



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
ENERGY INSTITUTE

## TEORIE ROPNÉHO ZLOMU

OIL BRAKEDOWN THEORY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

TOMÁŠ DAUBNER

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ POSPÍŠIL, Ph.D.

BRNO 2012



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2011/2012

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Tomáš Daubner

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Teorie ropného zlomu**

v anglickém jazyce:

### **Oil brakedown theory**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je věnována historickému průběhu spotřeby ropy a výhledu spojenému s teorií ropného zlomu.

Cíle bakalářské práce:

Rešeršní formou zpracujte problematiku historického průběhu spotřeby ropy a výhledů dalšího využívání. Zvýšenou pozornost věnujte Hubbertově křivce, ropné krizi v USA v roce 1973, globálnímu ropnému zlomu, globálním následkům ropného zlomu, možnostem řešení ropné krize.

Seznam odborné literatury:

Cílek Václav, Nejistý plamen: Průvodce ropným světem, 2007

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 21.11.2011

L.S.

---

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan fakulty

**Abstrakt**

Bakalárska práca „Teorie ropného zlomu“ sa zaoberá teóriou ropného zlomu a jej potenciálnych dôsledkoch pre dnešnú spoločnosť, ktorá je závislá na nepretržitých dodávkach fosílnych palív. Ropný zlom charakterizuje Hubbertova krivka, podľa ktorej ťažba ropy v čase približne opisuje Gaussovu krivku. Medzinárodná energetická agentúra v roku 2010 spätne potvrdila, že ropný zlom v ťažbe konvenčnej ropy nastal v roku 2006. Autor v práci predkladá názory popredných analytikov ropného zlomu, ktorý nepochybujú o tom, že ropný zlom v ťažbe kvapalných palív nastane do roku 2017.

**Abstract**

Bachelor thesis „Oil brakedown theory“ deals with peak oil theory and its potentially harmful consequences for contemporary society, which is addicted to continuous supply of fossil fuels. Peak oil is characterized by Hubbert curve, according to which the oil extraction in time follows bell-shaped pattern. The International Energy Agency in 2010 back recognized that peak oil in conventional oil occurred in 2006. The author presents the views of leading analysts of peak oil, which has no doubt that peak oil in liquid fuels is here by 2017.

**Kľúčové slová**

Ropný zlom, Hubbertova krivka, vyčerpanie ropy, rýchlosť vyčerpávania ropy

**Keywords**

Peak oil, Hubbert curve, oil depletion, oil decline rates

Bibliografický záznam

DAUBNER, T. *Teorie ropného zlomu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 34 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

Prehlasujem, že bakalársku prácu na tému „TEORIE ROPNÉHO ZLOMU“ som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D a s použitím odbornej literatúry a ďalších odborných zdrojov, ktoré sú všetky správne citované a uvedené v zozname použitých zdrojov na konci práce.

V Brne dňa 25.5.2012

.....

Tomáš Daubner

**OBSAH**

Abstrakt .....	5
Obsah .....	7
Úvod .....	9
1. Ropa.....	10
1.1 Svetový energetický mix.....	10
1.2 Čo je ropa ? .....	11
1.2.1 Štatistiky produkcie ropy .....	11
1.3 Konvenčná hlbokomorská ropa .....	13
1.4 Nekonvenčné metódy získavania ropy .....	14
1.4.1 Dehtové piesky (Tar sands).....	14
1.4.2 Bridlicová ropa (Oil shale).....	15
1.4.3 Skvapaľňovanie uhlia (Coal to liquids).....	15
1.4.4 Skvapaľňovanie plynu (Gas to liquids) .....	15
1.5 EROI .....	16
1.6 Celkové množstvo ropy (URR) .....	17
1.7 Ropa a poľnohospodárstvo .....	18
2. Ropný zlom .....	19
2.1 Hubbertova krivka .....	20
2.2 Inštitúcie zaoberajúce sa ropným zlomom.....	21
2.2.1 ASPO .....	21
2.2.2 IEA (International Energy Agency) .....	21
2.2.3 Kritika IEA.....	23
2.3 Ropný zlom v USA.....	25
2.4 Ropná kríza v USA v roku 1973.....	25
2.5 Globálny ropný zlom .....	26
2.6 Rýchlosť vyčerpávania konvenčnej ropy.....	28
2.7 Následky ropného zlomu .....	30
2.8 Možnosti zmiernenia ropného zlomu.....	31
Záver.....	32
Použité zdroje .....	33



## Úvod

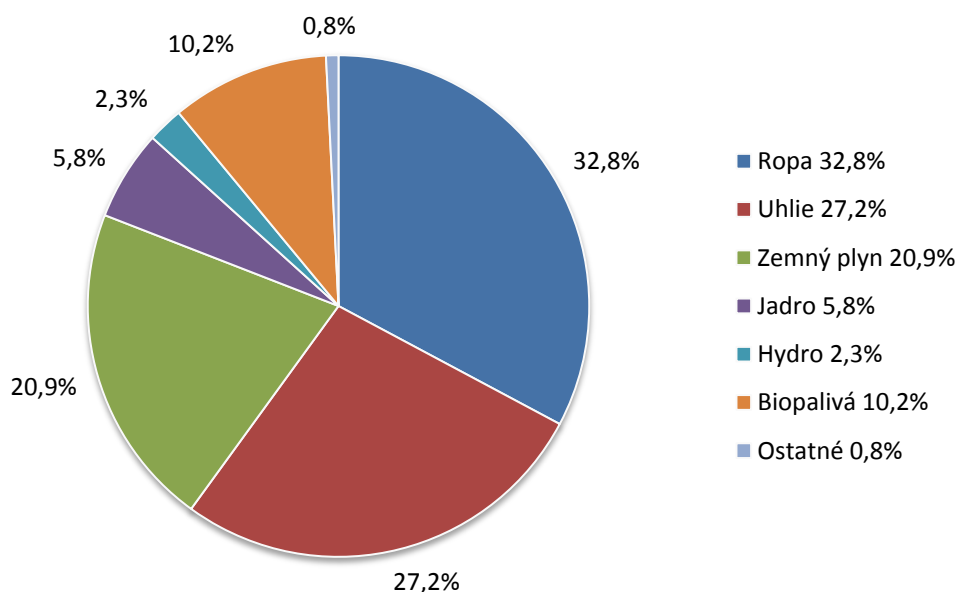
Industriálna revolúcia zmenila od základov organizáciu spoločnosti. Agrárne komunity nahradili moderné industriálne mestá. Dnes je typický moderný životný štýl viac závislý na spaľovaní uhľovodíkov z fosílnych palív ako kedykoľvek predtým. Mnohí ľudia potrebujú na normálne fungovanie dve či tri šálky kávy denne. Moderná civilizácia ako celok je oveľa náročnejšia: ak nedostane svoj denný prídel ropy a uhlia, nepohne sa z miesta.

Zaistiť stabilné dodávky energie, v akejkoľvek podobe, je nesporne dôležité a práve tu by sa mohol v budúcnosti vyskytnúť problém. V súčasnej dobe totiž spoliehame hlavne na fosílnu palivá, ktorých zásoby sú na planéte obmedzené a tak vzniká otázka, čím, kedy, ako a za akú cenu ich môžeme nahradiť. Kľúčovú úlohu pritom hrá ropa, ktorá zaujíma domoninatné postavenie medzi energetickými zdrojmi. To určite nie je prekvapenie, ak zoberieme do úvahy, ako často v médiach zaznieva otázka jej ceny na komoditných trhoch. Cieľom tejto práce je poukázať na problémy ktoré môže nastať ak bude ropa ťažená na svojej maximálnej kapacite a prípadne poukázať na závislosť dnešnej spoločnosti na tejto vzácnej surovine. S výnimkou dvoch ropných šokov v 70. rokoch svetová produkcia ropy zažila náhly rast v 20. storočí z približne 400 000 barelov za deň (b/d) v roku 1900 až na 86 miliónov b/d v roku 2011. Konzervatívne projekcie IEA (International Energy Agency) predpovedajú, že do roku 2035 môže narásť na 96 miliónov b/d. Ak sa táto predpoveď naplní, svetová produkcia ropy prekročí 2000 Gb v horizonte 135 rokov. Takmer všetky ropné produkty ktoré ľudstvo spotrebúva pochádzajú zo zdroja ktorý je neobnoviteľný. S ohľadom na túto skutočnosť, autor práce uvažuje ako dlho môže produkcia ropy rásť alebo ako dlho môže ostať na súčasnej hladine (plateau), eventuálne či môže nastať zlom (peak) v produkcii ropy nasledovaný permanentným poklesom (decline) a aký rýchly môže tento pokles byť.

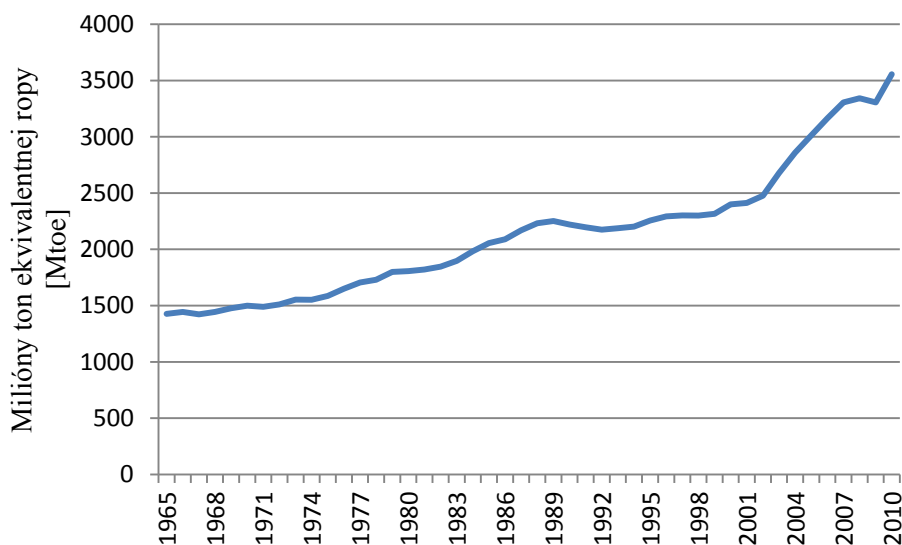
# 1. Ropa

## 1.1 Svetový energetický mix

Dostatočné dodávky energie majú zásadný význam pre hospodárstvo a blahobyt každej spoločnosti. Zo všetkých primárnych zdrojov dostupných pre ľudstvo sú 3 najdôležitejšie: ropa (33,2% ), uhlie (27,2%), zemný plyn (20,9%) (obr. 1) [1]. Ropné produkty majú oproti uhliu vysokú energetickú hustotu, ľahko sa prepravujú a svojou jednoduchou a mnohostranou použiteľnosťou sú základom mnohých energetických služieb (doprava, kúrenie, výroba elektrickej energie). V súčasnosti používame všetky významné zdroje v najvyššej miere. Spotreba uhlia sa za posledných 20 rokov zdvojnásobila (obr. 2), preto nie je korektné hovoriť, že „sme prešli z uhlia na ropu“. Alternatívne zdroje majú dnes na energetickom mixe zanedbateľný podiel. [2]



obr.1 - Rozdelenie primárnych energetických zdrojov. [1]



obr.2 – Celková ročná spotreba uhlia od roku 1965 do 2010 vyjadrená v milónoch ton ekvivalentnej ropy (Million tonnes of Oil Equivalent - Mtoe). [BP]

## 1.2 Čo je ropa?

Obyčajne sa pod pojmom „ropa“ (oil) rozumie rôznorodý mix kvapalných uhl'ovodíkov odvodených z viacerých zdrojov. Definujeme niekoľko subkategórií ropy, avšak hranice medzi nimi nie sú fixné a nie sú presne definované v dostupných dátach o produkcii ropy, ktoré sú k dispozícii od energetických agentúr (IEA, EIA). Najdôležitejšou kategóriou je tekutá ropa (crude oil) definovaná ako:

„Zmes uhl'ovodíkov, ktoré existujú v kvapalnom stave v prírodných podzemných rezervoároch a ktoré zostávajú kvapalné pri atmosferických teplotách a tlakoch.“ [3]

Zloženie ropy sa môže líšiť podľa regiónu a zvyčajne obsahuje nechcené zložky ako napr. síru a kovy. Surovú ropu klasifikujeme podľa jej hustoty meranej v stupňoch API (American Petroleum Institute), s narastajúcim API sa znižuje hustota. Bežne rozlišujeme medzi ľahkou ( $>30^{\circ}\text{API}$ ), strednou ( $20\text{-}30^{\circ}\text{API}$ ) a ťažkou ( $<20^{\circ}\text{API}$ ) ropou. Rafináciou ľahkej ropy sa získavajú produkty ako benzín a petroleje, ktoré majú vyššiu energetickú hustotu. Ropu taktiež klasifikujeme podľa jej obsahu síry. Ak ropa obsahuje viac síry, nazýva sa kyslá (sour) a ak menej nazýva sa sladká (sweet). Ľahká a sladká ropa sa predáva ako prémiová, vďaka zvýšenému dopytu po produktoch z ľahkej ropy (benzín) a kvôli regulačným obmedzeniam v emisiách síry. Ropa môže byť premenená na stovky rôznych produktov v závislosti na obidvoch spomenutých zložkách a dostupnej rafinárskej technológii. Z ropy sa vyrába široká škála produktov:

1. Pohonné hmoty do spaľovacích motorov: nafta, benzín, letecký benzín, kerosín, LPG.
2. Mazacie oleje: rôzne mazadlá, motorové, prevodové a priemyselné oleje.
3. Ostatné priemyselné produkty: topné oleje, asfalty, rozpúšťadlá.
4. Petrochemické výrobky najrôznejších zložení a použití: polyetylén, lieh, hnojivá, farby, liečivá, guma a umelé vlákna. [6]

### 1.2.1 Štatistiky produkcie ropy

Množstvo dodanej ropy do rafinérie negarantuje, že výstup na produktoch bude rovnaký. Objem dodaných surových ropných vstupov zvyčajne prevyšuje objem produktov, tento rozdiel nazývame rafinárske zisky (refinery gains). Rafinárske zisky tvorili v roku 2011 približne 3 milióny barelov (1 barel = 159 litrov) za 1 deň spracovanej surovej ropy (Mb/d). Údaje o produkcii ropy, ktoré sú dostupné zvyčajne zahrňujú do svojich štatistík aj rafinárske zisky. Ďalej sú štatistiky skomplikované tým, že veľa ložísk zemného plynu produkuje kvapalné palivá vo forme kondenzátu (tj. uhl'ovodík, ktorý kondenzuje pri povrchových teplotách a tlakoch), zatiaľ čo veľa ropných vrtov produkuje aj zemný plyn. Kondenzát produkovaný z ložísk ropy je započítavaný do štatistík ropy a kondenzát z plynových ložísk je započítavaný do štatistík ako tekutý zemný plyn (natural gas liquids - NGL). NGL alebo „mokry“ plyn, je teda sekundárny produkt ťažby zemného plynu a býva používaný ako kvapalné palivo. V USA boli v poslednej dobe zaznamenané narastajúce dodávky NGL, pretože rastie produkcia bridlicového zemného plynu, ktorý je bohatší na NGL. NGL zahŕňa kondenzáty a ľahké uhl'ovodíky ako bután a propán, ktoré sú skvapalnené v procesných továrňach na zemný plyn. Pretože sú sekundárny produkt ťažby zemného plynu, budúcnosť dodávok je určená produkciou zemného plynu. Rôzne inštitúcie delia dáta nasledovne - Venezuelská extra ťažká ropa je pre IEA (International Energy Agency) tekutá ropa ale EIA (Energy Information Administration) ju zaraďuje do

kategórie ostatné kvapalné palivá (other liquids). Pokiaľ bude možné bude v práci použitá nasledujúca terminológia:

- **konvenčná ropa:** tekutá ropa, kondenzát a NGL
- **nekonvenčná ropa:** extra ťažká ropa, dehtové piesky, ropné bridlice
- **nekonvenčné kvapaliny:** nekonvenčná ropa, skvapalnené uhlie (coal to liquids), skvapalnený plyn (gas to liquids), biopalivá
- **ropa:** konvenčná ropa + nekonvenčná ropa
- **kvapalné palivá:** ropa + nekonvenčné kvapaliny

Kvapalné palivá sa teda vyrábajú aj z biologických materiálov, ktoré sú v debatách vzťahujúcich sa k ťažbe a produkcii ropy vynechané. Mnoho vlád predpokladá, že budúcnosť patrí používaniu biologických palív zo surovín ako riasy, lesnatá, odpadová a poľnohospodárska biomasa na dopravné účely. S týmto sú spojené veľké výzvy:

1. **Sociálne** - použitie poľnohospodárskej pôdy na výrobu palív namiesto produkcie potravín.
2. **Ekonomické** - cena náhrady za biologické palivá.
3. **Enviromentálne** - deštrukcia prirodzených regiónov monokultúrou.
4. **Energetické** - biologické palivá ako etanol nemajú rovnakú energetickú hustotu ako ropa.

Napriek týmto výzvam mnoho organizácií očakáva, že biopalivá významne prispesú do dodávok kvapalných palív. Napríklad IEA odhaduje, že biopalivá môžu v roku 2035 tvoriť od 3 do 10 % spotreby kvapalných palív. OECD očakáva, že viac ako 4 % celkovej energetickej spotreby môže pochádzať z biologických palív (vrátane použitia 2. generácie celulóznych biopalív, ktoré sľubujú nepoužívanie potravinárskych rastlín na palivové účely) do 2050. EU očakáva, že v roku 2050 bude 80 % energie potrebnej v doprave pochádzať z biologických zdrojov. [4]

### 1.3 Konvenčná hlbokomorská ropa

V súčasnosti viac ako 85 % z celosvetovej produkcie kvapalných palív pochádza z konvenčných zdrojov ropy a zvyšku dominuje skvapalnený plyn (NGL). Každé ropné pole môže byť ovplyvnené "podzemnými" faktormi (geológiou poľa) rovnako tak aj "nadzemnými" faktormi (politické, ekonomické, korporátne). Akonáhle produkcia ropy z podzemných alebo nadzemných dôvodov klesne, treba nájsť nové zdroje. Napríklad v 70. rokoch produkcia z novo objavených polí na Aliaške a v Severnom mori znamenala, že západné krajiny nebudú ďalej vydané na milosť krajinám zoskupenia OPEC. Pokles produkcie na pevnine (onshore) prinútil medzinárodné ropné spoločnosti ako British Petroleum, Exxon-Mobil, Shell ťažiť ropu v mori v hlbokých (300-1500 m) a ultra-hlbkých (viac ako 1500 m) lokalitách aby udržali produkčné úrovne, pretože nie sú vítané v rade krajín produkujúcich ropu z časti vďaka vzrastu tzv. nacionalizácie energetických zdrojov. Ťažba v moriach umožnila niektorým krajinám udržať alebo zvýšiť domácu produkciu konvenčnej ropy (Angola, Brazília, Nigéria, USA).

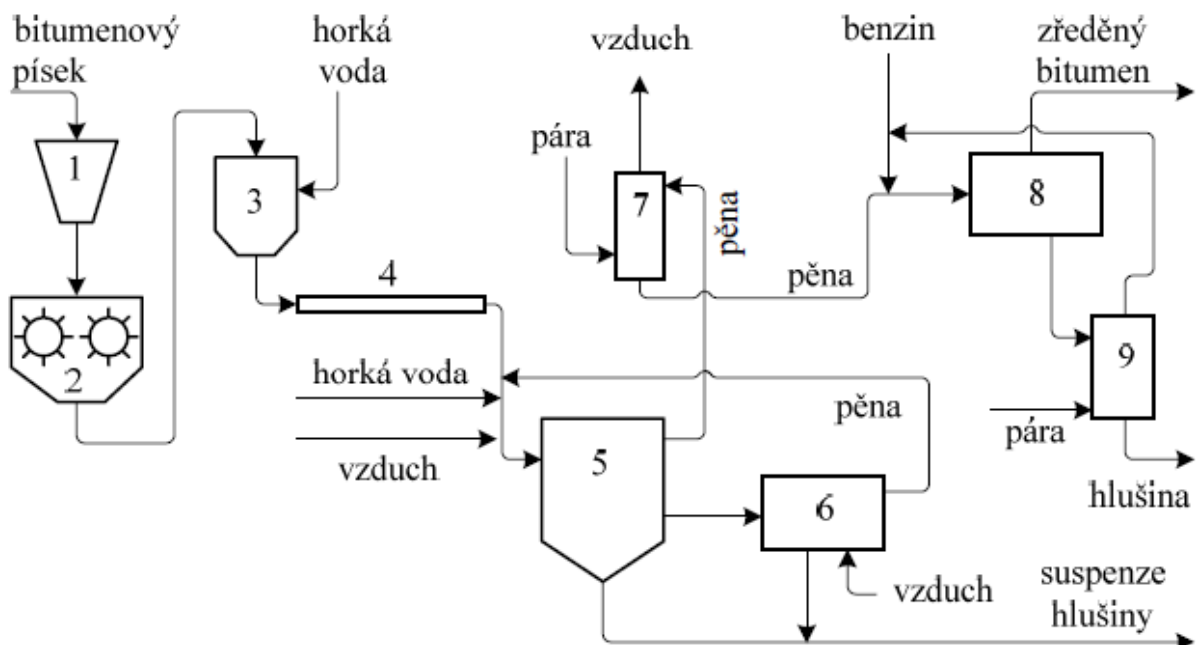
Po viac ako storočie, objavy novej konvenčnej ropy a rozvoj nových technológií pre ťažbu zaisťoval neustály zvyšujúci sa prísun ropy. Výzva ktorej čelí ropný priemysel je ako zvýšiť produkciu, keď existujúce polia sú za vrcholom svojej ťažby s rýchlosťou vyčerpávania 5 % a každoročný rast v spotrebe je odhadovaný na 1 %. Niektorí môžu argumentovať, že to čo môže prísť zajtra nie je odlišné od toho čo nastalo v 70. rokoch. Ropu treba len nájsť, dostatočne investovať a rozvíjať nové technológie. Pokiaľ je toto stanovisko pravdivé ropný priemysel sa bude sústreďovať na konvenčné zdroje v lokalitách a to hlavne na hlbokomorské a arktické zásoby konvenčnej ropy.

Veľá ľudia dávali nádej do hlbokomorských vrtovej avšak v máji 2010 väčšina odborníkov zmenila náhľad na tento spôsob ťažby. 20.4.2010 sa ťažobná plošina Deepwater Horizon, ktorá sa svojho času pýšila technickému rekordu v najhlbšom podmorskom vrte, zapísala do dejín čiernymi písmenami. Odhaduje sa, že do okolitého prostredia uniklo, za takmer 2 mesiace 5 miliónov barelov ropy. Explózia bola vidieť zo vzdialenosti 60 km a naplno ukázala enviromentálne risky, ktoré sú spojené s hlbokomorskou ťažbou. Jeden z posledných regiónov, ktorý môže poskytnúť potenciálny zdroj konvenčnej ropy je Arktída. Topenie polárnych ľadovcov znamená pre mnohé energetické veľmoci zápas o energetické zdroje. [5]

## 1.4 Nekonvenčné metódy získavania ropy

### 1.4.1 Dehtové piesky (Tar sands)

Dehtové piesky, taktiež ropné piesky alebo živичné piesky sú zmesou ílu, piesku, vody a živíc (bitumen). Ťažia sa kvôli živici, ktorá môže byť prepracovaná na ropu. Typické dehtové piesky obsahujú 70-80 % anorganických látok, 3-5 % vody, 10-18% bitumenu. Najväčšie známe náleziská ropných pieskov sú v Kanade a vo Venezuele. Ak sa dehtové piesky nachádzajú blízko zemského povrchu (0-800 m), ťažia sa v povrchových baniach. Vyťaženy materiál sa premieša s horúcou vodou a ropné živice sa zbierajú z povrchu. Živica je oveľa hustejšia než bežná ropa a aby mohla byť transportovaná cez ropovod, musí byť zmiešaná s ľahkou ropou alebo sa štiepi pomocou krakovania. Na produkciu jedného barelu ropy je potrebné v priemere 2 tony dehtového piesku. Odhaduje sa, že 80 % kanadských dehtových pieskov je príliš hlboko pod povrchom. Celkové množstvo bitumenu v kanadských dehtových pieskoch sa odhaduje na 20 Gt syntetickej ropy. Pri započítaní týchto zásob bitumenu k dostupným zásobám ropy sa Kanada radí hneď na druhé miesto za Saudskú Arábiu (36 Gt). Plocha pod ktorou sa nachádzajú kanadské dehtové piesky je približne 140 000 km<sup>2</sup>, čo je asi dvojnásobok rozlohy ČR. Pre hlbinné ťažby sú vyvíjané metódy, ktoré vyžadujú masívnu injektáž horúcej vodnej pary priamo do ložiska, čím sa živica uvoľní a môže byť vypumpovaná na povrch. Hlavnými nevýhodami je nutnosť mať v blízkosti výdatný zdroj vody a zdroj energie na produkciu pary a taktiež problém s veľkým množstvom odpadných vôd. Podľa kritikov je masová ťažba vzhľadom k týmto problémom nepredpovedateľná. Zástancovia ťažby tvrdia, že tieto technológie sa v budúcnosti zefektívnia. Palivá vyrobené z dehtových pieskov sa často zahŕňujú medzi ropné palivá, pretože bitumen je v podstate extra ťažká ropa. Kanadská asociácia pre výskum ropných produktov predpokladá, že veľkosť produkcie v roku 2030 môže byť na úrovni 3,8 - 4,5 Mb/d (závislé na výške investícií a rozvoji infraštruktúry). Na obr. 2 je schéma premeny bitumenu na kvapalné palivo. [7]



obr.2 - Schéma premeny bitumenu na syntetickú ropu

(1 - zásobník suroviny, 2- drtič, 3- miešič, 4- hydrotransport, 5 – primárny separátor, 6 - flotácia, 7 – odlučovač vzduchu, 8 – sústava doskových usadzovačov a centrifúg, 9 – regenerácia benzínu ). [6]

### 1.4.2 Ropné bridlice (Shale oil)

Ropné bridlice je súhrnné označenie usadených hornín, ktoré obsahujú organický materiál, nazývaný kerogén. Jeho podiel sa pohybuje medzi 10-30 % a môže byť priemyselným procesom premenený na syntetickú ropu alebo plyn. Podstatou procesu je ohrev materiálu na medzu termickej stability (500°C) prítomných organických zlúčenín, čo vedie k štiepeniu až na stále nízkomolekulárne produkty a tuhý zbytok. Bočné raťazce z vysokomolekulárnych organických látok sa odštiepia a makromolekulárne štruktúry sa premienia na kvapalné organické produkty a pevný uhlík. V súčasnosti sú technológie tak vyspelé, že niektoré korporácie dokážu kerogén oddelovať hneď v mieste náleziska. Najväčšie množstvo asi 70 % sa nachádza v USA v oblasti Green River, na území štátov Wyoming, Utah a Colorado. Energetický zisk pri všetkých doterajších metódach premeny na ropu je veľmi nízky. Navyše vznikajú jedovaté ťažko odstrániteľné odpady. Preto môžeme vychádzať z toho, že ropné bridlice zatiaľ nie sú náhradou konvenčnej ropy. V priemere jedna tona bridlicovej skaly produkuje jeden barel bridlicovej ropy. Získavanie ropy z ropných bridlíc je obecné náročnejšie proces ako získavanie ropy z dehtových pieskov, pretože kerogén je silnejšie pripútaný k okolitému substrátu. Technológia použitá pri ťažbe ropných bridlíc sa používa v USA od roku 1947 a ide o proces pri ktorom sa za pomoci hydraulického fracturing stimuluje vrt. Napriek periodicky sa opakujúcim predpovediam, že ropné bridlice by mohli nahradiť konvenčné dodávky ropy, jej aktuálna produkcia je do 1 % celosvetovej produkcie ropy. [7]

### 1.4.4 Skvapalňovanie uhlia (Coal to liquids)

Uhlie obsahuje v porovnaní s ropou veľké množstvo balastných látok, tj. popolovín a vody. Horľavina uhlia má veľký obsah heteroatómov (kyslík, dusík, síra). Niektoré druhy uhlia sa tepelne karbonizujú na koks alebo polokoks, ako vedľajší produkt sa pri karbonizácii získava deht a karbonizačný plyn. K najväčšiemu rozvoju skvapalňovania uhlia došlo v Nemecku, ktoré sa pripravovalo na vojnu a bolo si vedomé možnosti odstavenia od tradičných zdrojov ropy. V roku 1940 bolo v prevádzke 12 tovární na výrobu syntetických pohonných hmôt hydrogenáciou uholných dehtov s kapacitou približne 4 Mt benzínu. V súčasnej dobe sú v Sasole v JAR v prevádzke 3 závody na výrobu kvapalných palív nepriamym skvapalňovaním uhlia na báze Fischer-Tropschovej (FT) syntézy, ktoré majú dohromady kapacitu približne 8 Mt ropných produktov.

Skvapalňovanie uhlia je investične a prevádzkovo nákladnejšie ako spracovanie ropy. Výrobu kvapalných palív z uhlia môžeme robiť:

1. Pyrolýzou (karbonizáciou) uhlia, ktorou sa vyrobí deht, ten sa hydrogenuje alebo hydrokrakuje na syntetickú ropu alebo pohonné hmoty.
2. Priamym skvapalňovaním uhlia, tj. uhlie sa v suspenzii vhodnej nosnej kvapaliny hydrokrakuje na syntetickú ropu.
3. Nepriamym skvapalňovaním uhlia, pri ktorom sa uhlie najprv splyňuje na syntézny plyn (zmes CO a H<sub>2</sub>), z ktorého sa syntetizuje zmes uhľovodíkov.

Predpokladá sa, že do roku 2030 by sa mohlo produkovať touto metódou 1 Mb/d syntetickej ropy. Typický výnos dnes predstavuje 1 až 2 barely ropy na 1 tonu uhlia. [7]

### 1.4.3 Skvapalňovanie plynu (Gas to liquids)

Premena zemného plynu na kvapalné palivo sa robí obdobným spôsobom ako nepriame skvapalňovanie uhlia. Zo zemného plynu sa najskôr parným reformovaním vyrobí syntézny plyn a z neho sa Fischer-Tropschovou (FT) syntézou vyrobia kvapalné palivá, ktorých vlastnosti sa potom upravujú bežnými rafinérskymi technológiami. Továrne na

výrobu kvapalných palív zo zemného plynu sa stavajú výhradne v krajinách ťažiacich zemný plyn (Katar, Nigéria). K výrobe sa využíva hlavne ložiskový zemný plyn ťažený spoločne s ropou. Predpokladá sa, že do roku 2030 by sa mohlo získavať touto metódou 0,65 Mb/d syntetickej ropy. [7]

## 1.5 EROI

Z pochopiteľných dôvodov všetky energetické zdroje musia priniesť viac energie ako je potrebné na ich získanie. Inak by nefungovali ako energetický zdroj a neboli by schopné dodať užitočnú energiu. Každé mysliteľné energetické médium vyžaduje určité množstvo energie k tomu, aby sme ho mohli používať ako energetický zdroj. Produkcia ropy sa normálne meria v bareloch alebo v energetickom obsahu (GJ). Toto meranie však zanedbáva energiu, ktorá je potrebná na nájdenie, vyťaženie, prepravu a rafináciu produkujúcu už hotové ropné výrobky. Náklady na produkciu ropy s časom vzrástli ako dôsledok objavov stále menších ropných polí, v stále horších a ťažšie dostupných lokalitách (hlbokomorské vrty) a posúvaniu sa k nekonvenčným zdrojom. Toto by sme mohli nazvať dodaný proces alebo jednoducho „investovaná energia“ (invested energy). Energia ktorá je vyprodukovaná za životný cyklus každého jedného ropného poľa, uholnej bane, veternej farmy alebo iného typu energetického zdroja môžeme nazvať tiež jednoducho „získaná energia“ (returned energy). Koeficient EROI nám potom jasne hovorí o efektívnosti jednotlivých zdrojov. EROI sa počíta z nasledujúcej jednoduchej rovnice:

$$\text{EROI} = \frac{\text{energia získaná ER}}{\text{energia investovaná EI}}$$

Toto meranie môže mať rôzne formulácie a názvy, známe sú napr EROI (Energy Return On Investment), energy profit ratio (EPR) alebo čistý energetický zisk. Čisté energetické zisky fosílnych palív sa stále znižujú vo veľa častiach sveta ako následok vyčerpania tých najlepších zdrojov a uholných ložísk. Ropný priemysel sa teraz sústreďuje na využívanie menej energeticky obľúbených formácií. Pre porovnanie sú v tab. 2 uvedené hodnoty rôznych zdrojov energie.

Napríklad koeficient EROI pre ropu vyťaženú v roku 1930 v USA bol 100:1 zatiaľ čo dnes dosahuje približne hodnoty v priemere 20:1. Globálne EROI ropy a plynu vyťaženej v roku 1992 bolo 26:1 zatiaľ čo v rok 2006 18:1. Energetické náklady na premenu kvapalnej ropy na motorové palivá sa ďalej znižujú na približne hodnotu 10:1. Avšak hodnota EROI konvenčnej ropy ostáva stále oveľa vyššia ako EROI väčšiny náhradných palív (etanol).

Projekty, ktoré premieňajú energeticky menej hodnotné nosiče ako napríklad uhlie do viac oceňovaných kvapalných palív môžu mať nejaký finančný zmysel aj keď výsledkom tohto procesu je častokrát čistá energetická strata. Zmeny EROI pre kvapalné palivá sú ťažko predvídateľné a sú ignorované väčšinou energetických analytikov, ktorí preferujú meranie nedostatku na základe ceny alebo nákladov. Tento predvídateľný pokles v dostupnosti čistej energie pre spoločnosť má dôležité následky, ktoré by nemali byť prehliadané. [8]

<b>Energetický zdroj</b>	<b>EROI</b>
<b>Neobnoviteľné energetické zdroje</b>	
Ropa a zemný plyn (v roku 1930)	80 až 100
Ropa a zemný plyn (v roku 2000)	20 až 30
Uhlie (bane v roku 1950)	70 až 80
Uhlie (bane v roku 2000)	20 až 60
Jadro	5 až 15
Skvapalnené uhlie	1 až 3
Dehtové piesky	2 až 5
<b>Obnoviteľné energetické zdroje</b>	
Solárne kúrenie	5 až 10
Fotovoltaika	7 až 15
Veterná energia	15 až 35
Vodná energia	15 až 60
Geotermálna energia	4 až 12
Etanol	1 až 3

tab. 1 – EROI rôznych energetických zdrojov. [9]

## 1.6 Celkové množstvo ropy (URR)

Číslo URR (Ultimately Recoverable Resources) reprezentuje množstvo ropy, ktoré je odhadované, že by mohlo byť vyťažené z ropného poľa, z daného regiónu alebo celosvetovo za celý čas odkedy bola produkcia začatá až po jej koniec. Toto číslo neustále narastá (tab. 2), pretože čím je ropa drahšia tým viac ťažko dostupnej ropy prechádza do tejto kategórie.

<b>Dátum</b>	<b>Autor/skupina</b>	<b>Uhl'ovodík</b>	<b>Množstvo [Gb]</b>
1956	Hubbert	Konvenčná ropa	1250
1972	Konferencie OSN	Konvenčná ropa	2500
1977	Hubbert	Konvenčná ropa	2000
1981	Svetová banka	Konvenčná ropa	1900
1995	Petroconsultants	Konv. ropa bez NGL	1800
1997	Lahrre	Kvapalné palivá	2700
1998	IEA	Konvenčná ropa	2300
1999	USGS	Konvenčná ropa	2000
2000	Barlett	Konvenčná ropa	2000-3000
2002	BGR	Konvenčná ropa	2670
2003	Bauquis	Kvapalné palivá	3000
2003	Lahrre	Kvapalné palivá	3000

tab.2 - Predpokladaný odhad celkového množstva ropy. [3]

## 1.7 Ropa a poľnohospodárstvo

V 50. rokoch 20. storočia prešlo poľnohospodárstvo zásadnou reformou, často označovanou ako „Zelená revolúcia“. Zelená revolúcia spočívala v industrializácii poľnohospodárstva. Medzi rokmi 1950 a 1960 vzrástla produkcia obilia v USA o 250 %. Tento nárast nepochádzal zo zvýšeného využívania slnečnej energie. Energia získaná Zelenou revolúciou pochádza z fosílnych palív vo forme umelých hnojív (zemný plyn), pesticídov (ropa) a závlaha poháňanej fosílnymi palivami. Spotreba energie v poľnohospodárstve sa skladá z:

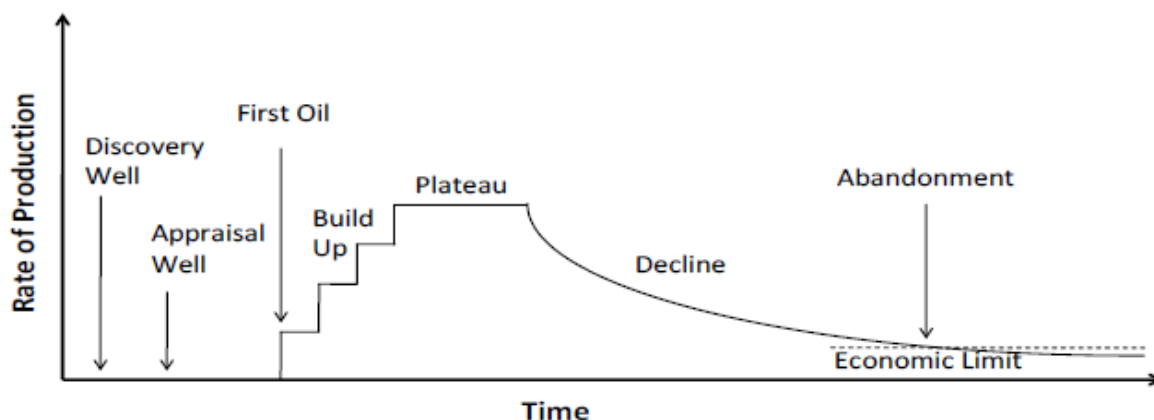
- 31 % pre výrobu umelých hnojív
- 19 % pre pohon poľnohospodárskych strojov
- 15 % pre transport
- 13 % pre zavlažovanie
- 8 % pre chov dobytka (nezahrňuje potravu pre dobytok)
- 5 % pre výrobu pesticídov
- 8 % ostatné

Energie potrebné pre balenie, chladenie, dopravu do maloobchodných predajní a domácu prípravu jedla nie sú v týchto číslach zarátané. Moderné poľnohospodárstvo, ktoré umožnilo populačnú explóziu, si dnes bez ropy nedokážeme predstaviť.[10]

Ďalší nebezpečný element, ktorý dnes v poľnohospodárstve nachádzame je produkcia biopalív. Spojené štáty spotrebujú viac než 1/4 svojej obilnej produkcie na výrobu etanolu, v číslach to potom znamená, že takéto množstvo obilia by nasýtilo 350 miliónov ľudí za celý rok, čo je viac ako 1/3 dnešného počtu hladujúcich. Ak zoberieme do úvahy celý životný cyklus biopalív vrátane priamych a nepriamych vplyvov na používanie pôdy a životného prostredia, úspory skleníkových plynov sú nízke a dokonca záporné. Mnoho medzinárodných organizácií (Svetová banka, Medzinárodný menový fond, OECD) sa ďalej zhoduje, že boom biopalív značne ovplyvňuje ceny potravín, ktoré v posledných rokoch (2008,2011) rástli neobvyklým tempom. To pociťujú chudobní obyvatelia rozvojových krajín, pretože za nákup potravín utracajú medzi 60 a 80% svojich príjmov. Produkcia etanolu má veľmi nízke hodnoty koeficientov EROI a bez lacnej ropy by nebola možná. [11]

## 2. Ropný zlom

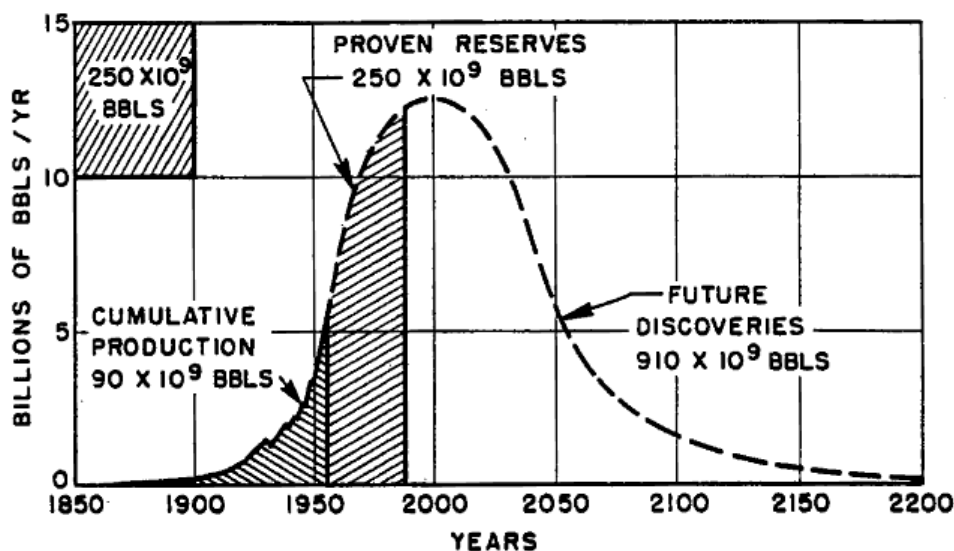
Ropný zlom v angličtine “Peak Oil“ je termín používaný na určenie bodu, keď množstvo ropy, ktorá môže byť vytážená zo zeme na danom území alebo z daného ropného poľa dosiahne vrchol, pretože ťažba dosiahla svoje geologické limity. Ďalšia ťažba ropy sa stáva ťažšou, takže ekonomicky eskaluje a množstvo vyprodukovanej ropy začína klesať. Termín “ropný zlom“ je všeobecne používaný na popísanie celosvetového poklesu produkcie, ale podobný fenomén existuje pre individuálne krajiny. Najviac diskutovaný je na tejto teórii dátum, kedy má tento vrchol nastať. To čo sa stane nie je jednoducho povedané “koniec ropy“. Produkcia ropy jednotlivých polí je vždy sprevádzaná zo začiatku nižšou úrovňou ťažby vyjadrenej v bareloch za deň, ktorá je nasledovaná pridávaním vrtov a tým zvýšením celkovej ťažby. Ropné spoločnosti vedia ako sa môže udržať produkcia: navrtaním vrtov v okolí, vŕhnaním plynu a vody na udržanie tlaku a aplikovaním novej ťažobnej techniky. Do dnešnej doby dosiahla ťažba vrchol v mnohých oblastiach, napr. v Severnom mori v roku 1999 (v súčasnosti klesá produkcia 10-12 % za rok). Teória neznamená, že po ropnom vrchole ropa náhle dojde, ale že sa jej ťažba bude postupne znižovať. Vzhľadom ku skutočnosti, že ropa sa vo väčšej miere začala používať asi pred 150 rokmi, môžeme očakávať, že zhruba rovnaký čas by mohla ťažba pokračovať po jej vrchole. Ropnému vrcholu sa niekedy hovorí aj „Koniec lacnej ropy“. Cyklus veľkého ropného poľa je uvedený na obr. 3. Plateau znamená hladinu pri ktorej sa produkcia nezvyšuje ale po ktorej nasleduje pokles (decline).



obr. 3- Produkčný cyklus ropného poľa. [12]

## 2.1 Hubbertova krivka

Ťažba ropy podľa tejto teórie sleduje tzv. Hubbertovu krivku podobnú Gaussovej krivke (obr.4). Geológ Marion King Hubbert, otec tejto teórie, sledoval ťažbu ropy v Spojených štátoch od 50. rokov 20. storočia. Spozoroval, že najviac amerických ropných nálezísk bolo nájdených počiatkom 30. rokov 20. storočia a predpovedal, že ťažba ropy v USA dosiahne svojho vrcholu okolo roku 1970. V roku 1971 dosiahla ťažba skutočne vrchol a od tej doby v súlade s teóriou klesá. Hubbert rozpoznal jednoduchý vzorec určujúci bežný vrt. Krátko po objave ložiska ťažba prudko expanduje a ropu môžeme ťažiť veľmi lacno. Objem vytťaženej suroviny exponenciálne rastie. Postupne sa však podmienky pre dobývanie zhoršujú, inžinieri nasadzujú sekundárne metódy ťažby, mapujú ložisko, nasadzujú najmodernejšie technológie, ktoré sú dostupné. Celý proces extrakcie sa postupne predražuje a spomaľuje. Nasleduje zostupná fáza, kedy cez všetku snahu pomer ťažby za jednotku času klesá. Kedysi v USA existovali lokality, kde ropa prirodzene vyvierala na zemský povrch. Teraz sa ropa získava pomocou vrtov. Väčšinou je v nálezisku spoločne s ropou prítomný aj zemný plyn, ktorý zaisťuje potrebný tlak a tak môže ropa samovoľne vytekať na povrch. To sa nazýva primárny spôsob ťažby. Obvykle sa takto dá získať okolo 20 % ropy obsiahnutej v nálezisku. S postupom času ako tlak klesá až k bodu, kedy musia nastúpiť sekundárne metódy, ako čerpanie ropy pomocou čerpadiel, alebo udržiavanie podzemného tlaku vodnou injektážou, napumpovaním zemného plynu, vzduchu, prípadne CO<sub>2</sub>. Dohromady sa primárnymi a sekundárnymi metódami podarí vytážiť 25 – 40 % celkového množstva ropy. Terciárne metódy nastupujú v okamihu, keď už ani sekundárne metódy nestačia na udržanie produkcie a ťažba je ešte stále ekonomická, čo závisí na aktuálnej cene ropy a výške ťažobných nákladov. Ich princípom je zníženie viskozity zostávajúcej ropy, väčšinou injektážou horúcej vodnej pary. Niekedy sa ropa rozohrieva zapálaním časti ropného ložiska. Terciárne metódy dovoľujú vytážiť ďalších 5 – 15 % ropy z náleziska. [6]



obr. 4 - Celková produkcia ropy založená na počiatkových rezervách 250 milárd barelov.

[13]

## 2.3 Inštitúcie zaoberajúce sa ropným zlomom

### 2.3.1 ASPO (The Association for the Study of Peak Oil & Gas)

Pri všetkých prácach, ktoré skúmajú ropný zlom narazíte na skratku ASPO tj. združenie pre štúdium ropného zlomu. ASPO je neformálna sieť vedcov, členov a spolupracovníkov európskych inštitúcií a univerzít zaoberajúcich sa určením dát a dopadov vyvrcholenia a poklesu svetovej produkcie ropy a plynu, hlavne s ohľadom na obmedzenosť zdrojov. Poslaním ASPO je:

1. Definovať a posúdiť svetové zásoby ropy a plynu
2. Modelovať vyčerpanie zdrojov s prihliadnutím k dopytu, ekonomike, technológii a politike
3. Posilovať uvedomie si závažných následkov pre ľudstvo

ASPO má dnes 26 členov v 14 krajinách. Myšlienka ASPO vznikla v Nemecku v decembri 2000 za účasti bývalého zamestnanca ťažiarkej spoločnosti Colina Campbella a vtedajšieho šefa nemeckej inštitúcie BGR (Spolkový úrad pre geológiu a nerastné suroviny) prof. Wellmera, neskôr sa jej ujal dnešný riaditeľ ASPO profesor Kjell Aleklett z univerzity v Uppsale vo Švédsku, kde sa v máji 2002 konala prvá medzinárodná konferencia k téme „Peak Oil“ a kde dnes ASPO sídli. 10. konferencia sa koná tento rok 30. mája a 1. júna (2012) vo Viedni a je zameraná na nekonvenčné zdroje ropy a plynu, ekonomické dôsledky zvyšujúcich sa cien fosílnych palív. Veľmi silnou stránkou publikačnej činnosti ASPO sú ich Newsletters na webe írskej odnože ASPO, ktoré Colin Campbell osobne rediguje už od januára 2001 (peakoil.net). Zásadným textom, ktorý ASPO publikovalo je návrh „Protokolu o vyčerpaní“, nazývaný tiež podľa miesta kde bol prejednaný či dotváraný, „Uppsalský protokol“. Prvý návrh protokolu publikoval Colin Campbell už v roku 1995. Ide o analógiu takých dokumentov, akými sú napr. Montrealský protokol (1987) o frónoch alebo Kjótsky protokol o globálnom otepľovaní. [14]

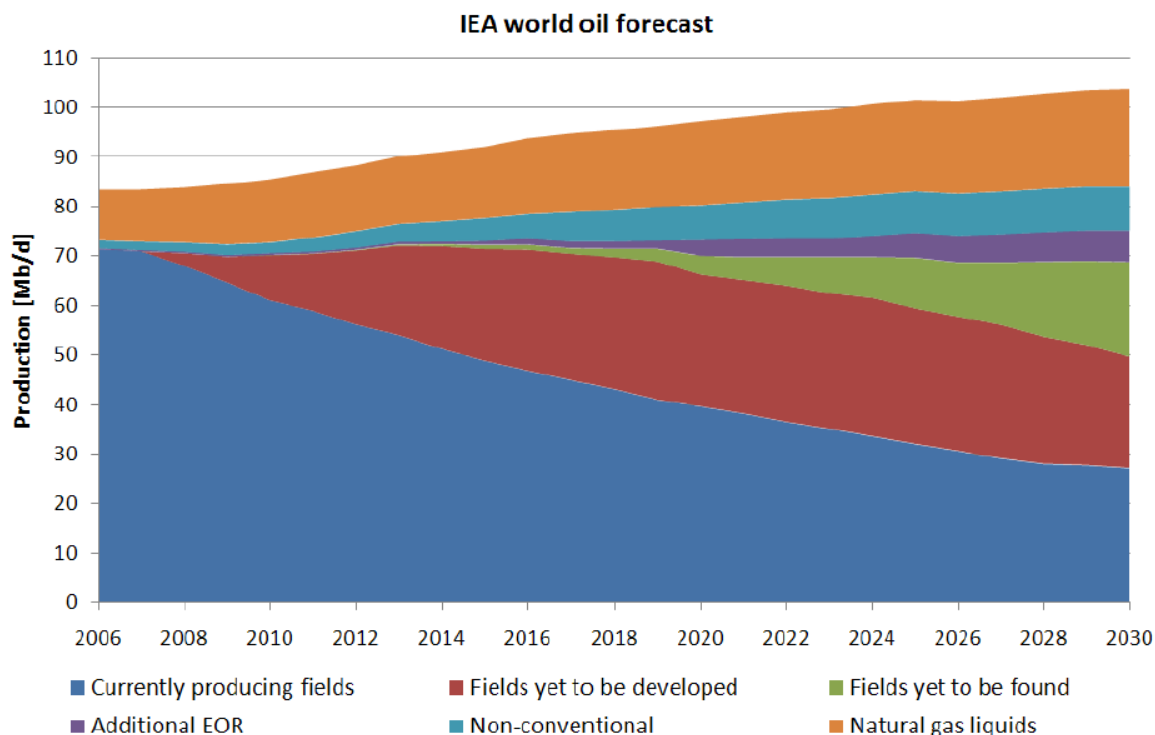
### 2.3.2 IEA

Medzinárodná energetická agentúra (International Energy Agency) je autonómna organizácia, ktorá pracuje na zabezpečení spoľahlivej, cenovo dostupnej a čistej energie pre 28 členských krajín a má hlavné slovo ako energetický poradný orgán EU a USA. Bola založená kvôli ropnej kríze v rokoch 1973-74 a jej počiatočná úloha bola pomôcť krajinám koordinovane a kolektívne postupovať proti ropným výpadkom v dodávkach uvoľnením núdzových ropných rezerv na trh. Toto bola hlavná úloha organizácie v jej počiatkoch, neskôr sa začala rozvíjať a rozširovať pole pôsobnosti. Dnes je stredobodom pozornosti pri svetovom energetickom dialógu, poskytuje ako autorita výskum, štatistiky, analýzy a odporúčania, na základe ktorých sa riada energetické koncepcie ministerstiev členských štátov. V roku 2008, keď svet vstupoval do recesie, IEA vo svojej každoročnej správe WEO (World Energy Outlook) 2008 deklarovala, že dostatočné investície môžu zaistiť spoľahlivé dodávky ropy do roku 2030 (obr. 5), ale obsahovala jedno nebezpečné pozorovanie.

*„Pri súčasných trendoch, nahradenie ropy, ktorá sa teraz ťaží a ktorá bude vyčerpaná do roku 2030, tak aby sa uspokojil globálny dopyt po rope bude potrebné nájsť nové produkčné kapacity rovné približne 6x súčasným rezervám Saudskej Arábie“ [15]*

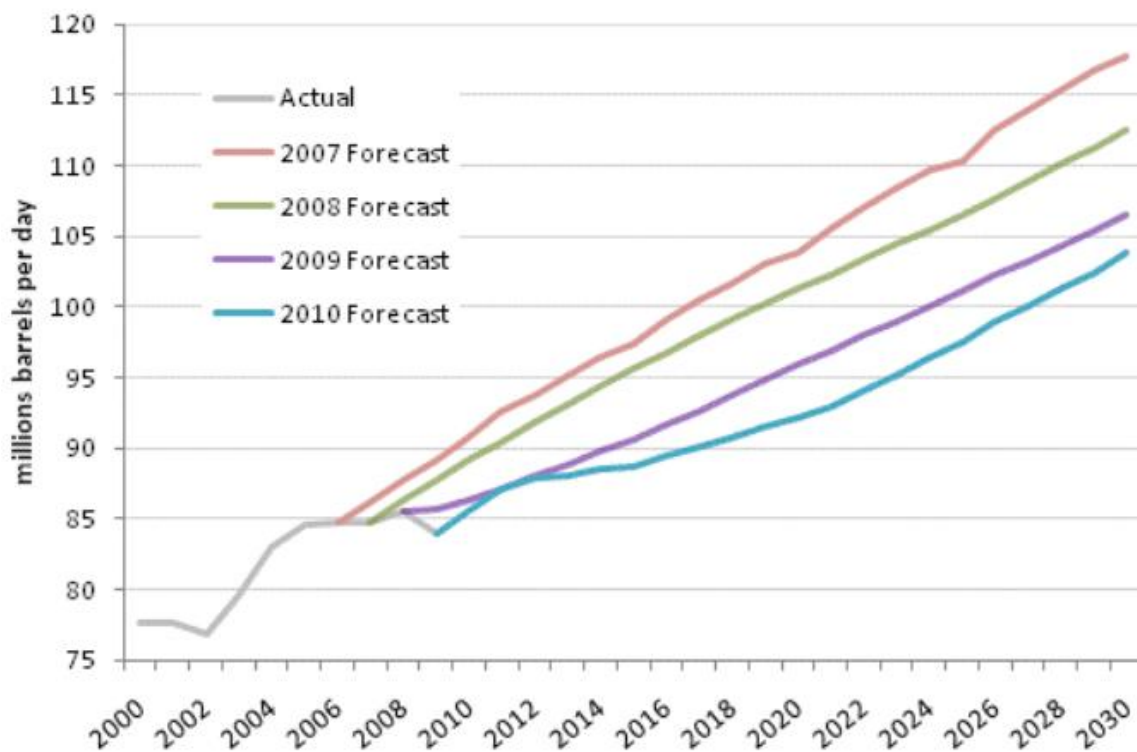
Tento komentár bol v absolútnom protiklade z predchádzajúcimi vyhláseniami IEA, ktoré deklarovali, že do roku 2030 nenastane problém s ropou. Zaujímavé bolo keď sa v nasledujúcej správe v roku 2009 IEA vrátila späť ku svojim optimistickým víziám.

V tom istom roku skupina ľudí okolo profesora Alekletta (riaditeľ ASPO) z univerzity v Uppsale vo Švédsku analyzovala metodológiu IEA a vyvodila isté pochybnosti o týchto „príliš optimistických predpokladoch“ a vypracoval vlastnú štúdiu, ktorá predpokladá v roku 2030 nižšiu produkciu ropy ako dnes (štúdia z roku 2008 „The Peak of the Oil Age“). [16]



obr. 5 - Projekcia produkcie kvapalných palív podľa WEO 2008. [16]

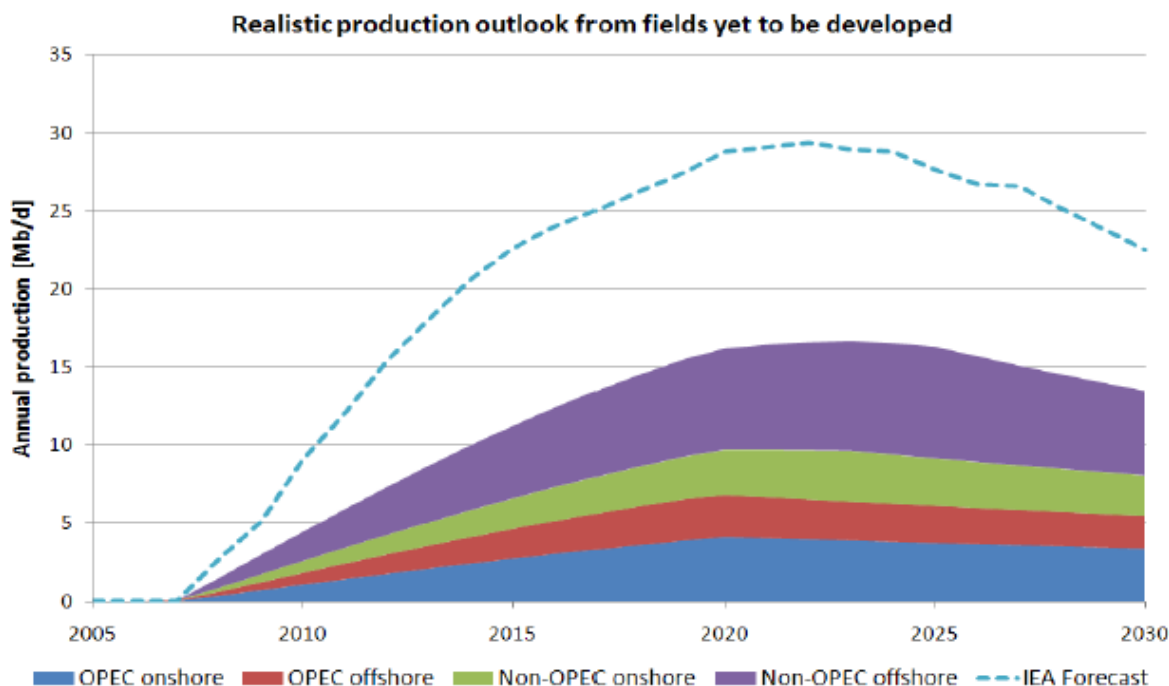
WEO 2008 bola taktiež prvá štúdia, v ktorej sa táto organizácia rozhodla preskúmať rýchlosť vyčerpávania konvenčnej ropy po ropnom zlome, asi aj preto štúdia WEO 2008 nebola až tak optimistická. V nasledujúcich štúdiách IEA sa však hodnota rýchlosti vyčerpávania znížila z 3,6 na 3,1 Mb/d. V ďalšej správe WEO 2010 bola projekcia do budúcnosti opäť optimistickjšia ako v roku 2008 a bolo to hlavne vďaka tomu že IEA vo svojich modeloch znížila odhad rastu dopytu po čiernom zlate oproti predchádzajúcim štúdiám. Táto redukcia bola založená na predpoklade, že zefektívnenie využívania ropy bude 3 % ročne a nie 2 % ako IEA používala predchádzajúcich 15 rokov, čo má v konečnom dôsledku znamenať ušetrenie 2,1 Mb/d v roku 2015. Ďalším podnetom k optimizmu bolo očakávanie vyššej produkcie z nových zdrojov hlavne z Brazílie, Iraku a kanadských dehtových pieskov. Ďalšou organizáciou ktorá pracuje pre federálnu vládu USA je EIA (Energy Information Administration). Na obr.6 je vidno jej rastúci pesimizmus respektíve klesajúci optimizmus v predpovediach do budúcnosti. [17]



obr.6 – Klesajúci optimizmus v predpovediach EIA. [EIA IEO 2007-2010]

### 2.3.3 Kritika IEA

Ako som už vyššie spomenul skupina ľudí okolo riaditeľa ASPO Alekletta sa rozhodla vypracovať v roku 2008 alternatívny pohľad na ťažbu ropy v nasledujúcej dekáde. Bola to reakcia na najpesimistickejšiu štúdiu IEA z roku 2008 a výsledok ich analýzy bol, že IEA je vo svojich predpovediach stále nehorázne optimistická. Najväčšie nedostatky Uppsalská skupina našla v subkategórii „ropné polia ktoré sa rozvíjajú“ a „polia ktoré ešte len budú objavené“ (Fields yet to be developed a Fields yet to be found). WEO 2008 predpokladá produkciu v roku 2030 na úrovni 106,4 Mb/d zatiaľ čo Uppsalská skupina len 75,8 Mb/d. Najväčšie rozdiely sú vidieť v spomenutých 2 oblastiach a to „rozvíjajúce sa“ (22,5 vs 13,6 Mb/d) a „ešte neobjavené“ (19,2 vs 8,7 Mb/d), prakticky žiaden rozdiel sa nenašiel v ostatných subkategóriách. IEA pristupuje ku každému ložisku z kategórie „rozvíjajúce sa“ ako k ekonomicky efektívnemu. Je veľmi pravdepodobné že 25-50 % ropy z tejto kategórie nikdy nebude využitá za efektívnych hodnôt EROI, takže minimálne ju nemôžeme rátať do kategórie „lacná ropa“. Rozdiel medzi predpoveďou v subkategórii „rozvíjajúce sa polia“ Uppsalskej skupiny a IEA je uvedený na obr. 7.



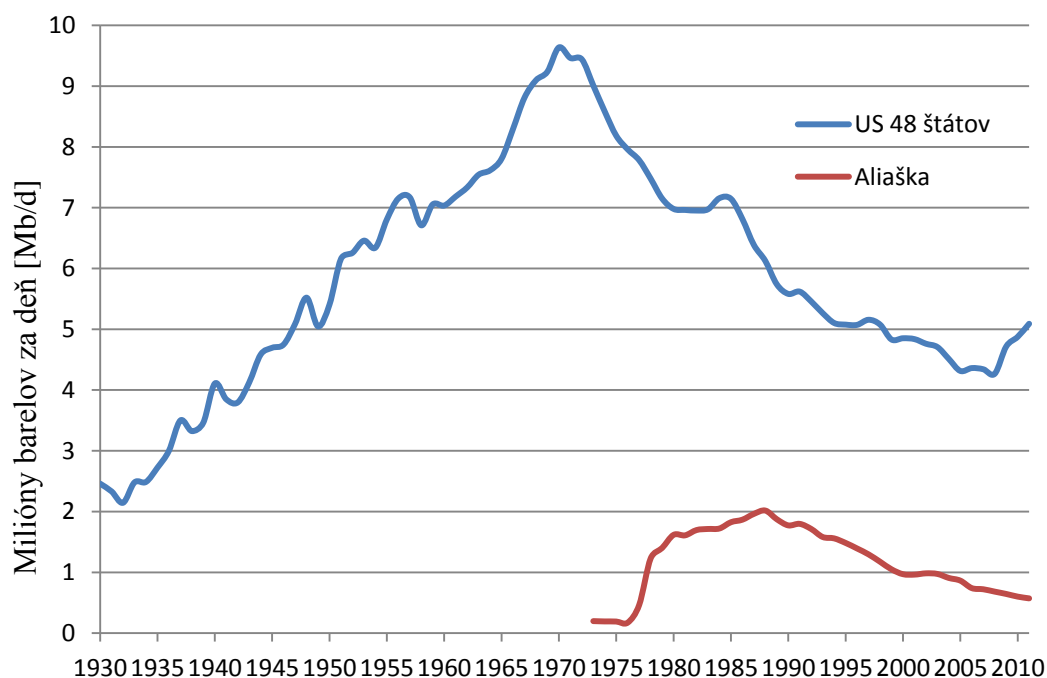
obr. 7 - Realistická projekcia produkcie ropy z rozvíjajúcich sa polí podľa Uppsalskej skupiny. [16]

Treba povedať, že ak sa na to pozrieme spätne a obidve štúdie porovnáme s dnešnými dátami pravda je niekde uprostred. Produkcia od roku 2006 vzrástla na súčasných 89 Mb/d a nie ako to predpovedala Uppsalská správa (pod 85 Mb/d). Bolo to vďaka dostatočným investíciám presne ako to odporúčala IEA. Naopak Uppsalská štúdia má zase pravdu v tom, že tieto zdroje už nemôžeme nazývať lacnou ropou a je jasné že zvýšenú kapacitu raz dobehne zvýšený dopyt a to nás dostane do bezprostredného zlomu. Vnútorne sa môže IEA stále viac posúvať k tomu čo navrhuje Uppsalská štúdia, teda prechádzať do role pesimistickejšej, ktorú potvrdzujú nasledujúce slová prednesené na konferencii World Energy Congress v Montreale v septembri 2010 doktorom Fatih Birolom, hlavným ekonómom IEA:

*„Z pohľadu dodávok ropy sme už za érou lacnej ropy... Väčšina lacnej ropy v industrializovaných krajinách už bola využitá a čo ostáva sú hlbokomorské ložiská a dehtové piesky v Kanade, ktoré vyžadujú predajné ceny ropy na vyššej úrovni aby boli výnosné“ [17]*

## 2.4 Ropný zlom v USA

Pred 40 romi USA produkovali najviac ropy na svete, takmer s 50 % podielom na svetovej produkcii. Od 70. rokov presne ako v roku 1956 predpovedal Hubbert, americká ropná produkcia klesá (obr.8). Rozvoj polí na Aliaške s najväčším ropným poľom v USA (Prudhoe Bay) mohol tento pokles nachvílu zadržať, ale aj tento ropný región prešiel svojim ropným zlomom. Okolo roku 1980 bola preskúmaná hlbokomorská ťažba v Mexickom zálive, ktorá viedla k objaveniu väčších ropných polí, z ktorých sa začalo ťažiť až v polovici 90. rokov. Tieto polia boli čerpané tak rýchlo, že už počas prvých rokov produkcia dosahovala svoj vrchol a dnes udržuujú produkciu kvapalných palív v USA na úrovni 5,5 Mb/d. [6]



obr.8 Produkcia ropy na území USA. [vlastná tvorba zo štatistík EIA]

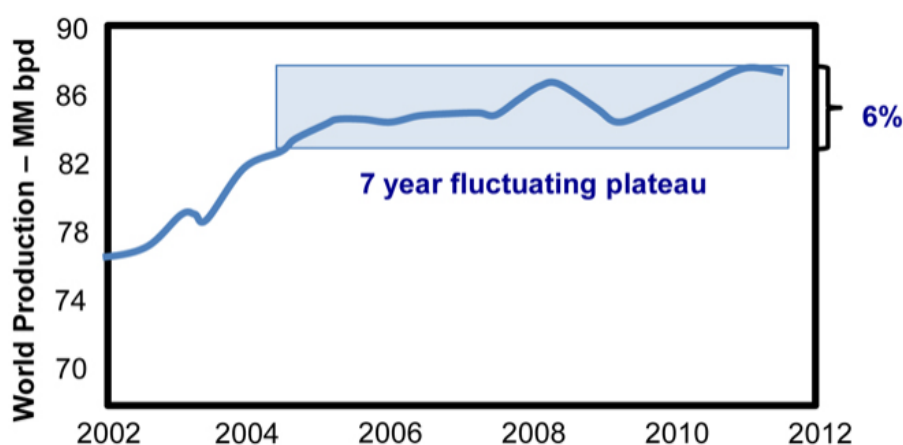
## 2.5 Ropná kríza v USA v roku 1973

V roku 1972 46 % energetickej spotreby v USA uspokojovala ropa, avšak napriek protekcionistickým opatreniam museli dovážať 1/3 uvedeného podielu. Svetový podiel predstavoval takmer 50 %, na ktorom sa presne z polovice podiell krajinou OPEC. Dopyt po rope navyše medzi rokmi 1965 až 1973 každoročne rástol o 8 %. Ropnej kríze v USA na začiatku 70. rokov nepredchádzal len ropný zlom na uzemí 48 spodných štátov (obr. 8) ale prispelo k tomu aj politicky turbolentné obdobie na blízkom východe. Dva dni pred zahájením vyjednávania o cenách medzi krajinami OPEC a západnými naftárskymi koncernami vypukol 4. izraelsko-arabský konflikt. 6 arabských štátov reagovalo jednostrane zvýšením zmluvne stanovenej ceny o 17 % a oznámilo zámer znížiť produkciu, to znamená zaviesť limity na ťažbu ropy. Toto rozhodnutie na druhý deň prijali hneď všetky členské štáty OPEC. Nebolo to následné vyhlásenie embarga na USA, ktoré podporovali Izrael, ale pákové obmedzenie celkovej produkcie, ktoré spôsobilo raketový nárast ceny a prvý ropný šok. Vďaka postupu OPEC vzrástli ceny až o 400 % do konca roku 1973. Reakciou spojených štátov bolo založenie IEA a otváranie nových ťažobných polí na Aliaške. [6]

## 2.6 Globálny ropný zlom

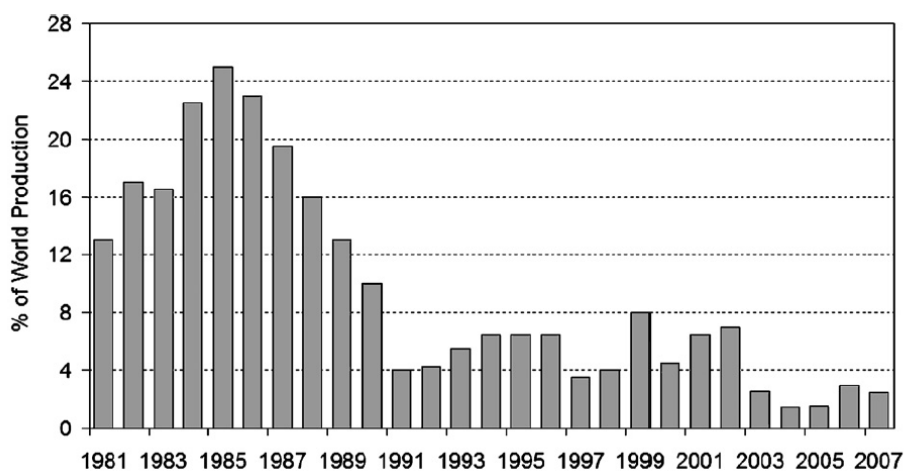
IEA vo svojej ročenke WEO 2010 potvrdila odhady odborníkov, geológov a teoretikov ropného zlomu, že ropný zlom v produkcii konvenčnej ropy nastal v roku 2006. Konvenčná ropa tvorí najväčší podiel na produkcii kvapalných palív. Zlom v ťažbe konvenčnej ropy je veľmi dôležitý bod pre svetový energetický systém, pretože veľa dôležitých otázok zostáva nezodpovedaných. Napríklad ako dlho sa môže produkcia konvenčnej ropy udržať na dnešnej nemeniacej sa hladine (plateau)? Može nekonvenčná ropa zabrániť a vykryť pokles v dodávkach konvenčnej? Aké by mali byť kroky vlád a ako sa na túto situáciu pripraviť?

Približne od roku 2004 celosvetová produkcia kvapalných palív prestala rásť tak rýchlo ako v predchádzajúcich rokoch a začala oscilovať približne v 6 % pásme (obr. 9) napriek tomu, že ceny ropy boli veľmi volatilné. V roku 2005 50 dolárov za barel a v roku 2008 147 dolárov za barel až na súčasných 120 dolárov za barel. [18,19]



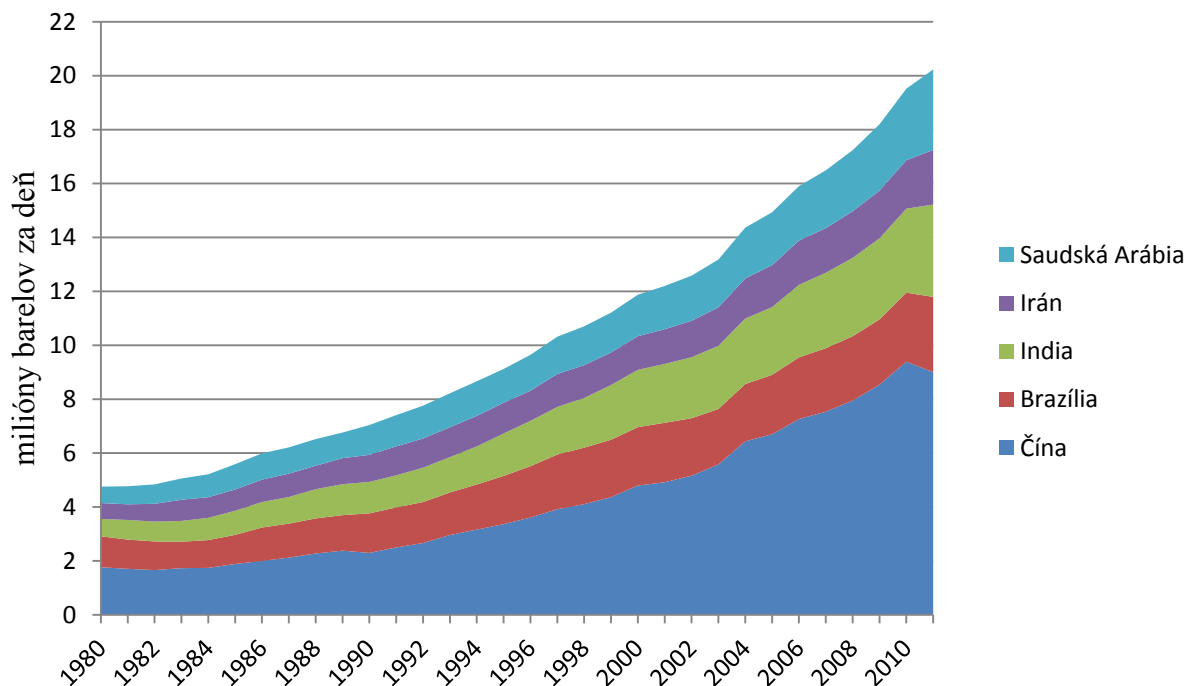
obr. 9 – Od roku 2005 do 2011 sa produkcia pohybuje v 6 % fluktulačnom pásme. [20]

Napriek novým náleziskám pri brazílskom pobreží, menších v Severnej Dakote, inštalovaní nových terminálov v Iraku, obnovení produkčnej kapacity v Líbyi po zvrhnutí Kaddáfího režimu, neustále klesajúcej náhradnej kapacity krajín OPEC (obr. 10) a rope z kanadským pieskov je nová produkcia schopná nahradiť len straty na existujúcich starých poliach.



obr. 10 - Nevyužitá produkčná kapacita krajín OPEC ako % z celosvetovej produkcie ropy. [21]

Ďalší dôležitý element, ktorý môže ovplyvniť a priblížiť rok ropného zlomu je neustále narastajúci dopyt po rope z rýchle rastúcich ekonomík ako Čína a India (obr.11).



obr. 10 - Celková spotreba ropy v Mb/d. [EIA]

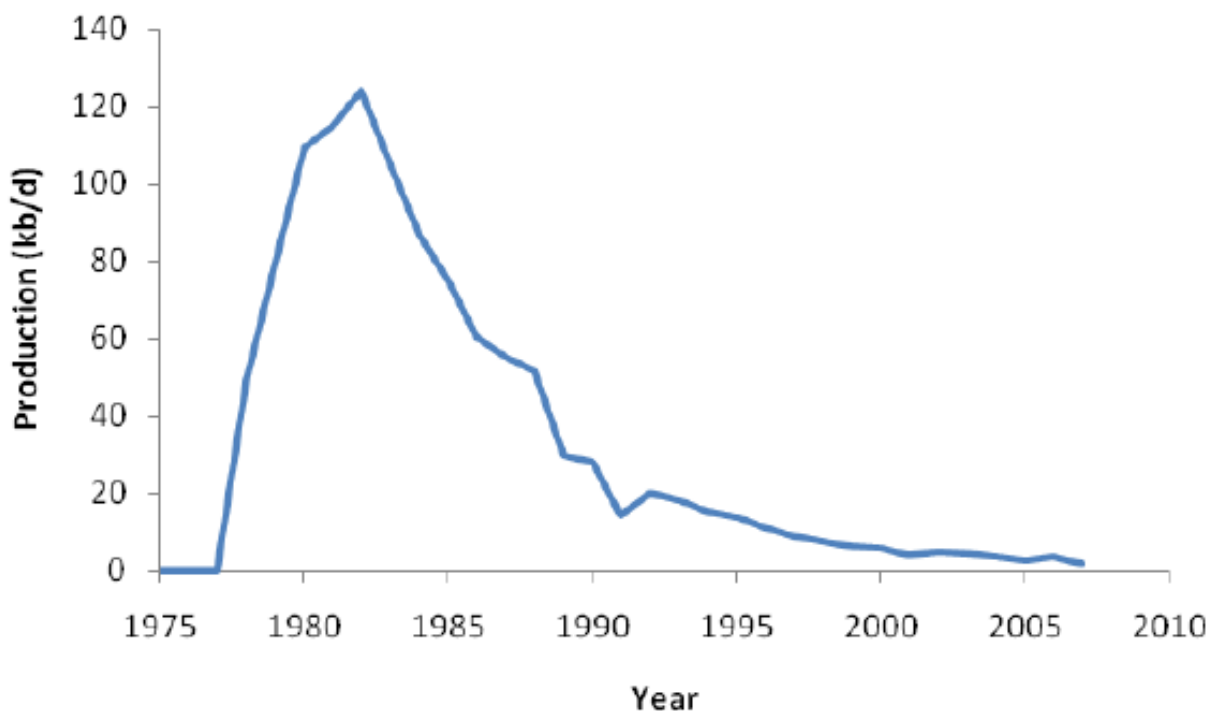
Debata o vyčerpaní ropy je stále polarizovaná a stále napreduje. Na jednej strane sú odhady pesimistov predpovedajúcich neustály pokles v produkcii konvenčnej ropy s tým, že nekonvenčné zdroje ropy nebúdu schopné vykryť medzeru ktorá bude s časom narastať. Na druhej strane sú optimisti, ekonómovia, ktorí tvrdia a veria, že produkcia ropy v nasledujúcich 20 rokoch bude dostatočná, pretože zvýšená cena ropy bude stimulovať nové objavy, ktoré zvýšia zásoby ropy a zároveň rozvinú nekonvenčné metódy ťažby ako dehtové piesky na požadovanú úroveň. Predpovede popredných teoretikov ropného zlomu a ropných spoločností kedy nastane ropný zlom sú uvedené v tab. 3.

Rok predpovede	Autor/skupina	Rok zlomu
2003	Deffeyes	pred 2009
2003	Campbell	okolo 2010
2003	World Energy Council	po 2010
2003	Shell	po 2025
2003	Lynch	nenastane
2004	EIA	2021-2112
2004	Bakhtiari	2006-2007
2004	Goodstein	pred 2010
2005	Koppelaar	po 2010
2006	Skrebowski	po 2010
2006	Koppelaar	po 2012
2006	IEA	po 2030
2006	CERA	2035
2007	Laherrere	okolo 2015
2008	CERA	po 2017
2008	Shell	po 2020

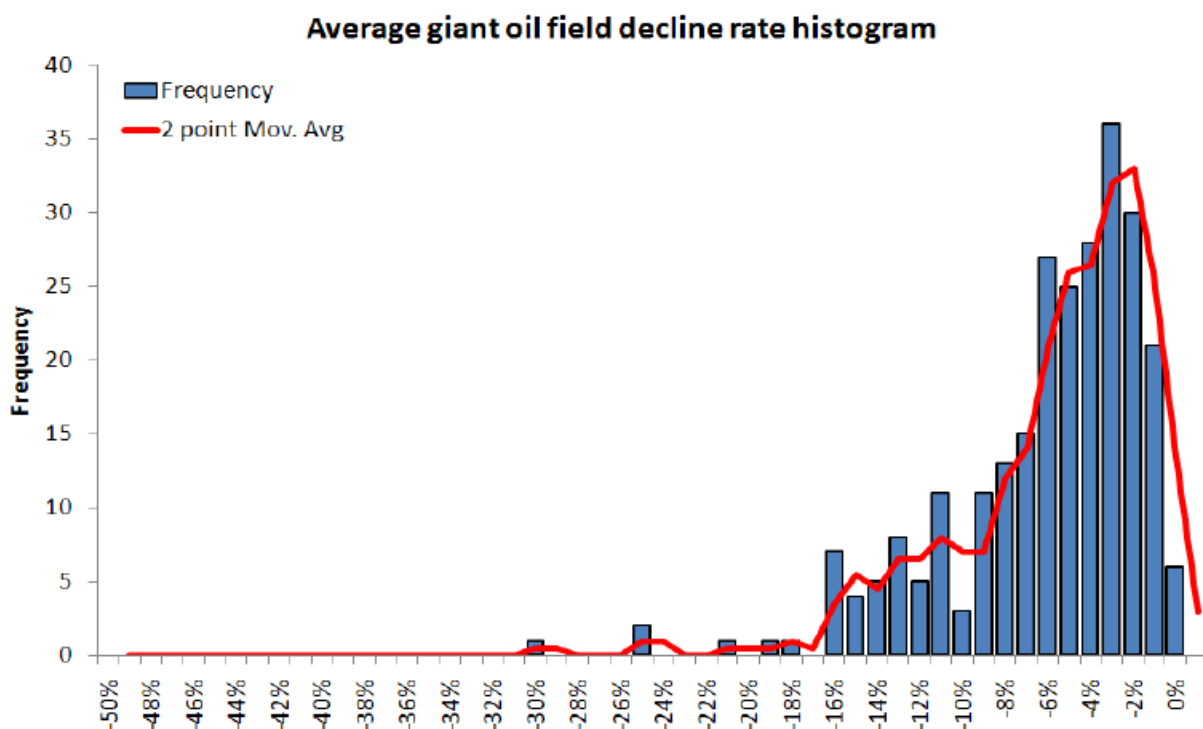
tab.3- Predpokladaný rok ropného zlomu. [21]

## 2.7 Rýchlosť vyčerpania konvenčnej ropy

Je veľmi dobre známy fakt, že produkcia mnohých ropných polí celosvetovo klesá a stále viac polí prechádza do tohto režimu po zlome. Najväčším prispievateľom do ropnej produkcie sú obrovské ropné polia (giant fields), ktorých je iba 1 % z celkového počtu ropných polí, ale tvoria až 60 % celosvetovej produkcie, dokonca 20 najväčších ropných polí prispieva 25 % do celkovej produkcie. Celková produkcia z obrovských polí klesá, pretože väčšina z nich bola objavená pred 50 rokmi (obr. 11). Krivka ktorá opisuje produkciu z obrovských polí má vo svojej polke väčšinou dlhšiu úroveň ustálenej hladiny (plateau), ostrý zlom je typický pre menšie polia. Koniec hladiny (fluktulačného pásma) je bod, v ktorom produkcia vstupuje do klesajúcej polovice. Na základe komplexnej databázi údajov Uppsalská skupina vypracovala analýzu *Giant oil field decline rates and their influence on world oil production* [22], v ktorej odhaľuje priemerný ročný pokles obrovských polí po ropnom zlome (obr. 12). Evolúcia rýchlosti poklesu v posledných dekádach v sebe vždy zahrňovala vplyv nových technológií a produkčných techník a jasne ukázala, že priemerný pokles pre individuálne obrovské polia narastá s časom. Tieto faktory majú významné dôsledky pre budúcnosť, pretože najdôležitejšou produkčnou základňou sú obrovské ropné polia, ktorých ročný pokles ťažby bude v budúcnosti stále rýchlejší. [23]



obr.11 - Ukážka produkcie ropného poľa v Severnom mori s rýchlosťou pokles viac ako 12 % ročne. [22]



obr. 12 – Histogram rozloženia rýchlosti poklesu ťažby 261 obrovských polí do roku 2005. Približne 65 % sú pevninské (on-shore) a 35 % morské (off-shore). Významný rozdiel bol zistený na rôznych podskupinách. Off-shore vzorka polí má pokles 10 % a pevninské okolo 4 %. OPEC polia majú tendenciu klesať pomalšie ako polia mimo krajín OPEC. [22]

## 2.8 Následky ropného zlomu

Rozsah následkov ropného zlomu záleží na tom ako sa priemysel a vlády dokážu na túto udalosť pripraviť. Švédsko je v súčasnosti jediná krajina, ktorá má ministerstvo, ktorého úlohou je zbaviť krajinu závislosti na fosílnych palivách. Robert Hirsch v roku 2005 vypracoval na žiadosť amerického ministerstva pre energetiku štúdiu [24], ktorá predpokladá 3 možné scenára zmiernenia ropného zlomu a jej hlavný záver je, že na to aby sa spoločnosť vyhla negatívnym následkom ropného zlomu potrubuje 20 rokov intenzívnych príprav. Je veľmi pravdepodobné, že ropný zlom v produkcii kvapalných palív nastane do roku 2020, čo môže byť pre niektoré štáty fatálne. Štúdiom ropného zlomu a jeho dopadmi sa dokonca zaoberajú niektoré bezpečnostné agentúry, štúdiá think tanku nemeckej armády analyzuje dopady ropného zlomu na globálnu ekonomiku. Dokument sa odvoláva na predchádzajúce štúdie ako napríklad spomínanú Hirschovu správu vypracovanú pre americké ministerstvo energetiky. Pôvodne bola určená pre interné účely a jej autenticitu potvrdil list Spiegel. Dôsledky štúdie môžeme zhrnúť do nasledujúcich bodov. [25]

- Vzrastie význam exportov ropy: Importujúce krajiny budú čeliť ostrejšej konkurencii o zdroje, čo exportérom otvorí okno príležitostí k uplatňovaniu národnej politickej, ekonomickej a ideologickej agendy.
- Zlyhanie trhov: Ropa je priamo alebo nepriamo používaná pri produkcii 95 % priemyselných tovarov. A pretože aj doprava tovarov je závislá na rope, medzinárodný obchod bude čeliť obrovskému nárastu zdaňovania. Môže sa objaviť nedostatok vitálne dôležitých tovarov, napríklad potravín. V strednodobom horizonte globálny ekonomický systém skolabuje a rovanko skolabujú aj trhovo orientované národné ekonomiky.
- Globálna reťazová reakcia: Je pravdepodobné, že rada štátov nedokáže včas a v potrebnom rozsahu spraviť nevyhnutné investície a adaptovať sa. Ak v niektorých častiach sveta dôjde k zrúteniu, Nemecko tým bude zasiahnuté, pretože ako exportná ekonomika je silne integrované do medzinárodných väzieb.

Z histórie sú nám známe 2 momenty, ktoré by nám mohli povedať aké môže mať ropný zlom následky.

### **Kuba a Severná Kórea**

Výpadok v dodávkach ropy nastal po rozpade ZSSR, keď behom niekoľkých rokov klesla spotreba ropy Severnej Kórei a Kuby. Obidve krajiny na krízu reagovali rozdielne. Severná Kórea reagovala totalitárnymi reštrikciami, aby udržala privilégia svojich elít bez ohľadu na cenu, ktorú zaplatilo obyvateľstvo. Priemysel a poľnohospodárstvo sa rozpadli v dôsledku nedostatku palív a hnojív. Vyvrcholilo to hladomorom medzi rokmi 1995 – 1998. Medzinárodné spoločenstvo bolo nakoniec nútené zakročiť a poskytlo potravinovú pomoc, čím neúmyselne stabilizovalo režim.

Rozdiel medzi týmito a kubánsky režimom, aj keď západní pozorovatelia obidva režimy považovali za rovnaké a to komunistické bez prívlastkov bol ten, že Kuba od roku 1959 intenzívne investovala do sociálnej súdržnosti. Tento naakumulovaný sociálny kapitál mohol byť po strate sovietskej podpory mobilizovaný za účelom prečkania „výnimočnej doby“. Ľudia si vzájomne pomáhali na susedskej úrovni a pôda, ktorá v Havane a ďalších mestách ležala ľadom, bola zúžitkovaná pre mestské záhradky. Výsledkom bolo, že Kuba nezažila masový hladomor napriek tomu, že veľké problémy sa jej nevyhli. [26]

### **Katrina a Fukušima**

Skúsenosti z veľkými výpadkami v dodávkach primárnej energie majú vyspelé štáty aj z nedávnej histórie. USA, keď v roku 2005 hurikán Katrina odstaval takmer všetky ťažobné plošiny v Mexickom zálive a japonský príklad, keď vláda musela reagovať na tlak obyvateľstva a odstaviť 54 jadrových blokov po minuloročnej havárii, potom čo Fukušima zničila mýtus o bezpečnosti jadrových elektrární. Z týchto dvoch rôznych národov môžeme dedukovať 2 rôzne prístupy ku krízovému manažmentu v takýchto výpadkových situáciách. Japonci kultúrne veľmi vyspelý národ na katastrofu reagoval tak, že sa rozhodol odstaviť svojich 54 jadrových blokov. Ľudia v Japonsku sa museli cez zimu uskromniť, každý šetril ako vedel. Automobilový priemysel a výrobcovia elektroniky presunuli smeny mimo energetickú špičku, čo bol veľký logistický problém vyžadujúci jednanie s odbormi. Na druhej strane Američania ako veľmi materiálne založený národ situáciu na Floride v New Orleans nezvládol. Federálna vláda musela uvoľniť ropu zo zásobníkov aby zastavila prudký nárast cien. Ľudia rabovali obchody a vláda bola nútená nasadiť armádu na zaistenie verejnej bezpečnosti.

## **2.9 Možnosti zmiernenia ropného zlomu**

Hubbert predpokladal že nukleárna energia alebo nejaký iný druh lacnej alternatívnej formy energie by mohol dovoliť napredovanie tak ako to umožnila lacná ropa. Teraz však vieme, že lacná ropa začína dochádzať a žiadna alternatíva nie je vyvinutá v dostatočnom množstve. Možnosť ako zmierniť pokles v ťažbe konvenčnej ropy veľa nie je. Väčšina alternatívnych zdrojov energie nie je náhradou za ropu. Veľa z týchto alternatív (veterná, solárna, geotermálna atď) produkuje elektrickú energiu nie kvapalné palivo. Preto je svetová dopravná flotila v ohrození či už nárastom cien alebo poklesom v ťažbe konvenčnej ropy, i keď náhrada kvapalných palív ako skvapalňovanie uhlia sa môže ďalšie 2 dekády rozvíjať, nie je jasné či môže vykryť výpadky v konvenčnej rope. Ropa prispieva najväčším podielom do svetového energetického mixu a to približne 32 %. Zmena v jej cene a dostupnosti môže mať celosvetový význam pretože alternatívne zdroje prispievajú len veľmi malým množstvom do energetického mixu. Ako zmierniť dopady ropného zlomu by sa dalo zhrnúť do nasledujúcich bodov:

- Navýšiť investície do alternatívnych spôsobov dopravy ako sú autobusy a železnice, cyklotrasy, zdieľaná automobilová preprava (car sharing)
- Previesť čo najviac dopravy na železnice
- Postupne zdvíhať spotrebnú daň na benzín, z ktorej budú financované opatrenia zvyšujúce efektívnosť využitia ropy, súčasne pôjde o signál spotrebiteľom, že sa musia pripraviť na dlhodobu vysoké ceny nákupom efektívnejších vozidiel a zmenou životných návykov tak, aby menej často využívali osobný automobil
- Mýtna a ďalšie cenové signály motivujúce k efektívnemu využívaniu diaľnice
- Elektrifikácia prepravy za účelom zníženia závislosti na fosílnych palivách

## Záver

O ropnom zlome dlhú dobu hovorila iba malá skupina medzinárodných geológov a bývalí zamestnanci veľkých ropných spoločností, ku ktorým sa postupne pridávali rôzne organizácie. Zvýšená popularita debaty o ropnom zlome nemala prakticky žiaden význam na politický diskurz. Inštitúcie, ktoré majú poradnú funkciu a majú k dispozícii najkvalitnejšie dáta o produkcii ropy, dostatočne neupozorňujú na možné dôsledky poklesu ťažby ropy. Napriek tomu, že IEA potvrdila predpovede analytikov ropného zlomu, že ropný zlom v produkcii konvenčnej ropy nastal v roku 2006. Vo svojich predpovediach je stále veľmi konzervatívna (optimistická) a jej odporúčania sú nedostatočné. Odporúčania by sa dali zhrnúť do jedinej vety „dostatočne veľké investície dokážu pokryť pokles v produkcii konvenčnej ropy“ (business as usual), pričom neberú do úvahy fakt, že ťažba má svoje geologické limity. Veľká väčšina nezávislých analytikov sa zhoduje a na základe Hubbertovho modelu predpokladá a predkladá pesimistický pohľad na budúcnosť ťažby čierneho zlata. Hubbertov model však nie je bezchybný. Ak od modelu – akéhokoľvek modelu očakávate, že bude schopný predikovať budúcnosť, budete ťažko sklamaný. Sklamali ekonómovia, ktorí sa snažia doteraz pochopiť, prečo podľa ich názoru „absolútne racionálne fungovanie svetového finančného systému“ a ich modely sa v lete roku 2008 ocitli pred kolapsom a podľa nich v absolútnej neracionalite, niektorí ešte doteraz nevedia pochopiť, že za to bol zodpovedný ostrý nárast cien ropy rok predtým. Sklamali sa aj geológovia, ktorí predpovedali, že ropný zlom nastane najskôr do roku 2006 potom do roku 2010 a teraz sa najčastejšie spomína rok 2015. Hubbertov model nie je výnimkou z klasického modelovania, ale celá rada modelov vám o budúcnosti dokáže povedať dosť nato, aby ste sa na ňu mohli pripraviť. Nezáleží na tom, či sú modely aproximatívne a v niektorých prípadoch dokonca nefungujú, záleží na tom ako sú používané. Pierko vznášajúce sa vo vzduchu neznamená, že Newtonov gravitačný zákon je chybný. Len ukazuje na fakt, že musíte model používať tak aby ste chápali jeho obmedzenia a ak ich chápete Hubbertov model vám toho môže dosť povedať o tom, čo sa deje a o problémoch ktorým čelíme.

## Použité zdroje

- [1] IEA: Key World Energy Statistics 2012. Paríž: International Energy Agency; 2011.
- [2] FANTAZZINI, Dean, Mikael HÖÖK a André ANGELANTONI. *Global oil risks in the early 21st century*. Energy Policy 39 (2011), 7865–7873.
- [3] UKERC, 2009. *Global Oil Depletion: An assessment of the evidence for near-term peak in global oil production*.
- [4] HUGHES, Larry a Jacinda RUDOLPH. *Future world oil production: growth, plateau, or peak?*. Current Opinion in Environmental Sustainability 2011, 3:225–234.
- [5] ONDŘEJ, Martin. *Dva roky od obří havárie v Mexickém zálivu: Snižováním nákladů k ropné katastrofě* [online]. 2012 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/dva-roky-od-obri-havarie-v-mexickem-zalivu-snizovanim-nakladu-k-ropne-katastrofe>
- [6] CÍLEK, Václav; KAŠIK, Martin. *Nejistý plamen, Průvodce ropným světem*. Praha: Dokořan, 2007. 191 s. ISBN 978-80-7363-122-2.
- [7] BLAŽEK, Josef; RABL, Vratislav. *Základy zpracování a využití ropy*. 2. vyd.. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2006. 254 s. ISBN 80-7080-619-2. Dostupné z: [http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_isbn-80-7080-619-2/pages-img/anotace.html](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-619-2/pages-img/anotace.html)
- [8] GRANDELL, Leena, Charles A.S. HALL a Mikael HÖÖK. *Energy Return on Investment for Norwegian Oil and Gas from 1991 to 2008*. Sustainability 2011, 3, 2050-2070.
- [9] DALE, Michael, Susan KRUMDIECK a Pat BODGER. *Net energy yield from production of conventional oil*. Energy Policy 39 (2011), 7095–7102.
- [10] KALOUS, Jindřich. *Jíme ropu a zemní plyn* [online]. 2005 [cit. 2012-05-21]. ISSN 1213-1792. Dostupné z: <http://blisty.cz/art/24065.html>
- [11] PRÁŠKOVÁ, Dagmar. *Právo na potraviny* [online]. 2011 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://glopolis.org/cs/clanky/pravo-na-potraviny>
- [12] HÖÖK, Mikael, Bengt SÖDERBERGH, Kristofer JAKOBSSON a Kjell ALEKLETT. *The Evolution of Giant Oil Field Production Behavior*. Natural Resources Research, Vol. 18, 2009.
- [13] Hubbert, M. K., (1956). Nuclear energy and the fossil fuels. Meeting of the Southern District, Division of production, American Petroleum Institute. Shell Development Company: San Antonio, Texas.
- [14] KALOUS, Jindřich. *Kdo studuje blížící se vyčerpání ropných zdrojů* [online]. 2005 [cit. 2012-05-21]. ISSN 1213-1792. Dostupné z: <http://www.blisty.cz/art/24200.html>
- [15] IEA, 2008. World Energy Outlook 2008. International Energy Agency, Paris, France.
- [16] ALEKLETT, Kjell, Mikael HÖÖK, Kristofer JAKOBSSON, Michael LARDELLI, Simon SNOWDEN a Bengt SÖDERBERGH. *The Peak of the Oil Age ? Analyzing the world oil production Reference Scenario in World Energy Outlook 2008*. Energy Policy 38 (2010), 1398–1414.
- [17] MILLER, Richard G. *Future oil supply: The changing stance of the International Energy Agency*. Energy Policy 39 (2011), 1569–1574.
- [18] JAKOBSSON, Kristofer, Roger BENTLEY, Bengt SÖDERBERGH, Kjell ALEKLETT a Erica THOMPSON. *The end of cheap oil: Bottom-up economic and geologic modeling of aggregate oil production curves*. Energy Policy 41 (2012), 860–870.

- [19] OWEN, Nick A., Oliver R. INDERWILDI a David A. KING. *The status of conventional world oil reserves - Hype or cause for concern?*. Energy Policy 38 (2010), 4743–4749.
- [20] HIRSCH, Robert. *Weak World GDP Growth & “Peak Oil”* [online]. 2005 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.aspousa.org/index.php/2011/10/weak-world-gdp-growth-peak-oil/>
- [21] DE ALMEIDA, Pedro a Pedro D. SILVA. *The peak of oil production - Timings and market recognition*. Energy Policy 37 (2009), 1267–1276.
- [22] HÖÖK, Mikael, Robert HIRSCH a Kjell ALEKLETT. *Giant oil field decline rates and their influence on world oil production*. Energy Policy 37 (2009), 2262–2272.
- [23] SORRELL, Steve, Jamie SPEIRS, Roger BENTLEY, Richard MILLER a Erica THOMPSON. *Shaping the global oil peak: A review of the evidence on field sizes, reserve growth, decline rates and depletion rates*. Energy 37 (2012), 709-724.
- [24] HIRSCH, Robert, Roger BEZDEK a Robert WENDLING. *PEAKING OF WORLD OIL PRODUCTION IMPACTS, MITIGATION, & RISK MANAGEMENT*. 2005. Dostupné z: [http://www.netl.doe.gov/publications/others/pdf/Oil\\_Peaking\\_NETL.pdf](http://www.netl.doe.gov/publications/others/pdf/Oil_Peaking_NETL.pdf)
- [25] DOLEJŠÍ, Karol. *Studie Bundeswehru varuje před katastrofálními dopady ropného zlomu na západní svět* [online]. 2010 [cit. 2012-05-21]. ISSN 1213-1792. Dostupné z: <http://www.blisty.cz/art/54320.html>
- [26] FRIEDRICHS, Jörg. *Global energy crunch: How different parts of the world would react to a peak oil scenario*. Energy Policy 38 (2010), 4562–4569.