

TĚŽBA A ZPRACOVÁNÍ BITUMENU A EXTRA TĚŽKÉ ROPY

JOSEF BLAŽEK

*Ústav technologie ropy a petrochemie, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6
blazekj@vscht.cz*

Došlo 19.1.06, přijato 13.4.06.

Klíčová slova: bitumen, extra těžká ropa, těžba, zpracování, vlastnosti

Obsah

1. Úvod
2. Charakterizace bitumenových písků
3. Zásoby bitumenu a extra těžké ropy
4. Složení a vlastnosti bitumenu
5. Těžba bitumenu a extra těžké ropy
 - 5.1. Extrakce bitumenu horkou vodou
 - 5.2. Těžba bitumenu podporovaná vtláčením páry
 - 5.3. Těžba extra těžké ropy s příměsí písku
 - 5.4. Ověřované metody těžby
6. Zpracování bitumenu a extra těžké ropy
7. Výhled těžby a zpracování bitumenu a extra těžké ropy

1. Úvod

Celková spotřeba ropy (tab. I) se stále zvyšuje v důsledku rostoucí poptávky ve všech oblastech světa¹. V posledních deseti letech roste světová spotřeba ropy v průměru o 1,6 hm.% ročně a je možno očekávat, že podobným tempem poroste i v nejbližších letech. Největší nárůst spotřeby ropy je v Číně, kde spotřeba ropy vzrostla z 86,5 Mt v roce 1984 na 309 Mt v roce 2004 (cit.¹).

Zásoby ropy v zemské kůře jsou omezené, protože se jedná o neobnovitelný zdroj energie. Intenzivním průzkumem se ale daří nacházet další ložiska ropy, takže ověřené zásoby ropy zatím neklesají, a poměr těchto zásob k roční spotřebě ropy se od roku 1987 drží nad číslem 42 (tab. I, cit.¹).

Rostoucí spotřeba ropy a růst cen této suroviny vedou k hledání dalších zdrojů kapalných paliv. Mezi perspektivní zdroje kapalných paliv patří hlavně bitumenové písky, extra těžká ropa, zemní plyn a v delším časovém horizontu i uhlí a živiničné břidlice.

Uplatnění kapalných paliv vyrobených z bitumenových písků a extra těžké ropy napomáhá, kromě zvyšující se spotřeby a ceny ropy, také technický pokrok, který umožňuje vyrábět z těchto látek paliva, resp. syntetickou

ropu za konkurence schopné ceny. V nedávné době některé organizace započítaly zásoby bitumenu, které jsou ve stádiu přípravy k těžbě, do jimi udávaných ověřených zásob ropy^{1,2}.

Cílem tohoto článku je seznámit čtenáře se současnými způsoby těžby a zpracování bitumenových písků a extra těžké ropy a s perspektivou jejich využití při výrobě kapalných paliv.

2. Charakterizace bitumenových písků

Bitumenové písky (bituminous sands), které se označují také jako asfaltové písky, ropné písky (oil sands) nebo dehtové písky (tar sands), jsou směsí písku, hlíny, vody a vysokoviskózních organických sloučenin, které tvoří tzv. bitumen.

Typické bitumenové písky obsahují 75–80 obj.% anorganických látek (většinou písek, v malém množství hlína a jiné minerály), 3–5 obj.% vody a 10–18 obj.% bitumenu³. Zrna písku se vzájemně opírají, jsou pevně

Tabulka I

Ověřené zásoby (R), spotřeba ropy (C) ve světě¹ a jejich poměr (R/C) v letech 1980–2004

Rok	Ověřené zásoby ^a [Gt]	Spotřeba ropy [Gt]	R/C
1980	91,0	2,97	30,6
1982	97,8	2,78	35,2
1984	103,9	2,81	36,9
1986	119,7	2,89	41,4
1988	135,9	3,03	44,8
1990	136,6	3,14	43,5
1992	137,9	3,17	43,5
1994	138,8	3,20	43,3
1996	143,1	3,33	43,0
1998	145,9	3,43	42,6
2000	152,2	3,54	43,0
2002	160,5	3,58	44,8
2004	162,1	3,77	43,0

^a Zásoby ropy, u kterých bylo na základě geologických a inženýrských informací o známých ložiscích s dostatečnou jistotou určeno, že mohou být v budoucnosti vytěženy při existujících ekonomických a provozních podmínkách

spojena a prostor mezi nimi vyplňuje kapalná fáze. V řadě nalezišť je písek hydrofilní, zrna písku jsou v tenké vrstvě obklopena vodou, která odděluje bitumen od písku, což usnadňuje separaci bitumenu při jeho těžbě⁴.

Bitumenové písky se obvykle vyskytují poměrně blízko povrchu (0–800 m pod povrchem) a mohou být, na rozdíl od ropy, pokryty jen propustnou horninou. Bitumen je považován za těžký zbytek ropy, ze které byly odstraněny těžavější frakce, když se ropa při migraci dostala blíže k povrchu. Na přeměně ropy na bitumen se podílely biodegradace, vymývání vodou, abiotická oxidace, odpařování atd.^{5,6}

Mezi těžkými a extra těžkými druhy ropy a bitumenu neexistuje ostré rozhraní. V literatuře lze nalézt různá rozmezí hustoty a viskozity pro rozlišení těchto látek, obvykle se ale rozlišují^{2,6}:

- Těžká ropa – má hustotu (při 15 °C) v rozmezí 934 až 1000 kg m⁻³.
- Extra těžká ropa – má hustotu větší než 1000 kg m⁻³ a viskozitu v ložisku menší než 10 Pa·s (v ložisku je mobilní).
- Bitumen – má hustotu větší než 1000 kg m⁻³, ale viskozitu v ložisku větší než 10 Pa s (v ložisku není mobilní).

Vzhledem k tomu, že se extra těžká ropa liší od bitumenu hlavně svou menší viskozitou, která se ale udává při teplotě v ložisku, přičemž teplota v ložisku závisí na zeměpisné poloze ložiska a roste s hloubkou, ve které se ložisko nachází, jsou složení a vlastnosti bitumenu a extra těžké ropy podobné. V určité části ložiska se může nacházet bitumen, v jiné části pak extra těžká ropa, případně i těžká ropa. O zařazení do některé z výše uvedených látek většinou rozhoduje převažující charakter ložiska. V kanadských nalezištích převažuje bitumen, proto se i těžké a extra těžké druhy ropy dle výše uvedené klasifikace, které se nacházejí v oblasti výskytu bitumenu, označují obvykle jako bitumen.

3. Zásoby bitumenu a extra těžké ropy

Celkové zásoby^a bitumenu ve světě se odhadují⁶ na 412 Gt a extra těžké ropy na 330 Gt. Celkové zásoby extra těžké ropy a bitumenu v zemské kůře jsou tak větší než zásoby konvenčních druhů ropy (celkem 638 Gt, z toho 144 Gt těžitelne zásoby)². Největší známá naleziště bitumenových písků jsou v Kanadě (261 Gt), menší v Nigérii (67 Gt), Kazachstánu (40 Gt), Rusku (32 Gt), USA (6,7 Gt) a ještě menší v některých dalších státech (celkem 4 Gt)⁶. Extra těžká ropa se v ohromném množství vyskytuje jen ve Venezuele (324 Gt), malé množství se nachází v Iráku (3,7 Gt) a ještě menší v dalších státech (celkem 2,2 Gt, vše celkové zásoby na konci roku 2002)⁶. V Rusku

se pravděpodobně nacházejí ještě další velké zásoby bitumenu v oblasti východní Sibíře⁶.

Rozdělení celkových zásob bitumenu a extra těžké ropy mezi těžitelné a netěžitelné zásoby silně závisí na odhadu koeficientu vytěžitelnosti jednotlivých nalezišť, který závisí na použité metodě těžby. Při klasické těžbě venezuelské extra těžké ropy (bez zahřívání ložiska) se dosahuje jen 5–10 % vytěžitelnosti. Předpokládá se², že vytěžitelnost se v příštích letech zavedením progresivních metod těžby zvýší na cca 25 %. Při získávání bitumenu z kanadských bitumenových písků se u metod založených na jeho extrakci z vytěžených bitumenových písků dosahuje 80–90 % vytěžitelnosti, ale u *in situ* metod jen 5–15 % vytěžitelnosti². Při těžbě podporované trvalým vtláčením páry se ale běžně dosahuje 40 % a někdy až 60 % vytěžitelnosti bitumenu^{2,7}.

Zásoby extra těžké ropy a bitumenu mají velký strategický význam zejména pro průmyslově vyspělé státy dovažující ropu, protože převážná část těchto zásob se nachází mimo oblast Středního východu.

4. Složení a vlastnosti bitumenu

Příklad vlastností bitumenu z bitumenových písků nacházejících se v oblasti Athabasca (Kanada) je uveden v tab. II (cit.^{5,8}). V porovnání s vakuovým zbytkem z ruské

Tabulka II
Vlastnosti bitumenu^{5,8} a vakuového zbytku z ropy Ural (VZ Ural)

Vlastnost	Bitumen Athabasca	VZ Ural
Dynamická viskozita při 100 °C, Pa s	0,2–0,5	4,8
Bod měknutí, °C	10	45
Obsah uhlíku, hm. %	83,6	85,8
Obsah vodíku, hm. %	10,3	10,5
Obsah síry, hm. %	5,5	2,7
Obsah dusíku, hm. %	0,4	0,6
Obsah kyslíku, hm. %	0,2	0,4 ^a
H/C atomární	1,47	1,46
Obsah vanadu, mg kg ⁻¹	250	160
Obsah niklu, mg kg ⁻¹	100	50
Obsah asfaltenu (n-heptanem), hm. %	17	6,8

^a Dupočtem

^a Zásoby a těžba ropy a bitumenu se obvykle udávají v barelech (cca 0,159 m³). Pokud nebyla v citované literatuře uvedena jejich hustota, byly při výpočtu zásob a produkce v gigatunách (Gt) údaje v gigabarelech vyděleny u extra těžké ropy a bitumenu koeficientem 6,25, u těžké ropy koeficientem 6,5 a u konvenční a lehké syntetické ropy koeficientem 7,33, což odpovídá hustotám 1006, 968 a 858 kg m⁻³.

Tabulka III
Frakční složení bitumenu⁵ a VZ Ural (výsledky simulované destilace)

Frakce	Bitumen Athabasca	Bitumen P. R. Springs	VZ Ural
Do 350 °C	18,1	8,0	0,0
350–535 °C	26,2	20,0	4,9
Nad 535 °C	55,7	72,0	95,1

ropy Ural (VZ Ural), která se zpracovává v České republice, má tento bitumen menší viskozitu a bod měknutí, prakticky stejný atomární poměr H/C, ale větší obsahy asfaltenu, síry, vanadu a niklu. Bitumen z mělkých ložisek obsahuje obvykle více kyslíku (cca 0,9 hm.%) než bitumen z hlubších ložisek⁹. Bitumen obsahuje, na rozdíl od vakuových zbytků, obvykle určité množství frakcí vroucích do 350 °C a větší množství vakuových destilátů (tab. III).

5. Těžba bitumenu a extra těžké ropy

Komerčně se bitumen těží a zpracovává ve velkém množství jen v Kanadě (55 Mt v roce 2003)¹⁰, v malém množství také v Indonésii (cca 0,5 Mt) a Sýrii (0,15 Mt)⁶. Při získávání bitumenu a extra těžké ropy se komerčně používají hlavně tyto čtyři druhy technologií:

1. Extrakce bitumenu horkou vodou z vytěžených bitumenových písků (mining technologies).
2. Těžba podporovaná cyklickým vtlačáním vodní páry (CSS – Cyclic Steam Stimulation, Huff and Puff, Steam – Soak).
3. Těžba podporovaná trvalým vtlačáním vodní páry (SAGD – Steam Assisted Gravity Drainage, Steam Flooding).

4. Těžba extra těžké ropy s příměsí písku (CHOPS – Cold heavy oil production with sand).

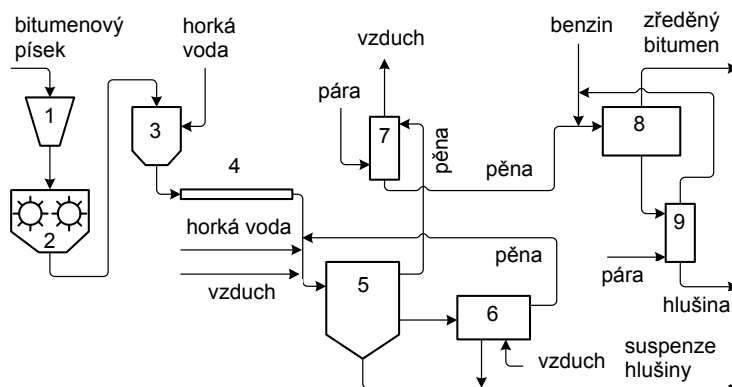
5.1. Extrakce bitumenu horkou vodou

V Kanadě se téměř 10 % těžitelných zásob bitumenu nachází v mělkých ložiscích s vrstvou nadloží do 75 m. Z těchto ložisek se bitumenové písky těží povrchovou těžbou po skrývce nadloží⁹.

Nejprve se odvodní rašeliniště, které pokrývá většinu povrchu nad ložiskem bitumenu, odstraní se stromy a jiná vegetace. Poté se postupně odtěží úrodná půda, která se ukládá separátně na výsypky pro pozdější rekultivaci, a nadloží, které se používá k budování hrázi odpadních rybníků, ukládá se separátně na výsypky pro pozdější rekultivaci nebo se ukládá do již vytěžené části dolu. Nadloží i bitumenový písek se těží hlavně pomocí obrovských lopatkových rypadel (objem lopaty až 56 m³), k jejich přepravě se používají nákladní automobily o nosnosti 100 až 400 t. Skrývka nadloží se provádí postupně ve vrstvách^{11,12} hlubokých typicky 12–15 m.

Zjednodušené schéma zpracování vytěžených bitumenových písků je uvedeno na obr. 1. Bitumenový písek se dopravuje do drtičů postavených v blízkosti těžby, kde se rozdrtí na částice pod 50 mm (cit.¹³). Z rozdrčeného bitumenu se smícháním s vodou ohřátou na 35 až 50 °C a obvykle i malým množstvím NaOH vytváří suspenze. Přidávání NaOH, který reakcí s organickými sloučeninami obsaženými v bitumenu vytváří povrchově aktivní látky, usnadňuje separaci bitumenu od minerálních látek. Je snaha omezit přidávání NaOH, aby se usnadnila recyklace vody a snížilo se zatížení životního prostředí. Při mísení bitumenového písku s vodou se do suspenze dostává vzduch^{4,12}.

Vzniklá suspenze se potrubím (hydrotransport) dopravuje do extrakčního závodu, který bývá vzdálen jednotky, maximálně desítky kilometrů. Během tohoto transportu se bitumen začíná separovat od písku a vody^{3,9}.



Obr. 1. Schéma extrakce bitumenu horkou vodou z vytěžených bitumenových písků; 1 – zásobník suroviny, 2 – drtič, 3 – mísič, 4 – hydrotransport, 5 – primární separátor, 6 – flotace, 7 – odlučovač vzduchu, 8 – soustava deskových usazováků a centrifug, 9 – regenerace benzínu

V extrakčním závodu se suspenze bitumenového písku smíchá s další horkou vodou, při tom se do suspenze vmíchá vzduch. Tato směs se vede na primární separaci, která se provádí v kónických nádobách, kde se při teplotě 30–50 °C (dříve až 80 °C) vytváří 3 zóny. V horní zóně je hustá pěna tvořená bitumenem, který je přichycen na bublinky vzduchu, vodou a zbytky jemnozrnných anorganických látek. Tato pěna se vede na další čištění. Písek smíchaný s vodou se ze spodní části separátoru čerpá do odpadních rybníků, kde se nechá sedimentovat⁹. Ve střední zóně separátoru se zdržuje suspenze vody, písku a hlíny s obtížně odstranitelným bitumenem. Tato suspenze se vede na sekundární separaci, která je obvykle založena na vhánění vzduchu do suspenze ve flotačním tanku. Zde dojde k oddělení dalšího bitumenu ve formě pěny, která se vrací zpět do primárního separátoru^{9,12}.

Bitumenová pěna z primární separace obsahuje cca 60 hm.% bitumenu, 30 hm.% vody a 10 hm.% tuhých látek⁹. Pěna se v odvzdušňovači ohřeje vodní parou na cca 80 °C, tím se částečně odplyní, a poté se čerpá potrubím na další čištění. Zde se pěna zředí benzinem (případně plynovým kondenzátem nebo jinou lehkou frakcí) a vede se do soustavy nakloněných deskových usazováků a centrifug, ve kterých se oddělí benzinový roztok bitumenu od minerálních látek (hlušina) a vody. Získaný bitumen obsahuje méně než 5 hm.% vody a 0,3–0,5 hm.% minerálních látek. Suspenze minerálních látek ve vodě ze zpracování bitumenové pěny obsahuje malé množství benzínu, který se z ní získá stripováním vodní parou, poté je suspenze ukládána do odpadních rybníků⁹. Benzinem zředěný bitumen se potrubím dlouhým až několik set kilometrů dopravuje na další zpracování, bitumen zředěný plynovým kondenzátem se někdy bez dalšího zpracování prodává do rafinerií.

Účinnost extrakce bitumenu je až 91 %, celkový koeficient výtěžitelnosti bitumenu je 83–90 %. Ve srovnání s *in situ* metodami se produkují menší emise skleníkových plynů⁷. Nevýhodou je manipulace s ohromným množstvím nadloží, ukládání velkých množství vyextrahovaného písku na skládky (odpadní rybníky) a nutnost pozdější rekultivace vytěžených ložisek.

5.2. Těžba bitumenu podporovaná vtláčením páry

Viskozita bitumenu výrazně klesá s rostoucí teplotou. Z ohřátého ložiska lze proto čerpat bitumen v kapalném stavu speciálními pumpami na povrch. K ohřívání ložiska se používá vysokotlaká horká vodní pára vtláčovaná do ložiska buď pomocným injekčním vrtem nebo cyklicky těžebním vrtem. Pára jednak vyhřívá ložisko, čímž snižuje viskozitu bitumenu, jednak ulehčuje separaci bitumenu od zrn písku, rozšiřuje a vytváří kanálky a praskliny v mateřské hornině, kterými poté teče bitumen k těžebnímu vrtu^{4,9}. Pára potřebná pro vyhřívání ložiska se obvykle vyrábí v generátorech vytápěných spalováním zemního plynu.

Těžba podporovaná cyklickým vtláčením páry

Těžba ohřátého bitumenu podporovaná cyklickým vtláčením páry probíhá ve třech fázích. Nejprve se několik týdnů vhání do ložiska vysokotlaká horká pára (až 11 MPa a 300 °C)³, poté se několik týdnů nechává dodané teplo a horká voda vsáknout do ložiska, a ve třetí fázi se stejným vrtem několik týdnů až měsíců čerpá na povrch ohřátá směs vody a bitumenu. Když se produkce bitumenu výrazně sníží, zahájí se další cyklus vtláčováním horké páry. Jeden cyklus trvá typicky 6–8 měsíců^{3,4}.

Při těžbě touto metodou se dosahuje 20–25 % výtěžitelnosti bitumenu³. Vzhledem k potřebě páry na vyhřívání ložiska je tento způsob těžby spojen se značnými emisemi oxidu uhličitého. Kvůli vysokým tlakům páry je metoda vhodná¹¹ pro ložiska mající nadloží alespoň 300 m.

Těžba podporovaná trvalým vtláčením páry

Těžba ohřátého bitumenu podporovaná trvalým vtláčením páry je ověřená, vysoce účinná metoda s koeficientem výtěžitelnosti okolo 40 %, někdy až 60 % (cit.^{2,7}). Při tomto způsobu těžby se jedním vrtem trvale vtláčuje do ložiska horká vysokotlaká pára a druhým vrtem se těží ohřátá směs vody a bitumenu.

Nejčastěji se používají páry horizontálních vrtů. Horizontální vrt, kterým se vtláčuje horká pára, bývá vybudován několik metrů (např. 5 m) nad těžebním horizontálním vrtem, vrty bývají v horizontální části dlouhé^{7,11} 500 až 1000 m. Používá se pára o menším tlaku, proto je metoda vhodná¹¹ pro ložiska s nadložím alespoň 150 m.

Nevýhodou této metody je velká spotřeba páry, na jejíž výrobu se spotřebovává velké množství napájecí vody (až 3 m³ vody na 1 m³ vytěženého bitumenu) a velké množství energie, při jejíž výrobě vznikají velké emise oxidu uhličitého (až 600 kg t⁻¹ bitumenu)⁷. Asi 80 % použité vody se recykluje po jejím vytěžení a oddělení od bitumenu⁴.

5.3. Těžba extra těžké ropy s příměsí písku

Těžba extra těžké ropy s příměsí písku se provádí pomocí speciálních pump, které umožňují těžbu těžké viskózní ropy s 1–8 obj.% písku. Tím, že se písek z okolí sondy čerpá na povrch, se zlepšuje propustnost horniny v okolí těžební sondy, a tím přítok ropy k sondě. Pokud se ropa čerpá na povrch elektrickým ponorným čerpadlem, přivádí se k čerpadlu ředidlo (obvykle lehká ropná frakce), které snižuje viskozitu a bod tuhnutí těžené ropy¹⁴. Tento způsob těžby je rozšířen ve Venezuele při těžbě extra těžkých druhů ropy. Aby se dosáhlo velké produktivity, používají se multilaterální (s mnoha postranními větvemi) horizontální vrty¹⁴. V Kanadě se tento způsob těžby používá při těžbě bitumenu (ve skutečnosti extra těžké ropy) zejména v nalezišti Cold Lake⁶.

5.4. Ověřované metody těžby

Těžba bitumenu podporovaná vtláčením rozpouštědla

Těžba bitumenu podporovaná vtláčením rozpouštědla (solvent injection, NAGD – Naphtha Assisted Gravity Drainage) je zatím pouze poloprovozně zkoušena v Kanadě. Při této metodě se jedním vrtem vtláčuje do ložiska vhodné rozpouštědlo (například benzin), které rozpouští bitumen a druhým vrtem se rozpouštěný bitumen čerpá na povrch. Předpokládá se, že při tomto způsobu těžby by se mohlo dosahovat až 60% vytěžitelnosti. Výhodou je to, že se nemusí ložisko vyhřívat, což vede k menší spotřebě energie, a s tím spojenými menšími emisemi oxidu uhličitého. Nevýhodou jsou malá difuzivita (prolnavost) rozpouštědla skrz bitumenový písek, což zpomaluje celý proces, a ztráty drahého rozpouštědla v ložisku⁷.

Těžba extra těžké ropy podporovaná vhnáním plynného rozpouštědla

Těžba extra těžké ropy podporovaná vhnáním plynného rozpouštědla (Vapor extraction – VAPEX) je technicky podobná těžbě bitumenu podporované trvalým vtláčením páry, ale místo páry se do ložiska vhná plynné rozpouštědlo, např. ethan, propan nebo butan. Plynné rozpouštědlo se jednak částečně rozpouští v bitumenu, čímž snižuje jeho viskozitu, jednak v horní části ložiska vytváří plynovou komoru, a tím vytlačuje zředěný bitumen k těžební sondě. Při tomto způsobu těžby se používají jednotlivé horizontální vrty, páry horizontálních vrtnů i kombinace vertikálních a horizontálních vrtnů. Tento způsob těžby se zatím ale komerčně nevyužívá^{3,9}.

Těžba bitumenu podporovaná zapálením ložiska

Těžba bitumenu podporovaná zapálením ložiska (*in situ* combustion, fireflooding) je zatím provozně ověřena jen při těžbě konvenčních druhů ropy. Při této metodě se ložisko u jednoho vrtnu zapálí a poté se tímto vrtem vtláče do ložiska vzduch potřebný pro hoření. Teplu uvolňova-

né spalováním tuhých zbytků bitumenu (koxu) zahřívá ložisko, tím snižuje viskozitu bitumenu, který je pak snadněji vytlačován k druhému vrtnu, a odtud na povrch.

Jednou z nových variant tohoto způsobu těžby bitumenu je těžba podporovaná spalováním od palce k patě vrtnu, která se označuje THAI (Toe to Heel Air Injection). Při této metodě se k vhnání vzduchu využívá svislý vrtn, ale k těžbě ohřátého bitumenu horizontální vrtn (obr. 2). Toto uspořádání zlepšuje řízení spalování zbytků bitumenu a tok ohřátého bitumenu k těžební sondě³. Předpokládá se, že při tomto způsobu těžby bitumenu by se mohlo dosahovat koeficientu vytěžitelnosti 60–80%. Nevýhodou jsou provozní a bezpečnostní obtíže spojené s prováděním celého procesu⁷. Hlavní potíž je s řízením směru spalování zbytků bitumenu v ložisku, což může mít za následek nízkou těžbu bitumenu a zničení těžebního zařízení.

6. Zpracování bitumenu a extra těžké ropy

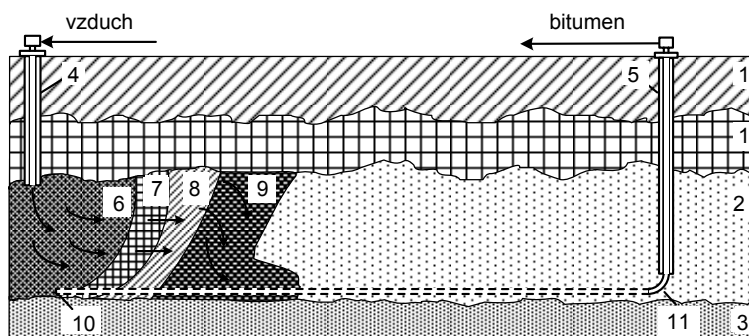
Bitumen a extra těžkou ropu nelze vzhledem k jejich velké viskozitě bez úpravy dopravovat klasickými ropovody. K přepravě a zpracování těchto látek před jejich exportem se využívá:

- naředění vhodnou lehkou frakcí nebo lehkou ropou,
- přeprava při zvýšené teplotě,
- částečná rafinace pomocí štěpných procesů,
- vytvoření emulze ve vodě.

Naředění vhodnou lehkou frakcí nebo lehkou ropou

K ředění bitumenu i extra těžké ropy se používají lehké druhy ropy, plynový kondenzát, lehká ropná frakce (např. benzin) nebo lehká syntetická ropa získaná při jejich zpracování štěpnými procesy.

V Kanadě se k ředění bitumenu často používá kondenzát získávaný jako vedlejší produkt při těžbě zemního plynu. Ropovody se přepravuje směs kondenzátu a bitumenu v poměru cca 30/70, která se obvykle označuje jako DilBit (cit.¹⁵). Dodávky kondenzátu jsou ale omezené



Obr. 2. Schéma těžby ohřátého bitumenu podporované zapálením ložiska; 1 – nadložní vrstva, 2 – bitumenový písek, 3 – podložní vrstva, 4 – injekční vrtn, 5 – těžební vrtn, 6 – vypálený písek, 7 – zóna spalování, 8 – zóna rozkladu, 9 – zóna tekoucího bitumenu, 10 – „palec“ vrtnu, 11 – „pata“ vrtnu

a rostoucí těžba bitumenu vyvolala růst cen kondenzátu v oblasti západní Kanady. Někteří výrobci bitumenu proto část své produkce bitumenu ředí lehkou nízkosírnou syntetickou ropou vyrobenou štěpením části bitumenu. Směs lehké syntetické ropy a bitumenu v poměru 50/50 se označuje jako SynBit (cit.¹⁵). Ve Venezuele se prodává např. ropa Merey, která vzniká smísením 38,2 obj.% ropy Mesa (hustota 876 kg m⁻³) a 61,8 obj.% extra těžké ropy (hustota 1011 kg m⁻³, cit.¹⁶).

Některé společnosti dopravují zředěný bitumen jen do své rafinerie (úpravárenského závodu), kde lehkou frakci používanou k ředění vydestilují a samostatným potrubím vracejí na místo těžby bitumenu (recykl ředidla). V této rafinerii z bitumenu vyrábějí syntetickou ropu, kterou pak exportují do klasických rafinerií. Obdobně se postupuje i při přepravě extra těžké ropy.

Přeprava při zvýšené teplotě

Bitumen ohřátý na vhodnou teplotu, při které se jeho viskozita sníží tak, že je čerpatelný, lze dopravovat dobře izolovaným potrubím nebo ohříváním izolovaným potrubím. Vytěžený bitumen se v místě těžby zahřeje např. na 120 °C a izolovaným ropovodem se dopravuje do úpravárenské rafinerie, kde se dále zpracovává. Pokles teploty bitumenu v nevyhříváném izolovaném ropovodu je pomalý, takže se přeprava může na 1–2 dny přerušit a poté znovu obnovit. Před delší odstavkou je potřeba ropovod naplnit zředěným bitumenem, který lze čerpat i při teplotě okolí. V Kanadě je vybudován první ropovod pro tento způsob dopravy a v dalších projektech se o něm uvažuje². Náklady na vybudování a provozování ropovodu při zvýšené teplotě jsou sice větší než u klasického ropovodu, není ale potřeba vybudovat separátní potrubí pro recykl ředidla.

Částečná rafinace pomocí štěpných procesů

Ke štěpení bitumenu i extra těžké ropy se používají jak procesy termického krakování (hlavně koksování), tak procesy katalytického hydrokrakování. Frakce získané atmosférickou destilací bitumenu nebo extra těžké ropy a destiláty z jejich koksování a hydrokrakování se dále upravují katalytickou hydrorafinací^{3,11}.

Výhodou koksování jsou nižší investiční náklady, nevýhodou je menší konverze bitumenu na syntetickou ropu, její horší frakční složení (menší obsah destilátů používaných při výrobě motorových paliv), větší aromaticita, a tím nižší cena, za kterou je syntetickou ropu možno prodat. Vyrobený koks se prodává jako palivo, lze ho použít k výrobě páry potřebné při těžbě bitumenu nebo se skladuje pro pozdější využití. Vzhledem k velkému obsahu síry v koksu je nutné odsiřovat spaliny vznikající při jeho spalování, což je investičně i provozně nákladné^{3,9}.

Zvažuje se zplyňování koksu. Zplyňováním koksu kyslíkem a vodní párou vzniká plyn, ze kterého lze zavedenými technologiemi odstranit sloučeniny síry a oxid uhličitý. Získaný plyn (často se označuje jako syntézní plyn), který obsahuje hlavně oxid uhelnatý a vodík, by se používal k otopu pecí, ve kterých by se vyráběla pára potřebná pro vyhřívání ložiska. Část syntézního plynu by se mohla konvertovat vodní párou na vodík, který je potřebný pro procesy hydrokrakování a hydrorafinace, které se používají při přeměně bitumenu na syntetickou ropu. Oxid uhličitý odpadající při výrobě syntézního plynu by se mohl vtláčet do vytěžených ložisek, čímž by se zmenšovaly jeho emise. Také toto použití koksu je investičně i provozně nákladné^{3,9}.

Výhodou hydrokrakování (obvykle s vroucím ložem) je větší konverze bitumenu na syntetickou ropu a lepší

Tabulka IV

Vlastnosti ropy Ural a syntetických rop získaných hydrokrakováním a hydrorafinací bitumenu¹²

Vlastnost	Premium Albian Synthetic	Heavy Albian Synthetic	Ural
Hustota při 15 °C, kg m ⁻³	847	937	863
Obsah síry, hm. %	0,04	2,1	1,55
Obsah dusíku, g kg ⁻¹	0,13	3,37	1,8
Obsah vanadu, mg kg ⁻¹	–	66	38
Obsah niklu, mg kg ⁻¹	–	29	12
Frakční složení ^a , hm. %:			
Lehký benzin (do 82 °C)	5,7	3,2	5,6
Těžký benzin (82–177 °C)	12,3	11,0	12,4
Petrolej (177–260 °C)	28,4	9,7	13,3
Plynový olej (260–343 °C)	31,1	8,5	14,5
Lehký vakuový destilát (343–454 °C)	16,7	13,7	18,0
Těžký vakuový destilát ^b (454–565 °C)	5,6	26,4	14,9
Vakuový zbytek (nad 565 °C)	–	27,1	21,3

^aDle simulované destilace, ^bu Premium Albian Synthetic zbytek nad 454 °C

kvalita, tj. lepší frakční složení a menší obsah heteroatomů, syntetické ropy. Nevýhodou jsou větší investiční i provozní náklady, velká spotřeba vodíku, a s tím související emise oxidu uhličitého^{3,9,11}.

Jako příklad je v tabulce IV uvedeno složení dvou druhů syntetické ropy získané kombinací hydrokrakování a hydrorafinace bitumenu¹², a pro porovnání i složení ruské ropy Ural. Podle požadavků odběratele lze produkovat lehkou nízkosirnou syntetickou ropu Premium Albian Synthetic, těžkou sirnou ropu Heavy Albian Synthetic (obsahuje zbytek z hydrokraku) nebo jejich směsi.

Čím hlubší konverze bitumenu se provede, tím se získá kvalitnější produkt, ale s většími náklady a s většími emisemi oxidu uhličitého. Pomocí pozdržného koksování se dosahuje cca 81% konverze bitumenu na syntetickou ropu, kombinací fluidního koksování a hydrokrakování se konverze zlepšuje na 85 % a při hydrokrakování se dosahuje až 90% konverze⁹.

Vytvoření emulze ve vodě

Vytvoření emulze extra těžké ropy ve vodě se komerčně používá ve Venezuele, kde se vyrábí emulze označovaná ORIMULSION[®], která je tvořena cca 30 % vody, 70 % extra těžké ropy a 0,5–2,0 g kg⁻¹ emulgátoru^{2,17}. Tato emulze se používá jako palivo v elektrárnách. Rozsazování emulze je proveditelné, v současné době se ale neprovádí a ani není k dispozici komerčně dostupná technologie, pomocí které by se emulze rozsazovala, aby se získaná ropa mohla použít pro výrobu motorových paliv². Další nevýhodou emulze je přeprava velkého množství vody.

7. Výhled těžby a zpracování bitumenu a extra těžké ropy

Kanada

V Kanadě se nachází velké množství bitumenových písků zejména ve státě Alberta, nejznámější ložiska jsou Athabasca, Peace River a Cold Lake¹⁰. Plocha, pod kterou se nacházejí kanadské bitumenové písky¹⁰, je asi 140·10³ km², což je téměř dvojnásobek rozlohy České republiky (78 866 km²). Celkové množství bitumenu v kanadských bitumenových píscích se odhaduje² na 270 Gt, těžitelné množství na cca 50 Gt. Podle jiného odhadu je ale těžitelné množství jen cca 28 Gt, z čehož by se mohlo produkovat cca 20 Gt syntetické ropy^{10,18}. Při započítání tohoto nižšího odhadu těžitelných zásob bitumenu k ověřeným zásobám ropy (0,94 Gt)¹³ se Kanada řadí na druhé místo hned za Saudskou Arábii (ověřené těžitelné zásoby ropy v roce 2004 cca 36 Gt)¹.

Základ kanadských bitumenových písků tvoří písková matrice s porozitou 23–37 %, která obsahuje bitumen o hustotě nejčastěji 980–1030 kg m⁻³, v některých ložiscích má ale bitumen i menší hustotu. Písky s obsahem bitumenu větším než 12 obj.% se považují za bohaté, s obsahem menším než 6 obj.% za chudé. Při extrakci hor-

kou vodou se chudé bitumenové písky samostatně nezpracovávají, protože by to bylo neekonomické, někdy se ale zpracovávají ve směsi s bohatými písky⁹. Zrna písku jsou tvořena hlavně křemenem (cca 92 obj.%), nejsou zaoblená ale trojboká a velmi tvrdá (tvrdość 7,4), což má za následek jejich velkou abrazivnost, která způsobuje značné opotřebení zařízení používaného k těžbě, dopravě a separaci bitumenových písků⁹.

Vrstva bitumenového písku je v povrchově těžitelných částech ložiska Athabasca vysoká³ typicky 40–60 m, v hlouběji uložených částech tohoto ložiska v průměru 21 m. V ostatních ložiscích je vrstva bitumenového písku obvykle menší⁵. Průměrná teplota hlouběji uložených ložisek bitumenu⁷ je 10–15 °C. U povrchově těžitelných ložisek se teplota mění v závislosti na ročním období, v zimě vodní vrstva v bitumenovém písku zamrzá, což zvětšuje jeho tvrdość, v létě bitumen měkne, což zhoršuje přepravní podmínky pro těžební techniku⁹.

Společnost Suncor Canada byla první ve světě, která začala v roce 1967 komerčně vyrábět syntetickou ropu z bitumenových písků. V roce 2003 se v Kanadě vytěžilo cca 55 Mt bitumenu, z toho cca 36 Mt povrchovou těžbou, 13 Mt v ložisku s podporou páry a cca 6 Mt v ložisku bez ohřevu¹⁰. Podle existujících, budovaných a připravovaných projektů² by v roce 2010 měla produkce syntetické ropy z *ex situ* získaného bitumenu stoupnout na 70–80 Mt rok⁻¹ a produkce extra těžké ropy a bitumenu z *in situ* projektu na cca 70 Mt rok⁻¹.

Na těžbu konvenčních druhů ropy se spotřebuje energie odpovídající jen cca 2 % výhřevnosti ropy, ale na těžbu a zpracování extra těžké ropy ve Venezuele bez zahřívání ložiska cca 11 % a na těžbu a zpracování bitumenu v Kanadě se zahříváním ložiska až 14 % výhřevnosti ropy, resp. bitumenu². Další velké množství energie se spotřebuje na přepracování vytěžených látek na syntetickou ropu. Celková spotřeba energie na výrobu jedné tuny lehké syntetické ropy dosahuje cca 10,4 GJ, což odpovídá 25 % výhřevnosti získané ropy¹⁸.

Výrazný nárůst produkce syntetické ropy z bitumenových písků proto způsobí odpovídající nárůst produkce oxidu uhličitého. V této souvislosti panují v Kanadě obavy, zda se podaří splnit závazky vyplývající z Kyotského protokolu¹⁹.

Dodací ceny, které zahrnují investiční náklady, výrobní náklady a návratnost investovaného kapitálu 10 až 12 %, se v roce 2004 v závislosti na druhu projektu a kvalitě exportované syntetické ropy pohybovaly mezi 19 až 24 USD za barel (cit.³). Pro většinu projektů proto platí, že při ceně 24 USD za barel lehké americké ropy typu WTI (West Texas Intermediate) je zajištěna dostatečná návratnost prostředků investovaných do těžby a zpracování bitumenu³, a extrémně vysoké zisky při současných cenách ropy (50–70 USD/barel ropy WTI v roce 2005).

Venezuela

Ve Venezuele se extra těžké ropy nacházejí v oblasti Orinoko Oil Belt na ploše cca 55·10³ km². Typická ložiska¹⁴ se nacházejí v hloubce 520–720 m, jsou 6–12 m vyso-

ká, mají porozitu 30–35 %, teplotu 38–57 °C a počáteční tlak 4,3–6,2 MPa. Ložiska obsahují ropu o hustotě nejčastěji 986–1020 kg m⁻³, někde i méně, v ložisku je v průměru 12 m³ zemního plynu na 1 m³ ropy¹⁴. Ropa s rozpuštěnými plyny má v ložisku viskozitu 1,2–2 Pa s (bez plynů nad 5 Pa s). Díky větší teplotě ložiska a obsahu plynu lze ropu těžít bez vyhřívání ložiska, proto je těžba této ropy levnější než těžba bitumenu v Kanadě¹⁴.

Ve Venezuele se v roce 2002 vytěžilo 24 Mt extra těžké ropy⁶, ve stádiu výstavby a studií jsou další integrované projekty na těžbu a úpravu extra těžké ropy⁶. Extra těžká ropa zředěná vhodnou lehčí frakcí se obvykle přepravuje ropovodem z místa těžby do úpravárenských podniků na pobřeží. V nich se pomocí štěpných procesů více či méně upravují vlastnosti ropy, která je pak exportována do rafinerií. Některé projekty počítají s exportem ropy s hustotou 860–900 kg m⁻³, jiné s exportem těžších rop jen do vybraných rafinerií v USA. Pokud budou realizovány všechny budované i vládou schvalované projekty, mělo by se v roce 2015 těžít cca 55 Mt extra těžké ropy, ze které by se mělo vyrobit cca 45 Mt syntetické ropy².

Dalším způsobem využití venezuelské extra těžké ropy je výroba emulze tvořené cca 30 % vody a 70 % ropy označované ORIMULSION[®]. Tato emulze je prodávána na základě dlouhodobých kontraktů jako palivo do elektráren v Japonsku, Dánsku, Itálii, Kanadě a dalších státech. V roce 2003 byla kapacita výroby emulze² 5,8 Mt, stavěla se další jednotka s kapacitou 6,5 Mt a ve spolupráci s čínskými společnostmi se připravovala další jednotka s kapacitou 6,0 Mt.

V jednání bylo několik dalších projektů na výrobu emulze, ale venezuelská státní společnost PDVSA se rozhodla nerozšiřovat její výrobu. Emulze se používá pouze jako palivo v elektrárnách a tudíž musí uspět v konkurenci s těžkými topnými oleji, uhlím a zemním plynem. Aby takto uspěla, byla její výroba zatížena jen nízkými daněmi. Při prodeji zředěné extra těžké ropy nebo syntetické ropy vyrobené z extra těžké ropy získává stát výrazně větší odvody¹⁶.

Tato práce vznikla za finanční podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky v rámci výzkumného záměru MSM 6046137304.

LITERATURA

1. British Petroleum: *BP Statistical Review of World Energy June 2005*. <http://www.bp.com/statisticalreview>, staženo 12. července 2005.
2. Saniere A., Hénaut I., Argillier J. F.: *Oil Gas Sci. Tech. – Rev. IFP* 59, 455 (2004).
3. Engelhardt R., Todirescu M.: *An Introduction to Development in Alberta's Oil Sands*. Center for Energy Economics, The University of Texas, Austin 2005. <http://www.beg.utexas.edu/energyecon/thinkcorner/>, staženo 23. srpna 2005.
4. Centre for Energy: *Oil Sands & heavy oil*. <http://www.centreforenergy.com/silos/ong/ET-ONG.asp>, staženo 21. října 2005.
5. Berkowitz N.: *Fossil Hydrocarbons, Chemistry and Technology*, str. 51 a 96. Academic Press, London 1997.
6. World Energy Council: *2004 Survey of Energy Resources* (Trinaman J., Clarke A. ed.), str. 93. Elsevier, London 2004.
7. Cupcic F.: *Proc. 2nd Int. Workshop on Oil Depletion, Paris, France, 26-27 May 2003*. (Alekkett K., Campbell C., Meyer J., ed.), www.peakoil.net/iwood2003, staženo 17. srpna 2005.
8. Lee S.: *Alternative Fuels*, str. 369. Taylor & Francis, London 1996.
9. Oil Sands Discovery Centre: *The Oil Sands Story*. http://www.oilsandsdiscovery.com/oil_sands_story/facts.html, staženo 1. října 2005.
10. Alberta Department of Energy: *Alberta's Oil Sands*. <http://www.energy.gov.ab.ca/docs/oilsands/pdfs/osgenbrf.pdf>, staženo 17. srpna 2005.
11. Alberta Chamber of Resources: *Oil Sands Technology Roadmap: Unlocking the Potential*. January 30, 2004. <http://www.acr-alberta.com>, staženo 3. října 2005.
12. Syncrude Canada Ltd.: *What we do at Syncrude*. <http://www.syncrude.com>, staženo 4. října 2005.
13. WesternOilSands: *Oil Sands Introduction*. <http://www.westernoilands.com/html/business/introduction.html>, staženo 3. října 2005.
14. Curtis C., Kopper R., Decoster E., Guzmán-García A., Huggins C., Knauer L., Minner M., Kupsch N., Linares L. M., Rough H., Waite M.: *Oilfield Review, Autumn 2002*, 30.
15. Anonym: *Hydrocarbon Process.* 84 (5), 21 (2005).
16. Mommer B.: *The Value of Extra-Heavy Crude Oil from the Orinoco Belt*. <http://proveo.org/orimulsion.pdf>, staženo 20. prosince 2005.
17. Rodriguez C.: *Orimulsion is the Best Way to Monetise the Orinoco's Bitumen*. <http://proveo.org/orimulsion.pdf>, staženo 6. října 2005.
18. Syncrude Canada Ltd: *2004 Sustainability Report*. <http://sustainability.syncrude.ca/sustainability2004/index.shtml>, staženo 9. ledna 2006.
19. Maich S.: *Maclean's* 118 (24), 34 (2005). http://www.macleans.ca/topstories/business/article.jsp?content=20050613_107308_107308, staženo 15. 7. 2005.

J. Blažek (*Department of Petroleum Technology and Petrochemistry, Institute of Chemical Technology, Prague*): **Production and Upgrading of Bitumen and Extra Heavy Oil**

Increasing consumption and price of oil together with technological progress will lead to utilization of alternative fuels including fuels produced from bitumen and extra

heavy oil. Their supplies are larger than those of conventional oils. Most of their resources lie outside the Middle East, which is of great strategic importance for industrial countries. In Venezuela and Canada, new projects are being prepared which should enhance the total production of extra heavy oil and bitumen from ca 80 megatons in 2003 to more than 200 megatons in 2013. Production and proc-

essing of bitumen and extra heavy oil are energetically very demanding and lead to large carbon dioxide emissions. At a price of 24 USD for a barrel of light oil the return on investment into production and processing of extra heavy oil and bitumen as well as extremely high profits at current oil prices are guaranteed.

VŠCHT Praha přijme pro Ústav biochemie a mikrobiologie technika laboranta/ku:

Náplň práce:

- zabezpečení chodu biochemické laboratoře po technické i administrativní stránce (zásobování chemikáliemi a jejich příprava, údržba a inventarizace technického zázemí),
- účast na přípravě a provedení laboratorní výuky předmětu biochemie,
- experimentální práce v biochemické laboratoři (spolupráce na výzkumných a vzdělávacích projektech).

Požadavky:

- SŠ chemického směru, uživatelská znalost PC,
- praxe vítána ale není podmínkou,
- v případě SŠ jiného než chemického zaměření praxe podmínkou.

Nabízíme:

- zajímavou práci v moderně vybavené laboratoři a příjemném kolektivu,
- příležitost k osobnímu rozvoji,
- pracoviště v blízkosti metra,
- zaměstnanecké výhody (pružnou pracovní dobu, příspěvek na stravování, rekreaci, penzijní přípojištění, návštěvu kulturních zařízení, přístup na internet).

Nástup:

cca 10. září 2007

Kontakt:

Ladislav.Fukal@vscht.cz , Pavel.Rauch@vscht.cz