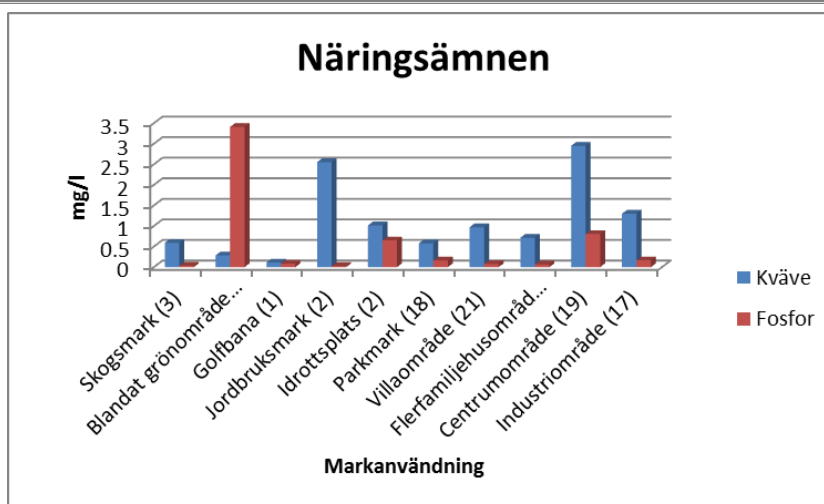
## 10.2. Föroreningshalter i grundvattnet med avseende på markanvändning

Figurena 20-23 syftar till att visa på hur grundvattnets föroreningshalter beror av vilken typ av markanvändning det är vid provpunkten. Markanvändningen har ordnats efter förväntad påverkansgrad (från lägst till högst). Blandat grönområde avser mark med vegetation som varken kan klassas som skogs- eller parkmark, och omfattar två provpunkter.

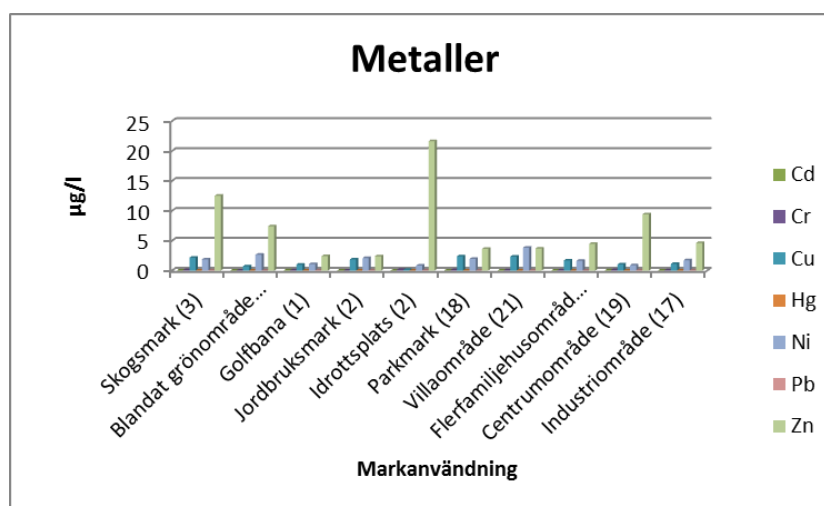


Figur 20. Diagram över kloridhalten i olika markanvändningsområden

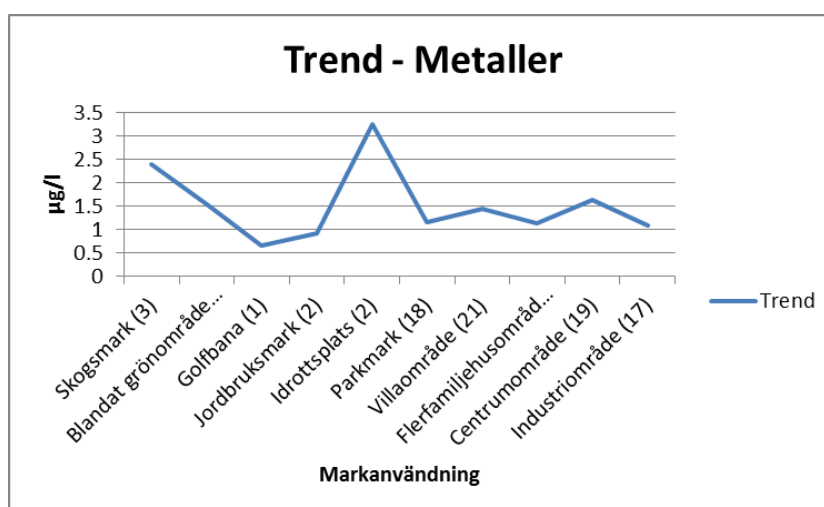




Figur 21. Diagram över N- och P-halterna i olika markanvändningsområden



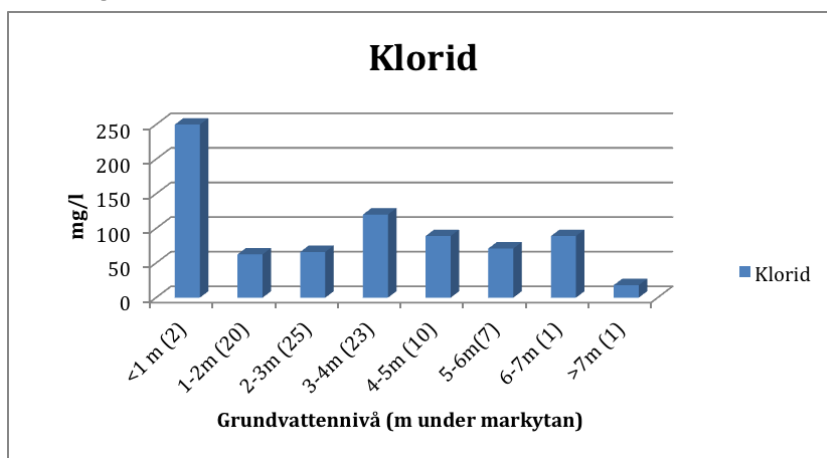
Figur 22. Diagram över Cd-, Cr-, Cu-, Hg-, Ni-, Pb- och Zn-halter i olika markanvändningsområden



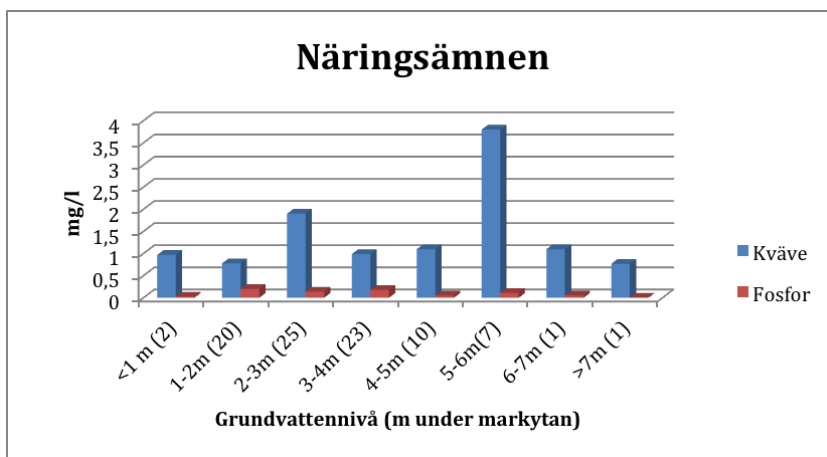
Figur 23. Trendkurva över metallhalterna i olika markanvändningsområden

### 10.3. Föroreningshalter i grundvattnet med avseende på grundvattennivån

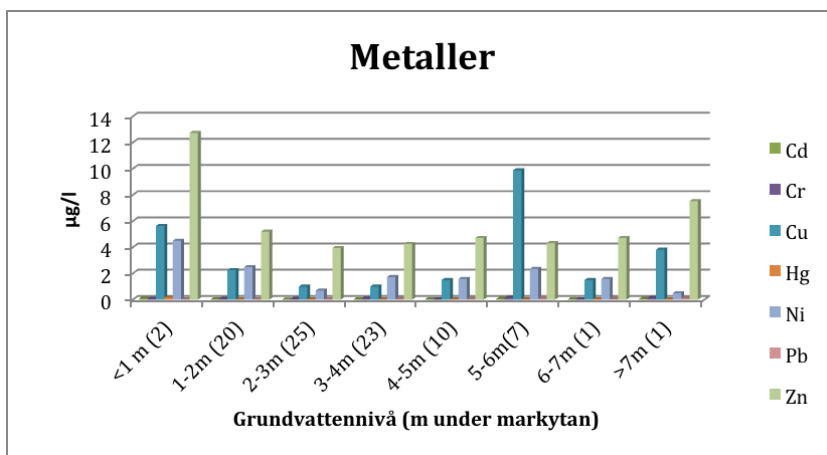
Figureorna 24-27 visar hur halten miljöfarliga ämnen i grundvattnet varierar med grundvattennivån.



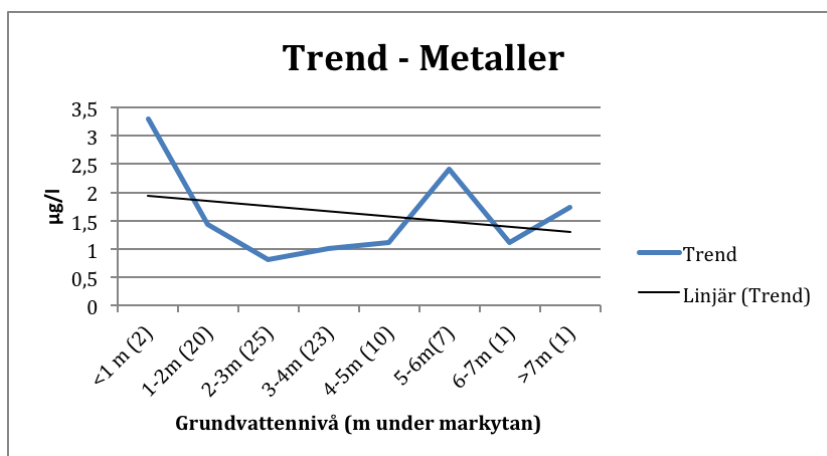
Figur 24. Diagram över kloridhalten vid olika grundvattennivåer



Figur 25. Diagram över N- och P-halterna vid olika grundvattennivåer



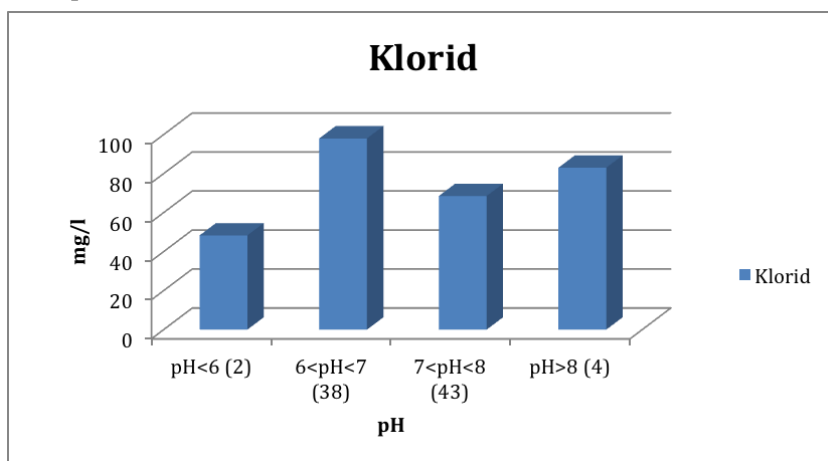
Figur 26. Diagram över Cd-, Cr-, Cu-, Hg-, Ni-, Pb- och Zn-halter vid olika grundvattennivåer



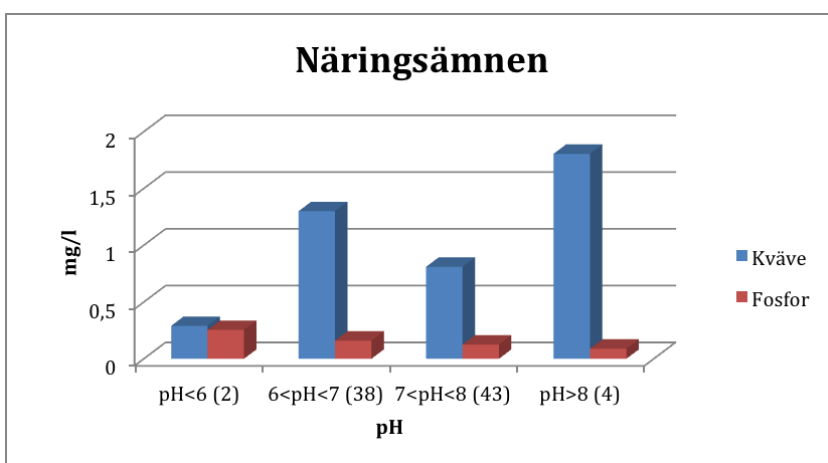
Figur 27. Trendkurva över metallhalterna vid olika grundvattennivåer. Den svarta linjen visar den linjära trenden

#### 10.4. Föroreningshalter i grundvattnet med avseende på pH

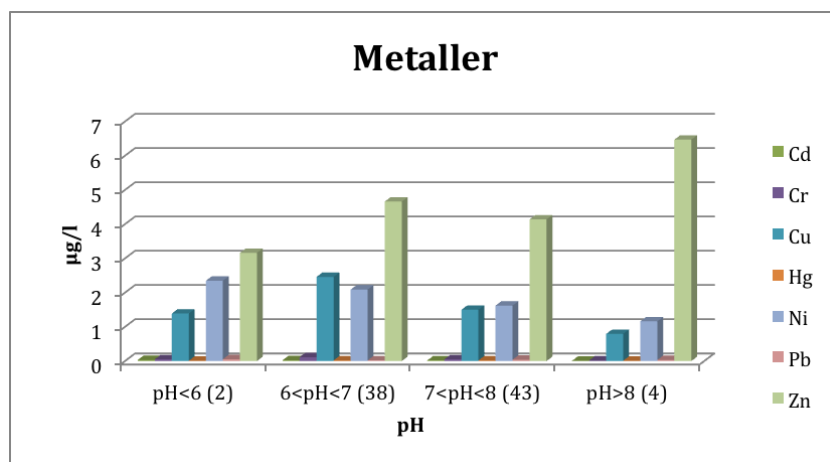
Figureorna 28-31 syftar till att visa föroreningshalternas förändringar med olika pH-värden.



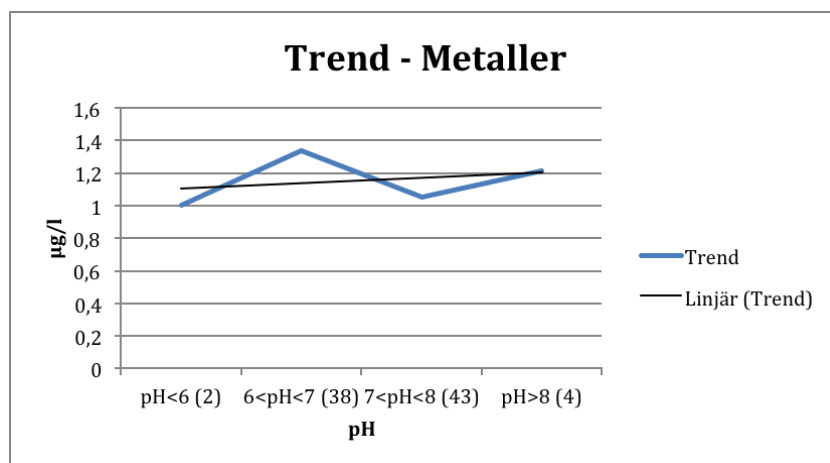
Figur 28. Diagram över kloridhalten vid olika pH



Figur 29. Diagram över N- och P-halterna vid olika pH



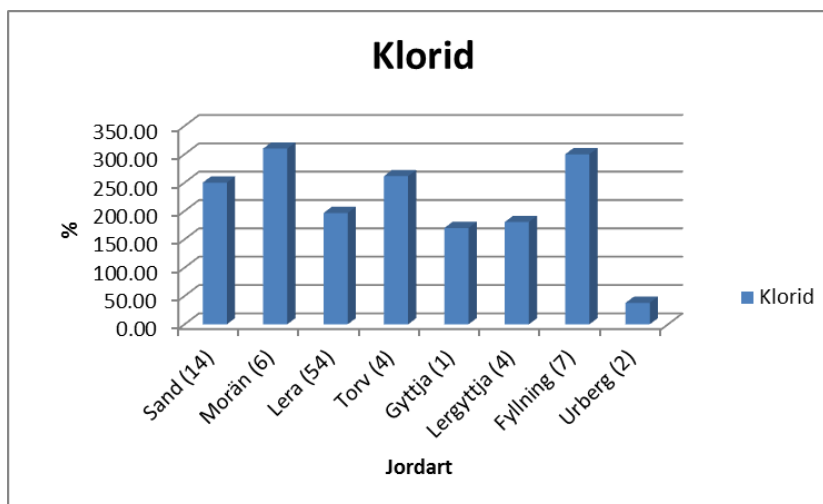
Figur 30. Diagram över Cd-, Cr-, Cu-, Hg-, Ni-, Pb- och Zn-halter vid olika pH



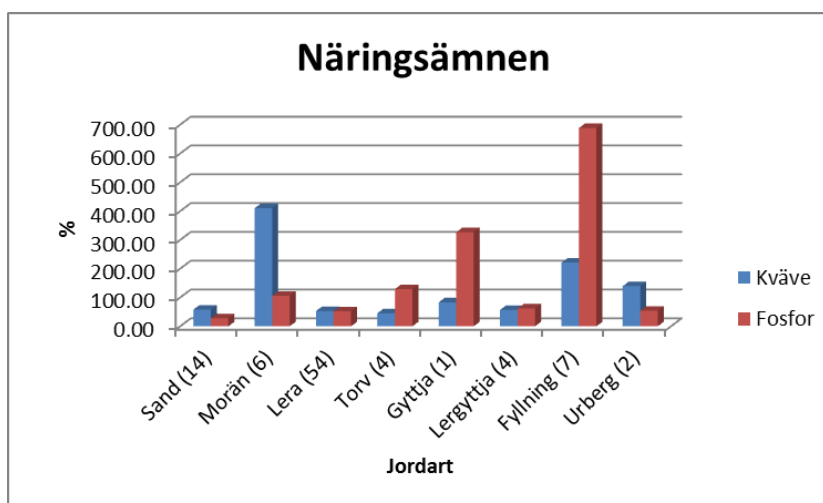
Figur 31. Trendkurva över metallhalterna vid olika pH. Den svarta linjen visar den linjära trenden

### 10.5. Procentuellt innehåll av dagvattnets föroreningshalter i grundvattnet i olika jordarter

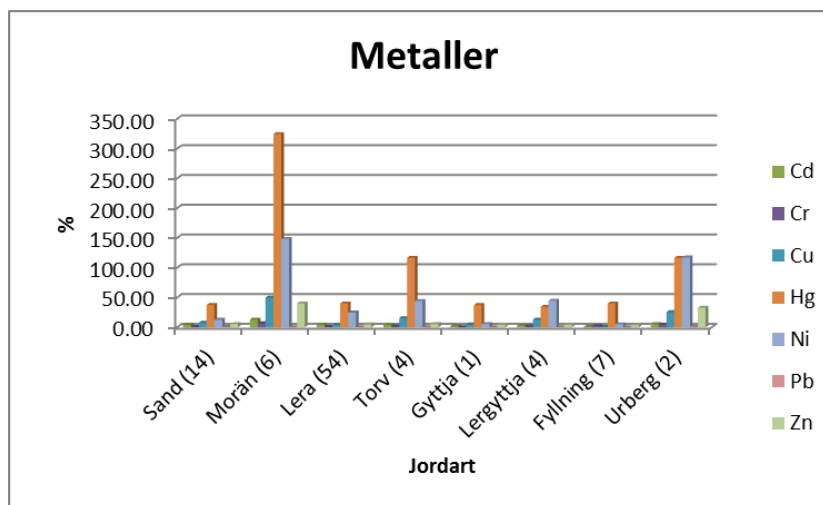
Figur 32-35 avser att visa hur marken renar alternativt tillför dagvattnet förorenande ämnen på dess väg ned till grundvattnet. Detta görs genom att presentera den procentuella skillnaden av föroreningshalter i grundvattnet jämfört mot det inträngande dagvattnets halter. Procental under 100 betyder i detta fall att dagvattnet innehåller högre halter föroreningar än grundvattnet. För procental över 100 gäller det omvända.



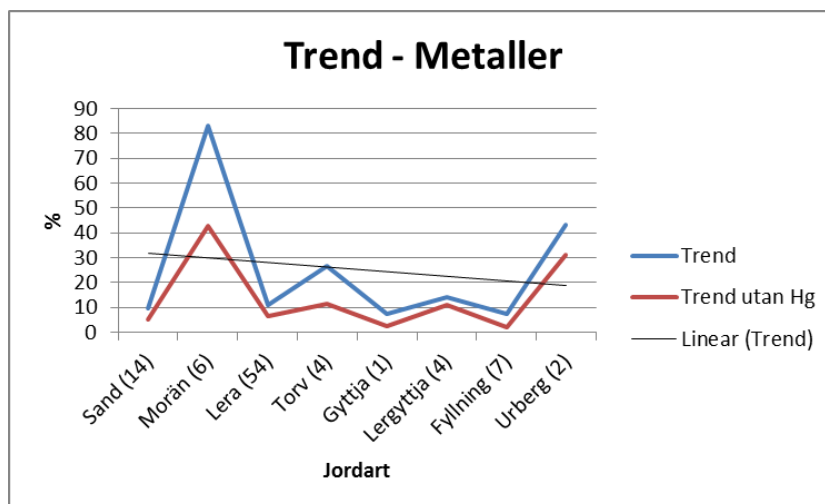
Figur 32. Diagram över grundvattnets procentuella innehåll av Cl-halterna i dagvattnet i olika jordarter



Figur 33. Diagram över grundvattnets procentuella innehåll av N- och P-halterna i dagvattnet i olika jordarter



Figur 34. Diagram över grundvattnets procentuella innehåll av Cd-, Cr-, Cu-, Hg-, Ni-, Pb- och Zn-halterna i dagvattnet i olika jordarter



Figur 35. Trendkurvor över grundvattnets procentuella innehåll av metall halterna i dagvattnet i olika jordarter, med och utan Hg inräknat samt en linjär trendlinje

## 11. DISKUSSION

Lokalt omhändertagande av dagvatten är generellt sett en effektiv och relativt billig metod. Genom att låta infiltreringen och perkolationen i marken stå för den renande effekten slipper man i dess renaste form (läs dammar, diken) dyra konstruktions – och driftkostnader i samband med bortledning av dagvatten till diverse reningsanläggningar. Möjligheten för anläggning av nya stationer är dessvärre beroende av flera olika aspekter. Markförhållanden så som jordarter och jorddjup ner till grundvatten är två av de viktigare punkterna som måste beaktas.

För att en infiltrering och perkolations ska ha den önskade effekten på det förorenade dagvattnet måste infiltrationshastigheten vara lämplig. Jordar med hög hydraulisk konduktivitet såsom sandiga och grövre jordar släpper igenom vattnet snabbare än vad marken kan ta upp och binda föroreningar. Risken finns att allt för höga halter av skadliga ämnen då når ner till grundvattnet. Jordar med en låg hydraulisk konduktivitet så som leriga och siltiga jordar är inte heller att föredra. Infiltrationen där är alldeles för långsam och det finns risk för översvämningar. I Stockholmsområdet dominerar lerjordar men även områden med moränjordar med sandiga och moiga inslag förekommer på många platser. Det är en jordart där den hydrauliska konduktiviteten är mellan  $10^{-6}$  och  $10^{-8}$  m/s vilket kan sägas vara lagom infiltreringshastighet. Tittar man sedan på figurerna 32, 33 och 34 i avsnittet *Resultat*, där det procentuella innehållet av dagvattnets föroreningshalter i grundvattnet presenteras kan man se att förutom vad gäller klorid, N, Hg och Ni ligger de flesta halter av föroreningsämnen under 100 %. Detta betyder att dagvattnet innehåller en större andel av dessa ämnen än vad som finns i grundvattnet. Det bör här påpekas att halten Hg ligger i osäkerhetszonen och är i förhållande till schablonvärdena förmodligen lägre än vad figuren visar. Att de procentuella halterna har beräknats är för att bedöma om att halterna i dagvattnet kan höja halterna i grundvattnet vid LOD till en sådan nivå att det blir skadligt för människor och andra organismer.

Jorddjupet till grundvattenytan utgör även det en betydande reningseffekt. I figur 27 kan man se en trend där föroreningshalterna som förväntat minskar med ett ökat jorddjup.

pH utgör som nämnts tidigare en viktig aspekt till vilka typer av joner som adsorberas i marken. Förorenande ämnen som förekommer i jonform binds således olika starkt beroende på om marken är sur eller basisk. Därför kan det vara viktigt att efter att ha undersökt dagvattnet, i ett område aktuellt för infiltration, med avseende på dess ämneshalter även mäta markens pH. På så sätt kan man avgöra huruvida ämnena i dagvattnet, utifrån laddningsförhållanden och markens pH-värde, bör fastläggas (i det här fallet adsorberas) eller ej. Ur figur 31 kan inte en tydlig trend för metallerna som är katjoner utläsas med avseende på teorin om att katjoner binder starkare i jordar med högre pH. Detta till stor del på grund av de höga Zn-halterna.

Figureerna 20, 21 och 22 visar föroreningshalterna i grundvattnet beroende på markanvändning. Här bör det framförallt påpekas att vissa förhöjda haltvärden beror på att mätningarna är gjorda i endast ett fåtal punkter. Ett högt värde höjer då medelvärdet avsevärt och få värden kan även ge kraftiga utslag på medianen.

I våra framtagna diagram tas ingen hänsyn till eventuella, redan befintliga markföroreningar. Eftersom sådan information saknas är det problematiskt att avgöra hur mycket markföroreningar bidrar till de aktuella grundvattenhalterna. Vad som dock kan utläsas från resultaten om förhållandet mellan föroreningshalterna i dag- och grundvattnet är det att i alla jordarter undantaget urberg är halterna av klorid i grundvattnet högre än vad de är i dagvattnet. Detta gäller även för flertalet av de undersökta jordarterna när det kommer till halterna N och P. Det skulle kunna indikera att det finns höga halter av dessa ämnen lagrade i marken och att det leder till en ansamling i grundvattnet eller att de ansamlas i grundvattnet för marken har svårt att rena dagvattnet från dessa ämnen. Alternativt är huvudsakliga källor till dessa typer av grundvattenföroreningar rimligtvis något annat än dagvattnet. För P kan exempelvis trasiga avloppsledningarna vara en bidragande orsak. För klorid kan troligtvis relik havsvatten bidra. För metallerna finns några få toppar i diagrammen som indikerar högre halter i grundvattnet än i dagvattnet. Detta gäller speciellt för Hg. Att detta skulle bero på höga halter i marken som sköljs ner till grundvattnet är möjligt, men en troligare orsak till detta torde vara att olika mättekniker kan ha använts av StormTac och miljöförvaltningen som specifikt anger att ett speciellt filter inte har använts vid Hg-bestämningen. Något som StormTac kan ha gjort. Just därför har också en trendlinje där Hg undantagits presenterats.

Generellt finns det speciellt två parametrar viktiga att peka på när det kommer till hur förekomsten av markföroreningar påverkar möjligheten till LOD. Dessa är:

- 1). *Vilken typ av förorening som är aktuell.* Vissa ämnen binder hårdare till markpartiklar än andra. På så sätt är risken mindre att sådana föroreningar skulle påverkas av det inträngande vattnet som en LOD-anläggning skulle ge upphov till.
- 2). *I vilka mängder föroreningen förekommer.* Ju mer förorenat ett markområde är, desto större är risken att det infiltrerade dagvattnet för med sig dessa och förorenar grundvattnet ytterligare.

I tätbebyggda områden är det största problemet kopplat till LOD platsbristen. Ofta är det redan trångt och eventuellt öppna ytor exploateras hellre i husbyggnadssyfte än i vattenreningssyfte. De enklaste LOD-anläggningarna, gröna ytor, som anläggs över mark kan med fördel integreras i parker och andra mindre grönytor avsedda för rekreation inne i staden. Förutom dagvattenreningen kan de även skapa ett estetiskt värde vid iögonfallande utformningar. I avsnitt *Anläggningar* presenterades ett

antal platsbesparande anläggningar som alla hjälper den naturliga reningen vid infiltration på traven, alternativt ingår som ett renande avsnitt i ett avledningssystem. De är dessutom placerade i flera under markytan där mer plats ofta finns att tillgå i den urbana miljön. Genom goda dimensioneringar och konstruktioner kan dessa bli betydelsefulla för grundvattenkvaliteten och grundvattenbildningen. Beroende på dagvattensammansättningen lämpar sig vissa typer av anläggningar bättre än andra. Även storleken av tillrinningområdet och dess flödesdimensionering är viktig vad gäller val av anläggning. Gemensamt för alla dessa typer av installationer är att marken de anläggs i måste vara lämplig för infiltration eftersom de bara utgör ett första steg i reningsprocessen.

Ofta är bortledning av vatten direkt avgörande för att undvika översvämningar, särskilt i centrumområden där i princip all yta är hårdgjord och både infiltrationsmöjligheterna och möjligheten till den nederbördsavskärmning vegetation kan åstadkomma är små. Att leda bort för stora mängder nederbörd innebär emellertid minskad vattentillförsel till marken och en sänkt grundvattennivå. En sänkt grundvattennivå skapar framförallt problem rent byggnadstekniskt med sättningar. Men även kvalitetsmässiga bekymmer kan tänkas uppstå. Sänkta grundvattennivåer ger också ett mindre grundvattenmagasin och utspäningseffekten hos föroreningarna som letar sig ner dit blir inte lika stor. Visserligen leder ett ökat djup ner till grundvattnet, som tidigare diskuterats till en bättre rening av dagvattnet. Men den reningen är alltså kopplad till markens egenskaper.

På många platser runt om i Stockholmsområdet visar fallstudien att dagvattnet är så pass förorenat främst utav trafiken att det vore önskvärt att leda bort det för rening. Detta är möjligt vid de stora recipienterna så som Saltsjön, Riddarfjärden och Lilla Värtan där vattenomsättningen är så pass stor att en minskad tillrinning knappast skulle märkas. Här är det viktigt att iaktta försiktighet vid nybyggnation nära vattnet då sedimenten innehåller höga halter av tungmetaller. Skulle sediment störas finns det risk att föroreningar därifrån sprids till omkringliggande recipienter. Samtidigt ska det sägas att det inte är där det största problemet ligger. Det är vid de mindre recipienterna vid Djurgården och Brommaområdet som läget är mer kritiskt. Trafikdagvattnet för med sig höga halter av föroreningar vilket belastar sjöarna. Recipienternas dåliga vattenomsättning gör att en bortledning av ytterligare vatten skulle rubba vattenomsättningen och orsaka större skador på både sjöarna och kringliggande områden. Det är alltså recipientens storlek och vattenomsättning som främst påverkar vattenkvaliteten och inte dess lokalisering i staden. Generellt skulle man annars kunna tänka sig att recipienter i centrala delar av staden skulle vara mer förorenade jämfört med de i stadens utkant.

Att avleda dagvattnet till reningsverk istället för att utan rening direkt leda det till vattendrag är förvisso att föredra när det gäller det aktuella vattendragets kvalitet. Som nämnts tidigare försämras dock reningsprocessen i reningsverket vid högre inflöden, vilket tillförsel av dagvatten innebär. Bräddning kan också bli aktuellt vilket vid kombinerade system blir en källa till både föroreningar bakteriespridning. Dessutom leder större kvantiteter vatten till en ökad kemikalieanvändning på reningsverket. Slammet som bildas i reningsprocessen och vidare används som gödselmedel på åkermarker tar skada av miljögifter från dagvattnet, miljögifter som då vid gödsling sprids vidare. Rening av dagvatten i reningsverk kan alltså ge en ur geografisk synvinkel större spridning av miljöfarliga ämnen medan avledning till vattendrag ger en något mer koncentrerad sådan. En av dagvattnet hämmad reningsprocess ger en



försämrade kvaliteten på det vatten som släpps ut från reningsverket och man kommer på så sätt inte helt ifrån utsläpp till recipient.

Förutom de felkällor i diagrammen som redan nämnts kan tilläggas att StormTacs schablonvärden är just schablonvärden. Verkligheten kan skilja sig från dessa värden både generellt i staden och lokalt från plats till plats. Jordartsbestämningen som gjordes i ArcMap grundar sig bara på det översta jordlagret och tar heller inte hänsyn till asfalt eller motsvarande. Vid djupa grundvattennivåer kan dagvattnet tänkas passera fler jordlager innan det når ner till grundvattnet varför en provpunkt som har klassats som sand möjligtvis till största del består av ett lerlager vilket har helt andra egenskaper vad gäller reningskapacitet. Resultatets trovärdighet ökar med antalet observationer. För jordarter finns endast ett fåtal observationer vilket kan förklara något oväntade och skeva resultat i förhållande till teorin. Det samma gäller markanvändningen där exempelvis idrottsplatser endast har två provpunkter vilket gör att resultatet nödvändigtvis inte speglar verkligheten. Dessutom låg idrottsplatserna ifråga väldigt centralt och påverkas därför mer av vägsalt och dagvatten än vad man skulle kunna förvänta sig att en genomsnittlig idrottsplats skulle göra.

## 12. SLUTSATS

På frågan huruvida dagvattnet bör genomgå LOD eller ledas bort finns inget entydigt svar. Att eftersträva ett lokalt omhändertagande är dock mest önskvärt, liksom Stockholms stad konstaterade redan på 90-talet då dagvattenstrategin togs fram, särskilt om krafttag sätts in för att minska mängden föroreningar till dagvattnet. På så sätt tillåts inte lika stora geografiska spridningar av de miljöfarliga ämnena som finns i dagvattnet som fås vid avledning. Beroende på markens egenskaper kan en naturlig reningseffekt åstadkommas med varierande resultat. En jord med måttlig hydraulisk konduktivitet är att föredra för infiltration alternativt en porös jord med goda magasineringsegenskaper ovanpå ett lager av en mer finkorning jord med goda reningsegenskaper.

I urbana miljöer finns ibland inte tillräckliga utrymmen för infiltrationsanläggningar och avledning kan vara att föredra. När det förorenade dagvattnet avleds till recipient ökar halterna i det aktuella vattendraget. Hur pass känslig recipienten är för denna tillförsel beror till stor del på dess storlek och vattenomsättning. I recipienter med stora vattenvolymer och god omsättning kommer utspädningseffekten lindra påverkan på omgivande växt- och djurliv, medan det motsatta gäller i mindre sjöar och vattendrag.

## KÄLLFÖRTECKNING

### Litteratur

- Czemiel Berndtsson, J., Bengtsson, L. (2005). *Gröna taks påverkan på dagvattenkvalitén*. Vatten 2005:2, pp. 115-122.
- Gustafsson, J-P. Jacks, G. Nilsson, I. Simonsson, M. (2008). Institutionen för mark- och vattenteknik KTH. 150 p.
- Knutsson, G. Morfeldt, C-O. (2002). *Grundvatten – teori och tillämpning*. AB Svensk Byggtjänst. 227 p.
- Larm, T. (1994). *Dagvattnets sammansättning, recipientpåverkan och behandling*. VA-Forskning, rapport nr. 1994:06.
- Larm, T., Holmgren, A., Börjesson, E. (1999). *Platsbesparande befintliga reningsystem för dagvatten*. Förstudie i projekt tekniktävling för rening av dagvatten. Stockholm stads LIP-kansli, VBB Viak.
- Larm, T., Pirard, J. (2010). *Utredning av föroreningsinnehållet i Stockholms dagvatten*. Rapport. Stockholms stad, Stockholms Vatten AB och Sweco.
- Livsmedelverket. (2001). *Information om kemiska parametrar i Livsmedelsverkets föreskrifter (2001:30) om dricksvatten, bilaga 2, i bokstansordning*. Vägledning till Livsmedelverkets föreskrifter (SLVFS 2001:30) om dricksvatten.
- Nilsson, A., Malmquist, Y. (1997). *Vattenplanering - avlopp och dagvatten*. Naturvårdsverket, rapport nr 4491.
- SGU. (2013). *Bedömningsgrunder för grundvatten*. Rapport 2013:01. SGU.
- Stockholm stad (2000). *Klassificering av dagvatten och recipienter samt riktlinjer för reningskrav, del 1 Recipientklassificering*. Gatu- och fastighetskontoret, Miljöförvaltningen, Stadsbyggnadskontoret, Stadsdelsförvaltningarna och Stockholm Vatten AB.
- Stockholm stad (2001). *Klassificering av dagvatten och recipienter samt riktlinjer för reningskrav, del 2 Dagvattenklassificering*. Gatu- och fastighetskontoret, Miljöförvaltningen, Stadsbyggnadskontoret, Stadsdelsförvaltningarna och Stockholm Vatten AB.
- Stockholm stad (2002). *Dagvattenstrategi för Stockholms stad*. Gatu- och fastighetskontoret, Miljöförvaltningen, Stadsbyggnadskontoret och Stockholm Vatten AB. 25 p.
- Stockholm Vatten. (2013). *Slamstrategi för Stockholm Vatten*. pdf [Elektroniskt].  
<http://www.stockholmvatten.se/commondata/rapporter/avlopp/Processer/Slamstrategi.pdf>. Hämtad 2013-05-02.
- Westlin, A. (2004). *Dagvatten från parkeringsytor*. Examensarbete R nr 27-2004. KTH Land and Water Resources Engineering och Stockholm Vatten AB. 70 p.

### Figurer

- Carlsson. Gustafsson. (1984). *Prov pumpning som geohydrologisk undersökningsmetodik*. Byggeforskningsrådet, R 41
- Lantmäteriet 2012a. Marktäckedata, © Lantmäteriet [i2012/920]
- Lantmäteriet 2012b. Vattenfastighetskartan, © Lantmäteriet [i2012/920]
- Lantmäteriet 2012c. Roads, © Lantmäteriet [i2012/920]
- Lantmäteriet 2012d. Vattendragskartan, © Lantmäteriet [i2012/920]

Larm, T., Holmgren, A., Börjesson, E. (1999). *Platsbesparande befintliga reningssystem för dagvatten*. Förstudie i projekt tekniktävling för rening av dagvatten. Stockholm stads LIP-kansli, VBB Viak.

Stockholm stad (2002). *Dagvattenstrategi för Stockholms stad*. Gatu- och fastighetskontoret, Miljöförvaltningen, Stadsbyggnadskontoret och Stockholm Vatten AB.

#### **Övriga referenser**

StormTac. (2013). Stormtacs hemsida: [www.stormtac.com](http://www.stormtac.com), 2013-02-23

**BILAGOR****Bilaga 1****Tabell 3. Median och min- maximumvärden för föroreningshalter i grundvattnet beroende på jordart**

Ämne		Jordart								
		Sand	Morän	Lera	Torv	Gyttja	Lergyttja	Fyllning	Urberg	
Cl	Min	18,000	11,000	6,600	24,000	85,000	48,000	66,000	8,900	
	(mg/l)	Median	91,000	37,500	68,000	105,000	85,000	77,000	120,000	9,950
	Max	120,000	200,000	600,000	180,000	85,000	98,000	210,000	11,000	
N	Min	0,092	0,450	0,110	0,270	1,500	0,460	2,000	0,430	
	(mg/l)	Median	0,955	4,745	0,900	0,600	1,500	0,565	4,200	1,915
	Max	140,000	14,000	33,000	4,900	1,500	1,900	43,000	3,400	
P	Min	0,007	0,017	0,010	0,024	0,980	0,032	1,000	0,078	
	(mg/l)	Median	0,076	0,094	0,125	0,335	0,980	0,071	2,000	0,081
	Max	6,600	0,330	1,300	0,560	0,980	0,270	6,800	0,083	
Cd	Min	0,003	0,002	0,002	0,004	0,028	0,002	0,002	0,019	
	(µg/l)	Median	0,033	0,056	0,021	0,012	0,028	0,018	0,010	0,020
	Max	4,180	0,082	0,923	0,294	0,028	0,021	0,078	0,020	
Cr	Min	0,010	0,047	0,010	0,016	0,051	0,015	0,058	0,035	
	(µg/l)	Median	0,037	0,198	0,054	0,066	0,051	0,073	0,137	0,176
	Max	0,148	0,769	0,308	0,252	0,051	0,117	1,240	0,317	
Cu	Min	0,614	1,370	0,100	0,540	2,080	0,152	0,100	1,700	
	(µg/l)	Median	1,525	7,955	1,500	2,675	2,080	1,447	0,120	4,780
	Max	14,700	17,900	17,500	5,270	2,080	4,860	12,400	7,860	
Hg	Min	0,002	0,020	0,002	0,002	0,026	0,002	0,006	0,020	
	(µg/l)	Median	0,020	0,020	0,020	0,020	0,026	0,020	0,020	0,020
	Max	0,024	0,301	0,137	0,020	0,026	0,020	0,072	0,020	
Ni	Min	0,151	1,830	0,253	0,776	0,841	0,368	0,238	1,690	
	(µg/l)	Median	1,160	2,455	2,100	1,595	0,841	1,722	0,426	5,345
	Max	3,960	5,050	36,200	3,740	0,841	5,070	4,030	9,000	
Pb	Min	0,012	0,010	0,010	0,010	0,050	0,010	0,010	0,010	
	(µg/l)	Median	0,061	0,023	0,035	0,013	0,050	0,013	0,010	0,071
	Max	0,906	0,100	1,750	1,170	0,050	0,059	1,260	0,132	
Zn	Min	2,190	1,030	0,474	1,670	10,500	1,020	2,070	1,170	
	(µg/l)	Median	4,330	9,410	4,448	3,750	10,500	6,515	4,740	8,635
	Max	23,700	1010,000	2070,000	8,730	10,500	12,500	91,200	16,100	

**Tabell 4. Median och min- maximumvärden för föroreningshalter i grundvattnet beroende på markanvändning**

Ämne		Markanvändning										
		Skogs- mark	Blandat grönom- råde	Golf- bana	Jord- bruksma- rk	Idrottspl- ats	Park- mark	Villaom- råde	Fler- familje- husom- råde	Gen- trumom- råde	Industri- område	
Cl	Min	11,000	26,000	35,000	32,000	130,000	24,000	27,000	11,000	18,000	16,000	
	(mg/l)	Median	32,000	40,000	35,000	48,500	170,000	52,500	48,000	78,500	95,000	89,500
		Max	88,000	54,000	35,000	65,000	210,000	43,000	270,000	310,000	600,000	230,000
N	Min	0,450	0,160	0,110	0,310	0,230	0,400	0,180	0,210	0,770	0,160	
	(mg/l)	Median	0,590	0,285	0,110	2,555	1,015	0,580	0,970	0,715	2,950	1,300
		Max	0,660	0,410	0,110	4,800	1,800	8,900	13,000	5,700	140,000	43,000
P	Min	0,017	0,220	0,085	0,016	0,100	0,007	0,010	0,020	0,022	0,013	
	(mg/l)	Median	0,032	3,410	0,085	0,025	0,650	0,160	0,078	0,067	0,805	0,165
		Max	0,057	6,600	0,085	0,033	1,200	0,560	2,400	0,420	6,800	2,200
Cd	Min	0,002	0,004	0,040	0,009	0,005	0,004	0,002	0,002	0,002	0,003	
	(µg/l)	Median	0,021	0,007	0,040	0,010	0,013	0,021	0,027	0,027	0,034	0,015
		Max	0,051	0,010	0,040	0,012	0,021	0,079	0,294	4,180	0,087	0,085
Cr	Min	0,047	0,022	0,043	0,010	0,139	0,012	0,010	0,010	0,010	0,010	
	(µg/l)	Median	0,079	0,023	0,043	0,011	0,145	0,078	0,065	0,045	0,088	0,059
		Max	0,769	0,024	0,043	0,012	0,151	0,228	0,317	0,148	1,240	0,335
Cu	Min	1,370	0,499	1,000	1,510	0,100	0,346	0,100	0,100	0,100	0,100	
	(µg/l)	Median	2,160	0,708	1,000	1,865	0,134	2,370	2,350	1,671	1,021	1,110
		Max	17,900	0,917	1,000	2,220	0,167	8,260	15,600	13,100	17,500	9,880
Hg	Min	0,020	0,020	0,005	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,004	0,002	
	(µg/l)	Median	0,020	0,020	0,005	0,002	0,011	0,020	0,020	0,020	0,020	
		Max	0,020	0,021	0,005	0,002	0,020	0,301	0,020	0,137	0,073	0,048
Ni	Min	1,830	1,070	1,090	1,980	0,679	0,317	0,253	0,151	0,238	0,271	
	(µg/l)	Median	1,870	2,650	1,090	2,090	0,821	1,940	3,830	1,625	0,878	1,710
		Max	2,730	4,230	1,090	2,200	0,963	3,560	10,500	3,470	4,700	36,200
Pb	Min	0,010	0,010	0,035	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	
	(µg/l)	Median	0,059	0,023	0,035	0,042	0,042	0,020	0,039	0,018	0,061	0,038
		Max	0,100	0,037	0,035	0,073	0,074	0,247	1,170	1,750	1,260	1,170
Zn	Min	3,280	5,620	2,410	1,820	0,840	0,474	0,683	1,550	1,020	1,860	
	(µg/l)	Median	12,500	7,415	2,410	2,395	21,620	3,630	3,690	4,450	9,415	4,600
		Max	1010,000	9,210	2,410	2,970	42,400	23,700	2070,000	8,810	1860,000	148,000

**Tabell 5. Median och min- maximumvärden för föroreningshalter i grundvattnet beroende på jordmäktighet**

Ämne		Jordmäktighet ner till grundvattennivån							
		<1m	1-2m	2-3m	3-4m	4-5m	5-6m	6-7m	>7m
Cl	Min	250,000	6,600	11,000	32,000	20,000	11,000	77,000	18,000
	(mg/l) Median	250,000	62,500	66,000	120,000	89,000	71,000	77,000	18,000
	Max	250,000	270,000	310,000	600,000	240,000	210,000	77,000	18,000
N	Min	0,970	0,160	0,092	0,140	0,370	0,370	0,160	0,770
	(mg/l) Median	0,970	0,780	1,900	0,990	1,100	3,800	0,160	0,770
	Max	0,970	8,900	43,000	33,000	14,000	140,000	0,160	0,770
P	Min	0,027	0,018	0,007	0,016	0,022	0,044	0,013	-
	(mg/l) Median	0,027	0,200	0,140	0,180	0,056	0,110	0,013	-
	Max	0,027	2,400	3,100	6,800	6,600	1,200	0,013	-
Cd	Min	0,065	0,004	0,002	0,002	0,002	0,017	0,018	0,061
	(µg/l) Median	0,072	0,020	0,011	0,012	0,014	0,060	0,018	0,061
	Max	0,079	0,294	0,087	4,180	0,085	0,082	0,018	0,061
Cr	Min	0,051	0,016	0,010	0,010	0,010	0,037	0,020	0,138
	(µg/l) Median	0,069	0,068	0,056	0,088	0,024	0,151	0,020	0,138
	Max	0,088	0,317	0,184	1,240	0,132	0,769	0,020	0,138
Cu	Min	2,990	0,100	0,100	0,100	0,173	0,167	0,614	3,810
	(µg/l) Median	5,625	2,255	1,000	1,000	1,500	9,880	0,614	3,810
	Max	8,260	7,860	15,600	13,100	12,500	17,900	0,614	3,810
Hg	Min	0,020	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,020
	(µg/l) Median	0,161	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,002	0,020
	Max	0,301	0,050	0,048	0,137	0,095	0,044	0,002	0,020
Ni	Min	3,090	0,253	0,238	0,151	0,676	0,963	1,250	0,491
	(µg/l) Median	4,495	2,485	0,685	1,730	1,580	2,350	1,250	0,491
	Max	5,900	9,000	10,500	36,200	3,560	5,050	1,250	0,491
Pb	Min	0,015	0,010	0,010	0,010	0,010	0,027	0,036	0,093
	(µg/l) Median	0,017	0,019	0,016	0,041	0,037	0,074	0,036	0,093
	Max	0,019	1,170	1,750	1,260	0,433	0,399	0,036	0,093
Zn	Min	6,060	1,030	1,020	0,840	0,683	2,550	10,800	7,530
	(µg/l) Median	12,730	5,195	3,940	4,245	4,710	4,320	10,800	7,530
	Max	19,400	2070,000	91,200	1860,000	9,210	42,400	10,800	7,530

**Tabell 6. Median och min- maximumvärden för föroreningshalter i grundvattnet vid olika pH**

Ämne		pH			
		pH<6	6<pH<7	7<pH<8	pH>8
Cl	Min	6,600	11,000	8,900	26,000
	(mg/l) Median	48,300	98,000	68,500	83,000
	Max	90,000	600,000	310,000	95,000
N	Min	0,270	0,160	0,092	0,160
	(mg/l) Median	0,290	1,300	0,810	1,805
	Max	0,310	43,000	140,000	7,400
P	Min	0,048	0,016	0,007	0,013
	(mg/l) Median	0,254	0,160	0,125	0,090
	Max	0,460	6,800	1,300	6,600
Cd	Min	0,004	0,002	0,002	0,003
	(µg/l) Median	0,034	0,024	0,020	0,011
	Max	0,064	4,180	0,294	0,018
Cr	Min	0,040	0,010	0,010	0,010
	(µg/l) Median	0,050	0,115	0,051	0,018
	Max	0,060	1,240	0,935	0,024
Cu	Min	0,540	0,100	0,100	0,614
	(µg/l) Median	1,390	2,460	1,500	0,794
	Max	2,240	17,900	15,600	1,720
Hg	Min	0,002	0,002	0,002	0,002
	(µg/l) Median	0,011	0,020	0,020	0,011
	Max	0,020	0,137	0,301	0,021
Ni	Min	0,776	0,151	0,238	0,636
	(µg/l) Median	2,348	2,090	1,620	1,160
	Max	3,920	9,000	36,200	1,580
Pb	Min	0,010	0,010	0,010	0,012
	(µg/l) Median	0,056	0,022	0,040	0,032
	Max	0,101	1,750	1,260	0,037
Zn	Min	4,250	0,683	0,474	2,190
	(µg/l) Median	4,250	4,660	4,140	6,470
	Max	2070,000	1860,000	148,000	10,800

**Tabell 7. Median och min- maximumvärden för grundvattnets procentuella innehåll av dagvattnets föroreningshalter**

Ämne		Jordart							
		Sand	Morän	Lera	Torv	Gyttja	Lergyttja	Fyllning	Urberg
Cl	Min	45,000	215,000	18,857	120,000	170,000	48,000	165,000	31,429
%	Median	250,000	310,000	196,400	261,429	170,000	180,500	300,000	37,960
	Max	475,000	640,000	1500,000	514,286	170,000	98,000	525,000	44,500
N	Min	40,526	60,000	5,238	15,000	83,333	0,460	105,260	35,833
%	Median	57,900	410,167	53,200	45,238	83,333	56,778	221,053	139,350
	Max	7368,421	777,778	1736,842	350,000	83,333	1,900	2388,890	242,857
P	Min	4,333	43,333	5,000	12,000	326,667	0,032	357,140	39,000
%	Median	27,700	105,714	51,700	129,167	326,667	62,000	688,095	54,080
	Max	5500,000	275,000	1000,000	466,667	326,667	0,270	2428,570	69,167
Cd	Min	0,227	1,000	0,200	0,267	1,887	0,002	0,200	3,780
%	Median	4,170	12,860	4,340	3,593	1,887	2,593	1,030	5,260
	Max	597,143	26,267	131,857	58,800	1,887	0,021	7,770	6,733
Cr	Min	0,071	2,393	0,133	0,284	0,361	0,015	1,160	1,150
%	Median	0,830	6,583	0,740	1,409	0,361	1,700	2,180	4,540
	Max	2,760	153,800	7,600	6,300	0,361	0,117	24,800	7,925
Cu	Min	1,364	21,077	0,333	1,200	4,622	0,152	0,220	11,333
%	Median	7,530	49,833	3,970	15,267	4,622	12,966	0,545	25,320
	Max	66,818	275,385	79,545	26,350	4,622	4,860	56,360	39,300
Hg	Min	2,857	28,571	2,857	2,857	37,429	0,002	12,600	100,000
%	Median	37,600	324,500	40,000	116,667	37,429	34,286	40,000	116,670
	Max	207,000	1505,000	548,000	133,333	37,429	0,020	143,800	133,333
Ni	Min	1,678	31,563	2,769	4,850	5,256	0,368	1,690	84,500
%	Median	12,600	148,250	24,710	44,250	5,256	44,481	5,012	117,250
	Max	107,000	374,000	440,000	62,333	5,256	5,070	47,410	150,000
Pb	Min	0,039	0,088	0,033	0,033	0,166	0,010	0,030	0,167
%	Median	0,460	0,337	0,170	0,164	0,166	0,105	0,050	0,740
	Max	6,040	1,667	11,667	11,700	0,166	0,059	6,300	1,320
Zn	Min	1,381	1,600	0,841	1,574	3,889	1,020	1,480	1,463
%	Median	5,380	39,933	4,660	5,371	3,889	4,146	3,386	32,930
	Max	94,800	6733,333	2587,500	10,913	3,889	12,500	65,140	64,400