



**MÄLARDALENS HÖGSKOLA
ESKILSTUNA VÄSTERÅS**

TJÄRSANDSINDUSTRINS MILJÖPÅVERKAN

Alberta, Kanada

FREDRIK KJELLEROS

Akademien för ekonomi, samhälle och teknik

Kurs: Examensarbete, miljövetenskap

Kurskod: MXA205

Ämne: Miljövetenskap

Högskolepoäng: 15 hp

Program: Kandidatprogrammet i miljövetenskap

Handledare: Johan Lindmark

Examinator: Bozena Guziana

Datum: 2015-05-27

E-post:

fredrik.kjelleros@outlook.com

ABSTRACT

In Alberta, Canada, amongst its mixture of sand, clay, water and other minerals, the tar sand's heavy and viscous component bitumen, a thick, sticky form of crude oil is extracted through two methods; open-pit mining for shallower deposits (<75 m), and in situ for deeper deposits (>75 m). This degree project consists of a comparison between these two extraction methods impact on air, nature and water, which all have been evaluated by reviewing and analyzing literature. Studies showed that in situ methods cause a higher impact on air than open-pit mining, through higher emissions of greenhouse gases and sulfur dioxide (SO₂), and will surpass the carbon dioxide (CO₂) emissions caused by the open-pit mines when the shallower, more accessible tar sands dwindle. Open-pit mining causes a higher impact on water due to its large tailing ponds that causes leakage of processing water and fine tailings, polyaromatic hydrocarbons (PAH: s) and these 13 following elements considered priority pollutants (PPE) by the US Environmental Protection Agency (EPA); antimony (Sb), arsenic (As), beryllium (Be), lead (Pb), cadmium (Cd), copper (Cu), chromium (Cr), mercury (Hg), nickel (Ni), selenium (Se), silver (Ag), thallium (Tl) and zinc (Zn). However studies remain unclear whether or not in situ methods are worse due to underground tailing ponds. Finally, when it comes to nature, open-pit mining causes a more direct environmental impact through deforestation, drainage of peat and wetland, and blasting of rock. In situ methods however, seem to cause more of a long term environmental impact through fragmentation. Dividing the landscape into smaller units through roads, wells, pipelines and seismic lines, leads to domestic biodiversity and homogenization of flora and fauna as unfavorable conditions is created for the nature's wildlife.

In conclusion, in situ methods causes a bigger impact on air than open-pit mining, while open-pit mining causes a bigger impact on water. Due to lack of time and resources, more research about the direct impact on nature is needed to fully evaluate which of the two extraction methods causes the least environmental impact.

Keywords: Canada, Alberta, tar sands, oil sands, open-pit mining, in situ, environmental impact

FÖRORD

Detta examensarbete är resultatet av ett examensarbete på 10 veckor (15 hp) som utförts på helfart under vårterminen 2015. Examensarbetet ingår som avslutande moment i min kandidatexamen inom miljövetenskap vid Mälardalens Högskola (MDH) i Västerås. Inspiration till att utföra detta arbete fick jag från släkt i Alberta som dagligen berörs av tjärsandsindustrins utveckling. Arbetet började som ett mindre projekt i kursen MXA 108, Geografiska informationssystem.

Jag vill först och främst rikta min tacksamhet mot min bror Mikael Kjelleros som trott och stöttat mig från början till slut, när andra tvivlade. Jag vill även tacka min handledare Johan Lindmark och min examinator Bozena Guziana vid MDH som väglett mig under arbetets utveckling. Slutligen vill jag även rikta ett stort tack till Patrik Klintenberg vid MDH som ambitiöst tagit tid till att bidra med ytterligare vägledning.

Västerås den 27 maj 2015

Fredrik Kjelleros

SAMMANFATTNING

I Kanadas fjärde största provins Alberta finns det enorma mängder tjärsand; en blandning av sand, lera och vatten. I denna blandning förekommer också en komponent kallad bitumen, en tjock klibbig form av råolja som utvinns genom två metoder dagbrottsutvinning, för grundare fyndigheter (<75 m), och in situ-utvinning, för djupare fyndigheter (>75 m). Detta examensarbete omfattar att utifrån granskning och analys av litteratur jämföra dessa utvinningsmetoder, i syfte att uppskatta vilken av de två som har minst, respektive störst påverkan på luft, natur och vatten.

Utifrån den litteratur som granskats visade sig in situ-utvinning orsaka en mycket högre påverkan på luft än dagbrott, genom högre utsläpp av växthusgaser och svaveldioxid (SO₂). Dagbrottsutvinningens utsläpp av koldioxid (CO₂) är idag högre än in situ-utvinningens. Det är dock värt att nämna att då de grundare fyndigheterna av bitumen sinar och tjärsandsindustrin får behandla allt djupare fyndigheter genom in situ-utvinning, så är det möjligt att in situ-utvinningen kommer orsaka högre koldioxidutsläpp än dagbrottsutvinningen i framtiden.

När det kommer till vatten så har dagbrotten en betydligt större miljöpåverkan än in situ, mestadels på grund av sina sedimenteringsdammar som orsakar läckage av processbehandlat vatten och fint sedimenteringsavfall, polyaromatiska kolväten (PAH: er), och dessa 13 följande ämnen som klassas som prioriterade föroreningar (PPE) enligt den amerikanska miljöskyddsmyndigheten (EPA); antimon (Sb), arsenik (As), beryllium (Be), bly (Pb), cadmium (Cd), koppar (Cu), krom (Cr), kvicksilver (Hg), nickel (Ni), selen (Se), silver (Ag), tallium (Tl) och zink (Zn). Dock kvarstår frågan om in situ orsakar en mindre påverkan på vatten, på grund av underjordiska sedimenteringsdammar som inte uppfyller samma markkontroll som de ovan jord.

Slutligen när det kommer till natur orsakar dagbrotten en mera direkt påverkan genom avverkning av skog, dränering av torv- och våtmark och sprängning av berg. In situ orsakar en mera långsiktig påverkan på naturen och dess ekosystem genom fragmentering. Uppdelningen av landskapet i mindre intakta enheter, genom allt från vägar och brunnar till pipelines och seismiska linjer, orsakar ogynnsamma överlevnadsförhållanden som i sin tur leder till homogenisering av flora och fauna.

Slutsatsen som dragits är att in situ metoder orsakar en större påverkan på luft än dagbrott, medan dagbrott orsakar en större påverkan på vatten. Det krävs mera forskning kringgående dagbrottens direkta miljöpåverkan för att skapa en evaluering för vilken av de två utvinningsmetoderna som orsakar minst miljöpåverkan.

Nyckelord: Kanada, Alberta, tjärsand, oljesand, dagbrott, in situ, miljöpåverkan

INNEHÅLL

1	INLEDNING	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Problemformulering	2
1.3	Syfte	2
1.4	Frågeställningar.....	2
1.5	Avgränsning	2
2	METOD	3
3	LITTERATURSTUDIE	4
3.1	En tidslinje över tjärsandens historia	4
3.2	Vad är tjärsand och vad är bitumen?	5
3.3	Utvinningsmetoder	5
3.3.1	Dagbrottsutgrävning.....	7
3.3.2	In situ	7
3.3.2.1.	<i>Olika typer av in situ metoder</i>	7
3.4	Miljöpåverkan – Luft.....	9
3.4.1	Växthusgaser	9
3.4.2	Kväveoxider (NOx) och Svaveldioxid (SO ₂).....	9
3.4.3	Bristen på naturgas leder till kärnkraft	10
3.5	Miljöpåverkan – Natur	11
3.5.1	Uppdelning av markzoner i Albertas tre TSR	11
3.5.2	Fragmentering.....	11
3.6	Miljöpåverkan – Vatten.....	12
3.6.1	Vattenanvändning	12
3.6.2	Processbehandlat vatten (TSPW)	12
3.6.2.1.	<i>Effekter av TSPW på Arabidopsis thaliana</i>	12
3.6.2.2.	<i>Effekter av fint bearbetningsavfall på borealskogsplantor</i>	13
3.6.3	Polycykliska aromatiska kolväten (PAH: er)	13
3.6.3.1.	<i>Övervakning av Athabascas vattendrag</i>	13
3.6.4	PPE-ämnen	14

4	RESULTAT	16
4.1	Miljöpåverkan – Luft	16
4.1.1	Försurning.....	17
4.2	Miljöpåverkan – Natur	18
4.2.1	Fragmentering.....	18
4.3	Miljöpåverkan – Vatten	20
4.3.1	Vattenanvändning	20
4.3.2	Kassering av tjärsandens giftiga flytande avfall	20
5	DISKUSSION	22
5.3	Metoddiskussion	23
6	SLUTSATSER	24
7	FÖRSLAG TILL FORTSATT ARBETE	25
	REFERENSER	26
	BILAGA 1: PPE-ÄMNENS MILJÖEFFEKTER	31

FIGURFÖRTECKNING

Figur 1	Karta över de tre TSR i Alberta, Kanada, utifrån (Matthietury.com, 2015)	6
Figur 2	Data från ERCB (2013) över den totala initiala volymen av rå bitumen i miljarder kubikmeter (10^9 m ³) från de tre respektive TSR (ERCB, 2013).....	6
Figur 3	Omarbetad bild från Aleklett & Ovennerstedt (2012) hur bitumen utvinns ur tjärsand	8
Figur 4	Albertas sju regioner, fyra inom Y2Y, (Y2Y, 2015b)	11

TABELLFÖRTECKNING

Tabell 1	En tidslinje över tjärsandens historia. (Nikiforuk, 2008)	4
Tabell 2	Data från ERCB (2013) över utvinningsbara volymer och etablerade reserver av rå bitumen i de tre TSR-regionerna i Alberta, beräknade i miljarder kubikmeter (10^9 m ³) och miljarder antal fat	5
Tabell 3	Mätningar av luftföroreningarna i gram NO _x , SO ₂ och totalt antal växthusgaser per fat utvunnet bitumen från tjärsandsanläggningar (Pembina Institute, 2015).	17
Tabell 4	Jämförelse mellan dagbrott och in situ: s miljöpåverkan på luft. Grön färg innebär en mindre miljöpåverkan, röd färg innebär en större miljöpåverkan, och gul färg innebär en likvärdig miljöpåverkan (utsläppsvärdena är inom samma intervall) ..	17
Tabell 5	Jämförande data mellan in situ och dagbrott från Pembina Institute (2015) och Government of Alberta (2015b).	18
Tabell 6	Jämförelse mellan dagbrott och in situ: s miljöpåverkan på natur. Grön färg innebär en mindre miljöpåverkan, röd färg innebär en större miljöpåverkan, och blå färg innebär att mer forskning krävs.....	19
Tabell 7	Jämförelse mellan dagbrott och in situ: s miljöpåverkan på vatten. Grön färg innebär en mindre miljöpåverkan, röd färg innebär en större miljöpåverkan, och blå färg innebär att mer forskning krävs.....	21

FÖRKORTNINGAR

Förkortning	Beskrivning
% EPT	Det totala antalet Ephemeroptera (dagsländor), Plecoptera (bäcksländor), och Trichoptera (nattsländor)
ATSR	Athabasca Tar Sands Region – tjärsandsregionen i Athabasca
DOC	Dissolved Organic Carbon – upplöst organiskt kol
ERCB	Environmental Resource Conservation Board
PAH	Polycyclic Aromatic Hydrocarbons – polycykliska aromatiska kolväten
PPE	Elements considered Priority Pollutants – ämnen som klassificeras som prioriterade föroreningar. Dessa är tungmetaller och specifika organiska kemikalier som kan orsaka allvarliga effekter på miljö och hälsa
TSR	Tar Sands Region – tjärsandsregion
TSPW	Tar Sands Processed Water – tjärsandsprocesserat vatten

DEFINITIONER

Definition	Beskrivning
Amfil	En substans som har både hydrofila och hydrofoba egenskaper.
% Chironomidae	Det totala antalet fjädermyggor
% Hyalellidae	Det totala antalet kräftdjur
% Sphaeriidae	Det totala antalet ärtmusslor
Bioackumulation	När miljögifter anrikas hos en biologisk organism
BMI	Benthic macroinvertebrates – bentiska makroinvertebrater, är sötvattenlevande ryggradslösa djur som kräftdjur, blötdjur, och maskar
Frögroning	När ett frö går från ett stillastående- till ett aktivt tillstånd och påbörjar sin omvandling till växt
Georadar	Ett instrument som sänder signaler (vibrationer) i olika hastigheter ner i marken för att finna fossila avlagringar och undersöka berggrundens hårdhet. Mätningar kan göras då vibrationerna färdas med olika hastigheter beroende på berggrundens och de fossila avlagringarnas hårdhet och densitet.
Homogenisering	En minskning av variation, exempelvis av arter i ett ekosystem
Hydrofil	”vatten-älskande”, en substans som löser sig i vatten
Hydrofob	”vatten-hatande”, en substans som inte löser sig i vatten
In Situ	Latinskt ord för ”på plats” och innefattar i detta fall en typ av gruvteknik som innebär att materialet som vill utfås, erhålls under marken, grävmaskiner behövs inte
Nafteniska syror	En grupp karboxylsyror som är resterna från icke dissocierade nafteniska amfiler.
Uppgraderare	En anläggning som omvandlar bitumen till syntetisk råolja
Syntetisk råolja	En produkt som bildas när en extra tung eller okonventionella oljekälla som bitumen uppträder till en transportabel form. Syntetisk råolja kan sedan transporteras till oljeraffinaderier där den ytterligare uppträder till färdiga produkter

1 INLEDNING

”Varje år blir vi mer, inte mindre, beroende av olja – ett fossilt bränsle från 1800-talet som är smutsigt och farligt dyrt. Varför?” Det var frågan Barack Obama ställde till världen 2008, en fråga som än idag ingen tycks ha ett direkt svar på.

David Jonstad jämför i sin bok ”Kollaps”, världens åtråvärda olja med ett äppelträd. Oljan som resurs kommer aldrig att ta slut, den kommer bara att bli allt mer succesivt svåråtkomlig. Världens oljeindustrier har med omätliga magar plockat rent den lättåtkomliga oljans frukter på trädets lågt hängande grenar. För att äta mer måste de nu klättra upp i trädets, allt högre och längre ut på grenarna.

1.1 Bakgrund

I jakten på den åtråvärda oljan har världen vänt ögonen mot Kanadas provins Alberta och regionens enorma mängder tjärsand. Bunden djupt ner i tjärsanden finns en komponent kallad för bitumen. Bitumen raffinerar till råolja som i sin tur kan raffinerar till allt från motorbränslen som bensin, diesel och flygbränsle till eldningsolja och restbrännolja. För att utvinna bitumen ur tjärsanden används två utvinningsmetoder, dagbrott och in situ, båda med sin respektive miljöpåverkan. Från enorma förändringar av markområden, till oerhörda mängder utsläpp av föroreningar via både luft och vatten, orsakar den allt växande tjärsandsindustrin en allt större betydande miljöpåverkan.

Detta arbete inriktar sig på att jämföra dessa två utvinningsmetoder av bitumen, dess respektive miljöpåverkan, bidragande miljöeffekter och dess största miljöproblem, för att utvärdera vilken av de två som orsakar minst miljöpåverkan.

1.2 Problemformulering

För att utvinna bitumenen ur tjärsanden använder tjärsandsindustrin två utvinningsmetoder, dagbrott och in situ, båda med sin respektive miljöpåverkan. Från visuellt skrämmande förändringar av markområden, till enorma mängder utsläpp av luft- och vattenföroreningar.

En stor del av den litteratur som använts i detta arbete tar upp det faktum att det krävs mer forskning inom tjärsandsindustrin då forskningsområdet i sig är väldigt glest. I takt med att tjärsandsindustrin växer, växer också dess bidragande miljöpåverkan, så vidare inte problemen uppmärksammas i en likartad storlek. Först då kan miljöpåverkan mildras genom att allt fler involverar sig och skapar lösningar på problemen, exempelvis genom att utveckla och prioritera miljövänligare utvinningsmetoder. Detta arbete är en början på någonting större, en möjlighet att belysa tjärsandsindustrins miljöpåverkan ytterligare, även för svenska forskare.

1.3 Syfte

Syftet är att göra en jämförelse mellan dagbrottsutgrävning och in situ; de två vanligaste utvinningsmetoderna av bitumen ur tjärsand med avseende på negativ miljöpåverkan på luft, natur och vatten.

1.4 Frågeställningar

- Vilken negativ miljöpåverkan har utvinningsmetoderna dagbrott och in situ på luft, natur och vatten?
- Vilken utvinningsmetod har minst miljöpåverkan?
- Vad är det största miljöproblemet relaterat till dagbrott respektive in situ-verksamheter?

1.5 Avgränsning

Då tjärsandsindustrin är världens största energiprojekt, får det givetvis stora följder. Därav har detta arbete avgränsats grundligt i syfte att behålla fokus på miljöpåverkan. Sociala aspekter som hälsopåverkan och finansiella frågor har inte berörts. Pipelines hade tidigare tänkt haft en mera omfattande del, men valdes att inte beröras. Tidsaspekten har delvis begränsats till 2000-talet och framåt för att upprätthålla en vetenskaplig aktualitet.

2 METOD

I detta examensarbete har litteratur som behandlar tjärsandsindustrin granskats. Böcker som "Tar Sands" av den kanadensiska journalisten Andrew Nikiforuk är ett exempel.

Referenslistor har undersökts och sekundära källor som rapporter och webbaserad litteratur har senare funnits via den webbaserade sökmotorn Google. Rapporter har tagits fram från Albertas regering, samt finansiellt bistådda organisationer och oberoende, icke-vinstdrivande organisationer och forskningsinstitut inom tjärsandsindustrin. Genom sökningar i databaserna Discovery och Web of Science har ett flertal relevanta vetenskapliga artiklar erhållits. Sökord som "tar sands", "oil sands", och "Canada" användes tillsammans med den avancerade sökfunktionen "peer-reviewed" i syfte att upprätthålla vetenskaplig standard och objektivitet. Tidsramen som användes var mellan 2000–2015, för att försäkra informationens aktualitet. En del av den litteratur som inte inhämtats från databaserna var dock från så tidigt som 1980-talet, och valdes då ingen senare forskning behandlat dessa problemområden.

Nikiforuk (2008) menar att många politiker som befattningshavare inom tjärsandsindustrin tycker att ordet "tjärsand" inte är rätt term att använda då det anses ha en nedsättande och smaklös ton. Istället föredras ordet "oljesand", då ordet "olja" i relation till "sand" låter rikligt, tillgängligt och rent till skillnad från ordvalet "tjärsand". I detta arbete har dock ordvalet "tjärsand" valts att användas då tjärsanden måste genomgå en mycket omfattande process innan den kan definieras som olja. Bara för att råolja är slutprodukten från tjärsanden behöver det inte betyda att tjärsanden ska definieras som oljesand. Det är som att kalla träd för virke eller tomater för ketchup.

3 LITTERATURSTUDIE

I detta kapitel framgår en tidslinje över tjärsandens historia, liksom en förklaring kringgående vad tjärsand respektive bitumen är för något. De två olika utvinningsmetoderna dagbrott och in situ beskrivs också.

3.1 En tidslinje över tjärsandens historia

Tabell 1 En tidslinje över tjärsandens historia. (Nikiforuk, 2008)

1880-talet	Tjärsanden blir känd som "outtömlig" och ses som "det mest omfattande petroleumfältet i Amerika", om inte "världen", och förutspår en rik framtid för Kanada.
1899	Tillgången till den funna oljereserven säkras i Athabascaregionen genom att erkänna aboriginska anspråk med några dollar och 160 hektar mark för varje nomad. Fort McMurray , då bestående av ett ruckel och en handelsbutik längs med Athabascafloden kom senare att bli kallat för "den mest intressanta regionen i hela Norden" av den kanadensiska journalisten och poeten Charles Mair.
1932	Albertas regering ber om hjälp! Att extrahera tjärsanden från skogsgolvet är svårare än vad som tidigare trots, och tjärsanden börjar istället ses som ett framtida projekt. Regeringen ger ut reklamblad för regionen för att locka industriintresse. En amerikansk oljebaron anlägger det första dagbrottet.
1960-talet	Dagbrottet får en uppgraderare, trots många utgifter som skattebetalarna fick stå för fanns drömmen om en rikare framtid.
1990-talet	Utvecklingen exploderar i regionen då dess kändedom sprids till Frankrike, Kina, Sydkorea, Japan, den förenade arab emiraten, Ryssland och Norge. Alla vill ha en bit av den magiska sandhögen. Albertas regering lovar att tjärsanden kommer bli "en signifikant energikälla av säker energi" i en oljeberoende värld.

3.2 Vad är tjärsand och vad är bitumen?

Tjärsand är en produkt av uråldrigt marint liv (alger och plankton) som började komprimeras för drygt 200–300 miljoner år sedan av geologiska krafter, för att slutligen brytas ned av bakteriell aktivitet (Buffet Center, 2010). Tjärsand är en naturligt förekommande blandning av sand, lera och andra mineraler, vatten och bitumen (Alberta Energy, 2015b). Bitumen beskrivs som en tjock, klibbig form av råolja, så tung och viskös (tjock) att den inte flyter om den inte värms upp eller späds ut med lättare kolväten (Alekklett & Qvennerstedt, 2012). Miljontals år av bakteriell nedbrytning gör bitumen kolrik och vätefattig. Som en följd av detta måste industrin omvända geologisk tid med energiintensiv uppgradering för att få produkten att flyta. (Skinner, 2005) Genom en så kallad uppgraderare, ersätts kol med väte och omvandlar bitumen till så kallad, syntetisk råolja (Total, 2006).

3.3 Utvinningsmetoder

Tjärsandsindustrins två utvinningsmetoder dagbrott respektive in situ tas upp i denna del av examensarbetet. Metod, omfattning och utvinningsgrad förklaras, liksom när respektive utvinningsmetod prioriteras och varför.

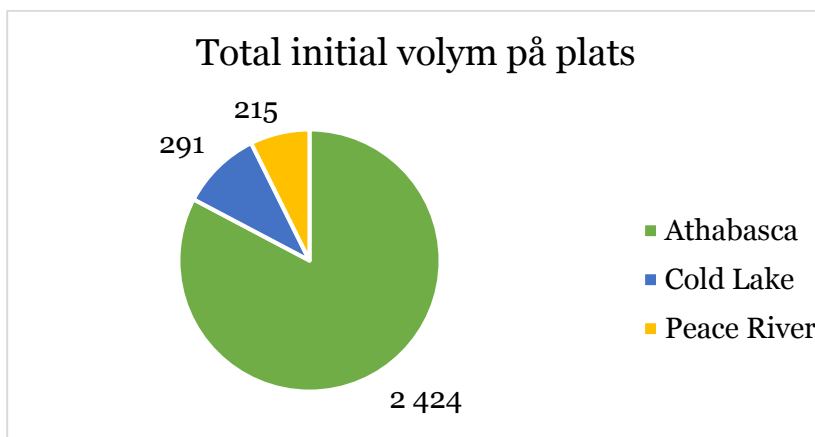
Sedan den konventionella oljekrisen på 1970-talet har tjärsandsindustrin blomstrat (Nikiforuk, 2008). Tjärsandsområdet omfattar ett område på 140 200 km² koncentrerat främst i norra Alberta i tre tjärsandsregioner (TSR); Athabasca (med den största koncentrationen av utvinningsbart bitumen), Cold Lake, och Peace River (ERCB, 2013) (se figur 1 och 2). År 2008 omfattade bitumenproduktionen per dag inom tjärsandsindustrin ca 206 683 m³ eller 1,3 miljoner fat/dag. Enligt statistisk data från 2014 från Canadian Association of Petroleum Producers (CAPP) omfattade bitumenproduktionen 2014, 262 329 m³ eller 1,65 miljoner fat/dag, en ökning på drygt 27 % på sex år. Tjärsanden har blivit en balanspunkt för Albertas energiekonomi och omfattningen av utbyggnationen av dagbrott skapar allvarliga miljökonsekvenser.

Tabell 2 Data från ERCB (2013) över utvinningsbara volymer och etablerade reserver av rå bitumen i de tre TSR-regionerna i Alberta, beräknade i miljarder kubikmeter (10⁹ m³) och miljarder antal fat

<i>Utvinningsmetod</i>	<i>Initial volym på plats</i>	<i>Antal fat</i>
<i>Dagbrott</i>	21	132
<i>In situ</i>	272	1 710
<i>Totalt</i>	293	1 845



Figur 1 Karta över de tre TSR i Alberta, Kanada, utifrån (Matthietury.com, 2015)



Figur 2 Data från ERCB (2013) över den totala initiala volymen av rå bitumen i miljarder kubikmeter (10⁹ m³) från de tre respektive TSR (ERCB, 2013)

3.3.1 *Dagbrottsutgrävning*

Dagbrott används då tjärsanden i marken finns lokaliserad på ett djup ovan 75 m (Alekklett & Qvennerstedt, 2012). Endast 20 % av tjärsandsreserverna i Alberta beräknas finnas ovan 75 m djup, och utvinningsgraderna av bitumen för dagbrotten ligger på uppåt 90 % (Oilsands Today, 2015a). Enligt den tvärvetenskapliga brittiska konsultfirman Soils Limited (2015), bidrar dagbrottens kontroll av markförhållanden med snabba och tillförlitliga utvinningsresultat. Innan utgrävningen kan påbörjas måste enorma områden borealskog avverkas, torv- och våtmarker dräneras, allt i syfte att blotta det övre jordlagret. Även sprängning av berg sker, där det lösa materialet fraktas bort med grävmaskiner. Materialet återanvänds senare vid konturering av damm-väggar som ska utesluta läckage från sedimenteringsdammarna. Det hela görs för att underlätta utgrävningens processen för de tre våningar höga, fyrahundra ton tunga grävmaskinerna. (Nikiforuk, 2008) Efter att tjärsanden extraherats av skopor och lagts i mycket stora lastmaskiner, transporteras tjärsanden till en kross. Tjärsanden krossas och blandas sedan med varmt vatten vilket bildar ett slagg som pumpas ut genom rör till en installation där bitumen separeras från den övriga tjärsanden. Slaggen som är en blandning av hett vatten, sand, lera, och bitumen vägleds till stora separations-kar. Luft pumpas in i karen så att bitumenpartiklarna lättare förs genom blandningen och bildar ett slags bitumenrikt lödder som lägger sig på ytan som senare kan separeras från de övriga biprodukterna. Bitumenlöddret späds ut och transporteras till en uppgraderare för att vidare behandlas till syntetisk råolja, och de flytande biprodukterna samlas in i stora sedimenteringsdammar. De fasta partiklarna samlas in som sediment på botten av dammarna och ytvattnet pumpas iväg för ytterligare rening och återanvändning. Se figur 3 för ytterligare förklaring. (Alekklett & Qvennerstedt, 2012)

3.3.2 *In situ*

För produktion av bitumen från tjärsand, betyder ”in situ” att tjärsanden fortfarande befinner sig under jorden då bitumen extraheras (Alekklett & Qvennerstedt, 2012). Utvinningsmetoden in situ tenderar att vara dyr och tidskrävande (Soils Limited, 2015) och används när tjärsanden ligger på djup större än 75 m. Omkring 80 % av tjärsandsreserverna i Alberta beräknas finnas under 75 m djup, men omkring 97 % av tjärsanden (både över och under 75 m djup) skulle kunna utvinnas genom in situ metoder (Oilsands Today, 2015a). Under 2012 omfattade in situ produktionen i Alberta 58 miljoner m³ rå bitumen (ERCB, 2013). Kvarstående reserver i de tre TSR som kan utvinnas genom in situ metoder uppskattades 2013 vara 21,3 miljarder m³ rå bitumen (CAPP, 2014).

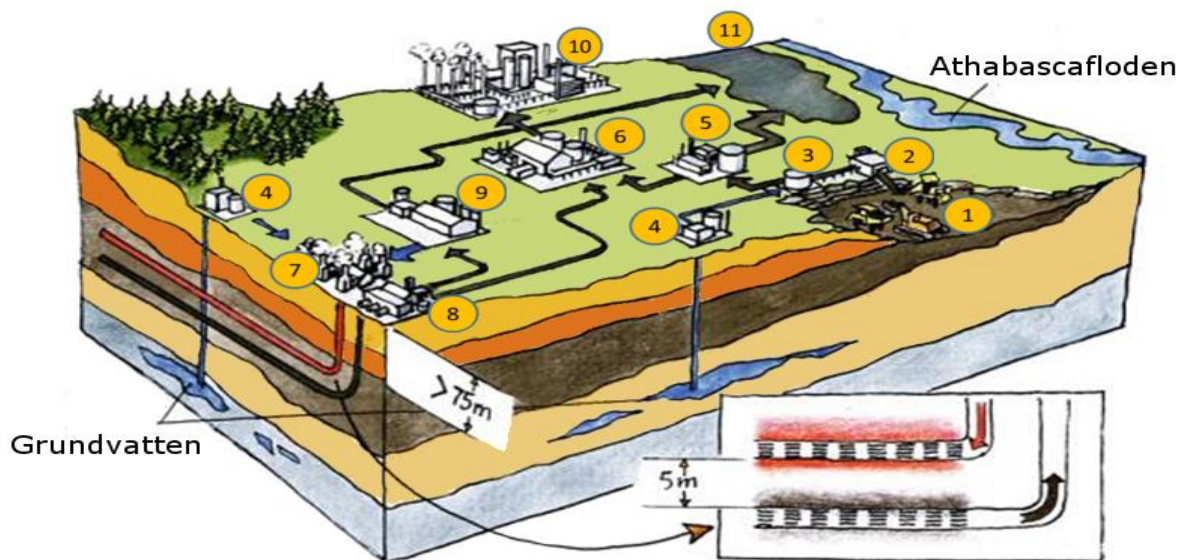
3.3.2.1. *Olika typer av in situ metoder*

Cyklisk ångstimulering (CSS), är en äldre utvinningsmetod med utvinningsgraderna av bitumen på omkring 35–40 % (Oilsands Today, 2015a). CSS använder en vertikal brunn för att injektera ånga i reservoarer för att värma upp bitumenen. Samma brunn används sedan för att pumpa upp bitumenen till markytan. (Alekklett & Qvennerstedt, 2012)

Ångassisterad gravitationsdränering (SAGD), är en uppgraderad, modernare variant av CSS med utvinningsgrader av bitumen på omkring 50–60 % (Oilsands Today, 2015a). SAGD använder två horisontella, parallella brunnar. Ånga injiceras konstant i den övre brunnen för att kondensera den omgivande tjärsandens bitumen.

Gravitationen drar sedan ner bitumenen och det kondenserade vattnet till den nedre brunnen från vilken blandningen pumpas upp till ytan för nästa steg i processen. Se figur 3 för ytterligare förklaring. (Alekklett & Qvennerstedt, 2012)

Andra in situ metoder, har utvecklats men används ännu inte kommersiellt då de fortfarande är under utveckling. Dessa metoder har en rad potentiella fördelar, bland annat en högre utvinningsmarginal och lägre energikostnader, jämfört med CSS och SAGD. **Toe to Heel Air Injection (THAI)** involverar ett system som antänder luft som injicerats i en vertikal brunn, medan **Vapor Extraction Process (VAPEX)** involverar injicering av en lösning i tjärsanden. Båda metoderna förlitar sig på den reducerade viskositeten hos bitumenen. (RAMP, 2015)



Figur 3 Omarbetad bild från Alekklett & Ovennerstedt (2012) hur bitumen utvinns ur tjärsand

I figur 3 föreställer (1) hur tjärsanden extraheras med hjälp av enorma skopor och transporteras till en krossare (2). Det krossade materialet blandas (3) med hett vatten (4) till att bilda en blandning av bitumenrikt lödder, lera, och sand. Blandning transporteras till en anläggning som separerar ut bitumenen ur löddret (5) och det som blir kvar av blandningen pumpas ut i stora sedimenteringsdammar (11). Bitumenen pumpas sedan till en uppgraderare (6) där det blandas med lättare kolväten för att producera syntetisk råolja.

In situ metoder som SAGD används där två horisontella, parallella brunnar med 5 m mellanrum borrar. Ånga genereras (7) från grundvatten (4) och tvingas genom den övre brunnen vilket gör så att bitumenen som omger brunnen blir mera flytande. Gravitationen drar sedan den flytande bitumenen och det kondenserade vattnet ner till den lägre belägna brunnen från vilken bitumen- och vattenblandning pumpas upp till ytan. Bitumen separeras (8) och pumpas sedan till en uppgraderare (6). Resten av vätskan passerar genom en installation (9) som avlägsnar uppåt 90 % av vattnet för att återanvändas i ångkraftverket (7) där det åter uppvärms med naturgas. Den syntetiska råoljan kan behandlas i ett närliggande raffinaderi eller transporteras via pipelines för vidare behandling längre bort.

3.4 Miljöpåverkan – Luft

3.4.1 Växthusgaser

Tjärsandsindustrin släpper ut växthusgaser. Det finns flera olika typer av växthusgaser; koldioxid (CO₂), metan (CH₄), dikväveoxid (N₂O) och fluoriderade gaser så som svavelhexafluorid (SF₆) (EPA, 2015b). De totala utsläppen av växthusgaser från tjärsandsindustrin ökade med 55 % på fem år, från 42,3 miljoner ton koldioxid (CO₂) år 2009 till 65,8 miljoner ton år 2013 (CAPP, 2015). Samtidigt beräknas tjärsandsindustrins utsläpp av koldioxid komma att öka till uppåt 108 miljoner ton år 2020, som står för 44 % av den förväntade ökningen i Kanadas växtgasutsläpp mellan 2006 och 2020 (Environment Canada, 2008).

3.4.2 Kväveoxider (NO_x) och Svaveldioxid (SO₂)

Med den allt mer växande tjärsandsindustrin i Athabasca så har det blivit essentiellt att övervaka markbundna och akvatiska ekosystem efter både direkta som indirekta negativa effekter. Tjärsandsindustrin visar uppmätta utsläppsvärden av svaveldioxid (SO₂) och kväveoxider (NO_x) till luft. NO_x kan bilda marknära ozon vilket kan hindra fotosyntesen och skada vattenbalansen hos många växter. SO₂ bidrar till bildandet av smog och dis och i höga koncentrationer, även surt regn, vilket kan försura sjö- och skogsområden. (Pembina Institute, 2010)

Parsons et al. utförde en studie (2010b) inom ATSR i syfte att etablera relationer mellan vattenkemi och grupper av olika bentiska makroinvertebrater, så kallade BMI-grupper (grupper av sötvattenlevande ryggradslösa djur som exempelvis maskar, kräft- och blötdjur). Många av sjöarna i ATSR är generellt små, naturligt eutrofa och har höga innehåll av upplöst organiskt kol (DOC) på grund av omgivande våtmarker. Det är därför BMI använts då de är mycket känsliga för förändringar i sin vattenmiljö och fungerar som kontinuerliga övervakare över vattenkvalitet (Information Center for the Environment, 2015). 32 sjöar valdes ut med 5 provtagningsplatser med ett BMI på 500 arter per sjö. De konstaterade att kräftdjur förekom i mindre sura förhållanden, medan fjädermyggor och fåborstmaskar (Oligochaeta) indikerade på mera sura förhållanden. Övergripande ökar dessa resultat möjligheterna att utveckla ett framgångsrikt biologiskt övervakningsprogram för stillastående ekosystem i ATSR.

Parsons et al. (2010a) satte grund på vidare forskning till en lämplig metodik för framtida övervakning och utvärdering av effekter från förväntade atmosfäriska utsläpp i ATSR. De gjorde detta genom att jämföra BMI-grupper i provsjöar lokaliserade inom områden med högt modellerad avsättning av SO₂, (och andra förväntade luftföroreningar) med BMI-grupper i sjöar som har liknande fysiska och kemiska egenskaper. För att utvärdera effekterna av luftföroreningar på BMI i provsjöar mättes det totala antalet fjädermyggor (% Chironomidae), kräftdjur (% Hyalellidae), ärtmusslor (% Sphaeriidae). % EPT, det vill säga det totala antalet Ephemeroptera (dagsländor), Plecoptera (bäcksländor), och Trichoptera (nattsländor) mättes också. Måtten valdes för att inkludera både rikedom och sammansättningsåtgärder och för att upptäcka förändringar i BMI på grund av försurning, övergödning och ökade koncentrationer av spårmetaller. Resultatet visade att det totala antalet EPT var gles och var drygt 80 % mindre i provsjöarna än i referenssjöarna. Däremot

förekom det drygt 200 % fler ärtmusslor i provsjöarna än i referenssjöarna. Anledningarna till att ärtmusslan var betydligt mera vanligt förekommande kan ha att göra med att sjöarna i ATSR innehåller tillräckligt med upplöst kalcium för skalregeneration (Resh & Rosenberg, 1984). Anledningarna till att det totala antalet EPT var så glest kan bero på att arterna är känsliga för låga nivåer av upplöst syre (Resh & Rosenberg, 1984), och höga DOC koncentrationer. pH-värden på provsjöar i ATSR låg mellan 4,6–8,0. Det fanns dock inga konkreta bevis om sulfat (SO₄) och nitrat (NO₃) koncentrationer var högre i provsjöarna i ATSR. Resultaten tyder på att påverkan från luftföroreningar är försumbara för närvarande och det krävs mera framtida forskning.

3.4.3 Bristen på naturgas leder till kärnkraft

NO_x och SO₂ ingår i naturgas, en produkt som är essentiell för tjärsandsindustrins utveckling. Genom förbränning kan naturgasen generera elektricitet och omvandla vatten till ånga som sedan kan användas för att utvinna bitumen ur tjärsanden. (Pembina Institute, 2010) Naturgas används också för att omvandla bitumen till syntetisk råolja (World nuclear association, 2015). En indikation på en in situ verksamhets naturgasintensitet är SOR (steam-to-oil-ratio), ett mått på den totala volymen av ånga som krävs per enhet av bitumenproduktion. Varför ett företags SOR-förhållande är låga eller höga kan vara mycket svårt att avgöra och bestäms av reservoaregenskaper, operatörens erfarenhet, utvinningsteknik och rörelseförfaranden. (Pembina Institute, 2010)

Under 2006 stod utvinningen av bitumen för mer än 40 % av Albertas naturliga efterfrågan på naturgas. Canadian Energy Research Institute (CERI) förutspår en ökning av bitumenproduktionen från 1,2 miljoner fat/dag under 2006 till 3 miljoner fat/dag år 2016 och 5 miljoner fat/dag 2024. Det innebär en fyrfaldig ökning av användningen av naturgas som projiceras av 2016 och en sexfaldig ökning 2024. (CERI, 2008) Att minska mängden naturgas per fat av bitumen som produceras är ett av de bästa sätten för att minska kväveoxidutsläpp (NO_x) från en in situ verksamhet. Jordaan (2012) påpekar att kväveoxidutsläppen kan minskas genom att ersätta naturgas som omvandlare av vatten till ånga, med förnybara energikällor som vindkraft och solenergi. Tyvärr har tjärsandsindustrin valt ett annat tillvägagångssätt. Istället för förnybara energikällor prioriteras kärnkraft, då det är billigare och påstås vara mera effektivt än vind- och vattenkraft (Alekkett & Campbell, 2003). Kärnkraft skulle kunna göra ånga och el och använda en del av elen för elektrolys vid hög temperatur för att producera vätgas. Detta skapar dock ett problem. I takt med att tjärsandsutvinningen fortskrider så måste överföringsledningar dras allt längre vilket ger en åtföljande förlust av energi. (World nuclear association, 2015) Detta är något som enligt Jordaan (2012) skulle kunna minskas eller undvikas helt vid användning av förnybara energikällor.

3.5 Miljöpåverkan – Natur

3.5.1 Uppdelning av markzoner i Albertas tre TSR

Enligt Jordaan (2012) behandlar Albertas markpolitik inte den snabba tillväxten av tjärsandsindustrins på ett bra sätt. Det finns ett behov att inte bara kvantifiera markanvändningen bättre i Albertas tre TSR, utan också använda denna information för att utveckla regionala planer. Det har uppträtt flera försök att utveckla sådana planer i Albertas tre TSR, men ingen har omsatts i handling. Jordaan (2012) hänvisar vidare till Cumulative Environmental Management Association (CEMA), en intressentgrupp som hanterar industriernas miljöeffekter på luft, mark, vatten och biologisk mångfald (CEMA, 2015). År 2008 gjorde CEMA ett projekt för avgränsning av markanvändning genom sin arbetsgrupp inom hållbara ekosystem (SEWG). Avgränsningen innefattade tre markanvändningszoner i Albertas TSR: 1. Intensiv-zonen, som skulle bestå enbart av tjärsandsverksamhet, 2. Omfattande-zonen, som skulle bestå av skogsbruk, och 3. Skyddande-zonen som inte skulle ha någon industriell verksamhet. Konceptet slopades dock 2009, då Albertas regering delade upp Alberta i sju regioner (Y2y, 2015b) (se figur 4).



Figur 4 Albertas sju regioner, fyra inom Y2Y, (Y2Y, 2015b)

Fyra av de sju provinsiella regionerna ligger inom den så kallade Yellowstone till Yukon regionen (Y2Y). Det är en region som främjas av Yellowstone to Yukon Conservation Initiative, en gemensam icke-vinstdrivande organisation mellan Kanada och USA. Organisationen har anslutit Yellowstones nationalpark i USA till Kanadas tredje territorium, Yukon, som gränsar till Alaska. Y2Y vill säkra en långsiktig ekologisk balans i hela regionen genom att skydda områden, bevara livsmiljöer för hotade arter som caribou och grizzlybjörn, och bevara det estetiska landskapet som lockar många turister till Alberta. (Y2y, 2015a)

3.5.2 Fragmentering

Båda utvinningsmetoderna av tjärsand resulterar i olika ekologiska konsekvenser. Bägge bidrar med fragmentering på landskapet, som innefattar att landskapet bryts upp i mindre enheter. (Jordaan, 2012) Fragmentering kan ske genom naturliga störningar, såsom brand, eller genom seismiska linjer, vägar, brunnar, samt rör- och kraftledningar orsakade av mänsklig verksamhet (Nikiforuk, 2008). Seismiska linjer skapas enligt P. Klintenberg (personlig kommunikation, 17 maj 2015), via georadar, ett instrument som används i syfte att finna fossila avlagringar och undersöka berggrundens hårdhet.

3.6 Miljöpåverkan – Vatten

3.6.1 Vattenanvändning

Att upprätthålla en god vattenkvalitet och säkerställa en mera effektiv och begränsad användning av färskvatten är en av de viktigaste utmaningarna som måste uppfyllas i tjärsandssektorn (Alberta Energy, 2013b). Under 2011 använde tjärsandsindustrin cirka 170 miljoner m³ vatten, vilket motsvarar en lika stor vattenanvändning för 1,7 miljoner kanadensare (Pembina Institute, 2013). Baserat från data tillgänglig från Oil Sands Information Portal, ett webbaserat verktyg skapat av Albertas regering, konstateras vattenanvändningen variera kraftigt mellan tjärsandsindustrins alla oljebolag (Government of Alberta, 2015a). För dagbrott kan vattenanvändning regleras naturligt då det bildas en större andel erforderligt vatten från regn och avrinning i takt med att dagbrotten blir äldre och djupare. Denna naturliga tillsats av vatten renas i sedimenteringsdammarna och används sedan i utvinningsprocessen av bitumen. (Pembina Institute, 2013) För in situ varierar vattenanvändningen mest på grund av ålder på anläggningen. De oljebolag som har bedrivit utvinning med in situ under en längre tid har en större vattenanvändning än de nyanlagda in situ anläggningarna. Det är så eftersom de äldre anläggningarna utvinnet mycket djupare fyndigheter av bitumen som kräver en högre mängd ånga för att utvinna. (Nikiforuk, 2008)

3.6.2 Processbehandlat vatten (TSPW)

I syfte att få ut bitumen ur dagbrottens utgrävda tjärsand blandas resursen med hett vatten till att bilda en blandning av bitumenrikt lödler, lera, och sand. Tjärsanden pumpas till en anläggning som separerar ut bitumenen och det som blir kvar av blandningen pumpas ut i stora sedimenteringsdammar (se figur 3). (Alekklett & Ovennerstedts, 2012) Vattnet som används i processen benämns som tjärsandsprocessbehandlat vatten (TSPW) och omfattade år 2009 totalt cirka 720 miljoner m³. TSPW innehåller en komplex variation restprodukter av bitumen, salt, sand och lerpartiklar. TSPW innehåller också oorganiska föreningar som tungmetaller, och organiska föreningar som en grupp karboxylsyror kallade nafteniska syror. (ERCB, 2009)

3.6.2.1 Effekter av TSPW på *Arabidopsis thaliana*

Enligt Naturhistoriska riksmuseet (1998) har backtrav (*arabidopsis thaliana*) en kort livscykel, är väldigt liten i storlek, kan odlas relativt lätt i stora mängder och producerar många frön. Dessa egenskaper gör att växten är väldigt lämplig att använda i forskning. Leishman et al. (2013) har utvärderat effekterna av TSPW på frögroning och planttillväxt på backtrav i syfte att se om växten kan agera som en bra framtida modell för att studera toxicitet av TSPW. Frön odlades från vilt-plockade backtravsplantor horisontellt och vertikalt på slumpmässiga platser i ett laboratorium som under 10 dagar utsattes för fluorescerande ljusförhållanden med en temperatur på omkring 20 °C. I experimenten behandlades fröna med olika koncentrationer av TSPW och den primära rotlängden valdes som en indikator på toxicitet, då rötterna först kommer i kontakt med mediet och rotlängd lätt kan mätas. Analyser visade att det inte fanns några statistiskt signifikanta skillnader i medel-procent frögroning i behandlingar med koncentrationer av TSPW upp till 75 %. Effekten av TSPW-behandling (0-20% koncentration) på rotlängd visade däremot en signifikant effekt. Behandling med 5 % TSPW resulterade i en minskning av rottillväxt på cirka 50 %. I takt med

att TSPW-koncentrationen ökade, fick rötterna en blekare ton, ett vågigt tillväxtmönster, med reducerad tillväxt av primära blad.

3.6.2.2. Effekter av fint bearbetningsavfall på borealskogsplanter

Det finkorniga materialet (silt, leror) och den kvarvarande bitumenen, som finns i tjärsandsindustrins sedimenteringsdammar, sjunker till botten på dammarna och bildar ett skikt som kallas för fint sedimenteringsavfall. Renault et al. (2000) utvärderade vilka effekter mark anrikad med fint sedimenteringsavfall från tjärsandsindustrin har på groningen, planttillväxt och fysiologi på flera växtarter som växer i Albertas boreala skogsområden. Utvärderingen delades in i två etapper. I experiment 1, odlades 20 frön från respektive växtart; vitgran (*picea glauca*), banksianatall (*pinus banksiana*), och videkornell (*cornus stolonifera*) i en blandning av mossa och sand med en fin sedimenteringsavfallsvolym på 15 %. Växterna odlades under natriumlampor i växthus med regelbunden vattning och fertiliserades efter varje två veckor. Efter tre månader inleddes experiment 2, där 40 planter (2 frön per kruka) odlades för respektive växtart under samma förhållanden som i experiment 1, fast under sex månader istället för tre. Frön från tre månader gamla hallonbuskar (*rubus idaeus*) som tidigare hade insamlats från Woodbend Forest, Devon, Alberta, ingick som fjärde växtart i experiment 2.

Resultaten tyder på en jämförelse mellan behandlade- och kontrollplanter. Experiment 1 resulterade inte i några signifikanta effekter på slutgiltig groningen på någon av växtarterna. Däremot fördröjde behandlingen groningen av banksianatall och videkornell under de första två veckorna. Efter tre månader hade längden på banksianatall, liksom längden och vikten på videkornell reducerats markant i jämförelse med kontrollgruppen. Experiment 2 visade en minskad överlevnad med uppåt 44 % för hallonbuskarna, 55 % för videkornell, och 94 % för banksianatall respektive vitgran. Trots att resultaten pekar på att fint sedimenteringsavfall hämmar utvecklingen av dessa växtarter finns det för stor variation kring hur växtarterna reagerar. Därför påpekar Renault et al. (2000) att det i framtiden kommer krävas en separering av kemiska och fysikaliska faktorer för att bestämma de exakta effekterna av fint sedimenteringsavfall.

3.6.3 Polycykliska aromatiska kolväten (PAH: er)

Det är sant att Athabascafloden och övriga vattendrag inom ATSR alltid har haft ett naturligt innehåll av förekommande kolväteföreningar, såsom PAH: er från bitumenrik tjärsand. På senare tid har dock dessa nivåer granskats ytterligare i syfte att se om den växande tjärsandsutvecklingen har någon form av bidragande påverkan.

3.6.3.1. Övervakning av Athabascas vattendrag

Enligt Alberta Energy (2013b) så övervakar Albertas regering kontinuerligt Athabascafloden och dess bifloder inom ATSR. Albertas regering granskar också övervakningsdata som tjärsandsoperatörerna är enligt lag skyldiga att tillhandahålla och deltar i det lokala och regionala flerparts-övervakningsarbetet för att övervaka vattenflöden och vattennivåer. Ur miljösynpunkt är dessa påståenden ganska bra, men Pembina Institute (2013) menar på att övervakningen av Athabascafloden är otillräcklig. Environment Canada, är en organisation som syftar till att skydda miljön, bevara Kanadas natur-arv, och dagligen bidra med

väderleksrapporter till befolkningen (Environment Canada, 2014). Environment Canada och en grupp oberoende experter konstaterade år 2011, att det dåvarande vattenövervakningssystemet för ATSR inte kunde leverera data i tillräcklig mängd eller kvalitet för att kvantifiera effekterna av den pågående tjärsandsutvecklingen. Trots brist på data kom organisationen ändå fram till entydiga resultat som bland annat tyder på att tjärsandsutvecklingen ökar spridningen av PAH: er i avlägsna sjöecosystem i ATSR då PAH-nivåerna var mycket högre än de annars naturligt förekommande nivåerna (Environment Canada, 2011).

Toxipedia är en fri webbplats vars encyklopedi om toxikologi bland annat erbjuder information från diverse rapporter och artiklar om giftiga föroreningar och kemikaliers miljö- och hälsopåverkan (Toxipedia, 2015a). Enligt Toxipedia (2015b) är PAH: er måttligt svårnedbrytbara i miljön och kan bioackumuleras. PAH: er har också en hög akut toxicitet för vattenlevande organismer och fåglar, med effekter som cancer, samt negativa effekter på fortplantning och utveckling.

Vid University of Alberta har oberoende forskning utförd av Kelly et al. (2009) inte bara indikerat PAH: er, utan även högre halter av tungmetaller nedströms tjärsandsutvecklingen, jämfört med uppströms, i biflöden till Athabasca. Kurek et al. (2013) studerade sediment från sex sjöar som sträcker sig 35 till 90 km bort från tjärsandsutvecklingen. Resultaten visade att PAH: er inom sjösediment ökat betydligt efter utvecklingen av tjärsandsindustrin började. Mängden PAH som beräknades finnas i sedimenten i de sex sjöarna var 2,5–23 gånger större än de nivåer som uppmätts på 1960-talet.

3.6.4 PPE-ämnen

Enligt Kelly et al. (2010) släpper tjärsandsindustrin ut 13 ämnen som klassificeras som prioriterade föroreningar (PPE) enligt Environmental Protection Agency (2015a). Att ämnena klassas som prioriterade innebär att de till skillnad från andra ämnen kan orsaka allvarliga effekter på hälsa och miljö. Ämnena är; antimon (Sb), arsenik (As), beryllium (Be), bly (Pb), kadmium (Cd), koppar (Cu), krom (Cr), kvicksilver (Hg), nickel (Ni), selen (Se), silver (Ag), tallium (Tl), och zink (Zn). Regional Aquatics Monitoring Program (RAMP), som undersöker tjärsandsindustrins miljöpåverkan. RAMP (2008) påstår tillsammans med The Alberta Oil Sands Communitys exponerings- och hälsoeffektsprogram (2000), och Wood Buffalo Environmental Associations övervakningsprogram för mänsklig exponering (WBEA, 2007), att varken människor eller miljön riskeras att drabbas något negativt på grund av tjärsandsutvecklingen. RAMP (2008) påstår även att källor av PPE och övrigt icke-naturligt förekommande ämnen i Athabascafloden och dess bifloder är normalt. Tillförlitligheten kringgående RAMP:s uttalanden har kritiserats av många, bland annat av Kelly et al. (2010) som mätt koncentrationerna av PPE i ytvatten från Athabascaflodens två tillflöden; Athabascadeltat och Athabascasjön i syfte att testa hypotesen att ökade koncentrationer av element inom dessa vattenområden är helt från naturliga källor. Resultaten indikerar på att tjärsandsindustrin ökar giftiga belastningar av PPE till Athabascafloden och dess bifloder via luft- och vattenvägar från tjärsandsindustrin. Denna ökning bekräftar de allvarliga bristerna i RAMP, som inte har upptäckt sådana mönster i Athabascafloden och dess flodområden

Koncentrationer av PPE och andra icke-naturligt förekommande ämnen minskade exponentiellt med avståndet från uppgraderingsanläggningarna men också lokalt nära tjärsandsutvecklingen. PPE och andra icke-naturligt förekommande ämnen som finns i tjärsandens processvatten visades också vara mycket mera förekommande vid bearbetningsavfallsdammar längs med Athabascafloden under både vinter- som sommarhalvåret. Detta tyder på att det sker läckage eller uttömning från avfallsdammarna. I biflödena, hade den övergripande landförstörelsen orsakat ett större flöde av PPE till vattnet. Koncentrationerna av metallämnen var större nedströms i sedimenten både i Athabascafloden och Athabascadeltat, troligtvis på grund av antropogena störningar. Kelly et al. (2010) påpekar vikten av en detaljerad långsiktig övervakning för att skilja källorna till dessa föroreningar och kontrollera deras potentiella effekter på miljön och människors hälsa. Det krävs ett robust övervakningsprogram för att mäta exponering och hälsa på fisk, djurliv och människor i områden som påverkas av tjärsandsutvecklingen.

Lenntech är ett nederländskt företag inom vattenbehandlingslösningar, med ett mål att utveckla, konstruera, tillverka och installera miljövänliga vatten- och luftreningssystem för industrier runtom i hela världen. På sin webbplats erbjuder Lenntech information tagen från forskning om det periodiska systemets alla ämnens påverkan på människors hälsa och på miljön. (Lenntech, 2015a). Kelly et als. (2010) 13 identifierade PPE-ämnen som släpps ut av tjärsandsindustrin har enligt Lenntech en mängd olika miljöeffekter (för mera detaljerad information, se bilaga 1);

- Antimon och krom orsakar skador på andningsorganen hos mark- och vattenlevande organismer (Lenntech, 2015b, h)
- Arsenik och krom förändrar genetiskt material hos mark- och vattenlevande organismer (Lenntech, 2015c, h)
- Beryllium, koppar, kvicksilver, selen och zink ackumuleras i näringskedjan (Lenntech, 2015d, g, i, k, n)
- Beryllium, krom och nickel orsakar cancer (Lenntech, 2015d, h, j)
- Kadmium, koppar och zink orsakar skador på mikroorganismer och invertebrater, vilket i sin tur skapar konsekvenser för markstrukturen då markprocesser som genomförs av dessa organismer påverkas – detta orsakar ett hot mot hela markekosystemet (Lenntech, 2015f, g, z)
- Kvicksilver, selen och silver orsakar en nedsatt reproduktionsförmåga hos både mark- och vattenlevande organismer (Lenntech, 2015i, k, l)

4 RESULTAT

Detta kapitel tar upp resultaten för tjärsandsindustrins miljöpåverkan på luft, natur och vatten. Förutom förklarande text har tabeller skapats för att på ett enklare sätt kunna utföra en jämförelse mellan utvinningsmetoderna dagbrott och in situ och på så vis utvärdera vilken av de två som orsakar minst respektive störst miljöpåverkan.

4.1 Miljöpåverkan – Luft

Under år 2013, släppte tjärsandsindustrins in situ-verksamheter ut omkring 32,7 miljoner ton CO₂, en ökning på 110 % jämfört med de omkring 15,5 miljoner ton CO₂ som släpptes ut under 2009. Dagbrotten släppte år 2013 ut omkring 32,8 miljoner ton CO₂, en ökning på 32 % jämfört med de omkring 24,9 miljoner ton CO₂ som släpptes ut under 2009. (CAPP, 2015).

I takt med att naturgas används för att omvandla vatten till ånga, betyder ett högre SOR-förhållande en större naturgasförbrukning. In situ operatörer strävar efter att minska sina projekts SOR-förhållanden i syfte att minska driftkostnaderna. Detta då ett lågt SOR-förhållande minskar in situ projektets utsläpp via luft då det krävs ett mindre vattenbehov. (Pembina Institute, 2010)

När man jämför luftutsläpp från tjärsandsanläggningar, har Pembina Institute (2015) införlivat ytterligare utsläpp i samband med naturgasproduktion och elproduktion. Dessa komponenter är betydande utsläppskällor som vanligtvis hamnar utanför ekvationen eftersom de kan uppstå på annan plats. Enligt de viktade genomsnitten, hamnar utsläppen av NO_x från dagbrott och in situ inom samma intervall. In situ verksamheter har en något lägre utsläppsintensitet på 132 g NO_x/fat jämfört med dagbrottens frisättning av 146 g NO_x/fat (se tabell 2). In situ verksamheternas frisättning av SO₂ per fat utvunnet bitumen visade sig dock vara 112 g SO₂/fat, nästan fyra gånger så mycket som dagbrottens frisättning av 30 g SO₂/fat (se tabell 2). Denna stora skillnad beror enligt Pembina Institute (2015) på grund av att dagbrotten i första hand producerar ånga och el med naturgas av kommersiell kvalitet. Detta innebär att naturgasen har en lägre svavelhalt än gasblandningen som används av in situ-anläggningar då dagbrottsutvinningen istället för ånga använder uppvärmt vatten. Dagbrottsutvinningen är därför inte i behov av en naturgas med en lika hög förbränningskapacitet som in situ-utvinningen, vars naturgas har en högre svavelmängd.

De enorma grävmaskinerna och dumprarna som används för att transportera tjärsanden inom dagbrottsverksamheten körs på diesel, som avger SO₂, men den resulterande emissionsintensiteten per fat är fortfarande lägre än för in situ verksamheter.

Pembina Institute (2015) konstaterar att in situ-verksamheter kräver mer energi än dagbrott för att producera ett fat av bitumen. In situ-verksamheter genererar 2½ gånger så mycket växthusgaser per fat utvunnet bitumen (91 kg/fat) som dagbrottens 36 kg/fat, exklusive utsläpp i samband med uppgradering av bitumen till syntetisk råolja (se tabell 2).

Tabell 3 Mätningar av luftföroeningarna i gram NO_x , SO_2 och totalt antal växthusgaser per fat utvunnet bitumen från tjärsandsanläggningar (Pembina Institute, 2015).

	Utsläpp	Dagbrott	In situ
NO_x		132	146
SO_2		30	112
Totalt antal växthusgaser		36 000	91 000

4.1.1 Försurning

In situ-utvinning har ett betydligt större utsläpp av SO_2 än dagbrottsutvinning av bitumen (se tabell 2) och kan – som tidigare nämnt – orsaka försurning genom surt regn (Pembina Institute, 2010). De två studier som utfördes av Parsons et al. (2010a & b) konstaterade att det krävs ett utvecklat, framgångsrikt biologiskt övervakningsprogram för att mäta effekterna av försurning på BMI taxa för stillastående ekosystem i ATSR. De utvecklade senare under 2010 en lämplig metodik för att övervaka och utvärdera effekterna av SO_2 och andra föroeningar i ATSR. Genom att jämföra BMI-grupper i sjöar lokaliserade inom områden nära tjärsandsindustrin och med sjöar längre ifrån konstaterade de att artrikedomen inom sjöarna kan bero på en hel del naturliga orsaker. Det är ändå viktigt att poängtera att forskningen som utförts av Parsons et al. (2010a, b) har varit relevant då ingen annan liknande forskning ännu genomförts. Det är därför det krävs vidare forskning inom området i framtiden för att utesluta naturliga orsaker och enbart granska effekterna av SO_2 -utsläpp.

Tabell 4 Jämförelse mellan dagbrott och in situ: s miljöpåverkan på luft. Grön färg innebär en mindre miljöpåverkan, röd färg innebär en större miljöpåverkan, och gul färg innebär en likvärdig miljöpåverkan (utsläppsvärdena är inom samma intervall)

Luft	Dagbrott	In situ
Mängd Växthusgaser/fat	36 000 g växthusgaser/fat bitumen	91 000 g växthusgaser/fat bitumen
Utsläpp av CO_2 år 2009	15,5 miljoner ton CO_2	24,9 miljoner ton CO_2
Utsläpp av CO_2 år 2013	32,8 miljoner ton CO_2	32,7 miljoner ton CO_2
Utsläpp av NO_x	146 g NO_x /fat bitumen	132 g NO_x /fat bitumen
*Utsläpp av SO_2	30 g SO_2 /fat bitumen	112 g SO_2 /fat bitumen

*Observera att: Dagbrotten producerar ånga och el med naturgas av kommersiell kvalitet, vilket innebär att naturgasen har en lägre svavelhalt än gasblandningen som används av in situ-anläggningar. (Pembina Institute, 2015)

4.2 Miljöpåverkan – Natur

Dagbrottsutgrävning täcker 9,4 hektar per miljoner fat bitumen som produceras, vilket är nästan sex gånger större än för in situ verksamheten, 1,4 hektar per miljoner fat (se tabell 4). Med tanke på skillnaden i denna typ av markstörning är det emellertid svårt att direkt jämföra dessa markkonsekvenser. Dagbrottens direkta markstörningar innefattar avverkning av enorma områden borealskog, dränering av torv- och våtmarker, sprängning av berg, medan in situ-verksamhetens innefattar fragmentering av markområden genom seismiska linjer, vägar, rörledningar, kraftledningar och brunnar (Nikiforuk 2008). Jordaan, Keith & Stelfox (2009) har jämfört tjärsandsindustrins markstörningar från ett fullständigt livscykelperspektiv. De fann att in situ verksamhetens inflytande på landareal var större än dagbrott när markfragmentering betraktades. Om in situ-verksamheternas fragmentering betraktas var landarealen som används för in situ-verksamheter år 2009, 79 000 km², redan 16 gånger större än det totala brytvärda området på 4 800 km² för dagbrott (se tabell 4). Prognoser från CAPP (2014) visar att in situ verksamheten med hög sannolikhet kommer att förbigå dagbrotten i omfattning omkring 2017. Så även om markstörningarna av in situ verksamheter inte har lika visuella effekter på naturen som dagbrott kan den potentiella omfattningen för den framtida in situ utvecklingen leda till långsiktiga effekter på naturen och dess ekosystem.

Tabell 5 Jämförande data mellan in situ och dagbrott från Pembina Institute (2015) och Government of Alberta (2015b).

		<i>In situ</i>	<i>Dagbrott</i>
<i>Pembina Institute</i>	Berört område (hektar/miljoner fat)	1,4	9,4
	Landareal som används (2009)	79 000 km ²	4 800 km ²
	Vattenanvändning (fat vatten/fat bitumen)	1,1	2,1
	Antal fat producerat flytande avfallsmaterial för varje fat bitumen	0,4	1,5

4.2.1 Fragmentering

Jordaan (2012), konstaterade att arters mångfald och livskraft påverkas, likaså menar Saunders, Hobbs & Margules (1991) att vissa arter påverkas negativt och andra positivt. Noss (1983, 1990) menar att ogynnsamhet bland predatorer över minskad föda leder till minskad inhemska biologisk mångfald och en homogenisering av flora och fauna.

Tabell 6 Jämförelse mellan dagbrott och in situ: s miljöpåverkan på natur. Grön färg innebär en mindre miljöpåverkan, röd färg innebär en större miljöpåverkan, och blå färg innebär att mer forskning krävs.

<i>Natur</i>	<i>Dagbrott</i>	<i>In situ</i>
<i>Berört landområde</i>	9,4 ha/10 ⁶ fat bitumen	1,4 ha/10 ⁶ fat bitumen
<i>Markfragmentering beaktas</i>	Total yta på 4 800 km ²	Total yta på 79 000 km ²
<i>Förändring av landskap</i>	Visuell förändring av stora markområden (direkta effekter på ekosystemet)	Fragmenterar landskapet i en större skala (långsiktiga effekter på ekosystemet)
	Krävs mer forskning	Kan påverka arters mångfald och livskraft mera övergripande på ett flertal områden
		Kan skapa ett ogynnsamt förhållande då vissa arter påverkas negativt och andra positivt.
		Kan öka konkurrensen mellan rovdjur, vilket i sin tur leder till inhemska biologisk mångfald och en homogenisering av flora och fauna.

4.3 Miljöpåverkan – Vatten

4.3.1 Vattenanvändning

Eftersom mer än 4/5 av de totala bitumenreserverna i Alberta endast är tillgängliga genom in situ metoder, så kan behovet av grundvatten för in situ produktion vara lika stort, om inte större än behovet av ytvatten för dagbrotten, så vidare inte nya utvinningsmetoder övervägs. (Council of Canadian Academies, 2009)

Tjärsandsindustrins båda utvinningsmetoder konsumerar stora mängder vatten. De två utvinningsmetoderna utnyttjar även en viss grad av vattenåtervinning. Därför är denna jämförelse baserad på vattenvolymer som dras från brunnar, floder eller sjöar, med andra ord; vatten som krävs utöver bitumenproduktionens återanvända vatten. In situ verksamheter använder ytvatten, färskt- eller salt grundvatten, eller en kombination av dessa källor. I genomsnitt använder in situ verksamheter 1,1 fat vatten för varje fat bitumen som produceras (se tabell 4). Detta genomsnitt kan dock variera mellan 0,5–5 fat vatten för varje fat producerad bitumen, det beror helt på hur djupt ner i marken in situ-verksamhetens aktör borrar sina brunnar. Det genomsnittliga dagbrottet använder 2,1 fat färskvatten för varje fat producerad bitumen (se tabell 4). Det är ungefär dubbelt så mycket som den genomsnittliga in situ utvinningen och kommer i första hand från Athabascafloden. (Pembina Institute, 2015)

Bruce Peachey, ordförande för New Paradigm Engineering, ett företag som bland annat utför byggteknik till stöd för paradigmskiftande verksamheter och projekt som fokuserar på att återställa balansen mellan bebyggd miljö och naturen (New Paradigm Engineering, 2015), påstår att tjärsandsindustrins in situ-verksamheter kommer att behöva en allt större vattenanvändning. Detta då in situ-metoder till skillnad från dagbrott går allt djupare ner i marken och får behandla allt smutsigare bitumenuttag. Nikiforuk (2008) betonar även att i takt med att mängden lera ökar djupare ner i marken, kommer det krävas allt mer ånga för att utvinna bitumen ur tjärsanden, och därmed också en större vattenanvändning.

4.3.2 Kassering av tjärsandens giftiga flytande avfall

Stora volymer bearbetningsavfall, en blandning av sand, lera och tungmetaller inbäddat i vatten, är en biprodukt från utvinningen av bitumen ur tjärsanden. Hantering av detta bearbetningsavfall medger Albertas regering vara en av de svåraste miljöutmaningarna för tjärsandsindustrin (Alberta Energy, 2013a). In situ verksamheter producerar 0,4 fat flytande bearbetningsavfall för varje fat av bitumen (se tabell 6). Detta avfall skiljer sig från dagbrottens avfall som framställs från gruvdrift och inte lagras i sedimenteringsdammar. Vanligtvis skickas in situ verksamheters avfallsmaterial antingen till en deponi eller återinjiceras in i de djupa underjordiska brunnarna, som enligt (Greenpeace, 2009) fungerar som underjordiska avfallsdammar. Enligt mätningar från Pembina Institute (2015) innehöll dagbrottens sedimenteringsdammar år 2010 över 840 miljarder liter avfallsvatten och omfattade en yta på 170 km², ett område större än staden Vancouver.

Tabell 7 Jämförelse mellan dagbrott och in situ: s miljöpåverkan på vatten. Grön färg innebär en mindre miljöpåverkan, röd färg innebär en större miljöpåverkan, och blå färg innebär att mer forskning krävs.

Vatten	Dagbrott	In situ
*Vattenanvändning	2,1 fat vatten/fat bitumen	1,1 fat vatten/fat bitumen
Mängd flytande bearbetningsavfall	1,4 fat/fat bitumen	0,4 fat/fat bitumen
*Sedimenteringsdammar	Omfattar en yta på 170 km ² . Orsakar läckage till luft- och vattenvägar av:	Finns underjordiska sedimenteringsdammar, men mera forskning krävs
	<p><i>TSPW och fint sedimenteringsavfall,</i> Minskar livslängd, vikt och längd på de boreala växtarterna vitgran, bansianatall, videkornell och hallonbuske. Reducerar färgton på rötter och blad, samt minskar rotlängd, rottillväxt och tillväxt av primära blad hos växtarten, backtrav.</p>	
	<p><i>PAH: er,</i> Orsakar högt akuta toxiska effekter på vattenlevande organismer och fåglar, som cancer och negativa effekter på reproduktionsförmåga och utveckling.</p>	
	<p><i>PPE-ämnen,</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Antimon och krom orsakar skador på andningsorganen hos mark- och vattenlevande organismer ▪ Arsenik och krom förändrar genetiskt material hos mark- och vattenlevande organismer ▪ Beryllium, koppar, kvicksilver, selen och zink ackumuleras i näringskedjan hos mark- och vattenlevande organismer ▪ Beryllium, krom och nickel orsakar cancer ▪ Kadmium, koppar och zink orsakar skador på mikroorganismer och invertebrater, vilket skapar konsekvenser för markstrukturen då markprocesser som genomförs av dessa organismer påverkas ▪ Kviksilver, selen och silver orsakar en nedsatt reproduktionsförmåga hos både mark- och vattenlevande organismer 	

*Observera att:

Vattenanvändningen beräknas att öka ju djupare ner i marken in situ-verksamheterna bedrivs (där av varierar genomsnittet 0,5–5 fat vatten/fat bitumen för in situ-verksamheter), då en del aktörer utvinnet bitumen djupare ner i marken än övriga). (Nikiforuk, 2008). Istället för sedimenterings-

dammar ovan jord, dumpas bearbetningsavfallet antingen på deponi eller återinjiceras ner i brunnarna i marken, som fungerar som underjordiska avfallsdammar (Greenpeace, 2007)

5 DISKUSSION

5.1 Den utvinningsmetod som orsakar minst miljöpåverkan

Resultatmässigt tycks in situ-verksamheterna orsaka en betydligt större luftpåverkan, med en signifikant skillnad i växthusgas-utsläpp (Environment Canada, 2008) och SO₂ (Pembina Institute, 2015). Enligt Oilsands Today (2015a) har CO₂-utsläppen från dagbrotten ökat betydligt mer på 5 år (2009–2013) än in situ-verksamheterna, vilket kan bero på att utvinningsgraderna för bitumen är högre för dagbrott (uppåt 90 %) än in situ (35–60 %). Samtidigt påstås dagbrotten vara billigare och mindre tidskrävande då de till skillnad från de underjordiska situ-verksamheterna möjliggör en bättre kontroll av markförhållanden (Soils Limited, 2015). Dock krävs det betydligt mer vetenskaplig information för att kunna avgöra om detta är anledningen till varför CO₂-utsläppen ökat från dagbrotten under åren 2009–2013. I takt med att tiden går tvingas oljebolagen etablera allt fler in situ-verksamheter för att komma åt de resterande 77 % utvinningsbara tjärsandsreserverna. (Oilsands Today, 2015a) Med tanke på de mycket mindre skillnaderna i utsläpp av växthusgaser och SO₂, samt en kortare, mindre energikrävande verksamhetsperiod, bedöms dagbrottsutvinning i detta arbete, utöver sina högre nutida CO₂-utsläpp, orsaka minst luftpåverkan.

Granskning av påverkan på natur resulterade i att det krävs mera forskning för att avgöra vilken av de två utvinningsmetoderna som har minst påverkan. Dagbrotten bidrar till en mera direkt påverkan på naturen och dess ekosystem genom avverkning av skog, dränering av torv- och våtmark och sprängning av berg. In situ-utvinning medför en betydligt mera omfattande markfragmentering än dagbrottsutvinning, vilket bidrar till mera långsiktiga effekter på naturens ekosystem.

Granskning av vattenpåverkan resulterade i att in situ-verksamheterna är det miljövänligare alternativet med både en mindre mängd flytande bearbetningsavfall och en mindre vattenanvändning. Trots att vattenanvändningen beräknas att öka betydligt för in situ-verksamheterna i framtiden, saknar in situ-verksamheterna sedimenteringsdammar. Dessa tar upp en allt större yta i takt med att dagbrotten expanderar och har en mängd läckage till vatten av TSPW och fint sedimenteringsavfall, PAH: er och PPE-ämnen. Under ytan beräknas det dock finnas sedimenteringsdammar orsakade av in situ-verksamheterna, men dessa har inte granskas något mera utförligt och har därför inte ingått i utvärderingen. Effekterna av dessa underjordiska dammar är inte utredda än, men utöver det bedöms utvinningsmetoden in situ orsaka minst vattenpåverkan.

5.2 Utvinningsmetodernas största miljöproblem

Dagbrottens största miljöproblem innefattar läckage till vatten från de stora sedimenteringsdammarna. Dessa läckage innefattar, som tidigare nämnt, TSPW och fint sedimenteringsavfall, PAH: er och PPE-ämnen. In situ-verksamheternas största miljöproblem innefattar utsläpp av växthusgaser och svaveldioxid.

5.3 Metoddiskussion

Detta examensarbete bygger på litteraturstudier. Många källor kommer från aktörer inom tjärsandsindustrin som till exempel Albertas regering, oljebolag och finansiellt bistådda organisationer. Dessa aktörer är ofta antingen positivt eller negativt inställda till industrins utveckling och ser olika på industrins miljöpåverkan. Förslag på miljövänligare utvinningsmetoder för de in situ metoder som nämns i detta arbete kommer delvis från dessa aktörer. Tillgången till fler källor med mer objektiv syn på tjärsandsindustrins miljöpåverkan skulle stärka arbetets vetenskapliga trovärdighet.

6 SLUTSATSER

Syftet med detta examensarbete var att göra en jämförelse mellan tjärsandsindustrins två vanligaste utvinningsmetoder av bitumen; dagbrott och in situ. Vidare besvarades vilken av de två utvinningsmetoderna som har minst respektive störst miljöpåverkan på luft, natur och vatten.

Tjärsandsindustrins två utvinningsmetoder för bitumen ur tjärsanden har sin respektive miljöpåverkan. In situ orsakar en större påverkan på luft genom högre utsläpp av växthusgaser och svaveldioxid (SO₂). Dagbrottsutvinning orsakar en större påverkan på vatten genom sina sedimenteringsdammar som orsakar läckage av processbehandlat vatten och fint sedimenteringsavfall, polyaromatiska kolväten (PAH: er), och 13 ämnen som klassas som prioriterade föroreningar (PPE) enligt Environmental Protection Agency.

Det krävs mera forskning kring vilken av de två utvinningsmetoderna som orsakar minst miljöpåverkan på natur. Dagbrottsutvinningens direkta miljöpåverkan genom avverkning av skog, dränering av torv- och våtmark och sprängning av berg behöver utvärderas ytterligare. In situ-utvinning orsakar liksom dagbrottsutvinning, fragmentering av landskap, men på en betydligt större skala. Fragmenteringen av landskapet medför att in situ-utvinning har en mera långsiktig, övergripande påverkan på naturen och dess ekosystems mångfald och livskraft.

I framtiden då de grundare fyndigheterna sinar och tjärsandens åtråvärda bitumen kommer bli allt mer svåråtkomlig kommer in situ-utvinning att öka. Därför krävs mera forskning kringgående omfattning och effekter från de underjordiska sedimenteringsdammar som bildas av in situ-utvinning.

7 FÖRSLAG TILL FORTSATT ARBETE

- Då detta arbete fokuserat på miljöpåverkan vore det av intresse att vidare granska hur människors hälsa påverkas av den växande tjärsandsindustrin.
- Det vore av intresse att vidare granska underjordiska sedimenteringsdammar i syfte att se ifall in situ-verksamheterna beräknas vara sämre ur miljösynpunkt när det kommer till vattenpåverkan.
- Då arbetet avgränsats till att inte gå in på ekologisk restauration, kan det vara av intresse att granska innebörden av ekologisk restauration på ett landskap efter att dagbrottet har utvunnit hela resursen.

REFERENSER

Alberta Energy. (2013a). *Tailings*.

Alberta Energy. (2013b). *Water*.

Alberta Energy. (2015a). *Environmental monitoring*.

Alberta Energy. (2015b). *What is Oil Sands?* Hämtad 2015-05-12, från: <http://www.energy.gov.ab.ca/OilSands/793.asp>

Alberta Oil Sands Community Exposure and Health Effects Assessment Program. (2000). *Summary report*.

Aleklett's Energy Mix. (2009). *Oil sands and our future pensions/Oljesand och våra framtida pensioner*. Hämtad 2015-04-22, från: <https://aleklett.wordpress.com/2009/05/15/oljesand-och-framtidens-pensioner/>

Aleklett, K. & Qvennerstedt, O. (2012). *Peeking at peak oil*. New York: Springer.

Audet, P., Pinno, B. & Thiffault, E. (2015). Reclamation of boreal forest after oil sands mining: anticipating novel challenges in novel environments. *Canadian Journal of Forest Research*, 45(3), 364–371. doi: 10.1139/cjfr-2014-0330

Buffet Center. (2010). *Regulating the Environmental Impacts of Alberta's Tar Sands*.

CAPP. (2014). *2014 Statistical data*.

CAPP. (2015). *GHG Emissions*. Hämtad 2015-05-26, från: <http://www.capp.ca/rce/regional-performance/oil-sands/air/ghg-emissions/>

CEMA. (2015). About CEMA. Hämtad 2015-05-16, från: <http://cemaonline.ca/index.php/about-us>

CERI. (2008). *Green Bitumen: The Role of Nuclear, Gasification, and CCS in Alberta's Oil Sands Part II – Oilsands Supply Cost and Production*.

Council of Canadian Academies. (2009). *The Sustainable Management of Groundwater in Canada: Report of the Expert Panel on Groundwater*.

Environment Canada. (2008). *Turning the Corner: Detailed Emissions and Economic Modelling*.

Environment Canada. (2011). *Lower Athabasca Water Quality Monitoring Program. PHASE 1. Athabasca River Mainstream and Major Tributaries*.

Environment Canada. (2014). *Corporate Profile - About EC - Environment Canada*. Hämtad 2015-05-11 från: <http://www.ec.gc.ca/default.asp?lang=En&n=BD3CE17D-1>

Environmental Protection Agency. (2015a). *Priority Pollutants*. Hämtad 2015-05-03, från: <http://water.epa.gov/scitech/methods/cwa/pollutants.cfm>

- Environmental Protection Agency. (2015b). *Overview of Greenhouse Gases*. Hämtad 2015-06-11, från: <http://www.epa.gov/climatechange/ghgemissions/gases.html>
- ERCB. (2009). *Oil Sands, Energy FAQs 12*.
- ERCB. (2013). *Alberta's energy reserves 2012 and supply/demand outlook 2013-2022*.
- Government of Alberta. (2015a). *Alberta Environment and Sustainable Resource Development Oil Sands Information Portal*. Hämtad 2015-05-11, från: <http://environment.alberta.ca/apps/osip/>
- Government of Alberta. (2015b). *Alberta's Oil Sands Water*. Hämtad 2015-05-11, från: <http://www.oilsands.alberta.ca/water.html>
- Greenpeace. (2007). *Deep Trouble the Reality of In Situ Tar Sands Operations*
- Information Center for the Environment. (2015). *Benthic Macroinvertebrates Community Structure*. Hämtad 2015-04-29, från: <http://ice.ucdavis.edu/waf/model/indicator/benthic-macroinvertebrates-community-structure>
- Jonstad, D. (2012): *Kollaps - Livet vid civilisationens slut: Framstegssagens slut*. Stockholm: Ordfront Förlag.
- Jordaan, S., Keith, D. & Stelfox, B. (2009). Quantifying land use of oil sands production: a life cycle perspective. *Environmental Research Letters*, 4(2), 024004. doi: 10.1088/1748-9326/4/2/024004
- Jordaan, S. (2012). Land and Water Impacts of Oil Sands Production in Alberta. *Environmental Science & Technology*, 46(7), 3611-3617. doi: 10.1021/es203682m
- Kelly, E., Schindler, D., Hodson, P., Short, J., Radmanovich, R. & Nielsen, C. (2010). Oil sands development contributes elements toxic at low concentrations to the Athabasca River and its tributaries. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(37), 16178–16183. doi: 10.1073/pnas.1008754107
- Kelly, E., Short, J., Schindler, D., Hodson, P., Ma, M., Kwan, A. & Fortin, B. (2009). Oil sands development contributes polycyclic aromatic compounds to the Athabasca River and its tributaries. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(52), 22346-22351. doi: 10.1073/pnas.0912050106
- Kurek, J., Kirk, J., Muir, D., Wang, X., Evans, M. & Smol, J. (2013). Legacy of a half century of Athabasca oil sands development recorded by lake ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(5), 1761-1766. doi: 10.1073/pnas.1217675110
- Leishman, C., Widdup, E., Quesnel, D., Chua, G., Gieg, L., Samuel, M. & Muench, D. (2013). The effect of oil sands process-affected water and naphthenic acids on the germination and development of Arabidopsis. *Chemosphere*, 93(2), 380-387. doi: 10.1016/j.chemosphere.2013.04.101

- Lenntech. (2015a). *About Lenntech*. Hämtad 2015-05-22, från: http://www.lenntech.com/about/aboutlenntech_en.htm
- Lenntech. (2015b). *Antimony (Sb) - Chemical properties, Health and Environmental effects*. Hämtad 2015-05-22, från: <http://www.lenntech.com/periodic/elements/sb.htm>
- Lenntech. (2015c). *Arsenic (As) - Chemical properties, Health and Environmental effects*. Hämtad 2015-05-22, från: <http://www.lenntech.com/periodic/elements/as.htm>
- Lenntech. (2015d). *Beryllium (Be) - Chemical properties, Health and Environmental effects*. Hämtad 2015-05-22, från: <http://www.lenntech.com/periodic/elements/be.htm>
- Lenntech. (2015e). *Lead (Pb) - Chemical properties, Health and Environmental effects*. Hämtad 2015-05-22, från: <http://www.lenntech.com/periodic/elements/pb.htm>
- Lenntech. (2015f). *Cadmium (Cd) - Chemical properties, Health and Environmental effects*. Hämtad 2015-05-22, från: <http://www.lenntech.com/periodic/elements/cd.htm>
- Lenntech. (2015g). *Copper (Cu) - Chemical properties, Health and Environmental effects*. Hämtad 2015-05-22, från: <http://www.lenntech.com/periodic/elements/cu.htm>
- Lenntech. (2015h). *Chromium (Cr) - Chemical properties, Health and Environmental effects*. Hämtad 2015-05-22, från: <http://www.lenntech.com/periodic/elements/cr.htm>
- Lenntech. (2015i). *Mercury (Hg) - Chemical properties, Health and Environmental effects*. Hämtad 2015-05-22, från: <http://www.lenntech.com/periodic/elements/hg.htm>
- Lenntech. (2015j). *Nickel (Ni) - Chemical properties, Health and Environmental effects*. Hämtad 2015-05-22, från: <http://www.lenntech.com/periodic/elements/ni.htm>
- Lenntech. (2015k). *Selenium (Se) - Chemical properties, Health and Environmental effects*. Hämtad 2015-05-22, från: <http://www.lenntech.com/periodic/elements/se.htm>
- Lenntech. (2015l). *Silver (Ag) and water*. Hämtad 2015-05-22, från: <http://www.lenntech.com/periodic/water/silver/silver-and-water.htm>
- Lenntech. (2015m). *Thallium (Tl) - Chemical properties, Health and Environmental effects*. Hämtad 2015-05-22, från: <http://www.lenntech.com/periodic/elements/tl.htm>
- Lenntech. (2015n). *Zinc (Zn) - Chemical properties, Health and Environmental effects*. Hämtad 2015-05-22, från: <http://www.lenntech.com/periodic/elements/zn.htm>
- Matthieuthery.com. (2015). Hämtad 2015-05-11, från: <http://www.matthieuthery.com/wp-content/uploads/2012/02/alberta-region-oil-canada-petrole.gif>
- Naturhistoriska riksmuseet. (1998). *Backtrav*. Hämtad 2015-05-17, från: <http://linnaeus.nrm.se/flora/di/brassica/arabs/arabtha.html>
- New Paradigm Engineering. (2015). *Contact Me*. Hämtad 2015-05-11 från: <http://www.newpengineering.com/page04.html>

- Nikiforuk, A. (2008). *Tar Sands – Dirty oil and the future of a continent*. Vancouver: Greystone Books.
- Noss, R. (1983). A Regional Landscape Approach to Maintain Diversity. *BioScience*, 33(11), 700–706. doi: 10.2307/1309350
- Noss, R. (1990). Indicators for Monitoring Biodiversity: A Hierarchical Approach. *Conservation Biology*, 4(4), 355-364. doi: 10.1111/j.1523-1739.1990.tb00309.x
- Oilsands Today. (2015a). *Recovering the Oil*. Hämtad 2015-04-22, från: <http://oilsandstoday.ca/whatareoilands/Pages/RecoveringtheOil.aspx>
- Oilsands Today. (2015b). What are Oil Sands? Hämtad 2015-04-22, från: <http://oilsandstoday.ca/whatareoilands/Pages/WhatareOilSands.asp>
- Parsons, B., Watmough, S., Dillon, P. & Somers, K. (2010a). A bioassessment of lakes in the Athabasca Oil Sands Region, Alberta, using benthic macroinvertebrates. *Journal of Limnology*, 69(1s), 105–117. doi: 10.4081/jlimnol.2010.s1.105
- Parsons, B., Watmough, S., Dillon, P. & Somers, K. (2010b). Relationships between lake water chemistry and benthic macroinvertebrates in the Athabasca Oil Sands Region, Alberta. *Journal of Limnology*, 69(1s), 118–125. doi: 10.4081/jlimnol.2010.s1.118
- Pembina Institute. (2010). *Drilling deeper – The In Situ Oil Sands Report Card*.
- Pembina Institute. (2013). *Beneath the surface: a review of key facts in the oilsands debate*.
- Pembina Insitute. (2015). *Mining vs In Situ – Fact Sheet*.
- RAMP. (2008). *Joint community update 2008*.
- RAMP. (2015). *In Situ Methods used in the Oil Sands*. Hämtad 2015-05-15, från: <http://www.ramp-alberta.org/resources/development/history/insitu.aspx>
- Resh, V.H. & Rosenberg D.M. (1984). *The ecology of aquatic insects*. New York: Praeger.
- Renault, S., Zwiazek, J., Fung, M. & Tuttle, S. (2000). Germination, growth and gas exchange of selected boreal forest seedlings in soil containing oil sands tailings. *Environmental Pollution*, 107(3), 357–365. doi: 10.1016/S0269-7491(99)00167-0
- Skinner, R. (2005). *Difficult Oil*, Centre for Global Energy Studies, Pennyhill, UK.
- Soils Limited. (2015). *Guide to Site Remediation*.
- Saunders, D., Hobbs, R. & Margules, C. (1991). Biological Consequences of Ecosystem Fragmentation: A Review. *Conservation Biology*, 5(1), 18-32. doi: 10.1111/j.1523-1739.1991.tb00384.x
- Total. (2006). *Extra heavy oils and bitumen reserves for the future (The Know-How-Series)*. Paris: Exploration & Production.

Toxipedia. (2015a). *About us*. Hämtad 2015-05-22, från: <http://www.toxipedia.org/display/toxipedia/Toxipedia>

Toxipedia. (2015b). *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*. Hämtad 2015-05-22, från <http://www.toxipedia.org/display/toxipedia/Polycyclic+Aromatic+Hydrocarbons>

WBEA. (2007). *Human Exposure Monitoring Program*.

World nuclear association. (2015). *Nuclear Power in Canada Appendix 2: Alberta Tar Sands*. Hämtad 2015-05-15, från: <http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-A-F/Appendices/Nuclear-Power-in-Canada-Appendix-2--Alberta-Tar-Sands/>

Y2y. (2015a). *About Us*. Hämtad 2015-05-16, från: <http://y2y.net/about-us>

Y2y. (2015b). *Alberta Headwaters*. Hämtad 2015-05-16, från: <http://y2y.net/work/what-hot-projects/alberta-headwaters>

BILAGA 1: PPE-ÄMNENS MILJÖEFFEKTER

Följande tabell

<i>PPE-ämne</i>	<i>Miljöeffekt</i>	<i>Källa</i>
<i>Antimon (Sb)</i>	Laboratorieförsök med råttor, kaniner och marsvin har visat att relativt höga halter av antimon kan döda små djur. Djur som andas in låga nivåer av antimon under en lång tid kan uppleva ögonirritation, hårfall och lungskador. Hundar kan få hjärtproblem även när de utsätts för låga nivåer av antimon.	(Lenntech, 2015b)
<i>Arsenik (As)</i>	Växter absorberar arsenik ganska lätt. Koncentrationerna av arsenik i ytvatten kan öka chanserna för förändring av genetiskt material av fisk. Detta beror främst på ackumulering av arsenik i kropparna av växtätande sötvattensorganismer. Fåglar äter den fisk som redan innehåller framstående mängder arsenik och kommer att dö till följd av arsenikförgiftning.	(Lenntech, 2015c)
<i>Beryllium (Be)</i>	Laboratorietest anger att det är möjligt för beryllium att orsaka cancer och förändringar av DNA hos djur.	(Lenntech, 2015d)
<i>Bly (Pb)</i>	Bly ackumuleras i kroppen av vattenlevande organismer och marklevande organismer. Dessa kommer att uppleva hälsoeffekter från blyförgiftning. Hälsoeffekter på skaldjur kan ske även när endast mycket små koncentrationer av bly är närvarande.	(Lenntech, 2015e)
<i>Kadmium (Cd)</i>	Växter kan genom sina rötter ta upp kadmium. Detta kan orsaka bland annat njurskador på de djur som lever av växterna. Daggmaskar och andra invertebrater är extremt känsliga för kadmiumförgiftning. De kan dö vid mycket låga koncentrationer och detta får konsekvenser för markstrukturen. När kadmiumhalten är hög i marken kan det påverka de markprocesser som genomförs av mikroorganismer och orsaka ett hot mot hela markekosystemet. Känsligheten för kadmium varierar mellan salt- och sötvattenlevande organismer. Salt-vattenorganismer är mer motståndskraftiga mot kadmiumförgiftning.	(Lenntech, 2015f)
<i>Koppar (Cu)</i>	Koppar bryts aldrig ned och kan därför ackumuleras i både växter och djur. Koppar påverkar aktiviteten hos mikroorganismer och invertebrater negativt. När kopparhalten är hög i marken kan det påverka de markprocesser som genomförs av mikroorganismer och orsaka ett hot mot hela markekosystemet.	(Lenntech, 2015g)

<i>Krom (Cr)</i>	Krom är i huvudsak giftig för organismer då det kan förändra genetiskt material och orsaka cancer. Höga halter av krom kan skada andningsorganen på mark- och vattenlevande organismer.	(Lenntech, 2015h)
<i>Kvicksilver (Hg)</i>	Mikroorganismer kan konvertera kvicksilver till metylkvicksilver, ett ämne som snabbt kan absorberas och ackumuleras av de flesta organismer. Metylkvicksilver kan orsaka nervskador, nedsatt reproduktionsförmåga och förändringar i DNA.	(Lenntech, 2015i)
<i>Nickel (Ni)</i>	Det finns inte så mycket information kringgående nickels miljöeffekter. Höga nickelkoncentrationer på sandjordar kan skada växter och höga nickelkoncentrationer i ytvatten kan minska tillväxttakten av alger. Mikroorganismer kan också drabbas av minskad tillväxt på grund av närvaron av nickel, men de brukar utveckla resistens mot nickel efter ett tag. Höga koncentrationer av nickel kan också orsaka olika typer av cancer hos djur.	(Lenntech, 2015j)
<i>Selen (Se)</i>	Beteendet hos selen i miljön beror starkt på dess interaktioner med andra föreningar. Selen ackumuleras i miljön, mestadels på grund av djur som äter växter som genom sina rotsystem tagit upp selen. Höga halter av selen orsakar en negativ reproduktionsförmåga och fosterskador.	(Lenntech, 2015k)
<i>Silver (Ag)</i>	Höga silverkoncentrationer kan vara dödligt för bakterier, och det hämmar reproduktionen av svampar. Detta beror främst på Ag ⁺ joner.	(Lenntech, 2015l)
<i>Tallium (Tl)</i>	Tallium är mycket giftigt för råttor och används därför i bekämpningsmedel. Tallium har också negativa effekter på växter, såsom färgförändringar i blad och minskad växtstorlek.	(Lenntech, 2015m)
<i>Zink (Zn)</i>	Zink ackumuleras och har i höga halter en allvarlig påverkan på mikroorganismer och invertebrater. Den höga zinkhalten i marken kan påverka de markprocesser som genomförs av mikroorganismer och orsaka ett hot mot hela markekosystemet.	(Lenntech, 2015n)



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