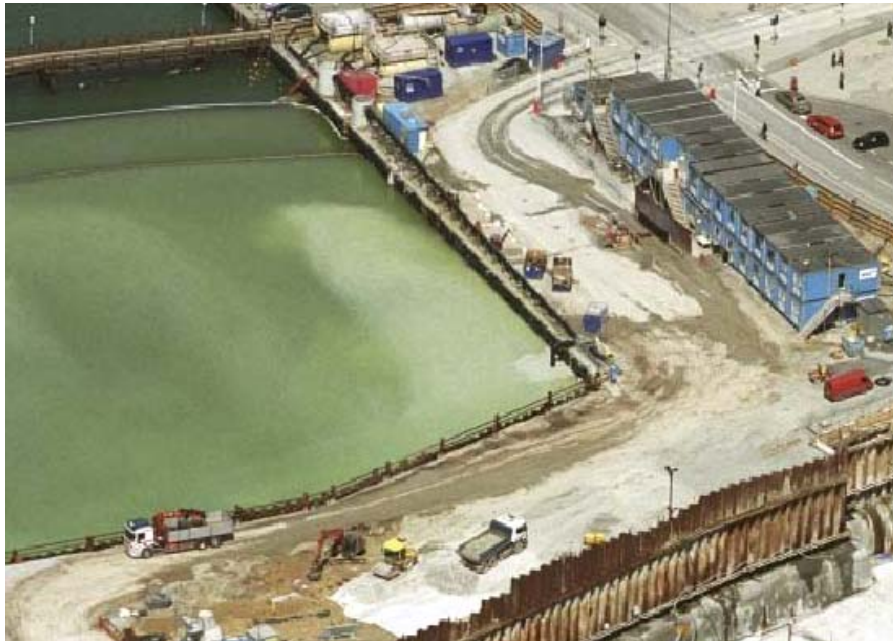


# Rening av länsvatten vid schaktning i finkornigt material



Malin Norin  
Emma Johansson  
Maria Malmberg  
Johan Magnusson  
Susanne Svegerud

SBUF  
Utvecklingsprojekt 11735

## FÖRORD

*Citytunneln är ett av de första stora infrastrukturprojekten som genomgått en så omfattande miljöprövning och processen väntas bli stilbildande för hur andra, liknande projekt prövas i framtiden.*

*De lokala förutsättningarna i projektet innefattar en bergmassa med löst sedimenterat kalkberg som vid bearbetning frigör stora mängder material i siltfraktionen. Detta medför att det generellt genereras ett länsvatten med en hög suspenderad halt. Vilka projektlösningar som valts i de olika entreprenaderna och hur dessa fungerat med avseende på rening av länsvattnen har sammanställts.*

*Projektet "Rening av länsvattnen i finkornigt material" har varit möjligt att genomföra när NCC fått värdefull delfinansiering genom SBUF.*

*Projektgenomförandet har också möjliggjorts genom att ett flertal personer varit välvilliga att hjälpa till att ta fram material och delge sina erfarenheter från de olika entreprenaderna på Citytunneln. Följande personer bör speciellt omnämnas vid respektive entreprenad:*

*Malmö C.*

*Carl-Henric Nilsson, NCC Construction Syd  
Madelene Schöld, NCC Construction Syd  
Staffan Swedenborg, NCC Teknik*

*Stationen Triangeln,  
Norra hamnen och Holma  
samt borrarad tunnel*

*Cecilia Jansson, Malmö Citytunnel Group,  
(MCG)*

*Hyllie*

*Cecilia Johansson, NCC Construction Syd  
Patricia Prenate, NCC Construction Syd*

*Lockarp*

*Mattias Hall, Skanska*

*I projekts referensgrupp har Magnus Hallberg, Skanska ingått.*

*Slutligen har arbetet kunnat genomföras med ett antal medförfattare Emma Johansson, Maria Malmberg, Johan Magnusson och Susanne Svegerud.*

*Ett stort tack till Er alla.!*

*/Malin Norin*

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<i>FÖRORD</i> .....	2
<b>INNEHÅLLSFÖRTECKNING</b> .....	<b>3</b>
<b>SAMMANFATTNING</b> .....	<b>7</b>
<b>1. INLEDNING</b> .....	<b>10</b>
<b>2. UPPDRAG OCH SYFTE</b> .....	<b>11</b>
2.1 Disposition.....	11
<b>3. LAGSTIFTNING OCH RIKTVÄRDEN SOM BERÖR LÄNSVATTEN</b> .....	<b>12</b>
3.1 Miljömål.....	12
3.2 Hänsynsreglerna .....	13
3.3 Miljöfarlig verksamhet.....	14
3.4 Tillstånds- och anmälningssplikt för miljöfarlig verksamhet .....	15
3.4.1 Tillståndsplikt .....	15
3.4.2 Föreläggande om att ansöka om tillstånd .....	16
3.4.3 Frivilligt tillstånd .....	16
3.5 Anmälningssplikt.....	17
<b>4. RIKTVÄRDEN FÖR LÄNSHÅLLNINGSVATTEN</b> .....	<b>18</b>
4.1 Parametrar som vanligen analyseras i länsvatten .....	18
4.2 Bedömningsgrunder för metaller .....	19
4.3 Förslag på riktlinjer .....	20
<b>5. BILDNING AV LÄNSVATTEN</b> .....	<b>22</b>
5.1 Definition av länsvatten .....	22
5.2 Beräkning av länsvattenmängder.....	22
5.2.1 Ytvattentillrinning .....	23
5.2.2 Grundvattentillströmning .....	24
5.3 Länshållning – att hålla läns .....	24
5.3.1 Metoder för länshållning.....	24
5.3.2 Projektering .....	26
<b>6. LÄNSVATTEN OCH SUSPENDERAT MATERIAL</b> .....	<b>28</b>
6.1 Inledning.....	28
6.2 Sedimentation av partiklar .....	29
6.3 Analysmetoder för bestämning av grumligheten i vatten .....	30
6.3.1 Suspenderat material .....	30
6.3.2 Turbiditet .....	30
6.3.3 Siktdjup.....	31
<b>7. SUSPENDERAT MATERIAL OCH DESS MILJÖEFFEKTER</b> ...	<b>32</b>
7.1 Inledning.....	32
7.2 Miljöpåverkan.....	32

7.2.1	<i>Material i suspension</i> .....	32
7.2.2	<i>Sedimentation</i> .....	33
<b>8.</b>	<b>METALLER OCH ORGANISKA ÄMNENS FÖRMÅGA ATT BINDA TILL SUSPENDERAT MATERIAL</b> .....	<b>34</b>
8.1	<b>Inledning</b> .....	<b>34</b>
8.2	<b>Metaller</b> .....	<b>35</b>
8.3	<b>Organiska ämnen</b> .....	<b>36</b>
<b>9.</b>	<b>RENINGSMETODER FÖR SUSPENDERAT MATERIAL I LÄNSVATTEN</b> .....	<b>37</b>
9.1	<b>Inledning</b> .....	<b>37</b>
9.2	<b>Olika reningsmetoder</b> .....	<b>39</b>
9.2.1	<i>Sedimentationsfälla</i> .....	41
9.2.2	<i>Lamellsedimentering</i> .....	42
9.2.3	<i>Sedimentationsdamm</i> .....	43
9.2.4	<i>Siltgardin</i> .....	45
9.2.5	<i>Sedimenttröskel</i> .....	47
9.2.6	<i>Checkdammar</i> .....	47
9.2.7	<i>Sandfilter</i> .....	48
9.2.8	<i>Kemisk rening</i> .....	50
9.2.9	<i>Bevuxna diken och översilningsytor</i> .....	51
<b>10.</b>	<b>CITYTUNNELPROJEKTET</b> .....	<b>52</b>
10.1	<b>Inledning</b> .....	<b>52</b>
10.2	<b>Geologi</b> .....	<b>55</b>
10.3	<b>Vatten</b> .....	<b>57</b>
10.3.1	<i>Grundvatten</i> .....	57
10.3.2	<i>Ytvatten</i> .....	57
10.4	<b>Bildade länsvattenmängder i projektet</b> .....	<b>58</b>
10.5	<b>Citytunnels miljökrav</b> .....	<b>59</b>
10.5.1	<i>Miljödom (kapitel 9 och 11)</i> .....	60
<b>11.</b>	<b>PROJEKTLÖSNINGAR FÖR LÄNSVATTENRENING VID CITYTUNNELPROJEKTET</b> .....	<b>62</b>
11.1	<b>Malmö C E101</b> .....	<b>63</b>
11.1.1	<i>Länsvattenhantering vid Malmö C</i> .....	63
11.1.2	<i>Hantering av länsvatten i schaktgrop under produktionskedet</i> .....	65
11.1.3	<i>Analyserade halter vid Malmö C</i> .....	66
11.2	<b>Station Triangeln, E201</b> .....	<b>67</b>
11.2.1	<i>Länsvattenhantering (temporära arbeten)</i> .....	67
11.2.2	<i>Analyserade halter vid Stationen Triangeln</i> .....	68
11.3	<b>Tunnlar och bergrum E201</b> .....	<b>71</b>
11.3.1	<i>Länsvattenhantering vid Holma</i> .....	71

11.3.2	<i>Analyserade halter vid Holma</i> .....	73
<b>11.4</b>	<b>Sedimentationsbassängen Inre hamn</b> .....	<b>74</b>
11.4.1	<i>Siltgardin</i> .....	75
11.4.2	<i>Kontrollprogram</i> .....	76
11.4.3	<i>Analyserade halter i Inre hamnen</i> .....	76
<b>11.5</b>	<b>Hyllie – Vintrie och Hyllie Station E311</b> .....	<b>78</b>
11.5.1	<i>Utjämningsmagasinen</i> .....	79
11.5.3	<i>Analyserade halter vid utjämningsmagasinen vid Hyllie</i> .....	80
<b>11.6</b>	<b>Förbindelse-spår Lockarp (E301 Mark och konstbyggnader)</b> .....	<b>83</b>
11.6.1	<i>Länsvattenhantering vid Lockarp</i> .....	83
11.6.2	<i>Analyserade halter i Lockarp</i> .....	85
<b>11.7</b>	<b>Arlöv-Malmö Kapacitetsförstärkning, Planskild spårkorsning</b> .....	<b>87</b>
11.6.1	<i>Länsvatten vid den planskilda spårkorsningen</i> .....	87
11.6.1	<i>Lösning på rening av länsvattnet</i> .....	88
11.6.2	<i>Kontroll och provtagning</i> .....	88
11.6.3	<i>Analyserade halter vid Arlöv-Malmö</i> .....	89
<b>12.</b>	<b>KOMPLETTERANDE LÄNSVATTENUNDERSÖKNINGAR</b> ..	<b>92</b>
12.1	<b>Inledning</b> .....	<b>92</b>
12.2	<b>Suspenderad halt vid olika reningssteg (Malmö C)</b> .....	<b>92</b>
12.2.1	<i>Kornstorleksanalys</i> .....	93
12.2.2	<i>Resultatet från kornstorleksanalysen med sedigraf</i> .....	94
12.2.3	<i>Suspenderad halt vid in och utlopp till utjämningsmagasin vid Hyllie</i> 96	
12.4	<b>Test av sandfilter på läns hållningsvatten vid Citytunneln</b> .....	<b>97</b>
12.4.1	<i>Mätresultat</i> .....	98
<b>13.</b>	<b>DISKUSSION &amp; SLUTSATSER</b> .....	<b>101</b>
13.1	<b>Lagstiftningens påverkan</b> .....	<b>101</b>
13.2	<b>Analyserade parametrar i länsvattnet</b> .....	<b>101</b>
13.3	<b>Att analysera finmaterialhalten i ett länsvatten</b> .....	<b>102</b>
13.4	<b>Vikten av att hantera länsvatten på ett bra sätt i schaktgropen</b> ....	<b>102</b>
13.5	<b>Principer för val av reningsmetoder för länsvatten</b> .....	<b>103</b>
13.6	<b>Erfarenheter från valda reningsmetoder för länsvattnet i Citytunnelprojektet</b> .....	<b>103</b>
13.6.1	<i>Sedimentationsfälla</i> .....	103
13.6.2	<i>Sedimentationsbassäng</i> .....	104
13.6.3	<i>Siltgardin</i> .....	105
13.6.4	<i>Sandfilter</i> .....	105
<b>14.</b>	<b>REFERENSER</b> .....	<b>106</b>

## **Bilagor**

1. Beräkning av länsvattenmängder
2. Metaller och organiskt materials bindningsförmåga till mineralpartiklar
3. Information om utjämningsmagasin 1,2 och 4
4. Reningsanläggning vid Stationen Triangeln
5. Kornstorleksfördelning i länsvattnet analyserat med sedigraf
6. Riktvärden för metaller i länsvattnet
7. Dimensionering av en sedimentationsdamm
8. Kemisk rening

## SAMMANFATTNING

Vid nästan alla byggprojekt bildas länsvatten även kallat schaktvatten eller övrigt avloppsvatten. Detta vatten är ofta mer eller mindre förorenat och den vanligaste föroreningen är suspenderat material. Suspenderat material bildas av naturen själv i floder, vid hårt regn, när djur rör sig i markerna med mera. Där mycket suspenderat material kommer ut i områden, som det normalt inte tillförs sådant kan det orsaka stor skada. Fiskarna utsätts för stress och bottenförutsättningarna förändras där det suspenderade materialet sedimenterar. Andra skador som kan uppstå är skador på fiskarnas gälar när små partiklar fastnar. Stora mängder suspenderat material kan även ställa till med tekniska problem för entreprenören; rör och pumpar mm kan sättas igen.

Målet med detta projekt är att belysa de metoder som idag nyttjas vid rening av länsvatten vid schaktning i finkornigt material och utvärdera dess reningsmetoders för och nackdelar. För att få en djupare förståelse av olika metoder har Citytunnelprojektet i Malmö använts som ett referensprojekt. De metoder som nyttjas har dokumenterats och reningseffekter analyserats.

Citytunneln är ett av de första stora infrastrukturprojekten som miljöprövas i domstol genom att söka ett frivilligt tillstånd för att bedriva miljöfarlig verksamhet enligt kapitel 9 i Miljöbalken. Processen som tillämpats på Citytunnelprojektet väntas bli stilbildande för hur andra, liknande projekt prövas i framtiden.

Miljödomen ledde till att ett antal krav ställdes dels på hela projektet, men också vissa platsspecifika krav. Dessa innefattade bland annat att avloppsvatten från de olika entreprenaderna som avleds till recipient skall uppfylla uppställda riktvärden. För entreprenörerna har detta dock varit till stor hjälp när det funnits fasta riktlinjer att rätta sig efter.

I Citytunnelprojektet byggs en järnväg som skall förbinda Sverige och Malmö med resten av Europa. Citytunneln kommer att gå under mark genom Malmö centrum. Projektet är uppdelat på ett antal entreprenader. De huvudsakliga är: 1) *Malmö C* där en station skall byggas under mark, en ramp för tåget och en förgreningsdel i spåret, 2) *Tunnlar* som skall bestå av bergborrade tunnelrör, tvärtunnlar, angreppschakt, två räddningsschakter och en järnvägsramp vid Hyllie, 3) *Station Triangeln* som består av en underjordisk station, 4) *Spår vid Hyllie – Vinitre inkl Hyllie station*, vilket består av dubbelspår ovan mark samt

förbindelsespår, 4) *Förbindelsespår vid Lockarp* bestående av ett förbindelsespår vid Lockarp.

I anslutning till Citytunnelprojektet genomförs ytterligare en större entreprenad; *Arlöv-Malmö*. Denna innefattar kapacitetsförstärkning, planskild spårkorsning och upprustning av de två befintliga spåren samt utbyggnation med två nya spår.

Vid de olika entreprenaderna har man valt varierande metoder för rening av länsvatten. Det är många aspekter som styr val av metod, däribland självklart typen av förorening som vattnet är kontaminerat med, men en viktig faktor är också förhållandena på platsen och då speciellt utrymmet. Andra faktorer är mängden länsvatten som väntas, flödes hastighet och utsläppskrav. Betydelse har också vad platsen skall användas till när bygget är klart och närboende under projektet vilket gör att även den estetiska aspekten kan få stor betydelse.

I vissa projekt, speciellt tunnelprojekt så kan länsvatten även genereras när själva byggprojektet är över och när anläggningen är i drift. Det är därför viktigt att även detta tas i betänkande så att reningslösningen blir så effektiv och hållbar som möjligt även efter byggnationstiden.

På marknaden idag finns en uppsjö av metoder som kan användas för rening av suspenderat material. De vanligaste reningsmetoderna är sedimentationsbassänger och sedimentationscontainrar. Vanligt är att framförallt sedimentationsbassäng men även sedimentationscontainrar även fyller en funktion som uppsamlingsmagasin för länsvattnet för att kontrollera flödet ut till recipienten. En annan metod som blivit allt mer vanlig är kemisk rening. Ofta tillsätts ett flockulationsmedel som gör att partiklarna i vattnet flockar sig och på så sätt får högre densitet och sjunker till botten. Det är viktigt all rening av länsvatten måste utgå från vilken typ och omfattning länsvatten genereras.

Vid Malmö C, Station Triangeln och Lockarp har sedimentationscontainrar använts som ett försedimenteringssteg. Det är mycket viktigt att vara medveten om att denna typ av anläggning kräver kontinuerlig översyn eftersom uppehållstiden minskar allteftersom slam ansamlas på dess botten – om inte containern töms kan en passage genom systemet istället bidra till att halten av suspenderat material i vattnet ökar. Vid Arlöv används två seriekopplade slamavskiljare som ett sista reningssteg innan vattnet släpps ut i recipient. Resultaten visar på att det kan vara svårt att uppnå tillräcklig rening med avseende på finmaterial med endast en slamavskiljning som slutreningssteg.



Vid Malmö Central där platsbristen är stor har ett sista och mycket viktigt reningssteg erhållits genom att en del av Inre hamnbassängen skurits med hjälp av två parallella siltgardiner. Genom att ha två gardiner har det alltid funnits en gardin i vattnet och fullgod reningseffekt har erhållits genom hela projektet. Sedimentationsbassängen i den Inre hamnen tar emot allt övrigt avloppsvatten från arbetsområdena Malmö C och Station Triangeln, efter vattnet gått igenom sedimentationscontainrar, slamavskiljare och oljeavskiljare.

Utanför Malmö vid Hyllie – Vinitre har fyra stycken sedimentationsbassänger konstruerats. I det stora hela har bassängerna fungerat bra för att rena vattnet. Genom att förse en del av dammarna med en tröskel har reningseffekten blivit bättre. Problem med förhöjda halter har dock framförallt kunnat relateras till perioder med kraftig nederbörd och höga flöden.

Station Triangeln klarar generellt sina reningskrav bra. Det visade sig i början att kraven var svåra att hålla på stationen, vilket föranledde till att ett extra reningssteg i form av kemisk rening tillsattes. Den kemiska reningen har varit mycket effektiv. I inledningsskedet fick emellertid försök med doseringen göras för att få önskat resultat.

Den parameter som påverkat reningen mest i Citytunnelprojektet har varit nederbörden. I samband med kraftiga regn och schaktning har reningen periodvis försämrats. Överlag har dock nyttjade reningsmetoder i Citytunnelprojektet fungerat mycket väl.

## 1. INLEDNING

Vid i stort sätt alla anläggningsprojekt bildas länsvatten som är mer eller mindre förorenat. Vattnat bildas dels genom att regnvatten faller över anläggningen eller genom schaktning under grundvattenytan och annan verksamhet. Miljökraven har på senare år blivit hårdare och det accepteras inte längre att smutsigt okontrollerat vatten rinner ut från byggplatsen. Detta ställer i sin tur högre krav på entreprenören och att de finner och nyttjar lämpliga reningsmetoder för länsvatten.

En vanligt förekommande föroreningsgrupp i länsvattnet är suspenderat material och det är framförallt reningen av den grupp som undersöks närmare i föreliggande projekt. Med suspenderat material menas framförallt oorganiska partiklar som hålls i lösning. Dessa partiklar har länge förbisatts och dess negativa påverkan på naturen har inte riktigt undersökts. Men med mer forskning och med ett ökande miljötänkande har suspenderat material mer och mer börjat ses som en förorening. En annan problematik är att många andra föroreningar så som metaller ofta binds till det suspenderade materialet.

På marknaden finns idag en uppsjö av olika reningsmetoder för länsvatten. När en lämplig metod skall väljas måste många aspekter vägas in. Mängden länsvatten har självklart stor betydelse men även föroreningsgraden, typ av förorening, kornstorlek, platstillgång för reningsanläggning och självklart ekonomi. Totalt sett om även vägdagvatten tas med är den absolut vanligaste typen av sedimentationsanläggning någon form av sedimentationsfällor ofta utformad i en container. Dessa kan dimensioneras på olika sätt med olika metoder vilka kort beskrivs i detta arbete.

För att exemplifiera ett antal olika reningsmetoder för länsvatten så har Citytunnelprojektet i Malmö använts. Detta är ett mycket stort infrastrukturprojekt där ett flertal entreprenörer är inblandade på flera olika platser och där har också ett antal olika reningsmetoder använts. Projektet är relativt unikt i Sverige eftersom det frivilligt prövades i miljödomstolen. Miljökraven i projektet är i många avseenden hårt satta och det finns specifika krav för de olika delentreprenaderna på hur mycket suspenderat material som får släppas ut.

## **2. UPPDRAG OCH SYFTE**

Detta projekt skall vara en sammanställande studie av reningsprocesser för länsvatten och schaktvatten i samband med byggprojekt.

Projektets huvudsyfte är att dels redogöra för vilka reningsmetoder för länsvatten som finns på marknaden idag samt att belysa deras för och nackdelar. För att exemplifiera en del av de metoder som finns har Citytunneln i Malmö använts som referensprojekt.

Projektet syftar dessutom att redogöra för hur länsvatten blir förorenat av suspenderat material och vilken miljöpåverkan detta har.

### **2.1 Disposition**

De första kapitlen i denna rapport belyser länsvatten i allmänhet, dess miljöeffekter och den lagstiftning som finns runt omkring. Ett kapitel om olika reningsmetoder för länsvatten och användningsområde finns för att få en inblick i vilka olika tekniker som finns att tillgå. Därefter följer kapitel som dels beskriver verksamheten vid Citytunnelprojektet i Malmö och dels vilka reningsmetoder för länsvatten som använts vid de olika entreprenaderna. Reningsmetoderna beskrivs och utvärderas med avseende på funktion i denna rapport. För att få en mer djupgående bild har kompletterande länsvattenundersökningar genomförts i Citytunnelprojektet, specifikt för detta SBUF-projekt. Dessa innefattar dels en mer noggrann undersökning av mängden suspenderat material efter olika reningssteg, dels test av ett sandfilter, vilket tas upp i rapportens sista kapitel.

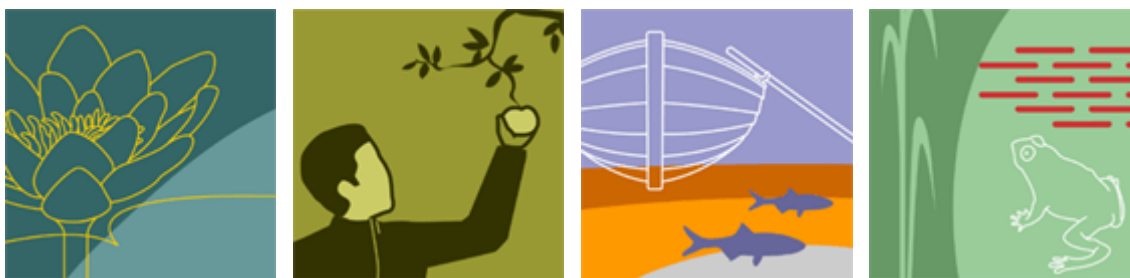
### 3. LAGSTIFTNING OCH RIKTVÄRDEN SOM BERÖR LÄNSVATTEN

Miljöbalken är det lagrum i den nationella lagstiftningen som reglerar åtgärder och verksamheter som kan antas påverka människors hälsa och miljön. Hanteringen av länsvatten regleras framför allt i Miljöbalken kapitel 2 (*allmänna hänsynsreglerna*) i Miljöbalken kapitel 9 (*miljöfarlig verksamhet*). Detta lagrum beskrivs närmare i kommande kapitel 3.2 och 3.3.

Miljöbalken är en paraplylagstiftning som innehåller flera gamla och nya lagar, bland annat den gamla vattenlagen. Miljöbalken trädde i kraft den första januari 1999 dess huvudsyfte är att främja en hållbar utveckling.

Balken inrättades för att få en mer lättöverskådlig miljölagstiftning som går mer i linje med de sexton miljömål med ett antal delmål som riksdagen har satt upp. Miljömålen har uppförts för att identifiera landets stora miljöproblem samt att jobba med dessa på ett mer konkret sätt. Den övergripande målsättningen har varit att de skall vara lösta till nästa generation.

#### 3.1 Miljömål



**Figur 3.1** Bilderna är illustrationer gjorda för miljömålen. Bilderna är hämtade ifrån Sveriges Regerings hemsida (2007).

De miljömål som berör hantering av länsvatten och övrigt avloppsvatten är följande:

- **Giftfri miljö**  
*En miljö fri från gifter och metaller som kan hota människors hälsa och eller den biologiska mångfalden (Regeringens prop. 2000/01:130).*

- **Levande sjöar och vattendrag**  
*Sjöar och vattendrag skall vara ekologiskt hållbara och deras variationsrika livsmiljöer skall bevaras (Regeringens prop. 2000/01:130).*
- **Hav i balans samt levande kust och skärgård**  
*Kust – och skärgårdsområden skall ha en hög grad av biologisk mångfald och dess natur och rekreationsområden skall bevaras (Regeringens prop. 2000/01:130).*
- **Myllrande våtmarker**  
*Våtmarkens ekologiska och vattenhushållande funktion för landskapet skall bibehållas och värdefulla våtmarker skall bevaras för framtiden (Regeringens prop. 2000/01:130).*
- **Ett rikt växt - och djurliv**  
*Den biologiska mångfalden skall bevaras och nyttjas på ett hållbart sätt, för nuvarande och framtida generationer. Arternas livsmiljöer och ekosystemen samt deras funktioner och processer skall värnas (Regeringens prop. 2004/05:150).*

### 3.2 Hänsynsreglerna

De grundläggande reglerna för alla situationer, händelser, verksamheter och åtgärder som omfattas av miljöbalken är de allmänna hänsynsreglerna i Miljöbalkens andra kapitel vilka utgörs av;

- §1 Bevisbörderegeln
- §2 Kunskapskravet
- §3 Försiktighetsprincipen
- §4 Lokaliseringsprincipen
- §5 Hushållnings- och kretsloppsprinciperna
- §6 Produktvalsprincipen
- §7 Skälighetsregelns innebörd
- §8 Ansvar för att avhjälpa skada



Hänsynsreglerna skall följas i den utsträckning det ej kan anses vara orimligt.

Vidare gäller reglerna parallellt med annan lagstiftning. För verksamhetsutövaren innebär detta att det inte är tillräckligt med tillstånd

enligt speciallag utanför balken om verksamheten eller åtgärden kan påverka miljön och människors hälsa.

I samband med prövning och tillsyn enligt Miljöbalken är verksamhetsutövaren eller en enskild som vidtar en åtgärd skyldig att visa att reglerna följs.

*Vad det gäller utsläpp av länsvatten ställer hänsynsreglerna krav på att verksamhetsutövaren skall skaffa sig tillräcklig kunskap om föroreningsnivån i länsvattnet samt vidta åtgärder för att förhindra störningar i samband med utsläppet till recipienten.*

### 3.3 Miljöfarlig verksamhet

Miljöfarlig verksamhet är ett vidsträckt begrepp inom vilket all form av miljöstörning omfattas oavsett om den är lokal, regional, nationell eller global. I Miljöbalken kapitel 9 §1 definieras miljöfarlig verksamhet i tre punkter;

1. utsläpp av avloppsvatten, fasta ämnen eller gas från mark, byggnader eller anläggningar i mark, vattenområden eller grundvatten,
2. användning av mark, byggnader eller anläggningar på ett sätt som kan medföra olägenhet för människors hälsa eller miljön genom annat utsläpp än som avses i 1 eller genom förorening av mark, luft, vattenområden eller grundvatten, eller
3. användning av mark, byggnader eller anläggningar på ett sätt som kan medföra olägenhet för omgivningen genom buller, skakningar, ljus, joniserande eller icke-joniserande strålning eller annat liknande.



*Vad det gäller utsläpp av länsvatten så är det framförallt definitionen av miljöfarlig verksamhet under punkt 1 som kan anses var tillämplig, dvs. utsläpp av avloppsvatten.*

Enligt Miljöbalken kapitel 9 § 2 definieras avloppsvatten enligt punkterna nedan;

1. spillvatten eller annan flytande orenlighet,
2. vatten som använts för kylning,

3. vatten som avleds för sådan avvattning av mark inom detaljplan som inte görs för en viss eller vissa fastigheters räkning, eller
4. vatten som avleds för avvattning av en begravningsplats.

*Länsvatten från schaktning kan hänföras till den första punkten dvs. avloppsvatten kan definieras som spillvatten eller annan flytande orenlighet.*

Enligt Miljöbalken kapitel 9 § 7 gäller det för alla typer av avloppsvatten att det skall ledas bort, renas eller tags om hand på annat sätt så att olägenhet för människors hälsa eller miljön inte uppkommer.

### 3.4 Tillstånds- och anmälningsplikt för miljöfarlig verksamhet

Enligt Miljöbalken föreligger tillstånds- och anmälningsplikt för att bedriva miljöfarlig verksamhet.

#### 3.4.1 Tillståndsplikt

Enligt Miljöbalken kapitel 9 § 6 och förordningen (SFS 1998:899) om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd § 5 är det förbjudet att utan tillstånd att;

1. anlägga eller driva fabriker, andra inrättningar eller annan miljöfarlig verksamhet,
2. släppa ut avloppsvatten, eller
3. släppa ut eller lägga upp fast avfall eller andra fasta ämnen, om åtgärden har beteckningen A eller B i bilagan till förordningen,
4. ändra en miljöfarlig verksamhet som anges ovan, om det inte är frågan om en mindre ändring som inte innebär att en olägenhet av betydelse kan uppkomma.



I bilagan till förordningen (SFS 1998:899) om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd finns en beskrivning av varje tillståndspliktig (beteckning A eller B) miljöfarlig verksamhet.

Miljödomstolen och länsstyrelsen är prövningsmyndighet för tillståndspliktiga miljöfarliga verksamheter. Tillstånd skall ha lämnats och vunnit laga kraft eller skall verkställighetsförordnande lämnats innan verksamheten eller åtgärden får utföras.

### ***3.4.2 Föreläggande om att ansöka om tillstånd***

Tillståndsprövning kan även initieras tillsynsvägen. Detta om en verksamhet eller åtgärd kan anses medföra risk för betydande föroreningar eller andra betydande olägenheter för människors hälsa och miljön. Tillsynsmyndigheten får då i enskilda fall förelägga en verksamhetsutövare att ansöka om tillstånd, även om verksamheten ej är tillståndspliktig. Denna möjlighet kan användas när en tillsynsmyndighet bedömer att hela verksamheten eller åtgärden bör prövas och regleras i en tillståndsprövning därför att det inte anses tillräckligt att i enlighet med de allmänna hänsynsreglerna i kapitel 2 förelägga verksamhetsutövaren att vidtaga behövliga skyddsåtgärder och försiktighetsmått.

### ***3.4.3 Frivilligt tillstånd***

Den som bedriver eller avser att bedriva miljöfarlig verksamhet får ansöka om tillstånd till verksamheten enligt Miljöbalken kapitel 9 § 6 och 7 § förordningen (SFS 1998:899) om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd även om det inte krävs tillstånd. En sådan ansökan prövas som huvudregel av länsstyrelsen.

*Vad det gäller Citytunneln ansöktes det om ett frivilligt tillstånd för att bedriva miljöfarlig verksamhet enligt kapitel 9 i Miljöbalken. Den frivilliga ansökan hanterades av miljödomstolen som även hanterad ett ansökningsärende enligt kapitel 11 Miljöbalken.*

***Citytunneln är ett av de första stora infrastrukturprojekten som miljöprövas på det här sättet och processen väntas bli stilbildande för hur andra, liknande projekt prövas i framtiden.***



### 3.5 Anmälningsplikt

Det är enligt Miljöbalken kapitel 9 § 6 och 21 § förordningen (SFS 1998:899) om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd förbjudet att utan anmälan att;

1. anlägga eller driva fabriker eller andra inrättningar eller bedriva annan miljöfarlig verksamhet som har beteckningen C,
2. bedriva sådan C-verksamhet om inrättningen eller verksamheten ändras och ändringen är av betydelse från störningssynpunkt eller
3. ändra en inrättning eller verksamhet av sådant slag som i bilagan har beteckningen A eller B och som inte kräver tillstånd enligt § 5 i förordningen.

I förordningen (SFS 1998:899) om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd §§ 12, 13, 14, 17, 28 finns beskrivet anmälningskyldighet för vissa typer av miljöfarlig verksamhet.

Kommunen är prövningsmyndighet för anmälningspliktiga miljöfarliga verksamheter. En anmälan skall göras senast sex veckor innan en verksamhet eller åtgärd påbörjas.

## 4. RIKTVÄRDEN FÖR LÄNSHÅLLNINGSVATTEN

I dagsläget råder det stor osäkerhet på vad som är rimliga riktvärden för utsläpp av läns hållningsvatten till olika typer av recipienter. I många fall ger en tillsynsmyndighet inga anvisningar eller vägledning om vilka riktvärden som skall gälla.

Som nämnts i kapitel 3.2 är verksamhetsutövare skyldig att vidta sådana åtgärder att det inte uppstår skada eller olägenhet för människors hälsa eller miljön enligt de allmänna hänsynsreglerna i kapitel 2 i Miljöbalken. Vidare är utsläpp av läns hållningsvatten en anmälningspliktig verksamhet enligt kapitel 9 i Miljöbalken.

*Detta innebär att en entreprenör själv måste ta fram riktvärden av olika ämnen för att det inte skall innebära skada eller olägenhet för den aktuella recipienten.*

I ett anmälningsförfarande innebär detta att myndigheten måste godkänna aktuella föreslagna riktvärden. På grund av den osäkerhet som råder kan detta medföra att riktvärdena blir orimligt höga eller låga.

### 4.1 Parametrar som vanligen analyseras i länsvatten

De parametrar i länsvattnet som kan bli aktuella att analysera beror till stor del på recipientens känslighet och på vilka ämnen som förväntas finnas på platsen. Vid mindre vattendrag med högt skyddsvärde och vid skyddsområden för vattentäkter är kraven högre för utsläpp av skadliga ämnen.

Någon eller några av följande parametrar är vanliga att mäta:

- Metaller
- Oljeindex
- Summa PAH
- Suspenderat material
- Turbiditet
- pH
- Konduktivitet
- Flöde

Vissa parametrar går lätt att kontrollera i fält, t.ex. turbiditet, pH, konduktivitet och flöde. För övriga parametrar kan olika laboratorier ha olika svarstid, allt ifrån ett halvt dygn till flera dagar.

Vid ett förorenat område finns det ofta andra plats-specifika föroreningar som skall saneras. Exempel på sådana ämnen är klorfenoler, dioxiner och ftalater. Läns hållningsvattnet behöver då kontrolleras med avseende på dessa ämnen och det kan vara svårt att hitta rätt nivåer på riktvärdena. Svartsiden på laboratorier kan också vara längre på mer ovanliga ämnen vilket försvårar kontrollen.

## 4.2 Bedömningsgrunder för metaller

Det finns ingen självklar bedömningsmodell för vilka ämnen och halter som kan tillåtas i läns hållningsvattnet. En bedömningsmodell kan baseras på vilka halter som normalt finns i utsläpp i ett samhälle och sedan ta hänsyn till andra faktorer som recipientens känslighet och skyddsvärde. Halter kan i en modell jämföras med olika "jämförsvärden" som t.ex:

- "Acceptabla" utsläpp från väg dagvatten
- Bakgrundshalter i recipient
- Önskade biologiska effekter

Vid bedömning av halter i läns hållningsvattnet uppstår ofta problematiken till vilken grad det kan beräknas att läns hållningsvattnet späds ut i en recipient. Ett exempel är Göta älv som är slutlig recipient för dagvatten från en stor del av Göteborg. *(Älven är dessutom stadens vattentäkt och uppströms vattenintaget finns ett vattenskyddsområde med omfattande regler och övervakning av industriell verksamhet)*. Göta älvs flöde är så stort att enskilda utsläpp av läns hållningsvattnet från byggarbetsplatser ger ytterst marginella effekter på halterna i älven. Det strider dock mot syftet i miljölagstiftningen att utspädning ska nyttjas för att reducera höga föroreningshalter i ett läns vatten.

Miljöförvaltningen i Göteborg utreder för närvarande riktvärden för metaller i läns hållningsvattnet i recipienten. Genom att använda riktvärden behövs inte hänsyn tas till utspädningseffekter i recipienten. Läns vattnet i sig kommer att hålla en viss "kvalitet" med hänsyn till biologiska livet i recipienten. Riktvärdena kommer att utvärderas och eventuellt uppdateras när erfarenheten från genomförda projekt är större. Vid framtagande av riktvärden för metaller

utgås från Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för förorenade områden och föroreningspåverkan "Måttligt allvarligt" antas gälla (NVV 4918).

I tabell 4.1 nedan redovisas Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för ytvatten tillsammans med kanadensiska vattenkvalitetskriterier. De kanadensiska vattenkvalitetskriterierna finns för många olika ämnen och har på flera sätt varit vägledande för svenska bedömningar av halter i ytvatten. Vidare redovisas Livsmedelsverkets gränsvärden för när dricksvatten blir otjänligt. Till sist redovisas Vägverkets bedömning av halter i vägdagvatten för en årsdygnstrafik (ÅDT) för 10 000 -15 000 fordon. Vid denna ÅDT anser vägverket att rening av vägdagvatten inte bör släppas direkt i en recipient utan att det har letts genom öppna diken där en viss avskiljning av metaller kan ske.

**Tabell 4.1** Jämförvärden för metallhalter i ytvatten.

(ug/l)	NV <sup>1</sup>	CCME <sup>2</sup>	SLVFS 2001:30 <sup>3</sup>	VV <sup>4</sup>
<b>Arsenik</b>	15	50	10	-
<b>Bly</b>	3	1	10	20
<b>Kadmium</b>	0,3	0,01	5,0	0,5
<b>Koppar</b>	9	4	2000	35
<b>Krom</b>	15	20 (Cr III)	50	-
<b>Nickel</b>	45	150	20	-
<b>Zink</b>	60	30	-	100

1: Naturvårdsverket. Bedömningsgrunder för sjöar och vattendrag. Ökad risk för biologiska effekter

2: Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life

3: Livsmedelsverkets föreskrifter om dricksvatten. Gränsvärden för otjänligt dricksvatten

4: Vägverket Publ. 2004:195. Schablonhalter i dagvatten. 10000-15000 ÅDT

Vid jämförelse mellan de olika riktvärdena i tabell 4.1 framgår att halterna för när dricksvatten skall klassas som otjänligt i flera fall ligger högre än Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för sjöar och vattendrag (ökad risk för biologiska effekter). Detta gäller för metaller som bly, kadmium, koppar och krom.

### 4.3 Förslag på riktlinjer

Vid upprättande av riktvärden för länsvallningsvattnet bör hänsyn tas till en rad faktorer. I samråd med berörda tillsynsmyndigheter borde det också vara rimligt att ta hänsyn till att vatten som ska renas på en byggarbetsplats inte under normala förhållanden ska behöva renas till den grad att vattnet t ex ska hålla dricksvattenkvalitet. Rimliga nivåer på reningen måste kunna antas. Vid

upprättande av riktvärden för läns hållningsvatten är det viktigt att skaffa sig kunskap om förhållanden platsen. Följande faktorer bör hänsyn tas till innan riktvärden för läns hållningsvatten fastslås för ett anläggningsprojekt:

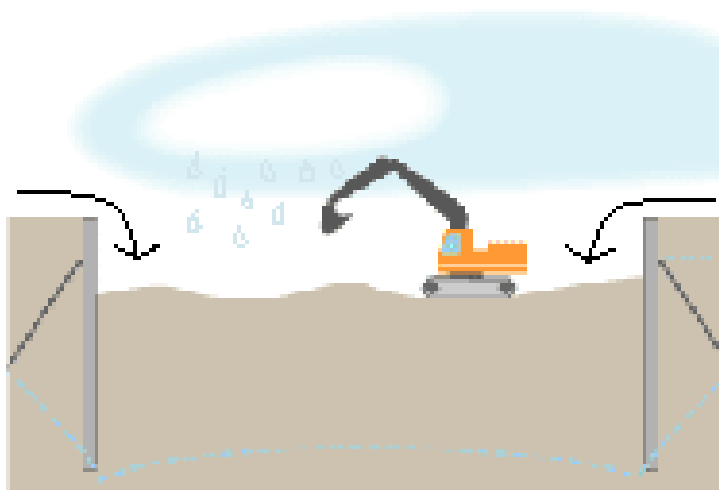
- *Recipientens känslighet*
- *Föroreningens farlighet*
- *Naturliga bakgrundshalter*
- *Hur höga halter av föroreningar finns i marken?*
- *Är föroreningarna hårt bundna till jordmaterialet?*
- *Är andelen finmaterial som kan tänkas passera ett sedimenteringssteg stor?*
- *Skall eventuellt både filtrerade och ofiltrerade prover tas för att bedöma halter uppkomna från jordmaterial? Kan små mängden "ren" jord förorena vattnet.*

Se bilaga 6 för fallstudie av metaller i Länsvatten och ett beräkningsexempel.

## 5. BILDNING AV LÄNSVATTEN

### 5.1 Definition av länsvatten

Länsvatten används i detta arbete som en benämning på det vatten som i byggområdet leds bort från byggarbetsplatsen. Länsvattnet kommer ifrån grundvatten som läcker in i schaktgroparna samt ytvatten och nederbörd.



**Figur 5.1** Länsvattentillrinning. (Grundbilden är hämtad från Citytunneln, 2007).

En annan benämning är övrigt avloppsvatten vilket också är den benämning som används mest inom Citytunnelprojektet. Övrigt avloppsvatten är i stort sätt samma som länsvatten, dock kan även vatten från omkringliggande områden inom byggområdet räknas med. En tredje benämning som ibland används i litteraturen är schaktvatten. Definitionen av avloppsvatten i juridisk mening framgår av kapitel 3.3.

### 5.2 Beräkning av länsvattenmängder

Mycket forskning har lagts ner på att kvantifiera mängden länsvatten och mängden suspenderat material som bildas i olika miljöer (CSQA, 2003). Oftast kan länshållningen ske med pumpar placerade direkt på schaktbotten, men i vissa fall kan dock problem uppstå och en temporär grundvattensänkning göras. Innan schaktning ska utföras måste en uppskattning på tillförseln av vatten beräknas för att undvika oväntade problem. Den totala mängden vatten behövs för att avgöra metod för länshållning och eventuellt storleken på en sedimentationsdamm som behövs.

Mängden länsvatten beror också självklart på underlagets infiltrationskapacitet. En hårdgjord yta eller en väg till exempel har en mycket låg infiltrationsgrad medan en sand har en betydligt högre.

Om grundvattenytan sänks påtagligt kan följderna bli långvariga och kostsamma. I bebyggelse med sättningsbelägna leror kan följderna av förändringar i portrycket bli påtagliga när hus sjunker och/eller spricker.

### **5.2.1 Ytvattentillrinning**

Storleken på ytvattentillrinningen beror av nederbördsmängden och schaktgropens avrinningsområde. Topografin för området inverkar på avrinningsområdets storlek. Om schaktgropen ligger lågt i omgivande landskap har den vanligtvis ett större avrinningsområde, än om den ligger högre i förhållande till omgivningen. Ytvattentillrinningen beror också av markens infiltrationskapacitet. Ett område med låg infiltrationskapacitet (hårda ytor) har mer avrinning till schaktgropen, än ett område med hög infiltrationskapacitet där vattnet uppehålls i marken en längre tid. En stor del av det infiltrerade vattnet avdunstar direkt till atmosfären genom växternas transpiration (Grip och Rodhe, 1985) och når därmed aldrig schaktgropen.

Dagvatten från framförallt vägar och hårdgjorda ytor har dokumenterats för att kunna rena vattnet i sedimentationsdammar utmed vägnätet, vilket också kan relateras till länsvattenhantering. För att dimensionera ytvattentillströmning kan flera metoder som till exempel tid-area-metoden, nettoytmotoden och rationella metoden användas, där samtliga bygger på att beräkna vattenföringen utifrån regnintensiteten och avrinningsområdets storlek (Vägverket, 1990). Storleken på regnintensiteten väljs utifrån återkomsttid och varaktighet. Tabellvärden för regnintensitetens varaktighet och återkomsttid över ett visst område kan man beställa från SMHI. I tabell 5.1 redovisas medelåterkomst tider och varaktighet för extrema nederbördsmängder från en godtycklig ort i Sverige.

**Tabell 5.1** *Exempel på statistik över nederbörd på en godtycklig ort i Sverige. Diagrammet visar medelåterkomst tider och varaktighet för extrema nederbördsmängder i mm (liter/m<sup>2</sup>) (Dahlström, 2006).*

Varaktighet	10 min	30 min	1 timme	3 timmar	6 timmar	12 timmar
<b>Återkomsttid</b>						
1 år	6	9	11	15	18	22
2 år	7	11	14	18	22	27
5 år	10	14	18	24	29	35
10 år	12	18	21	29	35	43
20 år	14	21	26	35	43	52
50 år	19	28	34	46	56	68
100 år	23	34	41	56	68	82

### 5.2.2 Grundvattentillströmning

Grundvatten tillströmningen kan beräknas både för icke-stationärt och för stationära förhållande. Det sist nämnda representerar när ett jämviktsläge ställt in sig och är lättare att uppskatta med överslagsformler. Vid beräkningsmodellerna antas att marken är homogen, trots att det oftast naturligt finns heterogeniteter i jordlagren.

## 5.3 Länshållning – att hålla läns

Vanligen görs grunda schaktarbeten ovanför grundvattenytan, vilket medför att hänsyn inte behöver tas till grundvattenströmningen. När länshållning under grundvatten ytan sker kan det göras på flera olika sätt. Varje projekt och situation är unikt och behöver planeras utefter sina förutsättningar. När vissa schaktarbeten ska utföras är det inte motiverat och/eller ekonomiskt möjligt att utföra en avancerad analys. En rad antagande och förenklingar måste göras.

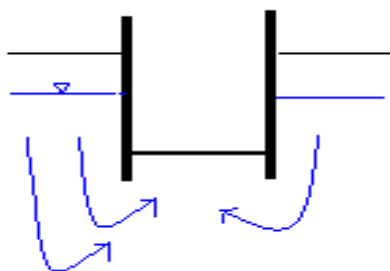
Vilken metod för länshållning beror av jordarten, jordlagerföljden och hur stor grundvattensänkning som behövs. Kornstorlekensfördelningen ger ofta information om vilken metod som är lämplig för att kunna hålla läns (Vägforskningsgruppen, 1985).

### 5.3.1 Metoder för länshållning

Vid en *grovkornig friktionsjord* är två huvudtyper av länshållning beroende på schaktdjup lämpliga. Vid schakt mindre än tre meter används grusfilter på

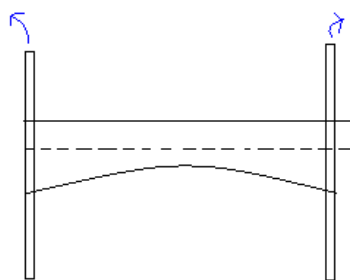


botten och länsvatten pumps ut ur gropen. Vid djupare schakt behövs en tät spont, vilket innebär en låg permeabel vägg och antingen med eller utan bottenplatta (figur 5.2). I Sverige spontar man vanligtvis någonstans mellan 8 till 12 m. Utan bottenplatta så pumps länsvatten, annars om bottenplattan är på plats är det möjligt att schakta torrt. Problem vid grovkorning jord är framförallt inre erosionsrisker (Vägforskningsgruppen, 1985).



**Figur 5.2** Länshållning med spont. Vattnet måste transporteras längre innan läckage.

Vid en *finkornig jord* används oftast grusfilter på botten och pumpning sker direkt från schaktbotten eller så sänks grundvattenytan av med hjälp av pumpar innan schaktningen påbörjas (figur 5.3). Vattentillförsel är oftast inte lika hög som i en grovkorning friktionsjord. *Problem vid finkornig friktionsjord är bottenuppluckring och jordflytning* (Vägforskningsgruppen, 1985).



**Figur 5.3** Pumpar ut vatten för att sänka grundvattenytan innan schaktning på börjas. Pumpningen måste fortgå under schaktarbetet. Den streckade linjen ska visa ursprungliga grundvattenytan.

Det är viktigt att sänkningen av grundvattenytan är liten, när även små förändringar kan innebära markanta skillnader i portryck vilket kan resultera i sättningar. Sättningarnas storlek beror av jordmaterialet. Leror, kohesionsjord är mer sättningsbenägna än vad grövre jordarter, friktionsjordar är. Schaktarbeten är oftast relaterade till temporära grundvattensänkningar.

När schaktarbeten utförs med spont är det framförallt under spontfoten, mellan sponten och friktionsjorden, som vatten läcker samt i de fall schaktningen går in i ett vattenförande skikt (Gustafson m fl, 2006).

### 5.3.2 Projektering

För att kunna projektera och förutsätta hur mycket länsvatten som bildas och hur området påverkas av schaktningen behövs kunskap om områdets egenskaper i form av till exempel typ av akvifer/magasin, grundvattenytans läge, markens egenskaper och jordlagerföljder. För att undersöka akviferens egenskaper kan tre saker utföras, enskilt eller i kombination med varandra:

- provpumpning
- slugtest (hur fort vatten infiltreras)
- jordanalyser

- **Provpumpning**

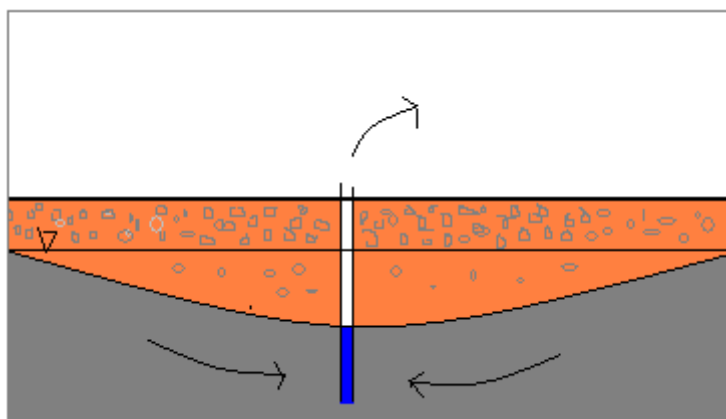
Provpumpning sker genom att borra en eller flera brunnar och sätta i grundvattenrör. När en akvifer börjas provpumpas ur rubbas de rådande jämviktsförhållanden, och ett transientförhållande uppstår. Hur stor påverkan blir i tid och rum beror av hur mycket vatten som pumpas ur och på akviferens egenskaper (Carlsson & Gustafson, 1997).

Provpumpning är en kontrollerad störning och förändringarna i grundvattennivån registreras över tiden. Efter en längre tid med samma uttag uppstår ett nytt jämviktsläge.

Vid pumpningen bildas en avsänkningsträtt med spetsen i brunnen (figur 5.4). Denna avsänkningsträtt kan uppskattas ur förenklade beräkningar beroende av vilken typ av akvifer. Det finns tre typer av akvifer:

- slutna akvifer, det vattenförande lagret har ovanliggande lager med låg permeabilitet.
- öppna, avgränsas uppåt av en fri grundvattenyta. Det hydrostatiska trycket är lika i grundvattenytan som atmosfärstrycket.
- läckande akvifer, en akvifer som underlagras eller överlagras av låg permeabla lager som vattnet tillförs/läcker till.

Utifrån förenklade massbalansberäkningar kan olika approximationer göras för de olika akvifererna. Dessa beskrivs kortfattat i bilaga 1.



**Figur 5.4** När vatten provpumpas från akviferen bildas en avsänkningsträtt beroende av akviferens egenskaper och pumphastigheten.

- **Slugtest**

Slugtest kan utföras i de fall ett grundvattenrör finns på plats. Istället för att pumpa ut vatten tillförs vatten till en viss nivå i grundvattenröret och därefter registreras vattnets infiltrationshastighet tills nivån återställs. Ett slugtest är bra att utföra i låg permeabla jordar eftersom det är svårt att provpumpa när tillrinningen av vatten är låg (Fetter, 1994).

- **Jordanalyser – siktkurva**

Genom att sikta ett jordprov kan en skiktkurva tas fram. Utifrån dess kornfördelningen finns ett antal metoder exempelvis Shepard och Heizens metod för att räkna ut markens hydrauliska konduktivitet. För att få en bra uppskattning av markens hydrauliska konduktivitet krävs att jordprovet är representativt.

## 6. LÄNSVATTEN OCH SUSPENDERAT MATERIAL

### 6.1 Inledning

Suspenderat material är en gemensam benämning för alla partiklar, både oorganiska och organiska, i en lösning. Att suspendera betyder att avskilja eller upphäva. Det är partiklar som lösgjorts från en större massa. Det är framförallt oorganiska partiklar som kommer att beröras när mineral från jorden slammas upp vid schaktning. Partikelsammansättningen för suspenderat material kan vara allt från lera till grus.

Ett flertal studier visar att halten suspenderat material är korrelerad med vattenflödet, där ett ökat flöde ger en högre halt av suspenderat material. Detta är naturligt när vatten med högre energi slamar upp mer bottensediment. En flödesökning medför att suspenderade partiklar sedimenterar långsammare.

Sedimenten i länsvatten kommer framförallt ifrån en ökad erosion i området och vid arbeten så som schaktning och grävning. Erosion sker naturligt, men ökar markant när en yta lämnas oskyddad som vid till exempel röjning av vegetationen eller ökad trafikbelastning. På en oskyddad arbetsplats kan erosionen öka till mer än hundra gånger det som är normalt (CSQA, 2003). Jordarten har betydelse för hur mycket sediment som fås vid ett markarbete. Om det på platsen är en finare jordart kommer mer fin sediment ut än om man har en grövre jordart.

Vid schakt i skogsmarker får vi generellt grövre sediment, medan i schakt i odlingsbar mark har vi finare sediment. I naturliga vattendrag som åar och floder kan man se ett samband att ju högre vattenflöde desto mer oorganiskt material än i ett flackare landskap med mer organiskt material. Faktorer som i huvudsak påverkar sedimentationstransporten är enligt Brant (1990):

- geologin
- jordart
- landanvändning
- morfologi

Det suspenderade materialet i sig kan ställa till skada när det släps ut i naturen men också binda andra föroreningar som näringsämnen (speciellt fosfor), metaller samt bekämpningsmedel och transportera dessa till recipienten. Det suspenderade materialets skador på miljön berörs framförallt i kapitel 7.

## 6.2 Sedimentation av partiklar

Vid stillastående vatten är det gravitationens inverkan som bestämmer hur fort en partikel sedimenterar, desto tyngre och större partikel desto fortare sedimenterar den (tabell 6.1). Partiklar i stillastående vatten sedimenteras enligt Stoke's lag (1851) där vätskans viskositet, partikelns storlek och densiteten är inverkan faktorer:

$$v_s = (2 * g * (\rho_{\text{partikel}} - \rho_{\text{liq}}) * R_{\text{partikel}}^2) / 9\mu$$

$v_s$	partikelns sedimentationshastighet (m/s),
$g$	gravitationen ( $m/s^2$ ),
$\rho_{\text{liq}}$	vätskans densitet ( $kg/m^3$ )
$\rho_{\text{partikel}}$	partikelns densitet ( $kg/m^3$ )
$R_{\text{partikel}}$	partikelns radie (m) och
$\mu$	lösningens viskositet ( $m^*kg/s^2$ ).

Partiklarnas radie har en betydande roll för sedimentationshastigheten. Om en partikel är dubbelt så stor ger detta en fyra gånger så stor sedimentationshastighet ( $2^2=4$ ). Små partiklar kan ta väldigt lång tid på sig att sedimentera vilket gör att de är svåra att rena genom ren sedimentering. Mycket så partiklar är nästan omöjliga att sedimentera eftersom de har en Brownian rörelse. Inte förrän de går ihop i aggregat sedimenterar de efter Stokes lag (Håkansson, 2006).

**Tabell 6.1** Sedimentationshastighet för olika kornstorlekar. Hastigheten gäller i stillastående vatten och är mätt så att tiden representerar den tid det tar för en partikel att sjunka en meter.

Fraktion	Diameter (mm)	Underavdelning	Sedimenteringstid (tid/hm)
Grus	20 – 6	Grovgrus	1 sekund
	6 – 2	Fingrus	
Sand	2 – 0,6	Grovsand	10 sekunder
	0,6 – 0,2	Mellansand	
Mo	0,2 – 0,06	Finsand	2 minuter
	0,06 – 0,02	Grovsilt	
Mjåla	0,02 – 0,006	Mellansilt	2 timmar
	0,006 – 0,002	Finsilt	
Lera	0,002 – 0,0006	Grovlera	8 dygn
	0,0006 – 0,0002	Finlera	
	<0,0002	Kolloider	2 år

### 6.3 Analyismetoder för bestämning av grumligheten i vatten

Två huvudmetoder för att mäta grumligheten i vatten finns, filtrering av suspenderat material och turbiditet. Grumlighet i vatten kan även bestämmas genom siktdjup.

#### 6.3.1 *Suspenderat material*

Den vanligaste metoden benämns suspenderat material. Mängden suspenderat material kan bestämmas genom att ett vattenprov filtreras var efter filtret med materialet som fastnat vägs. Nackdelen med metoden är att filtrets porvidd kommer att påverka vilka partiklar som fångas upp. Det är bara de kornstorlekar som är större än porvidden som stannar vid filtret. Laboratoriet Analycen definierar suspenderat material som de partiklar som kvarhålls på ett filter med porvidd 1  $\mu\text{m}$  (Ohlsson, 2007). En mikrometer är kornstorleken för grovlera, vilket betyder att allt material som är finare än grovlera inte identifieras. Genomförandet av metoden måste utföras på laboratorium. Fördelen med metoden är att den är enkel att utföra, billig och kräver inte mycket avancerad utrustning dessutom kan man genom glödning ta reda på mängden organiskt material. Problemet med metoden är att vissa ämnen kan fällas ut efter att de filtrerats.

#### 6.3.2 *Turbiditet*

Den andra metoden, turbiditet, är ett mått på mängden ljus som absorberas eller bryts i vatten. Oftast finns det en relation mellan turbiditet och koncentrationen av suspenderat material vilket medför att begreppet turbiditet kan användas för att uppskatta halten av suspenderat material. Värdet på turbiditeten visar halten suspenderat och löst material i vatten inkluderande oorganiskt material som lera och silt, organiskt material, plankton och andra mikroskopiska organismer. Turbiditeten beror förutom av koncentrationen av partiklar på partiklarnas storlek, form och färg. Förhållandet mellan suspenderade partiklar och turbiditeten ändras också efter hydrogeologiska och geologiska förhållanden. Vid mätning av turbiditet förekommer ofta olika enheter FNU, FTU, NTU och JTU. Dessa enheter betraktas som jämförbara med varandra.

### **6.3.3 Siktdjup**

Siktdjups bestämning, med hjälp av en vit platta som sänks ned, är en vanlig metod i eutrofierade sjöar. Detta är även en billig och enkel metod som kan användas för löpande kontroll vid schaktning.

## 7. SUSPENDERAT MATERIAL OCH DESS MILJÖEFFEKTER

### 7.1 Inledning

Oorganiskt och organiskt suspenderat material finns naturligt i vattnet överallt. När vattnet rinner genom landskapet eroderas stränderna och för med sig material. Generellt bidrar all mänsklig aktivitet längs vattendrag och i marken påverkar erosionen och mängden suspenderat material. Suspenderat material kommer förmodligen att studeras mer i framtiden när det blir ett allt mer uppmärksammat som ett problem (Brandt, 1990). Erosion och sedimentlagringar har inte klassas som något allvarligt problem i Sverige. Det har dock observerats lokalt vid framförallt markarbeten.

### 7.2 Miljöpåverkan

Både suspenderat och sedimenterat material resulterar i någon form av miljöpåverkan. Suspenderat materialet binder tungmetaller, närsalter och toxiner och kan transportera dessa långa vägar. Innan materialet sedimenterar grumlar det vattnet vilket kan påverka vattenkvaliteten.

#### 7.2.1 *Material i suspension*

Det suspenderade materialet kan öka temperaturen och minska ljusgenomsläppighet, vilket i sin tur leder till negativ påverkan på primärproduktionen. Vid ett större utsläpp som innehåller mycket organiskt kol minskar också syrgashalten i vattnet, när en ökad nedbrytning sker medför det en ökad syreförbrukning. De flesta vattenlevande organismer klarar korta inslag av förändringar, men en lägre tidsexponering ger långvariga effekter eller skador. Att förhöjd turbiditet hämmar tillväxten för vissa arter är känt (Thorp m fl, 1998). Det kan vara svårt att fastlägga vilka effekter en ökad halt suspenderat material har. Idag utförs muddring, gräver upp förorenat eller mycket näringsrikt sjösediment. Uppslammat jordmaterial erhölls över en kort tid, men tillräckligt med forskning har inte gjorts för att kunna säkerställa effekterna (Axelsson, 2007).



Suspenderat material kan också ge fysiska skador och orsaka igensättning av gälar. Extremt kantiga partiklar har visat sig orsaka större skador på fisk än mer rundade partiklar (Rivinoja & Larsson 2001). Suspenderat material som under en begränsad tidsperiod släpps ut i ett vattendrag har på lång sikt dock en generellt liten miljöpåverkan.

### 7.2.2 *Sedimentation*

Sedimenterat material ändrar bottenstrukturen och för många arter är detta en känslig miljö. Arterna är specialiserade till just en specifik natur och omgivning. De tål inte att den miljön försvinner eller förändras genom att någonting annat sedimenterar ovanpå. Konsekvenser av förhöjd sedimentation är att hålrum sätts igen, ger en lägre syrehalt på botten och att bottenfaunan förändras. Många arter är beroende av lekbottnar för att bygga bon och lägga sina ägg dessa består av ett grovkornigt material allteftersom mer siltigt material sedimenterar över så kan det sätta igen de hålrummen. Allvarligast konsekvenser fås på till exempel fiskägg och musslor som missgynnas, men inte kan förflytta sig. Vilka kornstorlekar som gör mest skada beror mycket på de rådande förhållandena i det specifika området (Rivinoja & Larsson, 2001).

Organismer tål olika mycket grumlighet och finner sig olika väl i avvikande bottenmiljöer, vilket innebär att någon art kan gynnas och dominera ut andra individer. Kornstorlek av sedimentet kan vara avgörande för fiskens reproduktion (Rivinoja & Larsson, 2001).

## 8. METALLER OCH ORGANISKA ÄMNEENS FÖRMÅGA ATT BINDA TILL SUSPENDERAT MATERIAL

### 8.1 Inledning

När schakt sker i ett område med förorenad jord eller att det finns förorenat grundvatten/jord i angränsande område medför detta att länsvattnet kan vara förorenat av olika ämnen. Vidare gäller det generellt att inte pumpa bort mer länsvatten än nödvändigt, eftersom detta genererar ett större tillflöde av grundvatten. Detta kan medföra att föroreningar från angränsande områden dras in i den pågående entreprenaden.

När sediment från vägdammar har studerats visar det sig att mineralpartiklarna består av silikatmineral, karbonatmineral, järn och manganoxider (Jacobsson m fl, 2005). Dessa partiklar är ofta negativt laddade och har därmed en förmåga att attrahera andra joner och metaller som binder vid deras yta. Dessa komplex kan i sin tur vara mycket toxiska och skapa stora problem hos recipienten.

Det är framförallt markens minsta partiklar, kolloiderna som är laddade. Det partikulära materialet har två huvudtyper av laddningar, permanenta och variabla. Laddningarna finns på lermineral, järn- och aluminiumoxider samt humusämnen. Lermineral har permanenta negativa laddningar som har sitt ursprung i strukturen (långsam mineralomvandling). Den andra typen av laddningar är pH-beroende och kan vara både positiva och negativa, därför sägs de vara variabla (Eriksson m fl, 2005).

De oljor som kan hittas i länsvattnet kommer framförallt från arbetsfordon och annan utrustning på området men kan också ha sitt ursprung från tidigare föroreningar i marken som följer med vattnet ut till schaktgropen. Det är viktigt under pågående arbete att läckage av föroreningar motverkas bland annat av lämplig förvaring av material, farligt avfall och att underhåll av utrustningen sker. Det är därför viktigt att underhålla den utrustning som finns på byggena och att informera byggarbetare så att risken för läckage blir så liten som möjligt.

## 8.2 Metaller

För metaller varierar associationsgraden till partiklar mycket, till exempel är huvuddelen av bly i dagvatten bundet till partiklar (80 – 90 %) (Person & Petterson, 2006). Flera studier visar att metallhalten är relaterad till mängden partikulärt material. Detta påvisades även av Hallberg (2006) i ett projekt där dagvatten från vägar renades. Hallberg påpekar att ju mer partikulärt material vattnet innehåller, ju högre andel av metaller påträffas. Lerpartiklar har stor specifik yta och är negativt laddade och binder därför lätt metalljoner (katjoner) (Maxe, 2003), medan sand binder lägre halter. Likande resultat har funnits i ett väg-dagvattenprojekt där högst andel metaller kunde påträffas i det finkornigaste materialet. Det finkorniga materialet innehåller även den högsta andelen av organiskt material, vilket också binder till metaller. Intressant var dock att man kunde se att vissa metallers andel som kadmium, koppar och zink var högre i det grovkorniga sedimentet än finkorniga (Jacobsson m fl, 2005).

Metaller är grundämnen och har därför ingen nedbrytningsprocess, utan tas upp i varierande mängd av växter beroende av årstiden (Ekologgruppen, 2003). Metaller är oftast katjoner, som nämnts innan, och har därför en låg löslighet i basiska miljöer (bundna) medan i sura miljöer är de mer mobila. Det suspenderade materialet är en viktig fälla för lösta metaller eftersom när det suspenderade materialet sedimenteras följer metallerna med. Genom att rena vatten från suspenderat material kan en stor del av metaller och mer toxiska ämnen vara tillvaratagna.

Metaller i marken fastläggs olika hårt. Många metaller är essentiella, vilket innebär att växter och djur behöver dem för att överleva. I större mängd blir dock många metaller giftiga för organismer. Vissa metaller som kvicksilver och bly är dock giftiga redan i mycket små mängder.

Koppar, bly och kvicksilver bildar också gärna komplex. Vilket gör att de är *starkt absorberande* och förekommer enbart i låga halter som fria joner. *Absorberande* metaller är kadmium, nickel och zink, vilkas rörlighet beror av pH, andelen organiskt material och markpartiklarnas struktur. *Svagt absorberande* metaller är främst stora joner med lägre laddning som kalcium, magnesium, kalium och natrium (Gustafsson m fl, 2005).

Laboratoriexperiment visar att vattnets salthalt har viss inverkan på hur och i vilken grad metaller binder till partiklar. Vid ökad salthalt binds mer järn och bly till det suspenderade materialet, medan metallerna kadmium, kobolt, nickel, mangan och zink ökar i den lösta fasen (Johansson, 2005).

### 8.3 Organiska ämnen

Organiska ämnen skiljer sig från metallerna i egenskap att de med tiden bryts ned. Organiska ämnen består mestadels av kol, syre och väte. Organiskt material kan delas in i olika grupperingar beroende på strukturen. Vissa organiska föreningar kan vara svårnedbrytbara, vilket kallas för stabila. Stabila föreningar är halogenerade (innehåller klor, fluor eller brom). De är viktiga ur miljösynpunkt och kallas ofta för miljögifter. PCB, DDT och bromerade flamskyddsmedel är exempel på ett uppmärksammade miljögifter, som skadar naturen och tar lång tid att bryta ner (Gustafsson m fl, 2005). Miljögifterna ansamlas i högst upp i näringskedjan.

Rörligheten hos organiska föreningar beror av dess nedbrytning, förångning samt absorptions förmåga. Kemiska och fysiska egenskaper är viktiga så som molekylens form och vikt, laddning, storlek, polaritet och fettlöslighet. Absorptionen av ett organiskt ämne beror i huvudsak av polariteten. Oftast är ett organiskt ämne opolärt, vilket gör det till hydrofobt och absorberar gärna till partiklar. Ju mer hydrofobt ett ämne är, ju starkare blir absorptionen till partiklar (Nyhlén, 2004). Polyaromatiska kolväten (PAH) är starkt hydrofoba och hittas nästan uteslutet bundet till partiklar (Gustafsson m fl, 2005).

## 9. RENINGSMETODER FÖR SUSPENDERAT MATERIAL I LÄNSVATTEN

### 9.1 Inledning

Det är många aspekter som styr val av metod, däribland självklart typen av förorening som vattnet är kontaminerat med, men en viktig faktor är också förhållandena på platsen och då speciellt utrymmet. Andra faktorer är mängden länsvatten som väntas, flödes hastighet och utsläpps krav. Platsen har också betydelse för vad den skall användas till när bygget är klart och närboende under projektet, vilket gör att även den estetiska aspekten kan få stor betydelse.

I vissa projekt, speciellt tunnelprojekt så kan länsvatten även genereras när själva byggprojektet är över, när anläggningen är i drift. Det är därför viktigt att även detta tas i betänkande så att reningslösningen blir så effektiv och hållbar som möjligt även efter byggnationstiden.

*All rening av länsvatten måste utgå från vilket typ och i vilken omfattning länsvatten genereras.*

Enkelt uttryckt variera länsvattnet från slam till nästa rent vatten varför det är rimligt att se på ett kraftigt uppslammat vatten respektive ett relativt "rent vatten". Dessa typer av länsvatten skall behandlas på olika sätt för att erhålla en rimlig rening på ett kostnadseffektivt sätt. Det kraftigt uppslammade länsvattnet erhålls normalt vid utförande av jordschakt i finkorniga jordar (dock ej lera) och i delvis vid kraftig nederbörd på exponerade finkorniga schaktbottnar. Det måttligt till ringa uppslammade länsvattnet kan förväntas från länshållningspumpar som håller en schaktgrop torr under till exempel uppförandet av betongstomme, tills återfyllningen utförts. Skillnaderna kan tydliggöras genom att följande uppdelningen görs;

*Schaktskede – med kraftigt uppslammat länsvatten*  
*Produktionsskede – med måttligt uppslammat länsvatten*

Oavsett vilket typ av länsvatten som ska omhändertagas så måste allt arbete med denna fråga utföras systematiskt om strikta krav skall kunna uppfyllas. Ett exempel visas medan i figur 9.1. För att minska risken för att överskrida tillåtna

riktvärden, omhändertas länsvattnet som bildas vid rensning av tomma betongbilar i slutna kärl.

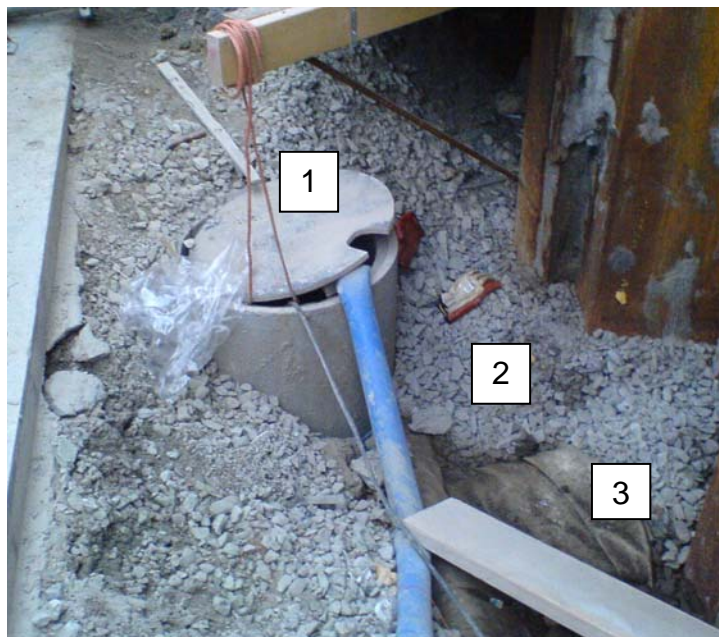


**Figur 9.1** *Omhändertagande av betongrester för att minska risken att länsvattnet överskrider tillåtna värden.*

Under utförande av schakt kommer finkornig jord att slammas upp i länsvattnet i stor omfattning. Detta länsvatten pumpas ofta undan med slampumpar som då ger ett vatten med mycket hög halt av suspenderat material. För att erhålla ett länsvatten som kan kvittgöras måste halten suspenderat material sänkas väsentligt, dels för att klara uppställda krav men också av rent praktiska skäl.

*Vid höga halter suspenderat material kommer ledningarna att delvis fungera som sedimentationskärl vilket leder till att ledningen sätts igen.*

Pumpbrunnar är oftast en temporär konstruktion på en byggarbetsplats och skyddet av dessa anses ofta som låg-prioriterat. I figur 9.2 visar en väl utförd och skyddad pumpgrop.



**Figur 9.2** *Principiell pumpbrunnsuppbyggnad. 1) Locket som skyddar mot nedfallande jord, 2) spalt mellanspont och arbetsbetong, 3) dräneringsledning*

Pumpen kan hållas en bit ovan brunnsbotten för att minska risken för igensättning och uppumpning av sedimenterat material. Locket [1] skyddar mot nedfallande jordfyllning. I detta fall har spalten mellan spont och arbetsbetong [2] blivit tillräckligt bred. Mycket ofta täpps dräneringen/avvattningsmöjligheten mellan spont igen då grovbetongsytan städas/rensas. På bilden syns även en del av den kontinuerliga dräneringsledningen[3].

## 9.2 Olika reningsmetoder

Ute på marknaden ihop med entreprenörers konstruktioner finns idag en uppsjö av reningsmetoder för länsvatten och övrigt avloppsvatten vilket framgår i tabell 9.1.

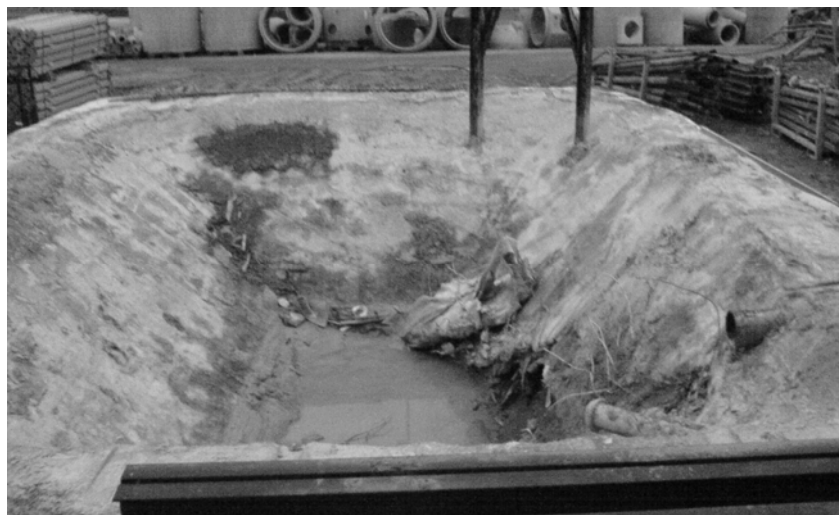
**Tabell 9.1** Visar en sammanställning av exempel på olika sedimentationsmetoder och deras för och nackdelar. I efterföljande kapitel presenteras de olika sedimentationsmetoderna mer ingående.

Typ av rening	+	-
Sedimentationsfälla	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tar liten plats.</li> <li>- flyttbara</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Begränsad reningseffekt vid stora volymer, kapaciteten ökas genom seriekoppling</li> <li>- Renar ej fina partiklar</li> </ul>
Lamellfilter	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tar liten plats</li> <li>- Flyttbara</li> <li>- God reningsförmåga</li> <li>- Kan kompletteras med kemisk rening</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relativt dyr investering</li> <li>- Kräver en del underhåll</li> </ul>
Sedimentationsbassäng	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bra för stora upptagningsområden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Platskrävande.</li> <li>- svårt att rena mindre partiklar än mellansilt</li> </ul>
Siltgardin	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bra i trånga områden vid tillgång till ett naturligt vattendrag</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kräver underhåll</li> <li>- Kan sjunka vid dåligt väder eller överlastning</li> </ul>
Sedimenttröskel	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kan konstrueras så att fiskar och andra vattenlevande organismer kan simma över den i naturliga vattendrag</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ineffektivt vid höga vattenflöden</li> <li>- Kräver avgränsande vattendrag</li> </ul>
Checkdammar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fungerar i små bäckar</li> <li>- Minskar erosionen i recipienten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stör det akvatiska livet i vattendraget</li> <li>- Förändrar de naturliga förutsättningarna i bäcken.</li> <li>- Dålig rening av fint material</li> </ul>
Sandfilter	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bra komplement till sedimentationsdammar/ sedimentationsfälla</li> <li>- Går att anpassa efter förorening</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kräver en del underhåll</li> </ul>
Kemisk sedimentation	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kan få små partiklar att sedimentera</li> <li>- Tar liten plats</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kemikalier måste tillsättas, risk för spridning.</li> <li>- Kan fungera dåligt om vattnets pH ändras</li> <li>- Kräver övervakning och underhåll</li> </ul>
Bevuxna diken och översilningsytor	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estetiskt</li> <li>- Bra komplement i sedimentationsdammar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- För mycket tillväxt kan orsaka översvämningar</li> <li>- Kan ta lång tid att etablera</li> <li>- Kräver utrymme</li> </ul>



### 9.2.1 Sedimentationsfälla

En sedimentationsfälla är en mindre damm som lämpar sig för områden där aktiviteten är begränsad till ett mindre område (CSQA, 2003). Vid extremt grovt material där sedimentationsfälla kräver daglig tömning med grävmaskin kan denna utgöras som en grävd betongdamm (figur 9.3).



**Figur 9.3** Grävd sedimentationsdamm för mycket grovt material

En annan form av sedimentationsfälla är en sedimentationscontainer (se figur 9.4). Det är väldigt vanligt att dessa används som ett första reningssteg av de grövsta fraktionerna av det suspenderade materialet. När halten suspenderat material är hög i länsvattnet räcker det med relativt kort uppehållstid i ett sedimentationskärn för att avskilja en stor del av transporterat fast material.



**Figur 9.4** Exempel på sedimentationsfällor från Citytunnelprojektet i Malmö. Fotot till vänster visar en sedimentationscontainer och till höger en slamavskiljare.

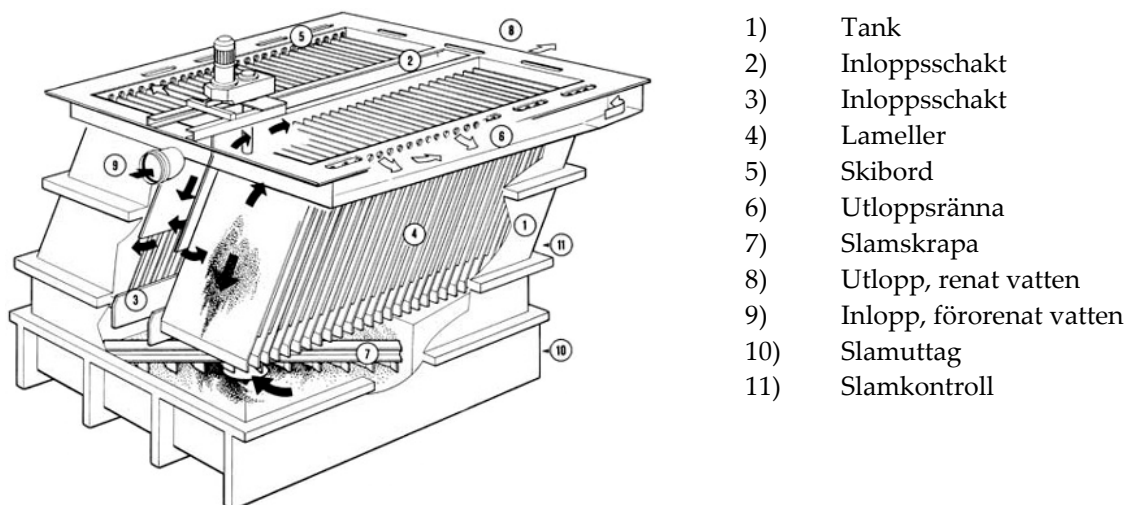
Sedimentationsfällor är ofta konstruerade som containrar eller tankar som relativt lätt kan flyttas i ett byggprojekt efter behov. Denna typ av sedimentationskärl kräver kontinuerlig översyn eftersom uppehållstiden minskar allteftersom slam ansamlas på dess botten. Slammet kan sugas ur med en bil med vakuumsug eller kan tömning ske genom att "stört tömna" containern för att få ur slammet.

En annan typ av sedimentationsfälla är en slamavskiljare. En slamavskiljare är ofta en vattentank med ett antal trösklar där vattnet långsamt får rinna igenom för att partiklar skall hinna sedimentera. Det är relativt vanligt att dessa seriekopplas vid mer förorenat vatten. Detta medför framförallt att tillgänglig volym för sedimenterat material ökar, dvs tidsintervallet mellan tömningar ökar.

Slamavskiljare och containrar är ofta platsspecifika byggen som är konstruerade för att passa det specifika projektet.

### 9.2.2 Lamellsedimentering

Vid lamellsedimentering sedimenterar partiklar mycket effektivare än på motsvarande yta i en öppen bassäng. Vattnet leds mellan lameller och partiklar som sedimenterar på lamellerna för att sedan ansamlas på botten. Lamellsedimentering är en teknik som är mycket använd inom vattenreningsteknik och som också kan fungera bra på länshållningsvatten. En lamellseparator kan föregås av en flockningskammare där flockningsmedel tillsätts för bättre sedimentering av små partiklar (figur 9.5).



**Figur 9.5** Lamellsedimentering. Principskiss (Polyproject Sweden AB)

### 9.2.3 Sedimentationsdamm

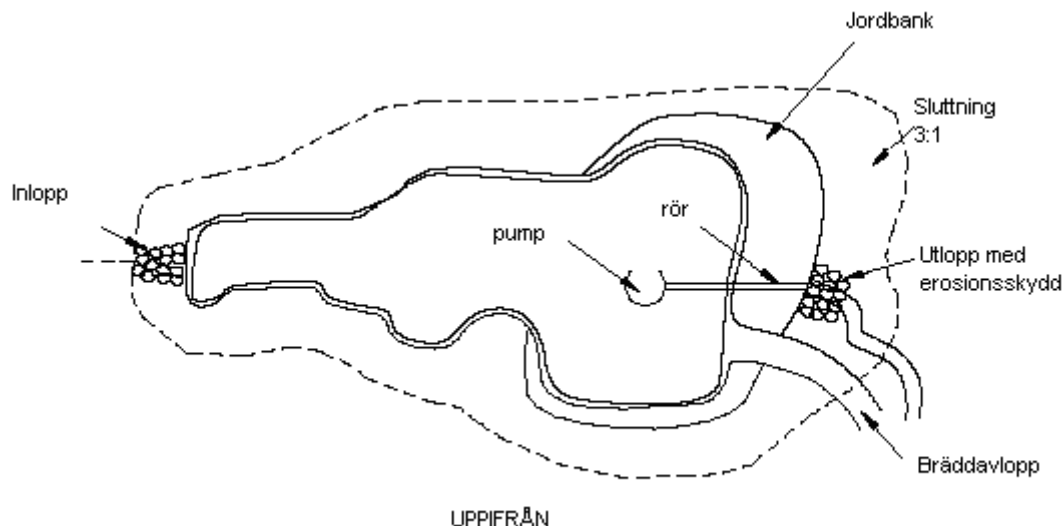
Erfarenheter från reningsprojekt av dagvatten från vägar används ofta vid byggnation av sedimentationsdammar. Hur stor en damm ska vara beror på hur lång tid det tar för en partikel att sedimentera.

Sedimentbassänger eller dammar är stora bassänger där vattnet får en lång uppehållstid så att sediment i suspensionen hinner falla till botten och sedimentera med hjälp av gravitationen. Det är vanligt att en sedimentationsdamm också används som utjämningsmagasin för det vatten som rinner igenom området innan det släpps ut i recipienten. En del recipienter kan vara väldigt små och känsliga för plötsligt kraftiga vattenflöden efter större regn. Sedimentationsdammar är en vanlig reningsmetod vid stora byggen som inte är starkt utrymmes begränsade (figur 9.6).



**Figur 9.6** *Norra hamnen i Citytunnelprojektet har vallats in och skapar en sedimentationsdamm. Dammen fylls successivt igen med genererade schaktmassor från Citytunnelprojektet (Citytunneln, 2007) .*

Det krävs lång uppehållstid för väldigt fina partiklar att sedimentera, vilket ofta medför stora bassänger. Sedimentationsdammar används väldigt ofta vid rening av dagvatten från vägar och mycket omfattande forskning finns rörande detta. Under de senaste tio åren har intresset för öppna system för omhändertagande av dagvatten ökat dramatiskt vilket resulterat i många nyanlagda dammar (Persson & Petterson, 2006).



**Figur 9.7** Sedimentationsdamm (Bilden CSQA, 2003)

Sedimentationsbassänger är den absolut vanligaste reningstypen för suspenderat material totalt sett. Ofta förekommer de i kombination med andra tekniker, till exempel med oljeavskiljare. Fördelen med sedimentationsdammar är att de oftast kräver väldigt lite underhåll.

I Sverige används ofta sedimentationsdammar även som utjämningsmagasin för att recipienten inte skall svämma över och på så sätt generera mer erosion. Utifrån tabell 6.1 kan slutsatsen dras att en sedimentationsdamm inte är tillräcklig för att rena från väldigt fina partiklar. Ifall till och med kolloider skall sedimentera måste vattnet i en sedimentationsdamm ha en uppehållstid på två år.

Sedimentationsdammar konstrueras så att de skall klara det regn som i extrema fall kan tänkas få just det berörda området (figur 9.7). När detta görs är det viktigt att beakta data över hur mycket nederbörd som är rimligt att vänta sig och vad som är värsta scenariot i det specifika området. Sedan kan därefter utjämningsmagasinen dimensioneras så att de skall klara ett extremt regn med en viss varaktighet beroende på kraven på reningen och recipientens sårbarhet. Om bara nederbörden betraktas för att räkna ut sedimentationsdammens storlek har kornstorlek eller sedimentationshastighet försummas. Vid dimensionering av sedimentationsdammar som har i huvudsyfte att fungera som utjämningsmagasin är det vanligt att detta försummas. Se bilaga 7 för dimensionering av sedimentationsdammar.

Simulerade modeller visar att dammstorleken bör vara 2-3 % av tillrinningsområdets storlek (Monterio, 2005). Dock beror detta starkt på hur mycket vatten som genereras i området. De modeller som gjorts har de endast räknat på vatten från nederbörd. I citytunnelprojektet där vatten även kommer från grundvattnet borde alltså dammen vara något större. Vidare enligt Petterson (1999) och German (2001) finns en optimal specifik yta för en sedimentationsdamm alltså kvoten mellan dammarean och imperiabel area. Utöver denna finns ingen signifikant ökning i reningseffekten med avseende på de flesta föroreningarna inklusive metaller (Lindgren & Svenson, 2003).

Den optimala specifika ytan har i flertalet studier föreslagits ligga runt 250 m<sup>2</sup>/h (Lindgren & Svenson, 2003). När endast den verkliga dammarean medtagits och därmed inte döda zoner och recirkulationszoner kan denna rekommendation även uttryckas som att effektiv specifik dammarea bör då vara större än 100 – 150 m<sup>2</sup>/ha (Persson & Pettersson, 2006). Detta är ett väldigt enkelt sätt att bestämma en sedimentationsdamms area. Ingen hänsyn har tagits till typ av förorening eller länsvattnets flödes hastighet.

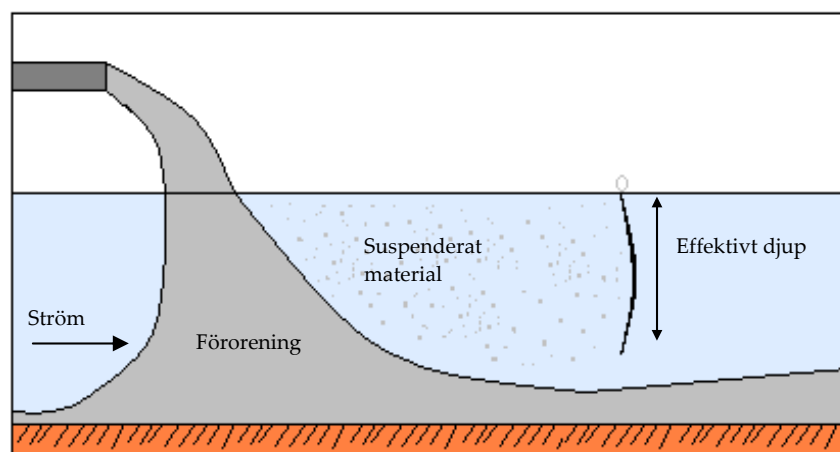
#### 9.2.4 Siltgardin

När länsvatten mynnar ut i ett begränsat vattendrag, en sjö eller hamnbassäng kan en siltgardin sättas upp runt ett begränsat område. En siltgardin består av ett slags tyg, en textil i polyester som tillåter vattnet att flöda igenom, men hindrar partiklarna (DOER, 2005) (figur 9.8). Partiklarna fastnar i textilen beroende dess storlek jämfört med porerna i textilen. Efter en tids bruk av siltgardinen fastnar allt mindre partiklar då porerna täpps igen.



**Figur 9.8** Siltgardin (Geomembran, 2006)

När siltgardin installeras är det viktigt att den är dimensionerad för trycket den utsätts för. Gardinen hålls upp med hjälp av flytdon och har en tyngd längs botten för att hållas utspänd. Gardinen slutar oftast en halvmeter över botten för att tillåta att dy och lera transporteras under (figur 9.9). Flytdonen klarar inte mer än gardinen är dimensionerad för. Om då större krafter än vad gardinen tål påfrestar sjunker gardin till botten för att den inte ska gå sönder. Anledningen till detta är att vattnet närmast ytan är renast. Om gardinen mot förmodan skulle sjunka helt eller delvis minskar risken för att förorenat vatten når ut i hamnen även vid höga flöden.



**Figur 9.9** En överskådlig bild på en siltgardins konstruktion. Siltgardinen hänger i vattnet med hjälp av tyngder och flytdon till ett visst effektivt djup. Dy och lera kan transporteras under. Partiklar av mindre karaktär är närmre ytan och fångas upp av gardinen medan större partiklar sedimenterar. Bilden är inspirerad av DOER (2005), men har översatts till svenska termer,

Vid val av gardin är det viktigt att fundera över storleken på partiklarna. Detta för att inte gardinen överbelastas eller att inte för mycket suspenderat material flödar igenom siltgardinen. Det är möjligt att optimera siltgardinen genom att välja maskstorlekar och på så sätt välja de kornstorlekar som ska fångas upp. Detta är inte alltid praktiskt möjligt. Vanligtvis har man två gardiner efter varandra ifall den ena går sönder.

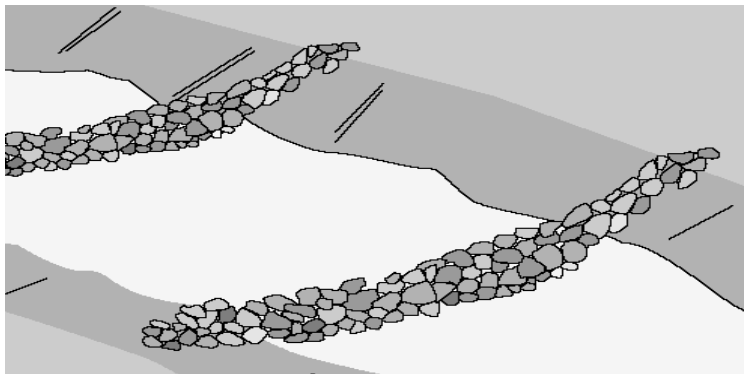
Gardinen kräver underhåll genom att den behövs tvättas med jämna mellanrum (DOER, 2005). Gardinen kan antingen tvättas på plats med högtryckstvätt eller tas upp och tvättas på land. Livslängden för en siltgardin är i regel 5 – 8 månader (CSQA, 2003).

### 9.2.5 Sedimenttröskel

I ett vattendrag eller kanal som för sedimenten framåt kan en tröskel byggas (CSQA, 2003). Denna tröskel minskar hastigheten på flödet vilket gör att mer sediment faller till botten. Tröskeln kan också konstrueras så att fisk kan simma över den vilket är svårt med sedimentfällorna. Tröskeln består oftast av tätt material. Sedimenttrösklar byggs ofta i sedimentationsdammar för en effektivare rening och för att minska strömningshastigheten i dammen.

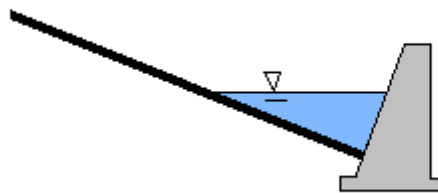
### 9.2.6 Checkdammar

I en kanal kan barriärer av krossat berg, sandsäckar eller fiberrullar byggas. Detta för att minska den effektiva lutningen och på så sätt minska hastigheten på det vatten vilket medför snabbare sedimentation (CSQA, 2003). I Sverige är inte vanligt att checkdammar används i naturliga vattendrag. Konstruktioner enligt denna princip kan anläggas (figur 9.10).



**Figur 9.10** Checkdammar (CSQA, 2003)

Checkdammar gör också att vattnet kan filtreras genom det material de är byggda av och kan på så sätt vara väldigt effektiva (figur 9.11). Det finns olika typer av checkdammar, vattnet kan strömma igenom en öppning eller ovan på barriären/dammväggen. Öppningen kan variera från att vara lika bredd som vattendraget till en smal springa (Armanini & Larcher, 2001). Material med vattnet sedimenterar, vilket också är meningen, i dammen och täpper igen öppningen. En checkdamm måste därför underhållas genom att gräva suspenderat material med jämna mellan rum för att den ska fungera.



**Figur 9.11** *En principskiss av checkdamm i genomskärning. Vattnets hastighet avtar genom att vattnet ansamlas innan barriären. Barriären kan vara av olika material exempelvis krossat berg, sandsäckar eller betong med en smal öppning. (Bilden är inspirerad av Armanini & Larcher, 2001)).*

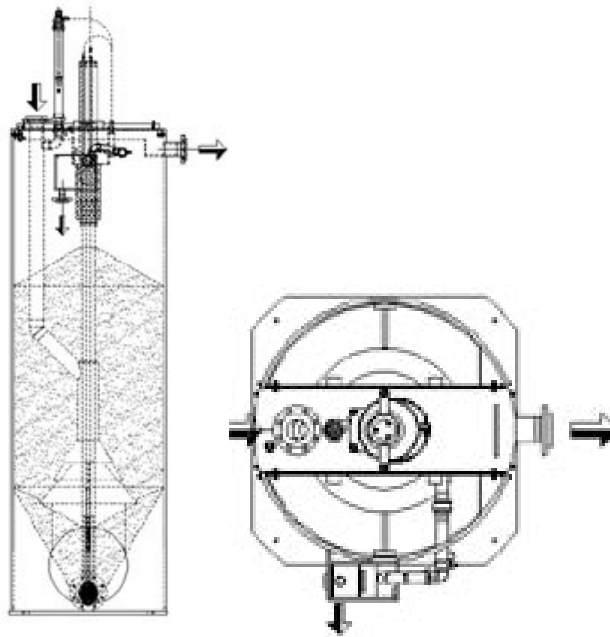
Valet av checkdamm beror på många faktorer så som; flöde, fårans lutning och bredd, vattnets hastighet, friktionen mot botten, sedimenttransporten, storleken på sedimentet, hållbarhet och ekonomi.

### 9.2.7 Sandfilter

En sandfilteranläggning består oftast av en uppehållsbassäng följt av en tank med ett sandfilter och ett utlopp. Anläggningen fungerar så att vattnet sakta får rinna igenom sanden och partiklarna antingen fastnar på sandkornens yta eller sedimentera på grund av den låga hastighet som blir.

Genom att välja lämplig kornstorlek och packningsgrad på sanden erhålls ett lämpligt flöde hos det kontaminerade vattnet vilket resulterar i att sediment i vattnet kan fastna i sandfiltret. Ett problem är att mycket av det suspenderade finmaterialet kan sedimentera ovanpå sandfiltret vilket medför att det kan sättas igen. Det översta sandlagret behöver därför tas bort regelbundet och filtret backspolas för att inte infiltrationshastigheten skall sänkas allt för mycket. Dessutom behöver hela sandvolymen bytas ut eller renas med jämna mellanrum. Detta betyder att metoden kräver en del underhåll. Vissa sandfilter har dock utvecklats på det sättet att de kontinuerligt renar sig själva (figur 9.12). Sanden renas då internt i filtret och hanteringen av tvättvattnet blir relativt enkelt.

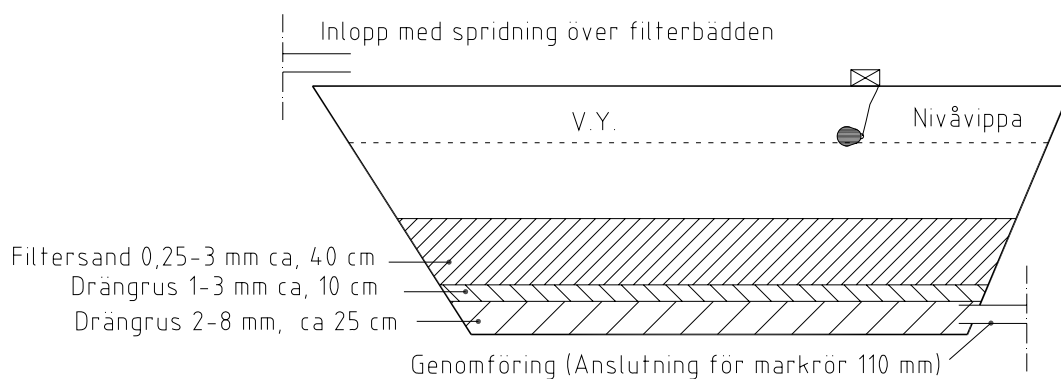




**Figur 9.12** Sandfilter med kontinuerlig tvätt av filtersand. (Polyproject Sweden AB).

Vid mindre entreprenader kan behovet av rening finnas under en kort tidsperiod. Vid dessa tillfällen kan sandfilter uppbyggda i täta containrar vara en bra och kostnadseffektiv lösning. Principen med att filtrera vatten i en container ger ofta en hög reningsgrad.

Ett sandfilter kan byggas upp i en vanlig tät container, se exempel i figur 9.13 nedan. Ovan botten görs en anslutning för utloppsrör. Containern fylls med drängrus (2-8 mm) upp till ovankant av rörets anslutning. Ovan drängruset läggs ett finare lager drängrus (t ex 1-3 mm) följt av filtersand (t ex 0.25-2 mm).



**Figur 9.13** Exempel på ett sandfilter uppbyggt i container

För att öka livslängden på ett containerfiltret är det av stor vikt att så långt som möjligt undvika att pumpa in finmaterial. En sedimenteringsfälla före sandfiltret gör att belastningen minskar och drifttiden mellan rensningarna blir längre (figur 9.14).



**Figur 9.14** Exempel på sedimenteringscontainer och containersandfilter.

### 9.2.8 Kemisk rening

Det finns två huvudprinciper av kemisk rening; *snabbare sedimentation* eller *flotation* (upp till ytan). Den första typen är kemisk sedimentation som går ut på att tillsätta kemikalier för snabbare sedimentation. Många företag idag har lösningar för kemisk rening varav en del är svenska aktörerna som finns listade i bilaga 8.

Flotation, den andra metoden, går ut på att kemikalier tillsätts för att det suspenderade materialet skall flyta upp till ytan. Den går ut på att små partiklar binds samman, för att sedan lättare kunna flyta upp. Lämplig produkt och rätt dosering för flockulering måste väljas vid varje fall utifrån föroreningarna i vattnet. Vid flotation sker en överföring av flockande substans till flytslam genom tillförsel av små luftbubblor (Milman, 2006). De små luftbubblorna fastnar på de suspenderade partiklarna och gör att dessa blir lätta och flyter upp till ytan. Partiklarna på ytan skrapas sedan av. De små luftbubblorna tillsätts genom att luft löses i vattnet under övertryck som sedan tas bort (Milman, 2006). Samma reningprocess som sker i ett avloppsreningsverk.

Tillsättning av kemikalier för en snabbare sedimentation är en relativt ny metod. Den är speciellt bra för sedimentering av små partiklar som finsilt och lera, som annars tar lång tid att sedimentera (CSQA, 2003).

När Köpenhamns Metro (tunnelbana) byggdes 2002 användes kemisk rening för att reducera partiklarna i det förorenade grundvatten. Berggrunden bestod av mesta dels kalksten, vilket gjorde att koncentrationen av partiklar var på många ställen väldigt hög, samma typ av berggrunds problematik runt Citytunneln. Kemisk rening lämpar sig bra och användes i Köpenhamn, eftersom flera byggplatser i centrala delar av staden där platsbristen var påfallande. Sedimentationsbassänger fick inte plats utan annat alternativ för rening var nödvändigt.

Under vissa tidpunkter kunde så mycket som 2000 mg/l suspenderat material finnas i vattnet (Jackson, 2004). Höga krav ställdes på reningsprocessen eftersom grundvattnet som läckte ut och förorenats skulle återinfiltreras i grundvattnet (berggrunden). Relativt låga halter suspenderat material fick infiltrationsrören att sätta igen och göra återinfiltreringen omöjlig. I projektet gick vattnet först genom en sedimentationscontainer och sedan genom en fockulerare (polyakrylamid och anionic polymer) och en koagulerare (med aluminium-klorid) (Jackson, 2004).

### **9.2.9 *Bevuxna diken och översilningsytor***

Genom att plantera gräs och vass reduceras transporthastigheten och ämnen tillåts sedimentera. Gräs och då framförallt när det är högt och tätt har visat sig vara den mest effektiva metoden för reducering av föroreningar (Lundahl, 2005). Gräsbevuxta ytor kan framförallt ses som ett substitut till ledningar, de gör att föroreningar hinner sedimentera på vägen samt att det utjämnar flödet (Lundahl, 2005). Även vegetation i dammar har visat sig ha en positiv effekt för dammens effektivitet. Flera studier har visat att vegetationen bryter ner inflödets jetstrålar och dess virvelbildande energi och turbulens (Persson & Pettersson, 2006). Det minskar flödes hastigheten och reducerar risken för att redan sedimenterat material ska suspenderas på nytt.

De flesta av de lösningar som presenteras ovan kan kombineras och tillsammans skapa ett väldigt bra skydd mot suspenderat material. En lika viktig del i byggprojekt är att i så stor mån som möjligt minska erosionen.

## 10. CITYTUNNELPROJEKTET

### 10.1 Inledning

Citytunneln är en järnvägslösning för att knyta ihop Malmö med resten av regionen samt att göra järnvägen mer lättillgänglig för Malmöborna. Citytunneln är en del av Västlänken, det projekt som skall förse Sverige med dubbelspårig järnväg längs västkusten och på så sätt binda ihop västkusten med Göteborg och övriga städer hela vägen upp till Oslo med Europa. Projektet består av en 17 km lång järnväg genom Malmö. Ett 11 km långt dubbelspår skall sträcka sig från Malmö C till Öresundsbron varav sex kilometer skall gå i tunnel under Malmö.

Längs denna sträcka byggs två nya stationer, Hyllie station och station Triangeln samt att nuvarande Malmö C byggs ut. Station Triangeln kommer att ligga under mark i ett bergsrum och i Malmö C:s station byggs även under mark fyra spår. Utöver detta byggs sex kilometer enkelspårig järnväg öster ut mot Trelleborg och Ystad (se figur 10.1), (Citytunneln, 2007).



Figur 10.1 Karta över citytunnelns sträckning och förbindelser (Citytunneln, 2007)

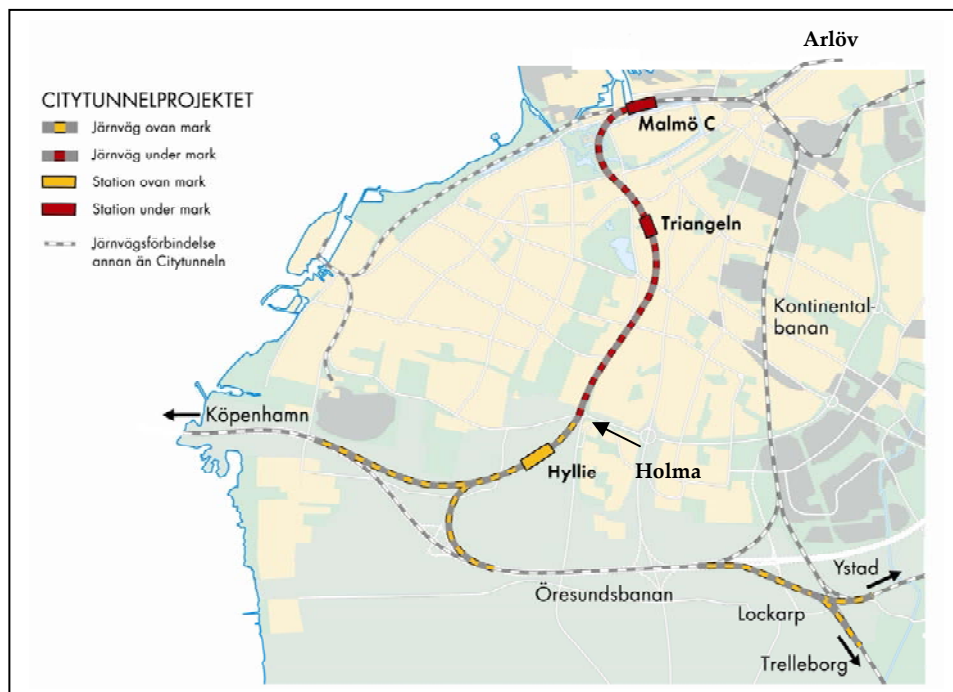
Citytunneln påbörjades våren 2005 och beräknas vara klar för att tas i drift år 2011. Projektet är uppdelat på ett antal entreprenader. De huvudsakliga är:

1. *Malmö C* där en station skall byggas under mark, en ramp för tåget och en förgreningsdel i spåret.
2. *Tunnlar* som skall bestå av bergborrade tunnelrör som bekläds med betongsegment, 13 st. tvärtunnlar, angreppschakt, två räddningsschakter och en järnvägsramp vid Hyllie.
3. *Station Triangeln* som består av en underjordisk station med nedgångar och ventilationsschakt i centrala delen av Malmö.
4. *Spår vid Hyllie – Vinitre inkl Hyllie station*, vilket består av dubbelspår ovan mark från Annetorpsvägen till Öresundbron samt förbindelsepår Öresundsbanan vid Vinitre och Hyllie station. (Vinitre ligger söder om Hyllie.)

5. *Förbindelsespår vid Lockarp* bestående av ett förbindelsespår vid Lockarp som skall binda ihop Citybanan mot Ystad och Trelleborg.

I anslutning till citytunnelprojektet genomförs ytterligare en större entreprenad; *Arlöv-Malmö*. Denna innefattar kapacitetsförstärkning, planskild spårkorsning och upprustning av de två befintliga spåren samt utbyggnation med två nya spår.

NCC Construction har tilldelats tre entreprenader i Citytunnelprojektet; entreprenad E101 Malmö C, nedre tunnel och ramp, entreprenad E302 Hyllie – Vintrie, mark och konstbyggnader samt entreprenad E311 station Hyllie (Citytunneln MKB, 2002). Skanska har tilldelats en entreprenad i Lockarp och MCG – Malmö Citytunnel Group, har tilldelats två entreprenader; tunnlar och konstbyggnad Station Triangeln. NCC Construction har även tilldelats entreprenaden för Arlöv-Malmö. Utöver detta tillkommer entreprenader för järnvägstekniska arbeten, inredning av stationer och andra utrymmen samt brand- och nödutrustning och annan teknisk utrustning.



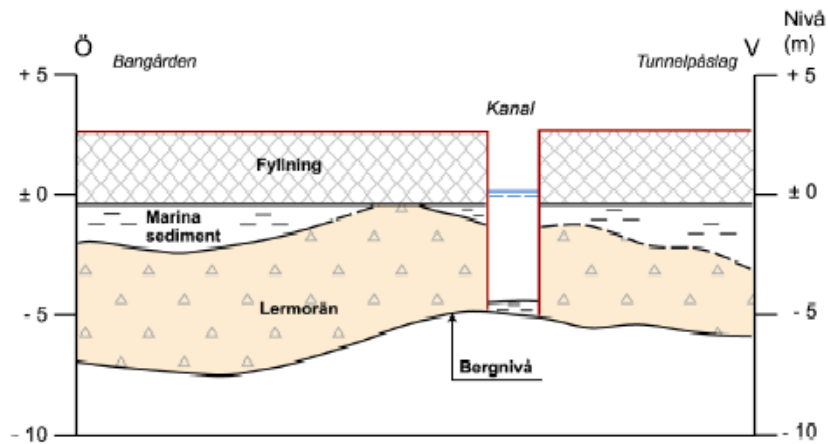
**Figur 10.2** Karta över de olika entreprenaderna.

**Tabell 10.1** Tabell över Entreprenader. Malmö Citytunnel Group (MGC) är ett konsortium bestående av företagen Bilfinger Berge AB, Per Aarsleff A/s samt E. Pihl & Son A/S (Citytunneln, 2007).

Entreprenad	Typ av bygge	Entreprenör	Sträckans längd	Nyttjad teknik
E101 Malmö C	Betongtunnel och ramp	NCC Construction Sverige AB	900 m	Byggs från öppet schakt
E201 Tunnlar och bergrum (mellan Holma och Malmö C)	Tunnlar och bergrum	MCG, Bilfinger Berger	4,5 km	Borrning med två borrar. Sker utan att grundvattnet sänks.
E301 Lockarp	Mark och konstbyggnad	Skanska Sverige AB	4 km	Schaktning, tätning och betonggjutning.
E302 Hyllie – Vintrie	Mark och konstbyggnad	NCC Construction Sverige AB	5 km	Schaktning, fyllning och betongarbeten
E311 Station Hyllie	Konstbyggnad	NCC Construction Sverige AB		Byggs över mark.
E201 Station Triangeln	Konstbyggnad	MCG, Bilfinger Berger	250 m långt 30 m brett	Byggs i bergrum. Förstärkning och tätning genomförs.

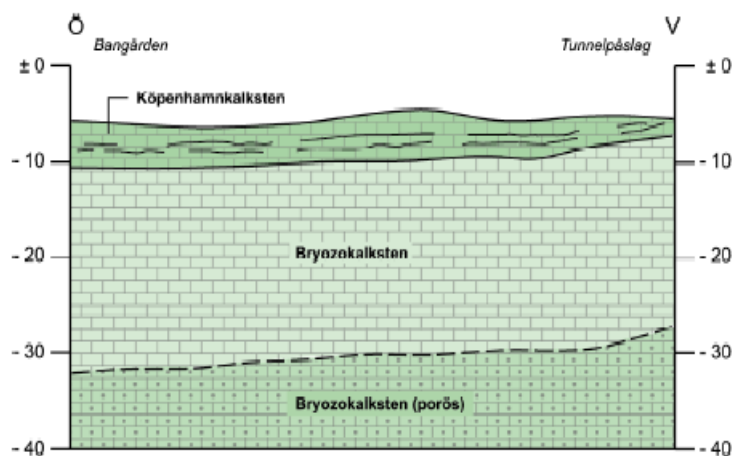
## 10.2 Geologi

Malmöregionen ligger inom den så kallade Dansk-Polska sänkan, en depression i urberget, som är utfylld med sedimentära berglager med en mäktighet av ca 2 000 m. Över de sedimentära lagren finns ofta ett jordlager med en mäktighet på mellan fem till 15 m morän som avsattes under den senaste istidens avsmältning. Moränen har på de flesta ställen en mycket hög lerhalt och benämns därför lermorän. Den har också oftast hög fasthet samt låg block- och stenhalt. På de flesta ställen kan två moräntyper som mellanlagras av ett silt- och sandskikt hittas (Citytunneln ansökan, 2002). Stora delar av norra Malmö är grundlagt på utfyllnadsmassor vilka i medeltal är ungefär fem meter mäktiga (se figur 10.3).



**Figur 10.3** Principskiss över jordlagerföljden vid Malmö C (Citytunneln ansökan, 2002).

Under jordlagret ligger ett 60 - 80 m tjockt kalkberg från den tertiära tidsepoken som bildades för ungefär 60 miljoner år sedan. Bergets hårdhetsgrad varierar mycket på grund av varierande bildningsmiljöer. Bergets hårdaste delar består av flinta. Kalkbergets översta metrar är ofta kraftigt uppsprucket, troligtvis beroende på den senaste istiden när isen drog fram över området. I anslutning till Citytunneln påträffades i huvudsak tre lagerenheter, den något yngre Köpenhamnkalkstenen, den underliggande bryozokalkstenen och det understa lagret består av skrivkrita (porös bryozokalksten) se figur 10.4 (Citytunneln MKB, 2002).



**Figur 10.4** Principskiss över de grundvattenförande lagren vid Malmö C (Citytunneln ansökan, 2002).



## 10.3 Vatten

Inom Citytunnelprojektet kan upp till tre grundvattenförande enheter (akviferer) särskiljas. Det första består av det översta jordlagret (moränen) vilket normalt är en öppen akvifer. Under denna del finns ett stråk av tätare mer finkornig lermorän som anses vara ett tätt lager. Under det ligger kalkberget som ofta betraktas som en sluten akvifer. Denna akvifer kan oftast delas upp i flera slutna akviferer utan hydraulisk kontakt med varandra (Citytunneln ansökan, 2002).

### 10.3.1 Grundvatten

Grundvattenströmningarna i området är i princip riktat från inströmningsområden till områden med utläckage av grundvatten. Alltså vattnet rör sig från centrala och norra delarna av området och ut mot havet, och följer topografin relativt konstant. Strömningsförhållandena i jordlagret är oftast mycket mer komplicerade men i princip följer grundvattnet här samma strömningsriktning som kalkbergets strömning (Citytunneln MKB, 2002). Inom större delen av Malmö ligger grundvattennivån i jordlagren mellan 1 - 3 meter under markytan (Citytunneln ansökan, 2002).

Grundvattenbildningen varierar kraftigt på olika ställen inom Malmöområdet beroende på jordarter, topografi och dräneringsförhållanden. Den korrigerade årsnederbörden för Malmö ligger inom intervallet 625 – 725 mm/år (Citytunneln MKB, 2002). Den genomsnittliga årsmedelavdunstningen i området uppskattas ligga inom intervallet 350 – 400 mm/år och nettoårsmedelnederbörden uppskattas alltså ligga inom intervallet 225 - 375 mm/år. Grundvattenbildningen i Malmö varierar alltså inom intervallet <25 - 375 mm/år med ett medelvärde på ungefär 130 mm/år (Citytunneln MKB, 2002).

### 10.3.2 Ytvatten

Den stora ytvattenförekomsten runt Malmö är självklart Öresund. I själva staden finns ett antal kanalsystem och hamnbassänger som leder från staden och ut i Öresund. Malmö kanaler omfattar cirka 6,5 km vattenvägar och kan delas in i ett inre kanalsystem och ett yttre. Det inre kanalsystemet har en längd på 3,5 km, en yta på cirka 14 ha och ett djup mellan 1,5 - 3,5 m medan det yttre kanalsystemet är något djupare, där har djup på 4,5 m uppmätts (Citytunneln MKB, 2002).

Kanalsystemet är en sammanlänkad enhet med tre förbindelser mot Öresund, Suellskanalen och varvkanalen som går ut i Inre hamnen samt turbinkanalen

som är delvis blockad och går ut direkt i Öresund. Tillringen till kanalen består främst av dagvatten och bräddavloppsvatten från Turbinens och Rosendals avloppsledningsnät. Vattenomsättningen i den Inre hamnen är stor på grund av direktkontakt med Öresund och båttrafik (Citytunneln MKB, 2002).

Förutom Öresund och Malmös kanaler finns ett antal mindre vattendrag i och runt staden. I öster rinner Segeå ut i Öresund och i väster ligger ett antal mindre diken och bäckar. De viktiga vattendragen i väster är Risebergabäcken, Lernackendiket och Bunkleflodiket. Risebergadiket är idag ett viktigt reproduktionsområde för havsöring och är hårt påverkat av närsalter från omkringliggande åkermark samt av föroreningar från avloppsvatten och bräddvatten. Lernackendiket och Bunkleflodiket är renodlade diken, tidvis torrlagda utan någon betydelse för fisket. Dock mynnar dessa två diken ut i de ekologiskt värdefulla våtmarkerna vid Bunkleflo.

#### **10.4 Bildade länsvattenmängder i projektet**

När tillstånd enligt miljöbalken söktes räknades det troliga genomsnittliga mängden länsvatten ut för de olika arbetsområdena. I miljödomen skrevs också den maximala mängden länsvatten som anges i tabell 10.2. Det vatten som kommer ut från grundvattnet kan på många sätt regleras medan det vatten som kommer från nederbörd är svårare att reglera. Därför beror mängden länsvatten mycket på hur mycket nederbörd området får under byggperioden. Det enda sättet att begränsa länsvattnet är att begränsa byggplatsens yta. Det bildade länsvattnet rinner efter rening via bäckar och avlopp till olika diken som tillslut mynnar ut i Östersjön

**Tabell 10.2** *Lista över arbetsområden, föreskrivna flöden och recipienter (Citytunneln ansökan, 2002).*

Arbetsområde	Genomsnittligt länsvatten (m <sup>3</sup> /år)	Maximalt länsvatten (m <sup>3</sup> /år)	Recipient
Malmö C	150 000	250 000	Inre hamnbassängen
Tunnlar	20		Inre Hamnbassängen
Holma TBM-maskiner Lakvatten från tillfälligt upplag av bergsmassor	100	625	Kommunala dagvattenledningen
Station Triangeln	60	220	Inre hamnbassängen
Spår vid Hyllie – Vintre inklusive station Hyllie	150 000 1 000 000 600	250 000 1 300 000	Lernackendiket Kommunala D-1 800 ledningen Bunkeflodiket
Spår vid Lockarp	450 000 65 000	530 000	Risebergabäcken eller Sege å Kommunala ledningen

## 10.5 Citytunnels miljökrav

Citytunnelprojektet har generellt väldigt strikta miljökrav på sig samt förekommer det specifika krav i respektive entreprenad. Tre kapitel i miljöbalken är av särskild betydelse för Citytunneln.

<b>Kapitel 9</b>	<i>Miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd</i>
<b>Kapitel 11</b>	<i>Vattenverksamhet</i>
<b>Kapitel 17</b>	<i>Regeringens tillåtlighetsprövning</i>

Kapitel 11 handlar om vattenverksamhet, all verksamhet som innebär bortledning av grundvatten. I kapitel 9 står att miljöfarlig samt hälsofarlig verksamhet är sådan som kan orsaka olägenheter för människans hälsa och kan åstadkomma utsläpp av miljöfarliga ämnen till luft, mark och vatten.

Av kapitel 17 Miljöbalken framgår att regeringen skall pröva all nybyggnad av järnväg för fjärrtåg samt nya spårbyggnader på minst fem kilometer.

Den första mars 2002 lämnade Citytunneln in en tillståndsansökan till miljödomstolen. Ansökan gällde dels en obligatorisk prövning av byggande under vatten enligt kapitel 11 i Miljöbalken och dels en frivillig prövning enl.

kapitel 9 i Miljöbalken bedrivande av miljö- och hälsofarlig verksamhet. I den senare ansökan hanterades länsvattnet och de yrkandena som banverket hade angående kvalitetskrav på utgående länsvatten till recipient. Vad som gäller angående tillstånds- och anmälningsplikt framgår av kapitel 3.2.

*Citytunnelprojektet är det första projekt som lämnat in en frivillig prövning enligt miljöbalken.*

Länsstyrelsen är tillsynsmyndighet och övervakar att miljödomen och villkoren i denna följs. Alla avvikelser från miljödomen rapporteras till Länsstyrelsen i en avvikelserapport.

*De olika entreprenörerna rapporterar inte direkt till Länsstyrelsen utan till Citytunnelprojektet som är verksamhetsutövare.*

#### **10.5.1 Miljödom (kapitel 9 och 11).**

När regeringen den 6 mars 2003 beviljade Citytunneln tillstånd enligt miljöbalken innebar det att processen i miljödomstolen kunde inledas. Miljödomstolen i Växjö valde att dela upp prövningen i fyra etapper. Varje etapp kungjordes separat och behandlades vid fem huvudförhandlingar åren 2003 - 2005. I slutet av 2004 kom den första deldomen i målet vilket innebar att Citytunneln fick tillstånd att påbörja och genomföra projektet.

I deldomarna ingick ett antal krav, både för hela projektet och speciella platsspecifika krav. De som speciellt behandlar övrigt avloppsvatten är följande:

- Mätning och journalföring skall ske av det vatten som avleds som avloppsvatten från respektive projekt.
- Arbetena skall ske på ett sådant sett att utsläpp av miljöskadliga ämnen i skadliga halter inte sker till recipienten.
- Flödet i avloppet skall utjämnas så att belastningen på recipienten begränsas.
- Avloppsledning i kanalen skall anläggas i samråd med Malmö Gatukontor.

- Banverket skall omgärda sedimentationsbassängen i Inre hamnbassängen med dubbla siltgardiner.
- Avloppsvatten som avleds till recipienten skall innehålla riktvärden enligt tabellen nedan. Samtliga värden utgör riktvärden för 10-minutersintervall. Varje intervall måste ligga under riktvärdet för att inte bli en avvikelse.

**Tabell 10.3** Riktvärden för kemiska parametrar i utgående avloppsvatten till recipient.

Plats	Malmö C (brunn)	Malmö C (Inre hamnen <sup>1</sup> )	Stationen Triangeln <sup>3</sup>	Hyllie/Vinitre	Lockarp Bro läge 43 /Risebergabäcken		Tunnlar och Tvär-tunnlar
Suspenderat material (mg/l)	-	50	100	40	40	40	40
pH		6,5 – 9,0	6,5 – 9,0	6,5 – 9,0	6,5 – 9,0	6,5 – 8,5	6,5 – 9,0
Järn partikulärt (mg/l)	-	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Vinylklorid (mg/l)	-	0,002	-	-	-	-	-
Mineraloljekolväten <sup>2</sup>	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
PEC/PNEC		<1 <sup>3</sup>	<10*	<1*	<10*	<1*	<1*

\*En större kvot ska, baserat på dokumenterade utspädningsberäkningar i recipienten, kunna godkännas av tillståndsmyndighet, dock maximalt en kvot om 10

(Källa: Växjö tingsrätt, Deldom daterad 2004-12-20, Mål nr. 81-02).

1) mätt utanför yttre siltgardinen,

2) analyserat som olje-index (mg/l),

3) inkl.Kung Oscars väg och Stationsgatan

Ett kontrollprogram har upprättats med hänsyn till kraven i miljödomen. I kontrollprogrammet specificeras kraven ytterligare med bland annat konkreta kontrollpunkter, i respektive arbetsområde (Citytunneln Kontrollprogram, 2005).

## 11. PROJEKTLÖSNINGAR FÖR LÄNSVATTENRENING VID CITYTUNNELPROJEKTET

Inom projektet med Citytunneln i Malmö har ett flertal olika reningsmetoder för länsvatten använts. Olika entreprenader har varierande förutsättningar i form av utrymme och verksamhet vilket medför att olika reningsprocesser har nyttjas.

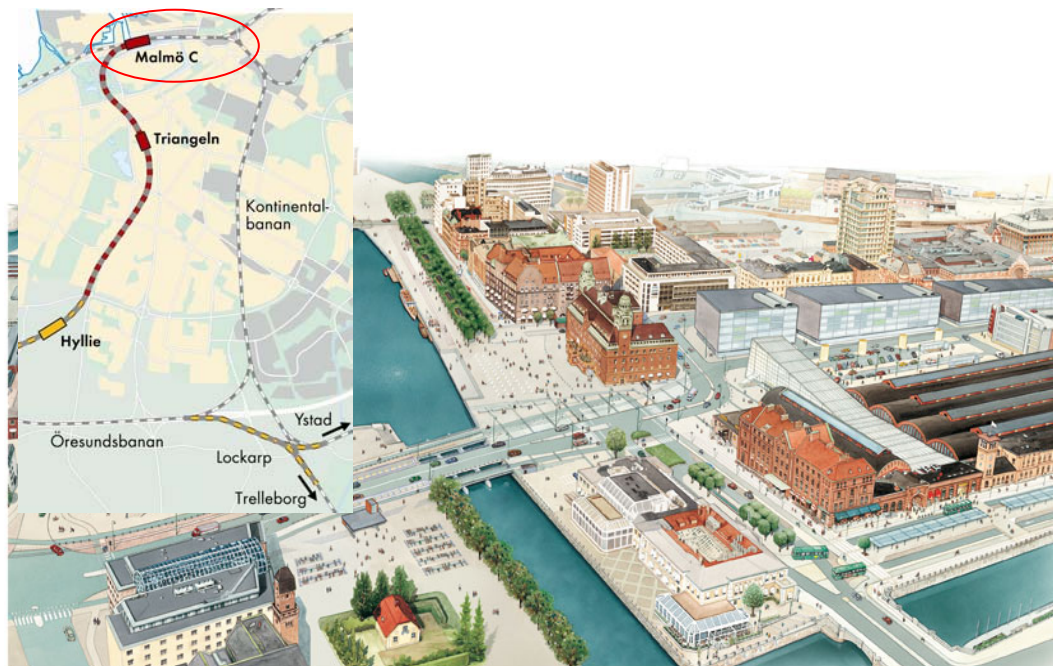
Inom detta avsnitt har reningsprinciperna för respektive entreprenad sammanställts. Fokus på resultaten ligger framförallt på hanteringen av suspenderat material. Resultatsammanställningen är av översiktlig natur och ingen fullständig redovisning av varje entreprenad.

Analyser av suspenderat material sker kontinuerligt inom Citytunnel projektet. Varje delprojekt tar varje vecka samlingsprov för att säkerhetsställa att miljökraven hålls. Dessa veckoprover innefattar förutom suspenderat material, oljeindex, pH, flöde, järn i vissa fall samt veckoprover på kemikalier (PEC/PNEC) om det bedöms finnas en risk för överskridelse. Vid Malmö C kompletteras kontrollprogrammet med vinylklorid. Detta på grund av tidigare verksamhet inom det beaktade schaktområdet. För Arlöv-Malmö utfördes även analyser på metaller och polyaromatiska kolväten. Det har emellertid inte framtagits några riktvärden för dessa parametrar utan analyserna genomfördes framförallt för att dokumentera den rådande situationen.

Vidare har detta i SBUF-projektet ytterligare kompletterande prover på suspenderat material tagits vid sedimentationsbassängerna vid Hyllie – Vinitre och vid Malmö C efter de har olika reningssteg. Förutom detta har ett antal kornstorleksprov tagits vid Malmö C. Dessa undersökningar presenteras i kapitel 12.

## 11.1 Malmö C E101

Malmö C är ett stort verksamhetsområde och ligger mitt i centrala Malmö bredvid tågstationen. I Malmö C byggs en station för genomgående trafik. Innan har tågen i södergående riktning behövt köra in till Malmö C och vända för att kunna fortsätta.



**Figur 11.1** *En teckning över Malmö C central i framtiden. Centralen syns i högra hörnet med spåren som kommer in och den nya glasbyggnaden. Malmö C ska anpassas till genomgående trafik.*

Den stora begränsande faktorn på denna entreprenad för vattenrening är platsbristen. Många lösningar för reningen av övrigt avloppsvatten kräver stora utrymmen. Platsproblemet har lösts genom att Inre hamnbassängen har nyttjats som ett sista steg i reningen (se kapitel 11.4), (Citytunneln E101, 2004).

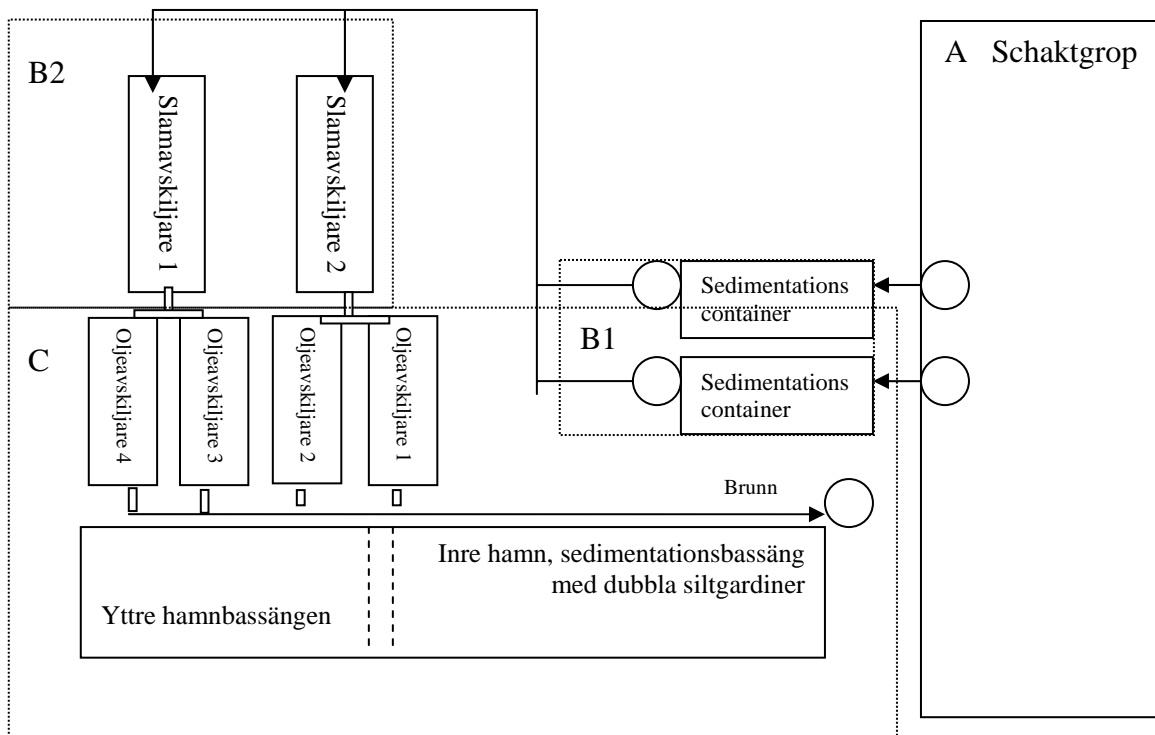
### 11.1.1 Länsvattenhantering vid Malmö C

Vid vattenreningsanläggningen på Malmö C hanteras fram till Inre hamnen uppumpat grundvatten som inte kan återinfiltreras, länsvatten och dagvatten. De lokala förutsättningarna innefattar en bergmassa med relativt mycket lös sedimenterat kalkberg som vid bearbetning gör stora mängder material i siltfraktionen. Detta medför att det generellt genereras ett länsvatten med en hög suspenderad halt.



**Figur 11.2** Schaktarbete vid Malmö C (2006-10-18)

I figur 11.3 visas en principskiss över hur länsvattnet hanteras inom arbetsområdet.



**Figur 11.3.** Principskiss över arbetsområde med reningssteg vid Malmö C. Sedimentationscontainrarna kan seriekopplas vid behov. Provtagning sker kontinuerligt efter oljeavskiljarna innan vattnet når inre hamnbassängen samt utanför siltgardinerna i yttre hamnbassängen.

A: Länsvattnet pumpas upp från schaktgropen och tidvis från även andra ställen där vatten har samlats.

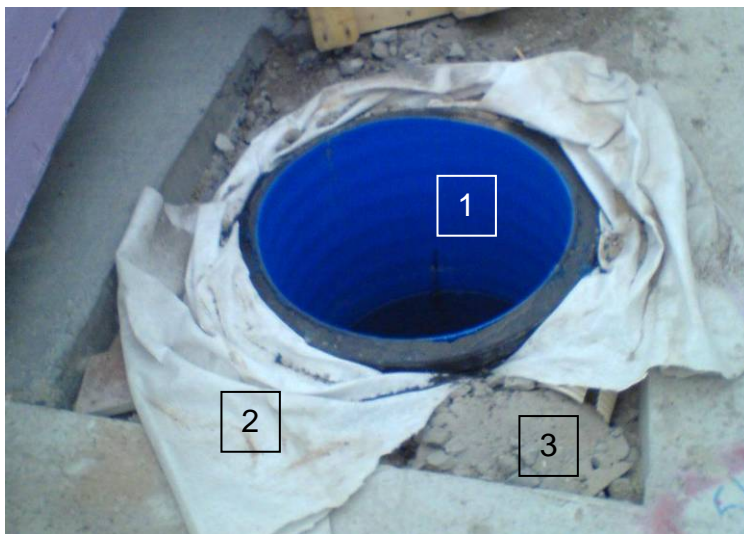


- B:* Vattnet pumpas antingen direkt in i två slamavskiljare eller via sedimentationscontainrar som bildar ett första reningssteg där de allra grövsta fraktionerna sedimenterar. Uppehållstiden i containrarna varierar mycket beroende hur mycket som pumpas. Sedimentfällorna är flyttbara och kan relativt enkelt flyttas efter behov, de kan också vid behov seriekopplas för att åstadkomma längre uppehållstider och därav bättre mer rening. Därifrån pumpas vattnet till två slamavskiljare. Dessa är 7,8 m långa och innehåller tre trösklar som vattnet måste ta sig förbi (ritning slamavskiljare) och dessa är då till för att bromsa flödet och ge vattnet en längre uppehållstid i slamavskiljaren samt minska risken för virvlar i vattnet.
- C:* Efter slamavskiljarna fortsätter vattnet in i fyra parallell kopplade oljeavskiljare och sedan vidare genom en provtagningsbrunn och ut i inre hamnbassängen.
- D:* I brunnen kontrolleras mineralolja. Riktvärdena är presenterade i tabell.
- E:* Från provtagningsbrunnen släpps vattnet ut till den Inre hamnbassängen.
- F:* Från den inre hamnbassängen passerar vattnet genom två parallellkoppla siltgardiner ut i den yttre hamnbassängen.

### ***11.1.2 Hantering av länsvatten i schaktgrop under produktionsskedet***

För att minimera mängden suspenderat material i det länsvatten som hanteras under det längre produktionsskedet anlades inom ett avvattningssystem som omfattade dränslangar och pumpbrunnar. De pumpgropar som inledningsvis anlades med kringfyllning av makadam sattes dock relativt snabbt igen av finkornigt material.

För att minimera risken för igensättning av pumpbrunnarna och erhålla en god filtrering anlades filter. I figur 11.4 visas de principiella komponenterna för att erhålla ett filtrerat länsvatten med minimalt suspenderat material.



**Figur 11.4.** *Principiell pumpbrunnssupbyggnad*

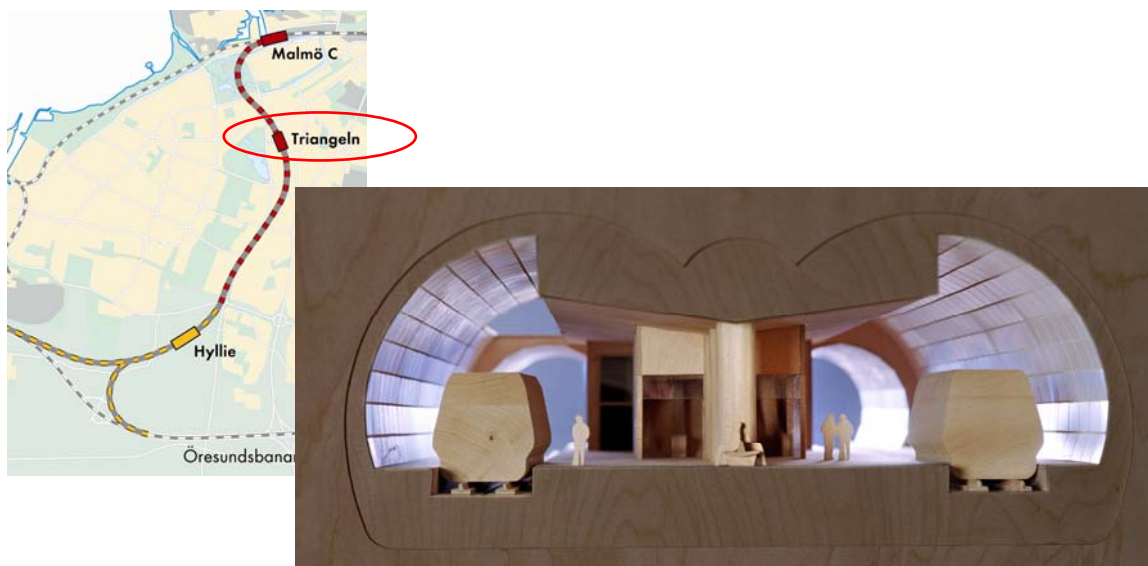
- Pumpbrunnen [1] har byggts upp kring ett 600 mm plaströr vilket har slitsats runt om och normalt även håltagits för att ansluta dräneringslanger.
- Eftersom slitsarna är relativt grova har röret sveps om med en geotextil [2].
- Kringfyllningen utgörs här av förstärkningsmaterial 0/90 [3]. Det normala kravet som skall ställas är att finjordsandelen är mindre än 10 % vilket 0/90 materialet uppfyller men dess konduktivitet är lite för låg. Detta medför att tillrinningen i brunnarna minskar men de har ansetts acceptabelt i jämförelse med att behöva hantera ytterligare ett material på arbetsplatsen.

### **11.1.3 Analyserade halter vid Malmö C**

I provbrunnen har mineralolja kontrollerats. Av analysresultatet framgår att värdet ligger konstant under riktvärdet. Som en extra kontroll har den suspenderade halten analyserats i provtagningsbrunnen under mitten av november till slutet av februari. Den suspenderade halten varierar mellan 200 - 800 mg/l. Av detta framgår att det slutgiltiga reningssteget i Inre hamnbassängen är nödvändigt för att klara reningskravet på suspenderat material som är 50 mg/l efter det att vattnet passerat genom siltgardinerna.

## 11.2 Station Triangeln, E201

Station Triangeln har en mycket viktig funktion i det framtida tågsystemet och kommer att öka tillgängligheten till centrala Malmö. Stationen byggs strategiskt i ett bergtrum och leder på ena hållet till Triangelns köpcentrum samt shoppingstråk i Malmö och på andra hållet till universitetssjukhuset samt andra stora arbetsplatser. Varje dag beräknas 37 000 personer passera stationen.



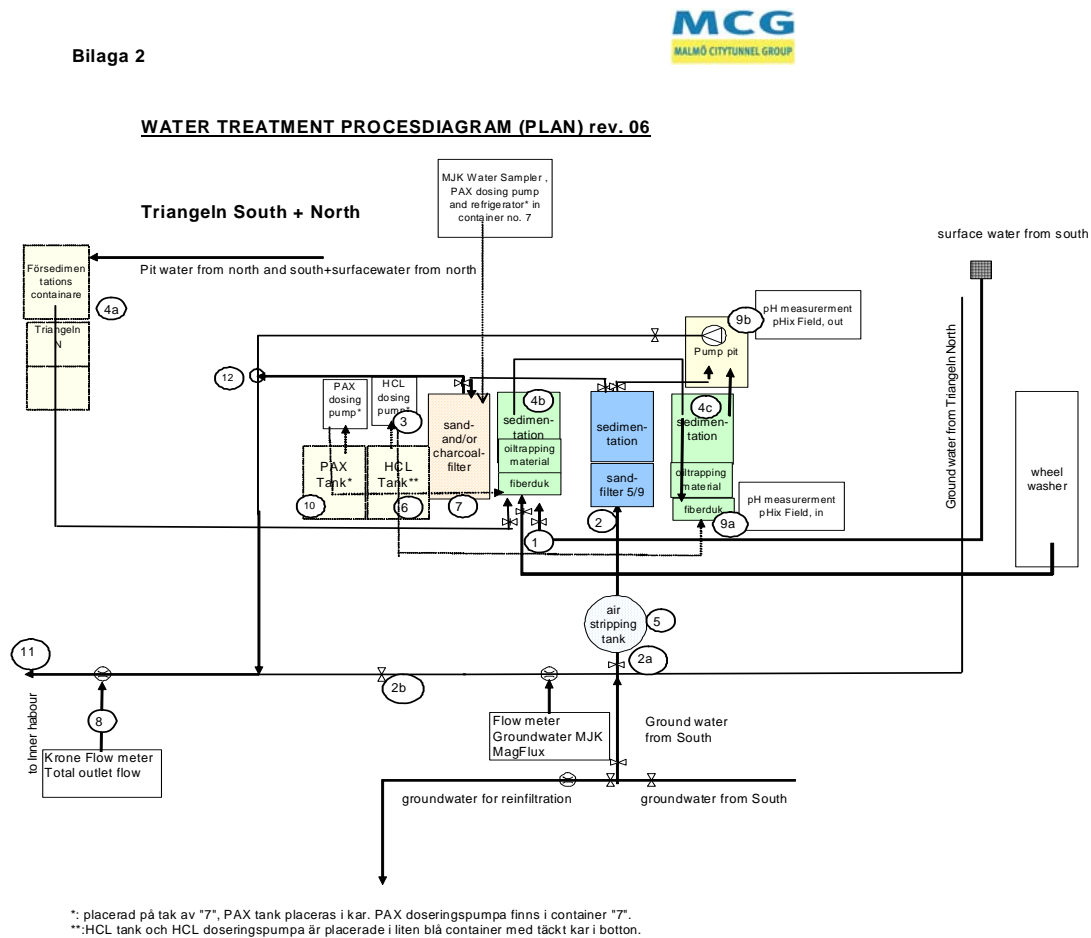
**Figur 11.5** Station Triangelns läge längs Citytunnelsträckningen. Stationen byggs som en underjordisk bergtrumsstation med två spår och en mellanliggande plattform.

För att kunna bygga stationen har två vertikala schakt grävts i norra och södra delen av arbetsområdet. Innan arbetet påbörjades med att ta ut bergtrummet förstärktes schaktväggarna. Därefter startade arbetet med att ta ut fräsa ut berget för centrumtunneln och därefter de två sidotunnelarna. Efter att tunnelborren passerat görs betonggjutningar för stationens slutliga utseende.

### 11.2.1 Länsvattenhantering (temporära arbeten)

Vid vattenreningsanläggningen på Station Triangeln hanteras överskottsvatten från Triangeln norr och södra. Det vill säga uppumpat grundvatten som inte kan återinfiltreras, länsvatten, dagvatten och tvättvatten från Triangeln norra och södra samt mindre mängder vatten från hjultvätten. Vatten som behandlas i reningsanläggningen vid Triangeln pumpas vidare till Inre Hamnen där slutreningen sker. I tabell 10.3 redovisas de riktvärden som gäller för utsläpp av renat vatten från arbetsområdet Stationen Triangeln.

På processdiagrammet nedan visas varje del av behandlingsanläggningen.



**Figur 11.6** *Behandlingsanläggning Station Triangeln*

Reningsprocessen vid Triangeln är relativt komplex och innefattar ett flertal olika reningssteg innefattande oljeavskiljare, försedimenteringscontainrar, varefter vattnet pH-justeras. Därefter sker ytterligare rening. Detta utförs i ett kemiskt reningssteg i sedimentationsfällor till vilket det tillsätts kemikalie (PAX) för att uppnå en snabbare sedimentation.

Som ett sista valfritt steg kan ett sandfilter utnyttjas. Sandfiltret utgörs av en behållare fylld med sand (fraktion 5/9). När infiltrationskapaciteten sjunker schaktas sanden ur behållaren och ny på förs. Processen beskrivs mer exakt i bilaga 4.

### 11.2.2 Analyserade halter vid Stationen Triangeln

Station Triangeln klarar generellt sina reningskrav bra. Det visade sig i början att kraven var svåra att hålla på stationen, vilket föranledde till att ett extra

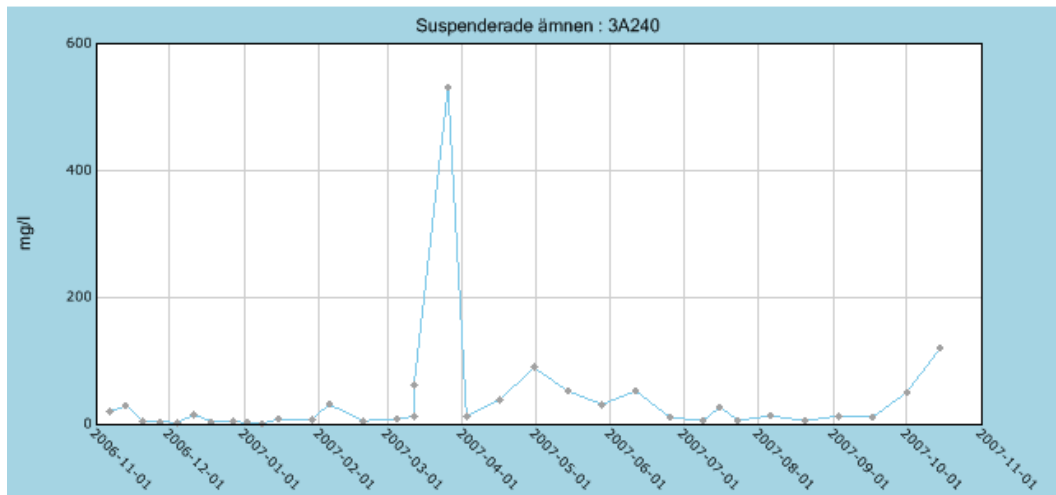
reningssteg skulle prövas och infördes i form av kemisk rening. Den kemiska reningen var mycket effektiv. I inledningsskedet fick försök med doseringen göras för att få önskat resultat. Problemet har varit att stora mängder av fällning bildats och om det inte avlägsnas genom slamtömning slammans partiklarna upp igen och följer med vattnet ut. Detta bidrar till att stora kostnader för slamtömning tillkommit.

Nivåer på den ingående suspenderande halten har förekommit mellan 20-610 mg/l. Jämfört med de utgående nivåerna på 20-65 mg/l har det suspenderade materialet reducerats med en tiopotens. Provtagning har även skett på slammet som borde innehålla höga halter av fällningskemikalie som de sedimenterade partiklarna bundets till. Inga alarmerande nivåer har påträffats, men slammet förvaras dock invallat för att sen analyseras igen innan arbetsplatsen stängs för att veta vart massorna ska slutförvaras.

Under den analyserade perioden har länsvattnet inte vid något tillfälle haft förhöjda halter av järn, oljeindex eller pH (tabell 11.1). Vid två tillfällen har emellertid riktvärdet för halten suspenderat material överskridits (figur 11.7) Vid det första tillfället var halten suspenderat material kraftigt förhöjd till 550 mg/l. De förhöjda halterna är oftast en konsekvens av att slamtömning av containrarna inte skett i tid.

**Tabell 11.1** *Renat länsvattens maxim- och minimum värden för Stationen Triangeln.*

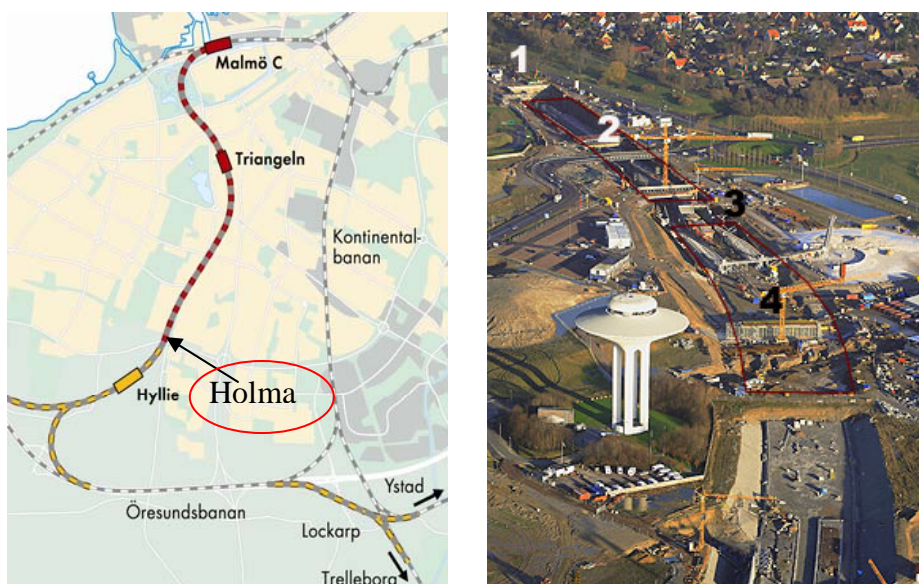
Station Triangeln	enhet	min	max
Flöde	m <sup>3</sup> /h	38	100
Suspenderat material	mg/l	550	<5
Järn, Fe	mg/l	<0.05	0.5
Oljeindex i vatten	mg/l	<0.1	0.5
pH		6.9	8.3



**Figur 11.7.** Uppmätt suspenderad halt vid Stationen Triangeln under perioden nov 2006 till nov 2007.

### 11.3 Tunnlar och bergrum E201

Holma är en av de största arbetsplatserna inom citytunnelprojektet. Hela entreprenaden innefattar 4,5 km tunnlar och bergrum från Malmö C till Holma. En stor del av tunnelarna utförs i berget med kapslad tunnelborrningsmaskin (TBM). Vid arbetsplatsen Holma gjuts två stycken 360 m långa tunnlar i öppen schakt. Efter tunneln är gjuten återställsmarken till ursprungligt skick. I Holma byggs även tunnelportalen och en 390 m lång ramp som tar över trafiken efter tunnelarna.



**Figur 11.8** Holma. 1) Borrade tunnlar övergår i betongtunnlar 2) Öppen schakt för att gjuta betongtunnlar 3) Tunnelportal 4) en lång ramp som tar över efter de gjutna tunnelarna (byggs även den i öppen schakt)

#### 11.3.1 Länsvattenhantering vid Holma

Vid reningsanläggningen i Holma hanteras avloppsvatten från tunnelborrningsmaskinerna och avloppsvatten från tvärtunnelarna, vatten från schaktgropen samt grundvattenöverskott.

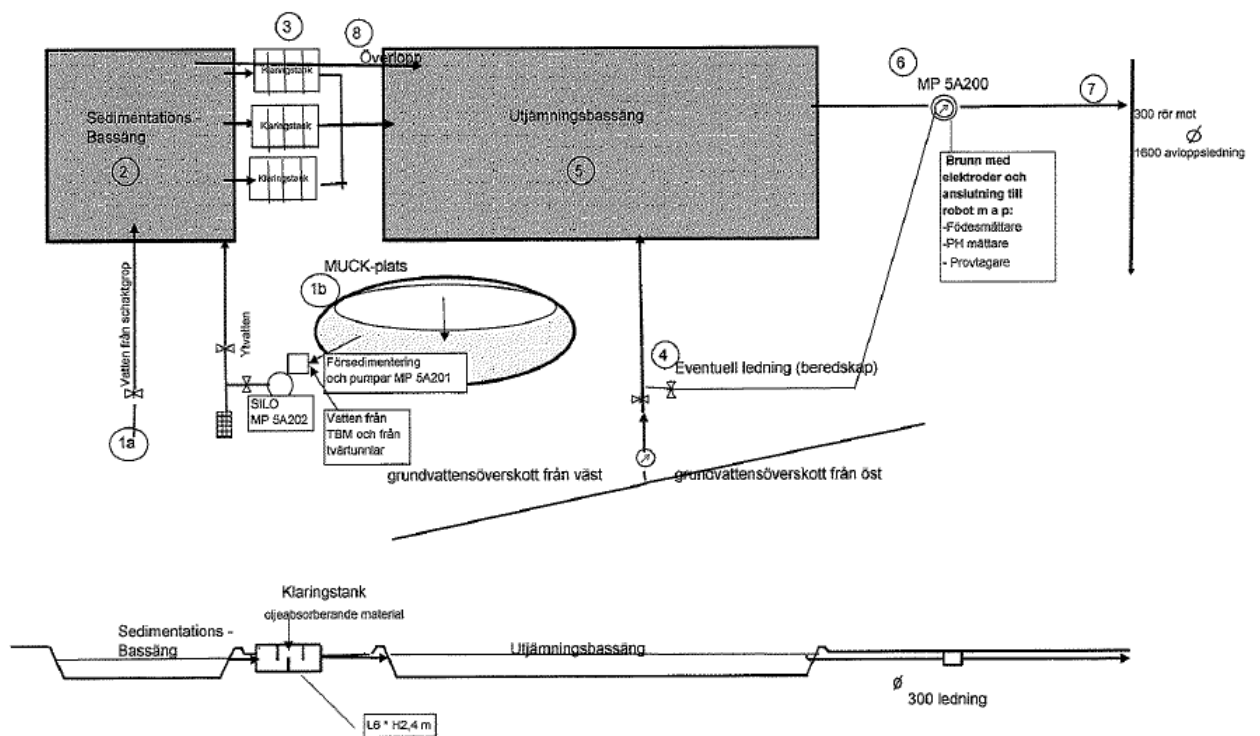
Allt vatten från tunnelborrningsmaskin (TBM) driften och tvärtunnelarna pumpas via vattenledningar och silon för att sen ledas ut till anläggningen i Holma. Det vatten som bildas i samband med sprutbetongarbeten i tvärtunnelarna samlas upp i containrar och körs sedan till bassängerna i Norra Hamnen. Tvättvatten från tvättning av betongbilar och övrig utrustning transporteras direkt till Norra hamnbassängerna för kalkslam. Även tvärtunnelarna har pumpsumpar vid varje huvudtunnel.

Vid sprutbetongsarbeten kommer vattnet från TBM driften att ledas till Triangelns vattenhanteringssystem istället för Holma på grund av att Triangelns recipient är mindre känslig.

Uppbyggnaden av vattenreningsanläggningen vid Holma (*siffrorna i texten kan relateras till figur 11.9*):

**Bilaga 2: Vattenbehandlingsanläggning**

**TBM Operation HOLMA rev. B**



**Figur 11.9.** MGC:s vattenreningsanläggning vid Holma.

- Anläggningen består av tillfälliga försedimenteringsbassänger i schaktgruppen dit tillströmmande grundvatten och eventuellt processvatten leds.
- Från dessa bassänger pumpas vattnet upp till en sedimentationsbassäng (2).
- Därefter leds vattnet vidare via självfall till klaringstankar. Varje tank är försedd med oljeabsorberande material i mittsektionen av karet och filtergrus i botten. (3).
- Som ett sista steg leds vattnet till en utjämningsbassäng (5).



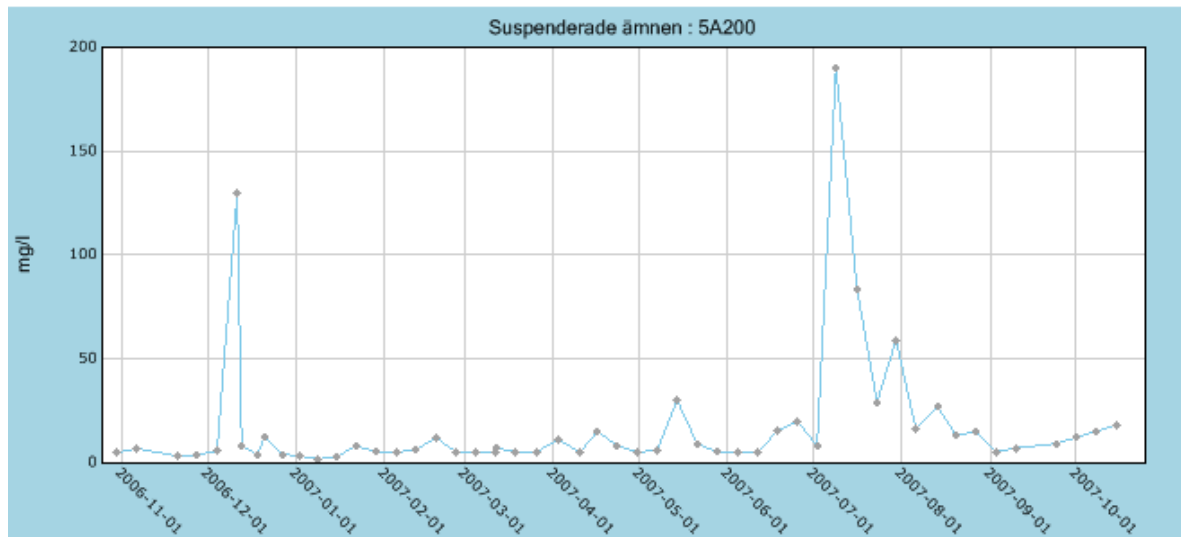
### 11.3.2 Analyserade halter vid Holma

Reningsanläggningen vid Holma håller sina riktvärden relativt bra (tabell 11.2). pH-värdet och oljeindex överskrider inte vid något tillfälle under mätperioden uppställda riktvärden. Den suspenderade halten i det renade länsvattnet överskrider dock riktvärdet på 40 mg/l under fyra tillfällen och som högst har en suspenderad halt på 190 mg/l uppmäts. De förhöjda halterna av suspenderat material är främst en följd på den mänskliga faktorn, eftersom ledningar och systemet kopplats fel. Systemet i sig har fungerat.

Järnvärdet (4,5 mg/l) överskreds en gång i samband med en grundvattensänkning, när pumpar slogs på och av, vilket ledde till att stora mängder av järn fälldes ut.

**Tabell 11.2**

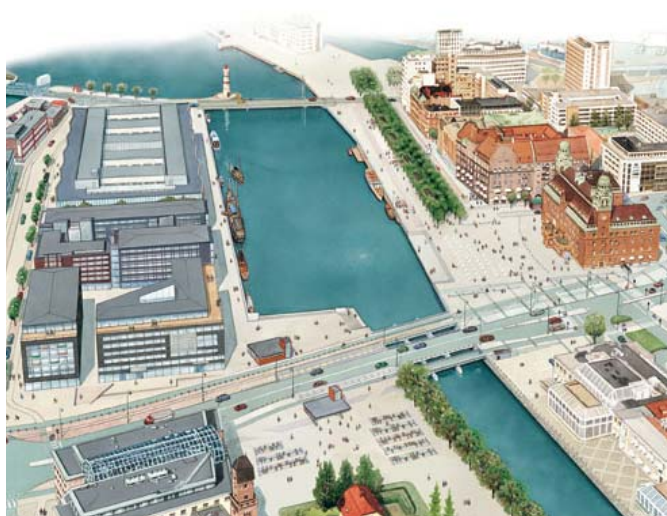
Holma E201	enhet	min	max
Flöde	m <sup>3</sup> /h	40	580
Suspenderat material	mg/l	<5	190
Oljeindex i vatten	mg/l	<0.1	0.5
pH		7.3	8.8



**Figur 11.10** Suspenderat halt i länsvattnet efter rening vid Holma under perioden nov 2006 till okt 2007.

## 11.4 Sedimentationsbassängen Inre hamn.

Inre hamnen utgör en del av entreprenaden för Malmö C, E101. Sedimentationsbassängen i den Inre hamnen tar emot allt övrigt avloppsvatten från arbetsområdena Malmö C och Station Triangeln, efter vattnet gått igenom sedimentationscontainrar, slamavskiljare och oljeavskiljare. Även avloppsvatten från de små arbetsområdena Kung Oscars väg och Stadiogatan pumpas via Station Triangeln till Inre hamnen. I genomsnitt passerar 450 m<sup>3</sup>/h övrigt avloppsvatten till inre hamnbassängen under hela byggprocessen. Inre hamnen ligger vid Malmö C.



**Figur 11.11.** Bild över Inre hamnbassängen vid Malmö C.

Övrigt avloppsvatten innefattar allt dagvatten som rinner från tak, hårdgjorda ytor och ner över byggområdet. Det innefattar även vatten som trängt ut eller runnit ner i schakten, grundvatten som inte återinfiltrerats samt övrigt vatten som blivit kontaminerat av byggverksamheten.

Inre hamnbassängen uppskattas ha en volym på ca 16 000 m<sup>3</sup> vilket medför att vattnet där får en uppehållstid på ca 30 timmar (Citytunneln MKB, 2002). Enligt tabell 6.1 i kapitel sex sjunker grovlera en meter på åtta dygn och finsand sjunker en meter på två timmar. Det betyder att inre hamnbassängen inte har kapacitet att sedimentera grovlera, men vid stillastående vatten kan finsilt sedimentera.



**Figur 11.12.** *Inre hamnen. Bild tagen vid utloppet från sedimentationscontainrarna. Längst upp i bilden syns siltgardinens övre kant.*

I den Inre hamnen späds avloppsvattnet ut med övrigt vatten från hamnen och Öresund (figur 11.12). Två hundra meter från utsläppspunkten är avloppsvattnet utspätt 400 gånger och ca 5 000 gånger, 400 m från utsläppspunkten (Citytunneln ansökan, 2002).

#### **11.4.1 Siltgardin**

Inre hamnen är avskärmd med två siltgardiner som är placerade med någon meters mellanrum. Vattnet behöver alltså passera genom två siltgardiner innan det är färdigrenat.

Siltgardinerna sitter fast i botten med en insydd kätting som är fastbultad. I övre kant är den fäst i flytkroppar som är fästa i spontväggen. Skulle siltgardinen utsättas för högt tryck inifrån dammen kommer siltgardinen sjunka till viss del istället för att brista.

Innan den Inre hamnbassängen började nyttjas som sedimentationsbassäng så muddrades området och vid byggslut innan gardinen tas bort skall området återigen muddras. Siltgardinen har poröppningar på 0,02 mm, vilket medför att mindre partiklar har fri passage igenom. 0,02 mm är den övre kornstorleken för mellansilt. Ju mer gardinen nyttjas, ju mer partiklar fastnar i gardinen vilket medför att poröppningarna successivt blir mindre och gardinen fångar upp finare material. När gardinen använts länge finns det risk att den blir för tung och sjunker, går sönder av tyngden eller helt enkelt sätts igen helt.

Siltgardinerna har vid ett antal tillfällen tagits upp för att rengöras och lagas. De har också bytts ut helt vid några tillfälle. Viktigt att notera är att det alltid funnits en fungerande siltgardin.

#### 11.4.2 Kontrollprogram

Kontroller av vattnet utförs regelbundet precis utanför siltgardinen. Provtagning sker tidsproportionellt och ett samlingsprov skickas till laboratorium en gång i veckan. Provresultaten dokumenteras och avvikelser ska rapporteras. Uppställda riktvärden finns angivna i tabell 10.3. Uppmätta värden i Inre hamnen utanför siltgardinen får högst innehålla 50 mg/l suspenderat mineral.

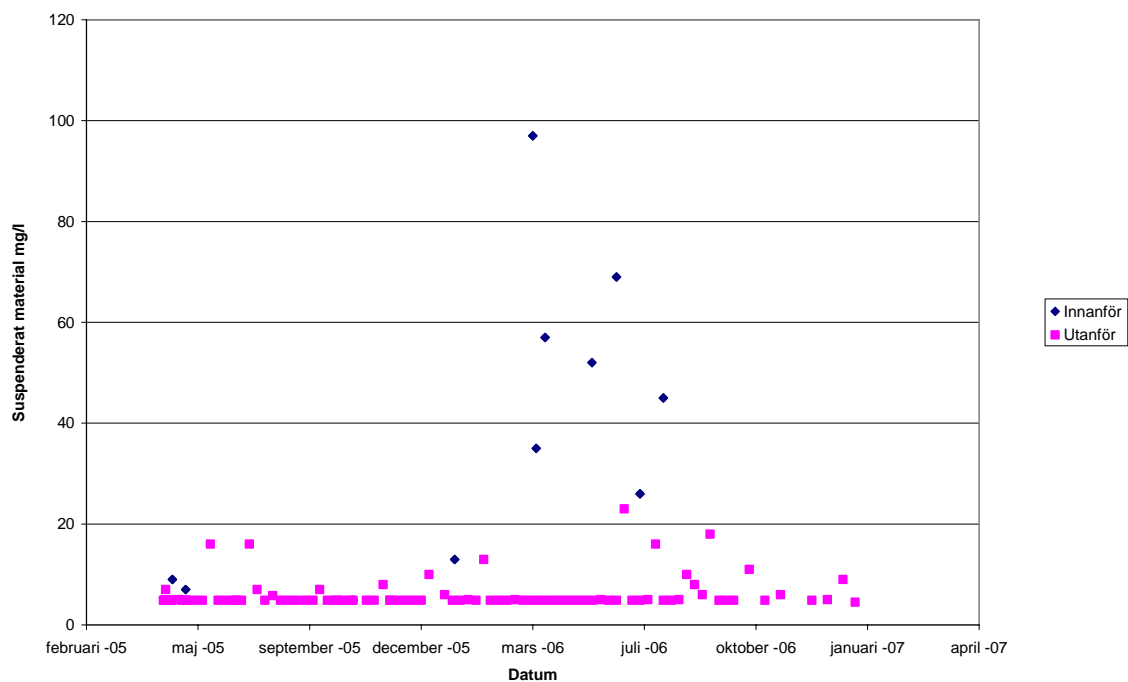
#### 11.4.3 Analyserade halter i Inre hamnen

När länsvattnet passerat slutreningssteget, dvs den andra siltgardinen överskrids inte riktvärdena för någon av de analyserade parametrarna; suspenderad halt, järnhalt, oljeindex, vinylklorid och pH-värde. Detta visar att det totala reningssystemet fungerar mycket bra.

**Tabell 11.3** Max och miniumvärden för utgående länsvatten från Inre hamnbassängen utanför siltgardinen.

Inre Hamnbassängen	enhet	min	max
Suspenderat	mg/l	<5	23
Järn, Fe	mg/l	<0.1	0.3
Oljeindex i vatten (i provtagn. brunn)	mg/l	<0.5	<0.5
pH		6.6	8.5
Vinylklorid	mg/l	-	<0.002

Vidare framgår av figur 11.13 att siltgardinerna behövs för att uppnå tillräcklig rening av länsvattnet. I vattnet innanför siltgardinen har halten på suspenderat material gått upp till 98 mg/l analyserats medan halten utanför aldrig överstiger 23 mg/l. Dessutom har Inre hamnen i sig fungerat bra för att reducera de betydligt högre halterna av suspenderat material som finns i länsvattnet vid bassängens inlopp upp till 800 mg/l.



**Figur 11.13.** *Provresultat från april 2005 fram till September 2006 för innanför och utanför siltgardin. Visar effektiviteten av siltgardinerna.*

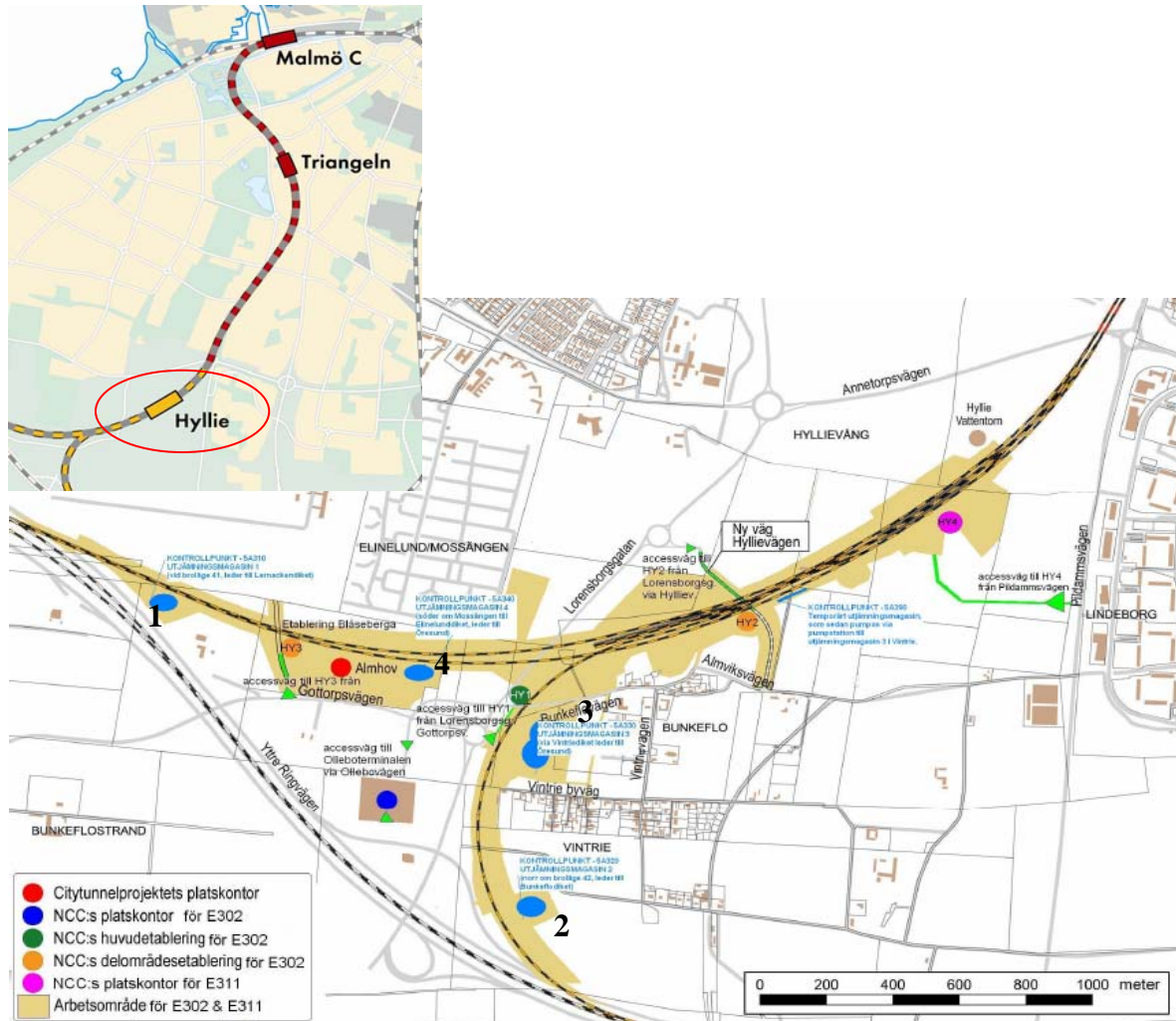
Det har varit mycket funktionellt att ha två parallell kopplade siltgardiner, dels som säkerhet ifall problem uppstår med en, dels som ett ytterligare reningssteg. Att hela reningssystemet behövs och fungerar väl kan lätt studeras virtuellt med de markanta färgskillnaderna. Bassängen klarnar successivt för att vara så gott som klar utanför siltgardinen (se figur 11.14).



**Figur 11.14.** *I nedre högre hörn är inloppet till Inre Hamnbassängen. Vattnet klarnar ju längre från utloppet det kommer. I översta delen av bilden syns de dubbla siltgardinerna.*

## 11.5 Hyllie – Vintrie och Hyllie Station E311

I Hyllie ska förbindelsepar byggas samt en station. Stationen Hyllie ska bli i en viktig del för pendlare. Två borrarade tunnlar leder in tågtrafiken på stationen i planskilda spår för ökad säkerhet. Här ska det vara enkelt att parkera bilen för att sedan kunna åka vidare med tåg.

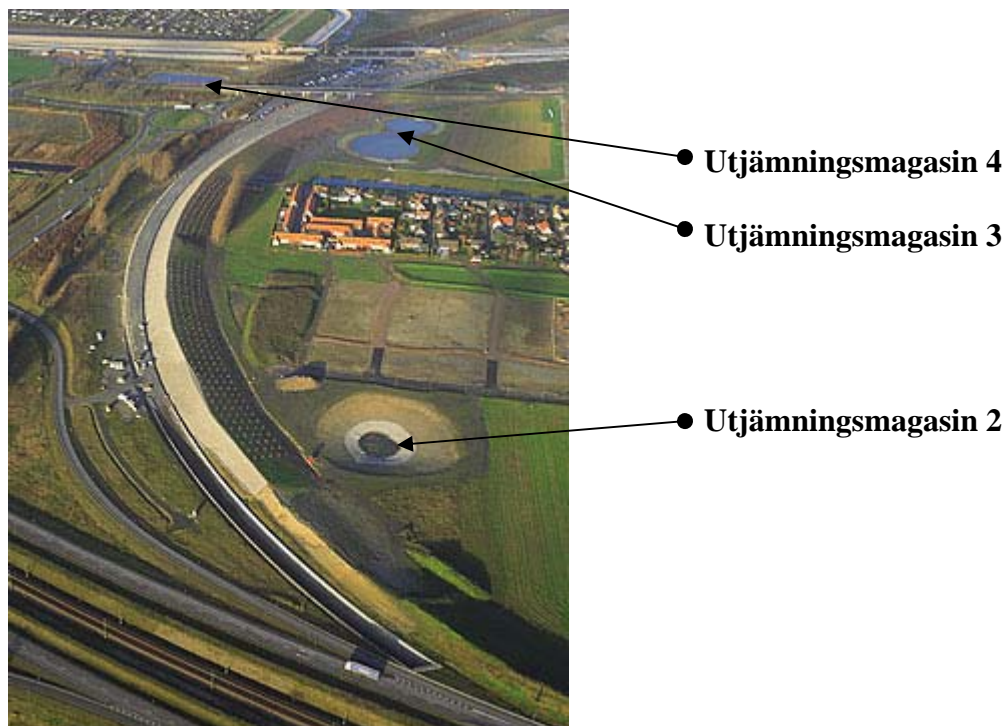


**Figur 11.15.** Karta över arbetsområde Hyllie-Vintrie. Själva arbetsområdet är markerat med brunt och sedimentationsbassängerna har blå färg. Sedimentationsbassängerna är utmarkerade (1, 2, 3 och 4).

Detta arbetsområde har en mycket varierande aktivitet, där schaktning skett i olika etapper. En stor del av arbetena har utförts ovanför grundvattenytan.

Fyra stycken sedimentationsdammar finns inom arbetsområdet, utjämningsmagasin 1, 2, 3 och 4. De är placerade utifrån behov och plats (figur 11.15 och 11.16). Inom arbetsområde finns även ett temporärt

utjämningsmagasin som används vid behov. Vattnet från detta pumpas sedan vidare till utjämningsmagasin 3.



**Figur 11.16.** Flygfoto över arbetsområde E302, Hyllie - Vinitre. Två av utjämningsmagasinen (2,3 och 4) syns i bilden.

### 11.5.1 Utjämningsmagasinen

Utjämningsmagasinen är dimensionerade så att de skall klara regn som är extremt för en 100 års period med en varaktighet på 10 minuter och en uppehållstid för vattnet i minst 48 timmar. De är också dimensionerade efter upptagningsområdets yta och avrinningskoefficient. Hur mycket vatten som sedan släpps ut till recipienten beror på recipientens kapacitet att ta emot vatten. Projektet hade i startskedet problem med att vågbildning vid kraftigt vind. Vågorna orsakade erosion i strandlinjen vilket i sin tur orsakade högre halter suspenderat material. Under hösten 2006 har stranddukar planterats för att binda det suspenderade materialet. Även dessa har i anläggningsskedet bidragit till högre halter suspenderat material.

Utjämningsmagasinen som byggs planeras sedan att vara kvar även efter byggtidens slut. Öppna vattenspeglar är en ovanlig företeelse i det nu befintliga platta odlingslandskapet och de nytillkomna dammarna ses som något positivt i det framtida landskapet.

### **Utjämningsmagasin 3**

Magasinet är det äldsta magasinet i området och togs i bruk i november 2005. Magasinet har det största upptagningsområdet jämför med de andra. Vattnet från magasinet leds via Vinitrediket vidare mot Öresund. Bassängen är avlång med en tröskel i mitten. Nyliggen planterades vassdukar runt sidorna och ovanpå tröskeln. Magasinet har en reglerbar volym på 6 350 m<sup>3</sup>.

Norr om magasinet finns ett temporärt utjämningsmagasin som ligger i projekt E311. Detta projekt bygger Hyllie station. Magasinet är en svängande sedimentationskanal och består av sju små delmagasin med en tröskel emellan varje delmagasin.

Övriga utjämningsmagasin är närmre beskrivna i bilaga 3.

#### **11.5.2 Kontrollprogram**

Flödesmätningar görs i de fyra sedimentationsbassängerna dygnet runt var 10:e minut. En gång i veckan tas också ett samlingsprov på suspenderat material i plastbägare och ett samlingsprov på järn i glasbägare. Järn är både envärt, tvåvärt och trevärt järn. Samlingsprovet är uppsamlat kontinuerligt under veckan.

#### **11.5.3 Analyserade halter vid utjämningsmagasinen vid Hyllie**

De olika utjämningsmagasinen har fungerat tillfredsställande. Periodvis har vissa av magasinen framförallt halten suspenderat material varit för hög.

**Tabell 11.4** Analyserade värden för utjämningsmagasinen.

	Suspenderat material mg/l		pH		Järn mg/l		Flöde m <sup>3</sup> /h	
	min	max	min	max	min	max	min	max
Hyllie-Vintre E302/ 4 Utjämningsmagasinen								
Magasin 1	<5	46	7,8	8,1	0,05	0,33	0,3	84
Magasin 2	<5	180	4,8	9,4	0,05	0,77	0	11
Magasin 3	<5	83	7	14	0,5	0,99	2	1642
Magasin 4	<5	220	8,6	7,1	0,05	4	0	75

*Utjämningsmagasin 1:* Generellt är såväl mängden suspenderat material och järnhalten låg under hela mätperioden (ett värde för suspenderat överskrider precis riktvärdet på 40 mg/l). Även pH-värdet uppvisar endast små variationer. De låga jämna värdena av de analyserade parametrar relateras till det låga

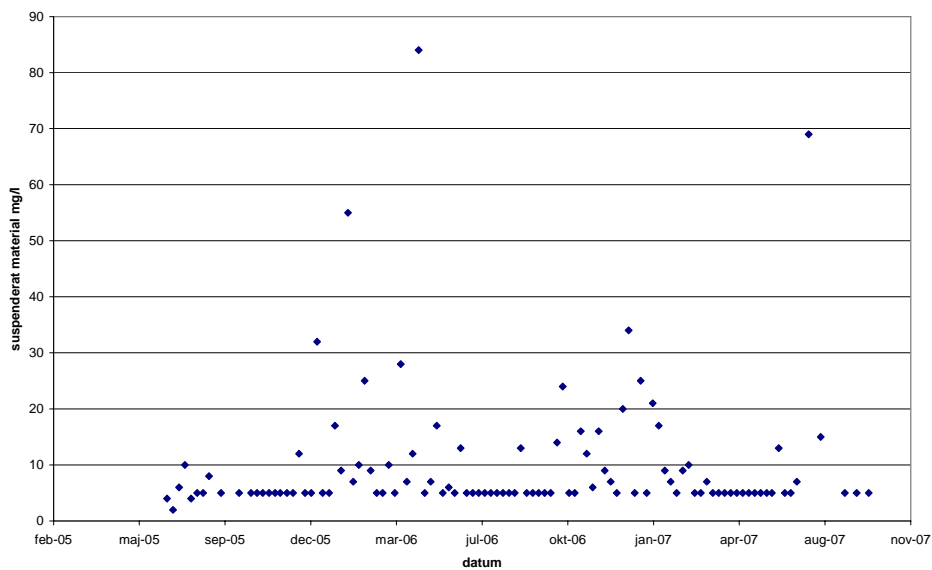


flödet i magasinet som gör att fin partiklar får god tid att sedimentera (för figurer se vidare bilaga 3).

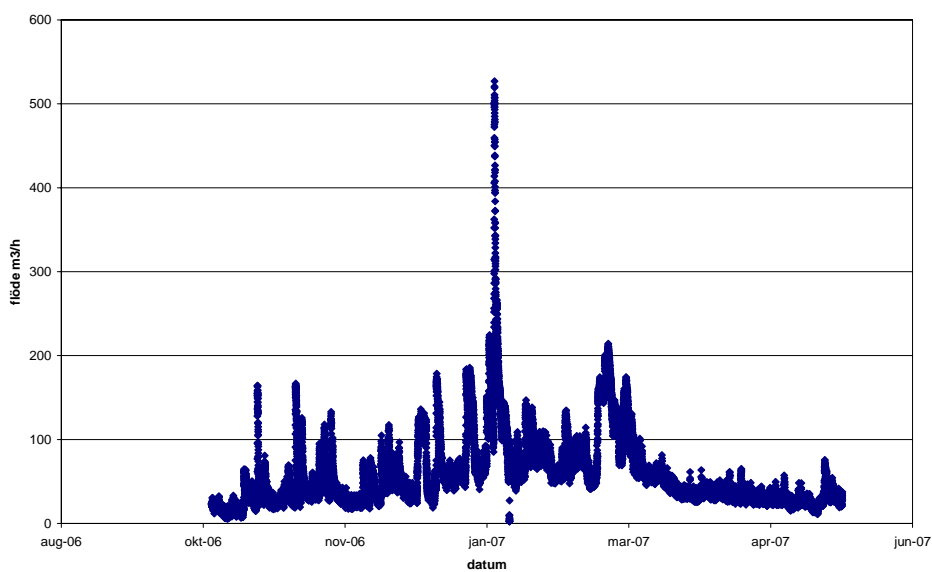
*Utjämningsmagasin 2:* Större delen av mätperioden har de analyserade parametrarna legat under riktvärdena. Den suspenderade halten har dock under två perioder varit för höjd upp till 180 mg/l. Vid ett tillfälle har förhöjd järnhalt analyserats. Även pH-värdet har vid enstaka tillfälle varit något förhöjt. Enligt de avvikelserapporter som skrivits beror ökningen av suspenderat material på ökade flöden som fick de lätteroderade partiklarna i dammens slänter att erodera (för figurer se vidare bilaga 3).

*Utjämningsmagasin 3:* Det stora upptagningsområdet och det tillfälliga magasinet gör att flödet här är väldigt ojämnt samtidigt som det är betydligt högre än i de andra magasinerna. Generellt är att mängden suspenderat material och järnhalten är betydligt ojämnare här än i de övriga magasinerna. Mängden suspenderat material ökar kraftigt i mitten av april (se figur 11.17) vilket också järnhalten gör. Samma trender kan ses vid utjämningsmagasin två och ett. Även flödet ökar i den perioden och i avvikelserapporten går att läsa att perioden hade mycket nederbörd (figur 11.18). Ökningen av suspenderat material i slutet av januari är mer svårförklarligt. Ökningen av suspenderat material inträffade innan ökningen av flödet. I detta magasin är även pH-värdet periodvis kraftigt förhöjt.

*Utjämningsmagasin 4:* Magasin 4 har periodvis haft förhöjda halter för järn och suspenderat material relativt uppställda riktvärden. Toppen har dock inte kunnat relateras till ett förhöjt flöde kan troligen relateras till att det fanns mycket gräs och vass under dessa perioder (för figurer se bilaga 3).



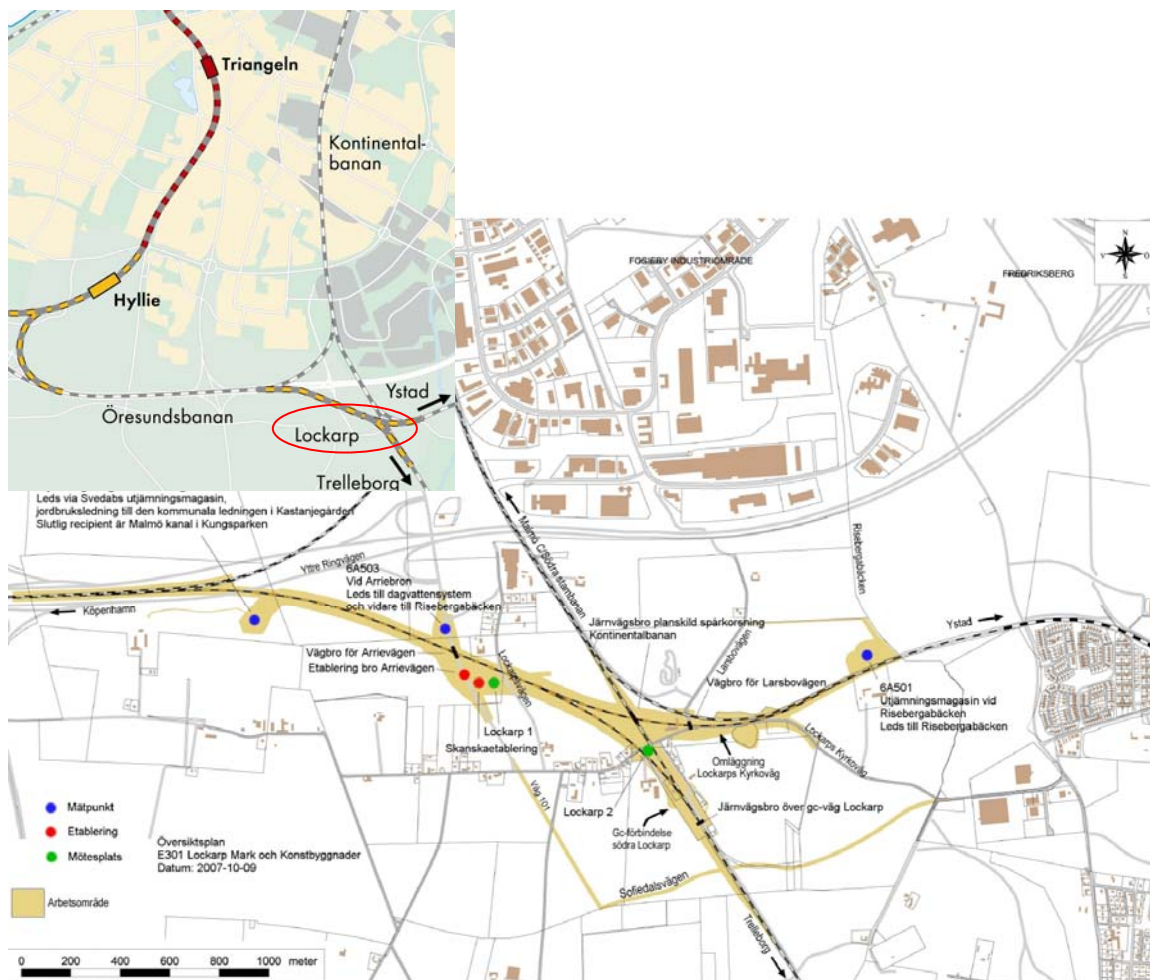
**Figur 11.17** *Suspenderat material i utjämningsmagasin 3. Proven är tagna en gång i veckan.*



**Figur 11.18** *Flöde i utjämningsmagasin 3. Proven är tagna en gång var tionde minut för att sedan räknas ihop till ett medelvärde en gång i veckan.*

## 11.6 Förbindelsepår Lockarp (E301 Mark och konstbyggnader)

I citytunnelprojektet ingår det även att bygga ett spår som knyter ihop tågtrafiken såväl öster/söderut mot ystad och Trelleborg som västerut mot Köpenhamn. Vid Lockarp kommer ett förbindelsepår från Öresundsbanan att ansluta till Ystadbanan samt till Kontinentalbanan. Denna entreprenad omfattar schakt för spårbyggnation samt byggnation av broar.



Figur 11.19 Översiktsplan mätpunkter E302 Förbindelsepår Lockarp.

### 11.6.1 Länsvattenhantering vid Lockarp

Inom entreprenaden är två utjämningsmagasin byggda för omhändertagande av avloppsvatten. Magasinen uppgift är att utjämna tillfälliga större variationer av vattenutsläpp till recipienten och genom sedimentering rena vattnet innan det släpps ut. I byggskedet kommer allt vatten inom arbetsområdet Lockarp att avledas via utjämningsmagasinen. Lokalt kommer ytterligare reningsutrustning att användas som olje- och slamavskiljning vid behov.



**Figur 11.20** Översikt över förbindelsespår vid Lockarp.

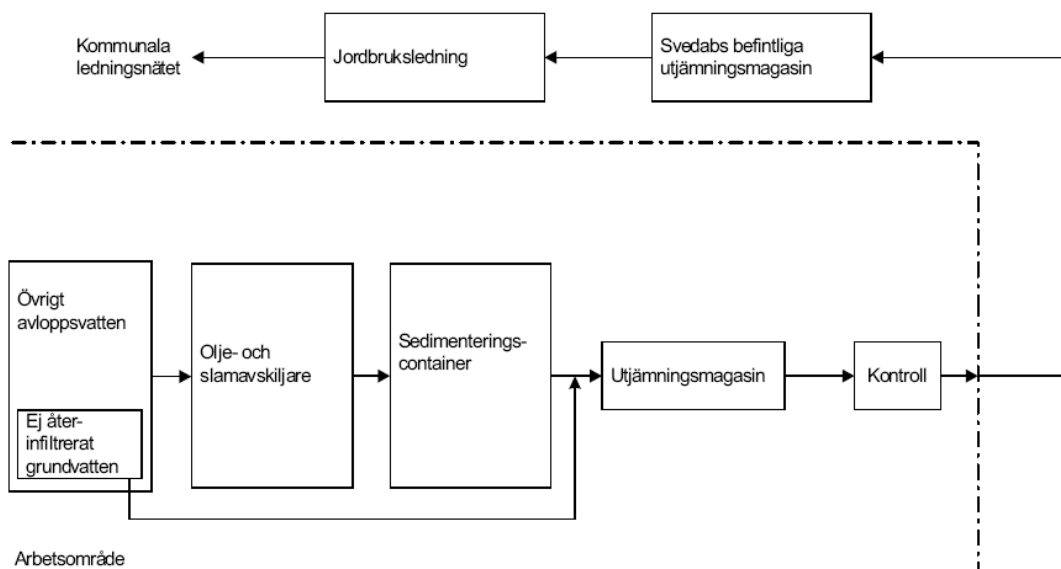
Inom entreprenaden definieras övrigt avloppsvatten som ej återinfiltrerat grundvatten, dagvatten (nederbördsvatten som ytledes avrinner från tak, gator, vägar och mark) och dräneringsvatten (vatten som rinner in i schakten och som avleds genom dränering/bortledning). I byggskedet ingår dessutom allt vatten som förorenats av byggaktiviteter inom arbetsområdet.

Övrigt avloppsvatten omhändertages och behandlas i den omfattning så att kravnivåerna från Citytunneln kan innehållas i kontrollpunkterna.

Utsläpp får endast ske i två punkter;

- Från utjämningsmagasin vid *Broläge 43* till Svedabs utjämningsmagasin som leder till en jordbruksledning/kommunal dagvattenledning.
- Från utjämningsmagasin vid *Risebergabäcken* med utlopp till Risebergabäcken.

Nedanstående flödesscheman beskriver hanteringen av övrigt avloppsvatten vid de två olika utsläppspunkterna. Kontinuerlig flödesmätning sker i respektive kontrollpunkt och prov tas ut med flödesstyrd automatisk provtagare.



**Figur 11.21** Flödesschema för utsläpp av övrigt avloppsvatten vid utjämningsmagasin vid Broläge 43.

### 11.6.2 Analyserade halter i Lockarp

Lockarp har två riktvärden eftersom det finns två olika utlopp; Broläge leder till kommunens dagledningsnät och det andra går till Risebergsbäcken. Resultaten från Broläge redovisas och diskuteras här. Länsvatten har överstigit riktvärdet för suspenderat material och material vid ett tillfälle, vilket var i början av oktober. Det kom kraftig nederbörd vilket översvämmade provtagningsbehållarna och suspenderat material sedimenterade i behållaren. Järnhalten har också överskridits vid några tillfällen under mätperioden.

**Tabell 11.5** Analysresultat från Skanskas entreprenad E301 i Lockarp (Broläge).  
Minsta analyserbara och största uppmätta värde visas i tabellen.

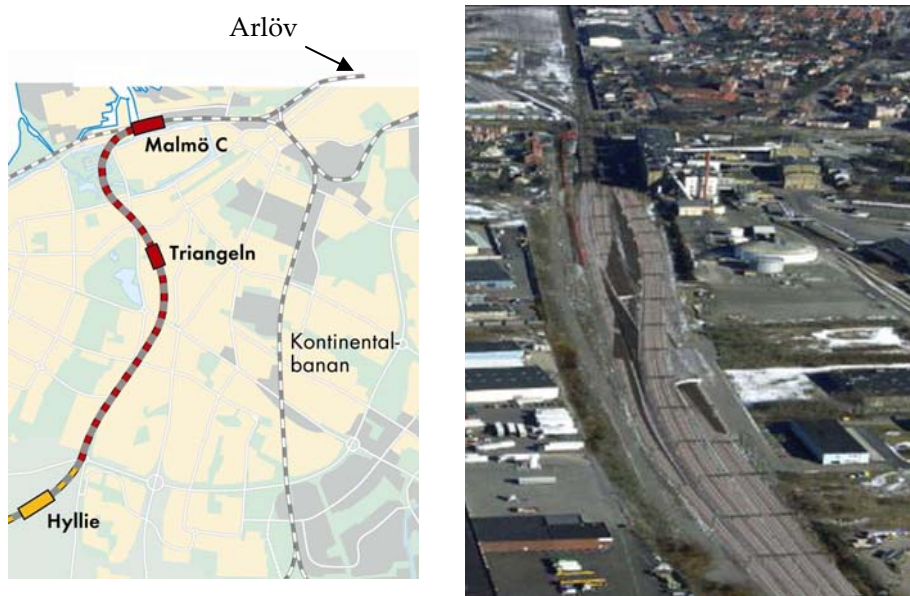
Lockarp E301	enhet	min	max
Flöde	m <sup>3</sup>	0	32
Suspenderat	mg/l	<5,0	130
Järn, Fe	mg/l	<0,05	3,2
Oljeindex i vatten	mg/l	<0,1	0,2
pH		8	9,2



Figur 11.22 Suspenderat material över tiden som provtagits vid Broläge.

## 11.7 Arlöv-Malmö Kapacitetsförstärkning, Planskild spårkorsning

I södra Sverige på sträckan Lund-Malmö krävs det en kapacitetsförstärkning som innefattar en utbyggnad av de befintliga två spåren med två nya spår (figur 11.23). Därutöver behövs en planskild spårkorsning vars huvudsakliga funktion kommer att vara att byta från högertrafik, med vilken tågtrafiken inkommer till Sverige från Danmark och vidare genom Citytunneln, till vänstertrafik som är den naturliga trafikeringen i Sverige. Spårkorsningen kommer totalt med tunnel och tråg att bli ca 820 meter lång och 12 meter bred. För utförandet av spårkorsningen kommer ett schakt att tas upp ner till 6 meter.



**Figur 11.23** Fotomontage över planskild spårkorsning.

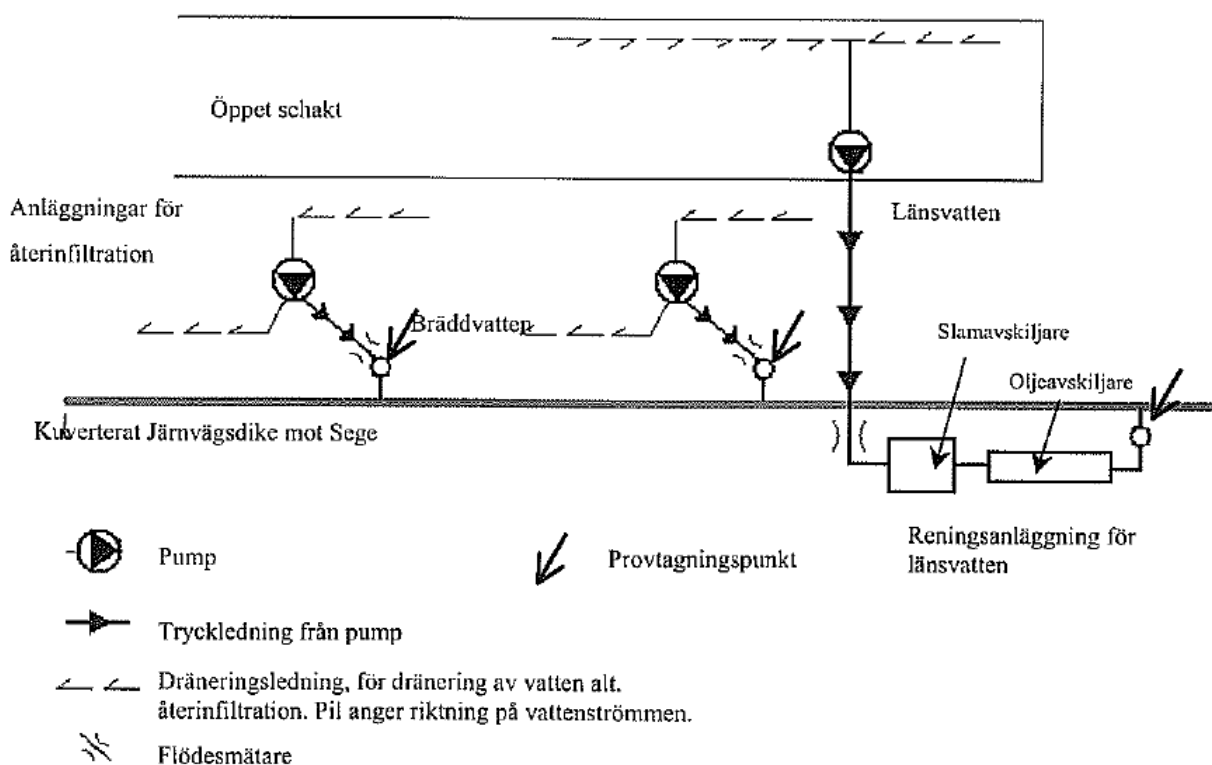
### 11.6.1 Länsvatten vid den planskilda spårkorsningen

Arbetsområde för byggnation av den planskilda spårkorsningen bestod av en öppen schakt. I samband med schaktningsarbetena för den planskilda spårkorsningen uppkom länsvatten i schaktgropen bestående av inträngande grundvatten som ej varit möjligt att återinfiltrera och regnvatten samt dagvatten från närliggande ytor. Målsättningen har emellertid varit att återinfiltrera så mycket grundvatten som möjligt för att upprätthålla grundvattennivåerna inom influensområdet. En bräddning har emellertid varit möjlig i samband med kraftig nederbörd. Bräddvatten avleds också till recipienten via kulverten.

### 11.6.1 Lösning på rening av länsvattnet

För att omhändertaga uppkommet länsvatten anordnades diken med pumpgröpar. Uppumpat länsvatten leddes därefter till en reningsanläggning bestående av en olje- och slamavskiljare. Oljeavskiljaren som användes var av klass 1 så kallad coalicensfiltrator och slamavskiljningen bestod av två seriekopplade containrar. Det "renade" länsvattnet leddes därefter vidare i en kulvert som mynnade ut i recipienten Sege å. Provtagning av det "renade länsvattnet" gjordes direkt innan vattnet leddes ut till kulverten. Anledningen till att provtagning ej skedde direkt vid recipienten var att det fanns fler verksamhetsutövare som ledde ut vatten via kulverten till Segeå. Reningsanordningen för länsvattnet stängdes ner i maj 2007 när alla schaktjobb var avklarade.

En schematisk bild av länsvattenhanteringen framgår av figur 11.24.



**Figur 11.24** Beskrivning av byggområdet, pumpanläggningen och slamavskiljare. Idag har anläggningen två slamavskiljare som är seriekopplade.

### 11.6.2 Kontroll och provtagning

Ett kontrollprogram upprättades för provtagningen vilket var ett krav från tillsynsmyndigheten. I enlighet med kontrollprogram uttogs proven



flödesproportionellt varvid en flödesstyrd provtagare installerades. Provuttag skedde dygnvis för att säkra provhanteringen. Analyslabbet blandade sedan till månadsproven utifrån dygns- och veckosamlingsprover. Suspenderat material analyserades som veckosamlingsprov för att kunna ha bättre kontroll på processen. Riktvärden för suspenderat material är 50 mg/l och oljeindex får inte överskrida 5 mg/l.

Vid provtagning av jord innan arbetet påbörjades framkom att jorden till viss del var förorenad. Detta föranledde till att provtagningskontrollen utökades med metaller och polyaromatiska kolväten (PAH). Den utökade provtagningens syfte var att ha ett dokumenterat material ifall problem skulle uppstå, några riktvärden för dessa parametrar finns inte framtaget.

### ***11.6.3 Analyserade halter vid Arlöv-Malmö***

Av figur 11.25 framgår det att halten suspenderat material framför allt i början av schakten varierat kraftigt vid några tillfällen. Variationerna beror framförallt på intrimningsproblem av utrustningen, stora flöden genom reningsanläggningen i samband med kraftig nederbörd samt hur mycket av schakten som låg "öppen" innan makadamiseringen av ytan hunnit genomföras. Precis i början, efter att arbetet bara pågått några få veckor, går den suspenderade halten upp väldigt mycket. Detta beror på att prov uttogs i samband med tömning och rengöring av utrustningen. I det stora hela har mängden suspenderat material varit mer oregelbunden i början av projektet.



**Tabell 11.6** *Min-, max- och medelhalter för analyserade parametrar vid länsvattenanläggningen i Arlöv*

Parametrar	Enhet	Min-värde	Medelvärde	Max-värde
suspenderat material	mg/l	3,9	36,9	610
pH		7	7,5	8,3
As	µg/l	8,9	14,5	19,4
Cd	µg/l	0,028	0,1	0,16
Cr	µg/l	0,19	22,7	38,1
Cu	µg/l	3,24	11,8	18,1
Hg	µg/l	<0,002	0,0	0,02
Ni	µg/l	2,8	7,8	11,9
Pb	µg/l	0,32	3,0	14,2
Zn	µg/l	2	6,6	16,4
PAHövr	µg/l	1	0,15	0,42
PAHcanc.	µg/l	0,6	0,04	0,15
Oljeindex	mg/l	<0,1	0,04	0,07
Flöde	l/min	0	77,2	305,5

## 12. KOMPLETTERANDE LÄNSVATTENUNDERSÖKNINGAR

### 12.1 Inledning

Inom detta SBUF-projekt har två kompletterande undersökningar utförts för att få en djupare förståelse kring reningsprocessen av finkornigt material.

1. Inom framförallt Malmö C entreprenaden men även Hyllie har den suspenderade halten studerats vid de olika reningsstegen. Den suspenderade har bestämts dels på vanligt sätt dels med sedigraf där varje fraktion i sedimentet bestäms.
2. Ett sandfilter byggdes upp i mindre skala och testades för rening av länsvattnet vid Malmö C innan det släpptes ut i den inre hamnbassängen.

### 12.2 Suspenderad halt vid olika reningssteg (Malmö C)

Undersökning är utförd vid Malmö C. Prov på halten suspenderat material togs succesivt efter varje reningssteg för att jämföra deras respektive effektivitet. Ett problem vid provtagningen är att proverna inte kunde tas på samma djup vilket kan påverka resultatet, eftersom suspenderat material sjunker och mängden därmed bör öka med djupet.

Den första provserien samlades in vid uppehållsväder den 18 oktober 2006 när stor schaktaktivitet rådde. Den andra serien samlades in den första november 2006, under regniga förhållande, när endast begränsad schaktning utfördes.

**Tabell 12.1** *Prov på suspenderad halt vid två olika tidpunkter på ett antal platser längs reningsprocessen i Malmö C. Provtagningspunkternas schematiska placering framgår av figur 11.3.*

Plats	2006-10-18 (mg/l)	2006-11-01 (mg/l)
Schaktgrop	2700	42
Sedimentationscontainer	1100	63
Slamavskiljare inlopp	1400	-
Slamavskiljare utlopp	1300	480
Provtagningsbrunn	300	170
Yttre hamnbassäng	<5	-

Av tabell 12.1 framgår att mängden suspenderat material i den första provserien minskar desto fler reningssteg vattnet har passerat igenom. Dock är mängden högre när den når slamavskiljarna (B2) än när de går ut från sedimentationscontainern (B1). Detta kan bero på att flödet och mängden suspenderat material varierar stort från stund till stund men även på att vatten från olika ställen på arbetsplatsområdet når slamavskiljarna.

Den andra provserien är insamlad i november under regniga förhållanden ser helt annorlunda ut. Hur mycket suspenderat material som finns i schaktgropen beror mycket på hur stor tillrinningen av vatten är där just vid det tillfälle när provet tas. Det märks tydligt i denna serie eftersom det just då är mindre suspenderat material i provgropen än det är i den första sedimentationscontainern.

Det är troligt att den låga halten suspenderat material just i detta tillfälle beror på att det regniga vädret, vilket medför att schaktvattnet späds ut och att ingen schaktning utfördes. Till slamavskiljarna kommer även övrigt vatten från arbetsplatsområdet och inte bara det som pumpas upp ur bygggropen. Det regn som föll vid provtagningstillfället när provet togs kan ha spätt ut vattnet i bygggropen medan det kan ha haft motsatt effekt på övriga arbetsområdet och istället åstadkommit mer erosion vilket resulterat i mer suspenderat material.

### **12.2.1 Kornstorleksanalys**

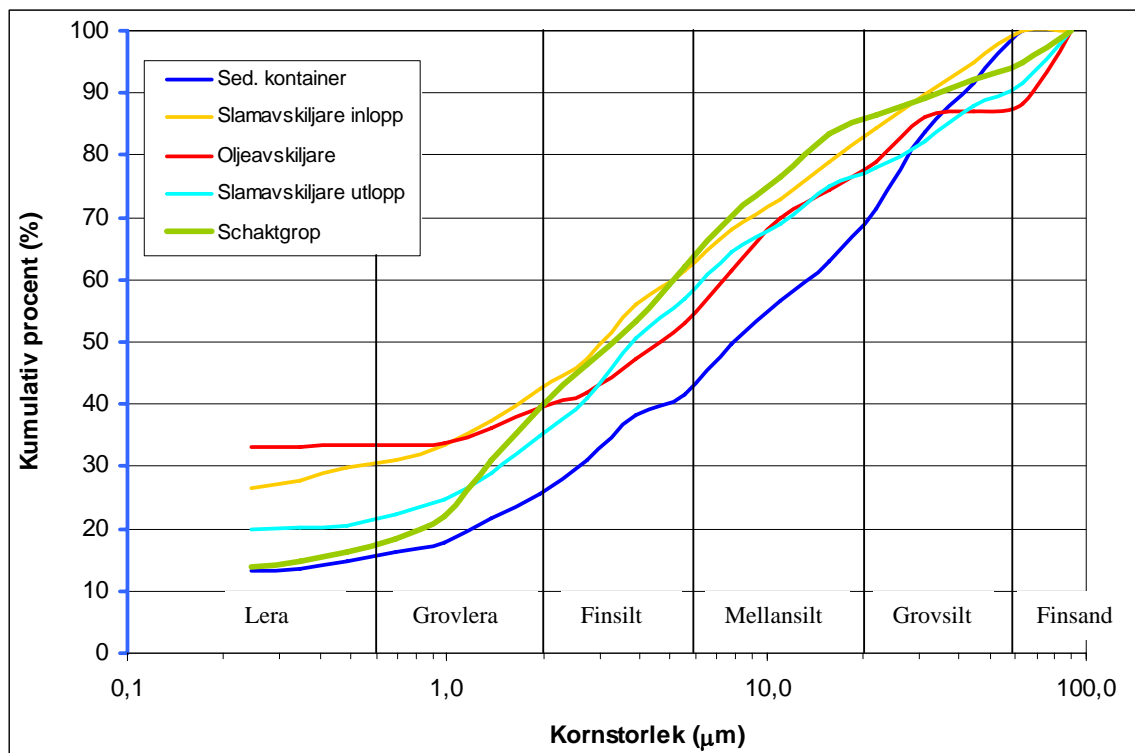
I samband med ett av provtagningstillfällena (2006-10-18) utfördes även en kornstorleksanalys med sedigraf av utvalda prover. Analysen genomfördes på Geovetenskapliga institutionens laboratorium vid Göteborgs Universitet. Fem prover har analyserats från schaktgropen, sedimentationscontainern och in respektive utlopp på slamavskiljaren samt efter oljeavskiljaren. De prov som togs i provtagningsbrunnen och i yttre hamnbassängen innanför siltgardinen innehöll alldeles för lite suspenderat material för att kunna analyseras. Proverna togs i enlitersflaskor av glas, varefter proven hölls i bägare som ställdes i värmeskåp för att vattnet skulle dunsta bort. Salt togs bort genom att proverna löstes upp i destillerat vatten varefter de centrifugeras. Centrifugeringen pågick i trettio minuter innan några droppar saltsyra tillsattes och proverna centrifugerades i ytterligare 15 minuter. Saltvattnet hölls sedan av och den sedimenterade massan löstes upp i dispergeringsmedel. De dispergerade proverna analyserades i sedigraf.

*Sedigrafen mäter en partikels sedimentationshastighet med hjälp av röntgen strålning sen används Stoke's lag för att räkna ut partiklarnas kornstorleksfördelning.*

Andra metoder som kan användas för kornstorleksbestämning är hydrometermetoden eller pipettmetoden. Vid analys av större partiklar används antingen en våtsikt eller torrsikt. Det var dock inte nödvändigt att göra i detta fall eftersom det suspenderade materialet endast består av väldigt fina partiklar.

### 12.2.2 Resultatet från kornstorleksanalysen med sedigraf

Av figur 12.1 visar kornstorleksfördelningen i kumulativ procent för de steg som analyserats. De har allihop ungefär samma fördelning av de grova kornstorlekarna men betydligt större spridning i frekvensen av de minsta storlekarna.



**Figur 12.1** Diagrammet visar kumulativ procent för alla kornstorlekskurvor. De har alla ungefär lika mycket av de grova fraktionerna, men kurvorna sprider sig betydligt mer i slutet.

Minst andel fina partiklar finns i vattnet från schaktgropen och första sedimentationscontainern, medan den största andelen fina partiklar finns i vattnet som är taget efter oljeavskiljaren. Detta tyder på att de grövre storlekarna sedimenterar i de första stegen av reningsprocessen, vilket är det förväntade resultatet. Alla stegen fyller ett syfte. Av figuren framgår emellertid

att det är en mindre andel fint material vid inloppet till sedimentationscontainern än det är vid utloppet av containern. Detta kan troligen relateras till flödesvariabler.

Av figur 12.1 framgår vidare att schaktgropen består provet av fem procent sand medan efter oljeavskiljaren består provet av 12 % sand. Det kan anses lite oväntat eftersom sandhalten borde sjunka desto fler steg av reningsprocessen som vattnet tar sig förbi. Dock beror sedimentationshastigheten för en partikel väldigt mycket på strömningshastigheten. Enligt tabell 6.1 i kapitel 6 tar det 10 sekunder för en partikel av grovsand att sedimentera, det prov som togs i schaktgropen togs från ett ställe med relativt stillastående vatten, vilket betyder att mycket av sanden från schaktvattnet troligtvis redan sedimenterats.

På många ställen i byggområdet används pumpar för att pumpa vattnet till reningsanläggningen. Detta gör att det vatten som flödar genom systemet får en väldigt varierande flödeshastighet och ibland hinner sanden sedimentera redan innan den hunnit in i reningssystemet medan andra gånger sedimenterar inte ens de stora kornstorlekarna innan reningssystemets slut. Detta är en av systemets största svagheter.

Det sedimenterade materialet utgörs i huvudsak av lera och finsilt. Värt att notera är att drygt 20 % av kornstorlekarna i alla prover är mindre än 1 µm.

*Det betyder att de prov som analyseras på laboratorium för suspenderat material där proverna filtreras, så missas drygt 20 % av materialet, dvs vid vanlig analys anges en för låg suspenderad halt.*

Resultaten för varje analys presenteras i Bilaga 5.

### 12.2.3 *Suspenderad halt vid in och utlopp till utjämningsmagasin vid Hyllie*

Den 18 oktober togs ett prov vid inloppet av sedimentationsdammen för att få en bild av hur effektiv sedimentationsbassängen är. Dock visade det sig att mängden suspenderat material var mycket låg även vid inloppet. Detta beror delvis på att ingen schaktning utfördes och att flödet var så lågt. Redan innan inloppet ligger mängden suspenderat material under riktvärdesnivån och vattnet skulle i princip kunna släppas ut direkt i Öresund om inga andra föroreningar finns.

**Tabell 12.2** *Inlopp och utlopp mättes den 18 oktober 2006 för att se effektiviteten. Resultaten redovisas i tabellen.*

	Inlopp mg/l	Utlopp mg/l
Magasin 1	<5	<5
Magasin 2	22	8,6
Magasin 3	5,2	<5
Magasin 4	19	18



## 12.4 Test av sandfilter på länshållningsvatten vid Citytunneln

Länshållningsvattnet vid Citytunneln har tidvis innehållit höga halter av suspenderat material. Det suspenderande materialet består nästan uteslutande av kalk i mycket små partiklar från borrhings- och schaktarbeten i berggrunden. För att testa ett sandfilter på detta länshållningsvatten har ett försök med filtersand i en vattentunna utförts. Flödes- och turbiditetsmätningar gjordes under ett dygn.

Utförandet av vattentunnan med filtersand beskrivs enligt *figur 12.2*. Filtersanden var tvättad filtersand från Råda sand.

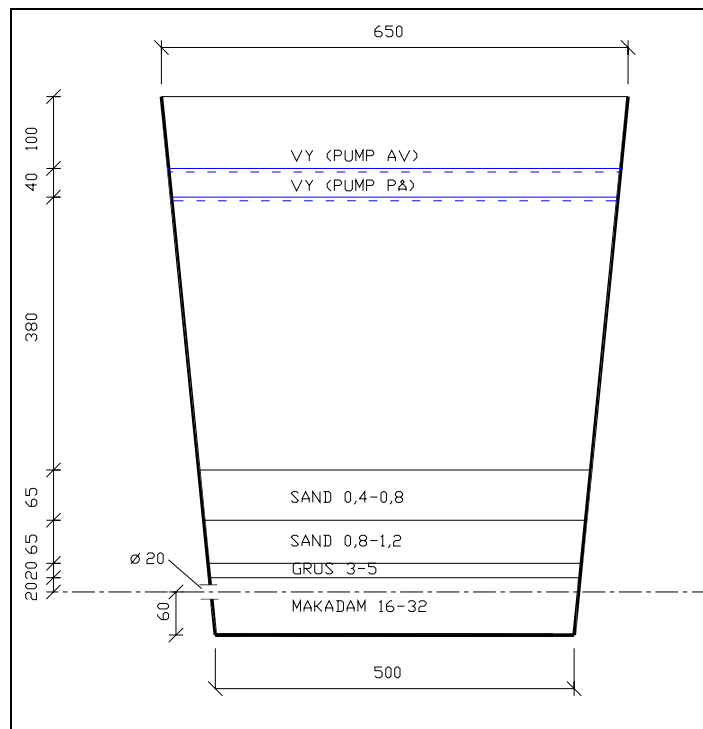
Vattnet togs från inloppssidan från den ordinarie sedimentationscontainern vid Citytunneln. Nivån i vattentunnan reglerades med hjälp av en nivåvipa som styrde en pump.

Mätning påbörjades på eftermiddagen den 18/12-06 och avslutades ca ett dygn senare. Under natten utfördes inga mätningar då länshållningsvattnet är mycket klart med låg halt av suspenderat material.

Vid varje mättillfälle mättes följande:

- Flöde, med hjälp av hink och klocka.
- Turbiditet på in och utgående vatten (HACH 890 Portable Turbidimeter).

Istället för att vid varje tillfälle ta vattenprover med efterföljande analys av suspenderat material har fältnätningar gjorts med en portabel turbidimeter. Turbiditeten (mätt i NTU) har förväntats ge en indikation av halten av suspenderat material.



## 12.2 Filtrets uppsättning

### 12.4.1 Mätresultat

Vid varje mättillfälle har turbiditet på in- och utgående vatten uppmäts. I tabell 12.3 redovisas uppmätt flöde och turbiditet för varje mättillfälle och i figur 12.3 visas flödet som diagram.

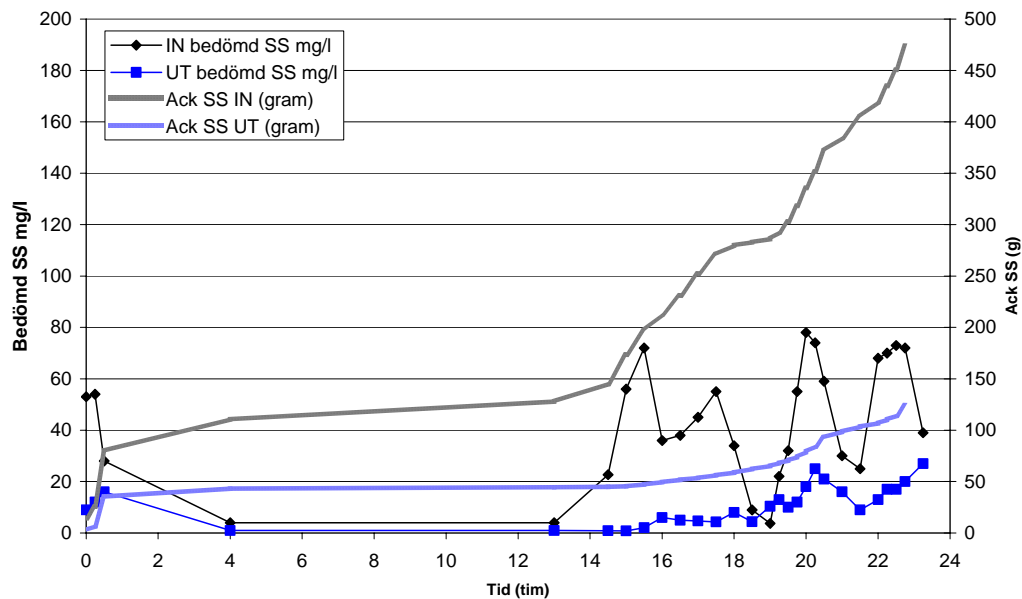
**Tabell 12.3** *Flöde och turbiditet*

Tid	Föde (l/min)	IN (NTU)	UT (NTU)
17:30	17.5	53	9
17:45	18.4	54	12
18:00	18	28	16
21:30	14.3	4	1
06:30	14.3	4	1
08:00	14.4	22.7	0.9
08:30	14.8	56	0.8
09:00	14.7	72	2.1
09:30	14.3	36	6
10:00	14.6	38	5
10:30	14.1	45	4.7
11:00	14.3	55	4.3
11:30	13.8	34	8
12:00	13.8	9	4.4
12:30	17.6	3.7	10.4
12:45	16.2	22	13
13:00	16	32	10
13:15	15.3	55	12
13:30	15.3	78	18
13:45	15.7	74	25
14:00	15.8	59	21
14:30	15.1	30	16
15:00	15.1	25	9
15:30	14.3	68	13
15:45	14	70	17
16:00	14.4	73	17
16:15	14	72	20
16:45	14.4	39	27

Flödet låg på 14-18 l/min, vilket motsvarar en filtreringshastighet på 4-5 m/h . Filtrets kapacitet avtar långsamt med tiden. Efter ca 19 timmar stoppades pumpen och vattennivån i filtret fick sjunka ner för att sandens överyta skulle kunna inspekteras. Då vattnet på nytt släppts på "virvlade" sanden i överytan upp något. Detta var tillräckligt för att kapaciteten skulle öka något.

Någon påtaglig igensättning på överytan kunde inte konstateras men sannolikt har porer på överytan börjat sätta igen av de mycket små kalkpartiklar som filtrerats bort. En slutsats är den minskning av filtrets kapacitet som uppstår främst är en effekt av igensättning av filtrets överyta men även av igensättning i filtrets djupled.

En översiktlig bedömning av filtreringskapaciteten av suspenderat material har gjorts. Ett förenklat antagande har gjorts där turbiditet och halt av suspenderat material följs åt och där 1 NTU motsvarar 1 mg/l suspenderat material (SS). Ackumulerat suspenderat material baserat på flödesmätning och suspenderat material (baserat på turbiditet) redovisas nedan i *figur 12.3*.



**Figur 12.3.** *Bedömd halt suspenderat material*

Av diagrammet framgår hur suspenderat material varierar kraftigt i ingående vatten. Filtret renar effektivt i början av mätperioden men efter hand så börjar högre halter av suspenderat material att gå igenom filtret och närmar sig 30 mg/l på utgående vatten.

Den mängd suspenderat material som fastnat i filtret är lika med differensen mellan ackumulerade in och utgående värden. Efter nära 24 timmars drift och ca 20 m<sup>3</sup> filtrerat vatten är den totala mängden uppsamlat suspenderat material ca 350 gram.

Slutsatsen kan dras att filtersanden renar vattnet effektivt från det fina kalkslammet i vattnet. Dock är mättas filtersanden och utgående halt av suspenderat material ökar efter hand.

*Ett rätt dimensionerat sandfilter med  
backspolningsfunktion skulle fungerar utmärkt på  
denna typ av vatten.*

## **13. DISKUSSION & SLUTSATSER**

### **13.1 Lagstiftningens påverkan**

Citytunneln är ett av de första stora infrastrukturprojekten som miljöprövas i domstol genom att söka ett frivilligt tillstånd för att bedriva miljöfarlig verksamhet enligt kapitel 9 i Miljöbalken. Miljödomen ledde till att ett antal krav ställdes dels på hela projektet, men också vissa platsspecifika krav. Dessa innefattade bland annat att avloppsvatten från de olika entreprenaderna som avleds till recipient skall uppfylla uppställda riktvärden. För entreprenörerna har detta dock varit till stor hjälp när det funnits fasta riktlinjer att rätta sig efter.

I andra projekt måste entreprenör själv ta fram riktvärden av olika ämnen för att det inte skall innebära skada eller olägenhet för den aktuella recipienten. I ett anmälningsförfarande innebär detta att myndigheten måste godkänna aktuella föreslagna riktvärden. På grund av den osäkerhet som råder kan detta medföra att riktvärdena blir orimligt höga eller låga. I vissa fall kan länsvattnet behöva renas till en bättre kvalitet än dricksvatten.

Processen som tillämpats på Citytunnelprojektet väntas bli stilbildande för hur andra, liknande projekt prövas i framtiden.

### **13.2 Analyserade parametrar i länsvattnet**

Varje delprojekt tar varje vecka samlingsprov för att säkerhetsställa att miljökraven hålls. Dessa veckoprover innefattar suspenderat material, oljeindex, pH, flöde och i vissa fall järn. Vid Malmö C kompletteras kontrollprogrammet med vinylklorid. Detta på grund av tidigare verksamhet inom det beaktade schaktområdet. Det har dock visat sig att halten konstant har varit i nivå med detektionsgränsen. För Arlöv-Malmö utfördes även analyser på metaller och polyaromatiska kolväten. Det har emellertid inte framtagits några riktvärden för dessa parametrar utan analyserna genomfördes framförallt för att dokumentera den rådande situationen. Halterna har dock varit så låga att de inte har relaterat till några åtgärder.

De parametrar som inom vissa av entreprenaderna periodvis har varit förhöjt är framförallt suspenderad halt och järnhalten. Hög järnhalt kan säkert till viss del relateras till syresatt grundvatten som inte kunnat återinfiltreras. Den parameter som framförallt varit förhöjd är dock den suspenderade halten. Detta

kan återföras till de geologiska förutsättningarna med en lös kalkstensberggrund eller kalkstensmorän som innehåller mycket finmaterial. Kalken genererar ett länsvatten som generellt innehåller mycket fint material. Dessa partiklar tar mycket lång tid på sig att sedimentera under naturliga förutsättningar.

### 13.3 Att analysera finmaterialhalten i ett länsvatten

Det vanliga sättet att analysera förekomst av finmaterial i länsvatten är genom filtrering av den suspenderat material, eller alternativt mäta turbiditet, vilket är ett mått på mängden ljus som absorberas eller bryts i vatten. Som löpande kontroll kan det vara lämpligt att göra en siktdjupsbestämning. I citytunnelprojektet har halten suspenderat material bestämts genom filtrering på laboratorium.

I föreliggande undersökning har finmaterialet dessutom bestämts med sedigraf, från vilken man får reda på exakt vilka kornstorlekar som finns i det sedimenterade materialet. Från denna undersökning framkom att det sedimenterade materialet i huvudsak utgörs av lera och finsilt. Värt att notera är att drygt 20 % av kornstorlekarna i alla prover är mindre än 1 µm. Det betyder att de prov som analyseras på laboratorium för suspenderat material där proverna filtreras så missas drygt 20 % av materialet. *Detta innebär att den verkliga suspenderade halten konsekvent har varit betydligt högre än den som analyserats vid de vanliga analyserna.*

### 13.4 Vikten av att hantera länsvatten på ett bra sätt i schaktgropen

Vid schakt i finkornig jord slammas suspenderat material upp i länsvattnet i stor omfattning. Länsvattnet pumpas ofta undan med slampumpar som då ger ett vatten med mycket hög halt av suspenderat material. För att erhålla ett länsvatten som kan kvittgöras måste halten suspenderat material sänkas väsentligt, dels för att klara uppställda krav men också av rent praktiska skäl. Vid höga halter suspenderat material kommer ledningarna att delvis fungera som sedimentationskärl vilket leder till att ledningen med tiden sätts igen.

För att komma till rätta med detta är det viktigt att pumpbrunnar anläggs på ett riktigt sätt. Dessa är oftast temporära konstruktioner på en byggarbetsplats och skyddet av dessa anses ofta som låg-prioriterat. För att minimera risken för igensättning av pumpbrunnar och ledningar bör det byggas upp ett filter kring pumpbrunnen, som utgör det första och ett viktigt reningssteg. *Ifall pumpbrunn*

*och filterkonstruktion konstruktion kontinuerligt underhålls erhålls ett länsvatten med betydligt lägre suspenderad halt, vilket problemet med bland annat igensättning kan minskas radikalt.*

### **13.5 Principer för val av reningsmetoder för länsvatten**

Det är många aspekter som styr val av metod, däribland självklart typen av förorening som vattnet är kontaminerat med, men en viktig faktor är också förhållandena på platsen och då speciellt utrymmet. Andra faktorer är mängden länsvatten som väntas, flödes hastighet och utsläppskrav. Betydelse har också vad platsen skall användas till när bygget är klart och närboende under projektet vilket gör att även den estetiska aspekten kan få stor betydelse.

I vissa projekt, speciellt tunnelprojekt så kan länsvatten även genereras när själva byggprojektet är över och när anläggningen är i drift. Det är därför viktigt att även detta tas i betänkande så att reningslösningen blir så effektiv och hållbar som möjligt även efter byggnationstiden.

### **13.6 Erfarenheter från valda reningsmetoder för länsvattnet i Citytunnelprojektet**

#### **13.6.1 Sedimentationsfälla**

I Citytunnelprojektet utgörs sedimentationsfällor av framförallt sedimentationscontainrar och slamavskiljare men även mindre grävda dammar. Vid Malmö C, Station Triangeln och Lockarp har sedimentationscontainrar använts som ett försedimenteringssteg. När halten suspenderat material är hög som i denna typ av vatten räcker det med relativt kort uppehållstid för att avskilja en stor del av transporterat fast material. Kornstorleksanalysen vid Malmö C visar att sedimentationscontainrarna fyller en viktig funktion för att reducera den suspenderade halten i länsvattnet. I sedimentationscontainrarna är det framförallt de grövre partiklarna som sedimenterar medan de fina partiklarna stannar i suspension. Det är mycket viktigt att vara medveten om att denna typ av anläggning kräver kontinuerlig översyn eftersom uppehållstiden minskar allteftersom slam ansamlas på dess botten – *om inte containern töms kan en passage genom systemet istället bidra till att halten av suspenderat material i vattnet ökar.*

Vid Arlöv används däremot två seriekopplade slamavskiljare som ett sista reningssteg innan vattnet släpps ut i recipient. Speciellt i början av anläggningsperioden, när länsvattenhanteringsanläggningen var ny, var det problem med för höga halter av suspenderat material i länsvattnet. Problemen relaterades till framförallt; intrimningsproblem av utrustningen, stora flöden genom reningsanläggningen i samband med kraftig nederbörd samt hur mycket av schakten som låg "öppen" innan makadamiseringen av ytan hunnit genomföras. Desto längre tid anläggningen var i bruk har den suspenderade mängden material emellertid sjunkit kraftigt och stabiliserats på en låg nivå trots att vattenflödet varierat mycket. Detta beror främst ju större ytor som täcks med makadam desto stabilare blev halten suspenderat material eftersom denna yta i sig fungerade som en sedimenteringsenhet. *Resultaten visar på att det kan vara svårt att uppnå tillräcklig rening med avseende på finmaterial med endast en slamavskiljning som slutreningssteg.*

### 13.6.2 Sedimentationsbassäng

En sedimentationsbassäng använts som försedimenteringssteg vid Malmö C. Sedimentationsbassängen representeras i detta fall av Inre hamnen. Hit kommer övrigt avloppsvatten förutom från Malmö C även från Station Triangeln. Uppehållstiden i bassängen är 30 timmar vilket medför att finsilt hinner sedimentera. *Analysresultaten visar också att sedimentationsbassängen fyller ett mycket bra syfte att reducera den suspenderade halten men räcker inte som slutreningssteg vid denna typ av schaktoatten.* De partiklar som finns kvar i suspensionen är alltså framförallt de i lerfraktionen.

I Hyllie används sedimentationsbassängar som slutreningssteg och är i stort det ända reningssteget som finns. *I det stora hela har bassängerna fungerat bra för att rena vattnet. Genom att förse en del av dammarna med en tröskel har reningseffekten blivit bättre.* Problem med förhöjda halter har dock framförallt kunnat relateras till perioder med kraftig nederbörd och höga flöden. Ett jämt flöde i sedimentationsdammarna är att föredra för att maximera reningseffekten. Kommer ett kraftigt inflöde plötsligt, även om detta vatten är relativt rent så trycks det mindre renade vattnet ut ur sedimentationsbassängen och det rena vattnet lägger sig där istället. Det är därför viktigt att flödet i sedimentationsdammarna är så jämt som möjligt. De förhöjda halterna under dessa perioder kan framförallt relateras till erosion av slänterna kring sedimentationsbassängerna och inte till förhöjda halter i det inkommande länsvattnet. Vidare har även gräs och vass periodvis bidragit till förhöjda halter av suspenderat material.



### 13.6.3 Siltgardin

I Citytunnelprojektet har siltgardiner använts som ett sista reningssteg vid den Inre hamnbassängen i Malmö C. Vid projekteringen så gjordes en noggrann modellering över hur mycket vatten som skulle flöda igenom gardinen och genom detta dimensionerades en flytkroppar som skulle hålla uppe den. När principen tillämpades i projektet visade det sig att denna dimensionering var allt för tajt, gardinen blev snabbt för tung beroende på finmaterial som fastnade i gardinen. Detta medförde att den sjönk och inte fyllde sin funktion. Genom att snabbt fatta ett beslut om att gardinen istället både skulle ha flytkroppar och kilar men att dessa i sin tur skulle var inspända i kajväggen så har siltgardinerna fungerat mycket bra.

Det har använts två stycken parallella gardiner. Genom att ha två gardiner har det alltid funnits en gardin i vattnet och fullgod reningseffekt har erhållits genom hela projektet. Siltgardinerna har behövt underhållas genom att de fått tvättats och lagats samt vid vissa tillfällen fått bytas ut helt. *Reningseffekten av siltgardinerna har dock varit mycket bra genom hela projekttiden.*

### 13.6.4 Sandfilter

Sandfilter har endast nyttjats som ett kompletterande reningssteg vid behov i Station Triangeln. Ifall detta sandfilter har nyttjats eller inte, finns detingen kännedom. Vid de kompletterande undersökningarna som genomfördes vid Malmö C testades dock ett sandfilter. Under testperioden var det endast lite schaktverksamhet varför det producerade länsvattnet inte uppvisade allt för höga halter av suspenderat material. Slutsatsen från försöket var att filtersanden renade länsvattnet effektivt från det fina materialet. Dock mättes filtersanden och utgående halt av suspenderad halt ökar med tiden. *Ett rätt dimensionerat sandfilter med backspolningsfunktion skulle fungera utmärkt på denna typ av vatten.*

## 14. REFERENSER

Armanini, A. & Larcher, M. (2001) Rational Criterion for Designing Opening of Silt-check Dam, *Journal of Hydraulic engineering*, Vol. Vol 127, No. 2, February 2001 pp 95-103, Trento Italien

Axelsson, V., <http://home.swipnet.se/valter/Ri3s.htm>, hämtad 2007-10-22

Brandt, M. (1990) Generation, Transport and Deposition of Suspended and Dissolved Material -Examples from Swedish Rivers, *Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography*, Vol. 72, No. ¾ pp. 273-283, Norrköping

California Stormwater Quality Association (CSQA)(2003) Stormwater best management practice Handbook, construction

Carlsson, L. & Gustafson, G. (1992) Provpumpning som geohydrologisk undersökningsmetodik (version 2.1), Publikation C62, Göteborg

Citytunnelns *hemsida* (2007) [www.citytunneln.se](http://www.citytunneln.se) 2006, 2007-10-12 till 2007-12-17 (Citytunneln, 2007)

Citytunnelprojektet (2002) Ansökan, Tillstånd enligt miljöbalken, Banverket, Malmö (Citytunneln ansökan, 2002)

Citytunnelprojektet (2002) Miljökonsekvensbeskrivning till järnvägsplaner "Citytunnelbanan och förbindelsespar vid Vinitre" samt "Förbindelsespar vid Lockarp", Banverket, Malmö (Citytunneln MKB, 2002)

Citytunnelprojektet (2004) Entreprenad E101 Malmö C nedre tunnel och ramp. Miljökrav Handling 5, bilaga 5, Malmö (Citytunneln E101, 2004)

Citytunnelprojektet (2005) Entreprenad E311 Station Hyllie, konstbyggnad, Miljökrav Handling 5, bilaga 5, Malmö (Citytunneln E311, 2005)

Citytunnelprojektet (2005) Kontrollprogram – Miljöbalken, Uppföljning Miljödom (Citytunneln Kontrollprogram, 2005)

Dahlström, B. (2006) [www.SMHI.se](http://www.SMHI.se), Faktablad

DOER (2005) Silt Curtains as a Dredging Project Management Practice, [www.turbidityBarriers.com](http://www.turbidityBarriers.com), hämtad 2007-10-10

Ekologgruppen (2003) Våtmarkens reningsprocess, Landskrona

Eriksson, J., Nilsson, I. & Simonsson, M. (2005) Wiklanders marklära, studentlitteratur, Lund 2005, ISBN 91-44-02482-7, Uppsala

Fetter, C.W. (1994) Applied Hydrogeology (4e upplagan 2001), Prentice-Hall Inc. Upper Saddle River, s. 190, New Jersey

Geomebran (2006), [www.geomembranes.com](http://www.geomembranes.com) hämtad 2006

Grip, H. & Rodhe, A. (1985) Vattnets väg från regn till bäck (3e upplagan 1994), Lagerblads tryckeri AB, Karlhamn 2000, ISBN 91-738-762-2, s. 54-55, Uppsala

Gustafson, G., Persson, J. & Sällfors, G. (2006) Geohydrologiska och geotekniska utmaningar vid byggande i tätort, *Bygg och teknik*, nr 2 2006, Göteborg

Håkansson, L. (2006) Suspended Particulate Matter, *The Blackburn Press*, New Jersey USA, (Utgiven utifrån Uppsala Universitet), Uppsala

Hallberg, M. (2006) Suspended solids and metals in highway runoff – implications for treatment systems, KTH Architecture and Built Environment, ISBN 91-7178-307-5, Stockholm

Johansson, E. (2005), Partitioning of trace metals between the dissolved and particulate phase at the outlet of River Höjeå, Sweden: Importance of salinity and organic matter, Institutionen för Ekologi, avdelningen för kemisk Ekologi/Ekotoxikologi, Lunds Universitet, Lund.

Lindgren, Å. & Svenson, T. (2003) *Vägvattendammar – En undersökning av funktion och reningseffekten*, Vägverket Enheten för samhälle och trafik, Teknikavdelningen, Publikation 2003:188,

Lundahl, J. (2005) Alternativa lösningar för nyexploateringsområden med avseende på substansflöden, Vatten- och miljöteknik, Chalmers, Göteborg

Maxe, L. (2003) Bestämning av markmaterialets specifika yta, KTH, Stockholm

Milman, Miljömuddring, 2006. Faktablad

Monterio, R. (2005) Pollutant removal efficiency in Vällviken stormwater ponds, Departement of civil and environmental engineering, Chalmers, Göteborg

Naturvårdsverket (NV) (1999) Bedömningsgrunder för sjöar och vattendrag, rapport 4913

Nyhlén, E., (2004) Laktester för riskbedömning av förorenad mark, (Examensarbete) Institutionen för markvetenskap SLU, ISSN 1102-1381, Uppsala

Ohlsson, B. (2006) muntligt meddelande, Analycen

Persson, J. & Pettersson, T. (2006) Dagvattendammar – Om provtagningar, avskiljning och dammhydraulik, Enheten för samhälle och trafik, Teknikavdelningen, Vägverket, publikation 2006:115, Borlänge

Rivinoja, P. & Larsson, S. (2001) Effekter av grumling och sedimentation på fauna i strömmande vatten – en litteratursammanställning, Rapport 31, Vattenbruksinstitutionen, Sveriges lantbruksuniversitet, ISSN 1101-6620, Umeå

Sveriges Regering (2001) Svenska miljömål –Delmål och åtgärdsstrategier, Regeringens proposition, 2000/01:130, Stockholm

Sveriges Regering (2005) Svenska miljömål –Ett gemensamt uppdrag, Regeringens proposition 2004/05:150, Stockholm

Sveriges regering (2007) <http://www.regeringen.se>, hämtad 2007-10-22

Thorp, J., Alexander, J., Bonny B., Cobbs, G., & Bresko, K. (1998), Responses of Ohio River and Lake Erie deissenid molluscs to change in temperature and turbidity, Department of Biology, University of Louisville, *Fish. Aquatic Sci. NRC Canada*, vol.55, pp. 220-229, Louisville. USA

Vägforskningsgruppen (1985) Länshållning vid schaktarbeten, (2a upplagan 1988), Statens geologiska institut (SGI), Linköping

Vägverket (1990) Hydraulisk dimensionering, Publikation 1990:11  
Växjö tingsrätt, Miljödomstolen, *Domslut 1 Mål: M81-02*, Meddelad i Växjö 2004-12-20, Växjö

# **BILAGOR SBUF-RAPPORT!**

## BILAGA 1

### BERÄKNING AV LÄNSVATTENMÄNGDER

#### 1. Sluten akvifer

I en sluten akvifer antas man att grundmagasinet är oändligt, likformigt genom hela (isotopt och homogent) och att pumphastigheten är konstant. När dessa antagande är med i beräkningarna kan exempelvis Theis brunnsekvation ( $W(u)$ ) härledas:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u), \quad u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

I ekvationen är  $s$  avsänkningen,  $Q$  pumphastigheten,  $T$  transmissiviteten och  $W(u)$  tidsavsänkningsskurvan,  $r$  brunnsradien,  $S$  magasinskoefficienten,  $u$  hjälpparameter och  $t$  tiden. Tidsavsänkningsskurvan finns tabulerad och kan läsas av för att beräkna värden på akvifers egenskaper. Om transmissiviteten och magasinskoefficienten är kända kan avsänkningen beräknas med tiden. I fall pumptiden är tillräckligt lång kan även Jacobs approximation användas (Carlsson och Gustafson, 1992).

#### 2. Öppen akvifer

I en öppen akvifer är det mer komplext än en sluten akvifer. En öppen akvifer har i regel en mindre avsänkningstratt än en sluten akvifer, vid samma jordart och typ (Knutsson och Morfeldt, 1993). Dupuits antagande eller Boussinesqs differentialekvation kan härleds utifrån att vattenflödet antas vara horisontellt och att flödet genom varje cirkel till brunnen måste vara lika med uttaget. Utifrån Dupuits formel och Darcys erhålls:

$$h_o^2 - h^2 = \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{R_o}{r}$$

Där  $h_o$  är grundvattennivån i början (vid cylinderväggen),  $h$  är vattennivån i brunnen,  $R_o$  är akviferens radien,  $r$  är brunns radien och  $K$  är den hydrauliska konduktiviteten. Parametrarna  $R_o$  och  $h_o$  är approximativa eftersom de inte existerar i verkligheten. Avsänkningen blir skillnaden mellan  $h_o$  och  $h$  (Carlsson och Gustafson, 1992).

### **3. Läckande akvifer**

En läckande akvifer innebär att lagret ovan/under är betydelsefullt för grundvattenbildningen. Oftast ligger en öppen akvifer på en sluten akvifer. För den läckande akviferen behövs läckagekoefficient och läckage faktor tas fram. Modeller för läckande akviferers avsänkning finns framtagna. En metod är Waltons lösning som har sitt ursprung i Thies brunnsekvation (Carlsson och Gustafson, 1992).

Utifrån dessa förenklade samband kan man uppskatta magasinets egenskaper (hydrauliska konduktiviteten, akviferens transmissivitet och magasinets koefficient, hydrauliska egenskaper hos under och överliggande lager).

Det går inte att beräkna hydrologiska parametrar under enbart jämviktsförhållanden. Vanligtvis sker en provpumpning under en kortare tid och en ny jämvikt hinner inte ställa in sig (Carlsson och Gustafson, 1992).

#### **Referenser**

Carlsson, L. & Gustafson, G. (1992) Provpumpning som geohydrologisk undersökningsmetodik (version 2.1 1997), Publikation C62, Göteborg

Knutsson, G. & Morfeldt, C-O. (1993) Grundvatten teori och tillämpning, Svenskt tryck AB, Stockholm 1993, ISBN 91-7332-646-1, s. 159, Stockholm

## BILAGA 2

### METALLER OCH ORGANISKT MATERIALS BINDNING TILL MINERALPARTIKLAR

#### 1. Olika bildningstyper

Metaller och organiskt material kan binda till mineralpartiklar, framförallt genom två mekanismer, *adsorption* och *utfällning*. Adsorption är den viktigaste processen.

- *Adsorption*: Adsorption innebär att de lösta ämnena attraheras till mineralpartiklarnas yta och kan ske både kemiskt och fysikaliskt. Adsorptionen av lösta ämnen till mineralpartiklar och det organiska materialet (humusämnen) är en viktig faktor för utlakning och tillgängligheten för växter. Vattnets pH, partiklarnas struktur och det lösta ämnets kemiska och fysikaliska egenskaper har betydelse för hur stark adsorption blir. Adsorptionen är svag då Van der Waals-bindningar uppstår mellan partikeln och ytan på grund av elektrostatiske bindningar. Vid en kemisk reaktion mellan partikeln och ytan blir istället bindningen starkare (kovalent bindning).



**Figur 1.** *Adsorptionen till en yta kan vara stark eller svag. Molekylen som binder kan antingen behålla sin form, delas upp eller ändra struktur.*

- *Utfällning*: Utfällning sker i marken om ett ämnets koncentration är tillräckligt hög. Utfällning innebär att jonaktiviteten överskrider löslighetskonstanten och fälls ut som sekundära mineral (oorganiskt ämne). Ett exempel på detta är  $\text{Al}^{3+}$  vilken är en vanligt förekommande jon och bildar med tre hydroxylgrupper  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . En



metalls benägenhet att bilda fällning är ofta avgörande för hur mycket som kan lakas ut.

## 2. Olika faktor som påverkar bindningen

Hur mycket som binder till det suspenderade materialet och påverkar därmed  $K_d$ -värdet beror även av yttre faktorer så som till exempel *pH*, *specifik yta* på partiklarna, *redox-förhållandet*, och *salthalten* (Håkansson, 2006).

- *pH*: Om pH ökar (går mot basiskt, fler OH<sup>-</sup>) kommer antalet negativa laddningar i lösningen att öka och om pH sjunker ökar antalet positiva (H<sup>+</sup>). Detta gör att fördelningen av positiva och negativa joner varierar runt den specifika ytan.
  
- *Specifik yta*: Partikelytans storlek har en betydande roll för hur stor andel metalljoner som det suspenderade materialet kan binda. Ett finkornigt material har en större yta och kan binda mer än ett grovkornigt. Kornstorleken och andelen metalljoner partikeln kan binda är inte helt proportionellt mot varandra. Halten lera spelar också en betydande roll för andelen bundna metaller. Lerpartiklar har stor specifik yta och är negativt laddade och binder därför lätt metalljoner (katjoner) (Maxe L, 2003), medan sand binder lägre halter. I ett vägdragvatten-projekt fanns efter analyser att högst andel metaller kunde påträffas i det finkornigaste materialet. Det finkorniga materialet innehåll även den högsta andelen av organiskt material, vilket också binder till metaller. Intressant var dock att man kunde se att vissa metallers andel som kadmium, koppar och zink var högre i det grovkorniga sedimentet än finkorniga. Den organiska halten ökar med minskad kornfördelning (Jacobsson m.fl., 2005)
  
- *Redox-förhållanden*: En faktor som kan vara av betydande roll är markens reduktion- och oxidationsförhållande. Vilken oxidationsform som jonerna befinner sig i har betydelse för hur rörliga de är. En tvåvärd jon är i regel mer mobil än en trevärd jon. Reducerade former indikerar på låg syrehalt, då syre är den vanligaste elektronacceptorn (Nyhlén, 2004). Reducerande förhållande uppstår om markens biologiska aktivitet är hög, orört markvatten

(inget diffunderat syre) eller om marken är vattenmättad (Eriksson, 2005).

- *Salthalten:* Laboratoriexperiment visar att vattnets salthalt har viss inverkan på hur och i vilken grad metaller binder till partiklar. Vid ökad salthalt binds mer järn och bly till det suspenderade materialet, medan metallerna kadmium, kobolt, nickel, mangan och zink ökar i den lösta fasen. Anledning till detta förhållande antas vara att saltvatten ofta innehåller andra joner så som kalcium, magnesium, kadmium och klorid. Dessa konkurrerar med de andra metallerna om bindningsställena på partiklarna och skjuter undan de mindre laddade jonerna ut i lösningen. (Johansson, 2005)

## **Referenser**

Eriksson, J., Nilsson, I. & Simonsson, M. (2005) Wiklanders marklära, studentlitteratur, Lund 2005, ISBN 91-44-02482-7, Uppsala

Håkansson, L. (2006) Suspended Particulate Matter, *The Blackburn Press*, New Jersey USA, (Utgiven utifrån Uppsala Universitet), Uppsala

Jacobsson, A., Pettersson, T. & Stömvall A-M. (2005) Tungmetaller och PAH i ett efterbehandlingssystem för vägdragvatten i Gårda, Institutionen för Miljö- och vattenteknik, Chalmers, Göteborg

Johansson, E. (2005) Partitioning of trace metals between the dissolved and particulate phase at the outlet of River Höjeå, Sweden: Importance of salinity and organic matter, Institutionen för Ekologi, avdelningen för kemisk Ekologi/Ekotoxikologi, Lunds Universitet, Lund.

Maxe, L. (2003) Bestämning av markmaterialets specifika yta, KTH, Stockholm

Naturvårdsverket (NV) (1999) Bedömningsgrunder för sjöar och vattendrag, rapport 4913, 1999

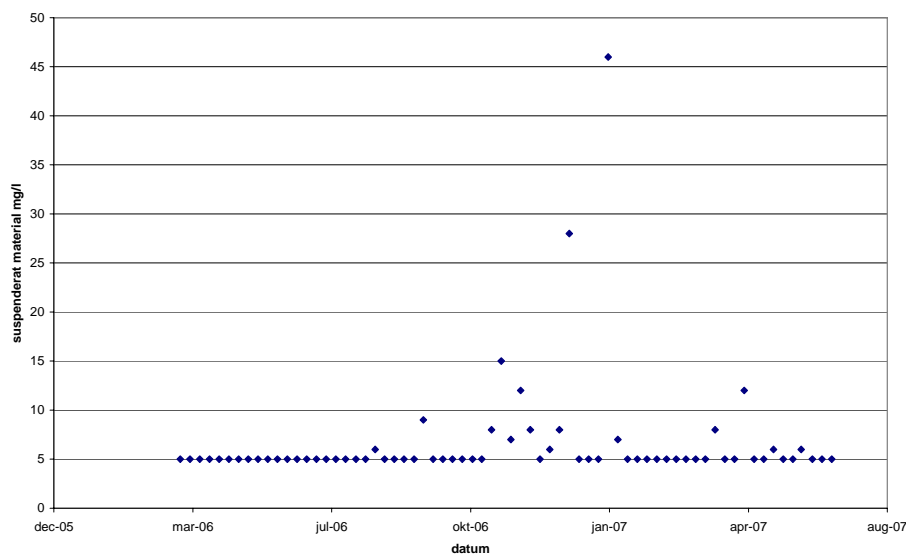
Nyhlén, E., (2004) Lakteter för riskbedömning av förorenad mark, (Examensarbete) Institutionen för markvetenskap SLU, ISSN 1102-1381, Uppsala

## BILAGA 3

### INFORMATION OM UTJÄMNINGSMAGASINEN 1,2 OCH 4

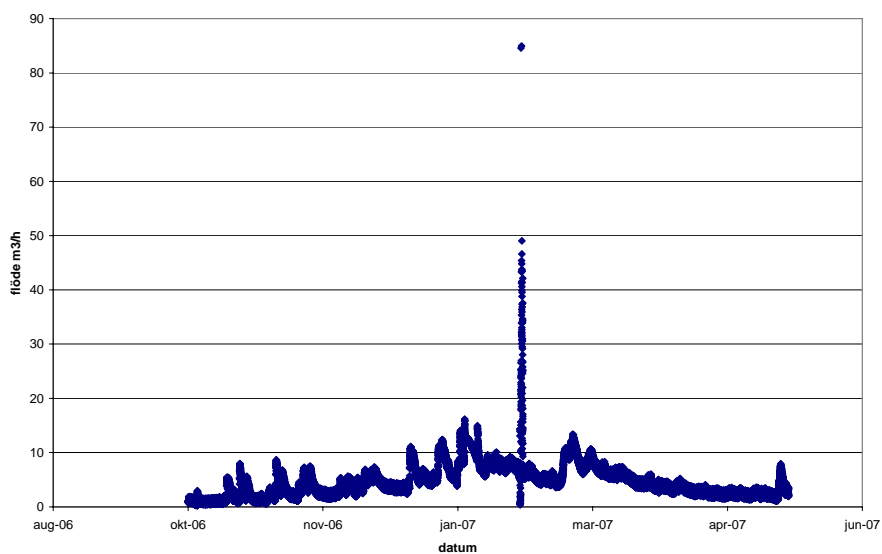
#### 1. Utjämningsmagasin 1

Detta magasin ligger längst öster ut i Hyllie och togs i bruk i april 2006. Magasinet är format som en åtta med en förhöjning på mitten för att vattnet och öka sedimenteringen. Magasinet har lite vegetation kring sig och vid extrema regn kan slänterna erodera. Vattnet leds efter magasinet ut i Lernackediket och sedan vidare mot Öresund.

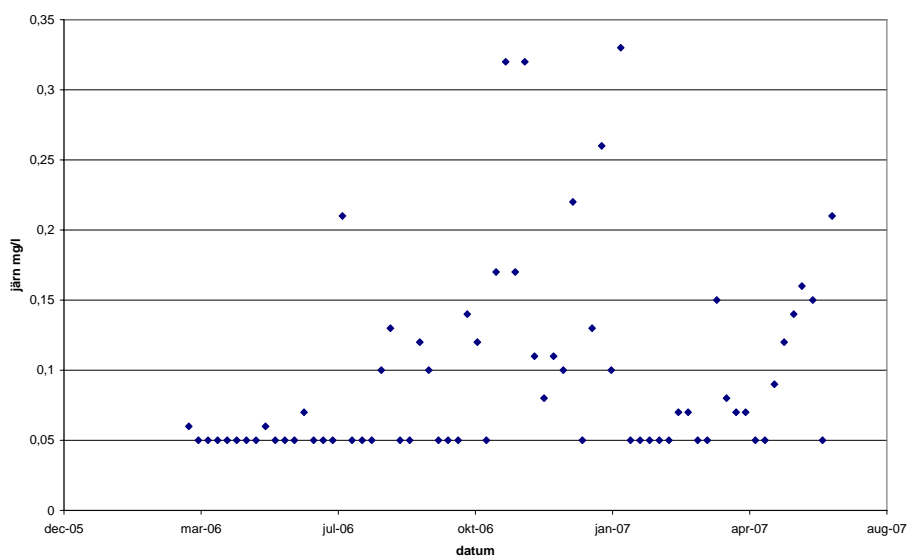


**Figur 1.** *Suspenderat material i utjämningsmagasin 1. Suspenderat material. Diagrammet visar hur halten suspenderat material varierar från vecka till vecka mellan 2006-04-19 - 2006-10-04.*

Halten suspenderat material har under den mätta tidsperioden legat på väldigt låga nivåer. Endast vid ett tillfälle har gränsvärdet på 40 mg/l överskridits (46 mg/l); i huvudsakligen under detektionsgränsen på <5 mg/l. Två små toppar kan ses i diagrammet men även de består av väldigt låga halter suspenderat material.



**Figur 2.** *Medelflöde i utjämningsmagasin 1. Diagrammet visar hur medelflödet varierar från vecka till vecka. Flödet är mätt var tionde minut dygnet runt.*



**Figur 3.** *Järnhalt i utjämningsmagasin 1. Diagrammet visar hur järnhalten varierar från vecka till vecka mellan 2006-10-04 - 2006-04-19.*

Utjämningsmagasin 2 har under den redovisade perioden haft ett väldigt lågt flöde, långt under en kubikmeter i timmen. Även nivåerna av suspenderat material och järnhalten ligger på mycket låga nivåer långt under maxvärdena. Detta hänger allra troligast ihop med det låga flödet vilket gör att suspenderade materialet har god tid på sig att sedimentera i dammen.

## 2. Utjämningsmagasin 2

Magasin 2 ligger i Vinitre längst söder ut i NCCs arbetsområde och togs i bruk 2006. Vattnet som går igenom leder sedan till Bunkleflodiket och vidare till Öresund. Bunkleflodiket är ett renodlat dike som under vissa delar av året kan vara torrlagt. Diket är ekologiskt sett obetydligt men det mynnar dock ut i de ekologiskt värdefulla våtmarkerna vid Bunkleflo (Citytunneln MKB, 2002).

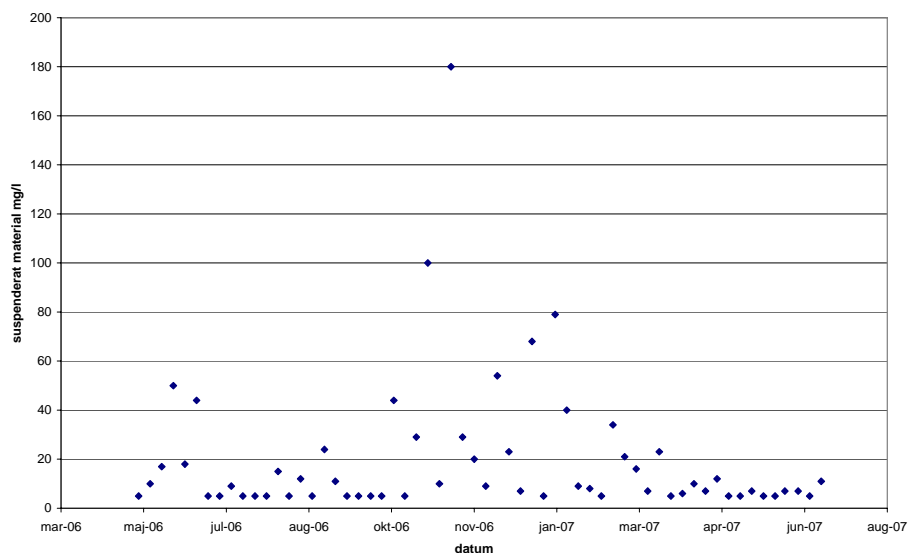
Utjämningsmagasinet är en rund bassäng och ligger ute på en åker. En hel del vass växer i bassängen och delar av botten består av lera. I början av projektet sattes en geoduk upp för utloppet men denna togs relativt snart bort eftersom den hela tiden sattes igen och dämde upp.



**Figur 4.** Fotot visar utjämningsmagasin 2 vid Vinitre.

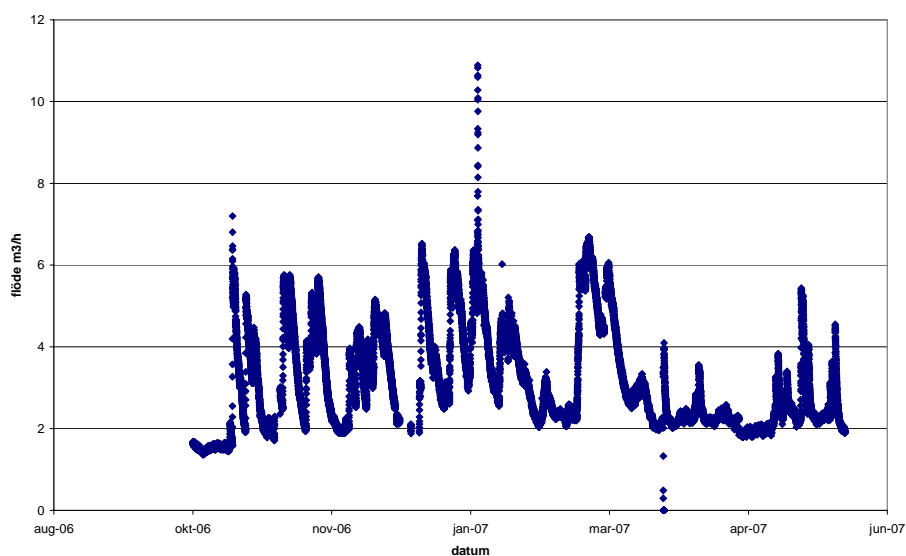
Flödet håller en relativ jämn nivå på ungefär 0.1 kubikmeter vatten i timmen med vissa undantag (se figur 6). Halten suspenderat material var under maj 2006 något hög vid två mättillfällen men har efter det legat på låga nivåer. Under perioden november 2006 till januari 2007 var suspenderade halterna vid ett flertal tillfällen kraftigt förhöjd upp till 180 mg/l. Enligt de avvikelserapporter som skrivits beror

ökningen av suspenderat material på ökade flöden som fick de lättroderade partiklarna i dammens slänter att erodera.

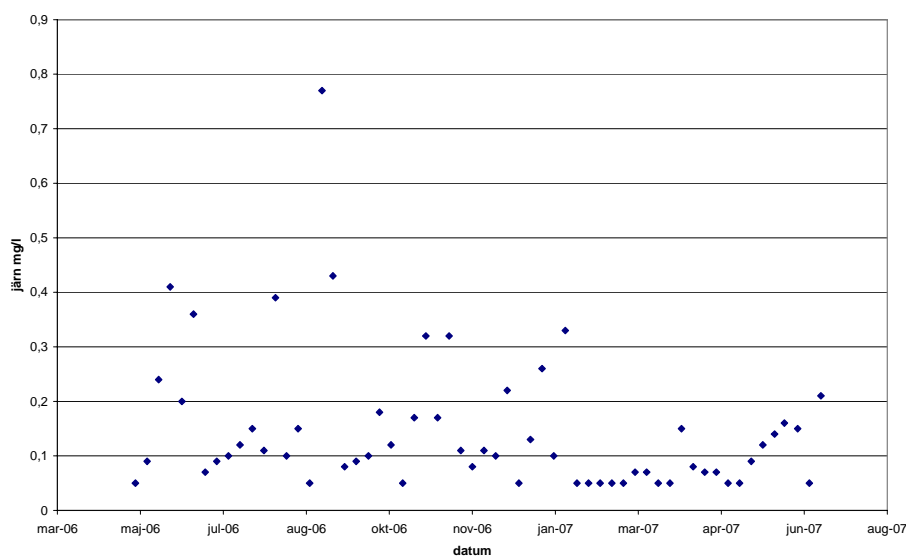


**Figur 5.** *Variationer av suspenderat material utjämningsmagasin 2. Diagrammet visar hur samlingsprover av suspenderat material varierar mellan 2006-05-10 - 2006-08-30.*

Vid nederbörd sipprar vatten från omkringliggande mark in och drar med sig eroderat material. Försök har gjorts för att tätta slänterna med att lägga makadam, dock utan några större effekter. Man har försökt så gräs sommaren 2007 för att binda upp partiklar, men uppföljningen har inte gjorts ännu så kort tid efteråt.



**Figur 6.** *Medelflöde i utjämningsmagasin 2. Prov är taget var 10:e minut och sedan omräknat till ett medelflöde en gång i veckan. Diagrammet visar medelflödet mellan 2006-05-10 - 2006-08-30.*

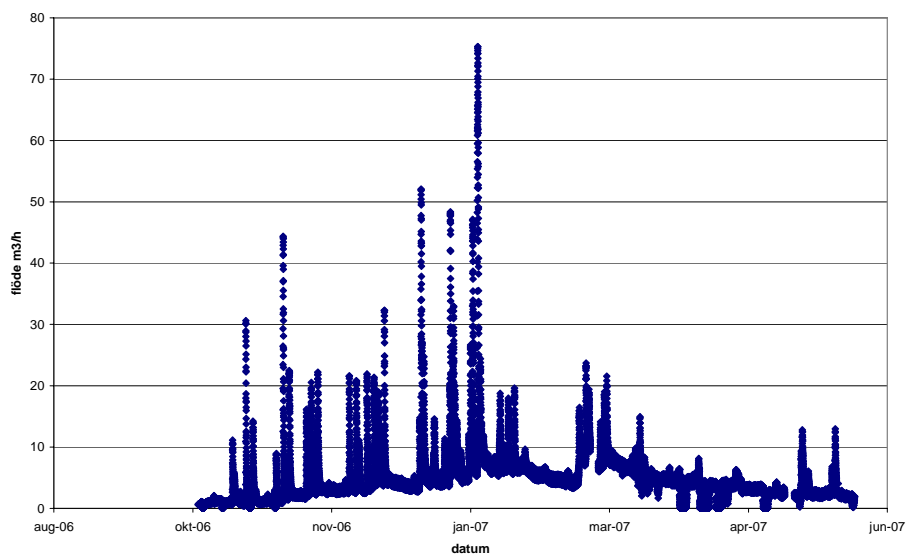


**Figur 7.** *Järnhalten i utjämningsmagasin 2. Samlingsprov taget en gång i veckan. Diagrammet visar prov från tidsperioden 2006-05-10 - 2006-08-30.*

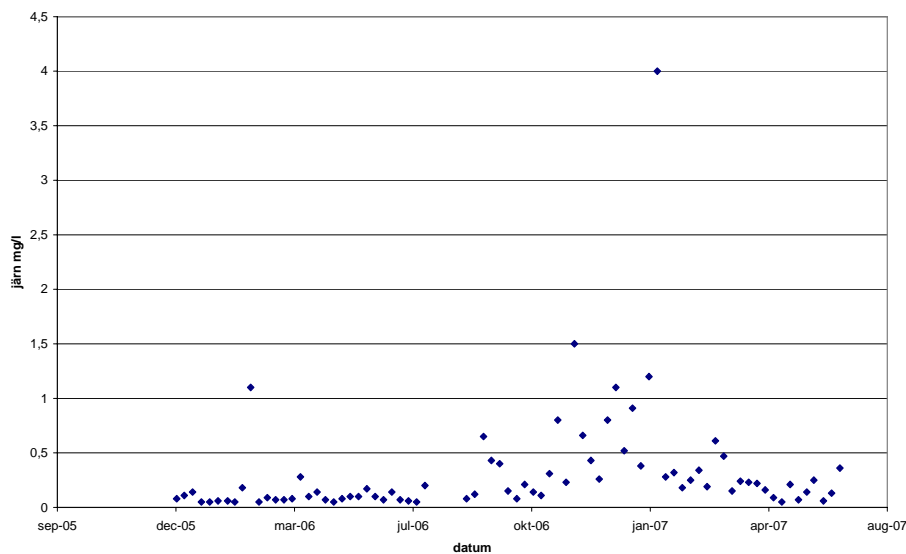
Magasin två är en helt rund bassäng med ett stenbeklätt inlopp. Utloppet är inte helt på motsatta sidan. Bassängen har en reglerbar volym på 300 m<sup>3</sup>.







**Figur 9.** *Flöde i utjämningsmagasin 4. Proven är tagna var tionde minut och utifrån dessa har ett medelvärde en gång i veckan räknats ut.*



**Figur 10.** *Järnhalt i utjämningsmagasin 4. Prov är taget en gång i veckan.*

Magasinet är ett tvådelat magasin med en reglerbar volym på 1 150 m<sup>3</sup>.

### **Referenser**

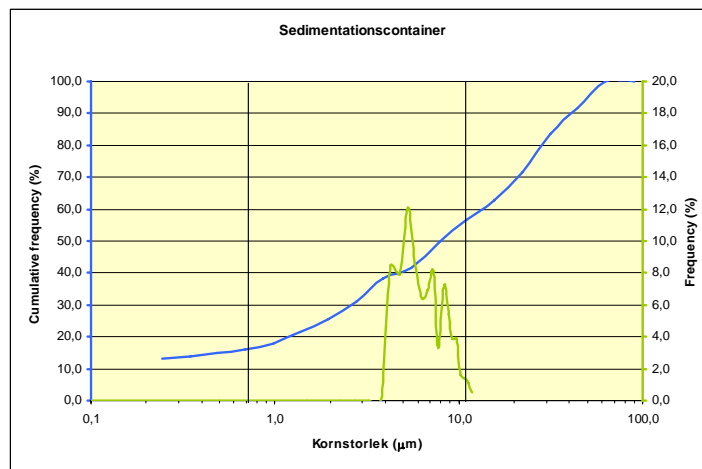
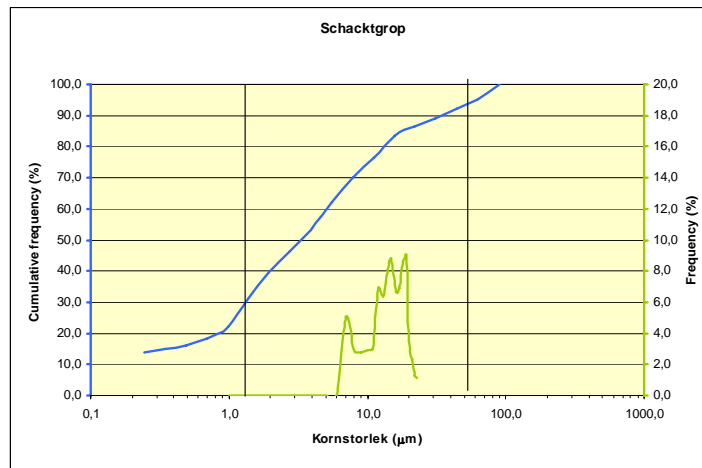
Citytunnelprojektet (2002) Miljökonsekvensbeskrivning till järnvägsplaner "Citytunnelbanan och förbindelsepår vid Vinitre" samt "Förbindelsepår vid Lockarp", Banverket, Malmö

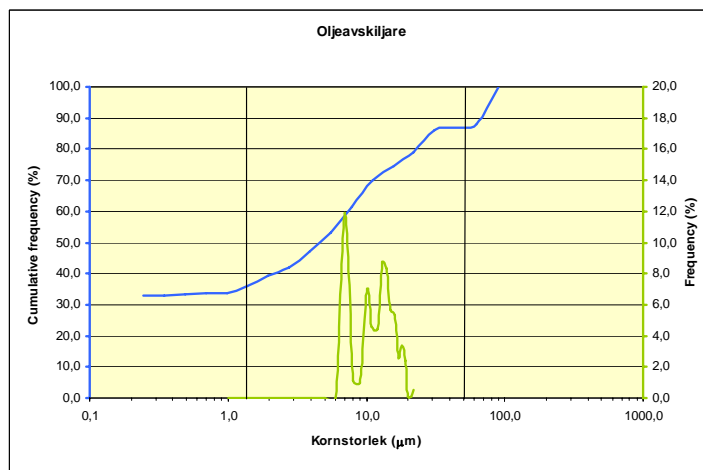
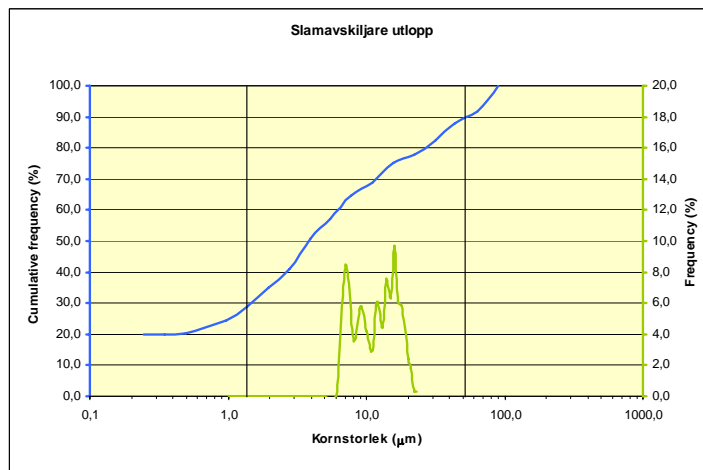
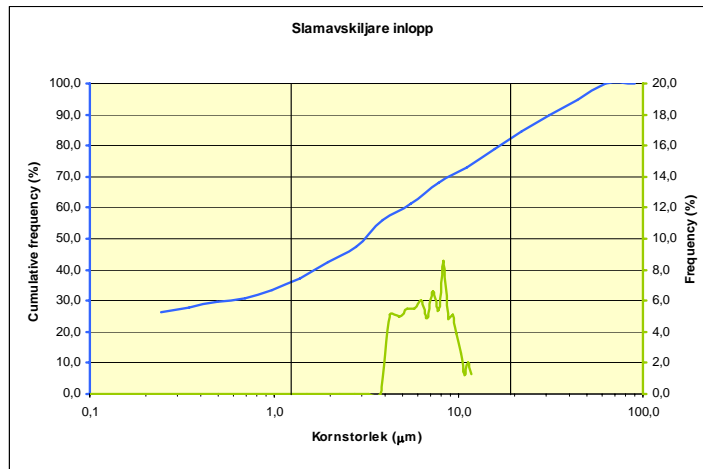


- baserat på signalerna från pH-mätaren (9a) och (9b). Syrabehållaren förvaras i en låst stålcontainer med uppsamlingsmöjligheter i botten vid eventuellt spill. I botten på containerna ligger även absol som suger upp eventuellt spill från syrabehållaren. Containern har fläkt för bra ventilation.
4. PAX doseringstank (10) för flödesproportionell dosering efter manuellt inställd värde (i l/timme) vid inlopp till sedimentationscontainern (1). PAX gör att sedimenten flockulerar och sedimenterar snabbt i de första facken av containern (1)
  5. Sedimenteringsbassängen (4b) och (4c) med oljeavskiljare och flytande absorptions medel. Bassängen har 7 fack, 3 för separering av fasta beståndsdelar, 3 för separering av oljedroppar och 1 för insläpp. Till 2 av avdelningarna för oljeavskiljare kommer att tillföras flytande oljeabsorptionsmedel av typen absol (oljeabsorptionsmedel) för industrier, flytande tuber.
  6. Luftningsanläggning (5), motström, med luftdoseringsenheter utplacerade på botten. Konstruktion på begäran av CTP enligt brev 2005-07-20. Luftdoseringsenheterna förses med luft från eldrivna lamellpumpar. Denna idriftsätts om behov föreligger.
  7. Valfritt (7): Behållare med sandfilterenhet (sandens grovhet 5/9). Sanden ska schaktas ur behållaren om den täpps igen. Ingen ventil för returspolning är ansluten. Om sanden måste bytas alltför ofta kommer alternativ 7 att användas, (se driftinstruktion).
  8. Valfritt (7): 6 stycken sandfilter i cylinder som fungerar i par av 2 stycken. Kapaciteten av ett par är 15 m<sup>3</sup> per timme. En cylinder kan returspolas med vatten från den andra cylindern i samma par och med returvatten till särskild tank uppsatt bredvid (visas ej). Filtren kan också fungera som kolfilter som sätts in vid behov.
  9. Flödesmätare i brunn, mätare från Krohne (8).
  10. pH-elektrod i pumpbrunn (9b).
  11. Automatisk provtagare som tar flödesproportionellt prov från pumpbrunnen. Provuttagaren är uppsatt i containern (7) och ansluten till kylskåp. Provuttagarens sugledning ligger i ett 40 mm rör med jämn lutning till klarningstankarna. Flödesproportionaliteten säkerställs vid mätning/beräkning på båda flödena (totalt och delen av grundvattnet som går direkt till utsläppspunkt (8)).
  12. Anslutning till 2 stycken 315 mm rör till Inre hamnen via ett T-rör (11).
  13. Automatisk tryckkontroll (12) för returspolning av sandfiltren i container (7).

## BILAGA 5

### KORNSTORLEKSFÖRDELNING I LÄNSVATTNET ANALYSERAT MED SEDIGRAF





## BILAGA 6

## RIKTVÄRDEN FÖR METALLER I LÄNSVATTEN

## 1. Fallstudie av metallhalter i länshållningsvatten

Vid en anläggningsentreprenad norr om Göteborg, där länshållningsvatten avleddes till Göta älv, schaktades jord upp som misstänktes vara förorenad. Länshållningsvattnet leddes genom en sedimenteringscontainer och en oljeavskiljare innan det släpptes ut till älven. Schakten var ca 700 m<sup>2</sup> och ca 1,5 meter djup bestående av fyllnadsmassor som överlagrar lera. Provtagning utfördes på fyllnadsmassorna med totalt 12 prover. Analysresultaten visade, mot förväntan, att massorna var förhållandevis rena med medelhalter väl under Naturvårdsverkets riktvärde för *Känslig markanvändning* (KM), endast i några prover överskreds riktvärdet för KM (se tabell 1 nedan).

**Tabell 1.** Fallstudie. Analysresultat från provtagning av schaktmassor.

<b>Analyser från 12 prover</b> <i>mg/kg Ts</i>	<b>Min-värde</b>	<b>Medel-värde</b>	<b>Max-värde</b>	<b>NVs riktvärden för KM</b>
<b>Arsenik As</b>	2.1	7	14	<b>15</b>
<b>Bly Pb</b>	12	33	65	<b>80</b>
<b>Kadmium Cd</b>	<0.20	0.3	1	<b>0,4</b>
<b>Kobolt Co</b>	3.2	8	18	<b>30</b>
<b>Koppar Cu</b>	20	54	<b>160</b>	<b>100</b>
<b>Krom Cr</b>	6.1	9	12	<b>120</b>
<b>Kvicksilver Hg</b>	<0.05	0.06	0.080	<b>1</b>
<b>Nickel Ni</b>	7.5	20	<b>55</b>	<b>35</b>
<b>Vanadin V</b>	18	38	59	<b>120</b>
<b>Zink Zn</b>	46	98	170	<b>350</b>

Schakten stod öppen i nära en månad innan den lades igen. Inströmmande grundvatten pumpades ur gropen med ett relativt konstant flöde av ca 120 l/min. Vattnet leddes via en enkel reningsanläggning bestående av sedimentationscontainer och en oljeavskiljare. Prover togs regelbundet på utgående vatten och analyserades ofiltrerade. I tabell 2 har en jämförelse gjorts med analyserade halter och med bedömningsgrunderna i tabell 4.1 (i rapporten kapitel 4), där dessa utan omräkning används direkt som riktvärden.



**Tabell 2.** *Analysresultat av metaller på utgående länshållningsvatten. (Enheten i tabellen är genomgående µg/l).*

Provtag- ningsdag	Dagar mellan provtagningar	Arsenik	Bly	Kadmium	Koppar	Krom	Nickel	Zink	pH ( )
2007-05-24	1	8.9	5.2	<0.1	4	1.2	3.6	14	7.0
2007-05-25	3	8.4	1.2	<0.1	1	1.1	<1	5.7	7.8
2007-05-28	2	6.1	37	0.23	28	7.1	11	0.11	7.3
2007-05-30	2	6.7	1.2	<0.1	1.3	<1	1.1	<5	7.1
2007-06-01	4	7.8	3.2	<0.1	2.9	<1	5.4	14	-
2007-06-05	6	9	3.5	<0.1	3.3	2.0	6.6	18	7.3
2007-06-11	3	6.5	0.89	<0.1	2.1	<1	8.3	14	-
2007-06-14	6	7.5	1.3	<0.1	3.5	2.0	9.2	15	7.3
2007-06-20	Avslut.								
Bedömnings- grunder	NV	15	3	0,3	9	15	45	60	
	CCME	50	1	0,01	4	20 (Cr III)	150	30	
	SLVFS 2001:30	10	10	5,0	2000	50	20	-	
	VV	-	20	0,5	35	-	-	100	

- *Naturvårdsverket (NV). Bedömningsgrunder för sjöar och vattendrag. Ökad risk för biologiska effekter..* Halterna för bly överskrids vid tre tillfällena och för koppar vid ett tillfälle.
- *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life (CCME).* Halterna för bly överskrids vid 7 av 8 tillfällena och för koppar vid ett tillfälle.
- *Livsmedelsverkets föreskrifter om dricksvatten (SLVFS 2001:30). Gränsvärden för otjänligt dricksvatten.* Halterna för bly överskrids vid ett tillfälle.
- *Vägverket Publ. 2004:195 (VV). Schablonhalter i dagvatten. 10 000-15 000 ÅDT.* Halterna för bly överskrids vid ett tillfälle. Den av Vägverket angivna halten av 20 µg/l har en spridning på mellan 5-40 µg/l. Om hänsyn tas till medianhalter och spridning som Vägverket anger i sin publikation ligger faller det aktuella länshållningsvattnet inom de halter som kan förväntas från en trafikled med en ÅDT på 10 000-15 000.

Riktvärdena för NV och CCME utgår från att skydda biologiskt liv i vatten och gränsvärdena för SLVFS 2001:30 är för dricksvatten. För flertalet av metallerna är riktvärdena för att skydda biologiskt liv i vatten lägre än för dricksvatten.

## 2. Beräkningsexempel av fallstudien

Området där schakt utfördes har generellt låga halter i jorden. Det kan vara så att grundvattnet som trängt in i schaktgropen har varit i kontakt med marklager av högre föroreningsgrad. Ett större problem är troligtvis att finmaterial som inte sedimenterat i sedimenteringscontainern har kommit med i provtagningen. Proverna som görs är inte filtrerade och även metaller som sitter hårt bundet i finpartiklar löses ut vid syraupplutningen.

För att belysa problemet kan vi formulera följande fråga:

- Antag att vi har ett riktvärde för länsvallningsvattnet på bly som motsvarar gränsvärdet för dricksvatten på 10 µg/l. Vid vilken halt av suspenderat material kommer riktvärdet för bly att överskridas?

Den aktuella jorden hade en medelhalt av bly på 32 mg/kg TS vilket är långt under riktvärdet för Naturvårdsverkets riktvärde för *Känslig markanvändning* och brukar därför betraktas som ren jord. För att bestämma hur mycket av denna rena jord som behövs för att ge 10 µg bly i 1 liter vatten kan följande uttryck sättas upp:

$$\frac{10 \cdot 10^{-6} [g/l]}{32 \cdot 10^{-3} [g/kgTS]} = 0.3 \cdot 10^{-3} [kg TS/l] = 300 mg TS/l$$

Det räcker med 300 mg av den aktuella jorden (som har låga halter av bly) för att en liter vatten skall gå över dricksvattennormen för bly. Detta innebär att partiklar i länsvallningsvattnet ofta måste tillåtas att sedimentera eller filtreras för att riktvärdet skall underskridas.

## BILAGA 7

### DIMENSIONERING AV EN SEDIMENTATIONS DAMM

Ett sätt att räkna ut en sedimentationsdamms storlek med hänsyn till suspenderat material presenteras i California Stormwater BMP handbook (CSQA, 2003). Denna metod är mer specifik och är därför applicerbar på just dammar som har i huvudsyfte att rena från suspenderat material. Formeln lyder enligt detta:

$$A_s = 1,2 Q / V_s$$

$A_s$  minimala ytan för att fånga upp en partikel av en specifik storlek.

$Q$  tal på avrinningshastigheten i området

$V_s$  Sättningshastigheten för en specifik partikel av en vald storlek som är vald som minsta partikelstorlek som skall renas, framtaget i laboratorium genom våtsikt eller genom tabelloärde.

$$Q = C I A$$

$C$  avrinningshastigheten (ett medeltal för området),

$I$  nederbördsintensiteten för en tioårsperiod med sex timmar regnintensitet,

$A$  arean för avrinningsområdet.

När ytan är bestämd så konstrueras bassängen så att längden är minst dubbelt så stor som bredden för att undvika döda zoner dit det nytillkomna vattnet inte når (CSQA, 2003). Längden är detta fallet den sträcka som sträcker sig mellan bassängens in- och utlopp. Denna formel kan endast anses gälla vid schaktning och arbeten över grundvattennivån. Om schaktning sker under grundvattennivån måste även det eventuellt utläckande grundvattnet tas med i beräkningen.

## BILAGA 8

### KEMISK RENING

#### *Eurowater*

[info@eurowater.se](mailto:info@eurowater.se)

Hyr ut containrar för absorption av föroreningar.

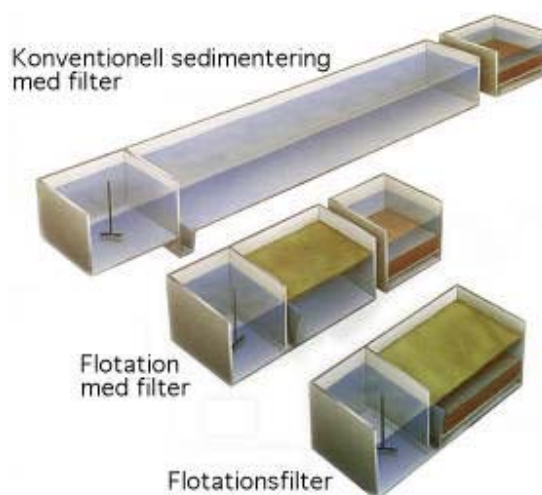
Referensprojekt: Container i Göteborg vid kvarteret Venus

#### *IFO vattenrening*

[info@eurowater.se](mailto:info@eurowater.se)

Hittar lösningar för varje specifik kund. Använder sig av kemisk rening.

Flotation, systemet bygger på att slammet lyfts upp till ytan med hjälp av luftbubblor. Systemet är bra eftersom väldigt små kornstorlekar kan fångas upp och tekniken kräver lite plats. Anläggningarna dimensioneras efter behov. En hel del information finns på deras hemsida.



**Figur 1.** Flotationsanläggning från IFO vattenrening.

Referenser:

Åby vattenverk, Norrköpings kommun

Lackarebäcks vattenverk, Göteborg

### *Nordic Aero*

The purifier by Nordic Aero.

Mobila reningsanläggningar för länsvatten, dricksvatten m.m.

Företaget är inriktat från början på flygindustrin men renar vatten från flera områden. Reningsanläggningen kommer på trailer och består av flera steg. Däribland floccation och flotation. Kan rena från både organiska och oorganiska föroreningar.

[www.nordicaero.com](http://www.nordicaero.com)

### *Nordic Water*

[NWP@nordicwater.se](mailto:NWP@nordicwater.se)

Produktfaktablad finns.

Mycket information finns om sandfilter, sedimentationsfällor och andra produkter. Flockningskemikalier kan tillsättas i det förorenade vattnet innan det går igenom sandfiltret för en mycket effektiv rening. Sandfiltret är konstruerat så att sanden vid inlopp hela tiden renas för att det inte skall sättas igen.

### *Milman miljömuddring*

[lars@milman.se](mailto:lars@milman.se)

Specialiserade på flockning och flotation.

Faktablad bifogas.

Referenser finns.

### *RGS90*

Fakta blad finns.

Skall nu gå ihop med Solirem och MB Envirotech, de har tillsammans ett 20 tal lösningar för mobil vattenrening, där ibland kemisk rening. Metod väljs med hänsyn till flöde, koncentration och utsläppskrav. Olika typer av filteranläggningar finns och även flockation och flotationsanläggning.

### *Water processing Sweden AB*

[info@water.se](mailto:info@water.se)

Har ett stort utbud av filter men inga direkta projekt med kemisk rening av länsvatten. Säger sig kunna utföra det.