



UPPSALA
UNIVERSITET

W13027

Examensarbete 30 hp
November 2013

Mark- växtsystem för behandling av lakvatten

– utvärdering av reningseffekter vid Häradsuddens
deponi

Malin Asplund

REFERAT

Mark- växtsystem för behandling av lakvatten – utvärdering av reningseffekter vid Häradsuddens deponi

Malin Asplund

En av de viktigaste miljöaspekterna när det gäller deponering av avfall är utsläpp till vatten. Tidigare leddes lakvatten från de flesta deponier till kommunala reningsverk, men på senare tid har trenden gått mot allt mer lokala lösningar i mark- växtbaserade system.

Vid Häradsuddens deponi i Norrköpings kommun har Econova mellan åren 2007 och 2011, i etapper, anlagt ett kombinerat system med lakvattenrecirkulering, luftad damm, intermittent översilning samt våtmark för rening av lakvattnet. Syftet med denna studie var att klarlägga vattenbalans och reningsfunktion för Häradsuddens reningssystem samt ge förslag på eventuella förbättringar.

Resultaten i undersökningen tyder på en avsevärt högre belastning på våtmarken än de kända flöden som pumpas till lakvattensystemet, vilket tyder på utläckage av lakvatten från deponin. Reningsystemet klarade dock med god marginal reningskraven avseende halt för $\text{NH}_4\text{-N}$ och P_{tot} . Begränsande för möjligheten att släppa vattnet till recipient är halten TOC. Med anledning av lakvattnets sammansättning samt de förhållandevis höga halterna i tillrinnande vatten kan det bli svårt att komma ner i TOC-halter som säkrar möjlighet till utsläpp av behandlat lakvatten.

Den areaspecifika reningen varierade beroende på om hänsyn togs till förmodat inläckage. Den areaspecifika reningen avseende $\text{NH}_4\text{-N}$ och N_{tot} var i princip obefintlig om ingen hänsyn togs till inläckage av lakvatten medan den var 80 respektive 50 $\text{g/m}^2\cdot\text{år}$ om en beräkning av möjligt inläckage räknades med. När det gäller P_{tot} ökade avskiljningen från 1 till 2 $\text{g/m}^2\cdot\text{år}$ vid hänsyn tagen till inläckage. Avskiljningen var något låg jämfört med etablerade våtmarker, men borde kunna öka med tiden.

Analysunderlag för den luftade lakvattendammen och översilningen är otillräckligt och osäkert för att det ska kunna gå att dra några långtgående slutsatser avseende reningseffekt för dessa delar. De bedöms dock kunna ha potential för att öka avskiljningen, varför en noggrann utredning av reningseffekt och olika driftstrategier för lakvattendammen och översilningen rekommenderas.

Nyckelord: Lakvatten, våtmark, översilning, lakvattendamm, näringsämnen, vattenbalans, reningseffekt

*Institutionen för fysik, kemi och biologi (IFM), Linköpings universitet SE-581 83
LINKÖPING*

ABSTRACT

Seminatural treatment-plant systems for leachate - evaluation of treatment effects in Håradsudden landfill

Malin Asplund

One of the most important environmental aspect concerning landfills is the outgoing water. Earlier the leachate from most landfills was lead to municipal waste water treatment plants, but now most leachate from landfills is treated in local seminatural treatment-plant systems.

Between 2007 and 2011 Econova has constructed a seminatural treatment-plant at the landfill of Håradsudden, Norrköping Sweden. It is a combined system including leachate recirculation, aerated pond, over land flow and a wetland. The object of this thesis was to elucidate water balance and cleaning capacity of the treatment system at the landfill of Håradsudden and to suggest possible improvements.

The result of the study indicated a considerably higher load on the wetland than measured flows, which indicates leakage of leachate from the landfill.

The treatment-plant system did, however, meet the treatment requirements regarding content of $\text{NH}_4\text{-N}$ and P_{tot} , but the content of TOC was limiting the possibility of discharging the water to the recipient. Following the leachate composition and the relatively high levels in the external additive water, it may be difficult to get the TOC levels that ensure opportunity for discharges of treated leachate.

The area-specific treatment varied depending on whether consideration was given to alleged leakage of leachate. The area-specific treatment for $\text{NH}_4\text{-N}$ and N_{tot} was basically non-existent if not taken into account leakage of leachate, while it was 80 respective 50 $\text{g/m}^2 \cdot \text{years}$ on a calculation of possible seepage counted. Concerning P_{tot} the result increased from 1 to 2 $\text{g/m}^2 \cdot \text{years}$ at consideration of leakage. The separation was somewhat low compared with established wetlands, but this should increase with time.

The analysis for the aerated leachate pond and the over land flow was insufficient and therefore it was not possible to draw any far-reaching conclusions regarding treatment efficacy for these parts. They are considered to be able to have the potential to increase efficiency of the treatment system, so a thorough investigation of the treatment effects and different operating strategies for the leachate pond and the over land flow is recommended.

Key words: Leachate, wetland, over land flow, leachate pond, nutrients, water balance, purification effect

*Department of Physics, Chemistry and Biology (IFM), Linköping University SE-581 83
LINKÖPING*

FÖRORD

Rapporten utgör mitt examensarbete på 30 hp och är den avslutande delen i min utbildning till civilingenjör inom miljö- och vattenteknik vid Uppsala universitet. Examensarbetet har utförts

på uppdrag av Econova AB i Norrköping. Per Björnelid, Econova, har varit min handledare och har bidragit med bra synpunkter och stöttning under arbetets gång.

Karin Tonderski, institutionen för fysik, kemi och biologi (IFM) vid Linköpings universitet, har fungerat som ämnesgranskare för examensarbetet och jag vill rikta ett stort tack till Karin för granskning av rapporten samt sitt tålamod, sina kloka synpunkter och uppmuntrande ord.

Malin Asplund
Söderköping, januari 2013

Copyright © Malin Asplund och Institutionen fysik, kemi och biologi (IFM), Linköpings universitet

UPTEC W13027 ISSN 1401-5765

Publicerad digitalt vid Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet 2013

POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

Mark- växtsystem för behandling av lakvatten – utvärdering av reningseffekter vid Häradsuddens deponi

En av de viktigaste miljöaspekterna när det gäller deponering av avfall är utsläpp till vatten. Lakvatten bildas när nederbörd perkolerar genom en deponi. Lakvatten från äldre deponier, där det deponerats mycket organsikt material, innehåller höga halter lösligt organiskt material och ammoniumkväve. Lakvatten från nyare deponier karaktäriseras istället av högre metallhalter.

Tidigare leddes lakvatten från de flesta deponier till kommunala reningsverk, men på senare tid har trenden gått mot allt mer lokala lösningar i form av exempelvis luftade dammar, markbaserade växtsystem, lakvattenrecirkulering, bevattning av energigrödor samt våtmarker och översilningsytor. Biologiska processer samt hydrologiska förhållanden är säsongberoende och reningseffekten är betydligt bättre under den varma årstiden. En stor utmaning för många reningsanläggningar är dessutom, förutom rening av vattnet, även hantering av de stora vattenvolymer som uppkommer under vissa perioder, exempelvis vid snösmältning eller kraftiga regn.

Vid Häradsuddens deponi i Norrköpings kommun har Econova anlagt ett kombinerat reningssystem med lakvattenrecirkulering, luftad damm, intermittent översilning samt våtmark för rening av lakvattnet. Syftet med den här studien var att klarlägga vattenbalansen för reningssystemet och dess funktion, med avseende på näringsämnen och organiskt material samt undersöka eventuell förbättringspotential. Reningsystemet har anlagts i etapper sedan 2007 och var i sin helhet klart i juni 2011. Undersökningsperioden sträckte sig från maj 2011 till och med juni 2012.

Studien visade att mätningar av flöden internt och extern i systemet var mycket osäkra, vilket innebär att det var svårt att utvärdera reningssystemets funktion. Resultaten i utredningen tyder dock på en avsevärt högre lakvattenbelastning på våtmarken än de kända volymer som pumpades från lakvattendammen.

För att få släppa behandlat lakvatten till recipient skall det klara ett antal riktvärden avseende halter i det behandlade vattnet. Dessutom måste temperaturen, som dygnsmedelvärde överstiga 5°C. Haltkraven avseende näringsämnen klarar reningssystemet, men möjligheten att släppa det behandlade vattnet till recipient begränsades av haltkrav på totalt organiskt kol (TOC).

Den huvudsakliga reningen både när det gäller halt- och mängdreduktion sker i våtmarken. Rening per ytenhet för våtmarken är god. Den varierar under de tre undersökta delperioderna, med en lägre avskiljning under den kallare perioden. Reningseffekten tycks ha en positiv trend och en ytterligare förbättrad avskiljning kan förväntas, men ytterligare utvärdering behövs för att få med årstidsvariationer.

Lakvattendammen ser ut att ha en bra reducerande effekt på alla undersökta parametrar och där kan det finnas en potential för utökad avskiljning. Analysunderlaget är dock tunt och ytterligare provtagning och utvärdering av olika driftstrategier rekommenderas. Översilningen är tyvärr svår att utvärdera på grund av osäkra analysresultat och tecken på inläckage av lakvatten från okänt håll. Den bör dock kunna vara en viktig del i reningssystemet varför en grundlig undersökning av dess effekt och eventuella förbättringsmöjligheter rekommenderas. En viktig del för utvärdering av översilningen är att se över provtagningen för att minimera risken för kontamination av lakvatten från andra delar av systemet rekommenderas.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

| | |
|---|----|
| 1. Inledning | 1 |
| 1.2 Syfte | 2 |
| 2. Bakgrund..... | 3 |
| 2.1 Reningsprocesser | 3 |
| 2.2 Reningstekniker | 4 |
| 3. Material och metoder..... | 7 |
| 3.1 Områdesbeskrivning | 7 |
| 3.2 Häradsuddens lakvattenrening..... | 8 |
| 3.3 Drift av reningssystemet..... | 12 |
| 3.4 Undersökningsperioder | 14 |
| 3.5 Provtagning och analyser | 14 |
| 3.6 Vattenbalans | 15 |
| 3.7 Utvärdering av rening..... | 17 |
| 4. Resultat | 18 |
| 4.1 Lakvattnets sammansättning..... | 18 |
| 4.2 Externt tillrinnande vatten | 18 |
| 4.3 Vattenbalans | 19 |
| 4.4 Reningsresultat..... | 23 |
| 4.5 Areaspecifik rening | 28 |
| 5. Diskussion..... | 30 |
| 5.1 Vattenbalans | 30 |
| 5.2 Reningsresultat..... | 32 |
| 5.3 Areaspecifik rening | 34 |
| 6. Slutsats och förslag till fortsatt arbete | 37 |
| 7. Referenser | 38 |
| Bilaga 1. Reningskrav enligt tillstånd | 41 |
| Bilaga 2. Nederbörd och potentiell avdunstning..... | 43 |
| Bilaga 3. Utgående vatten från Våtmarken..... | 44 |

1. INLEDNING

En av de viktigaste miljöaspekterna när det gäller deponering av avfall är utsläpp till vatten. Lakvattnet bildas när nederbörd perkolerar genom en deponi och vattnets karaktär bestäms främst av vad som deponerats samt i vilket stadium deponin är. Deponier som anlagts efter att deponeringsförbudet av organiskt material införts 2005 (Miljödepartementet, 2005) har en annan sammansättning av avfall än äldre deponier. Det innebär att lakvatten från äldre deponier innehåller mycket lösligt organiskt material och ammoniumkväve, medan lakvatten från nyare deponier karaktäriseras av högre metallhalter (Ek m.fl., 2009).

Idag finns ett 80-tal anläggningar som tar emot avfall för deponering (Avfall Sverige, 2012), men det finns många avslutade deponier där det fortfarande krävs omfattande rening innan lakvattnet kan ledas till recipient.

Tidigare leddes lakvatten från de flesta deponier till kommunala reningsverk, men på senare tid har trenden gått mot alltmer lokala lösningar på grund av de kommunala reningsverkens strävan efter att koppla bort både lakvatten från deponier och komplexa industrivatten (Rosqvist m.fl., 2011).

När det gäller lösligt organiskt material och ammoniumkväve har biologiska reningmetoder visat sig ha mycket god effekt och vanliga metoder som används i dessa sammanhang är luftade dammar, markbaserade växtsystem, lakvattenrecirkulering, bevattning av energigrödor samt våtmarker och översilningsytor (Rosqvist m.fl., 2011).

Biologiska processer och hydrologiska förhållanden är säsongsberoende. Avskiljningen av kväve i exempelvis våtmarker är högre under varma förhållanden än kalla och reningseffekten blir således större i varmare klimat (Mæhlum, 1999). I kallare klimat kan den totala årligkväveavskiljningen per ytenhet dock förbättras om våtmarken även nyttjas under de kallare månaderna. Den totala kväveavskiljningen per ytenhet och år gynnas av hög hydraulisk belastning (Fleischer m.fl., 1994), men för att öka kväveavskiljningen under de kallare perioderna bör uppehållstiden förlängas jämfört med de varmare perioderna (Bastviken, 2006). En stor utmaning för många reningsanläggningar är, förutom rening av vattnet, hantering av de stora vattenvolymer som uppkommer under vissa perioder, exempelvis vid snösmältning eller kraftiga regn.

Olika anläggningar har således olika förutsättningar på grund av omgivning, externt tillrinnande vatten, klimatförhållanden och material som deponerats. För att utvärdera och optimera reningen och de olika reningsstegen för en specifik anläggning är det nödvändigt att utifrån platspecifika fakta undersöka hydrologi och reningsprestanda och reningspotential.

Lakvattnet från Häradsuddens deponi har tidigare letts till Norrköpings kommunala avloppsreningsverk Slottshagen för behandling. I analogi med utvecklingen generellt i Sverige och Econovas grundläggande filosofi om lokala kretslopp har man nu anlagt ett

kombinerat system med lakvattenrecirkulering, luftad damm, intermittent översilning samt våtmark för rening av lakvattnet.

Deponin och det efterföljande reningssystemet är beläget i en dalgång, vilket innebär att allt vatten från avrinningsområdet diffust hamnar i reningssystemet som behöver kunna hantera stora volymer vatten. Reningssystemet har anlagts i etapper sedan 2007 och färdigställdes i början av 2011. Slutligt tillstånd för reningssystemet erhöles 2009 och reglerar utgående halter avseende ett antal parametrar, se bilaga 1. Det är framför allt reduktion av ammoniumkväve $\text{NH}_4\text{-N}$ och totalt organiskt kol (TOC) tillsammans med flödeshanteringen bedöms som kritiska.

1.2 SYFTE

Syftet med detta examensarbete är att för Häradsuddens reningssystem klarlägga vattenbalans och reningsfunktion, med avseende på näringsämnen och organiskt material samt att utgående från denna utvärdering föreslå förbättringar eller behov av ytterligare undersökningar att föreslås.

2. BAKGRUND

2.1 RENINGSPROCESSER

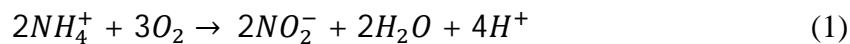
2.1.1 Kväve

Kväve är i de flesta fall den parameter i lakvatten från deponier som innebär störst påverkan på recipienten. Kvävet i lakvattnet förekommer normalt till ca 90% i form av ammonium (Hasselgren m.fl., 2003), vilket i recipienten kan orsaka syrebrist och eutrofiering för de fall då kväve utgör det begränsande näringsämnet (Svenskt Vatten, 2007).

De viktigaste processerna för avskiljning av kväve från lakvattnet är nitrifikation och denitrifikation.

Nitrifikation

Nitrifikation är en aerob process där nitrifikationsbakterierna omvandlar ammoniumkväve (NH_4^+) via nitrit (NO_2^-) till nitrat (NO_3^-). (Hasselgren m.fl., 2003). Det första steget kallas för nitrifikation och utförs av bakteriesläktet nitrosomas medan det andra steget där själva nitrifikationen slutförs utförs av nitrobakter (Ekvation 1 och 2) (Kadlec m.fl., 2009).



Nitrifikationen ökar med ökad temperatur, men man har sett att betydande nitrifikation även förekommer vid temperaturer mellan 0 och 5°C (Hasselgren m.fl., 2003).

Denitrifikation

Denitrifikation är en anaerob process där nitrat omvandlas till kvävgas, via mellanformerna nitrit och dikväveoxid (lustgas) (Hasselgren m.fl., 2003). Processen beskrivs enligt ekvation 3 (Kadlec m.fl., 2009).



Tillgång på lättnedbrytbar kolkälla är viktigt vid denitrifikation. Denitrifikationsbakterierna nyttjar syret i nitraten för sin metabolism, varför den gynnas av omväxlande syrefattiga och syrerika perioder. (Hasselgren m.fl., 2003).

2.1.2 Fosfor

Fosfor i lakvatten förekommer i partikulär samt löst form. Den partikulärt bundna fosfor avskiljs genom sedimentering eller filtrering genom mark och växtlighet och ansamlas således i sediment och döda växtdelar, medan den lösta fosfor kan tas upp av växterna. När systemet blir mättat finns det en risk att fosfor på sikt lakas ut i högre halter än vad som kan tas

omhand av reningssystemet (Kadlec m.fl., 2002) Normalt sett är dock fosforhalten låg i lakvatten (Hasselgren m.fl., 2003).

2.1.3 Organiskt material

Organiskt material förekommer precis som fosfor som partikulärt bundet eller löst i vattnet. Det partikulärt bundna materialet filtreras av växtligheten och adsorberas till markpartiklar och rottdelar genom mikroorganismer. Det lösta organiska materialet (BOD eller COD) bryts dock ner olika snabbt beroende av mikrobiell aktivitet och syretillgång. Detta kan ske exempelvis genom luftning eller genom växelvisa dränkta och dränerade perioder. (Hasselgren m.fl., 2003). Det är på grund av det organiska materialets syreförbrukande egenskaper som man vill begränsa dessa utsläpp då det kan få stora effekter på recipienten (Naturvårdsverket 2008).

2.1.4 Klorid

Kloridhalten är ofta hög i lakvatten från deponier där halter om från 360 till 4 900 mg/l är vanligt förekommande (Naturvårdsverket 2008). Detta kan orsaka skador på växtligheten både i det växtbaserade reningssystemet, men även för recipienten (Naturvårdsverket 2008). Då kloridjonen är lätttrörlig och inte tas upp eller förbrukas nämnvärt i växtsystemet kan denna parameter användas som spårningsparameter för lakvattnet vid exempelvis vattenbalansstudier (Hasselgren m. fl., 2003)

2.2 RENINGSTEKNIKER

2.2.1 Recirkulering av lakvatten

Det huvudsakliga syftet med recirkulering är kvittblivning av vatten. De mest förekommande recirkuleringsteknikerna är uppfuktning vid uppläggning, infiltrationsdammar, vattenspridare, vertikala brunnar och horisontella ledningar.

De studier som utförts avseende recirkulering av lakvattnet visar att återföringen i de flesta fall resulterar i bättre lakvattenkvalitet samtidigt som det främjar en snabbare nedbrytning av avfallet i deponin (Rosqvist m.fl., 2011). Den bästa effekten erhålls om återföringen sker jämnt över hela deponin. Kontroll på vattenbalansen är viktig eftersom återföringen påverkar de hydrologiska förhållandena. Sprinklerbevattning ger högre avdunstning än slang- eller rörsystem som ligger i marken (Hasselgren m.fl., 2003). För att ytterligare förbättra effekten av återföringen kan recirkuleringen kompletteras med användande av luftad damm, neutralisering samt uppvärmning av lakvattnet (Rosqvist m.fl., 2011).

Vid bevattning av växtlighet är det viktigt att välja tåliga växter som klarar av det närings- och kloridrika lakvattnet. Växter som brukar användas för lakvattenändamål är olika videarter, *Salix sp.*, och rörflen, *Phalaris arundinaceae*, där videna är mer snabbväxande och

har en större avdunstningspotential än rörflen, men å andra sidan har visat sig vara känsligare för det skarpa lakvattnet (Bramryd m.fl. 2006). Vid bevattning av beväxta slänter har rörflen visat sig fungera bra både ur tålighets synpunkt och för sin förmåga att växa i branta sluttningar.

2.2.2 Luftad damm

Luftad damm är en vanligt förekommande reningsmetod för lakvatten, men oftast som delsteg innan ytterligare rening i form av exempelvis en våtmark. Luftade dammar har visat sig ha en reducerande effekt på lättlösligt organiskt material (BOD) (Allard m.fl., 2007). Nitrifikation och nedbrytning av organiskt material ökar med ökad mängd luft och uppehållstid (Allard m.fl., 2007). Om pH överstiger 8 kan en viss reduktion av ammonium ske på grund av ammoniakavgång (Berge m.fl., 2005).

2.2.3 Översilning

Översilning, särskilt med användande av intermitterande beskickning, har visat sig vara en effektiv metod för rening av ammoniumrika lakvatten (Stråe, 2000). Principen vid översilning är att vatten leds ut över en svagt lutande yta och att mikroorganismerna i marken nitrifierar ammonium till nitrat. Det är mycket viktigt att översilningsytan blir jämn, utan små sänkor och förhöjningar, så att vattnet sprider sig över så stora delar av ytan som möjligt. En välutformad och rätt beskickad översilningsyta ger effektiv nitrifikation av ammoniumkväve och nedbrytning av BOD (Riddarstolpe m.fl., 2010). Även andra reningsmekanismer som denitrifikation, utfällning/inbindning av tung- och jordartsmetaller samt nedbrytning av organiska svårnedbrytbara substanser kan i viss mån förväntas ske i översilningen.

Med undantag för vintermånaderna är den potentiella nitrifikationen i översilningsytor god över hela säsongen och man har även observerat en stabilare nitrifikation och bakteriesammansättning i system som belastas året runt än i system som enbart används delar av året (Sundberg, 2008). Haltreduktionen minskar med ökad hydraulisk belastning men reningen i g/m^2 ökar. Längre översilningsyta påverkar reningen positivt, även om effektiviteten längs med översilningssträckan minskar (Stråe, 2000).

2.2.4 Anlagd våtmark

Våtmarker är områden som är vattenfyllda hela eller delar av året. Dessa områden har en god förmåga att rena framför allt kväve, och på senare tid har man anlagt fler och fler våtmarker för kontrollerad rening av olika typer av förorenade vatten (Kadlec m.fl., 2002). Vattnet behandlas genom ett flertal mekanismer såsom sedimentering, filtrering, oxidering, reduktion och adsorption.

Det finns tre huvudtyper av anlagda våtmarker (Kadlec m.fl., 2002):

- *FWS – Free Water Surface*
Dessa våtmarker anläggs med öppna vattenytor och liknar naturliga våtmarker.

- *HSSF – Horizontal subsurface flow*
Dessa våtmarker består av en grus- eller sandbädd som planteras med växter. Vatten leds från inlopp till utlopp i ett horisontellt flöde genom växternas rotzon, dvs. under grus-/sandytan.
- *VF- Vertical Flow*
Liknar HSSF, men här sprids vatten över bädden och perkolerar till botten där det samlas upp och leds bort.

När det gäller lakvattenrening är det ofta FWS som används och så är även fallet vid Häradsuddens behandlingsanläggning.

Anlagda våtmarker förväntas avskilja suspenderat material, organiskt material, fosfor, organiska föroreningar, metaller och framför allt kväve från lakvatten (Kietlinska 2004). Den process som är av störst betydelse när det gäller långsiktig kväveavskiljning är mikrobiell omsättning i form av nitrifikation och denitrifikation. Växtligheten har en central betydelse för dessa processer då den dels rent fysiskt fungerar som ett filter för vattnet men det är också på växtligheten och förnan som bakterierna växer. Där finns även en stor mängd negativt laddade ytor, vilka binder ammoniumjonerna, som på så sätt blir tillgängliga för nitrifikation (Andersson m.fl. 2002). När det enbart gäller minskning av halten ammoniumkväve tycks dock växtupptaget spela en mindre roll (Bialowiec 2012).

Avskiljning av näringsämnen är de processer som kräver längst uppehållstid (Kadlec 1999) och styr således, i de flesta fall, dimensioneringen av våtmarken.

3. MATERIAL OCH METODER

3.1 OMRÅDESBESKRIVNING

Häradsuddens deponi ligger ca en mil söder om Norrköping och deponiverksamhet har skett inom området sedan 1977. Det är en klassisk deponi, vilket innebär att den innehåller både organiskt och inert material. Verksamhetsområdet, som omfattas av lakvattensystemet, uppgår till ca 25 ha och är beläget i en dalgång där huvuddelen av det avrinnande vattnet från verksamhetsområdet rinner naturligt söderut mot det nyligen anlagda reningssystemet. Deponeringen har skett direkt på underliggande mark utan dränering i deponins botten.

År 2009 anlades första etappen av en ny bottentätning ovanpå en del av den befintliga deponin, vilken även fungerar som en form av tätning av den gamla deponin. Anläggande av ny bottentätning sker i etapper. I takt med utbyggnaden av ny bottentätning kommer lakvattenpåverkan från det tidigare deponerade organiska materialet att minska.

3.1.1 Markförhållanden

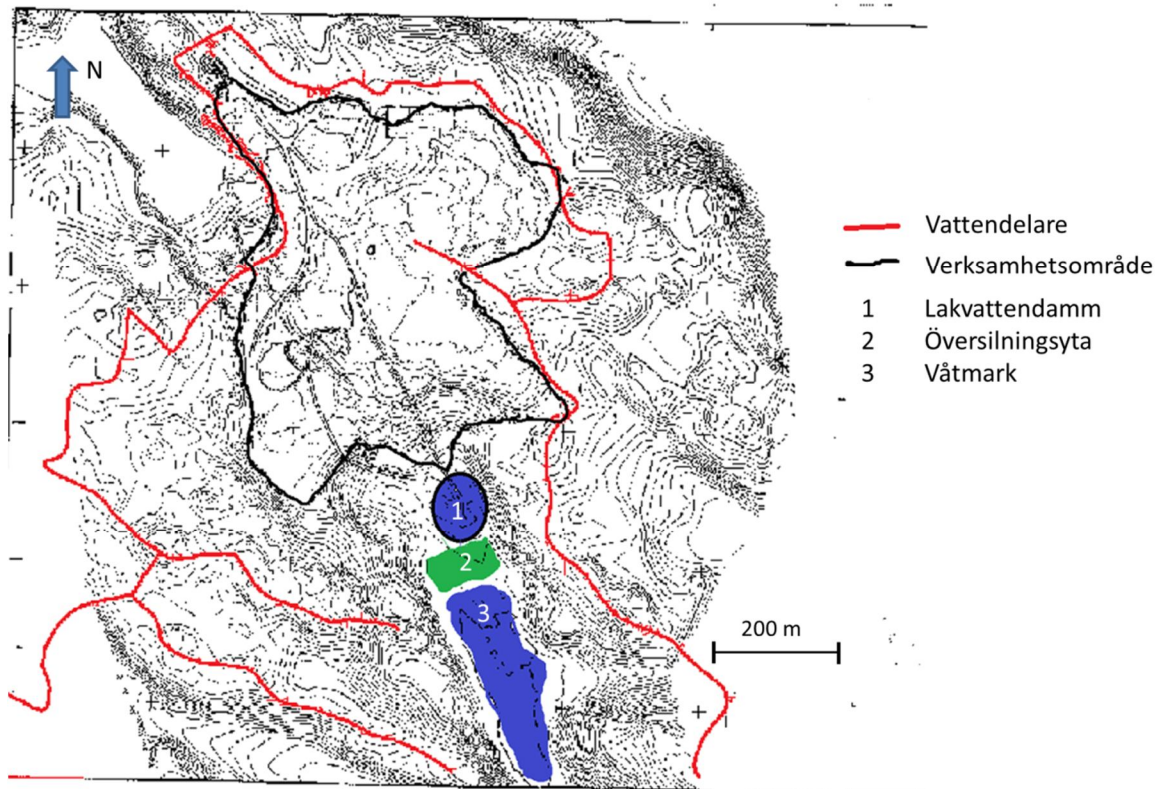
De naturliga marklagren i området nedströms deponin, där lakvattensystemet anlagts, består av en på berget vilande något sandig, siltig bottenmorän av en till några meters mäktighet. Moränen överlagras av en lös lera med torrskorpekaraktär i ytan. Lerans mäktighet uppges vara mindre än 5 m i deponins södra kant men ökar söderut i dalgångens sträckning upp till som mest 20 m, varav leran är lös till 5-15 m djup. Ställvisa inslag av gyttja kan finnas ovan leran. De övre metrarna utgörs i mitten av dalgången av kompressibla jordlager av torv och gyttja (Karlsson, 2008).

3.1.2 Klimatdata

För värden på nederbörd och potentiell evaporation (bilaga 2) har data från SMHIs station Gustorp använts, vilken är den väderstation som ligger närmast Häradsudden. Beräkning av potentiell evaporation har utförts av SMHI med hjälp Penmans formel.

3.1.3 Avrinningsområde

Avrinningsområdet (Figur 1) till våtmarkens utlopp uppgår till ca 50 hektar varav deponin utgör ca 25 ha (Karlsson, 2004). Det externa vattnet sipprar in längs med hela våtmarken, varför det inte är möjligt att mäta inflödet. Volymen tillrinnande externvatten kan således endast uppskattas utifrån area, klimat- och markförhållanden.



Figur 1. Karta med avrinningsområdet samt damm, översilning och våtmark inlagd, för Häradsuddens deponi, Norrköpings kommun.

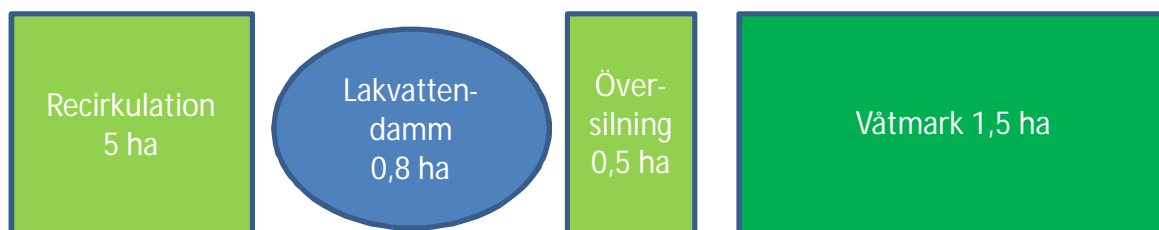
Stora delar av området utanför deponin har tunna jordlager eller berg i dagen, varför det är rimligt att räkna med en något större avrinning än normala 220 mm (Karlsson 2004). Mot bakgrund av detta bedöms en avrinning på 250 mm rimligt.

Längs med verksamhetsområdets västra sida bedriver Skanska bergtäkt. Vanligt är att täktverksamhet höjer avrinningen i platta områden med mycket jord och växtlighet, men i ett brantare område med hög andel berg i dagen är det normalt inte så. Täktverksamhet bortför även vatten genom fukthalt i levererat material och genom att vatten används. Det kan därför antas att avrinningen även fortsatt kommer att vara 250 mm/år (Sandström, 2012).

3.2 HÄRADSUDDENS LAKVATTENRENING

Reningssystemet vid Häradsudden består av en anläggning för förbehandling i form av luftad lakvattendamm samt recirkulering av det luftade lakvattnet till deponins gräsbeväxta slänter samt bevattning av ytor uppe på deponin.

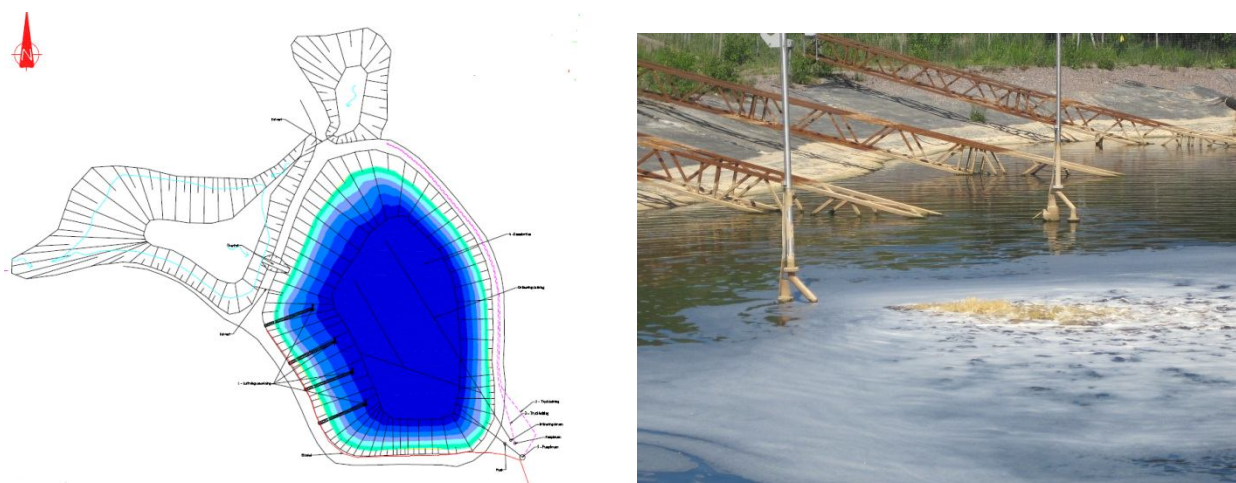
Efter förbehandlingen leds lakvattnet via en översilningsyta med intermittent beskickning till en våtmark innan det renande vattnet leds vidare till recipienten (Figur 2).



Figur 2. Ingående delar i reningen vid Häradsuddens deponi, Norrköping.

3.2.1 Luftad damm

Den luftade dammen rymmer ca 20 000 m³ och är klädd med en tät duk för att hindra grundvatten från att tränga in samt för att minimera risken för okontrollerat utläckage till grundvatten (Figur 3). I dammen finns fyra bottenluftare monterade på ställning, men under den studerade perioden kördes endast en luftare i taget. Innan lakvattnet leds till den luftade lakvattendammen samlas det upp i två uppsamlingsdammar.



Figur 3. Ritning (tv) över uppsamlingsdammar och luftad lakvattendamm samt luftare i drift (th) vid Häradsuddens deponi, Norrköping (Naturvårdsingenjörerna, 2009).

3.2.2 Recirkulering

Ungefär 5 ha av deponins slänter används för bevattning. På dessa ytor har ett system av sprinklerbevattning anlagts, vilket även kompletteras med tre stora bevattningskanoner uppe på deponin för brand- och dammbekämpning (Figur 4).



Figur 4. Bevattningssprinkler (tv) och Bevattningskanon (th) som används för recirkulering vid Häradsuddens deponi, Norrköpings kommun.

Recirkuleringsystemet är indelat i sju sektioner, varav fyra är släntsektioner och tre är bevattningskanoner uppe på deponin. Driften sker så att en bevattningssektion och en bevattningskanon körs under en timme, med undantag för den sista släntsektionen som är större än övriga släntsektioner och därför körs enskilt under en timme. När en sektion har bevattnats under en timme startar bevattningen istället på nästa sektionsekvens under en timme och så vidare (Hellgren muntl., 2012). Förväntad lakvattenreducering vid anläggning av bevattnings-/dammbekämpningssystemet var 25 000 m³ per (Rosenquist, 2009)

3.2.3 Översilning

Översilningsytan (Figur 5) är belägen nedströms en vall (bädd) av dränerande material, en s.k. spridarvall, och utgörs av en avjämnad yta med en lutning på ca 3,5 % som besåts med rörflen (Stråe m.fl., 2010).



Figur 5. Översilningsytan med dike i nederkant, Häradsuddens deponi.

Lakvattnet sprids så jämnt som möjligt utmed spridarvallen, via uppborrade hål i tryckledningarna. Denna spridarvall fungerar dessutom som ett biologiskt reningssteg (en slags modifierad markbädd) och förväntas ge en kompletterande rening på liten yta (Stråe m.fl., 2010).

Enligt driftinstruktionerna ska ytan beskickas intermittent, med lakvatten från lakvattendammen eller våtmarken, under 8 timmar per dygn (Stråe m.fl., 2010).

3.2.4 Våtmark

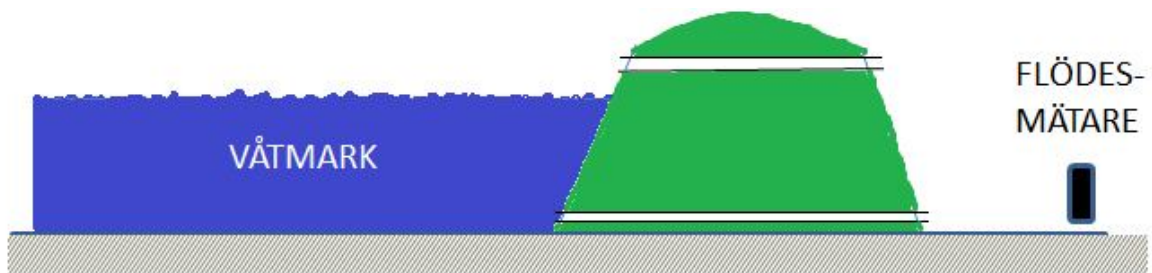
Våtmarksområdet har en volym av ca 20 000 m³ (Hellgren muntl. 2012) och utgörs av en FWS, dvs fri vattenyta (figur 6). Då området för översilning och våtmark ligger i en naturlig svacka har våtmarken skapats genom att en fördämning anlagts i områdets södra utlopp samt genom omfördelning av massor så att en vall har bildats runt våtmarken.



Figur 6. Våtmarken (tv) sett söderifrån upp mot deponiområdet och (th) norrifrån mot utlopp, Häradsuddens deponi.

Eftersom våtmarken har anlagts utan särskilt stor inverkan på marken förväntas den naturliga växtligheten kunna etablera sig, varför ingen särskild växtlighet har anlagts i våtmarken (Stråe m.fl., 2010).

Utflöde från våtmarken kan ske genom två rör (Figur 7) där det understa röret stängs när inget vatten får lämna våtmarken. Genom det övre röret bräddar vatten när våtmarken var full. Efter utsläppen från våtmarken var sedan hösten 2011 en flödesmätare som mäter det behandlade vattnet som lämnar våtmarken



Figur 7. Utflöde från våtmarken vid Häradsuddens deponi sker genom två rör beroende av fyllnadsgrad. Det undre röret kan stängas om inget utflöde önskas. Utsläppen följs av en flödesmätare där allt utgående vatten ska passera

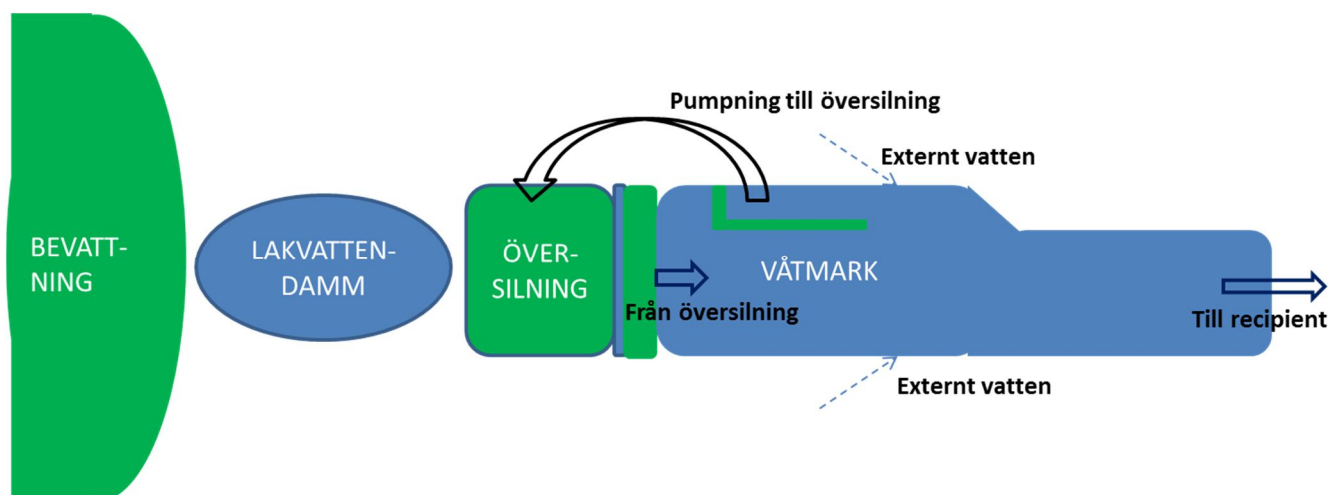
3.3 DRIFT AV RENINGSSYSTEMET

Reningssystemet har olika drift beroende på årstid och vattenvolymer. I enlighet med villkor 20 i anläggningens tillstånd får man endast släppa vatten till recipient under vegetationsperioden när dygnsmedeltemperaturen överstiger +5 °C.

3.3.1 Vinter

Under vintern sker framför allt lagring av vatten i lakvattensystemets magasin, vilka utgörs av fördammar, lakvattendamm och våtmarken (Figur 8).

Så långt det är möjligt är tanken att lakvattendammen, som ska ha så lite vatten som möjligt när vinterperioden startar, fungerar som magasin för lakvattnet medan våtmarken fungerar som lagringsmagasin för i huvudsak externt vatten. Under vinterperioden pumpas endast små volymer över översilningsytan.

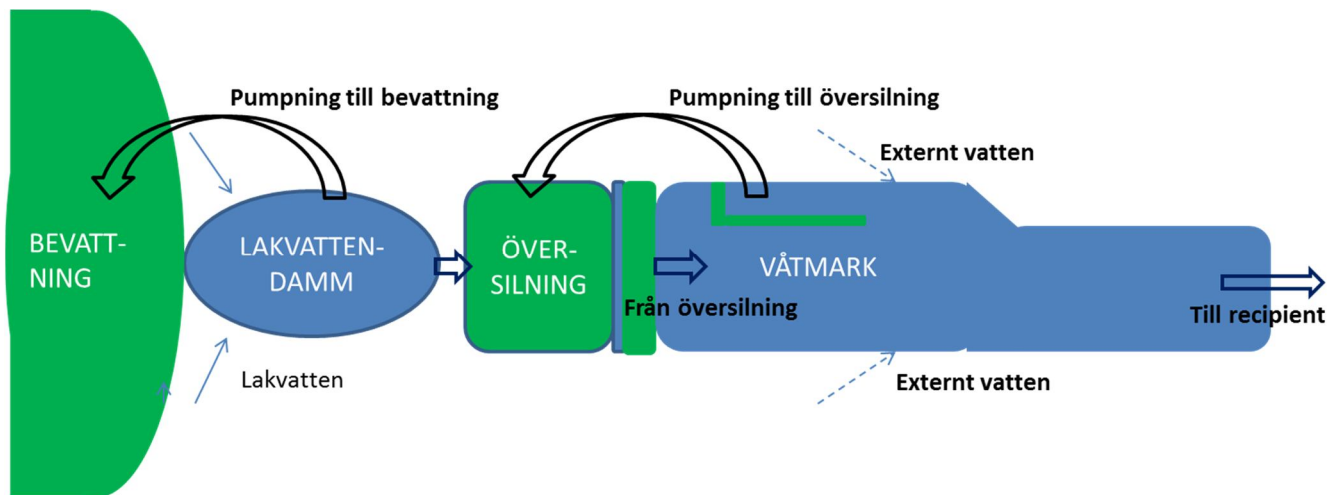


Figur 8. Vattenflöden under vintersystemet för Häradsuddens deponi.

3.3.2 Vår

När lakvattendammen är full och växtligheten börjar komma igång på översilningsytan pumpas vatten från lakvattendammen till översilningsytan (Figur 9). Då det inte pumpas lakvatten från lakvattendammen över översilningsytan recirkuleras lakvatten från våtmarken för att uppnå en så bra avskiljning som möjligt.

Så snart växtligheten har kommit igång i deponins slänter börjar vatten pumpas upp för recirkulering över bevattningsytorna.



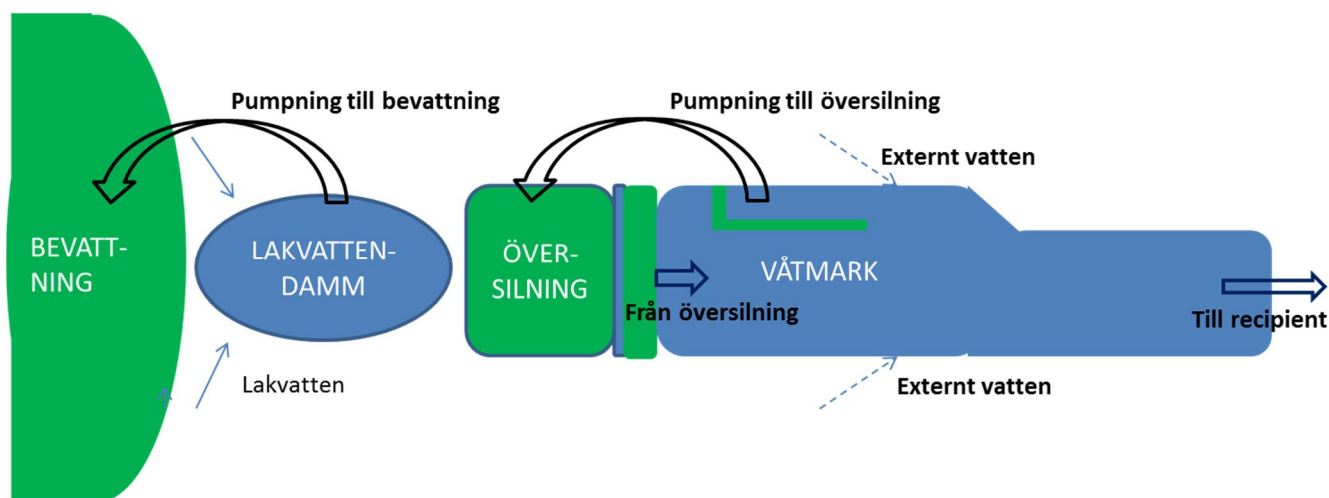
Figur 9. Vattenflöden under vårsystemet för Häradsuddens deponi.

3.3.3 Sommar/ höst

Under sommaren är målet att pumpa så mycket vatten som möjligt upp på bevattningsytorna för att skapa stor reduktion av vattenmängden genom avdunstning (Figur 10).

Endast om recirkulationssystemet inte klarar av att hålla nivån nere i lakvattendammen pumpas lakvatten till översilningsytan. Översilningsytan beskickas dock under denna period i huvudsak med vatten från våtmarken.

Under förutsättning att riktvärdena hålls sker utflöde av behandlat vatten till recipient.



Figur 10. Huvudsakliga vattenflöden under sommar/höstsystemet för Häradssuddens deponi.

3.4 UNDERSÖKNINGSPERIODER

Lakvattensystemet undersöktes under perioden 1 maj 2011 till 30 juni 2012.

Lakvattendammen och recirkuleringen undersöktes med avseende på perioden 1 maj 2011 till 30 april 2012, vilken utgör ett år. Våtmarken och översilningsytan var färdigställd och redo för att ta emot lakvatten i juni 2011 och dess vattenbalans samt reningseffekt beräknades från 1 juni 2011 till 30 maj 2012, dvs. ett år. De olika driftstrategierna under denna tid delades in i tre perioder (Tabell 1).

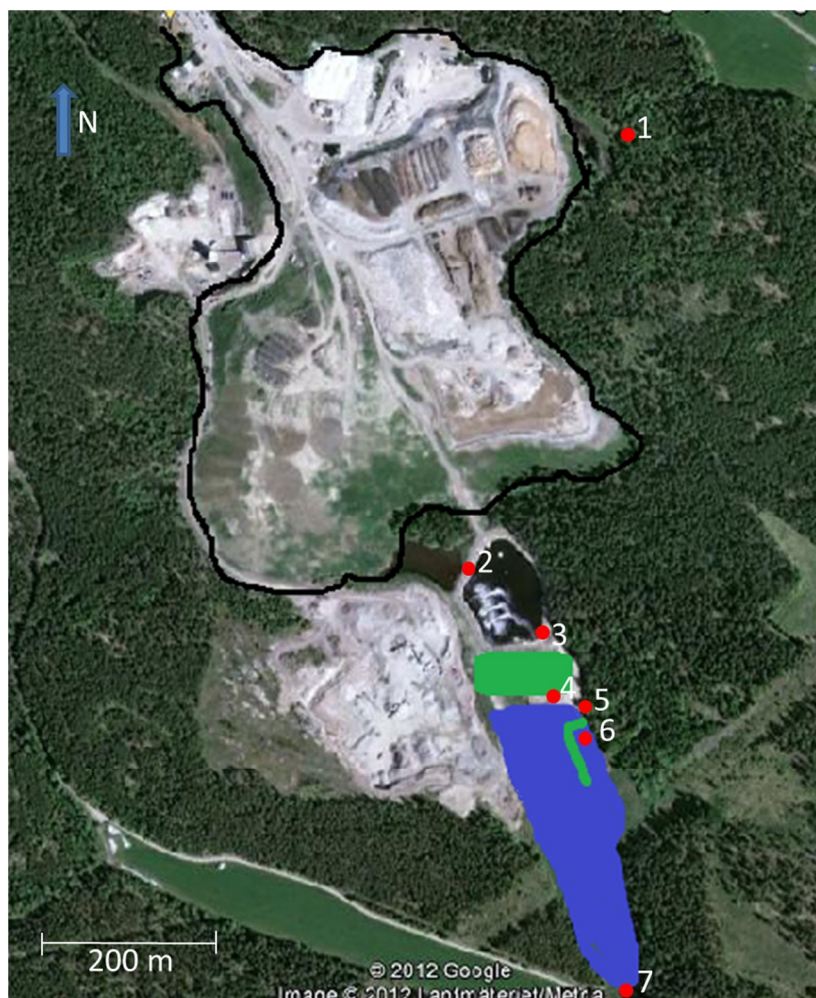
Tabell 1. Periodindelning för drift av reningssystemet vid Häradssuddens deponi.

| Periodnr. | Tidperiod |
|-----------|---------------------------|
| 1 | 1 jun 2011-31 okt 2011 |
| 2 | 1 nov 2011 - 26 mars 2012 |
| 3 | 27 mar 2012 - 30 maj 2012 |

3.5 PROVTAGNING OCH ANALYSER

Reningspotentialen utvärderades med avseende på totalkväve (N_{tot}), ammoniumkväve (NH_4-N), totalfosfor (P_{tot}) och totalt organiskt kol (TOC) eftersom dessa parametrar dels ingår som riktvärden för utsläpp till recipient, dels är de parametrar som innebär den största utmaningen för reningssystemet. Som en del i att uppskatta vattenbalansen undersöktes även klorid.

Provtagning av lakvattnet från de olika reningsstegen (Figur 2) skedde genom stickprov 1-2 gånger per månad under reningssystemets aktiva period och mer sällan under vinterperioden. Som bakgrundsvärden för externt tillrinnande vatten användes ett medelvärde, grundat på stickprov från ett ytligt grundvattenrör under perioden 2012-2012, samt ett prov på tillrinnande vatten (Figur 11).



1. Grundvattenrör för bakgrundsvärde
2. Innan lakvattendamm
3. Efter lakvattendamm
4. Efter översilning
5. Tillrinnande externvatten
6. Från våtmark till översilning
7. Till recipient

Figur 11. Provtagningspunkter vid Häradsuddens deponi (Google maps, 2012)

Provtagningen har utförts av Econovas personal och vattnet har sedan skickats till Eurofins laboratorium för analys enligt ackrediterade metoder (Tabell 2).

Tabell 2. Analysmetoder för analyserade parametrar, vid Häradsuddens deponi.

| Parameter | Metod | Mätosäkerhet (%) |
|-----------------------------------|-------------------------------|------------------|
| Totalt organiskt kol, TOC | SS-EN 1484 | 10 |
| Kväve, N | SS-EN ISO11905-1 mod/KONE | 10 |
| Ammoniumkväve, NH ₄ -N | SS-EN 1732:2005/Kone | 15 |
| Fosfor, P | SS-EN ISO 6878:2005/TRAACS | 10 |
| Klorid, Cl | St Meth 4500-Cl/Kone | 15 |

3.6 VATTENBALANS

Då alla kända flöden inom reningsystemet sker genom pumpning flödena beräknades genom kapacitet och gångtider för pumpar (Bilaga 3). Utflödet från våtmarken har mätts av Econovas

personal. Från och med oktober 2011 har mätningen skett med hjälp av Thomsons-kibord, där flödet från oktober och november mättes manuellt med mätsticka som stickprov två gånger per månad och därefter avlästs kontinuerligt genom onlinemätning. Innan oktober 2011 har uppskattning utifrån våtmarkens volym skett då våtmarken tömdes i oktober. Vid några tillfällen har det blivit störning i avläsningen av flödesmätaren, på grund av exempelvis isbildning. Uppskattning av medelutflödet för månaden skedde med hjälp av SMHIs vattenweb för avrinning generellt från området.

Flöde och koncentration i vattnet antogs i beräkningar, om inget annat anges, vara jämnt fördelat över månaden varför månadsmedelvärden har tillämpats. Halter i lakvattnet byggde på ett stickprov taget vid de tillfällen då lakvatten leddes till översilningsytan. Bakgrundshalten byggde på ett antal medelvärden sedan 2010 av stickprov från ett ytligt grundvattenrör i anslutning till verksamhetsområdet samt ett stickprov på externt tillrinnande vatten till våtmarken (Figur 11).

Beräkning av externt tillrinnande vatten till våtmarken (Ekvation 4) har utfördes för varje tidsperiod.

$$V_{extv} = V_{utg} - V_{lakv} + E - N \quad (4)$$

Där:

V_{extv} = externt tillrinnande vattenvolym i m³/period

V_{utg} = från våtmarken utgående vattenvolym i m³/period

V_{lakv} = från lakvattendammen utgående vattenvolym i m³/period

E = evapotranspiration för våtmark och översilningsyta i m³/period

N = nederbörd för våtmark och översilningsyta i m³/period

Våtmarken består till största delen av öppen vattenyta varför evapotranspirationen har antagits vara lika med den potentiella evapotranspirationen för området. Vidare antogs det i beräkningarna att evapotranspirationen från våtmark och översilningsyta var lika stor som nederbörden.

Eftersom klorid inte förbrukas nämnvärt i reningssystemet (Hasselgren m. fl., 2003) beräknades kloridbalansen (Ekvation 5 och 6) för att kontrollera och verifiera vattenbalansen i översilningsytan och våtmarken.

$$C_{lakv} \cdot V_{lakv} + C_{extv} \cdot V_{extv} = C_{utg} \cdot V_{utg} + \Delta C_{v\hat{a}tm} \cdot \Delta V_{v\hat{a}tm} \quad (5)$$

$$V_{utg} = V_{lakv} + V_{extv} \quad (6)$$

Där:

C_i = kloridkoncentration i g/(m³)

V_i = vattenvolym i m³/period

3.7 UTVÄRDERING AV RENING

Reningsresultaten utvärderades med avseende på både halter och mängder som avskilts i de olika reningsstegen. Halterna ut från anläggningen jämfördes med de villkor som gäller för utsläpp till recipient.

För att utvärdera hela reningsystemets kapacitet att avskilja näringsämnen och organiskt material beräknades massbalansen in till och ut från systemet beräknats, varefter reduceringsgraden räknades ut (Ekvation 7).

$$R = \frac{C_{utg} \cdot V_{utg}}{C_{lakv} \cdot V_{lakv} + C_{extv} \cdot V_{extv}} \cdot 100 \quad (7)$$

Där:

R= Reduktion i %

C_i= Koncentration i g/(m³)

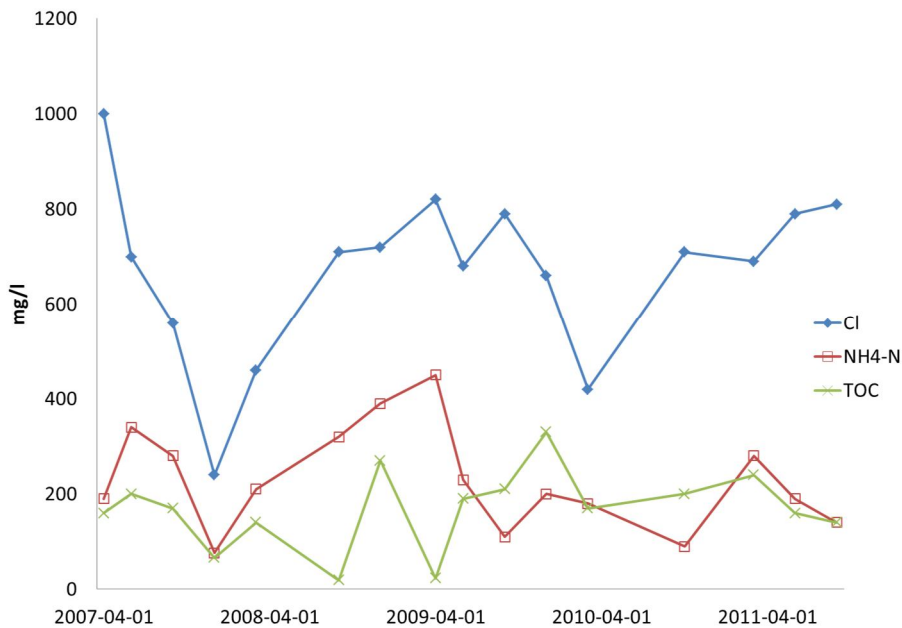
V_i= Vattenvolym i m³/period

Vid beräkning av mängdreduktion har översilningsytan och våtmarken setts som en enhet. Ingående lakvatten till systemet är lakvatten från lakvattendammen och utgående vatten är från den punkt då det behandlade vattnet släpps till recipient. Lakvattendammens reningseffekt har inte räknats med i massbalansen.

4. RESULTAT

4.1 LAKVATTNETS SAMMANSÄTTNING

Lakvattnet från Häradsuddens lakvattendamm karaktäriserades av höga halter ammoniumkväve, klorid och organiskt material. P_{tot} förekom i måttliga mängder medan metallhalterna under undersökningsperioden generellt var låg. Halterna i lakvattnet varierade över tid (Figur 12).



Figur 12. Variationer i halterna av NH_4-N , TOC och Cl i lakvatten från Häradsuddens deponi under perioden 2007-2011.

Lakvattnets pH-värde låg under perioden okt 2010-apr 2012 tämligen jämnt med ett medel på 8 (standardavvikelse 0,1) från 6 provtillfällen. Lakvattnet hade vidare en medelhalt för P_{tot} på 1,3 mg/l (standardavvikelse 0,7), även i detta fall från 6 provtillfällen.

4.2 EXTERNT TILLRINNANDE VATTEN

Avrinningen från avrinningsområdet exklusive de delar som avvattnas via lakvattensystemet förväntas uppgå till ca 65 000 m³/per år (250 mm/år från 26 ha).

Tabell 3. Sammansättning av uppmätta halter (mg/l) i grundvatten vid Häradsuddens lakvattenreningsystem under perioden maj 2010-juni 2012; medelvärde med standardavvikelse inom parentes.

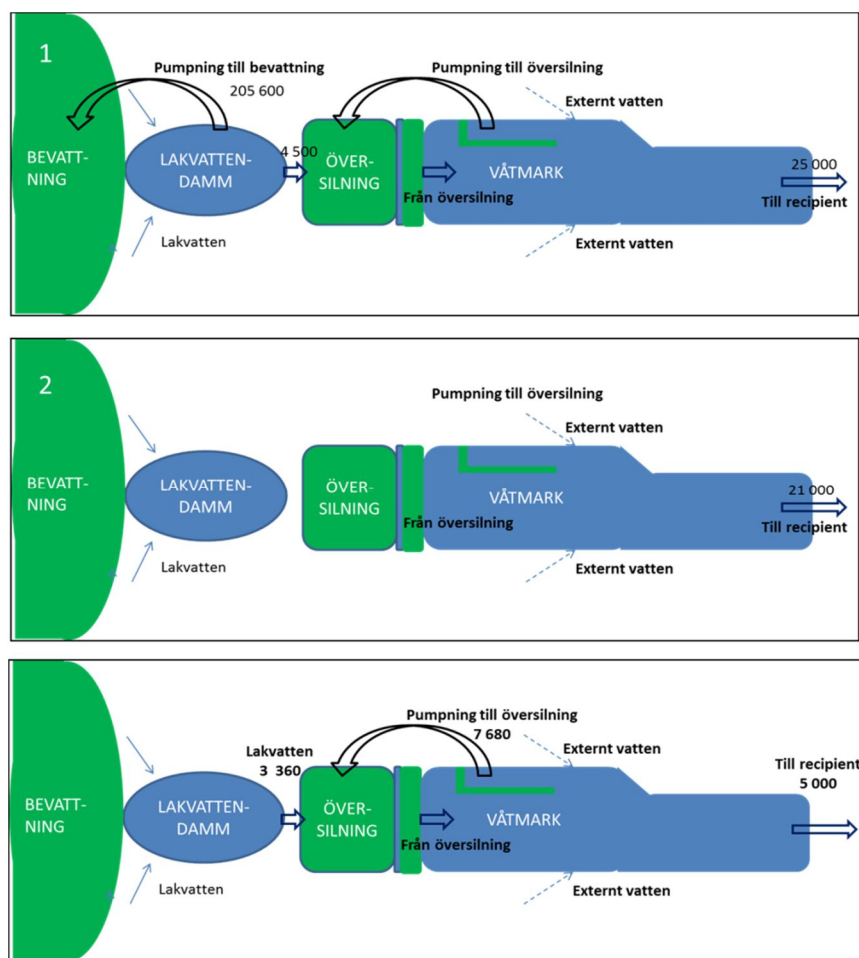
| | 2010-05-22 ¹ | 2011-05-05 ¹ | 2011-10-13 ¹ | 2012-04-26 ¹ | 2012-06-05 ² | Medel |
|--------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------|
| TOC | 37 | 2,8 | 63 | 83 | 25 | 42,2 (31,5) |
| NH ₄ -N | 0,27 | 0,025 | 0,19 | 0,21 | 0,034 | 0,1 (0,1) |
| N _{tot} | 0,34 | 0,16 | 2,9 | 6,2 | 1,3 | 2,2 (2,5) |
| P _{tot} | 0,1 | 0,014 | 0,74 | 0,82 | 1,2 | 0,6 (0,5) |
| Cl | 22 | 8,3 | 65 | 33 | 3,2 | 26,3 (24,6) |

¹Grundvattenrör

²Tillrinnande vatten provtaget i punkt 5 fig 11.

Halterna i grundvattnet varierade kraftigt under perioden (Tabell 3), standardavvikelsen för medelvärdet var i princip lika stor som medelvärdet för alla undersökta parametrar. I nedanstående beräkningar har dock medelvärdet använts som bakgrundsvärde.

4.3 VATTENBALANS



Figur 13. Pumpade och uppmätta flöden (m³) för olika driftsperioder, vid Häradsuddens deponi. Period 1 1/5 – 31/10 2011; period 2 17/10-11 – 26/3-12; period 3 27/3 – 30/5 2012.

4.3.1 Driftregimer

Recirkulering av lakvattnet till deponins gräsbeväxta slänter skedde mellan den 1 maj och 16 oktober (Period 1, Figur 13). Den 11 juni 2011 öppnades flödet mellan lakvattendammen och översilningsytan med efterföljande våtmark. Ytan beskickades från lakvattendammen under 40 dygn, varefter det flödet stängdes och översilningen beskickades med behandlat lakvatten från våtmarken. Utflödet från våtmarken var stängt, men en viss bräddning skedde under den senare delen av perioden på grund av att våtmarken var full. Den 16 oktober 2011 öppnades utflödet från våtmarken och den tömdes under ca två veckor.

Period 2 startade den 1 november 2011 och varade till den 26 mars 2012. Under denna period fick Econova dispens från villkor 20 (Bilaga 1), innehållande krav på vattentemperatur över 5 °C för att få släppa vatten till recipient, med motivet att inget nytt lakvatten tillfördes området utan våtmarken skulle endast bestå av externt vatten. Lakvattnet från området samlades upp i lakvattendammen och pumpades inte vidare till översilningen. Utloppet från våtmarken var öppet så att externt vatten från avrinningsområdet kunde dräneras ut genom våtmarken (Figur 13) utan att vattennivån höjdes.

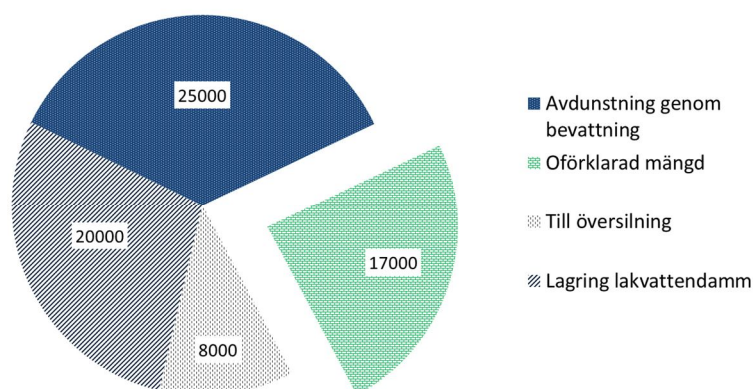
Period 3 varade från den 27 mars 2012 till och med den 30 maj 2012. Under de första 30 dyggen beskickades översilningsytan med lakvatten från lakvattendammen, varefter behandlat lakvatten från våtmarken recirkulerades (Figur 13). Utflödet från våtmarken stängdes samma dag (27/3) som lakvatten började överledas. Under denna period pumpades inget lakvatten till bevattningsytorna, dels på grund av att växtligheten på ytorna inte kommit igång, men mot slutet av perioden på grund av ett pumphaveri.

Riktvärde för TOC (medelvärde 75 mg/l jämfört med riktvärde 50 mg/l) var inte uppfyllt under perioden och utloppet från våtmarken var därför stängt. Våtmarken blev dock överfylld under perioden, vilket innebär att en del vatten bräddade från systemet.

4.3.2 Recirkulering

Lakvattenbildningen från deponin uppskattades, baserat på tidigare uppmätta lakvattenmängder, till 70 000 m³/år (Karlsson, 2008). Enligt SMHIs vattenwebb låg avrinningen från området 2011 något över medelavrinningen (0,236 m³/s) jämfört med medelavrinningen för åren 1999-2011 som var 0,213 m³/s (SMHI, 2012)

Under period 1 pumpades 205 600 m³ genom bevattningssystemet 1 (Figur 14). Den potentiella avdunstningen från bevattningsområdet under samma period beräknades till 25 000 m³ och lagringen i lakvattendammen uppskattades utifrån dammens volym till 20 000 m³.



Figur 14. Vattenbalans (m^3) för recirkuleringen över bevattningsytornas 5 ha, under perioden 1/5-11 till 30/4-12, vid Häradsuddens deponi. Den totala lakvattenvolymen för perioden var 70 000 m^3 , enligt beräkningar gjorda före byggande av lakvattensystemet.

Med en lakvattenbildning på 70 000 m^3 /år, avdunstning genom bevattning på 25 000 m^3 /år och en lakvattenlagring på 20 000 m^3 /år borde det under perioden ha varit 25 000 m^3 som gick vidare till översilning och våtmark. Den uppmätta volym lakvatten som pumpades till våtmarken under perioden via översilningen var 8 000 m^3 , vilket innebär en differens på ca 17 000 m^3 som inte kan förklaras (Figur 14).

4.3.3 Översilning och våtmark

Under period 1 pumpades 4 500 m^3 lakvatten från lakvattendammen till översilningen, tillrinningen under denna period beräknades till 20 500 m^3 . Allt vatten under period 1 släpptes ut i slutet av perioden. Under period 2 bestod det kända tillskottet i våtmarken endast av 21 000 m^3 externt vatten och ingen lagring i våtmarken skedde. Period 3 pumpades 3 400 m^3 från lakvattendammen till översilningen, utgående vatten uppmättes till 5 000 m^3 och 20 000 m^3 lagrades i våtmarken. Det externt tillrinnande vattnet beräknades under period 3 till 22 600 m^3 (Tabell 4).

Tabell 4. Vattenbalans (m^3) för systemet översilning+våtmark vid Häradsudden 1/5-11 – 31/4-12. IN=pumpade inflöden från lakvattendammen; UT= uppmätta eller uppskattade utflöden ; Lagring VM = lagring i våtmark vid periodens slut; IN_{ExtCl} = extern tillrinning beräknad från kloridbalans; IN_{ExtVol} =extern tillrinning beräknad utifrån uppmätta eller uppskattade flöden (Tabell 5)

| Tidperiod | IN | UT | Lagring VM | IN_{ExtCl} | IN_{ExtVol} |
|-----------|------|--------|------------|--------------|---------------|
| 1 | 4500 | 25000 | 0 | 140 000 | 20 500 |
| 2 | 0 | 21 000 | 0 | 240 000 | 21 000 |
| 3 | 3360 | 5 000 | 20 000 | 190 000 | 22 600 |

Totalt under de tre undersökta perioderna pumpades det in 7 900 m³ lakvatten till översilningen och våtmarken samt 64 000 m³ externt vatten.

Kloridhalten i lakvatten från lakvattendammen var under period 1 2,7 gånger högre än i det behandlade utgående vattnet från våtmarken. För period 3 var kloridhalten i lakvattendammen 2,4 gånger högre än i det utgående vattnet från våtmarken (Tabell 5).

Tabell 5. Kloridhalter (mg/l) i lakvatten som pumpades från lakvattendammen, leddes ut från våtmarken samt i våtmarken vid Häradsuddens deponi. Standardavvikelse anges inom parentes.

| Tidperiod | IN ¹ | UT ² | Lager VM |
|-----------|-----------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 790 | 290 | - |
| 2 | - | 295(7) ³ | - |
| 3 | 680 | 280 (56) ⁴ | 280 (56) ⁴ |

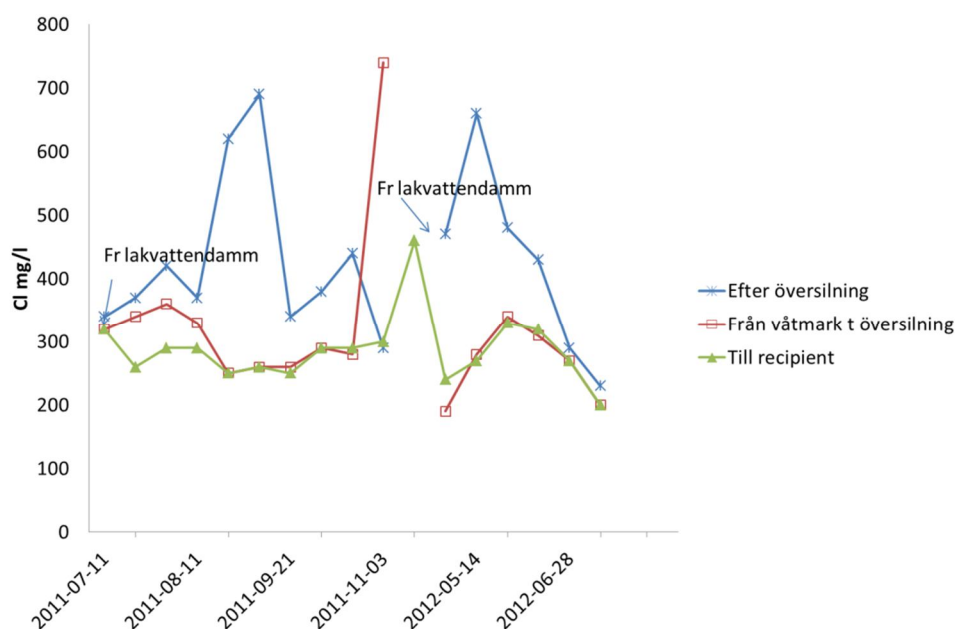
¹ Kloridhalt i lakvatten i samband med det tillfälle då det pumpades från lakvattendammen till översilning.

² Kloridhalt ut från våtmarken.

³ Medelkloridhalt under perioden utifrån 7 provtagningstillfällen.

⁴ Medelkloridhalt under perioden utifrån 2 provtagningstillfällen.

Under den studerade perioden varierade kloridhalten betydligt i provpunkten efter översilningen (Figur 15). Kloridhalten efter översilningen var i princip fördubblad vid provtagningarna 28/5-11, 9/9-11 samt 14/5-12. Dessa tillfällen sammanföll inte med att lakvatten beskickade översilningen.



Figur 15. Kloridhalter vid Häradsuddens deponi.

Kloridhalten ut från våtmarken var (med undantag för vid provtagningen 21/12-11) tämligen stabil (Figur 15)

Med antagandet att det externt tillrinnande vattnet hade en kloridhalt på 26 mg/l (Tabell 3), pumpade volymer lakvatten från lakvattendammen samt mätta och uppskattade flöden ut från våtmarken, skulle det, enligt kloridbalansen, under de tre undersökta perioderna ha runnit till 140 000, 240 000 respektive 190 000 m³, dvs. avsevärt mer än vad flödesmätningarna och uppskattningarna indikerar.

4.4 RENINGSRESULTAT

4.4.1 Lakvattendammen

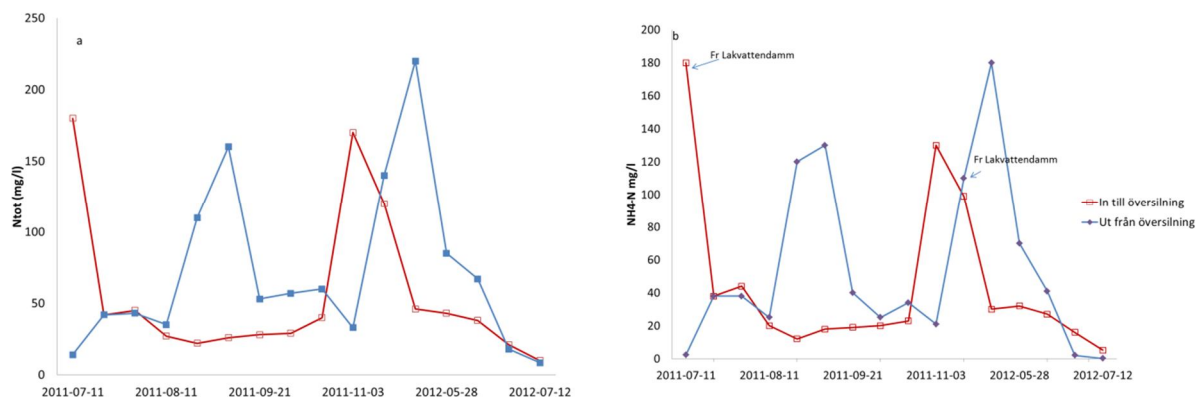
Lakvatten före och efter den luftade lakvattendammen analyserades vid två tillfällen (21/12-11 och 26/4-12). Utifrån dessa fåtal analyser var haltreduktionen av N_{tot} 66% och av NH₄-N 72%. P_{tot} reducerades med 60% och TOC med 49% (Tabell 6).

Tabell 6. Halter (mg/l) av NH₄-N, P_{tot} och TOC i inflöde och utflöde till lakvattendammen vid Häradsuddens deponi. Medelvärde och standardavvikelse av två stickprov tagna 21/12-11 och 26/4-12.

| | IN | UT | Red. (%) |
|--------------------|----------|-----------|----------|
| N _{tot} | 385 (35) | 130(14) | 66 |
| NH ₄ -N | 335(35) | 93 (9) | 72 |
| P _{tot} | 2 (0,6) | 0,8 (0,1) | 60 |
| TOC | 225 (21) | 115 (7) | 49 |

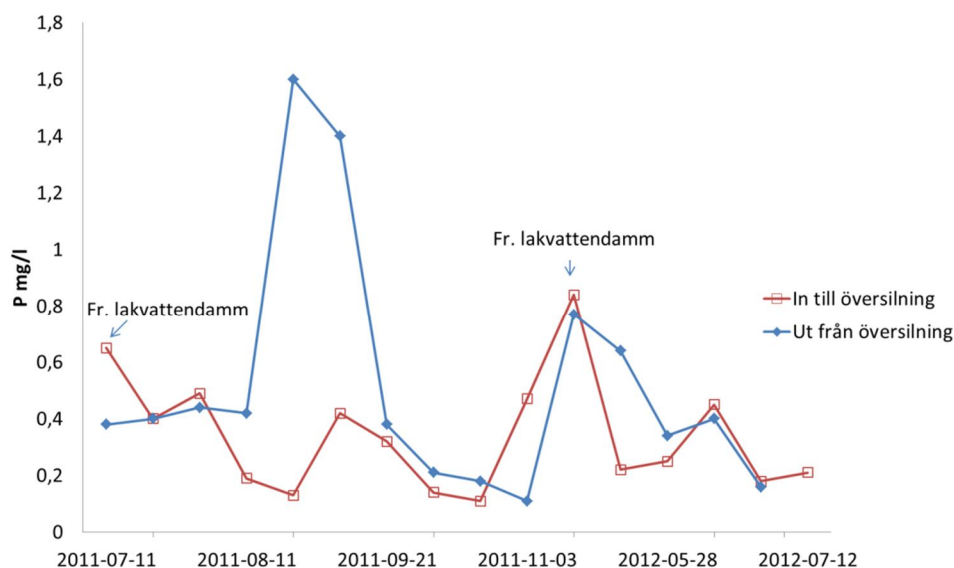
4.4.2 Översilning

Då översilningsytan beskickades med lakvatten den 11/7-11 minskade halten ammoniumkväve från 180 till 2,3 mg/l (99 % reduktion; Fig 16). Den 27/4-11 ökade dock halten efter översilningen, 110 mg/l, jämfört med det ingående lakvattnet, 99 mg/l, från lakvattendammen (ca 10 % ökning). Vid övriga tidpunkter då lakvatten från våtmarken leddes till översilningen ökade ammoniumhalten eller låg ungefär lika före och efter översilningen. Undantaget var den sista provtagningen då en liten haltminskning efter översilningsytan observerades.



Figur 16. Halten NH₄-N (a) och N_{tot} (b) före och efter översilningen vid Häradsuddens deponi, under perioden 11/6-11 till 30/6-12.

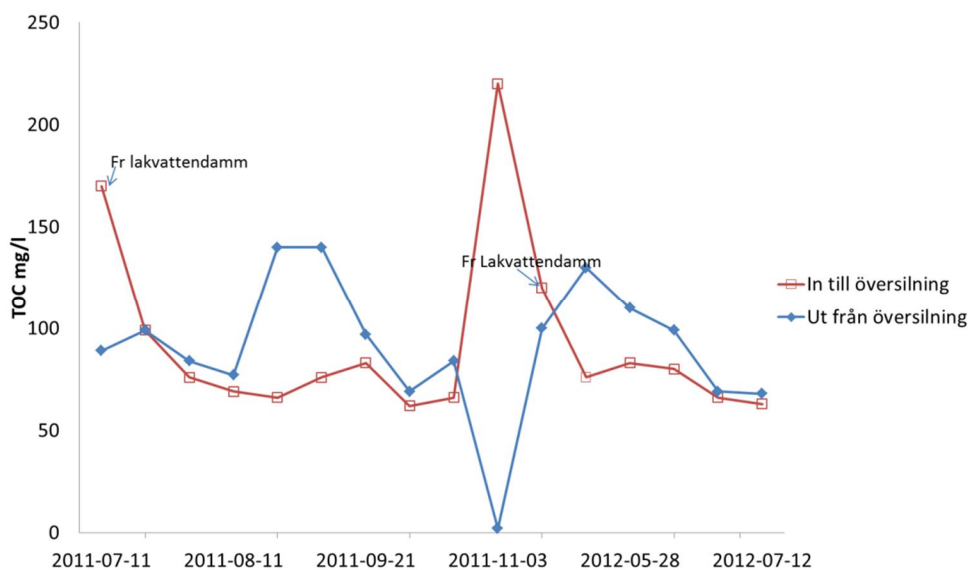
In och utgående N_{tot} -halter följde samma mönster som ammoniumkvävet (Figur 16). Då lakvatten leddes över översilningsytan den 11/7-11 minskade halten N_{tot} från 180 till 14 mg/l (78 % reduktion). Den 27/4-11 ökade dock halten efter översilningen till 140 mg/l, jämfört med det ingående lakvattnet som hade en N_{tot} -halt på 120 mg/l, från lakvattendammen (ca 17 % ökning).



Figur 17. P_{tot} före och efter översilningen vid Häradsuddens deponi, Norrköping. Med undantag för de två perioder då vatten från lakvattendammen beskickade ytan, recirkulerades lakvatten från våtmarken.

Då lakvatten från lakvattendammen leddes över översilningsytan den 11/7-11 minskade halten P_{tot} från 0,65 till 0,38 mg/l (40 % reduktion; figur 17). Den 27/4-11 minskade halten efter översilningen från 0,84 mg/l till 0,77 mg/l (ca 10 % reduktion).

Under de perioder då lakvatten recirkulerades från våtmarken var halten P_{tot} vid de flesta tillfällen högre efter översilningsytan än i det ingående vattnet, men skillnaden före och efter var i många fall inte så stor, 0-0,09 mg/l. Vid provtagningarna den 25/8-11, 9/9-11 och 14/5-12 var dock P_{tot} 3-10 gånger högre efter översilningen än före.



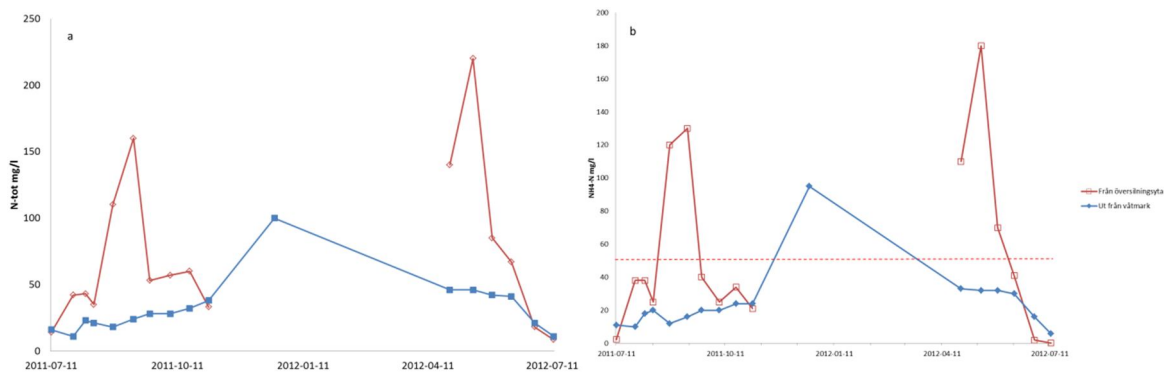
Figur 18. TOC-halter före och efter översilningen vid Häradsuddens deponi, Norrköping. Med undantag för de två perioder då vatten från lakvattendammen beskickade ytan, recirkulerades lakvatten från våtmarken.

TOC-halten följde samma mönster som P_{tot} -halterna och var högre efter översilningytan än i det vatten som recirkulerades från våtmarken (Figur 18). När lakvatten från lakvattendammen leddes över översilningsytan den 11/7-11 minskade dock halten totalt organiskt kol från 170 till 89 mg/l (50 % reduktion). Den 27/4-11 minskade halten från 120 mg/l till 100 mg/l efter översilningen (ca 20 % reduktion).

Liksom för P_{tot} var TOC-halten markant högre efter översilningen än före vid provtagningarna den 25/8-11 och 9/9-11. Även provtagningstillfället 3/11-11 uppvisade ett starkt avvikande resultat, som dock tros bero på mätfel.

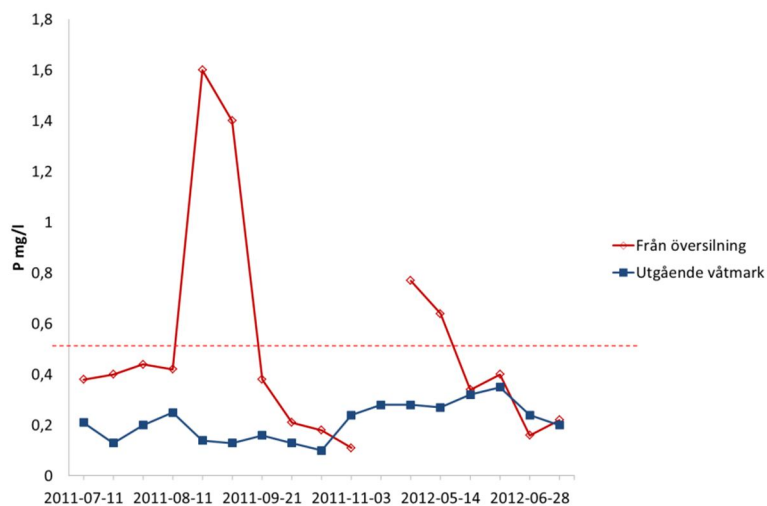
4.4.3 Våtmark

Vid undersökning av haltreduktionen för våtmarken användes vattnet från översilningen som ingående värde, vilket har jämförts med halten i utsläppt vatten från våtmarken.



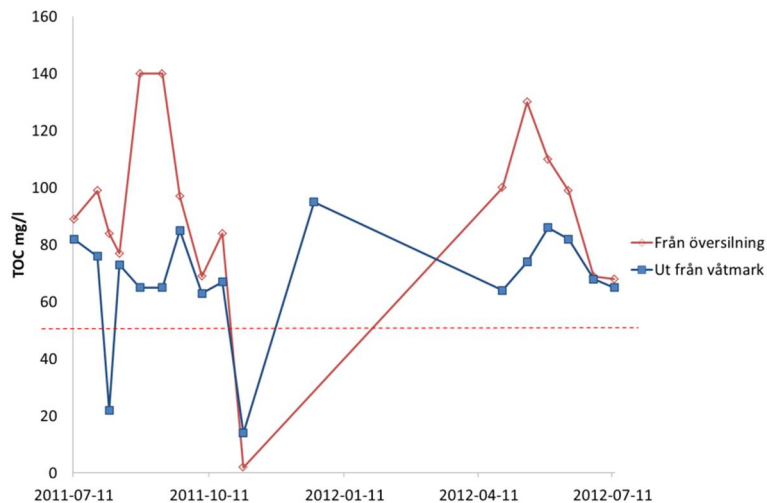
Figur 19. Halter av N_{tot} (a) och NH_4-N (b) före och efter våtmarken vid Häradsuddens deponi. Streckad linje anger riktvärde för tillåtet utsläpp.

Halten ammonium- och N_{tot} var vid de flesta tillfällena lägre i utgående vatten från våtmarken jämfört med inkommande lakvatten från översilningen (Figur 19). Vid tre tillfällen var dock de utgående ammoniumhalterna något högre än de ingående. Med ett undantag (den 21/12-11) då halten NH_4-N låg på 95 mg/l (N_{tot} 100 mg/l) klarades utsläppskravet för NH_4-N (50 mg/l) under hela perioden. För N_{tot} finns inget riktvärde.



Figur 20. Halter av P_{tot} före och efter våtmarken vid Häradsuddens deponi. Streckad linje anger riktvärde för tillåtet utsläpp.

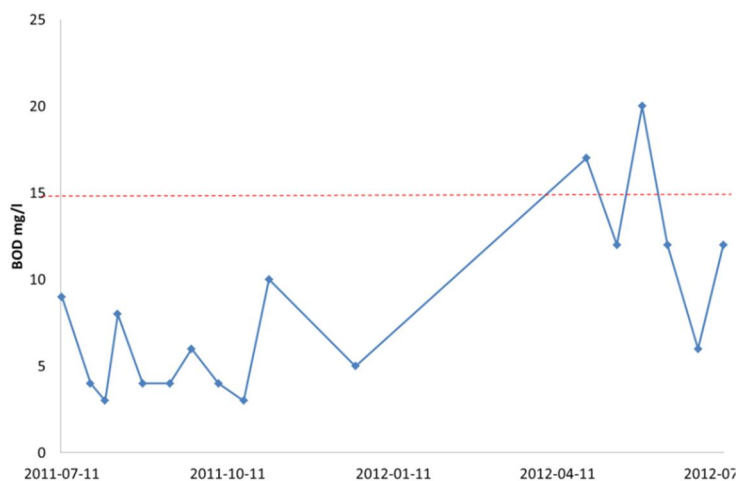
Halten P_{tot} var vid de flesta tillfällena lägre i utflödet från våtmarken jämfört med inkommande lakvatten från lakvattendammen (Figur 20). Vid alla provtagningstillfällen var utgående värden lägre än riktvärdet för tillåtet utsläpp till recipient (0,5 mg/l).



Figur 21. TOC-halter före och efter våtmarken vid Häradsuddens deponi. Streckad linje anger riktvärde för tillåtet utsläpp.

TOC-halten minskade, med ett undantag, från inlopp till utlopp i våtmarken (Figur 21). Halten överskred dock vid de flesta tillfällen riktvärdet på 50 mg/l för att få släppa våtmarkens vatten till recipient.

I det utgående vattnet från Häradsuddens våtmark analyserades även BOD₇ och dessa halter klarade, med undantag för vid två tillfällen, kraven för att få släppas till recipient (Figur 22).



Figur 22. BOD₇-halter i det utgående vattnet från Häradsuddens lakvattensystem, Norrköpings kommun

Den procentuella minskningen av halterna för de undersökta parametrarna varierade med 26%-60% (Tabell 7).

Tabell 7. Medelvärde på ingående och utgående halter (mg/l) till våtmarken under undersökningsperioden, samt haltreduktion (%) vid Häradsuddens deponi.

| Parameter | IN ¹ | n ² _{in} | UT ³ | n _{ut} | Reduktion (%) |
|--------------------|-----------------|------------------------------|-----------------|-----------------|---------------|
| NH ₄ -N | 55 (53) | 16 | 25 (20) | 17 | 55 |
| N _{tot} | 72 (59) | 16 | 32 (21) | 17 | 55 |
| P _{tot} | 0,5 (0,4) | 16 | 0,2 (0,1) | 17 | 60 |
| TOC | 91 (33) | 16 | 67 (21) | 17 | 26 |

¹Ingående halter från översilningen till våtmarken.

²n= antal prover

³Utgående halter från våtmark till recipient.

4.5 AREASPECIFIK RENING

Vid beräkning av mängdreduktion sågs översilningsytan och våtmarken som en enhet. Ingående lakvatten till systemet var således lakvatten från lakvattendammen och utgående vatten var det behandlade vatten som har släppts till recipient.

Med undantag för TOC skedde det en reduktion av de undersökta parametrarna, från det att lakvattnet släpptes ut på översilningen till utsläppet till recipienten (Tabell 8). När det gäller mängden TOC, ökade den efter systemet översilning och våtmark jämfört med mängden som fanns i lakvattnet.

Tabell 8. Mängder (kg/period) in från lakvattendamm och ut från våtmarken, lagring i våtmarken samt våtmarkens areaspecifika avskiljning (g/m²·år) vid Häradsuddens deponi. Negativa värden innebär att mängden ökade.

| Period | | Mängd in | Lager VM | Mängd ut | Avskiljn g/m ² ·år |
|--------|--------------------|----------|----------|----------|-------------------------------|
| 1 | N _{tot} | 945 | 0 | 525 | 40 |
| | NH ₄ -N | 856 | 0 | 400 | 43 |
| | P _{tot} | 20 | 0 | 5 | 1,4 |
| | TOC | 1585 | 0 | 1650 | -6 |
| 2 | N _{tot} | 46 | 0 | 1197 | -115 |
| | NH ₄ -N | 1 | 0 | 1008 | -101 |
| | P _{tot} | 13 | 0 | 4 | 0,8 |
| | TOC | 886 | 0 | 1239 | -35 |
| 3 | N _{tot} | 1350 | 420 | 195 | 154 |
| | NH ₄ -N | 1210 | 320 | 145 | 158 |
| | P _{tot} | 7 | 5 | 2 | 0,2 |
| | TOC | 817 | 1360 | 375 | -220 |

Avskiljningen avseende N_{tot}, NH₄-N och P_{tot} var störst under period 3 (154, 158 respektive 0,2 g/m² år). Under period 2 avskiljdes endast P_{tot} (0,8 g/m² år) medan N_{tot}, NH₄-N och TOC

ökade med 115, 101 respektive 35 g/m² år. TOC ökade under alla perioder med 6, 35 respektive 220 g/m² år för period 1, 2 respektive 3.

Sett över hela perioden 1 juni-11 till 31 maj-12 var den totala avskiljningen endast positiv för NH₄-N och P_{tot} (7 respektive 1 g/m² år). N_{tot} och TOC ökade med 1 respektive 56 g/m² år (Tabell 9).

Tabell 9. Total avskiljning under undersökningsperioden 1 juni-11 till 31 maj-12 för Häradsuddens deponi. Negativa värden innebär att mängden har ökat.

| Parameter | Avskiljn g/m²·år |
|--------------------|------------------------------------|
| N _{tot} | -1 |
| NH ₄ -N | 7 |
| P _{tot} | 1 |
| TOC | -56 |

5. DISKUSSION

5.1 VATTENBALANS

En av de stora utmaningarna, förutom rening, för Häradsuddens reningssystem är att kunna hantera de flöden som tillförs systemet. Under undersökningsperioden har dock inte systemet klarat av att hålla de volymer vatten som tillfördes våtmarken under så lång tid som planerats utan vatten bräddade vid flera tillfällen till recipienten från våtmarken på grund av att vattennivån i denna var för hög.

Den bildade lakvattenvolymer är uppskattad utifrån tidigare uppmätta lakvattenmängder och är således osäker. Medelavrinningen för 2011 var ca 10 % högre än medelavrinningen för en 10-årsperiod tillbaks, vilket innebär att lakvattenvolymer under period 1 skulle kunna ha varit ännu högre än de uppskattade 70 000 m³ och differensen mellan bildad lakvattenvolymer, utgående vatten från lakvattendammen, samt avdunstning skulle således kunna vara något större. Med de osäkerheter som genomsyrade alla flöden, bedömdes dock inte denna skillnad tillräckligt stor för att motivera någon korrigerings av den uppskattade lakvattenvolymer.

Storleken av den externa tillrinningen skiljde sig mycket beroende på om den beräknades genom vattenbalans eller genom kloridbalans (Tabell 4). Det fanns betydligt högre mängder klorid i det utgående vattnet från våtmarken än vad som tillförts reningssystemet enligt uppmätta och uppskattade halter och volymer lakvatten och externt vatten. Det tyder på att en större volym lakvatten (med hög kloridhalt) än vad som registrerades rann till våtmarken.

Det råder stora osäkerheter i de utgående vattenvolymer som anges i avsnitt 4.3 eftersom de till en början endast uppskattades utifrån våtmarkens storlek. Senare mättes flödet med hjälp av vattenståndsmätningar vid ett mätöverfall 1-3 gånger per månad. När online-avläsningen slutligen installerades i slutet av 2011 försvårades avläsningen initialt av isbildning och värden från SMHIs vattenweb användes istället för uppskattning av utgående flödet under vinterperioden.

Om man istället för ovanstående värden utgår från den förväntade externa tillrinningen på 65 000 m³, fördelat i enlighet med nederbördsdata för perioden (bilaga 1) och beräknar den volym lakvatten som krävs för att uppfylla kloridbalansen (Ekvation 5 och 6) får man betydligt större lakvatten- och utgående volymer än de som anges i avsnitt 4.3 (Tabell 10)

Tabell 10. Beräknad lakvattenvolym (IN) utifrån antagande om extern tillrinning ($65\,000\text{m}^3$, fördelad enligt nederbörd för perioden, samt utifrån kloridbalansen (Ekvation 5 och 6), för Häradsuddens deponi.

| Tidperiod | Beräknad IN ext ¹ | IN ² | Lagring VM ³ | UT ⁴ |
|---------------|---------------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|
| 1 | 39 000 | 9500 | 0 | 48 500 |
| 2 | 16 000 | 10 600 | 0 | 26 600 |
| 3 | 10 000 | 6 400 | 16 400 | 0 |
| Totalt | 65 000 | 26 500 | 16 400 | 75 100 |

¹Beräknat inflöde utifrån uppskattad avrinning från området, fördelat i enlighet med nederbördsmängd för respektive period.

²Lakvattenvolymberäknad utifrån kloridbalans och extern inkommande volym enligt ¹.

³Lager i våtmarken vid periodens slut.

⁴Beräknad utgående volym från våtmarken enligt kloridbalansen.

Utifrån ovan angivna antaganden borde det vara $26\,500\text{m}^3$ lakvatten som runnit in i våtmarken istället för de $8\,000\text{m}^3$ som beräknats utifrån pumptider. Denna framräknade lakvattenvolym stämmer bra överens med den volym lakvatten ($25\,000\text{m}^3$) som enligt vattenbalansen i avsnitt 4.3.2 borde ha runnit ut från lakvattendammen under perioden. Även den skattade utgående vattenvolymen ($75\,000\text{m}^3$) från våtmarken är betydligt större än den volym som uppmätts och uppskattats i enlighet med avsnitt 4.3.3 ($51\,000\text{m}^3$), vilket till stor del kan förklaras med den ökade lakvattenvolymen från deponin.

Det finns mycket som stöder att det kommer förorenat vatten till våtmarken på annat sätt än genom pumpning från lakvattendammen. Kloridhalten var, med undantag från de tillfällen då lakvatten från lakvattendammen leddes till översilningen, högre i översilningens utflöde än i dess inflöde och i vissa fall var halten i utflödet dubbelt så stor som inflödet. Detta, tillsammans med rådande topografi och geologi, tyder på att diket efter översilningsytan skulle kunna vara ett utströmningsområde för diffust läckage av lakvatten.

Det finns ingen bottentätning under den gamla deponin och marken under deponin är sandig, siltig bottenmorän överlagrad av en lös lera med inslag av gyttja. De övre metrarna under större delen av våtmarken utgörs av kompressibla jordlager av torv och gyttja. Torv kan ha en permeabilitet upp mot 10^{-5}m/s (Jakobsson, 1986), vilket i och för sig är en tämligen låg permeabilitet, men högre än i övriga jordlager i området och skulle kunna leda lakvattnet från deponin till våtmarken.

Enligt beräkningen ovan skulle det under period 3 endast ha runnit in $16\,400\text{m}^3$ i våtmarken, vilket innebär att inget vatten borde ha runnit ut, då den enligt uppgift från Econova ska rymma $20\,000\text{m}^3$. Under perioden vet man dock via flödesmätning att det har runnit ut vatten från våtmarken. Det uppmätta utflödet under april och maj bedöms som trovärdigt då onlinemätningen var igång utan några nämnvärda driftstörningar. Även ovanstående beräkning är ungefärlig och det är möjligt att flödet under period 3 är underskattat, men det skulle också kunna tyda på att våtmarken rymmer något mindre än $20\,000\text{m}^3$. För att vara

säker på våtmarkens volym behöver en ordenlig inmätning samt nivåmätning av vattnet i våtmarken utföras.

5.2 RENINGSRESULTAT

5.2.1 Lakvattendamm

Utifrån de analyser som finns såg lakvattendammen ut att ha en bra reducerande effekt för alla undersökta parametrar (49-70%). Resultaten bygger endast på 2 stickprov tagna i november och april så det går inte att dra några slutsatser avseende säsongsvariationer. Resultaten stämmer dock överens med de undersökningar som utförts avseende luftade dammar, där man har sett en positiv effekt på framför allt $\text{NH}_4\text{-N}$, men även organiskt material (Ek m.fl., 2009; Allard m.fl., 2007). Eftersom det är små volymer lakvatten som släpps ut från lakvattendammen blir uppehållstiden i den luftade dammen lång, vilket enligt studier av Allard m.fl., 2007 är positivt för nedbrytning av organiskt material.

Halten N_{tot} i lakvattendammen minskade i princip lika mycket som ammoniumkvävet, vilket tyder på att kväve avskiljdes från dammen. Antingen skedde det genom avgång av ammoniak (NH_3) eller genom denitrifikation (N_2). Vid pH-värden runt 8, samt förhållandevis låga temperaturer upp till ca 10 °C är dock ammoniakavgången generellt låg från denna typ av lakvattendammar (Rodhe m.fl., 2008). Ammoniakavgången från den luftade dammen i november och april (när proverna togs) borde således ha varit låg, eftersom pH låg runt 8 och temperaturen bör ha varit låg vid provtagningstillfällena. Med hänvisning till de låga temperaturer rådde vid provtagningstillfällena kan dock den tydliga reduktionen tyckas anmärkningsvärd, då kväveavskiljningsprocessen avtar avsevärt i hastighet vid temperaturer ned mot 10 °C (Ilie, 2001).

Reduktion av kväve är beroende av både luftade delar för nitrifikation och icke luftade delar för denitrifikation (Allard m.fl., 2007). Bara en av de fyra luftarna var i drift under undersökningsperioden, vilket borde innebära att stora delar av lakvattendammen hade anaeroba förhållanden och gynnade på så sätt denitrifikationen. Eftersom lakvattnet till största del består av $\text{NH}_4\text{-N}$ bör dock nitrifikationen vara begränsande och skulle gynnas av ytterligare luftning. Studier utförda av Maehlum m.fl. 1999) har visat att 50-90% nitrifikation är möjlig i luftade dammar vid temperaturer över 10 °C. Ett alternativ till att köra fler luftare i den stora lakvattendammen för att förbättra nitrifikationen är att flytta luftningen till de mindre uppsamlingsdammarna innan lakvattendammen för att på så sätt kunna lufta vattnet ordentligt och nitrifiera $\text{NH}_4\text{-N}$ innan det leds över till lakvattendammen där denitrifikation och lagring kan ske.

Ovanstående resonemang innehåller flera antaganden, men då provtagningarna antydde att den luftade dammen hade god kväveavskiljning är det en intressant del av lakvattensystemet att undersöka vidare, både med avseende på befintlig effekt och med avseende på olika driftstrategier för att förbättra reningen.

5.2.2 Översilning

Det är svårt att finna en förklaring till att halterna av olika kemiska parametrar var högre efter översilningen än före. Eftersom även kloridhalterna följde samma mönster tyder det på att annat lakvatten än det som pumpades till ytan tillkom någonstans mellan provtagningspunkterna. Diket nedströms ytan där provtagning sker misstänks, i enlighet med resonemanget ovan avseende vattenbalansen, vara ett utströmningsområde för obehandlat lakvatten. En ytterligare anledning till resultaten skulle kunna vara att diket genom ett rör står i kontakt med våtmarken, vilket innebär att det finns risk att det vatten som analyserades blandas med vatten från våtmarken.

Tanken med översilningen är att den ska bidra till en yteffektiv oxidation av framför allt ammoniumkväve (Stråe, 2010). Det finns inga direkta visuella observationer som talar för att det skulle vara annorlunda i fallet för Häradsuddens översilningsyta då den är utformad i enlighet med de rekommendationer som angetts i den tekniska beskrivningen för lakvattenbehandlingen. De märkliga resultaten från denna undersökning gör dock att det inte går att utvärdera översilningen på ett tillförlitligt sätt. För att kunna utvärdera översilningens effekt bör en provpunkt väljas i nederkant av översilningen innan lakvattnet når det större diket.

5.2.3 Våtmarken

Halterna i det behandlade vattnet vid våtmarkens utlopp är, tillsammans med lufttemperaturen, det som enligt tillståndet för Häradsuddens deponi avgör om vattnet får släppas till recipienten.

Haltreduktionen i våtmarken var god för N_{tot} (55%), $NH_4\text{-N}$ (55%) och P_{tot} (60%) där respektive haltkrav avseende utsläpp till recipient klarades. Det externa vattnet innehöll låga halter av de undersökta parametrarna framför allt när det gäller N_{tot} och $NH_4\text{-N}$ och en orsak till haltreduceringen är kopplad till den utspädning som skedde genom det externt tillrinnande vattnet.

När det gäller TOC var dock haltreduktionen betydligt lägre (30 %) och man lyckades inte komma ner till godkända halter för att få släppa vattnet till recipienten (medelhalten under perioden var 67 mg/l jämfört med riktvärdet på 50 mg/l). Analyserna på det tillrinnande vattnet varierade mycket, men med ett medelvärde på 42 mg/l (standardavvikelse 31) var även halten i det tillrinnande vattnet nära riktvärdet. TOC-halter i dessa nivåer, och även högre än de som uppmättes i det behandlade vattnet, är inte ovanligt i behandlat lakvatten från deponier. Det visade bland annat en undersökning som utförts av IVL där ett antal behandlingsmetoder för lakvatten vid 10 deponier utvärderades och där TOC-halterna i det utgående vattnet varierade mellan 37 och 130 mg/l (Allard, 2007).

I lakvatten från äldre deponier är ofta halten biologiskt nedbrytbart kol (BOD_7) låg eftersom det redan har brutits ner i deponin (Allard, 2007). Då BOD_7 är den del av det organiska materialet som är biologiskt nedbrytbart (Naturvårdsverket 2008) och således är den fraktion av organiskt material som är mest kritiskt för syreförhållandena i recipienten borde det

framför allt vara BOD₇ som är styrande för när det behandlade lakvattnet får släppas till recipient.

5.3 AREASPECIFIK RENING

Med undantag för TOC skedde en tydlig avskiljning av de undersökta ämnena i systemet översilning+våtmark (Tabell 8). Det var även en tydligt högre avskiljningsgrad under period 3 jämfört med period 1, vilket borde kunna förklaras med att våtmarken var nyanlagd under den första perioden och att det tar tid att etablera biologiska reningssystem (Kadlec m.fl., 2009).

Det faktum att mängden TOC inte minskade över systemet beror troligen på att den största delen av det organiska kolet var löst och svårnedbrytbart, vilket normalt är fallet för lakvatten från deponier (Allard, 2007). Eftersom TOC-mängden dessutom verkade öka tyder det på att organiskt material även frigjordes från våtmarken, vilket inte är omöjligt då jordlagren i vilka våtmarken är anlagd består av bland annat torv och gytta.

Under period 2 då utflödet från våtmarken var öppet och inget lakvatten pumpades till våtmarken var avskiljningen negativ, vilket inte kan förklaras med att det var en kallare period. Beräkning av kloridbalansen tyder på att belastningen på systemet är högre än de volymer från lakvattendammen som uppmätts med hjälp av pumptider, vilket också är en trolig förklaring till de ökade halterna av de undersökta parametrarna.

Den avskiljning som beräknades i tabell 8 bygger på kända pumpade flöden inom reningssystemet. Med resonemanget ovan, avseende ytterligare volymer lakvatten från deponin som nådde systemet, borde de ingående mängderna ha varit ännu större än de som använts som grund för avskiljningen. Om man istället ser till de volymer som räknades fram i avsnitt 5.1 skulle våtmarkens avskiljning ha varit bättre, och även TOC skulle ha reducerats i period 2 och 3 (Tabell 11). I dessa beräkningar har ett medelvärde för halterna i lakvattnet från dammen under perioden 14/10-11 till 24/6-12 (6 värden) använts eftersom lakvattnet antas ha trängt in diffust i våtmarken.

Tabell 11. Beräkning av teoretiska mängder (kg/period), procentuell avskiljning samt våtmarkens arealpecifika avskiljning ($\text{g/m}^2\cdot\text{år}$) utifrån beräknade volymer enligt kloridbalansen (Tabell 10) vid Häradsuddens deponi, Norrköpings kommun. Negativa värden innebär att mängden har ökat.

| Period | Parameter | Mängd in | Mängd ut | Lager VM | Avskiljn (%) | Avskiljn teori | Avskiljn mätt |
|--------|-----------|----------|----------|----------|--------------|----------------|---------------|
| 1 | Ntot | 1805 | 1019 | 0 | 40 | 75 | 40 |
| | NH4-N | 1274 | 776 | 0 | 40 | 50 | 43 |
| | P | 36 | 10 | 0 | 70 | 2,5 | 1 |
| | TOC | 3109 | 3201 | 0 | -3 | -10 | -6 |
| 2 | Ntot | 1955 | 1539 | 0 | 20 | 40 | -115 |
| | NH4-N | 1421 | 1296 | 0 | 10 | 15 | -101 |
| | P | 24 | 6 | 0 | 80 | 2 | 0,8 |
| | TOC | 2324 | 1593 | 0 | 30 | 70 | -35 |
| 3 | Ntot | 1180 | 0 | 344 | 70 | 190 | 154 |
| | NH4-N | 858 | 0 | 262 | 70 | 130 | 158 |
| | P | 14 | 0 | 4 | 70 | 2 | 0,2 |
| | TOC | 1408 | 0 | 1115 | 20 | 65 | -220 |

Med hänsyn tagen till den beräknade lakvattentillförseln uppvisades en ytterligare förbättrad areaspecifik reningseffekt för alla parametrar under alla perioder utom ammoniumkväve, vilken reducerades något under period 3 (Tabell 10). I dessa beräkningar visade det sig att även mängden TOC minskade under period 2 och 3 om än i mindre utsträckning.

Avskiljningen under vinterperioden (period 2) är betydligt lägre för alla undersökta parametrar, vilket var väntat då reningseffekten avtar med temperaturen (Maehlum, 1999; Andersson, 2002). En ytterligare anledning till den sämre avskiljningen är utflödet från våtmarken var öppet och våtmarken fungerade mer som ett dike än våtmark, vilket försämrar avskiljningen.

Den totala areaspecifika reningseffekten för den undersökta perioden 1/6-11 till 31/5-12, med de skattade inflödena av lakvatten blev positiv för alla undersökta parametrar och en avskiljning på runt $80 \text{ (g/m}^2\text{) år}$ (40 %) för N_{tot} , $50 \text{ (g/m}^2\text{) år}$ (30 %) för $NH_4\text{-N}$ och $2 \text{ (g/m}^2\text{) år}$ (70 %) för P_{tot} (Tabell 11). Reningseffekten avseende N_{tot} och $NH_4\text{-N}$ vid Häradsuddens är i underkant jämfört med en studie av reningseffekt för fyra stora våtmarker i Sverige utförd av Andersson m.fl., (2002). När det gäller P_{tot} stod sig dock Häradsuddens våtmarkssystem bra. I studien varierade reningseffekten avseende N_{tot} mellan 420 och $160 \text{ (g/m}^2\text{) år}$ (23-70%) och för P_{tot} mellan 1 och $4,1 \text{ (g/m}^2\text{) år}$ (30-90%).

Tabell 12. Total ((g/m²)·år) samt procentuell avskiljning under undersökningsperioden 1 juni-11 till 31 maj-12, vid Häradsuddens deponi. Negativa värden innebär att mängden har ökat.

| Parameter | Avskiljn. teori | Avskiljn. Mätt | Avskiljning teori (%) |
|--------------|--------------------|-------------------|--------------------------|
| Ntot | 82 | -1 | 40 |
| NH4-N | 49 | 7 | 30 |
| P | 2 | 1 | 70 |
| TOC | 37 | -56 | 15 |

Våtmarkens reningseffekt får ändå anses som god under det första året, särskilt med tanke på att det under vintern har varit fritt flöde genom våtmarken, vilket innebar att den i princip endast fungerade som dike. Att döma av de senare provtagningarna går det att skönja en trend mot ökad reningseffekt, med undantag för TOC. Det bör också poängteras att den beräknade avskiljningen är mycket ungefärlig och representerar snarare en möjlig nivå än definitiv avskiljning. Det är vidare troligt att våtmarkens effektivitet kommer att öka med tiden, vilket exempelvis visade sig vara fallet i Öxelösunds våtmark (Andersson m.fl., 2000) där avskiljningen av kväve ökade från 50 till 80 (g/m²)·år under de fem första åren.

6. SLUTSATS OCH FÖRSLAG TILL FORTSATT ARBETE

- Mätningarna/uppskattningarna av inflöden och flöden inom lakvattenreningssystemet är mycket osäkra, vilket i sin tur leder till att det är svårt att utvärdera reningssystemets funktion. Det är dock tydligt att systemet, med de utsläppskrav avseende TOC-halt som råder, inte klarade av de volymer som tillförs systemet.
- Resultaten i utredningen tyder på en avsevärt högre lakvattenbelastning på våtmarken än de kända volymer som pumpades från lakvattendammen. Reningssystemet klarade dock med god marginal av att uppfylla utsläppskraven avseende halt för $\text{NH}_4\text{-N}$ och P_{tot} . Halten TOC hindrar dock möjligheten att släppa vattnet till recipient.
- Med anledning av lakvattnets sammansättning samt de förhållandevis höga halterna i tillrinnande vatten kommer det troligen att bli svårt att komma ner i TOC-halter som säkrar möjlighet till utsläpp av behandlat lakvatten. Recipientens känslighet för den typ av sammansättning av organiskt material som det behandlade lakvattnet från deponin har bör utredas.
- Den huvudsakliga reningen både när det gäller halt- och mängdreduktion sker i våtmarken. Den areaspecifika reningen för våtmarken tycks god, men varierar under de tre undersökta delperioderna med en sämre effekt under den kallare perioden. Resultaten är dock ungefärliga eftersom de grundar sig på ett flera osäkra antaganden. Reningseffekten tycks ha en positiv trend och en ytterligare förbättrad avskiljning kan förväntas, men ytterligare utvärdering behövs för att få med årstidsvariationer.
- Lakvattendammen ser ut att ha en bra reducerande effekt på alla undersökta parametrar och där kan det finnas en potential för utökad avskiljning. Analysunderlaget är dock tunt och ytterligare provtagning och utvärdering av olika driftstrategier rekommenderas.
- Översilningen är svår att utvärdera på grund av osäkra analysresultat och tecken på inläckage av lakvatten från okänt håll. Den bör dock kunna vara en viktig del i reningssystemet varför en grundlig undersökning av dess effekt, med provtagning som minimerar risken för kontamination av lakvatten från andra delar av systemet rekommenderas.

7. REFERENSER

- Allard, A., Cerne O., Ek. M., Junestedt, C, Svensson , A. (2007) *Utvärdering av behandlingsmetoder för lakvatten från deponier*, IVL-rapport B1748, Svenska Miljöinstitutet AB, Stockholm
- Andersson, J., Kallner S. (2002) *De fyra stora – en jämförelse av reningsresultat i svenska våtmarker för avloppsvattenrening*, VA-forskrapport 2002:6, Svenskt Vatten AB, Stockholm
- Andersson, J., Wittgren H.B., Ridderstolpe, P. (2000) Våtmark Oxelösund – resultat och erfarenheter från sexårs drift. *Vatten* 56:4 2000, s. 235-245
- Bastviken, S., (2006), *Nitrogen removal in treatment wetlands – Factors influencing spatial and temporal variations*, dissertation No 1041, Linköpings Universitet, Linköping
- Berge, N.D., Reinhart, D.R., Townsend T.G. (2005) The fate of nitrogen in bioreactor landfills, *Environmental Science and Technology* 35, s 365-399
- Bialowiec, A., Davies, L., Albuquerque A., Randerson, P.F. (2012) Nitrogen removal from landfill leachate in constructed wetlands with reed and willow: Redox potential in the root zone., *Journal of Environmental Management* 97 s. 22-27
- Bramryd, T., Brander, L., Dahl, M. (2006) *Skador på grödor bevattnade med lakvatten*, RVF Rapport nr 3 2006, Svenska renhållningsverksföreningen, Malmö
- Ek. M., Junestedt, C., Stenmarck, Å. (2009) *Nya lakvatten – Kemisk sammansättning och lämplig behandling*, Avfall Sverige, Rapport U2009:16, Malmö
- Fleischer S., Gustafson A., Joelsson A., Pansar J., Stibe L. (1994) Nitrogen removal in created ponds, *Ambio*, 23, s349-357
- Hasselgren, K., Lundström I. (2003) *Manual för rening av lakvatten i markbaserade växtsystem*, RVF rapport nr 4 2003, Svenska renhållningsverksföreningen, Malmö
- Ilie, P., Mavinic, DS. (2001) The effect of decreased ambient temperature on the biological nitrification and denitrification of a high ammonia leachate, University of British Columbia, *Water resource Journal*, 35 s.2065-72
- Jakobsson, B. (1986) *Handledning för geotekniska beräkningar*, Vägverket publ. 1986:6
- Kadlec, R.H. (1999) *Constructed wetlands for treating landfill Leachate*, Constructed wetlands for the treating landfill Leachate, Edited by Mulamoottil et.al, Lewis Publishers.
- Kadlec, R.H., Wallace, S.C. (2009) *Treatment wetlands*, 2nd edition, Boca Raton, CRC Press

- Karlsson, A. (2008) *Miljökonsekvensbeskrivning tillhörande tillståndsansökan avseende Häradsuddens behandlingsanläggning*, Miljöinvest, Norrköping
- Karlsson, A. (2004) *Prövning av lokal lakvattenbehandling för Häradsuddens avfallsanläggning*, Miljöinvest, Norrköping
- Kietlinska, A. (2004) *Engineered Wetlands and Reactive Bed Filters for Treatment of Landfill Leachate*, Kungliga Tekniska Högskolan, avd för Mark- och vattenteknik, Stockholm
- Mæhlum, T. (1999) *Wetland for treatment of landfill leachate in cold climates*, Constructed wetlands for the treating landfill Leachate, Edited by Mulamootil et.al, Lewis Publishers. USA
- Mæhlum, T. (1999) *Leachate treatment in extended aeration lagoons and Constructed wetlands in Norway*, Constructed wetlands for the treating landfill Leachate, Edited by Mulamootil et.al, Lewis Publishers. USA
- Miljödepartementet (2001) Förordning om deponering av avfall, Sveriges riksdag (2001:5), Stockholm
- Miljödömsstolen (2009), Deldom M198-08, *Tillstånd till fortsatt verksamhet vid Häradsuddens avfallsbehandlingsanläggning*, Växjö
- Norrköpings kommun, Östergötlands län (90.290 m.fl.).
- Naturvårdsingenjörerna (2009), *Relationsritning Häradsuddens lakvattendamm*, 2009-05-06.
- Naturvårdsverket (2008) *Lakvatten från deponier*, Faktablad 8306
- Naturvårdsverket (2012) <http://www.naturvardsverket.se/sv/Start/Produkter-och-avfall/Avfall/Hantering-och-behandling-av-avfall/Deponering-av-avfall/Om-deponeringen-idag/> 2012-04-15 (uppdaterad 2011-04-13)
- Ridderstolpe, P., Stråe, D. (2010) *Teknisk beskrivning kompletterande lakvattenbehandling, Häradsuddens avfallsanläggning*, WRS Uppsala AB, Rapport nr 2010-0250-A, Uppsala
- Rodhe, L., Fridolfsson, M., Karlsson, K., Lardh, T., Ringmar, A., Tersmeden M. (2008) *Ammoniakavgång från luftade dammar med lakvatten – ett problem?*, JTI-rapport, Kretslopp & Avfall 40, Uppsala
- Rosenquist, D. (2009) *Förslag på utbyggnad vid Häradsuddens avfallsdeponi Norrköping*, Laqua Treatment.
- Rosqvist, H., Bergström, S., Fråne, A. (2011) *Syntesrapport lakvatten - En sammanställning av utvecklingsprojekt finansierade av RVF och Avfall Sverige under 20 år*, Avfall Sverige, Rapport D2011:02, Malmö
- Sandström, A. (2012) *PM – Hydrologi Häradsuddens*, Skanska, Norrköping

SMHI (2012) <http://www.smhi.se/sgn0102/n0201/vattenbalans.htm>, 2012-08-23

SMHI (2012) <http://vattenwebb.smhi.se/modelarea/>, 2012-12-11

Stråe, D. (2000) *Översilning med intermittert beskickning – nitrifikationsmetod för lokal behandling av lakvatten från avfallsupplag*, Examensarbete, SLU, Institutionen för markvetenskap, Uppsala

Sundberg C. (2008) *Nitrifiers in constructed wetlands treating landfill leachates*, dissertation No 1067, Linköpings Universitet, Linköping

Svenskt Vatten AB (2007) *Avloppsteknik 2 Reningsprocessen*, ISSN nr 1654-5117.

Muntliga

Hellgren, Conny. (2011) Regional produktionschef, Econova Energy AB

BILAGA 1. RENINGSKRAV ENLIGT TILLSTÅND

Enligt beslut i miljödomstolen från 2009-03-18 (M198-08) finns tillstånd att behandla och släppa ut behandlat lakvatten till den lokala recipienten Borlejasjön.

Villkor 19 -24 i beslutet reglerar lakvattenhanteringen:

19.Förorenat vatten från verksamhetsområdet ska samlas upp i diken, ledningar och lakvattendammar så utformade och dimensionerade att läckage till omgivningen understiger 50 l/m² och år.

20.Behandlingsanläggningen för lakvatten ska dimensioneras och drivas på ett sätt att avledning av vatten till recipient kan begränsas till vegetationsperioden när dygnsmedeltemperaturen överstiger +5 oC.

21.Lakvattnet i lagringsmagasinet ska luftas så att effektiv metallutfällning och oxidation av organiskt material uppnås.

22.Lagringsmagasinet för lakvatten och utpumpningen från detta ska konstrueras och utförs på ett sådant sätt att utlakning ur och flykt av sediment förhindras. Utpumpning av lakvatten får inte ske vid muddring eller bortgrävning av sediment. Uppslammat material ska sedimentera innan utpumpning återupptas.

23.Bevattnings- och översilningsytorna ska utformas så att skred och utlakning av ackumulerade föroreningar förhindras.

24.Med undantag för bevattningsytan efter våtmarken får endast ytor som tagits i anspråk för deponering och från vilka lakvatten samlas upp och omhändertas användas som bevattnings- och översilningsyta

De parametrar som regleras i tillståndet redovisas i tabell nedan.

Tabell. Riktvärden, i enlighet med prövotidsutredning, för utsläpp till recipient, enligt beslut i miljödomstolen från 2009-03-18 (M198-08)

| Parameter | Halt |
|------------------|-------------|
| NH ₄ | 50 mg/l |
| P-tot | 0,5 mg/l |
| TOC | 50 mg/l |
| BOD | 15 mg/l |
| kadmium | 0,7 µg/l |
| krom | 15 µg/l |
| koppar | 20 µg/l |
| nickel | 45 µg/l |
| bly | 5 µg/l |
| zink | 50 µg/l |
| oljeindex | 0,6 mg/l |

BILAGA 2. NEDERBÖRD OCH POTENTIELL AVDUNSTNING

Tabell. Månadsmedelvärden (mm) för nederbörd och potentiell avdunstning för station Gustorp, Norrköpings kommun

| Datum | Månadsnederbörd | Pot. Avdunstn ¹ |
|---------------------|-----------------|----------------------------|
| 201101 | 33,5 | 0 |
| 201102 | 29,3 | 6,7 |
| 201103 | 25,2 | 35,2 |
| 201104 | 13,7 | 83,8 |
| 201105 | 39,2 | 118,9 |
| 201106 | 118,8 | 123,3 |
| 201107 | 107,5 | 101,3 |
| 201108 | 81,6 | 82,3 |
| 201109 | 54,2 | 54,7 |
| 201110 | 41,5 | 25 |
| 201111 | 12,6 | 3,9 |
| 201112 | 42,9 | 5 |
| 201201 | 43,3 | 3,1 |
| 201202 | 26,1 | 11,2 |
| 201203 | 6,9 | 52,8 |
| 201204 | 76,7 | 59,1 |
| 201205 | 22,3 | 121,2 |
| 201206 | 116,3 | 107,2 |
| Tot jun-11 – maj-12 | 634,4 | 642,9 |

¹Potentiell avdunstning beräknad av SMHI enligt Penmans formel.

BILAGA 3. UTGÅENDE VATTEN FRÅN VÅTMARKEN

Tabell. Av Econova mätt och uppskattad utgående volym (m³) från våtmarken vid Häradsuddens deponi, Norrköpings kommun

| Månad | Utgående | |
|--------|----------|--|
| | volym | Anmärkning |
| 201109 | 3 960 | Manuell mätning skibord v. 3 tillfällen |
| 201110 | 20 000 | Uppskattning utifrån tömning av våtmark |
| 201111 | 1 180 | Manuell mätning skibord v.1 tillfällen |
| 201112 | 4 090 | Manuell mätning skibord v 1 tillfälle |
| 201201 | 6 050 | Uppskattning utifrån värden från SMHIs Vattenweb |
| 201202 | 5 200 | Uppskattning utifrån värden från SMHIs Vattenweb |
| 201203 | 2 052 | Uppskattning utifrån värden från SMHIs Vattenweb |
| 201204 | 478 | Onlinemätning via skibord |
| 201205 | 3 210 | Onlinemätning via skibord |
| 201206 | 1 500 | Onlinemätning via skibord |