



MÄLARDALENS HÖGSKOLA
ESKILSTUNA VÄSTERÅS

FÖRNYBAR ENERGI FRÅN BIOGASPRODUKTION GENOM ALGODLINGAR I DEPONILAKVATTEN

- En studie av algodlingar i sju olika deponilakvatten

ANNA LINDBERG

MY NILSSON

Akademien för ekonomi, samhälle och teknik
Miljövetenskap
Grundnivå
15 hp
Kandidatprogram i miljövetenskap – miljö, hälsa,
arbete
MXA205

Handledare: Veronica Ribé
Examinator: Patrik Klintenberg
Uppdragsgivare: Veronica Ribé Mälardalens
Högskola
Datum: 2013-06-03

ABSTRACT

Microalgae as a step towards a more sustainable future, is it possible?

As the world demands more and more energy and the fossil fuel resources run short and pollutes the air surrounding us it is of great interest to develop new and more environmentally friendly options. Microalgae could be used as one of these new energy resources. In this study, an attempt to grow microalgae in seven different types of landfill leachates gathered from Atleverket in Örebro and from VAFAB Miljö AB in Västerås was performed. The aim of the study was to assess the potentially obtained biomass. The landfill leachates were analyzed in pH and TOC (Total organic carbon) measurements. Algal growth was determined through measurements of optical density and chlorophyll content. Toxicity tests were performed with the algae *Anabaena sp.*, *Scenedesmus subspicatus* and *Pseudokirchneriella subcapitata*.

The results from the study show that it is possible to grow algae in landfill leachates although the results vary greatly amongst the samples. The highest algae growth was found in the leachates with the highest content of nutrient; for example the leachates without any pre-treatment. Two of the samples showed little or no algal growth. Results from the toxicity tests show a wide range of responses although it seems that the leachate toxicity does not have a significant effect on the algal growth.

The conclusion from this study is that it is possible to grow algae in landfill leachates and that it can be an effective way to pre-treat the leachates and to obtain a significant amount of biomass for future biofuel production.

FÖRORD

Detta är ett examensarbete på 15 hp på kandidatprogrammet för miljövetenskap – miljö, hälsa, arbete 180 hp. Arbetet hade inte kunnat genomföras utan en del hjälp, i och med detta vill vi särskilt tacka Veronica Ribé, MDH, som har varit en tillgång och ett stort stöd under hela processen. Ett särskilt tack vill vi också rikta till VAFAB Miljö AB och Atleverket i Örebro som bistått med de lakvatten som används i försöken samt för den hjälp och de svar vi fått under utvecklingsgången.

-Ett stort tack till Er!

SAMMANFATTNING

I denna studie har syftet varit att undersöka möjligheten att odla alger i lakvatten hämtade från deponier samt att mäta bildad biomassa med intention att framställa biogas. Sammanlagt samlades sju olika lakvatten in från Atleverket i Örebro och från VAFAB Miljö AB i Västerås från olika provtagningspunkter i de olika deponierna. Till samtliga lakvattenprov applicerades en algtyp från Mälaren. Försöket pågick under ett antal veckor då kontinuerliga tester på bildad algbiomassa och pH genomfördes. Utöver detta har även totalt organiskt kol (TOC) samt klorofyllmängd mätts vid start och avslutningsskede. Toxicitetstester genomfördes på samtliga prov med de tre olika algarterna *Anabaena sp.*, *Scenedesmus subspicatus* och *Pseudokirchneriella subcapitata*. I de sju olika proverna har en variation i tillväxten påvisats vilket säkerligen beror på lakvattnens olika sammansättning. Generellt sätt är det de lakvattenprover hämtade vid oljeavskiljaren, tidigt i processen eller i inloppet till den luftade dammen som alg tillväxten är som allra bäst. Sämre resultat har däremot uppvisats för de prover hämtade efter utlopp från våtmark eller i de vatten med relativt låg halt organiska föroreningar. Analyserna har visat att det är möjligt att odla alger i lakvatten, det är däremot en stor skillnad i tillväxt beroende på vilken typ av lakvatten som används. Enligt resultat är toxiciteten för flertalet lakvatten relativt låg, i flera av vattnen har en gödande effekt dessutom kunnat uppmätas vilket tyder på att algerna tolererar de toxiska ämnen som finns i lakvattnen.

Att odla alger i deponilakvatten är en relativ ny metod, tidigare erfarenhet har dock visat på att avloppsvatten fungerar bra som substrat för algodlingar. För att lyckas med en god alg tillväxt är de yttre förhållande en viktig komponent, det vill säga att temperatur, tillgång till näringsämnen samt ljus måste vara i jämn balans för att goda resultat skall uppnås. Målet är att algerna skall kunna odlas i deponilakvatten på deponierna vilket skulle medföra att ingen annan viktig mark tas i anspråk. Dessutom skulle algodlingarna kunna bilda en tillräckligt stor mängd biomassa för att denna skulle kunna skördas och rötas för att framställa biobränsle. Utöver detta har algerna också en förmåga att rena lakvatten från både kväve och fosfor men också från metaller, vilket innebär att algodlingarna även kan komma att fungera som ett extra reningssteg i den fullständiga reningsprocessen.

Att nå goda resultat med algodlingar i deponilakvatten är möjligt om hänsyn tas till de yttre faktorerna. Däremot har laborativa försök med skörd och behandling av algbiomassan för framställning av biogas inte genomförts i detta projekt. Enligt de studier som finns på detta har det visat sig finnas en del svårigheter i just skörd och behandling av biomassan, varpå ytterligare studier samt ekonomiska kalkyler bör genomföras på framställningen av biobränsle från biomassan innan det är möjligt och/eller rimligt att faktiskt framställa biobränsle från algodlingar i deponilakvatten.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INLEDNING	7
1.1	Bakgrund	7
1.2	Syfte	8
1.3	Mål	8
1.3	Problemformulering	8
1.4	Avgränsning	8
2	LITTERATURSTUDIE	9
2.1	Bildning av lakvatten	9
2.2	Lakvattnets sammansättning	9
2.3	Vanliga reningsmetoder för lakvatten	10
2.3.1	<i>Fysikaliska och kemiska reningsmetoder</i>	11
2.3.2	<i>Biologiska reningsmetoder</i>	11
2.4	Alger	12
2.5	Parametrar för alg tillväxt	12
2.6	Alger som reningssteg	13
2.7	Första, andra och tredje generationens biodrivmedel	14
2.8	Alger för framställning av biobränsle	15
2.9	Olika typer av algbiobränsle	16
2.9.1	<i>Bioetanol</i>	16
2.9.2	<i>Biodiesel</i>	17
2.9.3	<i>Biogas</i>	17
2.10	Odling av alger för biobränsleproduktion	18
3	METODBESKRIVNING	19
3.1	Objektsbeskrivning	19
3.1.1	<i>VAFAB Miljö AB</i>	19
3.1.2	<i>Atleverken Örebro</i>	21

3.2	Provtagning	23
3.3	Analysmetoder.....	23
3.3.1	<i>Algodling.....</i>	23
3.3.2	<i>Mätning av algtiltväxt.....</i>	24
3.3.3	<i>pH.....</i>	24
3.3.4	<i>Toxicitetstest.....</i>	24
3.3.5	<i>Bestämning av klorofyll</i>	25
3.3.6	<i>Mätning av organsikt kol, TOC.....</i>	25
3.3.7	<i>Mikroskopering för algartbestämning</i>	25
3.4	Analys av felkällor	25
4	RESULTAT.....	25
4.1	Algodlingar	25
4.1.1	<i>Optisk densitet</i>	26
4.1.2	<i>pH.....</i>	27
4.1.3	<i>Toxicitetstest.....</i>	28
4.1.4	<i>Bestämning av klorofyll</i>	31
4.1.5	<i>TOC.....</i>	32
4.1.6	<i>Mikroskopering för algartbestämning</i>	33
5	DISKUSSION OCH SLUTSATSER	33
5.1	Mätning av algtiltväxt	33
5.2	pH	34
5.3	Mätning av organiskt kol, TOC	35
5.4	Bestämning av klorofyll	35
5.5	Toxicitetstest	35
5.6	Alger som alternativt reningssteg och för framställning av biobränsle	36
6	SLUTSATS.....	37
7	FÖRSLAG TILL FORTSATT ARBETE.....	37
	KÄLLFÖRTECKNING.....	39

ORDFÖRKLARING

Deponi- En plats där avfall deponeras.

Klass 1- Deponi – deponi för farligt avfall (enligt EU-direktiv om farligt avfall 91/689/EEG).”Avfall som uppvisar en total halt eller lakbarhet av potentiellt farliga komponenter som är tillräckligt hög för att innebära en arbetsmiljö- eller miljörisk på kort sikt eller för att förhindra tillräcklig stabilisering av avfallet inom den projekterade drifttiden för deponin får inte godtas utan föregående behandling” (Bedömningsgrunder för förorenade massor, 2005, RVF Utveckling 02:09, ISSN 1103-4092, s 16)

Inert avfall – avfall som inte går igenom några avsevärda förändringar såsom kemiska, fysiska eller biologiska. Inert avfall bryts inte ner biologiskt, brinner inte, löses inte upp, reagerar inte kemiskt eller fysikaliskt med andra material på ett sätt som kan skada människor eller miljö. Inert avfall har dessutom en obetydlig lakbarhet och ett obetydligt total föroreningsinnehåll och kan inte äventyra kvaliteten på grund- eller ytvatten. (Bedömningsgrunder för förorenade massor, 2005, ISSN 1103-4092)

Dispens- Undantag för enskilda fall.

BOD- Biochemical oxygen demand, ett mått som anger hur mycket biologisk nedbrytbar substans det finns i vatten.

COD- Chemical oxygen demand, ett mått som anger den mängd syre som förbrukas vid fullständig kemisk nedbrytning.

TC- Total carbon, ett mått på det totala kolinnehållet i vatten.

TIC- Total inorganic carbon, ett mått på det totala oorganiska kolinnehållet i vatten.

TOC- Total organic carbon, ett mått på det totala organiska kolinnehållet i vatten.

Konduktivitet- Mått på hur väl ett ämne kan transportera elektrisk laddning.

Alkalinitet- Mått på vattens bufferkapacitet.

Xenobiotiska föreningar- Beteckning på alla kroppsfrämmande ämnen, exempelvis miljögifter.

Biogas – denna gas bildas när biomassa eller annat organiskt material bryts ned av mikroorganismer i en anaerob miljö (syrefri). I denna process samspelar många olika typer av mikroorganismer som medför att proteiner, fetter och kolhydrater bryts ned till metan och koldioxid som är slutprodukterna.

Biodiesel – detta bränsle utvinns ur oljor från olika typer av växter exempelvis sojaböna, solros, palmer eller raps, det kan också utvinnas från djurfetter. Dessa fetter modifieras (förestrats) för att få fram liknande kemiska egenskaper som vanlig dieselolja som utvinns ur mineralolja. Detta bränsle kan användas som en blandning med vanlig diesel eller i ren form i dieselmotorer.

1 INLEDNING

Denna rapport syftar till att studera möjligheterna att odla alger i deponilakvatten med avsikt att rena lakvattnet och studera möjligheten att kunna använda den erhållna biomassan för biobränsletillverkning. Examensarbetet utförs som en del i Kandidatprogrammet för miljövetenskap. Inriktningen är mot Miljö, energi- och resursoptimering. Uppgiften av examensarbetet har erhållits av Dr Veronica Ribé vid forskningsprofilen Future Energy, Mälardalens Högskola i Västerås i samarbete med VAFAB Miljö och Atleverket Örebro. Uppgiften syftar till att studera möjligheterna att odla alger i deponilakvatten för såväl rening som för biobränsleproduktion, den ska fungera som en förstudie till forskningen i projektet *ALTOX – Förnybar energi från biogasproduktion genom algodlingar i deponilakvatten*. Uppgiften kommer att lösas genom litteraturstudier och laborativt arbete genom försök och analys av algodlingar i sju deponilakvatten hämtade från VAFAB Miljö och Atleverket i Örebro.

1.1 Bakgrund

Miljölagstiftningen gällande avfallshantering och deponier har förändrats under senare år, dock kvarstår problematiken med att deponier kontinuerligt producerar lakvatten som innehåller föroreningar. Detta är i dagsläget ett problem som förorsakas av såväl aktiva som avslutade deponier. Vilka föroreningar lakvattnet innehåller varierar mycket från deponi till deponi eftersom lakvattnets egenskaper beror på deponins sammansättning och innehåll. Vanligt förekommande föroreningar i samband med deponilakvatten är fosfor och kväve som är gödande näringsämnen samt organiska föreningar, oorganiska föreningar och metaller. (Ribé, 2013)

Föroreningsmängder i lakvatten kan variera till följd av årstidsväxlingar, nederbörd och temperatur och därför är det oftast inte lämpligt att rena lakvatten i ett vattenreningsverk. För att lakvatten ska få släppas ut till recipient måste det först renas och därför behövs alternativa behandlingsmetoder. Vanliga lokala reningsmetoder för deponilakvatten i dagsläget är reaktiva filter och luftade dammar. Problematiken med lakvattenrening gäller främst vattnets komplexitet när det kommer till organiska föreningar, fysikaliska-kemiska egenskaper och metallhalter. Vid en eventuell biologisk rening kan toxiska föroreningar såsom metaller komma att störa processen och vid behandling med reaktivt filter så går viktiga näringsämnen förlorade. (Ribé, 2013)

Kväve och fosfor är viktiga näringsämnen som krävs för algers tillväxt. Alger har en förmåga att ta upp metaller under tillväxten genom att metallerna koncentreras och kapslas in i algernas biomassa. Dessutom har alger en förmåga, genom enzymsystem, att helt eller till viss del bryta ned vissa organiska ämnen exempelvis olika typer av aromatiska föreningar. På grund av dessa egenskaper förefaller algodlingar som en lämplig potentiell reningsmetod för deponilakvatten. Tidigare genomförda studier har visat på att avloppsvatten fungerar bra som substrat för algodlingar. Särskilda förhållanden krävs för att få en god algtillväxt, exempelvis ljus och värme. Det är under dessa förhållanden som de flesta undersökningar

utfördes. Dock har det genomförts undersökningar med algodlingar i avloppsvatten även vid kallare klimat, dessa har visat på att det även är möjligt för effektiv alg tillväxt vid temperaturer så låga som 5-10°C. (Ribé, 2013)

Fossilfria energikällor har blivit allt mer efterfrågat och därför kan biomassa från algodlingar erbjuda en möjlighet till energiproduktion genom framställning av biogas. Det har framgångsrikt utfördes röttningsförsök med biomassa från alger för att framställa biogas, resultaten kan jämföras med den biogasframställning som utvunnits från majsensilage. Dock så kan biogasproduktionen variera mellan olika algarter och det är viktigt att ha kunskap om vilken förbehandling som borde användas och att ha vetskap om inverkan faktorer som påverkar produktionen av biogas genom algers biomassa för att lyckade resultat ska komma att nås. (Ribé, 2013)

1.2 Syfte

Syftet med denna rapport är att studera algers tillväxt i sju deponilakvatten hämtade från VAFAB Miljö och Atleverket i Örebro i avseende att granska den erhållna biomassan. Rapporten syftar även till att granska lakvattnets toxicitet enligt standarden ISO 8692.

1.3 Mål

Målet med rapporten är att den ska fungera som en förstudie till fortsatt arbete inom forskningsprojektet AITOX.

1.3 Problemformulering

Denna studie avser att besvara frågeställningarna;

- På vilka sätt kan olika typer av spillvatten från deponier renas med alger?
- Hur väl fungerar alger som försteg- respektive poleringssteg i reningsprocessen av lakvatten?
- Hur väl fungerar lakvatten från deponier som substrat för algodlingar?
- Vilka parametrar är avgörande för en god alg tillväxt i deponilakvatten?
- Vilka problem finns med framställning av alger som algiobränsle?

1.4 Avgränsning

De resultat som presenteras i rapporten gäller algodlingar i deponilakvatten, algers överlevnadsgrad i förorenat lakvatten (genom toxicitetstest) samt en granskning av den erhållna biomassan från odlingarna. Avgränsningen görs vid biogasframställning, då laborativa studier inte genomfördes på rötning och framställning av biogas.

2 LITTERATURSTUDIE

2.1 Bildning av lakvatten

Lakvatten från deponier bildas genom nederbörd som tar sig igenom deponin och som sedan lakas ut från avfallet, i äldre deponier är det också vanligt förekommande att lakvatten bildas genom att grundvatten samt ytvatten tränger upp i deponin. I vissa fall samlas även vatten från förorenade ytor upp tillsammans med lakvattnet vilket gör att mängden lakvatten ökar betydligt. Beroende på temperatur, nederbörd och nedbrytning bildas olika mycket lakvatten. Vid Svenska deponier ligger lakvattenbildningen på omkring 1500-3500m³ per hektar och år. Lokaliseringen av deponin samt den hydrologiska egenskaper är av stor vikt för bildning och spridning av lakvatten. Om deponin är placerad i ett inströmningsområde är risken större för att föroreningen infiltreras i marken där en viss nedbrytning kan ske medan vissa föroreningar tenderar att spridas vidare och kontaminera grundvattnet. Om deponin däremot är placerad i ett utströmningsområde förhindrar grundvattentrycket lakvattnet från att spridas. Lakvattnet tenderar att förändras i samband med att deponin genomgår olika faser. (Naturvårdsverket Rapport 8306, 2008)

2.2 Lakvattnets sammansättning

Sammansättningen av lakvattnet är främst beroende av vad som har deponerats i deponin dock finns det andra faktorer som också påverkar lakvattnet. Aldern på deponin har en avgörande roll för lakvattnets sammansättning, detta på grund av att den biologiska nedbrytningen i deponin genomgår olika faser. En relativt ny deponi som inte kommit så lång i nedbrytningsprocesserna utan befinner sig i syrabildningsskedet har ett lakvatten med höga halter av flyktiga organiska syror med ett surt pH. Ytterligare ämnen som återfinns i nyare deponiers lakvatten är järn, kalcium, mangan, magnesium, kalium men även höga halter av ammonium och organiskt kväve är vanligt förekommande. En del tungmetaller kan också återfinnas i dessa typer av lakvatten, exempelvis zink. (Persson et. al, 2005)

Gäller det en äldre deponi ser lakvattnet i regel ut på ett annat sätt då deponin kommit in i metanbildningsfasen. Dessa vatten tenderar att ha låga halter av flyktiga syror samt ett neutralt till basiskt pH. Vid äldre deponier är BOD och COD-halterna låga vilket påvisar att lakvattnets organiska innehåll främst består av låga halter av såväl lätt- som svårnedbrytbara ämnen. Metallhalten i dessa lakvatten är i regel låg medan ammoniumhalten är fortsatt hög. Vid en jämförelse mellan kommunalt spillvatten och lakvatten har lakvattnet i regel betydligt högre halter av organiskt material och kväve. Fosforhalten däremot är högre i spillvatten än i lakvatten. (Persson et. al, 2005) Befintlig data visar på att lakvattensammansättningen är starkt beroende av den nedbrytningsfas som avfallet genomgår. När deponin genomgår den sura fasen har lakvattnet ett surt pH samt höga halter av flyktiga organiska syror vilket beror på en ökad bildning av löst organiskt material och frisättning av ammoniak. I metanbildningsfasen minskar halten löst organiskt material vilket också sänker BOD-halten i

lakvattnet. Ammoniakkoncentration följer dock inte samma trend och tros vara den långsiktiga föroreningen som återfinns i lakvatten från deponier. (Kjeldsen et al, 2002)

I de vanligaste deponierna brukar det förekomma en blandning av industriellt avfall med undantag från direkt kemiska ämnen. Enligt Christensen et. al (2001) brukar föroreningarna delas in i fyra olika grupper:

- Löst organsikt material, innehåller i regel COD, TOC, fettsyror samt humusföreningar
- Oorganiska makrokomponenter så som, Ca, Mg, Na, K, Ce, Fl, samt Mn
- Tungmetaller som, Cd, Cr, Zn, Cu, Ni samt Pb
- Xenbiotiska föroreningar (XOCs) så som, aromatiska kolhydrater samt klorerade alifater vilka kommer från hushålls- och industri kemikalier.

I en studie genomförd på tio danska deponier har samtliga innehåll av kommunala avfall med en blandning av flertalet olika föroreningar. I dessa fall har det granskats huruvida det finns xenobiotiska föroreningar i lakvattnet samt toxiciteten hos dessa. Resultaten från pH, konduktivitet, alkalinitet samt kloridhalten varierade kraftigt mellan de olika deponierna. Toxicitetstester genomfördes med algen *Pseudokirchneriella subcapitata* samt med bakterien *Salmonella typhimurium*. I samtliga deponilakvatten återfanns höga halter av klorid samt ammonium vilket visade sig vara de ämnen som orsakade lakvattnets största toxiska effekt. Däremot så visade inte något av proverna på en högre halt av xenobiotiska ämnen än 1% av den totala organiska kolhalten. Toxicitetstesterna visade även på att flyktiga organiska ämnen i lakvatten har en toxisk effekt men att det måste till fler undersökningar och tester för att möjliggöra en utvärdering om lakvattnets giftighet. De prover som var giftigast visade sig vara de med högst innehåll av xenobiotiska ämnen. I framtiden behövs det bättre metoder för att kunna analysera xenobiotiska ämnen för att kunna genomföra en riskbedömning. (Baun et al, 2004)

Ytterligare studier visar på den stora variation som finns i lakvatten från olika deponier. Toxiciteten varierar mellan testarter, lokalisering samt typ av deponi. Lakvatten från hushållssopor har visat sig vara betydligt mer toxiskt än lakvatten från rent industriavfall. Däremot har tester påvisat att det lakvatten som tenderar vara mest toxiskt är det som kommer från deponier med farligt industriellt avfall kombinerat med hushållsavfall där det efter toxicitetstester kunde konstateras att den känsligaste organism för lakvatten var protozoer (urddjur) samt kräftdjur. (Baun et al, 2004)

2.3 Vanliga reningsmetoder för lakvatten

I de flesta länder är den vanligaste metoden för att göra sig av med avfall att deponera det. Trots enkelheten detta medför genereras en mängd förorenad lakvatten med varierande flöde och kemisk sammansättning från samtliga deponier. Allt eftersom har lakvattnets påverkan på miljön tvingat myndigheter att ställa högre krav på kontrollen av lakvatten samt lakvattenvolymer och innehåll. Lakvatten tenderar att innehålla mycket svårnedbrytbart material varför de vanligaste reningsmetoder som används i dagsläget är fysikalisk-kemiska reningsmetoder med inslag av biologiska reningssteg. Konventionella reningsmetoder för lakvatten kan klassificeras enligt tre huvudgrupper, vilka är:

- Lakvattentransport, återvinning och behandling i kombination med hushållsavloppsvatten
- Biologisk nedbrytning, aeroba och anaeroba processer
- Kemiska och fysikaliska reningsmetoder, kemisks oxidation, adsorption, flotation, sedimentering och flockning (Renou et al, 2008)

2.3.1 Fysikaliska och kemiska reningsmetoder

Filtrering är ett vanligt förekommande reningssteg vid lakvattenrening. Denna process skiljer i första hand ut ämnen efter dess storlek, men processen kan även avskilja ämnen efter densitet, ytladdning osv. Filtreringsmetoderna är många och nyttjas väl i olika skeden av reningsprocessen. Sandfilter är vanligt förekommande och används vanligen som ett förebehandlingssteg. Ytterligare filtreringsmetoder är torvfiltrering, kalkfiltrering, naturlig infiltration osv. Naturlig infiltration är den mest kostnadseffektiva metoden men ställer höga krav på marklämplighet och förundersökningsarbete för att förhindra kontaminering av grundvatten. Andra metoder som används för lakvattenrening är adsorption då lösta ämnen i en vätska binder till ett fast ämnes yta. Det finns flera olika typer av adsorption så som kemisk adsorption, fysikalisk adsorption samt elektrostatisk adsorption. Vid Svenska avfallsupplag är det luftade dammar som är den vanligaste reningsmetoden, antingen kan den luftade dammen användas som enda reningssteg eller så kan det verka som ett försteg till alternativ efterbehandlingsprocess. Ämnesreducering vid luftad damm ger en relativt liten kvävereducering medan vissa metaller fälls ut på ett effektivt sätt. (Hoyer & Persson, 2006)

Vanliga kemiska reningsprocesser för lakvatten är kemisk fällning, denna process syftar till att fälla ut bl. a. metaller, vilket sker med hjälp av fällningskemikalier. Kemisk fällning har en god förmåga att reducera kväve. Kemisk oxidation är ännu en variant på reningsmetod som används i Tyskland där rening av dioxiner med inverkan av ozon har visat sig fungera på ett effektivt sätt. Generellt för de kemikaliska reningsprocesserna gäller att de är kostsamma på grund av att de ständigt kräver kemikalietillförsel. Överlag är de fysikalisk-kemiska processerna lättare att automatisera samtidigt som de yttre förhållandena inte är lika viktiga som vid biologiska reningsprocesser. (Hoyer, Persson, 2006)

2.3.2 Biologiska reningsmetoder

Vid rening av avloppsvatten förekommer olika metoder av biologisk rening. Bland annat används ofta mikroorganismer i den aeroba biologiska nedbrytningsprocessen, där mikroorganismerna får möjlighet att nyttja avloppsvattnets föroreningar som föda. Vid mikroorganismernas arbetsprocess oxideras organiska ämnen till vatten och koldioxid. Denna process leder till att mikroorganismerna förökar sig och tar upp näringsämnen som fosfor och kväve ur avloppsvattnet. För att avskilja denna typ av celledelning ur reningsprocessen kan flotation samt sedimentering användas. Andra vanliga biologiska reningssteg för såväl rening av avloppsvatten som lakvatten är den biologiska dammen, som fungerar som ett naturligt reningsystem. (Persson et al, 2005) Vid rening av lakvatten tenderar den luftade dammen vara vanlig på flertalet avfallsupplag i Sverige antingen som enda reningssteg eller som förbehandlingssteg innan vattnet skickas vidare till exempelvis

markinfiltration eller till kommunalt avloppsreningsverk. Luftade dammar kan även kombineras med kemisk fällning eller med biologisk behandling. Vid rening av lakvatten i metanfasen har det visat sig att luftade dammar också kan reducera COD i lakvattnet på ett effektivt sätt. (Hoyer, Persson, 2006)

2.4 Alger

Alger är fotosyntetiserande, vattenlevande organismer och brukar endast inkludera eukaryota organismer, vilket utesluter fotosyntetiserande bakterier såsom cyanobakterier, tidigare kallade blågröna alger är encelliga organismer (Scott, et. al, 2010) som kan delas in i prokaryota (saknar cellkärna) och eukaryota (med cellkärna). Till de prokaryota algerna hör cyanobakterier och till de eukaryota hör t ex gröna alger och röda alger. Det är främst mikroalger som är intressanta för framställning av biobränslen. (Fredin, 2009)

2.5 Parametrar som påverkar algtillväxt

Det finns ett antal olika faktorer som bör tas hänsyn till för att på ett effektivt sätt lyckas med algodlingar. De mest relevanta faktorerna är ljus, tillgång till näringsämnen, temperatur, pH, salthalt och turbulens. Dock så varierar de optimala förhållandena mellan olika algarter. (Hedenfelt, 2010)

Ljus är en viktig parameter när det kommer till att få en effektiv algtillväxt då alger använder sig av solljus i sin fotosyntes. Ljuset måste anpassas till de förhållanden som råder i algodlingen t ex måste det beaktas på vilket djup algerna befinner sig gentemot ljuskällan och hur pass tätt de växer. För optimal tillväxt är även temperatur viktig och den bör ligga så nära som möjligt den temperatur som råder där algarten förekommer naturligt. Allmänt gäller att om temperaturen understiger 16° C hämmas tillväxten eller överstiger 35 ° C riskerar algarten att dö. pH är en annan faktor för att få en effektiv algtillväxt, generellt ligger det optimala pH för alger mellan 8,2-8,7. En annan viktig parameter är också koldioxidhalten i luften. För en optimal algtillväxt ska helst luften innehålla 1 % CO₂, generellt ligger halten CO₂ i luften mellan 0,35 – 0,4%. Att placera en algodling i närheten av en koldioxidkälla såsom en industri eller liknande kan därför vara gynnande för tillväxten. (E. Hedenfelt, 2010)

En av de viktigaste parametrarna för algtillväxt är näringen. Mikroalger livnär sig genom att uppta näring i form av t ex kväve och fosfor. Kväve kan upptas fotoautotroft (upptag i oorganisk form såsom nitrat eller ammonium) eller heterotroft (upptar organiskt bundet kväve) (E. Hedenfeldt, 2010). Enligt Avfall Sveriges studie som redovisas i rapporten *Rening av lakvatten, avloppsvatten och reduktion av koldioxid med hjälp av alger* (2009) visar på att algarter *Chlorella sp.* har förmåga att fixera kväve ur avloppsvatten. Efter 5 dagar kunde en 40 % fixering av kväve dokumenteras och efter 12 dagar var detta uppe i 95%. Fosfor är en annan näringskälla för mikroalger och detta kan tas upp fotoautotroft (oorganisk form såsom fosfat) eller heterotroft (fosfor bundet i organiskt material) (E. Hedenfelt, 2010). Mikroalgarten *Chlorella sp.* har visat sig kunna minska mängden fosfor ur avloppsvatten

med 50 % efter 5 dagar och med mer än 95 % efter 12 dagar (Avfall Sverige, 2009, ISSN 1103-4092)

2.6 Alger som reningssteg

Det finns över 30 000 algararter och dessa tenderar att vara en ganska så outnyttjad organismgrupp när det gäller vattenrening och energiframställning. Alger eller mikroalger är mikroskopiska växter som lever främst i vatten. Algerna har samma funktionerande fotosyntes som högre stående växter det vill säga att de omvandlar vatten, CO₂ och solljus till biomassa och O₂. I länder som USA, Japan, Kina och Indien befinner sig algindustrin i ett tillväxtskede där ca. 10 000 ton alger produceras totalt årligen. Syftet med algproduktionen är att framställa näringstillskott, vilket främst sker i öppna dammar där algerna vanligen odlas enligt ett system kallat "Race Way" där en omrörning sker kontinuerligt med ett skovelhjul och där CO₂ tillsätts vid behov för att öka produktiviteten. Runt om i världen finns dessutom tusentals dammar som används i syfte att behandla avloppsvatten, de flesta av dessa dammar tenderar att vara små men det finns också större anläggningar med dammar på över 100 hektar. Dock så används ingen gödsling med koldioxid i dessa dammar och det sker heller ingen skörd av biomassan. I de fall där biomassan faktiskt har skördats har den dock inte använts i något syfte. (Avfall Sverige, rapport U2009:04)

Det finns många fördelar med att använda sig av alger som ett reningssteg, bland annat så har de en god förmåga att använda sig av fossilt CO₂ då de kan nyttjas vid bland annat rökgasrening. Dessutom har algerna kapacitet att ta upp olika typer av föroreningar och näringsämnen varför de är lämplig att nyttja i avloppsvatten- samt i lakvattenrening. Ytterligare fördelar med att odla alger är att de har en kort generationstid i förhållande till högre stående växter. Däremot så är tekniken gällande metoder att skörda algerna begränsade med tanke på den stora massa som bildas. Ytterligare nackdelar med algodling är den relativt höga kostnad som blir då förutsättningarna för att odla alger är specifika med tanke på temperatur och tillväxtmiljö. (Avfall Sverige, rapport U2009:04) För att nå goda resultat med algodlingar är det viktigt att ha en algtyp med bra stammar, lämpliga ljus- och näringsförhållanden, effektiva skördemetoder samt en hög biomassaproduktion. Utöver detta spelar även temperaturen en viktig roll för tillväxten av alger, vid 30° C kan mer snabbväxande algsorter från varmare klimat odlas. Lokala algararter kan odlas från och med 15° C medan de vid temperaturer på 20-25° C har en betydligt högre tillväxt. (Energi- och klimatgruppen, 2011)

För att få en förbättrad tillväxt av algerna är det viktigt att ta hänsyn till djupet i dammarna där algerna växer. 30-50 cm är lämpligt då algerna i större utsträckning får tillgång till ljus. I de grunda höghastighetsdammarna sker omrörningen med ett roterande paddelhjul, vilket gör att en större volym exponeras för ljus/mörker på ett effektivt sätt. Ett annat sätt att öka näringsupptaget på är genom "svält", så kallad hyperaktivering av mikroalgerna. (Grönlund, 2002)

Att odla alger i avloppsvatten i Sverige har visat sig fungera trots det kalla klimat som råder. Laborativa tester genomfördes på alger som hämtats från Jämtland i Sverige där odlingarna

har skett i avloppsvatten från samma region och under samma förhållanden som vid vår och höst- vid temperaturer mellan 5-10°C. Detta har fungerat väl och en fördubbling av den bäst växande algkulturen har skett på 2 dygn. Denna snabba tillväxt är särskilt intressant för behandling av avloppsvatten men även för olika industrier där algbiomassan kan komma till nytta, exempelvis vid biogasframställning. (Grönlund, 2002)

Generellt sätt anses deponilakvatten, avloppsvatten samt andra typer av spillvatten vara stora miljöproblem. Dessa spillvatten kan dock ses som en tillgång vad gällande näringsämnen då det kommer till att odla alger i dessa typer av vatten. Höga halter kväve och fosfor återfinns i dessa vatten, vilket bidrar till övergödning av vattendrag, dock så är dessa ämnen även livsnödvändiga för alla levande organismer. Det har visat sig att algodling i deponi- och avloppsvatten har varit gynnsamt ur den synvinkeln att kväve- och fosforhalten har reducerats betydligt. Likaså har biomassatillväxten visat sig vara god i dessa vattentyper. (Avfall Sverige, rapport U2009:04)

Vid avloppsvattenrening fungerar alger utmärkt då de är snabbt växande fotosyntetiserande organismer då de använder solljus som värmekälla och kväve och fosfor som näringsämnen. Flertalet mikroalger kan dessutom fungera som heterotrofa organismer där ljus inte är tillgängligt. Deras metaboliska kapacitet gör att de är effektiva vid rening av avloppsvatten på så vis att de reducerar kväve och fosfor genom att lagra dessa ämnen i biomassan när de växer. I takt med att biomassan ökar tenderar även pH att stiga. (Bastos Sousa, 2010)

Alger används som sagt i olika syften, bland annat vid rökgasrening eller vattenrening men också för produktion av biomassa. Algerna är intressanta då de utgör en alternativ energikälla såväl ur miljöperspektiv som ur en ekonomisk synvinkel. (Avfall Sverige, rapport U2009:04)

2.7 Första, andra och tredje generationens biodrivmedel

Första generationens biodrivmedel benämns oftast som biodiesel och etanol som i första hand utvinns ifrån landbaserade växter t ex raps, majs, sockerrör och sockerbetor. Dessa typer av biobränslen har redan producerats storskaligt men har fått mycket kritik på grund av att de bland annat konkurrerar om odlingsmark för livsmedelsproduktion, för tillväxt krävs mycket vatten och gödsel samt att de har ett högt utsläpp av koldioxid (J. Yang, et. Al, 2011). Det har också kunnat påvisas att första generationens biodrivmedel inte kan tillgodogöra den efterfrågan på drivmedel då mängden utvunnet drivmedel per andel markyta är för låg. (Randahl Oskarsson, Berggen, 2012)

Det råder delade meningar om vad som definieras med andra generationens drivmedel, men det som de flesta forskare är eniga om är att dessa drivmedel produceras med en högre resurseffektivitet än den första generationens biobränslen och dessutom ej konkurrerar om odlingsytor för livsmedel och annat jordbruk, genom att t ex använda markytor som inte kan utnyttjas för odling. Även om denna typ av biobränslen utnyttjar odlingsbar mark så är dessa drivmedel mer areaeffektivt än den första generationens biobränslen. Exempel på dessa typer av biodrivmedel är energiskog, avfall och restprodukter från skogs- och jordbruk. Dock så

kräver andra generationens biobränslen även de vatten och näring och om detta inte finns tillräckligt naturligt på området där de odlas kan det komma att ha en negativ effekt på lönsamheten, då detta måste tillsättas på annat sätt. Denna typ av biobränslen har tekniska hinder och det anses heller inte kunna täcka den efterfrågan som ställs idag. Detta är därför inget hållbart alternativt endast i sig. (Randahl Oskarsson, Berggen, 2012)

Den tredje generationens biobränslen benämns som biobränsle framställt av alger. Anledningarna till detta är att det kan utvinnas avsevärt mycket mer drivmedel per andel markyta än andra typer av grödor. Alger tar dessutom upp mycket koldioxid ur luften under sin tillväxt vilket minskar koldioxidhalten i omgivningen (Söderberg et al., 2011). Andra anledningar är att denna metod inte kräver någon tillsättning av färskvatten utan det enda som behövs för framställning av biomassa är solljus. (Randahl Oskarsson, Berggen, 2012)

2.8 Alger för framställning av biobränsle

Enda sedan den industriella revolutionen har efterfrågan på energi världen över ökat allt mer och den är idag större än någonsin på grund av att de fossila resurserna börjar sina samtidigt som priserna stadigt ökar. På grund av dessa anledningar ställs industrialiserade länder för svåra utmaningar att säkerställa att efterfrågan på energi av olika slag kan tillgodoses. På senare tid har ett antal alternativ till fossila bränslen framkommit som ska kunna tillgodogöra behoven och samtidigt medföra mindre negativa miljöeffekter, några av dessa alternativ inkluderar vindkraft, vattenkraft och solkraft. Av dessa alternativ är solkraft den källa där mest energi skulle kunna utvinnas. Det har framkommit ett antal metoder för hur denna solenergi ska kunna utvinnas, bland dessa metoder finns solceller och även biologisk produktion av växtbiomassa, det vill säga utnyttjande av växters fotosyntes (J.H. Massgnug et al, 2010). Biomassa kan användas till att framställa olika produkter såsom biodiesel från t ex palm och raps eller bioetanol majsstärkelse, sockerbetor och sockerrör, dock finns det nya problem som uppkommer med dessa typer av första generationens biobränslen. Stora ytor tas i anspråk för att odla biomassa och dessa odlingar konkurrerar om ytor som skulle kunna användas för produktion av föda eller användas som betesmark och av den insatta energin (såsom vatten och näring till plantager) återfås endast ca 50 % av denna energi. De senaste åren har produktion av biodiesel från alger börjat bli mer och mer intressant. Att använda algers biomassa har ett antal fördelar gentemot att framställa biogas av andra växter, bland annat på grund av dess snabba tillväxt gentemot annan biomassa, de kommer heller inte att ta upp värdefulla odlingsytor och de kan bilda stora mängder triglycerider (fetter) som är råmaterialet till framställning av biodiesel. (Scott, et al, 2010)

Att framställa biobränsle från alger är ännu inte kommersiellt gångbart men de ekonomiska förutsättningarna för framtiden ser lovande ut för denna typ av bränsle. Idag finns det många nystartade företag som arbetar med att få biobränsle från alger att bli mer tillgängligt och som menar att råolja från alger kan komma att bli en viktig energikälla i framtiden. Olja från alger kan omvandlas till bensin, diesel och möjligtvis även till flygbränsle. Biobränsle från alger kan komma att bli ett förnyelsebart bränsle som kan ersätta fossila bränslen, som används i många processer och bidrar till en mängd av de miljöproblem som finns i nuläget.

Att ersätta transporter som idag använder fossilt bränsle till att istället drivas på biobränsle framställt från alger skulle kunna reducera utsläppen av bland annat koldioxid med cirka 30 % bara i USA. (Chisti, Yan, 2011)

Idag finns det tekniska möjligheter för att framställa biobränsle från alger, dock har denna process en högre kostnad än till exempel framställning av bensin, men i takt med att priserna för fossila bränslen ökar kan det komma att bli mer ekonomiskt hållbart att producera biobränsle från alger i stor skala. Enligt Chisti och Yan (2011) kan detta komma att ske när bensinpriserna uppgår till ca \$100/fat och de menar även på att det finns många länder som är intresserade av denna nya energikälla. (Chisti, Yan, 2011)

För biobränsleproduktion genom användning av alger är de främsta faktorerna för ekonomisk vinst: produktivitet d v s fotosynteseffekt, produktion av lipider och även produktions- och odlingskostnader. Fotosynteseffekten beskrivs som den fraktionen av solenergi som omvandlas till kemisk energi genom algers fotosyntes. Algers fotosynteseffektivitet har visat sig i många studier överstiga den för landbaserade växter (L. Brennana, P. Owende, 2009). Andra faktorer som påverkar hur väl mikroalger skulle kunna användas för biobränsle produktion är vilka stammar av alger som används. Enligt L. Brennana, P. Owende (2009) är de ultimata stammarna för framställning av biobränsle sådana som har en hög lipidproduktivitet, som är tåliga och klarar av påfrestande förhållanden som råder i en fotobioreaktor och som är dominanta mot andra typer av algstammar för att på så sätt konkurrera ut andra stammar i t ex öppna bassänger. Andra viktiga egenskaper är att algstammarna ska ha låga krav på näringstillförsel, tåla temperaturförändringar, ha en snabb tillväxt och ha en hög fotosynteseffektivitet. Idag finns det ingen känd algstamm som möter alla dessa krav men många forskare anser att de algstammar som väljs för syftet att producera biobränslen ska väljas med de lokala förhållanden och med beaktande av vilken teknik som ska användas. (Brennana, Owende, 2009)

2.9 Olika typer av algbiobränsle

2.9.1 Bioetanol

Att framställa bioetanol från alger har stor potential på grund av algernas låga innehåll av lignin och hemicellulosa (ämnen som ingår i växters cellväggar). För bioetanolproduktion är det oftast makroalger som används då dessa har ett signifikant innehåll av sockerarter (omkring 50 % av biomassan) samtidigt som de har lågt innehåll av lignin. Mikroalger kan även de vara intressanta vid framställning av bioetanol. Gröna alger såsom arter ur *Chlorococum sp* och *Spirogyra* har visat sig kunna ackumulera höga nivåer av polysackarider som skulle kunna utvinnas och framställa bioetanol från.

2.9.2 Biodiesel

Effektiviteten av biodiesel från alger är beroende av algcellers tillväxt och lipidproduktion. Mata et. al (2010) har identifierat mer än 40 stammar av mikroalger som är kapabla att ackumulera lipider i sin biomassa som varierar mellan 2 till 75 % och även andra forskare har redovisat att alger härstammande från *Scenedesmus* och *Chlorella* kan komma att generera över 50 % lipider av den totala cellbiomassan (P. E. Wiley, et. Al, 2011). Dock så framkommer det att lipidproduktionen gynnas av näringsfattiga förhållanden då främst när alger utsätts för kvävesvält. Detta beror på att triglycerider ansamlas i algers cytoplasma för att kunna användas som energi och för kolförvaring vid påfrestande förhållanden, dock så kan dessa förhållanden leda till en hämning av algcellernas delning vilket i sig kan leda till en minskad lipidproduktion. Till skillnad mot biodiesel framställt från alger så kan anaerobiska processer såsom rötning av alger producera väldigt metanrik biogas utan att vara beroende av lipid innehållet i biomassa. Trots att det finns vissa motsägelser mellan de experimentella data som finns kan det göras en teoretisk bedömning av metanproduktion av algbiomassa som kan jämföras med den metanproduktion som utvinns ur exempelvis grisgödsel och avloppsslam. Vidare så finns det en mängd olika substrat för tillväxt av algbiomassa som skulle kunna användas för anaerob nedbrytning, detta skulle medföra en större flexibilitet till skillnad mot algbiodieselproduktion. Det finns ett antal förslag till metoder för att generera algbiobränslen bland annat avloppsreningsdammar, grunda, artificiella dammar eller fotobioreaktorer (PBR). (Wiley, et. Al, 2011)

2.9.3 Biogas

Biogas framställs genom nedbrytning av organiskt material under anaeroba förhållanden och ger betydligt mindre påfrestringar på miljön i jämförelse med t ex fossila bränslen och biobränslen producerade av t ex raps eller palm. (P. E. Wiley, et. Al, 2011) Framställning av biogas brukar oftast utföras i en så kallad rötchammare där organiskt material såsom fetter, proteiner och kolhydrater bryts ned och gaser då främst metangas och koldioxid bildas. För att kunna använda den erhållna metangasen för exempelvis drivmedel måste den särskiljas från koldioxid i ytterligare en process. (Hedenfelt, 2010)

På senare tid har biogas framställt av anaerob nedbrytning av algbiomassa blivit mer och mer intressant. Effektiviteten av biogas från alger är beroende av vilka algstammar som används på grund av hur pass effektiv cellnedbrytningen av dessa alger är. Enligt Massgnug. et. al (2010) så visade det sig att de algarterna med en effektiv cellnedbrytning och ett lågt innehåll av onedbrytbara ämnen, i detta fall algstammarna *C. Reinhardtii*, *D. salina*, *A. platensis* and *E. Gracilis*, kunde en högre produktion av biogas noteras än för de algstammar med en lägre cellnedbrytning och ett högre innehåll av onedbrytbara ämnen. Närvaron av molekyler som kan innehålla metanogener (arkeoorganismer) som producerar metangas vid anaeroba förhållanden, spelar också in i hur effektiv biogasbildningen blir. I dagsläget är produktionen av biogas från alger begränsad på grund av att processen behöver hetta och även på grund av att denna process kräver mer landyta för att producera samma mängd energi som kan utvinnas från algbiodiesel. (Jones, Mayfield, 2012)

2.10 Odling av alger för biobränsleproduktion

De två vanligaste sätten för att odla alger idag är i öppna (s k open ponds)- eller i slutna system (s k bioreaktorer). De öppna systemen har hitintills varit det vanligaste på grund av att de är relativt enkla att utveckla. Så kallade "Raceway Ponds" är den vanligaste typen av öppna system för algodlingar, dessa system är oftast grunda för att säkerställa att tillräckligt med solljus når algerna. Dammarna är uppbyggda på så sätt att paddlar ser till att en vattencirkulation sker samtidigt som koldioxid, vatten och näringsämnen kontinuerligt tillsätts problem som finns med denna metod är att det är svårt att hålla dessa öppna dammar fria från kontaminering av exempelvis andra algstammar eller bakterier. Ett annat problem är vattenavdunstningen som sker till omgivningen vilket leder till en hög vattentillsättning. Alger är dessutom oftast relativt temperaturkänsliga vilket medför att dessa typer av system mest lämpar sig för varmare klimat. (Hedenfelt, 2010)

En annan typ av öppna system är avloppsreningsdammar som är ett aerobisk biologiskt reningssystem där alger är en viktig del i reningen av avloppsvatten. Detta system har ett effektivt system reducering av BOD (Biokemisk syreförbrukning) och olika typer av enterobakterier såsom *E-coli*. Jämfört med exempelvis elektromekaniska reningssystem som kräver mycket energi för att hållas syresatt så är avloppsreningsdammar ett relativt billigt och effektivt system som inte är lika energikrävande. De algarer som oftast dominerar i dessa typer av system är de gröna algerna *Scenedesmus* och *Chlorella*, vilka båda är lämpliga när det kommer till framställning av biogas och biodiesel. (Wiley, et. Al, 2011)

De slutna systemen är så kallade bioreaktorer eller fotobioreaktorer. Denna typ av system är betydligt dyrare än de öppna systemen, dock har denna metod vissa fördelar, till exempel att det minskar kontamineringsrisken, det finns en bättre kontroll på vattentillförsel, temperatur och näring (M. Fredin, 2009). I fotobioreaktorer blir även lipidackumuleringen i algernas biomassa högre än i öppna dammar då lipidproduktionen gynnas av näringsfattiga förhållanden då främst när alger utsätts för kvävesvält. (Wiley, et. al, 2011).

En av svårigheterna med att producera biomassa från alger är hur dessa odlingar sedan ska samlas in då mer än 99 wt-% (V. Andersson et al. 2011) av alg/vatten-massan består av vatten. Det första steget mot att fånga in biomassan är att separera algerna från substratet (fast innehåll 0,5- 6 wt-%). Sedan behövs andra tekniker användas för att ytterligare öka det fasta innehållet. Några av de tekniker som kan användas för att skörda den biomassa som uppstår vid algodling inkluderar centrifugering, flockulation, flotation, sedimentation och filtration. (Andersson et. Al, 2011)

Idag anses den mest lönsamma och tilltalande metoden för biobränsleproduktion vara den som kan kombineras med vattenrening. Detta skulle vara ett effektivt sätt att rena olika typer av vatten så som avloppsvatten från exempelvis tungmetaller och kemiska- och organiska föreningar samtidigt som den erhållna biomassan kan användas för biobränsleframställning. På detta sätt skulle verksamheter inte behöva lägga lika mycket ekonomiska resurser på andra typer av vattenrening och användningen av färskvattenresurser för odling av alger skulle minska då det istället skulle användas t ex avloppsvatten som substrat för odling. Enligt Brennan och Owende (2009) passar avloppsvatten bra som substrat för algodlingar då detta är rikt på koldioxid (vilket balanserar Redfield kvoten d v s kvoten mellan ämnena kol,

fosfor och kväve i marint växtplankton) och därför medför en snabb tillväxt, minskade näringsämnen i vattnet, minskade kostnader när det kommer till odling och en ökad lipidproduktion hos algerna. Dock så tar avloppsreningssystem med alger stor landyta i anspråk om öppna system såsom avloppsreningssdammar används, eller medför höga kostnader om slutna system såsom fotobioreaktorer används. (Brennan, Owende, 2009)

Enligt Brennan och Owende (2009) finns ett flertal fall rapporterade om försök att rena avloppsvatten med hjälp av alger. I ett fall har det dokumenterats att nitrat och fosfat har kunnat renas från vattnet efter det primära reningssteget och att det producerats växtbiomassa vid användning av algarten *B. Braunii*. I ett annat fall har det med hjälp av algarten *Scenedesmus Obliquus* varit möjligt att rena avloppsvatten ifrån 98 % av kväve och fosfor och en 100 % rening av ammonium vid 25°C över en tid mellan 94-183 timmar under omrörning (Brennan, Owende, 2009). Gómez Villa et al (2008) har experimenterat med utomhuskultivering av alger av arten *S. Obliquus* i artificiellt avloppsvatten, detta projekt utfördes i tropiska miljöer. Det som uppmärksammades var att det upplösta kvävet uppgick till 53 % av ursprungsvärdet under vintern och uppgick till 21 % under sommaren. Under båda säsongerna antas den främsta reningen bero på att ammonium renades på grund av det höga pH som mediet uppnådde under dagtid. Det slutgiltiga kväveinnehållet i biomassan visade på att endast 3,7 – 9,7 % hade återanvänds. Rening av fosfor skedde endast under dagtid med en rening på 45 % under vintern och 73 % under sommarsäsongen, dock så framgick att endast 41,5-51% av detta inkapslades i biomassan. Gómez Villa et al (2008) menar på det höga pH som substratet får och som förorsakas av algernas fotosyntes, spelar stor roll för hur effektiv reningen blir. På grund av detta menas det att mikroalger endast kan användas i utomhussystem med långa lagringsperioder, vilket kan medföra att detta reningssystem blir ineffektivt för större och växande städer (Gómez Villa et al, 2008).

3 METODBESKRIVNING

3.1 Objektsbeskrivning

3.1.1 VAFAB Miljö AB

VAFAB Miljö AB är beläget i Västerås (Gryta avfallsstation) ca 5 km från Västerås centrum och företaget arbetar med avfallshantering av olika slag i form av till exempel avfallsrådgivning, information, transport, sortering, biologisk behandling, rötning, deponering, återvinning och energiutvinning. Företaget ägs av kommunerna i Västmanlands län och Enköping och Heby kommun. I östra delen av området ligger en röttningsanläggning som Svensk växtkraft äger och som är ett dotterbolag till VAFAB Miljö AB. I anslutning till denna anläggning fick Swedish Biogas International (SBI) tillstånd att anlägga ytterligare en rötninganläggning 2012 (Västerås kommun, Miljörapport 2012 Gryta Avfallsanläggning).

VAFAB Miljö AB har i uppdrag att omhänderta avfall från dessa kommuner på ett miljöriktigt och hållbart sätt. Det finns även ett dotterbolag, Växtkraft, där biogas och biogödsel tillverkas. VAFAB äger 18 återbruk, det vill säga återvinningscentraler, runt om i regionen varav sex av dessa finns i Västerås, här lämnar privatpersoner sitt avfall till exempel metallskrot, brännbart och farligt avfall. Det finns även en verksam deponi på gryta avfallsstation i Västerås. (vafabmiljo.se/om_vafabmiljo_s3)

VAFAB Miljö AB har två deponier på Gryta avfallsanläggning. En av deponierna kallar Gryta deponi och den andra Deponi 2009. Gryta deponi är avslutad, dock är klass-1 deponin som ligger inom Gryta deponi i bruk. Denna gamla deponi kommer att sluttäckas successivt och beräknas vara helt sluttäckt år 2027. Deponi 2009 är i aktiv sedan årsskiftet 2008/09. På deponi 2009 deponeras mestadels inert avfall. Med inert avfall avses avfall som ej genomgår några avsevärda förändringar såsom fysikaliska, kemiska eller biologiska (Förordning (2001:512) om deponering av avfall). På deponi 2009 har även organiskt material deponerats på dispens. Denna deponi har även en cell för klass-1 material dock har denna inte ännu tagits i bruk. Utöver deponierna har Gryta avfallsanläggning verksamhetsytor med bland annat kompostering, avfallssortering med mera. ¹

Tabell 1- sammansättningen av lakvatten för Deponi 2009 på VAFAB Miljö AB vid provtagningspunkt LO91 som utfördes under 2012.

Tabell 1: Lakvattensammansättning för Deponi 2009 VAFAB Miljö AB för fyra provtagningsstillfällen 2012 (Miljörapport 2012 Textdel Gryta Avfallsstation, Västerås kommun 1980-60-001, Bilaga 7B)

LO91	
Ledningsförmåga (konduktivitet)	556mS/m
TOC	79mg/l
BOD-7	11mg/l
Ammoniumkväve	23mg/l
Nitritkväve	0,14mg/l
Nitratkväve	13mg/l
Tot.kväve	48mg/l
Fosfor	485µg/l
Kadmium	0,70µg/l
Krom	7,7µg/l
Koppar	32µg/l
Järn	1,2mg/l
Kvicksilver	<0,1µg/l
Arsenik	13µg/l
Bly	1,2µg/l
Zink	0,31mg/l

VAFAB Miljö AB arbetar med ett antal utvecklingsprojekt däribland pågår arbete för lakvattenbehandling vid Gryta avfallsstation. I nuläget insamlas lakvattnet i en damm där luftning sker, bland annat medför luftningen att järn och mangan fälls ut och till viss del sedimenterar. Lakvattnet leds därefter till reningsverket i Västerås. Lakvatten som kommer

¹ (Personlig kommunikation, e-mail, Isabell Ljunggren, Utvecklingsingenjör VAFAB Miljö AB, 2013)

ifrån klass-1 deponin på Gryta deponi område renas i den så kallade oljestationen där det bland annat används jonbyttarteknik. Spillvatten från (vatten från diverse ytor med mera) går direkt till Västerås reningsverk. Förhoppningen är att en rening av lakvatten från deponierna ska ske lokalt med hjälp av en anläggning med SBR-teknik och en förprojektering för detta har påbörjats på Gryta. (Vafabmiljo.se/utvecklingsprojekt)

Det är från den verksamma deponin som en del av det lakvatten som har hämtats för att utföra försöken i detta arbete, se bilaga 1 och rubrik 3.2 Provtagning, för ytterligare information om provtagningspunkter. VAFAB Miljö AB har förhoppningar om att hitta en enkel och ändamålsenlig rening som är billig i drift, resurseffektiv, har en låg arbetsinsats och har en effektiv avskiljning för vatten som både är näringsrika och har ett högt innehåll av diverse andra föroreningar såsom metaller. Reningen med hjälp av alger vill VAFAB Miljö AB ska fungera som ett kompletterande reningssteg till befintlig rening till exempel innan avledning till reningsverket eller rening i SBR-anläggning. ²

3.1.2 Atleverken Örebro

Atleverket är en avfallsanläggning som är belägen i Örebro kommun, sju kilometer söder om Örebro centrum. Det finns förutom Atleverket fyra övriga återvinningscentraler nämligen Mellringe, Glanshammar, Odensbacken och Hovsta (Orebro.se/Atleverket, 2013). På Atleverkets anläggning kan företag och verksamheter lämna sitt avfall. Avfall som kan omhändertaras på Atleverket är till exempel el- och elektronikavfall, farligt avfall, förorenade massor och avfall till deponin (Orebro.se/Företag och verksamhet, 2013). Deponiområdet på Atle uppgår till 22 ha och består till största delen av malet hushållsavfall och verksamhetsavfall från perioden 1978-2002 då förbudet om att deponera brännbart avfall implementerades. År 2005 implementerades även lagen om förbud mot att deponera organiskt avfall, dock har dispens givits för detta och därför får det deponeras 10 % organiskt och brännbart avfall i deponiavfallet. Förutom dessa typer av avfall har även rötslam, asbestmassor, diverse industriavfall deponerats i olika celler på deponiområdet och även förorenade jordar (mestadel oljeförorenade sådana) har behandlats på deponin. Sedan år 2011 har en cell för deponering av gips tagits i anspråk. ³

Deponeringstekniken på Atleverket består av en så kallad palldeponering i ångslänt med pallar på 2-4 meters höjd. Ur deponin samlas metangas upp vilket tyder på att det sker en fortsatt nedbrytning av organiskt material på deponin. Förutom att samla upp lakvatten från deponin så samlas vatten upp från olika behandlings- och omlastningsytor. Ytorna är avsedda för att sortering av grovavfall, omlastning av hushållsavfall, lagring och flisning av träavfall, lagring av rötslam, behandling av oljeförorenade massor och så vidare. Dessa ytor uppgår till ca 8 ha. ⁴

Vid Atleverket finns ett särskilt dräneringssystem för uppsamling av lakvatten från deponin. Uppsamlingen sker i djupa diken som finns runt om deponin och lakvattnet pumpas därefter från diken till en damm för behandling. Dammen är klädd i en gummiduk för att hålla tät och med hjälp av stora omrörare hålls vattnet i rörelse. För att gynna nedbrytning av kväveföroreningar och sedimentation av metaller så syresätts dammen. Syret tillsammans

² (Personlig kommunikation, e-mail, Isabell Ljunggren, Utvecklingsingenjör VAFAB Miljö AB, 2013)

³ (Personlig kommunikation, e-mail, Michael Kempf, Atleverket, 2013)

⁴ (Personlig kommunikation, e-mail, Michael Kempf, Atleverket, 2013)

med mikroorganismer gynnar omvandlingen av kväveföreningar från ammonium till nitrat som växer på ett effektivare sätt kan tillgodogöra sig på. Syret medför även att järn oxiderar, drar med sig andra metaller och sedimenteras på botten av dammen. I dammen sker även en nedbrytning av organiska ämnen med hjälp av mikroorganismer. Det behandlade vattnet leds därefter till ett våtmarksområde och vid inloppet till våtmarken passerar det tre sedimenteringsdammar och ett vegetationsfilter där partiklar avskiljs från vattnet. I våtmarken får vattnet passera tio olika dammar som har omväxlande djupa- och grunda zoner med vegetationströsklar. Vattnets innehållande kväveföreningar upptas här av växtligheten som finns i dammarna. Vattnets renas ytterligare med hjälp av diverse mikroorganismer, sol och värme. När vattnet har passerat våtmarken leds det vidare till recipient (i detta fall till Täljeån och Hjälmaren). Under den kalla årstiden (dec-april) då kvävereningen i våtmarken inte fungerar optimalt i den luftade dammen pumpas delvis behandlat vatten till kommunens avloppsreningsverk. Dock pågår utvecklingsarbeten för att minimera denna del. Den luftade dammen uppgår till att omfatta en volym på 20 000 m³ och våtmarkens yta uppgår till 8 ha dvs 80 000 m². Lakvattnets tid i dammen uppgår till 2-4 månader. År 2011 var den behandlade lakvattenmängden i våtmarken 53 000 m³/år. (Orebro.se/Rening av lakvatten)

Nedan följer en tabell för lakvattensammansättningen för provtagningspunkterna F1, F2 och K1 från deponi på Atleverket från 2012.

Tabell 2: Lakvattensammansättning från Atleverket, provpunkter F1, F2 och K1. Värdena är ett medelvärde för 2012

	F1	F2	K1
mg/l			
TOC	885	121	44
Arsenik			
Totalkväve	413	160	15
COD/BOD			
Nitrat+Nitrit	-	-	10
Nitrat	9,4	78	-
Nitrit	0,57	92	-
Klorid	754	529	271
Fosfor	13	4,418	0,048
Koppar	0,04	0,0145	0,005
Järn	19	4,037	0,281
Bly	0,012	0,0045	0,0003
Alumiunium	1,92	0,63	0,044
Kvicksilver	0,0008	<0,0001	<0,0001
Kalium	352	93	109,6
Magnesium	65	20	22,2
Zink	2,5	0,072	0,00531
Mangan	3,2	1,2741	0,132
Nickel	0,046	0,0164	0,17
Krom	0,05	0,0131	0,004

Det är från deponiområdet på Atleverket som några av de lakvatten som används i detta projekt har hämtats ifrån, se bilaga 2 och rubrik 3.2 Provtagning för ytterligare information om provtagningspunkter.

3.2 Provtagning

Insamlingen av lakvattenprover utfördes den 8-9 april 2013 och proverna togs från två olika avfallsanläggningar. Från Atleverken i Örebro hämtades sammanlagt fyra olika prover:

- F1 hämtad från inlopp till luftad damm
- F2 hämtad från utlopp från luftad damm
- K1 hämtad från utlopp från våtmark
- PsB hämtad från sorteringsyta, oljeavskiljare

Ytterligare prover samlades in från Vafab Miljö AB i Västerås, sammanlagt hämtades tre lakvattenprover vilka var, LÖ4, LÖ10 samt LO91.

- LÖ4 – vatten hämtat från farligt avfall- området. Renat vatten från oljestationen och diverse dagvattenbrunnar på området. Även en dagvattenbrunn som ligger på GVM-området, som mestadels fungerar som metallskrotsupplag. Vattnet i LÖ4 borde inte innehålla så mycket organiskt material dock påvisar provsvar ibland på annat. Näringen tros komma från torv som används i vissa hänseenden i området till exempel bassängbyggnation för avvattning. Dock tros detta material inte användas i framtiden.
- LÖ10 – vatten hämtat från ytor för kompost och vall. Vallen används i Växtkrafts process. Även vatten från mottagningshallen för bioavfall (matavfall) går hit. Kan även innehålla annat vatten från Växtkraft, t ex avloppsvatten. Dock är Växtkrafts process helt sluten, så inget processvatten ska gå hit, enligt Växtkraft.
- LO91 - vatten hämtat från den nya Deponi 2009. Detta är ett lakvatten. Innehåller mycket inert avfall, men även en viss del organiskt har deponerats sen 2009.⁵

Provtagningen genomfördes manuellt där den uttagna vattenmängden varierade mellan 0,5-1 liter. Vattnet samlades i inerta PDDA-flaskor som förvarades i kylväskor under provtagningsdagen och förvarades därefter i kylrum.

3.3 Analyismetoder

Kontinuerliga analyser genomfördes på samtliga prover genomfortlöpande mätning av pH samt optisk densitet. Även mätning av TOC-halt, klorofyllhalt samt toxicitet genomfördes på samtliga prover.

3.3.1 Algodling

Sju olika lakvatten och ett kontrollprov utan lakvatten som substrat för algodlingar. Varje lakvatten och kontroll odlades i två replikat. Före provstart autoklaverades samtliga 300 ml e-kolvar och tillhörande kork (på korken sattes folie och autoklavtejp). För kontrollen användes 185 ml näringsmedium och 60 ml dubbelavjonat vatten samt 5 ml algkultur. För

⁵ (Personlig kommunikation, e-mail, Isabell Ljunggren, utvecklingsingenjör VAFAB Miljö AB, 2013)

resterande prover användes 185 ml lakvatten och 60 ml dubbelavjonat vatten samt 5 ml algkultur. Proverna förvarades under goda odlingsförhållanden i ett värmerum på ett skakbord. Startdatum för odlingarna var 2013-04-18 och testerna avslutades 2013-05-07, sammanlagt 19 dagar.

Algkulturen som använts till odlingsförsöken är ursprungligen hämtad från sjön Mälaren. Detta sjövattnet har använts i ett tidigare försök där 95 % av sjövattnet placerats i ett prov tillsammans med 5 % rejektivatten som hämtats från Mälarenergi i Västerås. Detta rejektivatten är taget från det att slamavvattning skett. Detta förbehandlingssteg pågick i ca 3 veckor. Därefter provtogs 25 % från det förbehandlade provet för att ytterligare 25 % av rent rejektivatten tillsattes. Detta sista förbehandlingssteg fortgick under ca 4 veckor.

Från detta försök togs algkulturen som sedan användes i försöken med att odla alger i samtliga sju lakvatten.

3.3.2 Mätning av alg tillväxt

Optisk densitet, OD, mättes 2-4 gånger i veckan. Optisk densitet är ett mått på cellkoncentrationer i flytande kulturer. I det här försöket mättes den optiska densiteten i algodlingarna med hjälp av en spektrofotometer (Ultrospec 3000) med våglängden 650nm för samtliga prov.

3.3.3 pH

Mätning av pH har skett två gånger i veckan på samtliga prover med en digital pH-mätare (Metrohm 744 pH Meter), kalibrerad med buffertlösningar pH 4 och 7 (Scharlau).

3.3.4 Toxicitetstest

Toxicitetstesterna genomfördes efter standard ISO 8692 (2004) där tre algar, *Anabaena*, *Scenedesmus subspicatus* och *Pseudokirchneriella subcapitata* har använts för att studera vilken algart som har bäst överlevnadsgrad i de olika lakvattnen. För varje lakvattenprov så bereddes fyra olika koncentrationer 88 %, 50 %, 25 % och 12,5 % och varje koncentration genomfördes i triplikat, doseringen skedde aseptiskt i dragskåp, se tabell 3 för spädschema. Dessa tester genomfördes under en 72- timmarsperiod (endast 48 h för *Anabaena*) där OD mättes dagligen i spektrofotometer (BIOTEK ELx800).

Tabell 3 Spädschema för toxicitetstester

	Lakvatten (µl)	Dubbelavjonat vatten (µl)	Z8 medium (µl)	Algymp (µl)
88,00%	880	0	100	20
50,00%	500	380	100	20
25,00%	250	630	100	20
12,50%	125	755	100	20

3.3.5 Bestämning av klorofyll

Vattenprover från algodlingsförsöken togs i start och avslutningsskedet i syfte att mäta klorofyllhalt för att undersöka alg tillväxt, detta genomfördes enligt Svensk Standard SS 02 81 70. Absorbansmätning skedde efter ett dygn då klorofyllen extraherats med metanol. Absorbansen avlästes vid 665nm och 750nm. Absorbansvärdena användes för uträkning och bestämning av klorofyll. Mätningen genomfördes med spektrofotometer (Ultrospec 3000).

3.3.6 Mätning av totalt organsikt kol, TOC

Mätning av organiskt kol genomfördes i projektstarten samt i avslutningsskedet för att observera på totalt organiskt kol. Utifrån denna analys har också mätvärden för oorganiskt kol, TIC samt total kolhalt, TC dokumenterats. Det totala organiska kolinnehållet mättes i Dr. Lange ISIS 9000 (MDA Photometer) med reagenskit Dr Lange LCK 381 (65-735 mg/l TOC).

3.3.7 Mikroskopering för algartbestämning

Mikroskoperingen genomfördes i syfte att kontrollera vilka typer av algar som återfanns i tre av de utvalda lakvattenproverna. Proverna som valdes ut var PsB:A, Lo91:B samt K1:B.

3.4 Analys av felkällor

Vid mätning av optisk densitet kan större partiklar i provet påverkat mätvärdet.

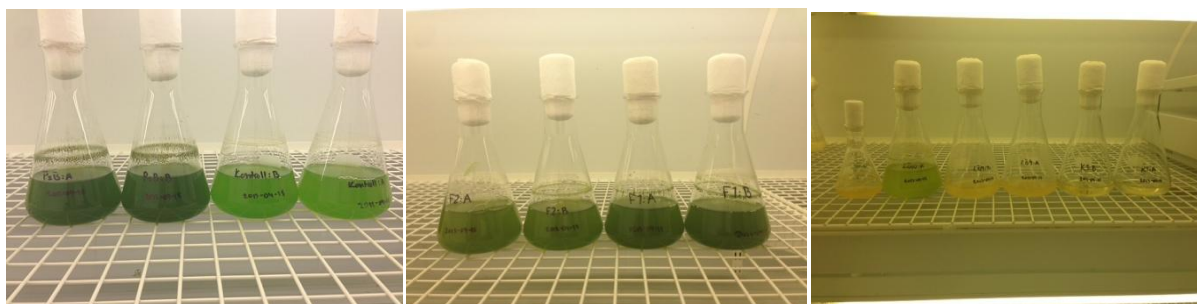
Vid dispensering av algkultur under toxicitetstest observerades att algkulturen hade en tendens till att fästa på brunsväggarna vilket kan ha gjort att algkoncentrationerna inte blivit korrekta.

Vid mätning av totalt organiskt kol, TOC, observerades det att flertalet (3st) korkar på testkvetterna hade gått upp varpå innehåll läckt ut. Detta har troligen gett felaktiga resultat.

4 RESULTAT

4.1 Algodlingar

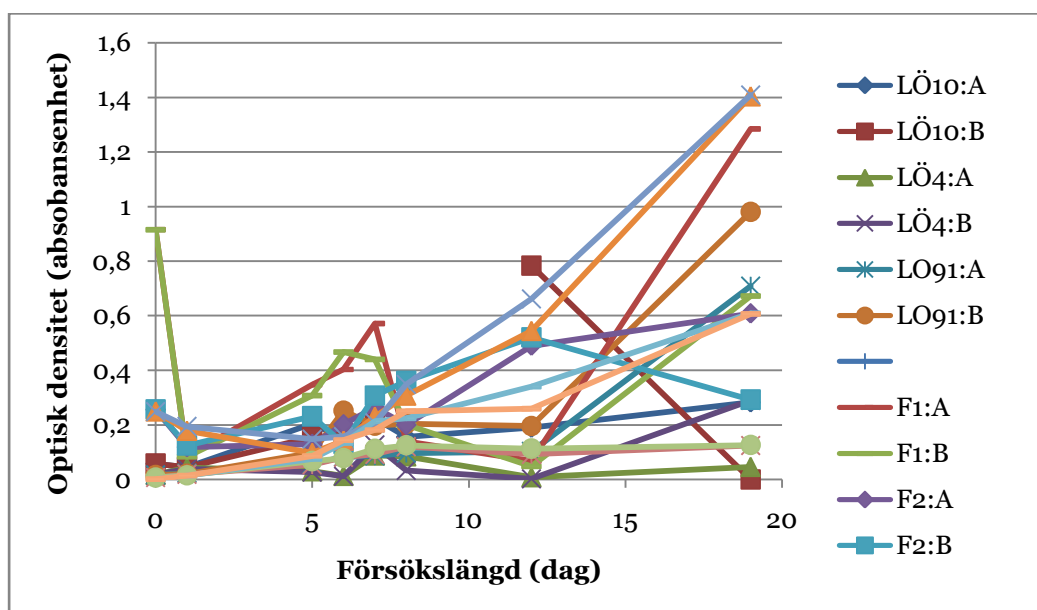
I Figur 1 visas algodlingarna vid avslut. Innan försöken startades var samtliga prover mer eller mindre genomskinliga, PsB var något grumligare än resterande. Bilderna visar på att tillväxten har varit bättre i vissa lakvatten än i andra.



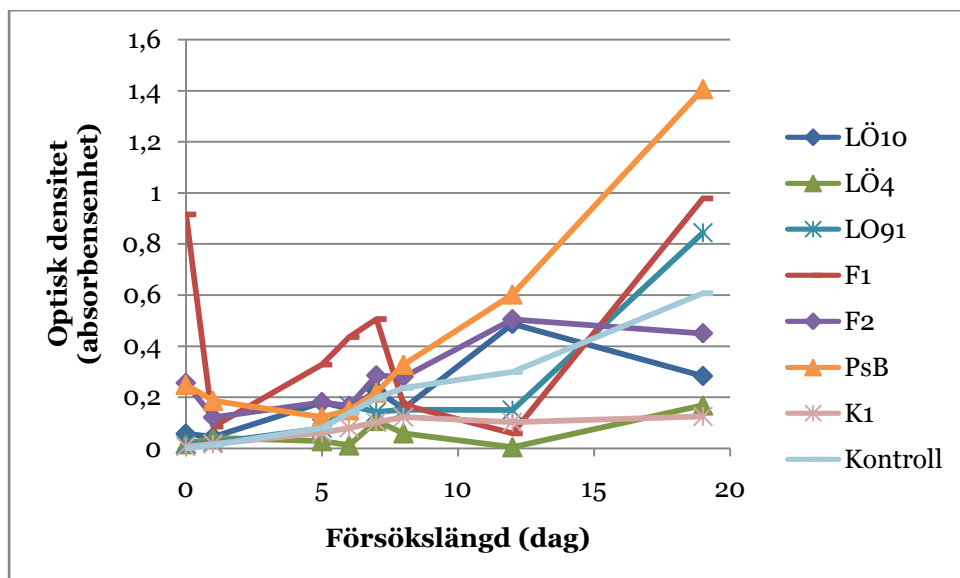
Figur 1 Algodlingar i lakvatten vid avslut av försöken. Lakvattensubstrat från vänster: PsB:A, B, Kontroll: B, A, F2:A, B, F1:A, B, LÖ10:B, A, LÖ4:A, B och K1:A, B.

4.1.1 Optisk densitet

Resultat visar att den optiska densiteten har varierat mellan de olika proverna men också över tid. Enligt odlingsförsöken som kan ses i diagrammet nedan har tillväxten för de flesta prover varit god, särskilt under de sista dagarna även om tillväxtens förändring tenderar att gå konstant uppåt för de proverna där tillväxten är god, exempelvis i PsB:A, se figur 2.



Figur 2 Optisk densitet för lakvattenprover under åtta mätningstillfällen Datum: 17/4, 18/4, 22/4, 23/4, 24/4, 25/4, 29/4, 6/5



Figur 3 Medelvärde för replikat av lakvattenprover för optisk densitet under åtta mätningstillfällen För datum se Figur 2

4.1.2 pH

Mätning av pH skedde i samtliga prover vid fyra tillfällen. pH mättes även i de olika lakvattnen innan algkultur eller näringssubstrat tillsattes. Dessa värden visade på följande:

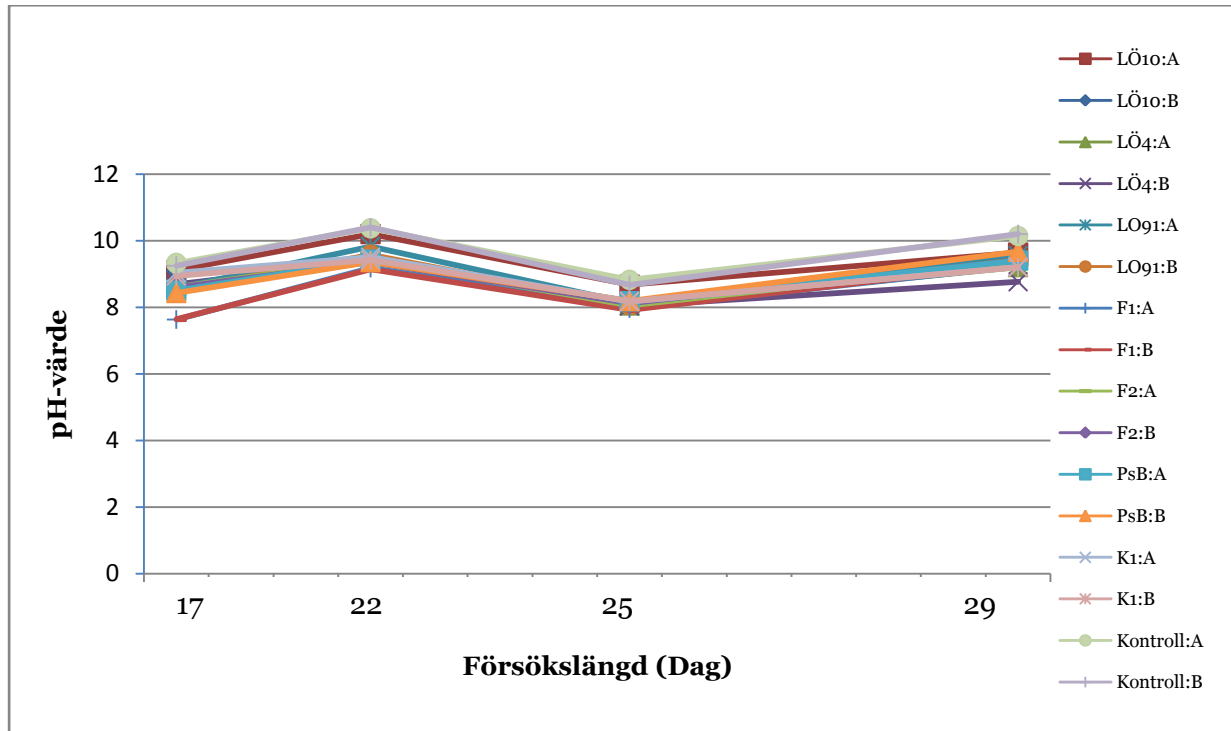
De ursprungliga lakvattnen har sura till neutrala pH-värden medan de som under försöket tillsatts med algkultur, allt eftersom tiden gått, fått högre, basiska värden.

Kontrollproverna har överlag det högsta pH-värdet under hela försöksperioden. Därefter har samtliga lakvattenprover ett högt pH-värde på omkring 9, trots att proverna skilt sig mycket i såväl tillväxt som i toxicitet, se tabell 4.

Tabell 4: pH för de sju lakvattnen för obehandlat lakvatten och för samtliga prover vid provtagningsdatum.

	Obehandlat lakvatten	13-04-22	13-04-25	13-04-29	13-05-06
pH					
LÖ10:A	5,93	9,11	10,2	8,68	9,64
LÖ10:B		9,09	-	-	-
LÖ4:A	6,34	8,65	9,36	8,06	9,21
LÖ4:B		8,69	9,38	8,04	8,77
LO91:A	6,77	8,57	9,83	8,12	9,55
LO91:B		8,53	9,58	8,07	9,43
F1:A	6,75	7,63	9,18	7,96	9,24
F1:B		7,64	9,15	7,92	9,3
F2:A	7,65	8,61	9,42	8,06	9,35
F2:B		8,59	9,36	8,12	9,41
PsB:A	7,15	8,5	9,43	8,18	9,4
PsB:B		8,43	9,36	8,19	9,67

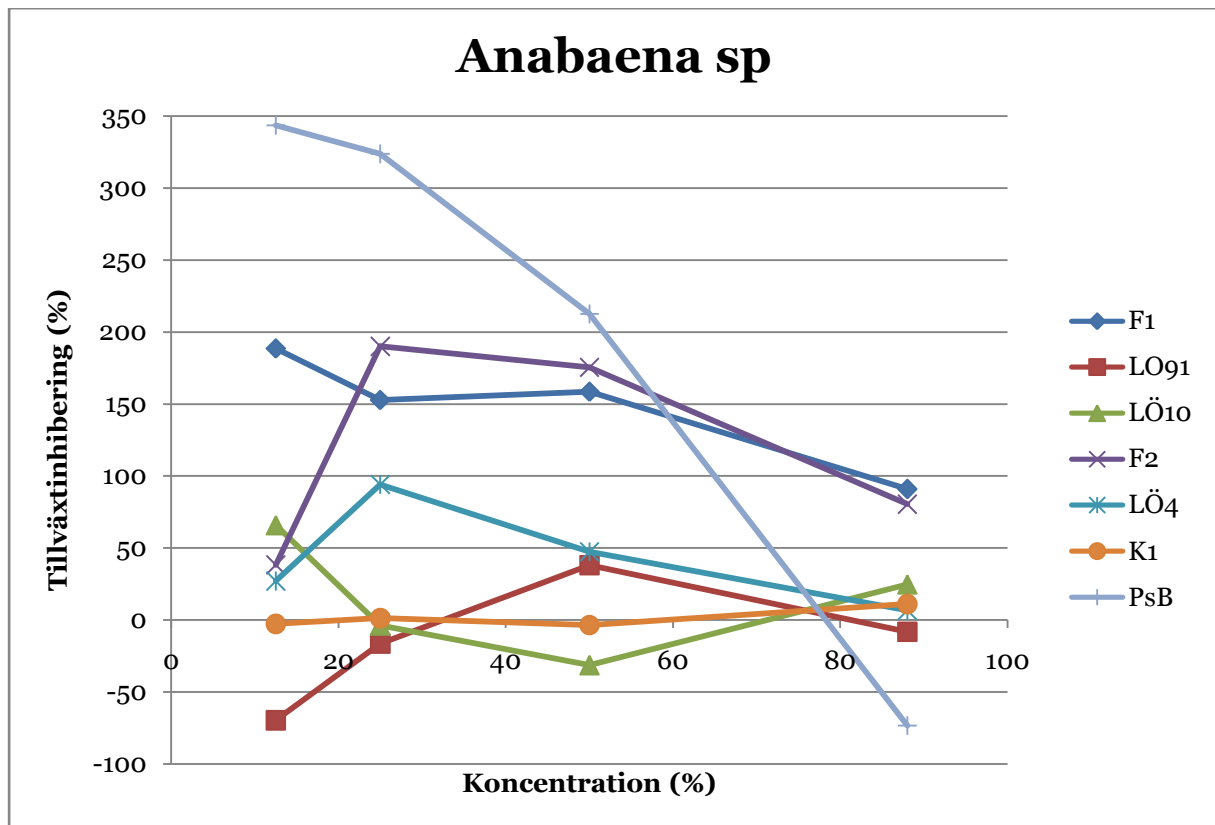
K1:A	7,4	9,04	9,51	8,17	9,21
K1:B		8,94	9,42	8,18	9,2
Kontroll:A		9,33	10,37	8,83	10,14
Kontroll:B		9,25	10,4	8,67	10,2



Figur 4 pH mätt vid fyra tillfällen under försökets gång Datum för pH mätning: 17/4, 22/4, 25/4, 29/4.

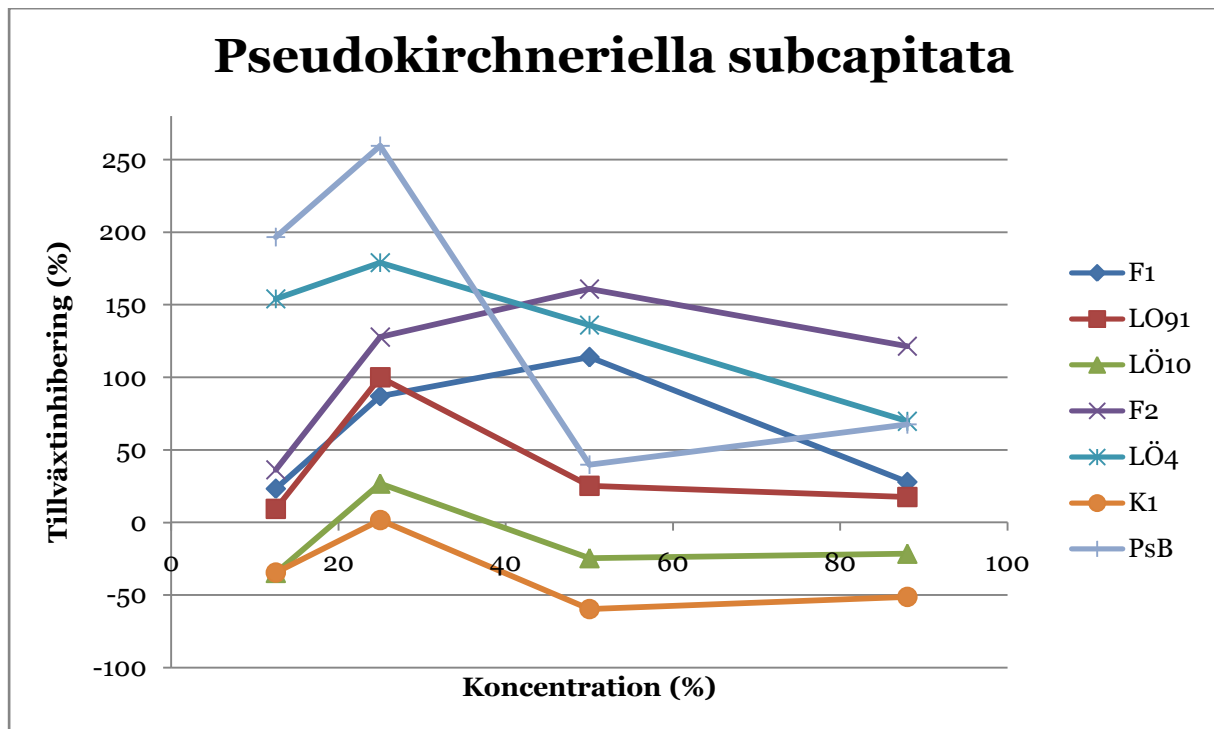
4.1.3 Toxicitetstest

Toxicitetstester genomfördes med tre olika algarter *Anaebena*, *S. subspicatus* (Figur 5), *P. subcapitata* (Figur 6) på samtliga lakvatten med olika koncentrationer. För *Anaebena* visas det att PsB har en högre tillväxtinhibering vid lägre koncentration och en stimulering vid de högre koncentrationerna (Figur 5). Vad gällande F2 så ökar tillväxtinhiberingen vid koncentrationerna 25 respektive 50 % för att sedan avta vid 88 % utan att en stimulering sker, detsamma gäller för F1 och LÖ4. LÖ10 har en tillväxtinhibering vid den lägsta koncentrationen för att sedan övergå i en stimulering vid de nästkommande koncentrationerna för att sedan återgå till inhibering vid den högsta koncentrationen.



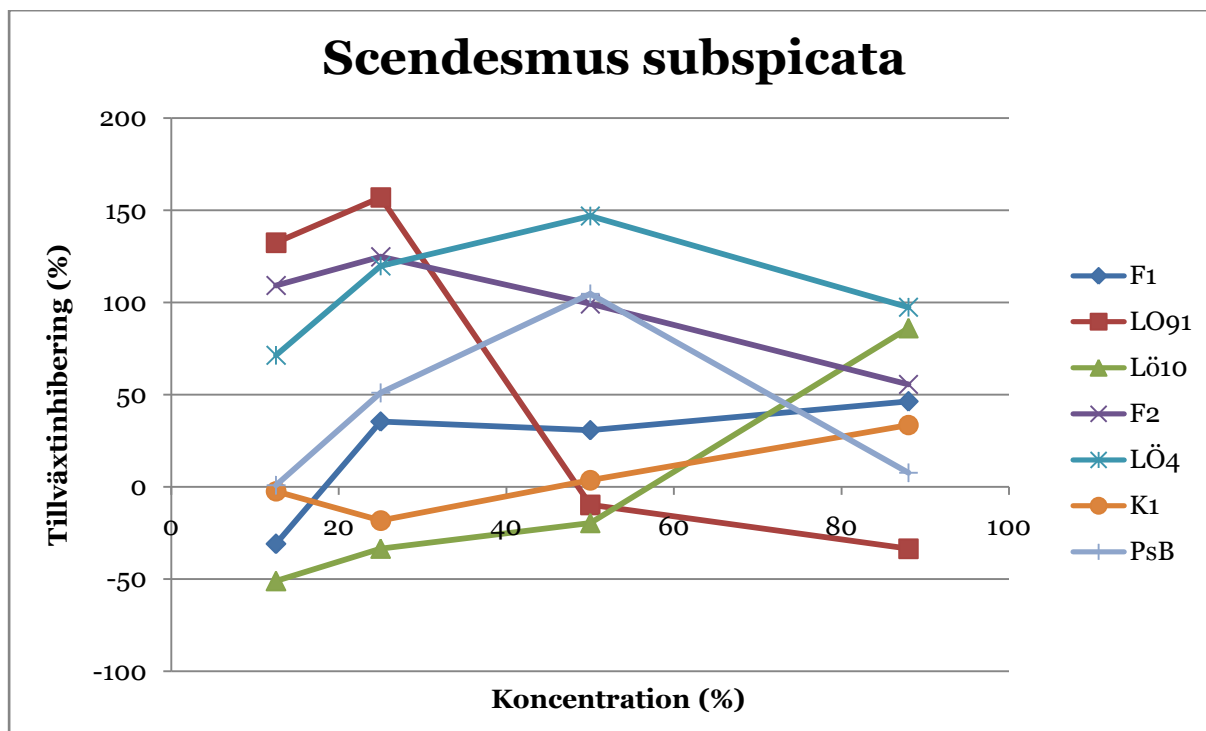
Figur 5 Tillväxtinhibering hos cyanobakterien *Anabaena sp* efter 48 h exponering för sju lakvatten, F1, LO91, LÖ10, F2, LÖ4, K1, PsB

I Figur 6 redovisas toxicitetstestresultaten för algarten *Pseudokirchneriella subcapitata* PsB visar på en tillväxtinhibering vid de låga koncentrationerna för att sedan avvika till en mycket lägre inhibering vid de höga koncentrationerna, dock sker ingen stimulering. F1 och LÖ4 har en tillväxtinhibering vid den lägsta koncentrationen som sedan ökar för de nästa två koncentrationerna för att sedan avta vid den högsta koncentrationen. K1 och LÖ10 följer en något likartad kurva där en stimulering kan ses vid den lägsta koncentrationen och vid de två högre koncentrationerna.



Figur 6 Toxicitetstest för algarten *Pseudokirchneriella subcapitata* under en 48 h period för lakvatten F1, LO91, LÖ10, F2, LÖ4, K1, PsB

Figur 7 visar resultaten för toxicitetstest för algarten *Scendesmus*. LO91 har en mycket hög tillväxtinhibering vid de lägsta koncentrationerna för att sedan avvika och det sker en stiumering av tillväxten vid de högre koncentrationerna. K1 och LÖ10 har båda en stimulering vid låga koncentrationer sedan sker en tillväxtinhibering vid de högre koncentrationerna. PsB har en stimulering av tillväxten vid den lägsta koncentrationen, vid de nästkommande två koncentrationerna sker en tillväxtinhibering, denna inhibering minskar sedan vid den högsta koncentrationen. För F2 och LÖ4 sker en tillväxtinhibering för samtliga koncentrationer.



Figur 7 Toxicitetstest för algarten *Scendesmus subspicata* under en 48 h period för lakvatten F1, LO91, LÖ10, F2, LÖ4, K1, PsB

4.1.4 Bestämning av klorofyll

Klorofyllkoncentrationen i samtliga vattenprov mättes i syfte att fungera som ett grovt mått på växtplanktonbiomassa. Variationen på klorofyllhalt beror på ljusstillgång, temperatur samt tillgång till närsalter. Vid granskning av de resultat som redovisas i Tabell 5 så är F2 det prov med högst medelvärde på klorofyllhalt, därefter kommer prov PsB och F1. Klorofyllhalten är lägst i proverna K1 och LÖ4. Samtliga prover, förutom K1 och LÖ4, har en relativt hög klorofyllhalt i jämförelse med kontrollproverna.

Tabell 5 Klorofyllhalt för tre obehandlade lakvatten och för samtliga prover vid avslut av försök.

	Vattenprovets klorofyllhalt:		
	Obehandlat vatten	Vid avslut av odlingar	Medelvärde (av replikat)
F1:B	-	1427,609428	1321,885522
F1:A	-	1216,161616	
PsB:A	-0,003	1224,242424	1313,131313
PsB:B	-	1402,020202	
LÖ10:A	-	335,3535354	
K1:B	-0,01	-0,673400673	-3,164983165
K1:A	-	-5,656565657	
LÖ4:B	-	-4,713804714	-5,387205387
LÖ4:A	-	-6,060606061	
F2:A	-	1354,882155	1486,195286
F2:B	-	1617,508418	
LO91:A	-0,003	517,1717172	662,1212121
LO91:B	-	807,0707071	

Kontroll:A	-	452,5252525	387,8787879
Kontroll:B	-	323,2323232	

4.1.5 TOC

I tabell 6 redovisas resultat för mätning av TOC vid start och avslut av försöken med algodlingar. I tabell 7 redovisas medelvärde av replikat för TOC. För LÖ10:A, K1:B samt Kontroll:A visas ett lägre TOC vid start än vid avslut. För resterande prov är TOC halten lägre vid avslut än vid start.

Tabell 6 TC, TIC och TOC värden vid start respektive avslut av algodlingsförsök.

Start				Slut			
Prov	TC-värde	TIC-värde	TOC-värde	Prov	TC-värde	TIC-värde	TOC-värde
LÖ10:A	38,5	15,6	22,9	LÖ10:A	103	2,7	83,6
LÖ10:B	117	16,3	100	LÖ10:B	-	-	-
LÖ4:A	2148	107	2042?	LÖ4:A	108	103	5,47
LÖ4:B	-	-	-	LÖ4:B	11,14	94,1	-82,96
LO91:A	-	-	-	LO91:A	148	37,3	110
LO91:B	188	40,5	147	LO91:B	174	47,1	127
F1:A	701	178	523	F1:A	364	183	180
F1:B	-	-	-	F1:B	248	177	70,8
F2:A	454	140	314	F2:A	297	191	106
F2:B	1436	176	1260	F2:B	337	140	197
PsB:A	341	150	191	PsB:A	64,4	118	-53,6
PsB:B	357	151	207	PsB:B	258	93,6	165
K1:A	102	18,8	83,1	K1:A	97,4	30,9	66,5
K1:B	48,9	21,1	27,8	K1:B	77,1	36,1	41
Kontroll:A	91,8	5,56	86,2	Kontroll:A	137	12	125
Kontroll:B	89,2	67,6	82,5	Kontroll:B	8,91	12,4	-3,49

4.1.6 Mikroskopering för algartbestämning

Mikroskoperingen genomfördes manuellt, sammanlagt valdes tre prover ut: PsB:A, LO91:B samt K1:B. Dessa prover valdes ut i syfte att få en översikt över vilka algarter som fanns i de vatten där det var god tillväxt samt i vatten som hade betydligt sämre tillväxt.

Prov PsB:A var mycket grönt med god tillväxt. Detta prov har haft en ökande tillväxt under hela försöket. Vid mikroskoperingen uppmärksammades i stort sett en monokultur av algarten *Chlorella Vulgaris* som är en grönalga som har god förmåga att kapsla in föroreningar. I detta prov upptäcktes även någon form av urdjur som troligtvis funnits i lakvattnet från början.

LO91:B- provet var även detta ett prov med god tillväxt i. Färgen var tydligt ljusgrön och skiljer sig i den gröna färgen jämfört med PsB-provet. Under mikroskoperingen uppmärksammades samma algart, *C. Vulgaris*, även i detta prov. Däremot såg mönstret för hur algerna var bundna till varandra annorlunda ut. I vissa sektioner växte algerna i klumpar medan det också fanns de som låg fria från varandra. Någon typ av kiselalg visade sig också finnas i detta prov samt någon svamp tillväxt. Också i detta prov uppmärksammades någon typ av urdjur som även här tros ha funnits med från det att proverna togs.

K1:B-provet är av helt annan karaktär då färgen på detta prov är ljust gult och det ser ut som om det inte funnits någon tillväxt i detta prov. Däremot har det bildats små klumpar i provet som inte funnits med från början. Under mikroskoperingen uppmärksammades en annan typ av algart vilken möjligen skulle kunna vara *Oocystis*, denna typ av alg hade en mer oval form samt var tätare i cellen.

5 DISKUSSION OCH SLUTSATSER

Denna studie har syftat till att undersöka om det finns en möjlighet för alger att växa i olika typer av lakvatten. Lakvattnen som är hämtade ifrån VAFAB Miljö passerar först en luftad damm innan det förs vidare till reningsverk. Klass-1 deponins lakvatten genomgår en oljeavskiljare där ett av våra prover är hämtade. Ytterligare prover är insamlade ifrån Deponi 2009 (den nyare deponin) samt från olika typer av uppsamlingsytor. Från Atleverken i Örebro har lakvattenproverna tagits ifrån inlopp och utlopp till luftad damm, samt från våtmarksutlopp och även här ifrån oljeavskiljare. Sammanlagt hämtades sju lakvattenprover från avfallsanläggningarna. Enligt våra resultat har det visat sig vara en stor skillnad mellan tillväxten i de olika vattentyperna.

5.1 Mätning av alg tillväxt

Vid jämförande av de tester som mäter alg tillväxt d v s mätning av optisk densitet (Figur 2 och 3), klorofyllhalter (tabell 5), pH (tabell 4 och figur 4) och TOC (tabell 6 och 7) så kan det

konstaterats att de vattenprov som har haft bäst alg tillväxt är PsB, F1, F2 och LO91 och är också (se figur 1) de som sett mest gröna ut i färgen. De vattenprover som visar på lägst tillväxt är K1, LÖ4 och LÖ10. Från de vatten som hämtats från Atleverket (K1, F2, F1 och PsB) så har alla vatten förutom K1 visat på en god tillväxt dock är det F1 och PsB som ansågs vara mest förorenade då dessa ännu inte genomgått några egentliga reningssteg. Anledningen till den nästan obefintliga tillväxten i K1 tros bero på avsaknad av näring då denna antagligen har fixerats och renats i den luftade dammen samt våtmark. Av de vatten som inhämtats på VAFAB (LÖ10, LÖ4 och LO91) så är det endast i LO91 som en god tillväxt har skett, detta är intressant då detta vatten är ett äkta lakvatten från deponi 2009, till skillnad från LÖ10 och LÖ4 som är lakvatten från diverse uppsamlingsytor. Om det ses till optisk densitet för LÖ4 och LÖ10 så har det senare haft en något bättre alg tillväxt än LÖ4, detta tros bero på att näringsinnehållet i LÖ10 är något högre då LÖ4 är ett renat vatten från uppsamlingsytor (se 3.2 provtagning) och enligt VAFAB så innehåller detta vatten oftast inte något organiskt material. LÖ4 är även det lakvattnet som kommer ifrån farligt avfallområdet och den låga tillväxten kan även bero på vattnets toxicitet, dock har något sådant inte kunnat utläsas av resultat från toxicitetstester. Enligt tabell 1 och 2 som beskriver vattenprovernas sammansättning av diverse föroreningar kan det konstateras att de prover med lägst tillväxt i också är de vatten som innehåller lägst halter av totalkväve- och fosfor. Dessa resultat tyder på att för att få en god alg tillväxt är tillväxten mer beroende av det aktuella näringsinnehållet i substratet än vad algerna är känsliga för diverse föroreningar i detta.

Algympen som användes i samtliga sju deponilakvatten har tagits från Mälaren, dessa alger har sedan placerats i rejektivatten och odlats i en sådan förhållandevis svår miljö under en längre tid innan att det använts i det aktuella försöket med lakvatten. Algympen har således genomgått en aklimatiseringsfas vilket tros ha kunnat bidra till den relativt goda överlevnadsgrad och tillväxt som algerna haft i flertalet av lakvattnen.

5.2 pH

pH mättes på samtliga originalvatten där mätvärden påvisade att de hade ett pH på 5-7. Efter att algymp samt näringsmedium till kontrollerna tillsatts har pH tenderat att öka enligt resultat (se tabell 4). Enligt Persson (2005) genomgår deponier olika faser varpå pH kan variera mellan dessa. I de vatten där surt pH uppmättes från början kan det rimligen vara så att deponin som vattnet togs ifrån antingen är relativt ny eller befinner sig i syrabildningsskedet. Är deponin däremot av äldre modell så har den troligtvis kommit in i metanbildningsfasen, och i dessa vatten kan ett mer basiskt pH förväntas.

Vid en jämförelse av ursprungsprovernas pH mot de pH-värden som uppmättes under försöket så har samtliga prover ett högre pH-värde efter det att algkultur tillsatts. pH har en tendens att variera över tid vilket går att se i Figur 4. pH-värdena har en tendens att följa samma kurva för samtliga prover vilket får anses anmärkningsvärt med tanke på att proverna har skiljt sig mycket ifrån varandra när det kommer till tillväxt. Detta tros dock bero på att samtliga vatten har haft en tillväxt om än varierande mellan de olika proverna. Fotosyntesen

har en tendens till att höja pH, vilket sker vid algtillväxt, och under den period då pH sjönk kan en bakterietillväxt ha varit en orsak till det sjunkande pH, då bakterietillväxt ofta har denna inverkan. Vid optimala tillväxtförhållanden skall pH ligga på någonstans runt 8, utifrån detta kan det antas att tillväxten varit bäst under den tid då pH var 8.

5.3 Mätning av organiskt kol, TOC

Vid mätning av TOC vore det rimligt att förvänta högre värden vid avslutningskedet än vid start, samt att de prover som har visat på högst algtillväxt rimligen borde vara de prover som också har högst TOC-halt. Enligt tabell 6 och 7 är dock detta inte fallet då flera av mätresultaten ser avvikande ut. Provet Kontroll:A har en förväntad ökning, likaså har LÖ10:A. Resterande provsvar ser däremot mycket märkliga ut, då det i de allra flesta prover har funnits en högre halt TOC vid start än vid avslut vilket vi ställer oss frågande till. Det skall också tilläggas att dessa två mätningar gjordes på två olika maskiner vilket möjligen kan ha haft en påverkan på mätvärdena.

5.4 Bestämning av klorofyll

Klorofyllhalterna som uppmättes (se tabell 5) visar även här på att de prov med bäst tillväxt jämfört mot kontrollen är PsB, F1, F2 och även LÖ91 (även fast denna visar ett något lägre värde än de andra). Dock så visar även LÖ10 på en relativt hög klorofyllhalt i jämförelse mot kontrollen. LÖ4 och K1 har de lägsta värdena och är de enda vattenprover med negativa värden. Som sagt tidigare beror troligtvis detta på att dessa lakvatten innehåller minst näringshalter och har därför en sämre tillväxt.

5.5 Toxicitetstest

Vid granskning av toxicitetstesterna som utfördes (se Figur 5-7) så ser mätresultaten anmärkningsvärda ut. Av den information som inhämtats från Atleverket och VAFAB Miljö AB kan det anses att de lakvattenprover som befaras vara mest toxiska är PsB, F1, LÖ91 och i viss mån LÖ4 (då dessa ännu inte har genomgått någon särskild rening för att avskilja föroreningar). Tillväxtinhiberingen för PsB, F1 och LÖ91 borde öka vid högre koncentrationer vilket flertalet av resultaten inte gör, i vissa fall ses till och med en stimulering av tillväxt vid höga koncentrationer och en inhibering vid lägre koncentrationer. Vad detta kan bero på är, tidigare nämnts, att näringen är mer betydelsefull för algtillväxt än vad toxiciteten är inhiberande för tillväxt. Detta kan också tyda på att lakvattnen inte är så toxiska för alger som förväntat. Dock så är dessa alger som användes i toxicitetsförsöken inte lika tåliga som algerna som användes i algodlingsförsöken, då dessa tidigare endast odlats i ren näringslösning. Det kan därför tyckas att dessa borde reagerat på de högre koncentrationerna av lakvattnet än vad resultaten visar. Vid mikroskopering kunde en del urdjur urskiljas i vattenproverna (t ex i PsB och LÖ91) vilket kan tyda på att toxiciteten inte är särskilt hög, då

dessa djur ofta är känsliga för föroreningar. Andra orsaker till de märkliga resultaten kan vara att det vid mätning av optisk densitet kan ha förekommit partiklar i vattnet som visat på högre mätvärden och att uträkningar och inrapportering av resultat kan ha en viss felmarginal som påverkat utveckling av kurvorna i figur 5-7. Dessutom bestämdes det att endast använda värdena för 48 h istället för 72 h (enligt standarden ISO 8692) för att få mer enhetliga kurvor på grund av outliers. Enligt ISO 8692 ska det även kunna genomföras en uträkning som ger ett EC50-värde utifrån de plottade värdena, men detta kunde inte genomföras på grund av den stora variationen mellan mätdata.

5.6 Alger som alternativt reningssteg och för framställning av biobränsle

Enligt tidigare forskning som utförts har det framkommit att det är möjligt att rena såväl lakvatten från deponier som avloppsvatten med hjälp av alger. Enligt tidigare studier som gjorts kan det konstateras att alger har en god förmåga att rena vatten från bland annat metaller, kväve, fosfor, BOD och COD (Bastos Sousa, 2010). Att använda alger som ett förbehandlingssteg är troligtvis det bästa alternativet för lakvattenrening då detta vatten innehåller tillräckligt med organiska föroreningar som algerna kan nyttja som näring för tillväxt. Att använda alger som ett poleringssteg efter annan typ av behandling verkar mindre effektivt med tanke på de algodlingsförsök som redovisas i denna studie, då de lakvatten som genomgått behandling såsom luftad damm och fått passera våtmark inte haft en bra tillväxt av alger.

Algodlingarna i detta försök har haft goda yttre förutsättningar med tanke på temperatur och ljusstillgång då samtliga prover förvarats i värmerum (21-23 °C) och där en konstant ljuskälla har varit tillgänglig. Vid tillämpning av detta i reella svenska förhållanden skulle säkerligen resultaten se annorlunda ut. Det kan antas att under vinterhalvåret kommer algrening inte fungera lika effektivt varpå ett alternativt reningslösning borde finnas att tillgå under denna tidsperiod. Troligen kommer det heller inte vara möjligt att utvinna någon algbiomassa för biobränsleproduktion under denna tid, då tillväxten antagligen blir för låg.

Resultaten från litteraturstudien visar på att det mest lämpliga sättet att framställa biobränsle är genom att använda olika typer av förorenade vatten såsom avloppsvatten och rejektivatten som substrat för odling. Dessa vatten innehåller oftast mycket organiska föroreningar vilket innebär att ingen ytterligare näringstillförsel behöver ske. Dessutom kan produktion av biomassa kombineras med rening av dessa vatten vilket gör det både ekonomiskt och tekniskt gångbart. För att lyckas med biobränsleframställningen på ett effektivt sätt är det av vikt att finna lämpliga och ekonomiskt rimliga lösningar till skörd av algbiomassa och vidare behandling av den erhållna biomassan.

6 SLUTSATS

Denna studie har påvisat att det är möjligt att odla alger i deponilakvatten, även fast resultaten är varierande. Utifrån den litteraturstudie som genomförts på ämnet så kan det fastställas att odling av alger i avloppsvatten, lakvatten och andra typer av förorenade vatten är möjligt om näringshalter i vattnet är tillräcklig, vilket har visat sig vara avgörande för en god alg tillväxt. Näringsstillgången har enligt toxicitetstester och algodlingar visat sig vara av större betydelse för stimulering av alg tillväxt än vad föroreningshalten har en påverkan på tillväxtinhiberingen. Det vill säga att näringshalten är viktigare än vattnets toxicitet för alg tillväxt. Utifrån de försök som gjorts på olika typer av lakvatten kan det konstateras att det troligen är mer lämpligt att använda alger som ett förbehandlingssteg vid rening av lakvatten än som ett efterbehandlingssteg, då det i detta skede troligtvis förekommer mindre näringsämnen som kan ge en god alg tillväxt och därför även en god rening. Problemet med algodling i rejektivatten är således inte huruvida biomassa kan bildas utan snarare hur denna ska skördas och vidarebehandlas för framställning av biobränsle, då det enligt den litteraturstudie som gjorts visats på att det är skördning av algiomassa som är den huvudsakliga svårigheten både ekonomiskt- och tekniskt.

Det kan konstateras, utifrån laborativa försök och granskning av aktuell forskning på området, att vissa vatten har bättre förutsättningar för algodling varför dessa rimligen bör användas vid ett eventuellt införande av alger som reningssteg alternativt för biobränsleproduktion. Vid behandling av algiomassa samt framställning av biobränsle måste mer forskning till för att kunna göra ett konstaterande huruvida det går att framställa biobränsle utifrån den bildade biomassan.

7 FÖRSLAG TILL FORTSATT ARBETE

Då detta arbete endast är en förstudie till projektet ALTOX där det undersökts huruvida det är möjligt att odla alger i deponilakvatten som är hämtade från Atleverken Örebro och VAFAB Miljö AB, finns det en hel del ytterligare studier som skulle kunna genomföras för detta projekt. Ytterligare forskning skulle behövas på biobränsleframställning från algiomassan. Det har heller inte i detta arbete undersökts hur stor andel av lakvattnets föroreningar som kunnat renas och fixeras med hjälp av algerna. Det har därmed inte undersökts om algerna i dessa försök har lyckats rena lakvattnet vilket hade varit intressant att se med tanke på att både Atleverken samt VAFAB Miljö AB har ett intresse i att använda algerna som ett reningssteg för lakvatten.

KÄLLFÖRTECKNING

Andersson, S. Broberg, R. Hackl (2011) *Integrated algae cultivation for municipal wastewater treatment and biofuels production in industrial clusters*, Chalmers tekniska högskola, World Renewable Energy Forum 2012, Denver, 1 s. 684-691

Avfall Sverige, Rapport U2009:04 (2009) *Rening av lakvatten, avloppsvatten och reduktion av koldioxid med hjälp av alger*, ISSN 1103-4092

Bastos Sousa J. A (2010) *Landfill leachate treatment: a new photobioreactor technology*, Universidade do Porto

Baun A, Ledin A, . Reitzel L. A, Bjerg P. L, Christensen T. H (2004) *Xenobiotic organic compounds in leachates from ten Danish MSW landfills—chemical analysis and toxicity tests*, Water Research, 38, s 3845–3858

Biogasportalen, *Vad är biogas?*

<http://www.biogasportalen.se/FranRavaraTillAnvandning/VadArBiogas> Hämtad: 2013-05-25

Brennana L & Owende P (2009) *Biofuels from microalgae—A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol 14, nr 2, s 557-577

Chisti Y & Yan J (2011) *Energy from algae: Current status and future trends - Algal biofuels – A status report*, Applied Energy vol. 88 s. 3277–3279

Christensen T. H, Kjeldsen P, Bjerg P. L, Jensen D.L, Christensen J. B, Baun A, Albrechtsen H. J & Heron C (2001) *Biogeochemistry of landfill leachate plumes*, Applied Geochemistry, vol 16, nr 7-8, s 659-718

Clement B, Persoone G, Janssen C & Le Du-Delepierre A (1996) *Estimation of the hazard of landfills through toxicity testing of leachates .1. Determination of leachate toxicity with a battery of acute tests*, Chemosphere, vol 33, s 2303-2320

Energi- och klimatgruppen, Länsstyrelsen i Uppsala län (2011:12) *Utnyttjande av Forsmarks spillvärmvatten- Förstudie*, ISSN 1400 -4712

Förordning (2001:512) om deponering av avfall, SFS 2001:512 [Elektronisk tillgänglig] <http://www.notisum.se/rnp/sls/lag/20010512.htm> Hämtad: 2013-05-14

Grönlund E (2002) *Microalgae as wastewater treatment in cold climate*, lic-avh, Luleå University of Technology, Luleå

Gómez-Villa H, Voltolina D, Nieves M & Piña P (2005) *Biomass production and nutrient budget in outdoor cultures of *Scenedesmus obliquus* (Chlorophyceae) in artificial wastewater, under the winter and summer conditions of Mazatlán, Sinaloa, Mexico*, Vie et milieu, vol 55, nr 2, s 121-126

Hedenfeldt E (2010) *Mikroalger för hållbar energiproduktion— *Chlorella vulgaris* i en kretsloppsanpassad alg-biogasprocess*, Malmö högskola

Hoyer K & Persson K. M (2006) *Om filtrering och andra fysikalisk-kemiska separationsmetoder för lokal behandling av lakvatten*, Lunds universitet

Jones C. S & Mayfield S. P (2012) *Algae biofuels: versatility for the future of bioenergy*, Current opinion in Biotechnology, vol 23, nr 3, s 346-351

Ribé. V (2013) *ALTOX- Biomass production using potentially toxic landfill leachates as substrates for algae cultivation*, KKS-ansökan

Miljörapport 2012 Textdel – gryta avfallsanläggning (2012) Västerås kommun 1980-60-01

Mussnug J. H, Klassen. V, Schlüter A & Kruse O (2010) *Microalgae as substrates for fermentative biogas production in a combined biorefinery concept*, Journal of Biotechnology 150, s 51-56

Nationalencyklopedin, *Biodiesel* <http://www.ne.se.ep.bib.mdh.se/lang/biodiesel> Hämtad: 2013-05-28

Nationalencyklopedin, *Etanol* <http://www.ne.se.ep.bib.mdh.se/lang/etanol> Hämtad: 2013-05-28

Naturvårdsverket (2008) *Lakvatten från deponier*, Rapport 8306 [Elektroniskt tillgänglig] <http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/620-8306-9.pdf> Hämtad: 2013-05-14

Oskarsson S. R & Berggren N (2012) *Biodrivmedel från alger - En jämförelse av två tänkbara modeller*, Stockholm, KTH

Scott S. A, Davey M. P, Dennis J. S, Horst I, Howe C. J, Lea-Smith D. J & Smith A. G (2010) *Biodiesel from algae: challenges and prospects*, Current Opinion in Biotechnology vol 21 s 277-286

VAFAB Miljö AB, *Utvecklingsprojekt* http://www.vafabmiljo.se/om_vafabmiljo_s3.html Hämtad: 2013-05-12

VAFAB Miljö AB, *Välkommen till VAFAB Miljö* http://www.vafabmiljo.se/utvecklingsprojekt_s47.html Hämtad: 2013-05-12

Wiley P. E, Campbell J. E. & B. McQuin (2011) *Production of Biodiesel and Biogas from algae: A Review of Process Train Options*, Water Environment Research, Volume 83, Number 4, s 326-338

Örebro kommun, *Atleverket* <http://www.orebro.se/3611.html> Hämtad: 2013-05-19

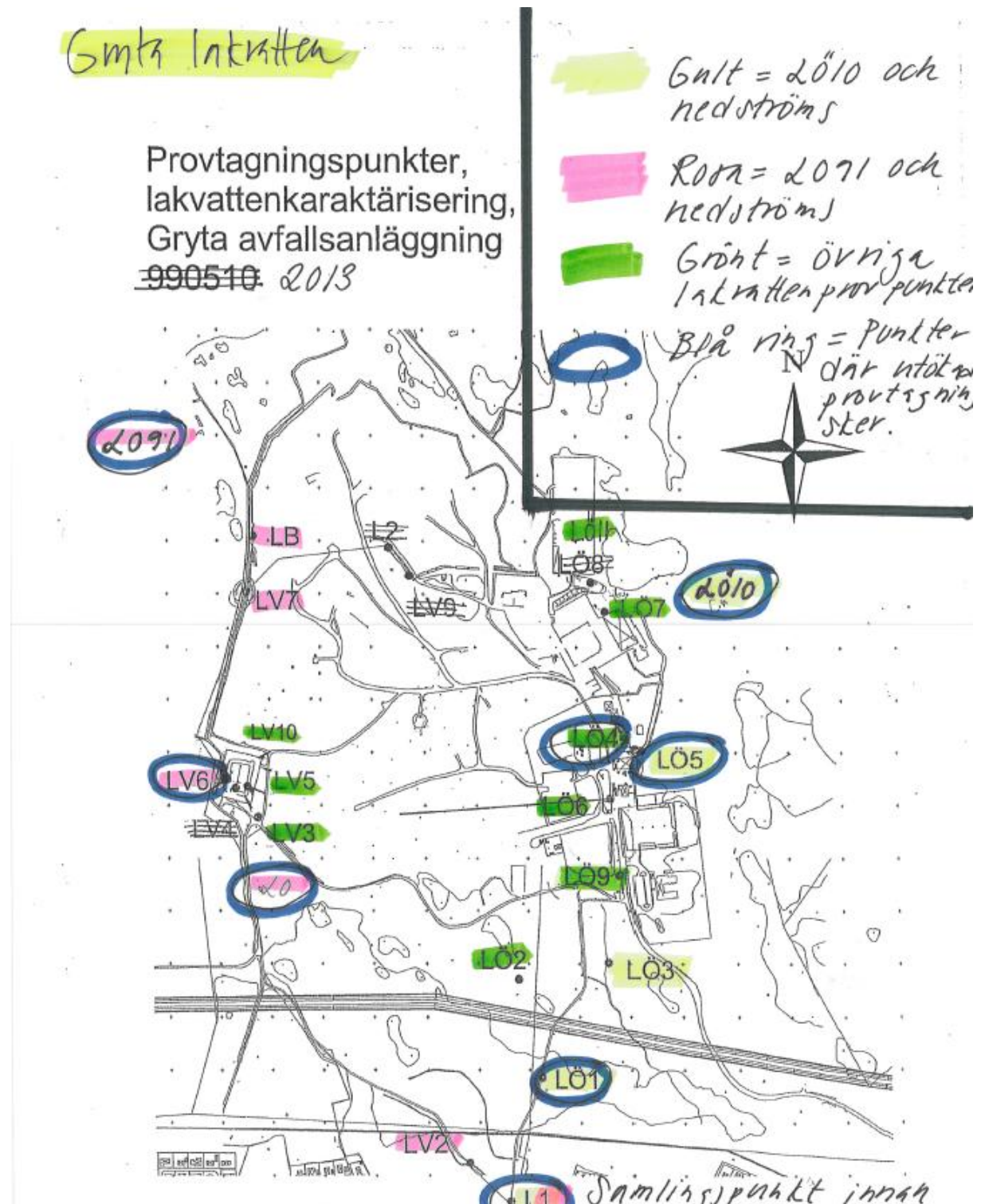
Örebro kommun, *Företag och verksamhet* <http://www.orebro.se/36111.html> Hämtad: 2013-05-19

Örebro kommun, *Rening av lakvatten* <http://www.orebro.se/303.html> Hämtad: 2013-05-19

Persson P. O, Bruneau L, Nilsson L, Östman A, Sundqvist J. O (2005) *Miljöskyddsteknik, strategier och tekniker för ett hållbart miljöskydd*, Kungliga tekniska högskolan, Stockholm

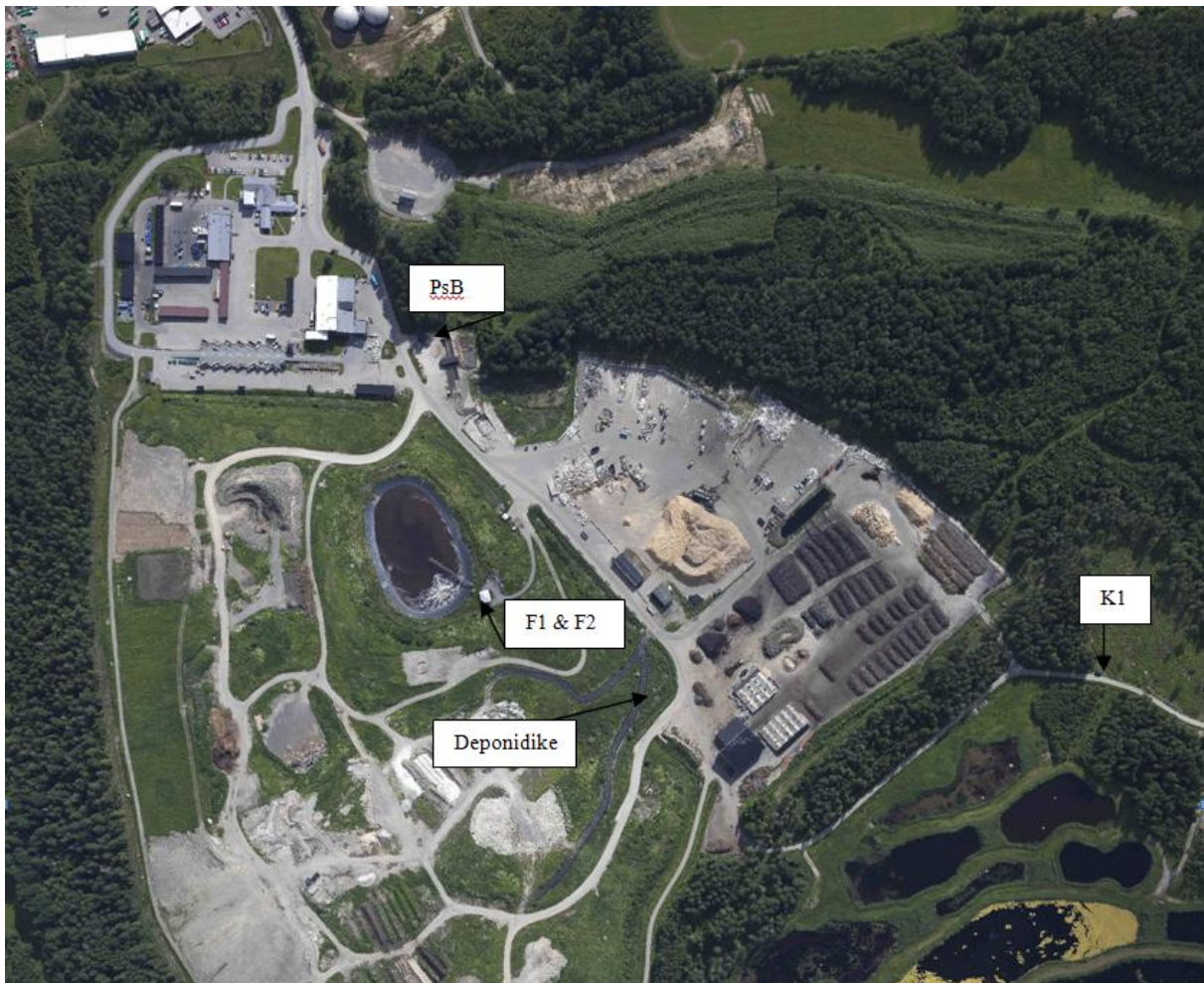
BILAGA 1

Karta över VAFAB med provtagningspunkter där lakvattnen är insamlade ifrån (punkter LÖ10, LÖ91 och LÖ4)



BILAGA 2

Karta över Atleverket i Örebro med samtliga provtagningspunkter där lakvattnen insamlats ifrån.





MÄLARDALENS HÖGSKOLA
ESKILSTUNA VÄSTERÅS

Box 883, 721 23 Västerås **Tfn:** 021-10 13 00
Box 325, 631 05 Eskilstuna **Tfn:** 016-15 36 00
E-post: info@mdh.se **Webb:** www.mdh.se