LUND UNIVERSITY

Kvalitet i nya deponiers lakvatten - resultat från Renovas deponi Fläskebo

Modin, Hanna; van Praagh, Martijn; Persson, Kenneth M

Published in:
Vatten: tidskrift för vattenvård /Journal of Water Management and research

2008

Link to publication

Citation for published version (APA):
Modin, H., van Praagh, M., & Persson, K. M. (2008). Kvalitet i nya deponiers lakvatten - resultat från Renovas deponi Fläskebo. *Vatten: tidskrift för vattenvård /Journal of Water Management and research*, *64*(4), 283-290.

Total number of authors:
3

General rights
Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.
• Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
• You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
• You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: https://creativecommons.org/licenses/

Take down policy
If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Download date: 10. Oct. 2026

VATTEN 64:283–290. Lund 2008

KVALITET I NYA DEPONIERS LAKVATTEN – RESULTAT FRÅN RENOVAS DEPONI FLÄSKEBO

Quality of leachate from new landfills – results from Renova's landfill Fläskebo

av HANNA MODIN, MARTIJN VAN PRAAGH, KENNETH M PERSSON
Teknisk vattenresurslära, LTH
e-post:Hanna.Modin@tvrl.lth.se

Abstract

The European landfill directive increases demands on landfills. The amount of organic matter being landfilled is restricted and landfills should be as dry as possible. The consequences of these changes are not yet fully understood. In this study the first landfill in Sweden to be constructed according to the directive, Fläskebo, has served as an example of future landfills. Its leachate has been studied with multivariate techniques (principal component analysis and canonical correlation analysis) and with the geochemical model PHREEQC. Several interesting correlations were found and the results clearly show that multivariate statistics can be of great use when studying landfill leachate. Their ability to extract the most important information is one thing that can be very useful. Combined with geochemical models they can provide an increased understanding of processes governing leachate quality. The next part of the study will be to use multivariate statistics to compare Fläskebo's leachate with that from older landfills to find interesting differences and similarities.

Key words – Landfill monitoring, leachate analysis, multivariate data analysis, PCA, CCA, Landfill Directive, geochemical modelling

Sammanfattning

EU:s deponeringsdirektiv har medfört ökade krav på deponier. Mängden deponerat organiskt material har begränsats kraftigt och deponiernas inre skall nu vara så torrt som möjligt. Konsekvenserna av detta är ännu inte helt kända. Fläskebodeponin, den deponi som varit i drift längst av de få svenska deponier som är konstruerade enligt direktivet, har här fungerat som ett exempel på framtidens deponier. Dess lakvatten har studerats med hjälp av de multivariata analysmetoderna principalkomponentsanalys (PCA) och kanonisk korrelationsanalys (CCA) samt med den geokemiska beräkningsmodellen PHREEQC. Flera intressanta samband hittades och resultaten visar tydligt att multivariata metoder har en stor potential när det gäller att hantera lakvattendata, inte minst på grund av deras förmåga att vaska fram den mest relevanta informationen. I kombination med den geokemiska modellen kan de leda till ökad förståelse av processer som styr lakvattenkemin. Nästa steg i studien blir att jämföra Fläskebos lakvatten med vatten från äldre deponier för att med hjälp av multivariata metoder hitta intressanta skillnader och likheter.

1. Bakgrund

EU:s deponeringsdirektiv (1999/31/EG) syftar till att minimera avfallsdeponiers miljöeffekter bland annat genom att ställa krav på det avfall som deponeras och på deponiernas tekniska utformning. Detta har medfört stora förändringar av hur deponier används och avslutas. För att mängden deponerat organiskt material skall minimeras måste avfall sorteras och förbehandlas. Direktivet anger vissa formella krav på bottentätning och övertäckning av deponierna. För att minska påverkan på omgivningen skall lakvattenvolymen generellt vara så liten som möjligt och avfallet därmed så torrt som möjligt.

Som en konsekvens av minskade avfallsmängder och strängare krav har många deponier stängts de senaste åren, och fler kommer att stängas inom en snar framtid. År 2007 fanns det 140 aktiva deponier i Sverige, att jämföra med ca 300 år 1994. Fram till 31 december 2008 väntas ytterligare ca 40 stängas på grund av de strängare reglerna. 1994 deponerades ca 1,4 miljoner ton hushållsavfall i Sverige. År 2007 hade den siffran sjunkit till 0,19 miljoner ton, en minskning med över 85 %. (Avfall Sverige 2008)

När avfallsvolymen som deponeras minskar och dess sammansättning förändras, leder detta till att deponiernas inre också ändras. Mängden organiskt material från slam och hushållsavfall går mot noll och mikroorganismerna i deponin får brist på lättnedbrytbart organiskt material. Det avfall som deponeras är allt torrare och mängden vatten som tränger in i deponierna minskar på grund av krav på mellantäckning och bottentätning. När deponin sluttäckts minskar tillförseln av vatten ytterligare. Det sammantagna resultatet är att hela avfallskroppen blir torrare. För deponier som varit i bruk efter den 16 juli 2001 gäller enligt deponiförordningen (SFS 2001:512, § 31) att lakvattenbildningen får vara max 5 mm/år från deponier för farligt avfall respektive 50 mm/år från deponier för icke-farligt avfall. Tillståndsmyndigheten kan dock bevilja undantag i det enskilda fallet. (van Praagh och Persson 2005)

När en deponi avslutats vidtar efterbehandlingsfasen då verksamhetsutövaren är skyldig att övervaka deponin under minst 30 år. Denna tidsperiod motsvarar dock bara perioden som deponier har undersökts på ett systematiskt och vetenskapligt sätt. De långsiktiga emissionerna har som regel endast skattats och en rad undersökningar utgår från att alla nedbrytningsprocesser följer ett och samma förlopp. Detta är dock en kraftigt förenklad modell av verkligheten. (van Praagh och Persson 2006)

För att inte sväva i okunnighet om deponiernas framtid och basera prognoser för emissioner från deponier på rena gissningar, har Avfall Sverige (tidigare Renhållningsverksföreningen, RVF) bland annat initierat projektet *Miljökonsekvenser av ändrade deponeringsförhållanden*, som pågått på Lunds Tekniska Högskolas avdelning för Teknisk Vattenresurslära sedan 2003 (van Praagh och Persson 2005; van Praagh 2007). Som en följd av detta arbete har ett behov av att studera vattnet i deponier identifierats, specifikt effekter av att vatten passerar genom avfallet och konsekvenser av sluttäckning. År 2007 förlängde Avfall Sverige deponiprojektet genom att bevilja forskningsmedel till LTH för studien »Kvalitet i nya deponiers lakvatten – exemplet Fläskebo». Denna del av projektet skall preliminärt vara färdig i mitten av 2009, men det finns redan resultat varav av del presenteras i denna artikel.

Frågor som deponeringsprojektet bör ge svar på är:

- Vilken faktiskt emissionspotential har det förbehandlade avfallet när det deponeras?
- På vilket sätt kan det organiska innehållet hålla tillbaka eller påskynda emissioner?
- Skall avfallet vara så blött som möjligt för att spola ut föroreningar och skynda på resterande nedbrytning, eller ska det stängas in så torrt som möjligt redan från början?
- Vilken emissionspotential kommer att finnas kvar när deponin sluttäcks?
- Vilka metaller är lätta respektive svåra att rena i den huvudsakligen oorganiska matris som lakvattnet innehåller?
- Vilken typ av reningsanläggning kommer att behövas för lakvatten från nya, kolfattiga deponier?

1.1. Fläskebodeponin

Renova AB:s deponi Fläskebo är den deponi i Sverige som varit i bruk längst tid av de få deponier som anlagts helt enligt deponeringsdirektivets rigorösa bestämmelser. Uppgifter om lakvattenkvalitet och -volym finns förvisso bara för en begränsad tid, men det faktum att det finns resultat är ändå mycket spännande för hela avfallsbranschen och de förtjänar att utvärderas noga. Därför har den deponin valts ut som exempel i den fallstudie som presenteras här.

Fläskebo är belägen i Härryda kommun öster om Göteborg, närmare bestämt mellan Landvetter och Partille, och togs i drift år 2003. All deponering sker i celler som har bottentätning av geotextil och plastfilm. Lakvattnet leds ut ur deponicellerna och samlas upp i två dammar. Därefter pumpas vattnet in i en reningsanläggning där det behandlas i fler steg. Först sker kemisk fällning med järnklorid följt av sedimentering och filtrering. Därefter finns ett kol- och torvfilter för polering av lakvattnet. Det behandlade vattnet leds sedan till ett utjämningsmagasin och vidare ut i en våtmark, en naturlig torvmosse belägen nedströms Fläskebo. Mossen utgör den sista delen av reningen av Fläskebos lakvatten och dess utlopp mynnar till slut i Stora Hålsjön. (Nilsson 2006)

1.2. Multivariat analys av lakvattendata

Ganska mycket är känt om vad deponiers lakvatten innehåller. Enligt Naturvårdsverkets föreskrift (2004:10, § 30) om deponering, kriterier och förfaranden för mottagning av avfall vid anläggningar för deponering av avfall är deponiägarna skyldiga att kontrollera verksamheten regelbundet. Inom dessa egenkontrollprogram görs en betydande mängd analyser av lakvatten och deponigas vid många deponier i Sverige. Detta genererar stora mängder data som skulle kunna ge viktig kunskap om vad som pågår i deponierna. Ett sätt att undersöka

och sortera sådana stora informationsmängder matematiskt är att tillämpa multivariat analys.

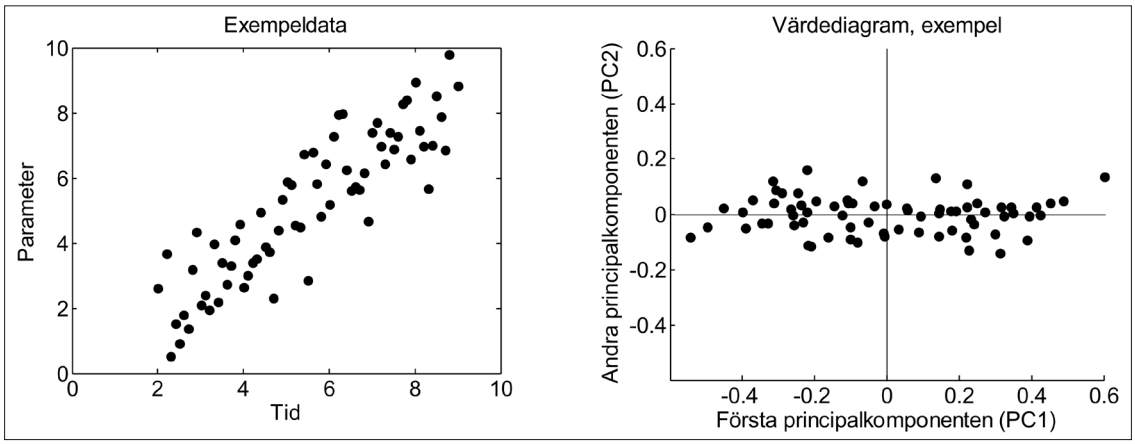
Multivariat analys är ett samlingsnamn för olika statistiska metoder vilka används för att beskriva och analysera mångdimensionella datamängder. Teorin för multivariat analys utvecklades under första halvan av 1900-talet men kunde då inte användas i större omfattning p.g.a. beräkningarnas komplexitet. Tack vare datorisering och modern programvara kan numera multivariat analys användas i så skilda vetenskaper som företagsekonomi, medicin, arkeologi och avfallsforskning. (Jackson 1991)

Genom multivariat analys går det att identifiera samband mellan olika parametrar också i disparata mätserier med varierande bakgrundsvärden. Detta gör tekniken mycket lämplig för deponier, där mätvärden finns för avfallsmängd, lakvattenvolym, deponigasmängd, lakvattensammansättning osv. Med hjälp av en mycket komplett serie historiska data (provtagning varje månad på olika ställen på deponin) kunde en multivariat analys göras på MERAB:s deponi Rönneholm (van Praagh och Persson 2007). Medan hydrologin i form av nederbörd, grundvattenflöde och bevattning av energiskog på Rönneholm kunde identifieras som den viktigaste faktorn som påverkar lakvattenkvaliteten mätt som elektrisk konduktivitet, syns det också i den multivariata analysen hur den biokemiskt och mikrobiellt styrda utlakningen ur avfallet ändrar dess kvalitet.

Det finns en hel mängd statistiska metoder för multivariat analys, vars syften kan vara olika. Dessa har tidigare tagits upp i Vatten (van Praagh och Persson 2007). I detta arbete har två tekniker använts: principalkomponentsanalys (PCA) och kanonisk korrelationsanalys (CCA). PCA är en teknik för att förenkla information genom att komprimera data och reducera antalet dimensioner medan CCA avser att förklara och beskriva strukturer i datamängderna.

I principalkomponentsanalys hanteras lakvattendata som en datamatris med tiden (provtagningstillfällen) som rader och de olika parametrarna (pH, temperatur, koncentrationer och så vidare) som kolumner. Detta kan också betraktas som ett mångdimensionellt koordinatsystem. PCA innebär att den ursprungliga matrisen transformeras till en ny matris (ett nytt koordinatsystem) där tiden ersätts av så kallade principalkomponenter (PC). Varje principalkomponent är en kolumn i den nya matrisen. Principalkomponenterna väljs så att den första komponenten innehåller så mycket som möjligt av variansen i de ursprungliga data (se Figur 1 för ett tvådimensionellt exempel). Den andra principalkomponenten är ortogonal mot den första och innehåller så mycket som möjligt av den kvarvarande variationen och så vidare. På så sätt genereras en ny datamatris som visserligen innehåller lika många kolumner som den första, men där det mesta av informationen är koncentrerad till ett fåtal komponenter. Analysen kan också ge svar på hur stor andel av den ursprungliga variansen som återfinns i respektive principalkomponent.

Kanonisk korrelationsanalys bygger på PCA men här sker en jämförelse mellan två dataset som kallas prediktor (styrande variabel) och prediktand (svarande variabel). Syftet är att testa om informationen i prediktorn kan användas för att förklara informationen i prediktanden. På så sätt kan korrelationen mellan olika parametrar beräknas (Barnett och Preisendorfer 1987). En mängd lakvattendata kan till exempel delas upp i två delar för att kontrollera om parametrarna i den ena delen styrs av övriga.



Figur 1. *Den vänstra figuren visar data utspridda i ett tvådimensionellt koordinatsystem.* En stor del av informationen i data kan dock beskrivas i enbart en dimension. I den högra figuren har data transformerats med hjälp av PCA. Som synes kan då majoriteten av variansen (94 % i detta exempel) förklaras med variansen i enbart den första principalkomponenten. Detta sätt att visualisera resultatet av en PCA kallas värdediagram.

Genom att PCA och CCA reducerar informationen till det mest intressanta och sorterar bort bakgrundsbrus går det ofta att upptäcka samband eller överflödig information i data med hälp av dessa metoder.

2. Metod

Utvecklingsprojektet syftar till att fördjupa förståelsen för hur lakvattenkvaliteten kommer att se ut i deponier som drivs enligt moderna deponeringsbestämmelser och ta fram skarpa metoder för rätt lakvattenrening. Deponidirektivets teori skall jämföras med avfallsvärldens praktik. Utgångspunkten är att dokumentera skillnader och likheter mellan lakvatten från Fläskebo och lakvatten från andra deponier där halten organiskt material är högre. Både analys av historisk data och experimentella moment ingår i projektet. Här redovisas ett exempel på hur analyser av befintlig data med tillhörande modeller kan ge ny kunskap om lakvatten.

Lakvattendata från Fläskebo användes i studien. Det första året gjordes mätningar en gång varje eller varannan månad. Därefter tog kvartalsvisa prover. För PCA användes data från samtliga provtagningstillfällen mellan februari 2004 till februari 2008 och för CCA användes data från november 2003 till augusti 2006. Samtliga analyserade parametrar inkluderades i analyserna. I Tabell 1 framgår vilka dessa parametrar är. Saknade värden respektive värden under detektionsgränser utgör mindre än 1 % av det totala antalet värden. Dessa har ersatts med genomsnittet respektive själva detektionsgränsen. Data har sedan bearbetats med principalkomponentsanalys och kanonisk korrelationsanalys. Syftet med detta är att hitta samband mellan olika parametrar på Fläskebo för att senare kunna jämföra samspelet med det funnet på andra deponier.

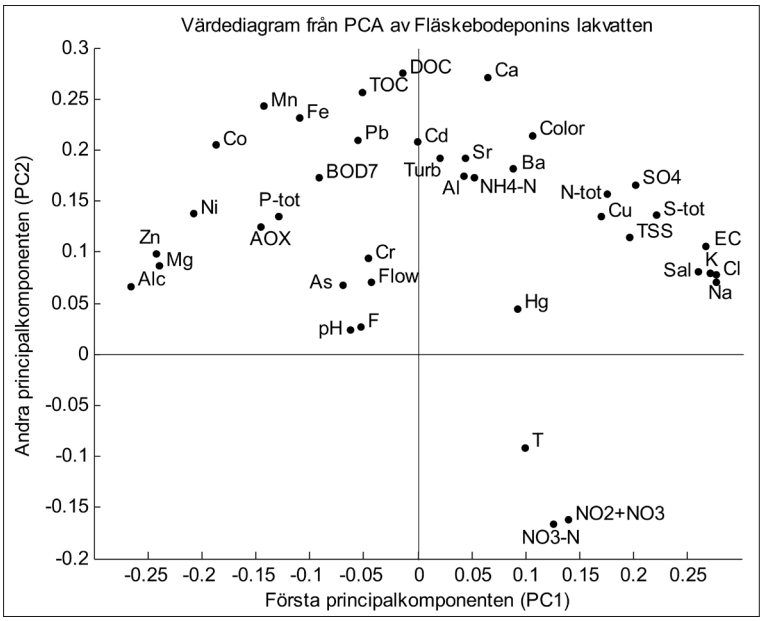
Lakvattenanalyser ger oftast bara svar på totalhalten. Undantag är analysen av kväve där förhållanden mellan mängden oxiderat och reducerat kväve erhålls (ammonium och nitrat eller nitrit), och fosfor/fosfat och svavel/sulfat. För att få en bättre bild av i vilka former som ämnena i lakvattnet föreligger har Fläskebos lakvatten analyserats med en kemisk jämviktsmodell kallad PHREEQC (Parkhurst och Appelo 1999). Modellen ger en uppfattning om i vilken form ämnena troligtvis föreligger i vattnet, såsom metaller och deras komplex.

3. Resultat och diskussion

3.1. Principalkomponentsanalys

Principalkomponentanalysen på data från Fläskebo levererar tre starka principalkomponenter som förklarar 31, 23 respektive 10 % av den ursprungliga variansen i lakvattendatan. De åtta första principalkomponenterna förklarar tillsammans 87 % procent av ursprungsvariansen. Detta innebär att 87 % av den information som tidigare beskrevs av 37 parametrar nu kan beskrivas med 8 nya.

Ett sätt att visualisera resultatet av en PCA är att visa två principalkomponenter i samma diagram, ett så kallat värdediagram. Sammanspelet mellan de första två principalkomponenterna (PC1 och PC2) visas i Figur 2. Varje analysparameter representeras av en punkt i dia-



Figur 2. *Första och andra principalkomponenten från lakvattendata från Fläskebo.* Parametrar som ligger nära varandra har likartad varians.

grammet. Det kan tolkas så att parametrar som ligger nära varandra tenderar att samvariera. I figuren har hela datamängden reducerats till två de komponenterna PC1 och PC2 som tillsammans på ett mycket behändigt sätt presenterar över hälften (54 %) av den ursprungliga variansen. Tiden har nu »eliminerats»; bilden visar variationen över hela tidsintervallet.

Intressant att notera i Figur 2 är att summaparametrar som mäter lättlösliga salter indirekt (salinitet (Sal) och ledningstal (EC)) och själva jonhalten (Cl, K, Na) befinner sig mycket nära varandra och i samma kvadrant. Det finns en stark indikation på att konduktiviteten beskriver Na- och Cl-variationen mycket väl och vice versa. TOC (totalt organisk kol) och DOC (löst organiskt kol) ligger nära varandra men den biologiskt nedbrytbara delen (mätt som biologisk syreförbrukning, BOD_7) ligger inte lika nära. Det tyder på att lakvattnets syreförbrukning inte styrs direkt av den totala kolhalten utan vilken form kolet föreligger i spelar också roll. De flesta tungmetaller (Zn, Mg, Ni, Co, Mn, Fe, Pb, Cr och As) ligger i samma kvadrant.

Principalkomponentsanalysen i denna form ger endast en kvalitativ indikation på att vissa parametrar samvarierar. För att kunna testa hur starka sambanden är görs också en kanonisk korrelationsanalys.

3.2. Kanonisk korrelationsanalys

I ett försök att hitta styrande variabler gjordes en kanonisk korrelationsanalys. Där samlades alla summaparametrar som färg, AOX (adsorberbara organiska halogener), suspenderat material, salinitet och så vidare i en datamatris (prediktor). På motsvarande sätt samlas alla eventuellt beroende parametrar såsom tungmetaller och andra grundämnen i en annan datamatris (prediktand). Se Tabell 1 för en komplett lista av vilka parametrar som togs med i respektive dataset. Syftet var att se om parametrarna i prediktorn kan förklara hur de i prediktanden varierar. De två dataseten transformerades med hjälp av PCA och de fyra första komponenterna i vart och ett plockades ut liksom ovan. De fyra första komponenterna i prediktorn förklarar 41, 21, 13 respektive 6 % av den ursprungliga variansen i det datasetet och de fyra första komponenterna i prediktanden förklarar 34, 26, 12 respektive 9 %. Korrelation mellan de två stora datamatriserna kan nu beskrivas med enbart korrelation mellan fyra nya komponenter för varje datamatris. Korrelationerna mellan komponenterna är mycket starka: 0.99, 0.97, 0.92 och 0.86.

Genom en matrisoperation kan komponenterna överföras till tidsserier. Detta är ett sätt att se deras samvariation visuellt. Tidsserierna för komponenterna visas i Figur 3. Första komponenten i prediktorn visas tillsammans med första komponenten i prediktanden och så vidare. Som syns i figuren följer de varandra väl.

Ett intressant resultat från den kanoniska korrelationsanalysen är vilka enskilda parametrar som bidrar till korrelationen. Detta visas i Tabell 1. Parametrar som i tabellen är både fetstilta och understrukna är de som huvudsakligen bidrar till respektive komponent.

Suspenderat material, ledningstal, klorid, sulfat, total svavelhalt och alkalinitet är de som framför allt bidrar till första komponenten i prediktorn. På samma sätt bidrar Mg, Ca, Na, K, Al, Ba, Cu och Zn till första komponenten i prediktanden. Korrelationen mellan de övergripande komponenterna är positiv och alltså finns det en positiv korrelation mellan de parametrar i respektive variabel som har samma tecken. Således visar tabellen att höga värden suspenderat material, ledningstal, klorid, sulfat och total svavelhalt förklarar höga värden av Ca, Na, K, Al, Ba och Cu. Jonerna Na och K kommer troligen från lättlöslig klorid, eftersom deras koncentrationer är två storleksordningar större än andra icke-organiska parametrar (koncentrationerna visas inte här). På så sätt förklaras korrelationen mellan dessa joner och klorid.

Ett sätt att förstå vad som ligger bakom de olika korrelationerna är att jämföra resultatet från CCA:n med resultatet från den geokemiska modelleringen med PHREEQC. Modelleringen visar på att koppar framför allt finns som $CuCl_2^-$ i lakvatten med hög konduktivitet och hög halt suspenderat material (van Praagh 2007). Detta är en trolig kandidat till mekanismen bakom korrelationen mellan koppar och klorid. I dessa vatten finns Al mest som aluminiumhydroxid, som har en mycket låg löslighet i den neutrala till lätt alkaliska miljön i lakvattnet. Korrelationen med Al beror kanske på temperaturskillnader.

Kalcium i lakvattnet kommer troligtvis från deponerat gips i avfall från bygg- och rivningsverksamhet. Den geokemiska modelleringen visar att både gips och dess dehydrerade form (anhydrit) är nära jämvikt i lakvattnet, vilket tyder på att det är just dessa som styr hur mycket sulfat som går i lösning. Modelleringen visade också att $CaCO_3$ vanligtvis är övermättat i lakvattnet. pH för ett lakvattensystem som har kontakt med atmosfären och som är i jämvikt med kalksten har ett pH värde på 7,75. I närvaro av gips stiger jämvikts-pH till 8,29. Fläskebos lakvatten visar ett pH värde omkring 7,8–7,9 det vill säga någonstans mellan kalkstens- och gipsjämvikt.

Karbonat- och bikarbonatjoner är möjliga bindningspartner för Zn^{2+} och Mg^{2+}. Mellan 10 och 30 % av den totala zinkkoncentrationen finns som komplex med just karbonat- och bikarbonatjoner enligt den kemiska modellen. Lakvattnet är nära jämvikt för mineralerna magnesit ($MgCO_3$) och smithsonit ($ZnCO_3$). Detta tyder på att just dessa mineraler styr lösligheten av magnesium och zink. Dessutom kan dessa bidra till alkaliniteten, i samspel med kalksten och hydroxidjoner. Detta kan vara en förklaring till den positiva korrelationen mellan Zn,

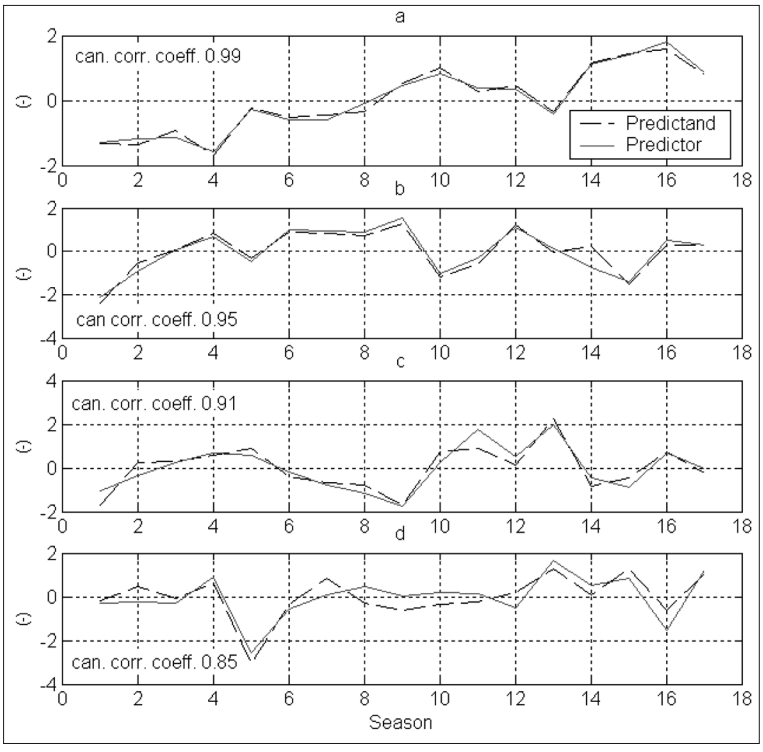
Tabell 1. *Resultat från kanonisk korrelationsanalys av lakvatten från Fläskebodeponin.* Från prediktorn och prediktanden visas vardera 4 komponenter. Hur mycket olika parametrar bidrar till respektive komponent visas också. Korrelationskoefficienter över 50 % är understrukna och signifikanta värden ($p < 0,05$) har markerats med fet stil.

Prediktor

Komponent:	1	2	3	4
Förklarad varians:	41 %	21 %	13 %	6 %
Flöde	0,17	–0,06	0,08	**–0,71**
Temperatur	–0,52	**0,68**	–0,09	0,16
Färg	–0,33	–0,42	–0,31	0,11
Turbiditet	–0,41	0,41	–0,31	–0,16
Suspenderat material	**–0,85**	0,38	–0,09	0,26
Ledningstal	**–0,82**	0,52	0,16	0,13
pH	–0,09	–0,51	–0,44	–0,45
Alkalinitet	**0,93**	0,04	–0,16	–0,27
Cl	**–0,88**	0,41	0,15	0,17
SO_4	**–0,77**	0,49	0,11	0,07
S_{tot}	**–0,74**	0,59	0,13	–0,01
P_{tot}	0,13	**0,79**	–0,38	–0,38
NH_4-N	–0,27	**0,72**	0,04	0,05
NO_2-N	–0,07	0,33	**0,60**	0,06
NO_3-N	–0,01	0,28	**0,61**	–0,04
N_{tot}	–0,51	**0,71**	0,18	–0,01
BOD_7	0,47	0,21	**–0,66**	0,32
TOC	–0,03	**0,83**	–0,35	0,07
DOC	–0,15	**0,81**	–0,33	0,01
AOX	0,54	0,31	0,12	–0,05

Prediktand

Komponent:	1	2	3	4
Förklarad varians:	34 %	26 %	12 %	9 %
Ca	–0,44	**0,86**	0,10	–0,04
Mg	**0,70**	0,26	–0,33	–0,49
Na	**–0,87**	0,43	0,17	0,18
K	**–0,85**	0,48	0,17	0,13
Fe	–0,04	0,42	–0,57	–0,25
Mn	0,49	**0,72**	–0,21	0,15
Al	**–0,71**	0,00	–0,36	–0,01
As	0,20	0,23	0,14	–0,06
Ba	**–0,88**	0,34	0,01	0,21
Pb	–0,26	0,13	–0,28	–0,47
Cd	0,15	**0,76**	0,32	–0,14
Co	0,47	0,54	–0,35	–0,28
Cu	**–0,63**	**0,74**	–0,01	0,01
Cr	0,25	0,28	**–0,70**	0,52
Ni	0,52	0,39	–0,36	–0,32
Sr	–0,50	0,55	0,11	–0,03
Zn	**0,83**	0,29	–0,18	–0,04
Hg	–0,38	**0,62**	0,34	–0,37



Figur 3. *Tidsserier från en kanonisk korrelationsanalys från lakvattendata från Fläskebodeponin.* Varje tidpunkt motsvarar ett provtagningstillfälle. a) första komponenten från prediktor (styrande variabel) tillsammans med första komponenten från prediktand (svarande variabel); b) andra komponenten i respektive dataset osv. Den kanoniska korrelationskoefficienten (can. corr. coeff.) visar hur stor korrelationen mellan de olika variablerna är.

Mg och alkalinitet som visar sig genom att dessa tre parametrar har samma tecken för korrelationen med de första komponenterna (se Tabell 1).

Tittar man närmare på metallerna, så visar data för komponenterna nummer 2 i Tabell 1 att 26 % av variansen hos Ca, Cd, Mn, Cu och Hg kan förklaras med 21 % av variansen hos TOC, DOC, P_{tot}, NH_4-N, N_{tot} och temperaturen. Cd och Cu är kända för att binda till löst organiskt material, och även Mn-joner dras till organiska ämnen. Även om NH_3 är en möjlig ligand (bindningspartner) för Cd^{2+}, Cu^{2+}, Ni^{2+} och Zn^{2+} visar den kemiska modellen inte på väsentliga bidrag till totalkoncentrationerna vid pH strax över neutralt.

Modellresultaten indikerar att utlakningen av organiskt material sammanfaller med utlakning av Cd, Mn, Cu och Hg. Temperaturen påverkar teoretiskt lösligheten av tungmetallhaltiga mineral: ju varmare lakvatten, desto högre löslighet som regel. Temperaturen visar sig dock inte ha någon större betydelse avseende tungmetallernas variation. Både TOC och DOC är dock starka förklarande variabler. DOC (löst organiskt kol) mäts efter mikrofiltrering av vattenprovet. DOC motsvarade i medeltal 84 % av TOC (totalt organiskt kol). Av den totala kolfraktionen passerade således i genomsnitt 84 % filtret och endast 16 % avskildes. Filtreringen hade alltså en marginell effekt på TOC. Val av en mindre filterporstorlek kunde möjligtvis ha gett en annan bild, både vad som gäller förhållandet mellan DOC/TOC och koncentrationen av Ca, Cd, Mn, Cu och Hg. Dessutom kan val av en mindre porstorlek ge ytterligare information om metallerna är partikel- eller kolloidbundna. Denna information kan ha stor betydelse för effekten av vald lakvattenreningsprocess. Vid den valda filterporstorleken ger mätningen av TOC inte mer »matnyttig» information än endast DOC.

Korrelationen mellan de tredje komponenterna visar att 13 % av NO_2-N- och NO_3-N-variansen, och med motsatt förtecken även BOD_7-variansen förklarar 12 % av Cr-variansen. Det betyder att förstnämda är omvänt korrelerade till Cr. Detta kan med den nu tillgängliga informationen inte förklaras. Ett liknande samband har dock upptäcks för lakvatten från en annan deponi så detta fenomen verkar intressant att utreda närmare.

4. Slutsatser och utblick

Vad som egentligen blir konsekvenserna av torrare, vattenomättat avfall verkar vara dels ett saltare lakvatten, dels ett lakvatten som är mera beroende av avfallets inneboende alkalinitet. Trots att halten organiskt material i lakvatten från Fläskebo är förhållandevis låg (50–80 mg/l) så verkar det ändå spela en roll för utlakningen av Cu och Cd, och möjligtvis Cr. Temperaturens betydelse för variationen i lakvatten är förhållandevis liten. Avseende lättlösliga salter i lakvattnet verkar flera parametrar mäta samma variation (Cl, Na, K, ledningstal och salinitet). Det är värt att diskutera om vissa parametrar kan mätas med lägre frekvens eller utelämnas.

Intressant för framtiden är att följa upp halten organiskt material i lakvattnen och avfall och dess betydelse för andra parametrar. Även nedbrytbarbarheten av återstående organiskt material i avfallsprover från bl.a. Fläskebo är intressant att undersöka närmare. Hur mycket kvarvarande organiskt material är nedbrytbartbart när så mycket som möjligt av det organiska materialet redan är bortsorterat? Att dokumentera lakvattenreningsanläggningens effekt och prestanda och konsekvenserna för hur lakvatten behöver behandlas för att inte inverka negativt på människans hälsa och miljön bör också studeras.

Arbetet visar att multivariata tekniker har stor potential för användning till studier av lakvatten. Detta beror inte minst på deras förmåga att snabbt sortera fram den mest intressanta informationen i de stora och svårhanterliga datamängder som lakvattendata ofta utgör. Principalkomponentanalysen fyller i det sammanhanget funktionen att snabbt sortera ut vilka möjliga samvarianser som finns och vilka samband som bör studeras vidare. Därefter är det möjligt att med hjälp av kanonisk korrelationsanalys kvantifiera dessa samband. Om denna analys dessutom kombineras med geokemisk modellering kan den leda till att förståelsen av lakvattenkemin kan fördjupas.

Nästa steg i studien är att undersöka fler deponier med de beskrivna metoderna. En ytterst relevant fråga som då kan få sitt svar är om samma eller helt andra samband styr lakvattnet i Fläskebo jämfört med äldre deponier. Eftersom Fläskebo är ett exempel på morgondagens deponier kan detta ge en del svar på frågan om hur morgondagens lakvatten kan skilja sig från gårdagens.

Tack

Projektet har fått stöd från Renova, Sysav och Avfall Sverige, vilket vi tacksamt noterar.

Referenser

Avfall Sverige (2008). *Svensk Avfallshantering 2008.* Malmö, Avfall Sverige.

Barnett, T. P. och R. Preisendorfer (1987). Origins and Levels of Monthly and Seasonal Forecast Skill for United States Surface Air Temperatures Determined by Canonical Correlation Analyis. *Monthly Weather Rewiev* **115**: 1825–1850.

Jackson, J. E. (1991). *A user's guide to principal components.* New York, Wiley, cop.

Nilsson, A. (2006). Optimering av den kemiska reningen vid Fläskebo deponi. *Department of Information Technology, Division of System and Control*. Uppsala, Uppsala University. **Master's thesis:** 70.

Parkhurst, D. L. och C. A. J. Appelo (1999). *User's guide to PHREEQC (Version 2) : a computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations*. Denver, Colorado, US, U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations.

van Praagh, M. (2007). On leachate emissions from municipal solid waste. *Water resources engineering*. Lund, Lund University. **Doctoral Thesis:** 200.

van Praagh, M. och K. M. Persson (2005). *Miljökonsekvenser av ändrade deponeringsförhållanden. Delprojekt: Framtida deponering, bakgrund och förväntade förändringar*. Lund, Lund University.

van Praagh, M. och K. M. Persson (2006). National Translation of the EU landfill directives: Will Swedish Landfills become sustainable? *Journal of Sustainable Planning and developement* **1**(1): 46–60.

van Praagh, M. och K. M. Persson (2007). Lakvattenkvalitet undersökt med multivariat analys. *Vatten*(63): 59–67.