

Gruvor i rymden-en framtida konflikt

När världen nu ska lämna den fossila energin blir man allt mer beroende av sällsynta jordartsmetaller, som krävs för modern dator- och tillverkningsteknik för allt från solpaneler till halvledare. De är nu koncentrerade till vissa områden på Jorden som Kina, men de finns också på månen, Mars och asteroiderna. Omställningen till en ny energiteknik och utvecklingen inom rymdindustrin kan starta historiens största rusning efter råvaror med ökande risk för internationella konflikter.

<https://www.milkenreview.org/articles/mining-in-space-is-coming>

[Asteroid mining - Wikipedia](#)

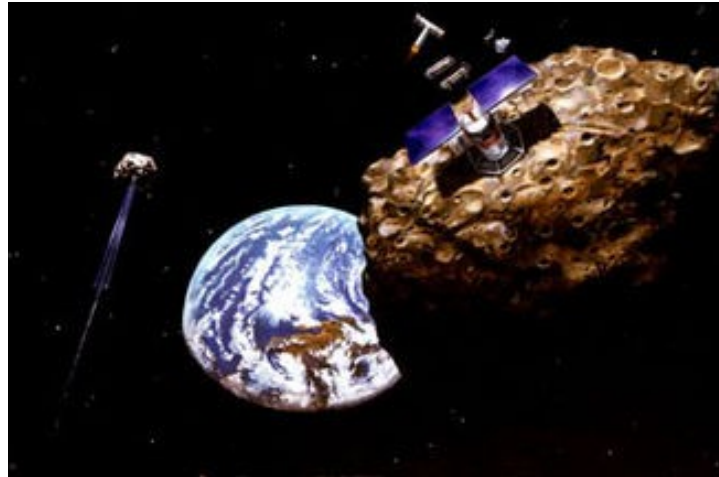
[China's Space Mining Industry Is](#)

Jorden går nu in i en osäker period där en ny energiteknik baserad på nya råvaror skall etableras samtidigt som nya stormakter växer fram och utmanar den nuvarande ordningen. Under de senaste decennierna har planetvetenskap bekräftat det som man länge har misstänkt. Himlakroppar är potentiella källor för dussintals mineraler, som på rätt tid och plats är otroligt värdefulla. Det finns planeter, dussintals månar, tusentals stora asteroider och miljontals små sådana, som utan tvekan innehåller enorma mängder material som kommer att vara knappa och mycket värdefulla på jorden.

Utsikterna för rymdbrytning drivs av tekniska framsteg inom rymdindustrin, som sänker både uppskjutnings- och driftskostnader. Privata företag, som en gång var begränsade till statliga kontrakt och leverans av telekommunikations satelliter till omloppsbana, framträder nu som ledande när det gäller att utveckla rymdturism, rymdtillverkning och satelliter för specialiserade tjänster. Rymdssektorn, med ett börsvärde på 400 miljarder dollar, kan växa till så mycket som 1000 miljarder år 2040 när privata investeringar ökar.

USA utvann de första utomjordiska materialen i rymden från månen under Apollo-uppdragen, följt av Sovjetunionen under obemannade Luna-uppdrag. Ännu förblir vetenskapliga prover målet med gruvsdrift. Förra året samlade NASAs Osiris-Rex-uppdrag en liten mängd material från asteroiden Bennu för återkomst till jorden 2023. I december förra året returnerade Japan ett prov av asteroiden Ryugu med farkosten Hayabusa 2. Flera veckor senare returnerade Kinas Chang'e 5-uppdrag de första månproverna sedan 1970-talet.

Ekonomiska, vetenskapliga och till och med säkerhetspolitiska fördelar ligger till grund för en framväxande geopolitisk tävlan för att bedriva rymdbrytning. USA växer snabbt fram som en föregångare, delvis på grund av sitt ambitiösa Artemis-program för att leda ett multinationellt konsortium tillbaka till månen. Förra året tilldelade NASA fyra företag kontrakt för att utvinna små mängder månregolit år 2024. Uppdraget understryker gruvsdrif-



tens begynnande karaktär: NASA betalar inte mer än \$ 15 000 för ett halvt kilo, en bråkdel av en bråkdel av kostnaden för ett sådant uppdrag. Men det inleder eran av kommersiell rymdbrytning.

USA är också ledande när det gäller att skapa en laglig infrastruktur för mineralutnyttjande. USA har antagit världens första lag om rymdresurser, med erkännande av privata företags och individers äganderätt till material, som samlats i rymden.

USA är dock inte ensam. Luxemburg och Förenade Arabemiraten kämpar för att kodifiera sina egna lagar om rymdresurser i hopp om att locka investeringar med affärsvänliga juridiska ramar. Kina anser enligt uppgift att rymdresursutveckling är en nationell prioritet, en del av en strategi för att utmana USA: s ekonomiska och säkerhetsmässiga företräde i rymden. Samtidigt har Ryssland, Japan, Indien och EU alla sina egna ambitioner om rymdbrytning.

Provinsamlingen accelererar, med senaste uppdrag riktade mot Mars. Japan planerar att besöka Mars två månar och extrahera ett prov från en av dem. NASA: s robotrover Perseverance kommer att samla in borrhade prover på Mars som senare kan återföras till jorden i samarbete med EU. Perseverance bär också redskap för det unika MOXIE - experimentet på Mars, ett försök att producera syre på planeten med teknik som

så småningom kan ge syre för astronauter att andas och för att tanka rymdfarkoster.

Vatten kan vara det mest attraktiva att utvinna på kort sikt, eftersom det med hjälp av solenergi eller kärnklyvning kan delas upp i väte och syre för att göra raketdrivmedel, vilket underlättar tankning i rymden. Så kallade "sällsynta jordartsmetaller" är också potentiella mål för marknaderna på jorden. Bestående av 17 element, inklusive lantan, neodym och yttrium, krävs dessa kritiska material (varav de flesta idag bryts i Kina till stora miljökostnader) för elektronik och de är flaskhalsar i övergången från fossila bränslen till förnybara energikällor som stöds av batterilagring.

Månen är troligen den första platsen för kommersiell gruvsdrift. Månen har flera fördelar. Den är relativt nära, vilket kräver en resa på bara några dagar med raket och med ett kommunikationsglapp på bara ett par sekunder, en fördröjning som är tillräckligt liten för att möjliggöra fjärrstyrning av robotar från jorden. Dess låga tyngdkraft innebär att relativt liten energiförbrukning kommer att behövas för att leverera utvalda resurser till jorden.

Upptäckten i oktober i år av is i kratrar på månen togs därför som ett stort genombrott. Månen kan se uttorkad ut - och i jämförelse med jorden är den det. Men de senaste sonderna har bekräftat betydande mängder vattenis i permanent skuggade kratrar vid månpolerna.

Gruvor i rymden

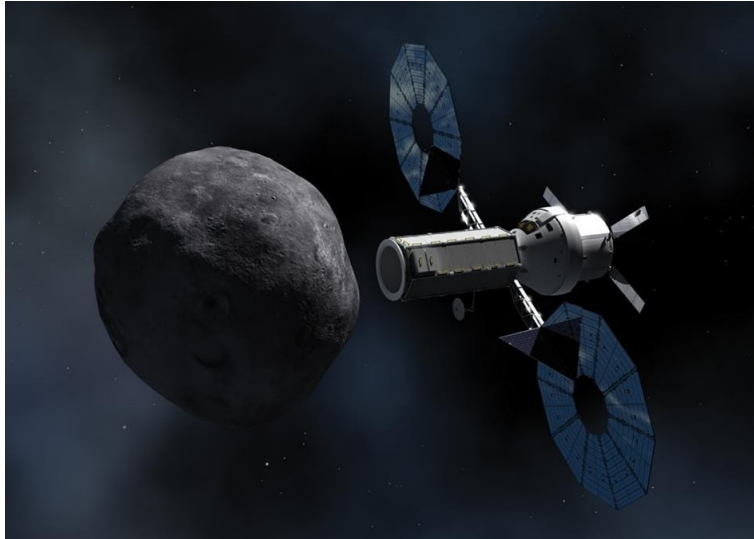
Vidare verkar det som om solvinden har planterat betydande avlagringar av helium-3 (en tung isotop av helium) i månens ekvatoriella områden. Helium-3 är ett potentiellt bränsle för andra och tredje generationens fusionsreaktorer. Isotopen är full av energi (visserligen svårt att släppa loss på ett kontrollerat sätt) som kan bli en källa till ren, säker energi på jorden eller för att driva snabba rymdskepp senare under detta århundrade. På grund av dess vatten och helium-3-avlagringar kan månen bli ett avstamp för ytterligare utforskning av solsystemet.

Rymdbrytning där kan vara avgörande för uppdrag till Mars, men med tanke på Mars avstånd och relativt höga gravitation (dubbelt så mycket som månen) verkar utvinning och export av mineraler till jorden därifrån mycket osannolik. Snarare kommer det mesta av resursutvinningen på Mars att fokusera på att tillhandahålla material för att tanka rymdfarkoster och möjliggöra bosättning där. Månen kan dock bli viktig för framtida bosättningar på Mars. På grund av Mars lägre gravitation går det åt mindre energi för trafik från Mars till månen än från Jorden till månen.

Asteroider är ett annat närmål för gruvdriften. Det finns alla möjliga rymdstenar, som rusar genom solsystemet, med varierande mängder vatten, sällsynta jordartsmetaller och andra material ombord. Asteroidbältet mellan Mars och Jupiters banor innehåller de flesta av dem, varav många är större än en kilometer i diameter. Även om asteroidbältets potentiella vatten- och mineralrikedom är enorm, utesluter det långa avståndet från jorden och erforderliga restider och energiförbrukning dem som mål på kort sikt.

Mera intressanta är mindre asteroider nära jorden. Även om de är mycket längre bort än månen, kan många av dem nås med mindre energi. Vissa är till och med små nog för att göra det tekniskt möjligt att dra dem till Jordens bana för gruvdrift. Utveckling av en infrastruktur för att ändra asteroidbanor kan ge en stor avkastning på investeringen.

De mest lovande råvarorna på asteroiderna är platina, palladium, guld och en handfull sällsynta besläktade metaller. På grund av deras benägenhet att interagera med järn sjönk dessa så kallade siderofila element mestadels mot metallkärnan på vår planet tidigt i dess bildning och är därför relativt knappa i jordskor-



pan. Uppskattningar av deras överflöd på vissa asteroider, såsom den gåtfulla Psyche 16 bortom Mars bana, visar koncentrationer flera gånger högre än vad som kan hittas i jordiska gruvor.

För närvarande är malmens kvalitet och kostnaderna för den utrustning som krävs för att utvinna den okända och kan bara spekuleras i. Vissa ekonomiska analyser tyder på att kostnaden för att föra asteroidmaterial till jorden långt överskrider deras marknadsvärde, och att asteroidbrytning inte kommer att locka till privata investeringar till nuvarande råvarupriser och kostnader för rymdtransport. Andra studier tyder på stor vinst genom att använda solenergi. Potentiella marknader för material kan identifieras och vinst genereras om extraktionskostnaden sänks. Till exempel kan leverans av flera ton vatten till låg jordbana för raketbränsleberedning för rymdturism generera en betydande vinst om rymdturismen i sig visar sig vara lönsam.

År 1997 spekulerades det i att en relativt liten metallisk asteroid med en diameter på 1,6 km innehöll mer än 20000 miljarder dollars värde i industriella och ädelmetaller. En jämförelsevis liten asteroid med en medeldiameter av 1 km kan innehålla mer än två miljarder ton järn-nickelmalm eller två till tre gånger världsprодукtionen 2004.

Asteroiden Psyche 16 tros innehålla så mycket nickeljärn, att det skulle täcka världens behov i flera miljoner år. Nickel är å andra sidan ganska rikligt förekommande och bryts på många markbundna platser, så den höga kostnaden för asteroidbrytning kanske inte gör det ekonomiskt lönsamt.

Inte alla utvalda material från asteroider skulle vara lönsamma med tanke på kostnaden för transporten av ekonomiska mängder material till jorden. Platina är dock mycket sällsynt i geologiska formationer på jorden och är därför värt att transportera även i små kvantiteter. Platinan från en 30 meter lång asteroid kan vara värd 25–50 miljarder US-dollar.

Någon ekonom påpekar dock att en extern källa till ädelmetaller skulle sänka priserna och lönsamheten. Om platina-gruppmetaller skulle motivera de bokstavligen astronomiska kostnaderna för rymdbrytning, måste man kunna räkna med långvariga höga priser under ett decennium eller så och den typen av situation är nästan okänd inom materialindustrin.

För att vara livskraftig kommer kommersiell rymdbrytning naturligtvis att behöva verka i en mycket större skala än de vetenskapliga grävningarna. Medan alla prover som hittills har samlats består av mindre än ett ton material, måste en enda rymdbrytningsoperation kunna hantera hundratals eller tusentals ton.

Rymdbrytning liknar markbaserad gruvdrift, med prospektering följt av utvinning, bearbetning och distribution till användare. Men de flesta rymdbrytningsmål har liten eller ingen atmosfär och upplever extrema temperatursvängningar mellan skugga och solljus. Strålning från både solen och kosmiska källor genomsvävar rymdmiljön och hotar elektroniken för att inte tala om människors hälsa. Även ytan på himlakroppar utgör en utmaning för gruvmaskiner eftersom de består av steniga material som kallas regolit istället för mer välkänd jord.

Tyngdkraften utgör också ett problem. Att fly från jordens gravitation gör transporten av de volymer av material som behövs i en gruvverksamhet enormt dyr. Falcon Heavy, den stora raket som utvecklats av Elon Musks SpaceX, skall kunna transportera en nyttolast till Marsbana för så lite som 5 357 dollar per kilo. Det är en drastisk minskning av normala kostnader. Ändå, till dessa priser, skulle bara ett enda halvtons borrhugg till asteroidbältet ta upp ett mindre gruvbologs årliga prospekteringsbudget.

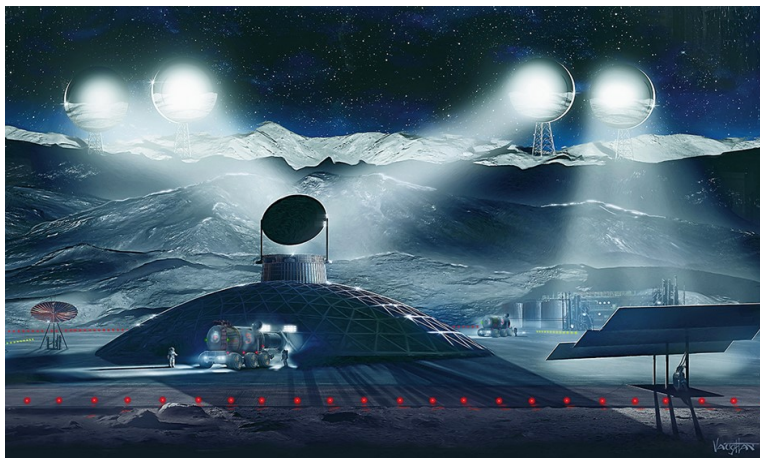
Att skjuta upp något i rymden är också en påfrestande process och utrustningen måste överleva hög acceleration och akustiska krafter. Uppdrag i rymden måste dessutom fungera också i mikrogravitation t ex vid gruvdrift på en asteroid eller i minskad gravitation på månen eller Mars.

Energi är en annan fråga. Den internationella rymdstationen, med 35 000 kvadratmeter solceller, genererar upp till 120 kilowatt el. En borrhugg skulle behöva ett liknande kraftverk och de flesta gruvföretag driver flera riggas åt gången. Strömkraven ökar också drastiskt när man går från prospekteringsborrning till gruvdrift och bearbetning.

Kom också ihåg att efter att rymdresurserna har samlats in måste en leveranskedja leverera materialet till kunderna. Att föra tillbaka material till jorden skulle vara mycket dyrt. Japans Hayabusa 2 satellit spenderade sex år och 16,4 miljarder yen (157 miljoner dollar) på att transportera ett enda gram material från asteroiden Ryugu till jorden.

På lång sikt kan produktion i rymden för att försörja jorden driva massiv tillväxt inom rymdindustrin, men inte med råvaror som konkurrerar med markproducerade. Jordmarknaderna kommer sannolikt att vara mest mottagliga för exotiska specialiserade material och legeringar, som tillverkas under mikrogravitationsförhållanden, stora satellittjänster som rymdbaserad solenergi eller unika produkter som helium-3 och sällsynta jordartsmetaller. De två sistnämnda är särskilt lovande, eftersom de kan ge stora bidrag till global utfasning av kolbaserade bränslen efter 2050.

På kort sikt kommer det som finns i rymden att stanna i rymden. Stödet av besättning och robotutforskning med resursutnyttjande på plats, troligtvis på månen under 2020-talet och Mars på 2030-talet,



ger det största löftet om att starta rymdbrytning. Konstruktion av månbasar från lokala material kan kraftigt minska viktkraven i transporter från jorden. Om vattenbaserade drivmedel utvecklas till ett konkurrenskraftigt pris kan de hitta en klar marknad för rymdfarkoster, som går från jordbana till geosynkron bana eller djup rymd.

Även om osäkerheterna fortfarande är höga, lovar rymdbrytning förr eller senare att kraftigt påskynda rymdutforskning och stärka jordiska ekonomier. Även om industriell verksamhet i rymden mycket väl kan orsaka konflikter med vetenskapliga prioriteringar, kan den infrastruktur som den skapar tjäna vetenskapen med tankning i omloppsbana, minskade uppdragskostnader, rymdtillverkning och mer allmänt djupare kunskap om hur man fungerar i rymdmiljöer.

Om det för bara några decennier sedan var lätt att avfärda tanken på rymdindustrin i allmänhet och rymdbrytning i synnerhet som science fiction, är det idag ganska klart att rymdbrytning tillsammans med dess åtföljande utforskning och industrialisering, är nära förestående.

För att styra dessa framväxande intressen har vi nu bara en föråldrad fördragsram från det kalla kriget. Vi behöver nya avtal för att underlätta privata investeringar och säkerställa internationellt samarbete ty när mänsklig industriell verksamhet sprider sig ut i rymden följer oundvikliga tvister om ägande och styrning.

Naturligtvis förutsätter frågor om rymdresursers ekonomiska värde att äganderätten är väldefinierad och säker. Rymdlagstiftningen om äganderätt utvecklas snabbt. Men många frågor återstår, vilket förvärrar den ekonomiska osäkerheten.

Till att börja med tillhör inte rymden något land, vilket komplicerar traditionella metoder för resursfördelning, fastighetsrätt och handel. Yttre rymden ligger utanför alla nationers territoriella jurisdiktion, vilket innebär att internationell lag är grunden för rymdlag och lag om rymdresurser. Det primära styrande fördraget för internationell rymdlagstiftning, yttre rymdfördraget från 1967, förbjuder att enskilda nationer tillägnar sig himlakroppar, såsom månen eller asteroider. Huruvida rymdbrytning är tillåten enligt fördraget är fortfarande mycket kontroversiellt.

Utformat på höjden av det kalla kriget för att hindra vapenkapplöpning i rymden, föreställde sig inte rymdfördraget dagens privata och kommersiella satsningar. Det hindrar nationer från att göra anspråk på himlakroppar genom att plantera en flagga eller genom att ockupera ett område. Det förbjuder emellertid inte klart att äga och använda resurser när de extraherats från en himlakropp. Andra delar av fördraget innebär faktiskt att sådan användning är tillåten.

Tidigare och pågående uppdrag från USA, Sovjetunionen, Japan och Kina för att förvärva vetenskapliga prover har aldrig allvarligt ifrågasatts som brott mot fördraget. Ett andra internationellt fördrag som uttryckligen skulle fastställa global styrning av kommersiell rymdbrytning, månavtalet, har i stort sett avvisats av de flesta länder och alla länder med medel och motiv för att bryta i rymden.

USA har länge ansett att yttre rymdfördraget tillåter kommersiell resursutvinning. President Obama undertecknade världens första nationella lag om rymdresurser 2015. Lagen erkände amerikanska invånares rättigheter att äga material som samlats i yttre rymden, men USA har ännu inte inrättat ett tydligt regleringssystem för att godkänna sådana uppdrag. Trump-administrationen byggde vidare på dessa tidiga aktiviteter genom att inkludera rymdbrytning som en del av sin bredare prioritering av rymdutforskning. Andra nationer följer USA: s ledning när det gäller att utveckla lagstiftning och politik för rymdresurser. Som tidigare nämnts har Luxemburg antagit en egen rymdbrytningslag som prioriterar rymdresurser och bildar partnerskap med rymdorganisationer över hela världen. Förenade Arabemiraten går mot en liknande lag, eftersom landet ser rymden som en del av den oljerika statens moderniseringsplaner. När Japan fortsätter vetenskapliga provtagningsuppdrag överväger regeringen för närvarande en egen lag för rymdbrytning. Naturen i Kinas rymdambitioner är inte lätt att dechiffrera, men rymdbrytning och månutforskning är helt klart en del av strategin.



En rad aktiviteter bland Kinas privata och statligt ägda företag är ett bevis på Kinas växande ambitioner på ekonomisk och militär dominans av rymden. Den 19 oktober provade Academy of Aerospace Solid Propulsion Technology (AASPT) – som tillhör China Aerospace Science and Technology Corporation (CASC) – "den kraftfullaste fasta raketmotorn med den största dragkraften i världen hittills." Med 500 tons dragkraft är den avsedd att driva Kinas tunga lyftrakter för bemannade månlandningar, utforskning av rymden och utvinning av resurser

där.

den globala gröna energiomställningen – ökar efterfrågan på strategiska mineraler som är allt svårare att få tag på. Här har Kina för närvarande ett monopol på utvinning och bearbetning av sällsynta jordartsmetaller. Det är 17 mineral, som är nödvändiga för modern dator- och tillverkningsteknik för allt från solpaneler till halvledare.

Kina har också ett stort engagemang i den globala försörjningen av kobolt, volfram och litium. Med 30 % av den globala brutna malmen, 80 % av de globala bearbetningsanläggningarna och ständigt ökande investeringar runt om i världen, har Kina över 36 miljarder dollar investerade i gruvprojekt enbart i Afrika.

Pekings rymdprogram visar tydligt att kineserna också vill skärpa greppet om rymdbaserade resurser. Jordartsmetaller är ganska vanliga i solsystemet. I vilken grad är fortfarande okänt, men detta och militära tillämpningar är utan tvekan en drivande faktor för Kinas ständigt ökande rymdambitioner.

Just nu är kostnaden för att fånga och bearbeta asteroider mycket större än för

område, har båda tekniskt sett rätten att göra det. "Först till kvarn" kan fungera för en nations aktiviteter, men ingenting hindrar företag från ett annat land som bygger angränsande gruvor, med åtföljande ekonomiska och operativa risker. Rymdens internationella karaktär förvärrar bristen på ägande, eftersom tvister mellan företag från separata länder blir en fråga om internationella relationer.

För att börja ta itu med dessa utmaningar förhandlade USA fram Artemis-avtalen 2020, ett multilateralt avtal för att vägleda månutforskning på kort sikt. Undertecknarna av avtalen inkluderar många amerikanska rymdpartners: Storbritannien, Luxemburg, Förenade Arabemiraten, Australien, Kanada, Japan, Italien och Ukraina. Många av överenskommelserna är naturliga förlängningar av yttre rymdfördraget och är en välkommen utveckling. Men andra aspekter av avtalen är problematiska. De utesluter för närvarande stora aktörer som Ryssland, Kina och Indien. De tillhandahåller "säkerhetszoner" runt gruvplatser, vilket väcker farhågor om uteslutning av andra länder från de bästa platserna.

Utöver kommersiella frågor dyker miljöproblem upp. Miljökonsekvenserna av rymdbrytningsaktiviteter är fortfarande spekulativa, men de kan undergräva säkerheten för bemannade och robotuppdrag. Apollo-uppdragen avslöjade att landning eller avfärd från månen kan kasta stora mängder månregolit långa avstånd, kanske till och med ut i månens bana. Utan en månatmosfär för att sakta ner den eller bryta ner den kan regoliten skada rymdfarkoster.

Gruvverksamhet i sig kan på samma sätt orsaka problem med regolitdamm och med förslag om att bedriva rymdbrytning med bakterier väcks frågor om hur kommersiell verksamhet kan försvåra sökandet efter liv eller till och med hota ömtåliga utomjordiska system med invasiva arter som levereras av människor.

Sammantaget innebär omställningen till en ny fossilfri energiteknik och utvecklingen inom rymdindustrin en ökande risk för internationella konflikter om strategiska råvaror.

traditionella gruvtekniker. Detta håller på att förändras, men liksom i traditionell gruvdrift och raffinering av sällsynta jordartsmetaller ligger Kina långt före USA och resten av världen när det gäller industripolitik och nya investeringar.

Den yttre rymdens okontrollerade karaktär och bristen på nationellt ägande skapar helt klart en möjlighet till konflikt. Även om företag har rätt att äga en resurs när de extraherar den, har de inte nödvändigtvis rättigheter till en resurs medan den förblir på plats. Om två företag från olika nationer vill bryta samma