

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STROJNÍ  
ÚSTAV PROCESNÍ A ZPRACOVATELSKÉ TECHNIKY

---

# Zařízení pro zpracování ropy

Bakalářská práce

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Bolek** Jméno: **Matouš** Osobní číslo: **437725**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav procesní a zpracovatelské techniky**  
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Zařízení pro zpracování ropy**

Název bakalářské práce anglicky:

**Equipment for crude oil treatment**

Pokyny pro vypracování:

Vypracujte literární rešerši se zaměřením na zařízení pro zpracování ropy. Při zpracování rešerše se zaměřte zejména na:

- 1) Zdroje, výskyt a vlastnosti ropy. Použití ropy a produktů zpracování ropy.
- 2) Těžba a přeprava ropy. Skladování ropy. Typy rafinerií.
- 3) Hlavní části a zařízení používané v rafineriích pro zpracování ropy.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**doc. Ing. Radek Šulc, Ph.D., ústav procesní a zpracovatelské techniky FS**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **23.10.2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **05.01.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Podpis vedoucí(ho) práce

\_\_\_\_\_  
Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

\_\_\_\_\_  
Podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

# Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Radku Šulcovi, Ph.D. za pomoc a ochotu se mnou konzultovat moje dotazy, za udávání směru a celkové vedení mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat všem mým blízkým, kteří mi byli během mého studia oporou.

# Souhrn

Cílem práce bylo vypracovat literární rešerši se zaměřením na zařízení pro zpracování ropy. Hlavní témata ke zpracování byla těžba, vlastnosti, skladování a přeprava ropy, typy rafinerií a hlavní části a zařízení používané v rafineriích ke zpracování ropy.

V praktické části této práce je uveden výpočet základních parametrů pro ohřev ropy před atmosférickou destilací. Předehřev ropy se uskutečňuje v horizontálním trubkovém výměníku. Cílem výpočtu bylo stanovit tepelný výkon výměníku, výstupní teplotu destilačního zbytku, součinitel prostupu tepla a potřebnou teplosměnnou plochu. Následně bylo za úkol vypočítat tepelný výkon pece, ve které se ropa dohřívá.

# Summary

The main target of the thesis was to develop a literary research focused on the units for processing of petroleum. The main topics for elaboration were extraction, characteristics, storage and transport of petroleum, petroleum refinery and main components and units used in rafienries to process petroleum.

Practical part of this thesis is calculation of basic parameters for heating of the petroleum before atmospheric destilation. Pre-heating of petroleum is realized in horizontal tube heat exchanger. Target of the calculation was to determine heat output of the heat exchanger, output temperature of the distilling remainder, consumption, the heat transfer coefficient and the required heat exchange surface.

# Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Zařízení pro zpracování ropy“ vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Radka Šulce, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne 11. 1. 2018

Matouš Bolek

## Obsah

1. Složení ropy.....	7
2. Vznik ropy.....	7
Anorganický původ ropy .....	7
Organický vznik ropy .....	7
3. Rozdělení ropy .....	8
4. Výskyt ropy.....	8
4.1. Ropná ložiska.....	8
Zákonitosti vzniku a rozmístění ložisek.....	8
4.2. Hledání ropného ložiska.....	10
5. Ropné vrty.....	14
5.1. Vrtání ropných ložisek.....	14
Nárazové hloubení .....	14
Rotační vrtání .....	14
5.2. Vrtání na moři .....	16
5.3. Způsob těžby .....	18
Primární.....	18
Sekundární .....	18
Terciální.....	18
6. Přeprava ropy.....	19
6.1. Ropovody .....	19
Družba .....	23
IKL.....	24
6.2. Tankery.....	25
7. Skladování ropy .....	27
Rekuperace.....	29
8. Základní procesy zpracování ropy .....	29
Základní typy rafinerií dle komplexnosti zpracování ropy dle BREF .....	30
8.1. Odsolování ropy .....	31
8.2. Destilace ropy.....	32
Trubkové pece.....	32
Destilační kolony .....	33
Atmosférická destilace ropy.....	38
Vakuová destilace ropy .....	39
8.3. Rafinace ropných produktů.....	42

Základní operace používané při rafinaci pohonných hmot.....	42
8.4.    Zpracování atmosférických destilátů .....	43
Benziny .....	43
Letecké petroleje.....	45
Motorová nafta .....	45
8.5.    Kraťování.....	46
Termické kraťování .....	46
Koksování .....	47
Katalytické kraťování .....	47
Hydrokraťování .....	49
9.    Petrochemie .....	51
Ethylen, Propylen .....	52
Aromáty.....	52
10.    Využití ropy .....	52
Využití různých produktů rafinerie .....	53
Benziny .....	53
Petroleje.....	54
Motorové nafty .....	54
Mazací prostředky.....	54
Topné oleje.....	55
Asfalty.....	55
11.    Návrh výměníků pro ohřev ropy před atmosférickou destilací – základní bilanční výpočet	56
Předehřev ropy destilačním zbytkem .....	56
Výpočet .....	57
Tepelný výkon výměníku.....	57
Výstupní teplota destilačního zbytku.....	57
Součinitel přestupu tepla .....	58
Teplosměnná plocha na vnější straně.....	58
12.    Návrh trubkové pece pro ohřev ropy – základní bilanční výpočet .....	59
Tepelný výkon potřebný pro ohřev.....	59
Výkon pece .....	59
13.    Závěr.....	60
Seznam použité literatury .....	61
Seznam obrázků .....	62

## 1. Složení ropy

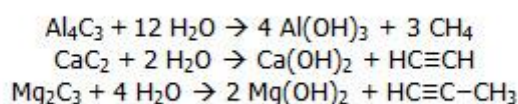
Ropa je velmi hořlavá kapalina o hustotě pohybující se okolo  $800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Přičemž její přesná hustota je závislá na poměru sloučenin, které obsahuje. Ropa se skládá z mnoha organických sloučenin o různé struktuře. Její zbarvení je nazelenalé až černé. Za hlavní složku ropy můžeme označit uhlovodíky, které jsou doplněny o sirmé, dusíkaté a kyslíkaté sloučeniny a malé množství minerálních látek (nespalitelných zbytků). V ropě se vyskytují uhlovodíky těchto skupin:

- Alkenické uhlovodíky s dvojnou vazbou (alkeny).
- Acyklické rozvětvené uhlovodíky (isoalkany).
- Cyklické nasycené uhlovodíky (cykloalkany, cyklany, aromatické uhlovodíky).
- Aromatické uhlovodíky s jedním nebo více aromatickými jádry.

## 2. Vznik ropy

### Anorganický původ ropy

Jedny z prvních teorií o vzniku ropy předpokládaly, že ropa vznikla z anorganických částic. Tyto teorie začaly vznikat během 19. století, což byla doba, ve které byly znalosti o složení ropy velmi omezené. Hlavními zastánci těchto teorií byli Marcellin Berthelot a Dimitrij Mendělejev. Tvrdili, že ropa vznikla anorganickými procesy v dolních částech zemského pláště, dlouho před vznikem života na zemi. Jejich teorie byly podloženy laboratorními pokusy, kterými dokázali, že jednoduché uhlovodíky vznikají účinkem vody (přehřáté páry) na karbidy některých kovů. Například hydrolytickým rozkladem karbidu hliníku vzniká methan, z karbidu vápníku acetylen a z karbidu hořčíku methylacetylen (propyn).



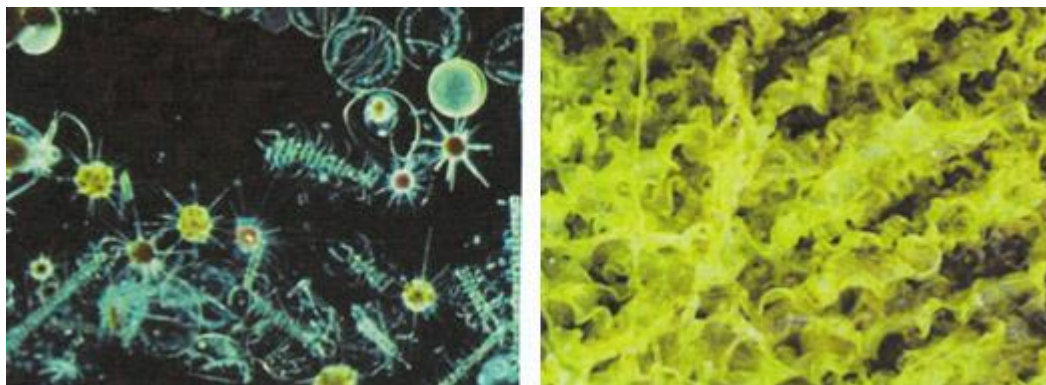
Obrázek 1 – Rovnice vzniku methanu, acetylenu a propynu [5]

### Organický vznik ropy

Podle současných vědeckých poznatků je nyní nejuznávanější hypotéza říkájící, že ropa vznikla z dlouho se rozkládající organické hmoty. Fytoplankton, zooplankton, bakterie a další formy živočišných druhů byly uloženy v sedimentech, díky čemuž biomasa nepodléhala přirozenému oxidačnímu rozkladu za vzniku  $\text{CO}_2$ . Sedimenty vznikaly tak, že vrstvy organického kalu byly překryty nánosy písku, jílu a bahna. Poté se v závislosti na geologických podmínkách (katalytické působení hornin, teplota a tlak) sedimentární organická hmota přeměnila na kerogen (hnědý,



pevný, kyslíkem obohacený materiál nerozpustný v rozpouštědlech). Tomuto procesu se říká diagenese.



Obrázek 2 – Fyktoplankton [5]

Následovala přeměna kerogenu na živice, a nakonec na ropu a zemní plyn. Tento proces je označován jako katagenese. Ropa a zemní plyn poté migrovaly v porézních horninách k povrchu. Pokud byly zachyceny málo propustnými vrstvami nebo nepropustnou bariérovou nadloží v ložiskových pastech, vznikala jejich současná naleziště.

### 3. Rozdělení ropy

Jednou ze základních technologických vlastností ropy je hustota, podle které se ropy rozdělují na tři hlavní skupiny:

- Lehká – s hustotou 0,61 – 0,85 g/cm<sup>3</sup>.
- Středně těžká – s hustotou 0,85 – 0,93 g/cm<sup>3</sup>.
- Velmi těžká – s hustotou 0,93 – 1,05 a více g/cm<sup>3</sup>.

Uvedené hustoty jsou měřeny při teplotě 20 °C. Lehká ropa obsahuje více uhlovodíků s krátkými řetězci, které mají nižší hustotu, zatímco těžká obsahuje uhlovodíky s delšími řetězci, které mají vyšší hustotu.

### 4. Výskyt ropy

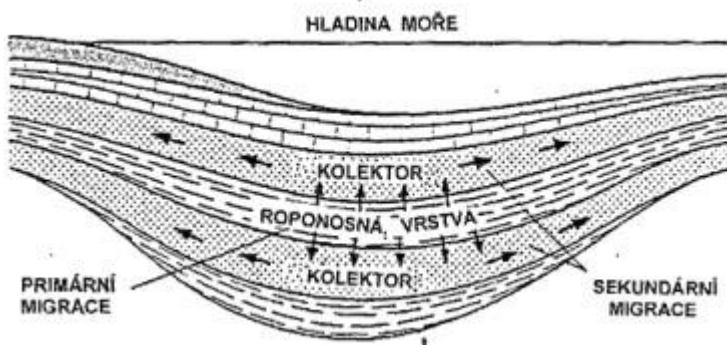
#### 4.1. Ropná ložiska

##### Zákonitosti vzniku a rozmístění ložisek

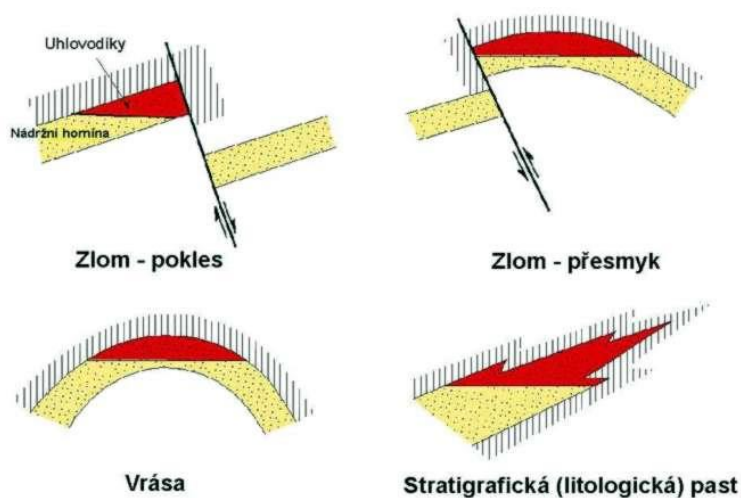
Ropa se nachází hlavně v usazených pórovitých horninách, kam se dostala migrací z primárních ložisek. Ropné impregnace mohou být buď rozptýlené v hornině nebo mohou být nahromaděné v ropných pastích. Tyto pasti vzniknou zastavením migrace ropy nad nebo pod nepropustnou vrstvou a způsobí tak místní nahromadění ropy a doprovodných složek (nahore plyn, uprostřed ropa, dole voda). Jako základní podmínkou vzniku ložiska je přítomnost vhodných nádrží

a přítomnost sběrných hornin neboli kolektorů. Kolektor je prostředí, kde se ropa shromažďuje. Kolektor je porézní, přičemž se jeho poréznost vyjadřuje koeficientem propustnosti. Geologicky jsou kolektory děleny na:

- Zrnité – štěrky, slepence, písky a pískovce – tento typ tvoří hlavní část kolektorů známých ložisek.
- Puklinaté – rozpukané křemence či uhličitany.
- Kavernozní – dutinami bohaté pískovce a zkrasovatělé vápence, migmatity.



Obrázek 3 – Řez ropným ložiskem [5]



Obrázek 4 – Vznik sedimentárních pánví [5]

S rozvojem života a změnou klimatických podmínek na Zemi se měnil i ropomatečný potenciál sedimentární výplně pánví v jednotlivých částech zemského povrchu. Uhlodíky, které vznikaly ve starším období (prvohory a druhohory), se v důsledku migrace a tektonických pohybů, které porušovaly hermetičnost pastí, dostaly na povrch většinou již v dávné historii a nezachovaly se. Proto většina dnes existujících ložisek, ať už je původ ropomatečných hornin jakýkoli, vznikla až v třetihorách.

## 4.2. Hledání ropného ložiska

Mezi nejstarší metody pro určení polohy ropného ložiska bylo hledání očividných příznaků na povrchu. Jedním z těchto příznaků je přírodní asfalt. Ten vznikl prosáknutím ropy na povrch Země. Ropa se na vzduchu okysličila a ztuhla v asfalt. Jako příklad může být uvedeno jezero Pitch Lake ve státě Trinidad a Tobago (viz obr. 5).



Obrázek 5 – Jezero Pitch Lake [6]

Dalším ukazatelem mohou být například výpary horkých plynů z puklin v zemské kůře. V blízkosti nalezišť hoří tzv. věčné ohně. To jsou vznícené uhlovodíkové plyny, které jsou většinou přítomné v nalezišti společně s ropou. Příkladem může být místo Derweza Gas Crater, které se nachází v turkmenské poušti. Zde došlo v roce 1971 k nehodě, při které se vrtná souprava,

zkoumající místní ložiska, propadla do přírodní podzemní plynové dutiny. Ze vzniklé propadliny začal unikat zemní plyn, který byl následně lidským přičiněním úmyslně zapálen (viz obr. 6).



Obrázek 6 – Kráter Derweza Gas [6]

### *Gravimetrické měření*

Princip gravimetrického měření spočívá ve studiu změn tíhového pole (zrychlení), které jsou způsobeny nehomogenitami geologického prostředí. Tíhové anomálie jsou vyvolány tělesy o odlišné hustotě od okolního prostředí. Nezáleží tedy až tak na hustotě daných těles, ale na rozdílu jejich hustot, protože pokud zde žádný rozdíl není, gravimetr neidentifikuje žádnou anomálii. Pomocí těchto anomálií lze najít oblasti, kde se horniny vyklenují či tvoří pánve (pozůstatky starých moří).



Obrázek 7 – Gravimetr<sup>1</sup>

### *Seismický průzkum*

Seismický průzkum představuje nejrozšířenější způsob pro geofyzikální průzkum ložisek ropy a zemního plynu. Je založený na rozdílných rychlostech šíření a absorpci podélných a příčných pružných vln v různých horninách. Měření probíhá tak, že na zemském povrchu jsou elastické vlny registrovány pomocí citlivých snímačů (geofonů) napojených na počítač. Ten převádí získané informace do 2D nebo 3D modelu. Při hledání ropných ložisek se používá speciálně upravený automobil, který vibruje na ocelové podložce, čímž jsou vibrace přenášeny do země.

---

<sup>1</sup> Zdroj: [www.geofyzika.webz.cz](http://www.geofyzika.webz.cz)

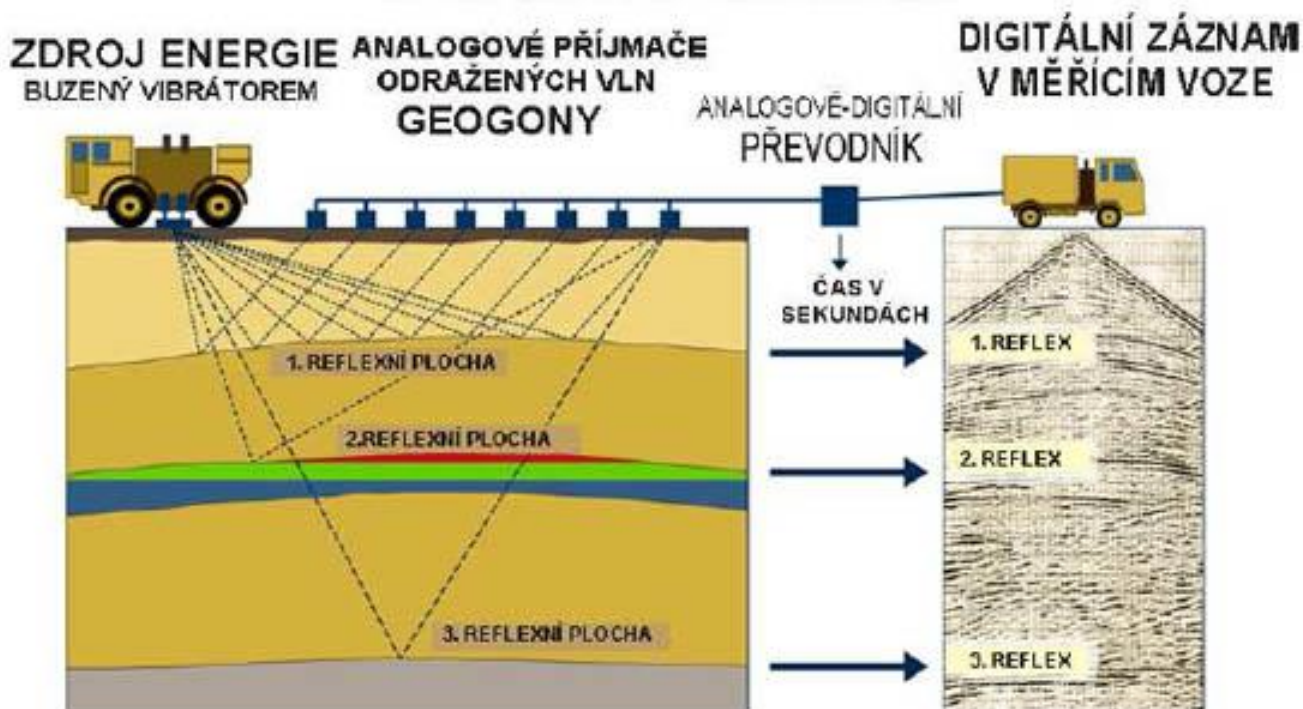


*Obrázek 8 – Automobil pro seismický průzkum<sup>2</sup>*

Seismické vlny se od podložky šíří všemi směry a pronikají do hloubky. Na rozhraní hornin se lomí, odrážejí a vracejí se k povrchu, kde jsou zaznamenány jimi vyvolané kmity. Měření času průběhu vlny a charakter vlnění umožňují určit hloubku, tvar a šíření rychlosti seismické vlny. Rychlosti šíření seismických vln jsou závislé na typu horniny, porositě, stupni zvětrání a rozpukání. Díky těmto vlastnostem lze následně určit struktury (podpovrchové tvary vrstev), které mohou pravděpodobně vytvářet ložiska pro přírodní uhlovodíky. I přes všechna moderní zařízení a výzkumy může být počet neúspěšných vrtů až okolo 40 %.

---

<sup>2</sup> Zdroj: [www.pxhere.com](http://www.pxhere.com)



Obrázek 9 – Seismický průzkum [5]

## 5. Ropné vrty

### 5.1. Vrtání ropných ložisek

#### Nárazové hloubení

Jednou z prvních metod pro vrtání ropných ložisek bylo nárazové hloubení. Tato metoda spočívá v tom, že dláto upevněné na konci lana nebo tyčích, je pravidelně vytahováno a následně spouštěno na dno vrtu, přičemž ostří dláta odštěpuje horninu kus po kusu. Nutností je hloubení jednou za čas přerušit, aby se úlomky horniny vytvořené dlátem vybraly. Pomocí této techniky bylo možné vyhloubit studně do hloubky několika stovek metrů. Tento způsob hloubení byl používán hlavně do konce 19. století.

#### Rotační vrtání

Rotační vrtání je momentálně dominantní metodou v hloubení ropných vrtů. V tomto případě je použita vrtací hlava, která je upevněna na konci prodlužovaného soustavy a výplach, což je hustá kapalina složená hlavně z jílu a vody. Tato kapalina tryská z vrtného nástroje, který jednak ochlazuje, ale především vynáší zpět k ústí vrtu rozdrčené horninové úlomky. Zde se nechá hrubý podíl sedimentovat a po úpravě složení se vrací zpět do vrtu. Výplachová kapalina slouží zároveň i k promazání nástroje a může sloužit jako kompletační kapalina sloužící k zatlačení ropy, pokud by se chtěla těžba zastavit. Díky tomuto způsobu výplachu se rotační vrtný proces stává velmi

efektivním, protože nemusí být přerušován kvůli čištění vrtu od horninové drti jako v případě nárazového hloubení.



Obrázek 10 – Ropný vrt<sup>3</sup>

Z důvodu stabilizace se do vrtu spouští trubky. Tento systém trub se nazývá pažnicová kolona. Prostor mezi pažením a stěnou vrtu se vyplňuje cementovou suspenzí. Pažnicovou kolonou je poté vedeno vrtné soutyčí.

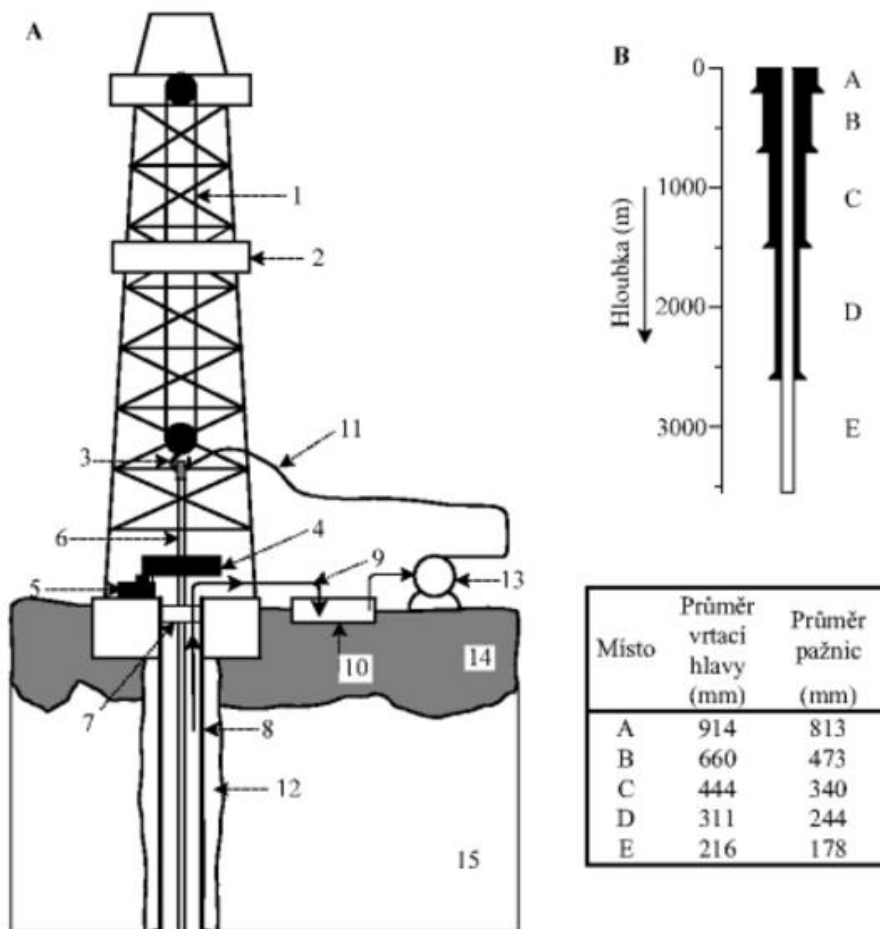
Valivý vrták je na konci vrtné tyče. Vrtná tyč se otáčí pomocí otáčejícího se kotouče umístěného na povrchu, který je poháněn motorem. Pro ovládání a spouštění vrtného soutyčí je nad vrtem umístěna vrtná věž, na které je jeřáb s nosností potřebnou pro manipulaci s vrtným soutyčím a pažnicemi. Vrtáky jsou vyrobeny z tvrdých karbidů. Životnost některých vrtáků se

---

<sup>3</sup> Zdroj: [www.ssl.c.photoshelter.com](http://www.ssl.c.photoshelter.com)



pohybuje v rádech hodin až týdnů. Na jeden vrt připadne od 25 až 250 vrtáků, v závislosti na tvrdosti horniny, životnosti nástroje a hloubce vrtu.

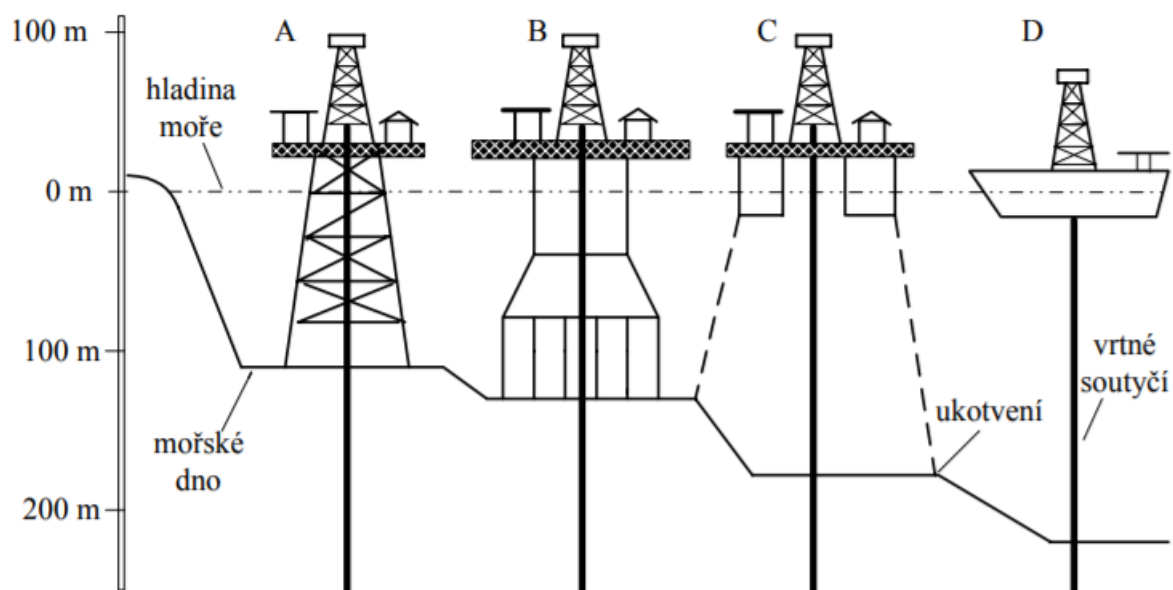


Obr. 1.3-2: Schéma vrtné věže (A) a schématické znázornění vrtání a pažení vrtu (B)  
 1 - závěsné lano, 2 - bezpečnostní plošina, 3 - hák jeřábu, 4 - rotační stůl,  
 5 - poháněcí motor, 6 - vrtné soutyči, 7 - protierupční uzávěr, 8 - pažnice,  
 9 - výstup výplachu, 10 - usazování výplachu, 11 - výplachová hadice,  
 12 - cementování, 13 - čerpadlo výplachu, 14 - nadloží, 15 - vrstva horniny

Obrázek 11 – Schéma vrtné věže [1]

## 5.2. Vrtání na moři

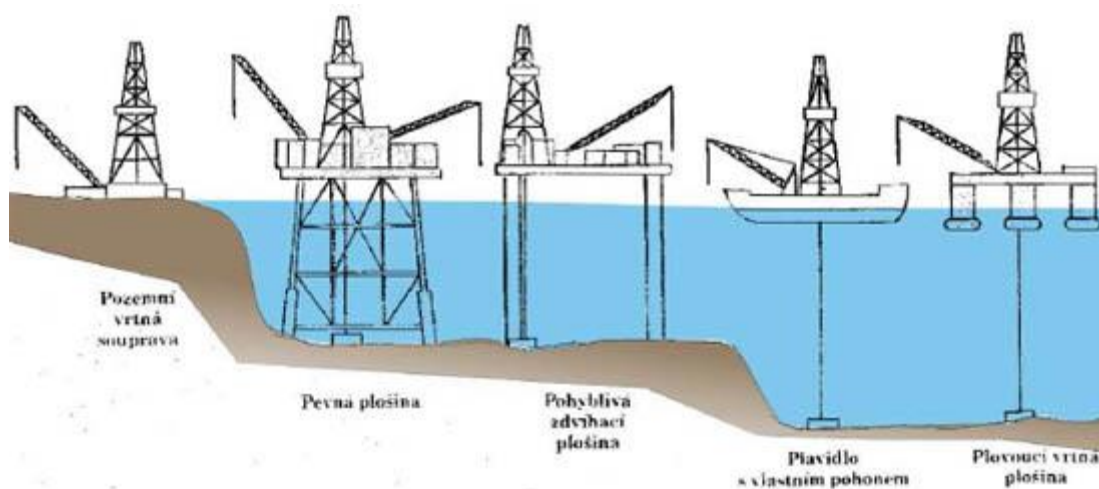
Vrtání na moři se rozvíjí zejména poslední dobou, kdy ložisek ropy na povrchu neustále ubývá. Nejčastěji se pro vrtání využívají šelfové oblasti moře. Šelf je rovinná plocha v okrajové části pevniny, která je již součástí reliéfu oceánského dna. Důležité jsou geologické a geomorfologické vlastnosti. Těží se v hloubce 200 m někdy až 400 m.



Obr. 1.3-3: Schématické znázornění různých způsobů vrtání na moři  
 (A - vrtná plošina s pevnými podpěrami, B - vrtná plošina gravitačního typu se zásobníky na ropu, C - vrtná plošina plovákového typu, D - vrtná loď)

Obrázek 12 – Schéma znázornění různých způsobů vrtání na moři [1]

Těžební plošiny jsou zhotoveny z oceli nebo betonu. Jsou umístěny na 3-5 pilířích (ocelové, betonové) tak vysoko nad hladinou, aby odolaly i vysokým vlnám. Na vrtné plošině je vrtná věž, sklady s trubkami, vrtacími dláty, chemikáliemi pro výplach, pohonnými hmotami, zásobami pro posádku plošiny apod. U podstavců plošiny bývají umístěny nádrže na vytěženou ropu, která jsou v určitých intervalech odčerpávány na tankovou loď nebo se pro řadu těžebních plošin v dané oblasti budují speciální nádrže.



Obrázek 13 – Druhy plošin [5]



Obrázek 14 – Ropná plošina na moři<sup>4</sup>

### 5.3. Způsob těžby

#### Primární

Ropná naleziště většinou obsahují ropu a zemní plyn či podzemní vody, které vytváří tlak dostatečně vysoký na to, aby přivedly ropu na povrch. Dříve existovaly lokality, kde ropa díky tomuto tlaku samovolně vyvěrala na povrch. Průniku ropy na povrch se pomáhá vrty. Touto cestou jde obvykle vytěžit kolem 20 % ropy obsažené v nalezišti.

#### Sekundární

Pokud tlak klesne až k bodu, kdy není schopen ropu vytlačit na povrch, nastupuje sekundární způsob těžby. Ten probíhá tak, že se ropa čerpá buď pomocí pump, nebo vtlačení ložiskového plynu, což může být např. zemní plyn, vzduch, nebo injektáží vody. Těmito způsoby se udržuje podzemní tlak na požadované úrovni, aby ropa proudila na povrch. Dohromady se primárními a sekundárními metodami podaří vytěžit 25–35 % celkového množství ropy.

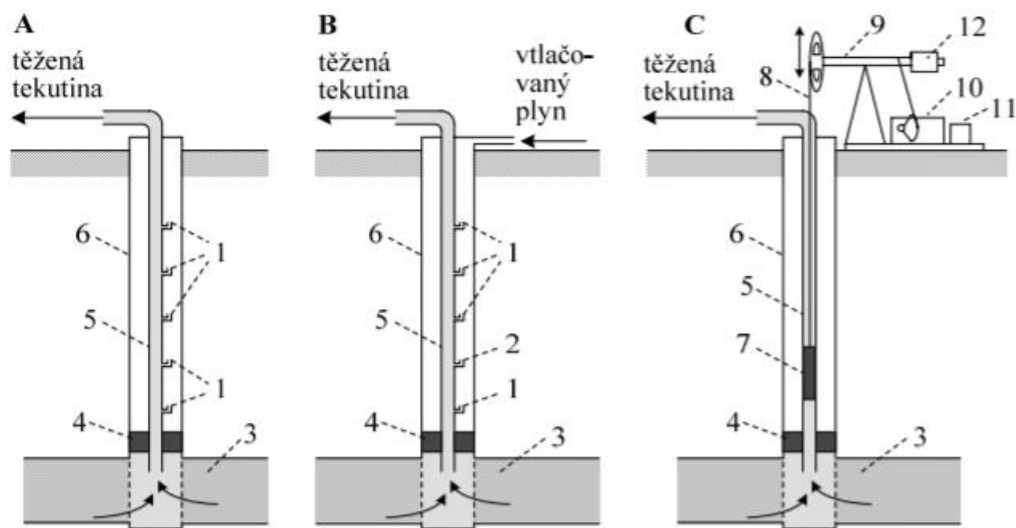
#### Terciální

Terciální metody jsou dokončovací postupy, které přijdou na řadu po tom, co už nestačí ani sekundární metody. Tyto metody mají za úkol snížit viskozitu ropy, čímž dojde ke zvýšení toku ropy do vrtu. Snížení viskozity se dosahuje buď vtlačení horké vodní páry nebo zapálením ropného

---

<sup>4</sup> Zdroj: [www.statoil.com](http://www.statoil.com)

ložiska. Terciální metody dovolují vytěžit dalších okolo 10 % z ložiska. Nutno podotknout, že tato čísla jsou pouze orientační. Liší se podle toho, jaké má ropa složení a jaký byl zvolený postup.



Obr. 1.3-4: Schématické znázornění těžby ropy kontrolovaným tokem (A), plynovým liftem (B) a čerpáním (C)  
 (1 - uzavřený ventil, 2 - otevřený ventil, 3 - produkční zóna, 4 - těžební pakr (ucpávka), 5 - kolona stupaček, 6 - pažení, 7 - hlubinné čerpadlo, 8 - táhlo čerpadla, 9 - vahadlo, 10 - hnací ústrojí, 11 - motor, 12 - protiváha)

Obrázek 15 – Schéma způsobů těžby ropy [1]

## 6. Přeprava ropy

### 6.1. Ropovody

Většina vytěžené ropy je transportovaná pomocí ropovodů. Jakmile ropná plošina na moři vytěží ropu a zemní plyn, pošle je ke zpracování do rafinerií na zemi. Pokud se ropovody pokládají na dno moří, jsou zakopány do hloubky až 400 m v betonových ochranných pláštích. Technologie ropovodu a jeho funkce se liší podle toho, co se jím přepravuje – surová ropa, zemní plyn či rafinované produkty. Obecně platí, že průměr ropovodu (nejmenší vnitřní průměr bývá 30 cm, největší 122 cm) musí být dostatečně velký na to, aby přepravil maximální objem ropy s minimálními tlakovými ztrátami. Rychlost ropy je až 6 m/s.

Stěny ropovodu je nutné pravidelně čistit od ropných úsad. Přibližně jednou za měsíc projíždějí ropovodem speciální čistící zařízení. Jiné přístroje, tzv. inteligentní ježci, provádějí inspekci vnitřku ropovodu. Při průjezdu potrubím načítají a ukládají získaná data, na jejichž základě mohou odhalit jakékoli anomálie ve stěně ropovodu v rozlišení, které se pohybuje v řádech milimetrů. Identifikují jak vady z výroby, tak vady vzniklé provozem (např. vybouleniny, trhliny, úbytky materiálu, korozi). Provozovatel tak má neustále přehled o stavu celého potrubí a může cíleně plánovat opravy.



Obrázek 16 – Čistící ježek v potrubí [7]



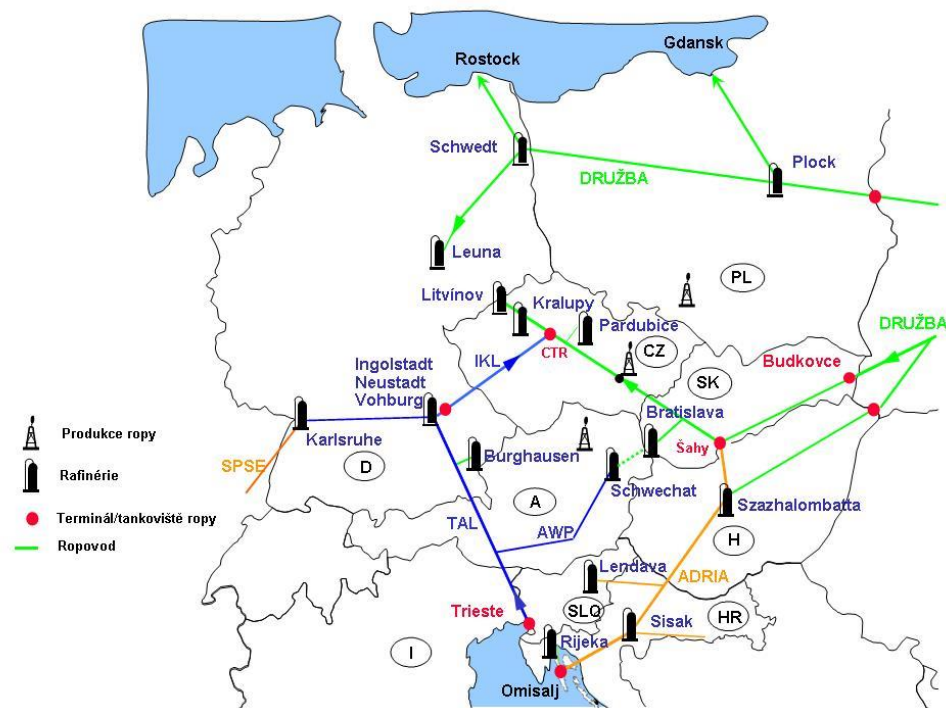
*Obrázek 17 – Ježek DN 200 inteligentní ultrazvukový [7]*

Ropovody jsou obvykle vyráběné z vysokolegované uhlíkové oceli, která dobře odolává proti působení ropy při transportu i proti okolnímu prostředí. Pokud je transportována těžší ropa, která nemá tak vysokou viskozitu a špatně by potrubím protékala, je nutné ji zahřát na určitou teplotu, aby mohla protékat bez větších ztrát. Podle délky ropovodu je ropovod vybaven dodatečnými čerpadly a zahřívacími stanicemi, které umožňují dopravu produktu po celé délce ropovodu. Ropovod je vybaven řídicím systémem, který dokáže okamžitě identifikovat jakýkoliv únik ropy.



*Obrázek 18 – Ropovod [5]*

Trasy ropovodů jsou dány především historickým vývojem. Co se střední Evropy týče, Polsko, nové spolkové země SRN, Česká republika, Slovensko a Maďarsko jsou historicky zásobovány ropovodem Družba. Bavorsko a Rakousko ropovodem TAL (Transalpine Pipeline) z Terstu, resp. jeho odvětvením AWP (Adria Wien Pipeline)



Obrázek 19 – Mapa tras ropovodů v Evropě [5]

## Družba

Ropovod Družba je se svými více než 5 000 km považován za nejdelší ropovod na světě. Protéká osmi evropskými zeměmi, čímž tvoří jednu z nejrozsáhlejších evropských sítí. Denně jím může proteče okolo 240 000 000 l ropy. Výstavba ropovodu začala 10. prosince 1960 v Samaře, kde začínají i další ropovody vedoucí ze Sibiře a Uralu. Každá ze zemí, jimiž Družba vede, měla za úkol vystavit svoji část úseku. Sovětský svaz dodával potrubí a speciální těžké stroje pro zemní práce a ukládání trub, Československo potrubí a armatury, NDR potrubí a čerpadla a Maďarsko automatické a telekomunikační systémy. Stavba byla dokončena v roce 1962. Potrubí je uloženo v průměru 1,3 m pod povrchem. Jen cca 0,8 % z celkové délky ropovodu není uloženo pod zemí, nýbrž leží na pilířích a patkách nad úrovní země.





*Obrázek 20 – Výstavba ropovodu Družba duben 1963 [7]*

## IKL

Celková délka ropovodu IKL je okolo 350 km. Ropovod IKL se napojuje ve Vohburgu na ropovod TAL, který vede z přístavu Terst v Itálii, kam je ropa přivážena z celého světa, a končí v Centrálním tankovišti v Nelahozevsi. Za rok přepraví až 10 milionů tun ropy, přičemž je možné toto číslo navýšit až na 15 milionů. Výstavba ropovodu vznikla jako reakce na politické i ekonomické změny v 90. letech minulého století. Následné problémy ruských těžařských společností vedly k obavám o spolehlivost dodávek ropy z Ruska. Myšlenka vystavení ropovodu IKL se poprvé objevila již v roce 1990. Projekt byl schválen až o 2 roky později a provoz byl zahájen až v roce 1996.



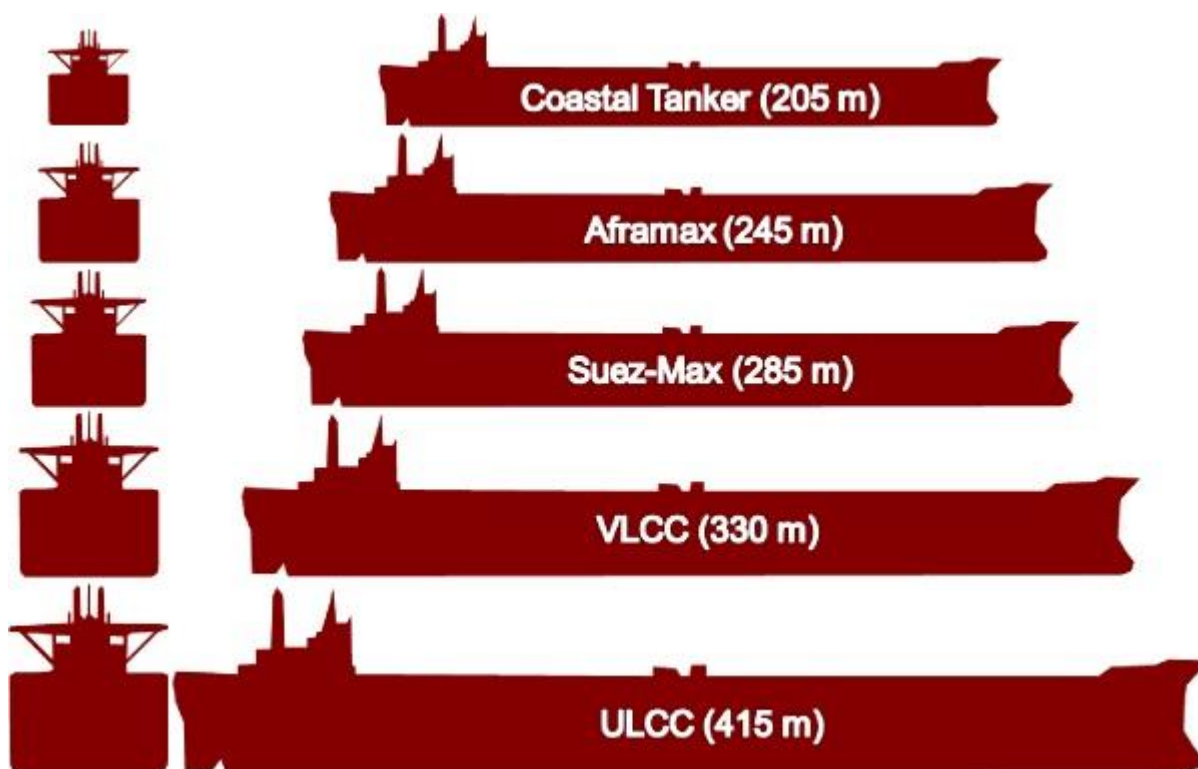
*Obrázek 21 – Výstavba ropovodu IKL v ČR [7]*

## 6.2. Tankery

Vybudování podmořských ropovodů bývá mnohem nákladnější než těch na souši. Je možné, že se ropná plošina nachází v oblastech, kde je nestabilní mořské dno, nebo je příliš vzdálená od břehu. Z těchto důvodů může být velmi nepraktické nebo dokonce nemožné vybudování ropovodu

vedoucího od ropné plošiny k pobřeží. V těchto případech se používají tankery, které produkty přepravují na místa, odkud již ropovod vede přímo do zpracovatelských center.

S posledním vývojem spotřeby ropy vzrostly nároky na její přepravu. Od tankerů se požaduje, aby přepravily větší množství ropy při jedné plavbě. Proto byly vyvinuty supertankery anglicky označované jako VLCC (Very-Large Crude Carriers).



Obrázek 22 – Velikosti tankerů <sup>5</sup>

Technologickým pokrokem se zajistilo, že tyto supertankery jsou ekonomičtější, co se týče spotřeby paliva než menší lodě, pokud se optimálně využije jejich velikost a možnost přepravit obrovské množství ropy. Pro srovnání, tanker schopný přepravit 67 000 000 *litrů* ropy má příkon 12 *MW*, zatímco tanker o 32 *MW* převeze 290 000 000 *litrů*. Nevýhoda je jejich velikost a hmotnost. Supertankery mohou zastavit až po několika kilometrech brždění a jsou špatně ovladatelné, což občas vede ke katastrofám, při kterých se ropa po havárii tankeru vylíje do moře a je znečištěna velká plocha moře.

<sup>5</sup> Zdroj: <http://maritime-connector.com/images/tankersizes-16-wiki-18886.jpg>



Obrázek 23 – Tanker<sup>6</sup>

## 7. Skladování ropy

Aby bylo zajištěno plynulé zpracování ropy je nutné, aby měla každá rafinerie svoje zásoby ropy pro případné přerušení dodávky ropy ropovodem. Každý stát si navíc vytváří vlastní hmotné zásoby pro případ krize např. válečný konflikt. Pro skladování ropy se užívají nádrže, které jsou umístěny buď pod povrchem země nebo na jejím povrchu.

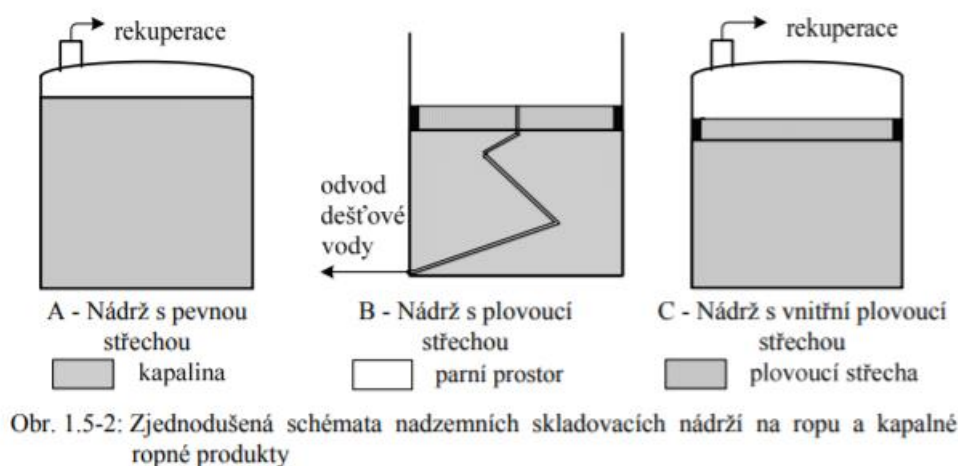


Obrázek 24 – CTR Nelahozeves [7]

<sup>6</sup> Zdroj: <http://maritime-connector.com/images/vlcc-16-wiki-18885.jpg>

Obecně se ropné nádrže dělí buď:

- Podle pláště na jednoplášťovou nádrž v ochranném valu nebo betonovém dvoře nebo dvouplášťovou nádrž (nádrž umístěná v ochranné jímce). Dvouplášťová nádrž se používá u podzemních nádrží, kde je vnitřní plášť vyroben z ocelového plechu a vnější plášť z laminátu.
- Podle střechy na nádrž s pevnou střechou, která má v prostoru nad kapalinou vzduch smíšený s výparý skladovaného produktu, na nádrž s plovoucí střechou nebo na nádrž s vnitřní plovoucí střechou.



Obrázek 25 – Schémata nadzemních skladovacích nádrží na ropu a kapalné produkty ropy [1]

Při plnění nádrže s pevnou střechou je plynná fáze vytěsňována z nádrže, zatímco při plnění se do nádrže nasává vzduch. Při zahřátí nádrže dochází ke zvětšení objemu, jak kapaliny, tak jejích výparů. Díky tomu jsou plynné složky vyháněny z nádrže. Při ochlazení vznikne podtlak z důvodu zmenšení objemu obou fází, čímž se nasaje vzduch, který se znovu sytí parami skladované kapaliny. Tento typ nádrže se používá např. pro motorové nafty, které jsou málo těkavé, takže nevedí unik jejich výparů. Dalším typem je nádrž s plovoucí střechou. Jejím základem je plášť, ve kterém se pohybuje střecha s hladinou nahoru a dolů jako píst, čímž zabraňuje úniku plynné fáze. Tento typ se používá např. pro benziny z důvodu jejich vysoké těkavosti. Posledním typem je nádrž s pevnou střechou a s vnitřní plovoucí střechou, která je kombinací dvou předchozích typů.



Obrázek 26 – Skladovací nádrže [5]

## Rekuperace

Plynné fáze vytěšňované z nádrže jsou vedeny do jednotky rekuperace. Plyny se vedou do absorpční kolony, kde se uhlovodíky obsažené v plynech absorbují do benzínu podchlazeného na  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Plyn z absorpční kolony se dále čistí adsorbací na vhodném adsorbentu nebo se spaluje. Benzin s absorbovanými uhlovodíky se následně vrací zpět do zásobníku.

## 8. Základní procesy zpracování ropy

Zpracování ropy probíhá v rafineriích, ve kterých se ropa rozděljuje na různé složky a přeměňuje na ropné produkty. Na rafinerie mohou navazovat další petrochemické závody. Proces probíhající v rafineriích můžeme rozdělit na tři základní typy.

- Separální procesy, kdy se ropa rozdělí na frakce.
- Konverzní procesy, při kterých se sloučeniny přítomné v ropě přemění na jiné, které jsou žádanější, lépe využitelné a mají lepší vlastnosti.
- Dočišťovací procesy, které mají za úkol odstranit různé typy nečistot, změna struktury některých molekul, kterou se dosáhne zvýšení užitkové hodnoty např. izomerace, odsíření.



Obrázek 27 – Ropná rafinerie [5]

Technologie každé rafinerie je unikátní, protože je optimalizovaná na určitý typ ropy a odbyt produktů.

Základní typy rafinerií dle komplexnosti zpracování ropy dle BREF <sup>7</sup>

Typ 1 – **Konfigurace bez konverzních procesů (hydrokimmingová)** - atmosférická destilace ropy, hydrorafinace všech destilátů, izomerace lehkého benzínu, reformování těžkého benzínu, výroba síry v Clausově jednotce.

Typ 2 – **Konfigurace s FCC a VB** - stejné procesy jako typ 1 + vakuová destilace, fluidní katalytické krakování (FCC) vakuových destilátů (VD), alkylace, výroba MTBE, visbreaking vakuových zbytků (VZ).

Typ 3 – **Konfigurace s HCVD a koksováním** – stejné procesy jako typ 1 + vakuová destilace, hydrokrakování VD, koksování VZ.

---

<sup>7</sup> Zdroj:

[http://www.ekomonitor.cz/sites/default/files/filepath/prezentace/zpracovani\\_ropy\\_9\\_0.pdf](http://www.ekomonitor.cz/sites/default/files/filepath/prezentace/zpracovani_ropy_9_0.pdf)

Typ 4 - **Komplexní konfigurace** – stejné procesy jako typ 1 + vakuová destilace, mírné hydrokrakování VD, FCC VD, alkylace, výroba MTBE, hydrokrakování VZ, visbreaking VZ, zplyňování těžkých zbytků.

### 8.1. Odsolování ropy

Ropa po vytěžení z ložiska obsahuje vodu ve stavu stabilní emulze, ve které jsou rozpuštěny soli. Většina vody a solí se odstraňuje už na místě těžby. Pro dopravu potrubím má být obsah vody pod 1 % a obsah chloridu sodného pod  $300 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ . I přesto ropa dopravená do rafinerie většinou obsahuje 0,02-0,2 % obj. vody. Odsolování ropy je jedním z prvních procesů zpracování ropy. Dominantní solí je chlorid sodný. Z toho důvodu se celkový objem soli vyjadřuje jako obsah  $\text{NaCl}$ . Soli se odstraňují především z důvodu jejich korozivního působení. Kromě toho je přítomnost vody v ropě spojena s vyšší spotřebou tepla na její odstranění. Proto se ropa určená ke zpracování nejdříve odvodňuje a odsoluje.



Obrázek 28 – Zařízení na odsolování ropy<sup>8</sup>

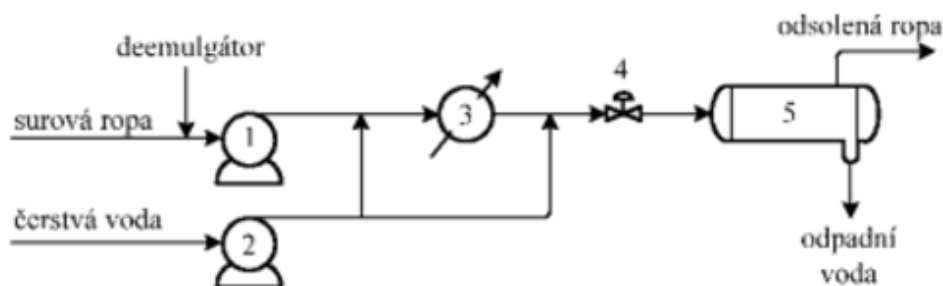
Známe dva způsoby odsolování: jedno či více stupňové odsolení. Po jedné fázi odsolení je obsah soli v ropě 0,001 – 0,02 %. Nyní ale rafinerie cílí k takovému stavu ropy, aby obsahovala pouze 0,0005 % solí. Tohoto stavu není možné dosáhnout pouze pomocí jednostupňového odsolení, je proto potřeba dvoustupňové a vícestupňové odsolování.

Odsolování se skládá ze tří fází: Zahřátí, směšování a separace. Momentálně nejlepší postup pro odstranění solí z ropy je metoda elektrostatického odsolování. Nejprve se ropa zahřeje na 135 – 141°C, za účelem snížení viskozity ropy, čímž se zlepší její oddělování od vody. Následuje přidání vody, obsahující méně minerálních látek tak, aby ropa obsahovala 5 až 15 % vody. Pomocí elektrod nastavených až na 35 kV se vytvoří střídavé elektrické pole, které způsobuje nabití kapiček

<sup>8</sup> Zdroj: [https://www.fiorentini.com/media/immagini/51\\_n\\_oil-dehydr-desal-wide.jpg](https://www.fiorentini.com/media/immagini/51_n_oil-dehydr-desal-wide.jpg)



vody. Po nabití se kapičky začínají pohybovat ve směru siločar elektrického pole. Kapky s opačným nábojem se přitahují a slévají se. Stejně nabité kapky vody se pohybují k opačně nabitému pólu. Vzhledem k neustále se měnícímu směru se kapky v důsledku proměnlivosti pole srážejí a slévají. Pro zlepšení procesu je možné přidat malé množství hydroxidů, které neutralizují organické kyseliny a zvětšují elektrickou vodivost vody. Tento proces navíc probíhá za zvýšeného tlaku z důvodu zamezení odpaření vody a varu ropy.



Obr. 3.2-1: Schéma jednostupňového elektrostatického odsolování ropy  
(1 - čerpadlo ropy, 2 - čerpadlo vody, 3 - ohřivač, 4 - směšovací ventil, 5 - elektrostatický separátor)

Obrázek 29 – Schéma odsolování ropy [1]

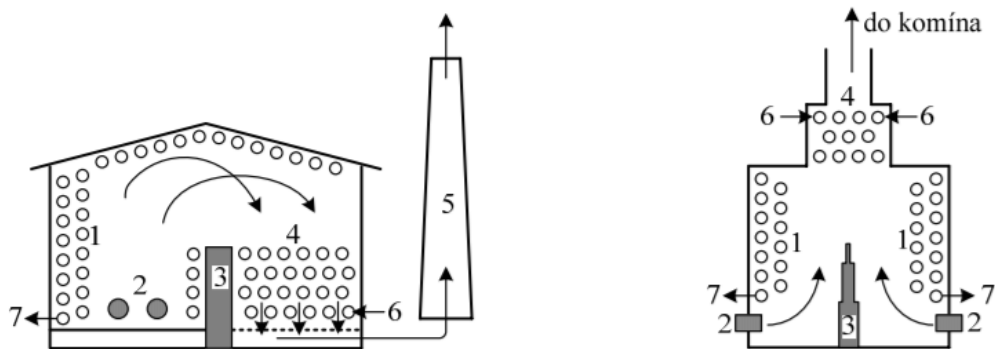
## 8.2. Destilace ropy

Destilace ropy je fyzikální proces, při kterém se odsolená a odvodněná ropa rozděljuje na užší frakce. Tento postup vychází ze složení ropy, která obsahuje mnoho různých sloučenin s velkým rozsahem bodu varu. Získané frakce se pak dále zpracovávají. Zařízení pro destilaci ropy tvoří trubková pec, destilační kolona, zařízení pro úpravu tlaku, výměníky tepla a čerpadla.

### Trubkové pece

Trubková pec je zařízení, ve kterém dochází k předávání tepla, uvolněného při spalování paliva, zahřívání vstupní suroviny. Trubkové pece se nevyužívají pouze pro ohřev při destilaci ropy. Můžou se použít i pro ohřev suroviny pro katalytické reformování, hydrogenační rafinace, rafinace olejů apod. Trubkové pece se dělí podle způsobu přenosu tepla na konvenční, radiální a radiálně – konvenční. V dnešní době se používají výhradně radiálně – konvenční pece.

Radiálně – konvekční pec můžeme rozdělit na dvě hlavní oddělené části – radiální komoru a konvenční komoru. Radiální komoru tvoří trubkový had, ve kterém proudí ohřívání surovina. V radiální komoře se teplo do ropy proudící v trubkách dodává radiací plamene a stěny pece. V konvekční části jsou umístěny trubky pohlcující teplo sdílené především konvekcí – prouděním horkých spalin kolem trubek. Surovina postupně prochází konvekčními a radiálními trubkami.



Obr. 3.3-1: Schématické znázornění radiačně - konvekčních trubkových pecí  
 (1 - radiační sekce, 2 - hořáky, 3 - jízek, 4 - konvekční sekce, 5 - komín,  
 o - trubky, 6 - vstup ropy, 7 - výstup ropy)

Obrázek 30 – Schéma trubkových pecí [1]

## Destilační kolony

Pro základní destilaci ropy se nejčastěji používají dvě kolony:

- Atmosférická kolona, ve které tlak v hlavě nepatrně převyšuje atmosférický tlak. Jejím použitím získáme z ropy benzin, petrolej a plynový olej (dohromady nazýváme světlé destiláty) a destilační zbytek – mazut.
- Vakuová kolona má tlak nižší než atmosférický. Díky snížení tlaku je možné snížit pracovní teploty, což využijeme v situacích, kdy může při vyšší teplotě dojít k rozkladu produktu. Kolony jsou postaveny tak, aby byl zabezpečen co největší styk kapalné a parní fáze, díky čemuž se může účinně ustavovat rovnováha mezi těmito fázemi.

Nejčastěji používanými typy kolon jsou tzv. patrové kolony.



Obrázek 31 – Destilační kolony<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> Zdroj: <https://www.phxequip.com/plant.150/crude-refining-unit-85-000-bpd.aspx>

### **Patra**

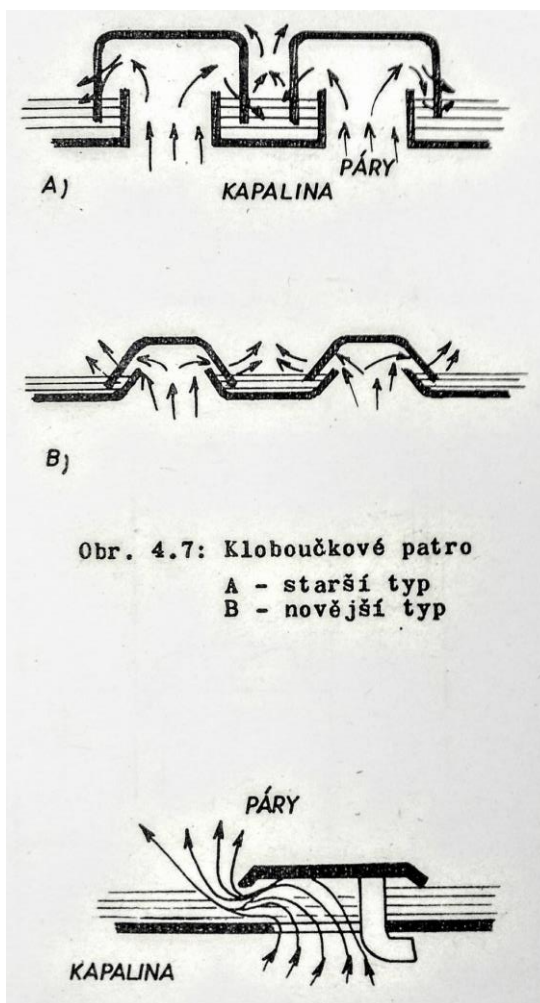
Počet pater a velikost kolony jsou závislé na požadované ostrosti dělení a počtu odebíraných frakcí. Kolona je tím větší, čím vyšší přesnost dělení požadujeme.

Přibližné nároky na počet pater:

<b>Rozdíl bodů varu dělených látek</b>	<b>Nutný počet pater</b>
1	100
3	55
5	30
7	20

### **Nejpoužívanější druhy destilačních pater:**

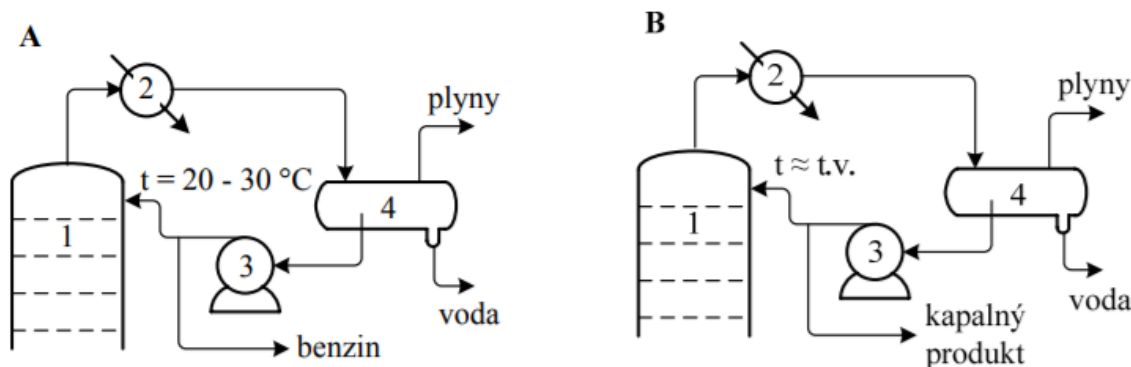
- Kloboučková patra – kde otvory pro průchod par tvoří 10 – 15 %. Jsou opatřené nátrubky, které jsou vybaveny kloboučky, v nichž jsou různé otvory a výřezy pro výstup par do kapaliny.
- Ventilová patra – otvory v destilačním patře jsou zakryty záklopkami, které mají jen vodící lišty a zarážky. V porovnání s kloboučkovými patry nemají ventilová patra nátrubky ani kloboučky.



Obrázek 32 – Typy kloboučkových pater [3]

Základní princip destilace v koloně spočívá v tom, že jsou v koloně přítomné dvě fáze, tj. kapalina a pára. Kapalina stékající dolů po stěně přes několik destilačních pater se setkává s protiproudě stoupajícími parami. Tok kapaliny se vytváří vrácením části destilátu zpátky do kolony, čímž se vytvoří tzv. zpětný tok – reflux. Ten vytváří tok kapaliny v koloně a zlepšuje dělení složek. Zpětný tok můžeme rozdělit do tří skupin:

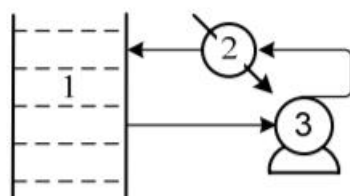
- **Studený zpětný tok** – Páry hlavového produktu se vedou do kondenzátoru, kde zkondenzují a ochladí se přibližně na teplotu okolí. Část ochlazeného kondenzátu se pak vrací do kolony, kde se spotřebovává výparné teplo této části kondenzátu a jeho měrné teplo, potřebné k ohřátí z teploty okolí na bod varu.
- **Horký zpětný tok** – Páry hlavového produktu zkondenzují a s teplotou pohybující se pod bodem varu se část kondenzátu vrací do destilační kolony, kde se spotřebovává jen výparné teplo této frakce.



Obr. 3.3-3: Znárodnění studeného (A) a horkého (B) zpětného toku  
(1 - destilační kolona, 2 - chladič, 3 - čerpadlo, 4 - separátor)

Obrázek 33 – Schéma studeného a teplého toku [1]

- **Cirkulační zpětný tok** – Z kolony se neodvádějí páry, ale kapalina z některého patra a část kapaliny se po ochlazení v chladiči nebo výměníku vrací do kolony o 1-2 patra výše, než byla odebrána. V koloně se uplatňuje jen měrné teplo frakce a nezvyšuje se množství par, jak tomu bylo v předcházejících případech. Cirkulačních toků může být v koloně jeden nebo i více. Další zpětné toky mají zlepšit poměr kapaliny s párami ve spodních patrech, kde klesá množství kapaliny z důvodu odběru bočních frakcí.



Obr. 3.3-4: Cirkulační zpětný tok  
(1 - destilační kolona, 2 - chladič, 3 - čerpadlo)

Obrázek 34 – Schéma cirkulačního zpětného toku [1]

Páry uvolňované na nástřikovém patře stoupají spolu s uvolněnými složkami ve spodní části kolony směrem vzhůru a procházejí několika destilačními patry. Spodní část kolony bývá doplněna o vařák, kterým se dodává teplo do spodní části kolony z důvodu odbírání tepla při odvodu destilátů.

Destiláty se odebírají z hlavy kolony a z boční části kolony. Spodkem kolony odchází destilační zbytek. Boční odběry se obvykle zpracovávají dále v bočních kolonkách, které jsou menší než kolona hlavní a mají okolo 3 pater. Přiváděná horká pára na spodku kolony vypuzuje těkavé

podíly z bočního odběru, které se společně s párou proudí do hlavní kolony na vyšší patro. Boční podíly se pak přes výměníky tepla posílají do zásobníků.

### Atmosférická destilace ropy

Čerpadlo nasaje ropu ze zásobníku do výměňikového systému, kde se ohřeje na 125 – 135 °C. Odtud se vede na odsolovacího zařízení. Po odvodnění a odsolení se ropa načerpá zpět do výměňikového systému, kde se ohřeje na 225 – 235 °C a postupuje do trubkové pece, kde se ohřeje až na 390 °C. Poté se nastříkuje do atmosférické destilační kolony. Výměníky jsou vyhřívány:

- Hlavovým zpětným tokem.
- Atmosférickým zbytkem.
- Lehkým topným olejem.
- 1. a 2. bočním cirkulačním tokem.

Z kolony se obvykle odtahují tyto frakce:

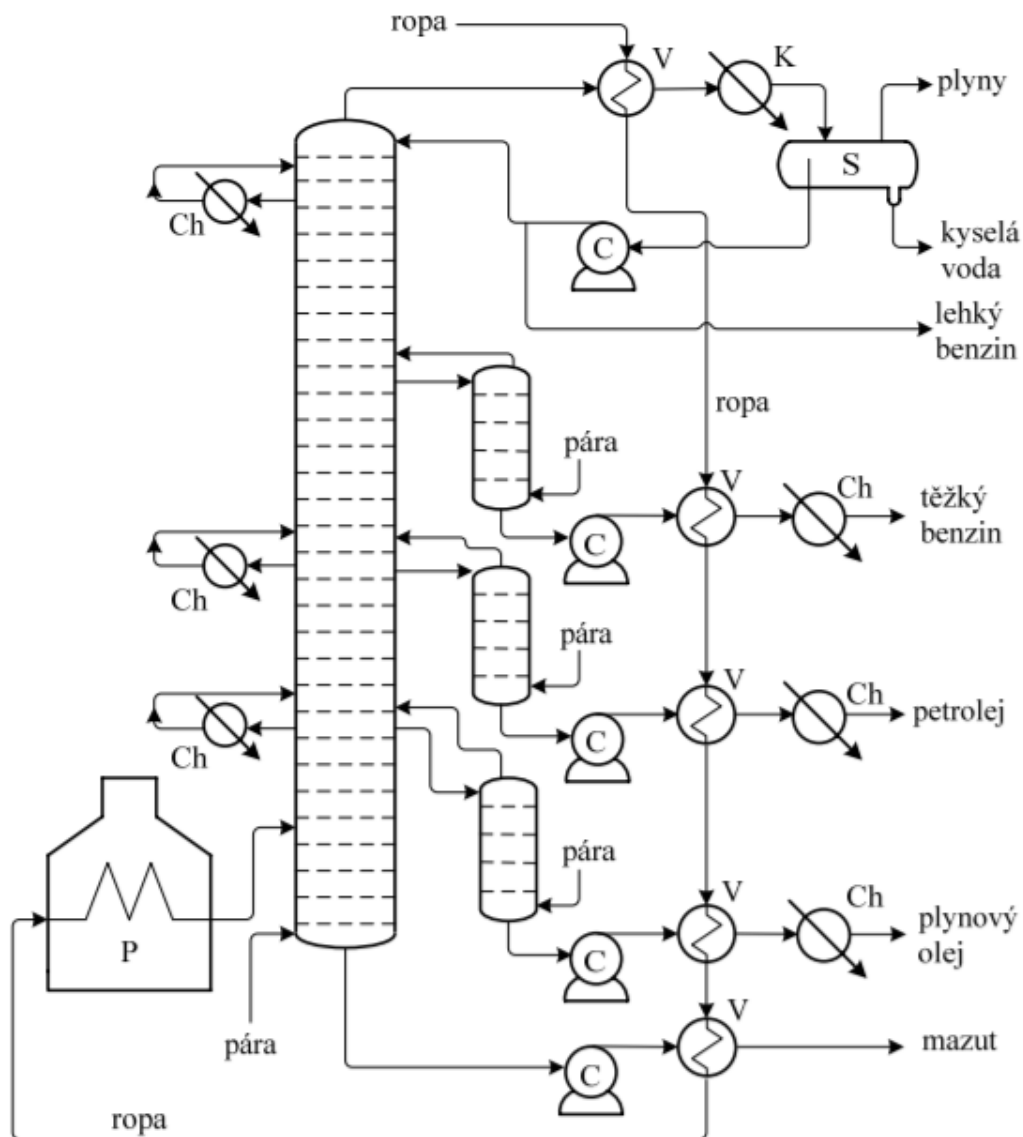
- **Hlava kolony** – zde odchází směs **benzinu** a vodní páry do vzdušného kondenzátoru, dochladí se ve vodním kondenzátoru a v separátoru se tyto dvě složky oddělí.
- **10. až 14. patro** – zde se odtahuje **petrolej** do stripovací boční kolony.
- **18., 22. nebo 24. patro** – zde se odtahuje **plynový olej** do boční stripovací kolony.
- **28. patra** – zde se odtahuje **lehký topný olej** do boční vypuzovací kolony. Vystripovaný lehký topný olej se vede do výměňiku, další jeho část se vrací do atmosférické kolony jako zpětný tok.
- **Spodní část kolony (Mazut)** – atmosférický zbytek se vede přes výměňiky, kde se sníží jeho teplota na 100°C a vede se do skladu.

**Tabulka 4**  
Jednotlivé frakce atmosférické destilace ropy

Název frakce	Přibl. rozmezí b.v. frakce [°C]	Obvyklý podíl v ropě [%]	Přibližná hustota [kg.m <sup>-3</sup> ]	Počet atomů C v uhlovodíkové frakci
Benzín	30 – 200	20 – 30	700	5 – 11
Petrolej	180 – 270	5 – 15	800	10 – 18
Plynový olej	250 – 360	15 – 25	900	16 – 25
Mazut	destil. zbytek	40 – 50	900 – 1000	25 – 35

Obrázek 35 – Frakce z atmosférické destilace [1]

Energie obsažená ve zpětných tocích se využívá ve výměnících tepla pro ohřevy. Ve spodní části kolony se teplo dodává vařáky a uváděním ostré vodní páry, která napomáhá oddestilování lehkých podílů.



Obr. 3.3-5: Typické schéma atmosférické destilace ropy  
(C - čerpadlo, S - separátor, K - kondenzátor, P - trubková pec, V - výměník tepla, Ch - chladič)

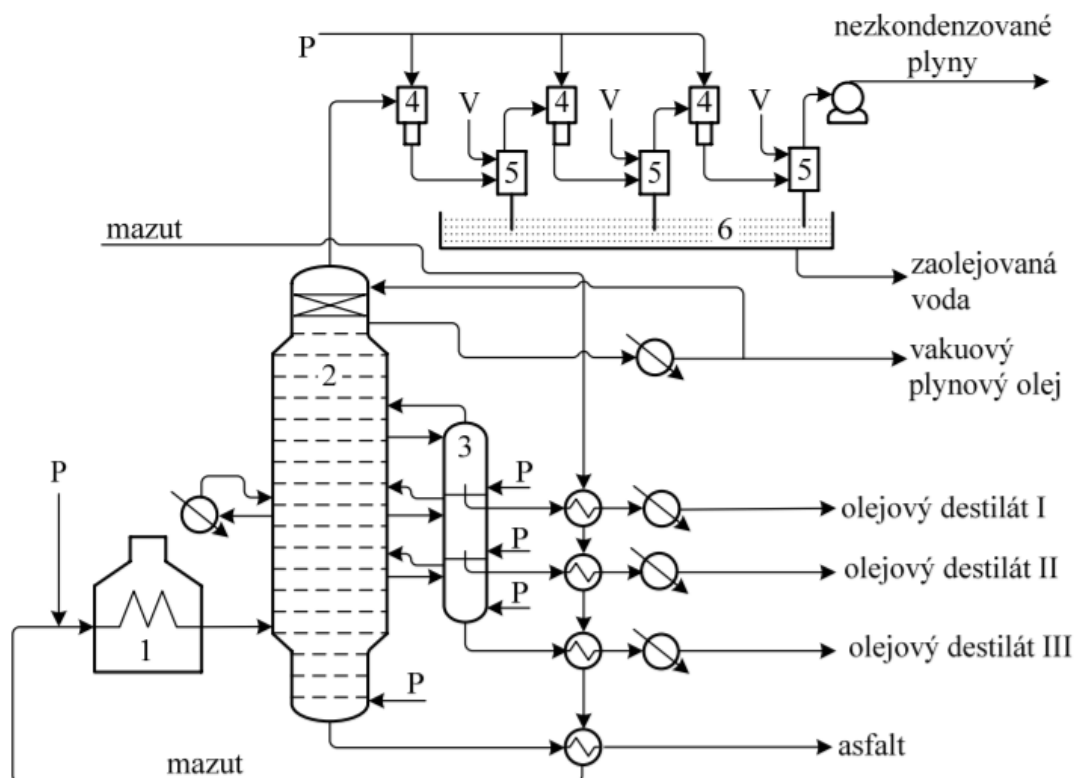
Obrázek 36 – Schéma atmosférické destilace ropy [1]

### Vakuová destilace ropy

Vakuová destilační kolona se využívá k destilačnímu dělení zbytku atmosférické kolony (mazutu), který tvoří téměř polovinu zpracované ropy z atmosférické kolony. Pomocí vakuové rektifikace se z mazutu vydestiluje 50 až 60 % olejových frakcí. Destilačním zbytkem je asfalt. Vakuová rektifikace pracuje na stejném principu jako atmosférická destilace, tj. s bočními odběry a



dodáváním tepla přes předeřtý a částečně odpařený nástřik. Mazut odtahovaný ze spodku atmosférické kolony je nastřikován přes trubkovou pec, kde se ohřeje na 400 °C, do vakuové kolony. Aby se snížil bod varu, pracuje se za tlaku mezi 5 až 7 kPa v hlavě kolony. Vakuová kolona má obvykle nižší počet pater než kolona atmosférická a volí se větší průměr z důvodu většího objemu par při sníženém tlaku. Oproti atmosférické koloně má také větší vzdálenost pater, až 750 mm místo 500 – 600 mm.



Obr. 3.3-6: Typické schéma vakuové destilace mazutu  
 (1 - trubková pec, 2 - vakuová kolona, 3 - boční kolonky, 4 - parní ejektor,  
 5 - barometrický kondenzátor, 6 - hydraulická uzávěrka, P - pára, V - chladicí  
 voda)

Obrázek 37 – Schéma vakuové destilace [1]

Odsávané páry se vedou přes barometrický kondenzátor k vývěvě. Spodní část kolony je zúžená, aby se asfalt, který se zde hromadí, nezdržoval delší dobu, z důvodu možného zakoksování. Místo pater se ve spodní části kolony používají přepadové plechy, aby byl pohyb kapaliny intenzivnější. Do spodní části se přivádí pára, která vypuzuje lehčí podíly. Boční podíly jsou odtahovány pomocí čerpadel, kvůli nižšímu tlaku v koloně, díky kterému nemohou frakce odtékat samovolně.

Produkty získané z vakuové kolony mají mnoho způsobů využití.

- Olejové frakce se zpracují štěpnými (krakovacími) procesy, kterými se získává benzin, petrolej, motorová nafta atd. nebo těžké topné oleje s lepšími vlastnostmi než původní surovina.
- Olejové frakce mají snazší proces odsíření.
- Asfalt se využívá k povrchům vozovek.

#### *Frakce*

Frakce	Destilační rozmezí (°C)	Frakce	Destilační rozmezí (°C)
Uhlovodíkové plyny	do 5	Vakuový plynový olej	320 - 390
Lehký benzin	30 - 85	Olejový destilát I	390 - 440
Těžký benzin	85 - 180	Olejový destilát II	440 - 500
Petrolej	180 - 270	Olejový destilát III	500 - 560
Plynový olej	270 - 390	Vakuový zbytek	nad 560

Obrázek 38 – Frakce získané atmosférickou a vakuovou destilací [1]

### 8.3. Rafinace ropných produktů

Produkty získané z atmosférické a vakuové destilace ropy mohou obsahovat nežádoucí složky, kvůli kterým neodpovídají požadavkům spotřebitelů. Kvalita kapalných paliv se tedy zlepšuje sekundárním rafinerským zpracováním. Sirné sloučeniny v ropě mají široké rozpětí bodů varu, takže se při atmosférické destilaci dostanou do všech destilačních frakcí. Výskyt sirných sloučenin v pohonných hmotách ovlivňuje jejich užité vlastnosti např. oktanové a cetanové číslo, příp. další vlastnosti. Dále se může těmito procesy upravovat vzájemný podíl frakcí oproti původnímu složení ropy.

#### Základní operace používané při rafinaci pohonných hmot

##### *Odsíření pohonných hmot*

Spalováním sirných sloučenin vzniká  $SO_2$ , který zhoršuje životní prostředí a způsobuje korozi zařízení. Některé sirné sloučeniny mají negativní vliv na účinnost antidetonátorů v benzinech apod. Při odsířování se sirná sloučenina štěpí vodíkem na uhlovodík a sirovodík. K provedení této operace je nutné připojit vhodné katalyzátory (kobalt-molybdenové), kterými dosáhneme potřebné reakční rychlosti. Reakce probíhá při teplotě 300 až 360 °C a tlaku 2 až 5 MPa.

Proces probíhá tak, že plynový olej s vodíkem je předeřán proudem vystupujícím z reaktoru. Následně proudí přes trubkovou pec, kde se ohřejí na 340 °C, na vršek katalytického reaktoru. Kapalina stéká po granulích katalyzátoru, na kterých reagují sirné sloučeniny s vodíkem.

##### *Odstraňování aromatů*

Aromatické uhlovodíky obsažené v palivech mají různý vliv na jejich užité vlastnosti. V benzinech jsou aromáty složkou žádoucí, protože zvyšují oktanové číslo a jejich obsah zvyšujeme katalytickými procesy (tzv. reformování benzinů viz níže).

V petroleji pro svícení aromáty způsobují čazení, a proto jsou nežádoucí složkou. Podobně i v leteckém petroleji není žádoucí tvorba sazí, které mohou působit erozivně při vysokých rychlostech.

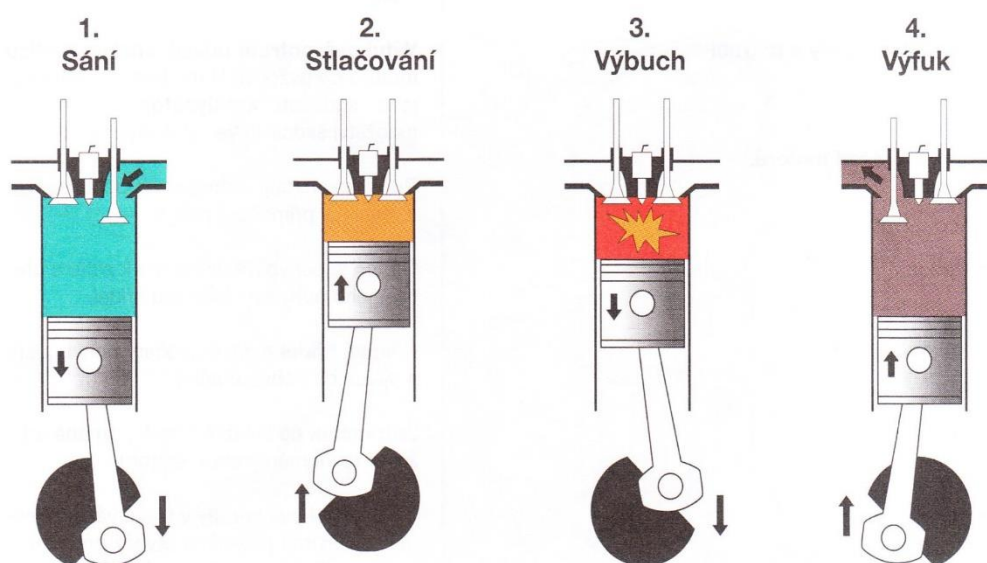
V motorové naftě představují aromáty nežádoucí podíl, protože je jejich cetanové číslo nízké. Na druhé straně aromatické uhlovodíky představují cenou petrochemickou surovinu nebo se používají jako rozpouštědla.

Pro separaci aromatů se používají např.: azeotropické destilace, extrakční destilace, extrakce rozpouštědly, adsorpce

## 8.4. Zpracování atmosférických destilátů

### Benziny

Mezi hlavní ukazatele kvality benzinů vedle oktanového čísla patří především obsah sirných sloučenin, zejména merkaptanů, které při spalování zhoršují životní prostředí. Bohužel po atmosférické destilaci není oktanové číslo benzínu ani zdaleka dostatečné pro dnešní zážehové motory.



Obrázek 39 – Princip činnosti čtyřdobého zážehového motoru <sup>10</sup>

Navýšení oktanového čísla dosáhneme takzvaným reformováním. Základem reformování je aromatizace, což znamená převádění nearomatických uhlovodíků na aromatické. Reformování se týká pouze těžších benzinů ( $C_7 - C_{10}$ ), protože z lehčích vzniká benzenové jádro těžko, a tudíž neposkytují dostatečný výtěžek aromátů. V současné době se reformování provádí výhradně za přítomnosti katalyzátorů a vodíku, který zabraňuje koksotvorným reakcím. Vodík se při tomto procesu nespotřebovává, ale naopak vzniká.

Lehké benziny se upravují izomerací, při které se mění uspořádání atomů v molekule bez změny druhu a počtu atomů tvořící molekulu. Lehký benzin obsahující hlavně n-pentan, n-hexan a málo rozvětvené  $C_6$  izomery. Izomerací se složky přemění na izopentan a více rozvětvené  $C_6$  izomery. Tyto izomery mají větší oktanové číslo a nižší bod tuhnutí než výchozí izomery. Proto se používají jako složka do automobilových benzinů.

<sup>10</sup> Zdroj: <http://auto-pc.webnode.cz>

### Oktanové číslo

Oktanové číslo (OČ) charakterizuje schopnost směsi odolávat klepání. Klepání vznikne ve spalovacím motoru tak, že se stlačovaná směs samovznítí ještě před tím, než může být zapálena jiskrou zapalovací svíčky. To způsobí rychlé spálení směsi, čímž stoupne tlak ve válci, který se přenáší rázově přes ojnici pístu na klikový hřídel a ložiska. Tím se sníží výkon motoru a životnost některých jeho součástí.

Oktanové číslo vyjadřuje referenční složení směsi izooktan – heptan v % obj. v rozsahu 0 až 100. OČ je definováno podle dvou uhlovodíků, které mají podobný bod varu, ale velmi odlišné chování při spalování v motoru.

- Izooktan, který má hodnotu OČ = 100, je málo náchylný ke klepání.
- n-Heptan s OČ = 0, vyvolá velice snadno klepání motoru, zastupuje především n-alkany.

Oktanové číslo se stanoví tak, že se v motoru, daném normou a za předepsaných podmínek, spaluje benzin. Postupně se mění stupeň komprese a měří se, kdy motor začne klepat. Následně se najde směs izooktanu a n-heptanu, která začne klepat za stejných podmínek jako daný benzin. Např. pokud bude benzin při spalování klepat stejně jako směs 70 % obj. izooktanu a 30 % obj. n-heptanu, bude jeho oktanové číslo 70.



Obrázek 40 – Označování kvality benzinů na pumpách <sup>11</sup>

<sup>11</sup> Zdroj: [www.autolexicon.net](http://www.autolexicon.net)

## Letecké petroleje

Letecké petroleje musí mít nízký bod tuhnutí kvůli nízkým teplotám, které jsou ve velkých letových výškách. Proto jsou jako palivo do leteckých motorů využívány cyklany petrolejové frakce, které vyhovují z hlediska spalování, bodu tuhnutí či nízké hustotě, která je důležitá s ohledem na omezený objem nádrží palivových letadel.

Při spalování je důležitý obsah aromátů, ne však kvůli oktanovému číslu. Vyšší obsah aromátů zvyšuje ve spalínách množství sazí, protože aromáty, jako látky bohaté na uhlík a chudé na vodík, dávají značné množství sazí, které při vysokých výtokových rychlostech působí erozivně na některé části motorů.

## Motorová nafta

Ve vznětových motorech se dosahuje vysoké teploty potřebné pro vznícení pomocí velkého kompresního poměru. Ten dosahuje takových hodnot, že se vzduchopalivová směs samovolně vznítí. Optimální vlastnosti pro spalování v Dieselových motorech mají alkany s délkou řetězce  $C_{14} - C_{20}$ . Schopnost samovznícení motorové nafty je vyjádřena pomocí cetanového čísla. Dále se sleduje obsah síry vzhledem ke koroznímu působení na materiál motoru a s ohledem na životní prostředí se pohybuje okolo 0,15 % S, při vyšších koncentracích je třeba provést snížení.

## Cetanové číslo

Cetanové číslo (CČ) vyjadřuje % obj. cetanu v porovnávací směsi. Na rozdíl od OČ neurčuje schopnost směsi odolávat klepání, nýbrž schopnost směsi odolávat tvrdému chodu. Tvrdý chod vznikne u vznětového motoru tak, že se palivo nevznítí okamžitě po vstříknutí, ale dojde k jeho nahromadění a pozdějšímu vznícení, čímž se zvýší tlak na píst. Při tomto jevu klesá účinnost vznětového motoru a zvyšuje se jeho opotřebení.

Krajní hodnoty cetanového čísla jsou opět definovány pomocí dvou uhlovodíků.

- Cetan s hodnotou CČ = 100, reprezentuje uhlovodíky, které velmi dobře odolávají tvrdému chodu.
- 1-Metylnaftalen CČ = 0 je zástupce uhlovodíků s velkou náchylností k tvrdému chodu.

K určení cetanového čísla se dnes místo 1-Metylnaftalenu používá 2,2,4,4,6,8,8-heptametylnonan, který má cetanové číslo 15. Cetanové číslo se pak vypočítá pomocí rovnice:

$$C\check{C} = X + 0,15 * (100 - X)$$

X vyjadřuje obsah cetanu v % obj. ve směsi s 2,2,4,4,6,8,8-heptametylnonanem.

## 8.5. Krakování

Rafinerie tvoří zisk zejména prodejem pohonných hmot, tj. lehkých frakcí, zatímco těžké topné oleje se prodávají za nižší cenu, než je cena ropy. Z tohoto důvodu se přebytek těžkých frakcí přepracovává na lehké pomocí krakovacích procesů. Rozlišujeme tři základní typy krakování:

### Termické krakování

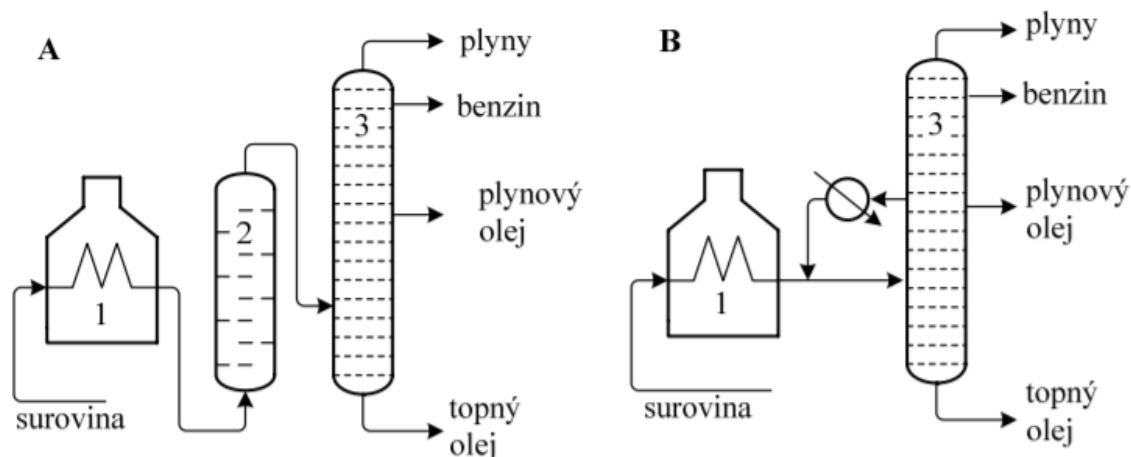
Termické krakování je štěpení složitějších uhlovodíků na jednodušší pomocí termolýzy, která se provádí při teplotě 450 – 550 °C. Většina reakcí je endotermní a s dostatečnou rychlostí probíhá za teplot nad 450 °C. Termické krakování ovlivňuje především složení suroviny, teplota, tlak a reakční doba. Stoupající teplota podporuje krakování a zvětšuje reakční rychlost, proto se volí taková teplota a reakční čas, aby vznikalo maximální množství produktů a méně žádané produkty měly ještě vyhovující kvalitu. Tlak se volí s ohledem na fázové poměry v peci.

Se zvyšováním doby zahřívání se prohlubuje míra štěpení. Z hlediska hloubky štěpení se rozeznává lehké krakování – visbreaking, při kterém se snižuje viskozita frakce, koksování a hluboké štěpení neboli koksování. Nástřikem jsou hlavně zbytky z vakuové, někdy i atmosférické destilace ropy.

### *Visbreaking*

Visbreaking je proces mírného termického krakování, který pracuje bez recyklace pouze na jeden průchod suroviny. Visbreaking se používá ke snížení viskozity a bodu tuhnutí topných olejů. Vakuové zbytky a mazuty se smíchají s určitým množstvím níževroucí ropné frakce. Tím vznikne topný olej o požadované viskozitě a bodu tuhnutí. Po snížení viskozity topného oleje pomocí visbreakingu se tak pomocí přeměny těžkých frakcí na lehčí ušetří níževroucí frakce.

Některé procesy visbreakingu se uskuteční v reaktoru, kde proběhne hlavní část štěpných reakcí. Surovinou může být mazut nebo vakuový zbytek. Z reakčních produktů se většinou oddělují pouze plyny, benzin a část plynového oleje, jako zbytek se získává těžký topný olej. Další procesy visbreakingu probíhají mimo reaktor, kde jeho funkci přebere trubková pec, ve které proběhnou štěpné reakce. Visbreakingem se získává okolo 10 % benzínu a 20 % plynového oleje, zbytek tvoří těžký olej.



Obr. 4.2-1: Schéma visbreakingu s reaktorem (A) a bez reaktoru (B)  
(1 - pec, 2 - reaktor, 3 - frakční kolona)

Obrázek 41 – Schéma visbreakingu [1]

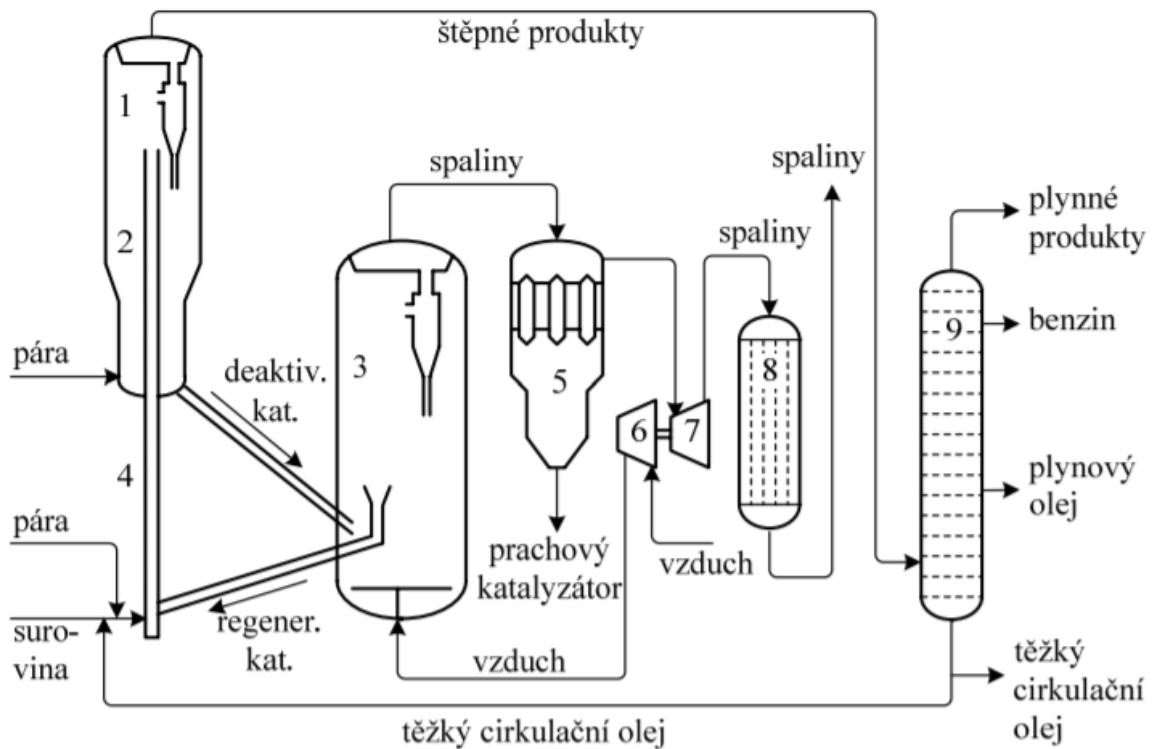
### Koksování

Koksování probíhá při vysokých teplotách, kdy dochází ke štěpení suroviny a zároveň ke vzniku nerozpustných látek s vysokou molekulovou hmotností a vysokým obsahem uhlíku. Při koksování je nutné odstraňovat koks z reakční komory. To se řeší tak, že má zařízení dvě reakční komory, kdy se v jedné komoře koks hromadí, zatímco druhá komora je vyřazená a koks se z ní vyřezává. Další možností je koksování na fluidizovaném loži koksu, kdy se část koksu odtahuje kontinuálně jako produkt. Koksováním se získá okolo 20 % benzínu a 40 % plynového oleje. Zbytek představuje koks.

### Katalytické krakování

Katalytické krakování se provádí obvykle jako fluidní katalytické krakování (FCC). V tomto procesu vzniká materiál s nižší molekulovou hmotností, než má vstupní surovina za působení kyselých katalyzátorů. Nejčastěji používané jsou hlinitokřemičitany (aluminosilikáty), odštěpující  $H^+$  ionty. Poslední dobou se často místo aluminosilikátů uplatňují krystalické zeolity nebo jejich směsi. Zeolity pomáhají k navýšení výtěžku benzínu a omezují tvorbu nežádoucích plynných uhlovodíků. Přítomnost kladného náboje polarizuje jinak nepolární vazbu C-C a usnadňuje tak její štěpení. Tyto katalyzátory vytvářejí z uhlovodíků karboniové ionty. Ty se dále štěpí a vytvářejí jednodušší uhlovodíky, které se nakonec izomerují, což je proces, kdy za přítomnosti vodíku se butan mění v isobutan. Celé katalytické krakování probíhá jako řetězová reakce. Hlavním produktem je benzin, dále pak lehké nasycené a nenasycené uhlovodíky, které se využívají i jako suroviny v petrochemii.





Obr. 4.3-1: Typické schéma fluidního katalytického krakování  
 (1 - reaktor, 2 - striper, 3 - regenerátor, 4 - stoupačka, 5 - cyklony, 6 - komprese  
 vzduchu, 7 - expanze spalin, 8 - kotel na výrobu páry, 9 - frakční kolona)

Obrázek 42 – Schéma fluidního katalytického krakování [1]

Katalyzátor vstupuje do krakovacího reaktoru s teplotou 500 °C a vystupuje s teplotou okolo 440 °C. Asi 5 % suroviny se změní na koks, který se tvoří na katalyzátoru. Z toho důvodu je třeba katalyzátor regenerovat. Regenerace katalyzátoru se provede spálením usazeného koku v tzv. regenerátoru. Katalytickým krakováním se získá větší množství benzínu, který má navíc větší oktanové číslo než benzin získaný pomocí termického krakování.



Obrázek 43 – Zařízení pro fluidní katalytické krakování<sup>12</sup>

## Hydrokrakování

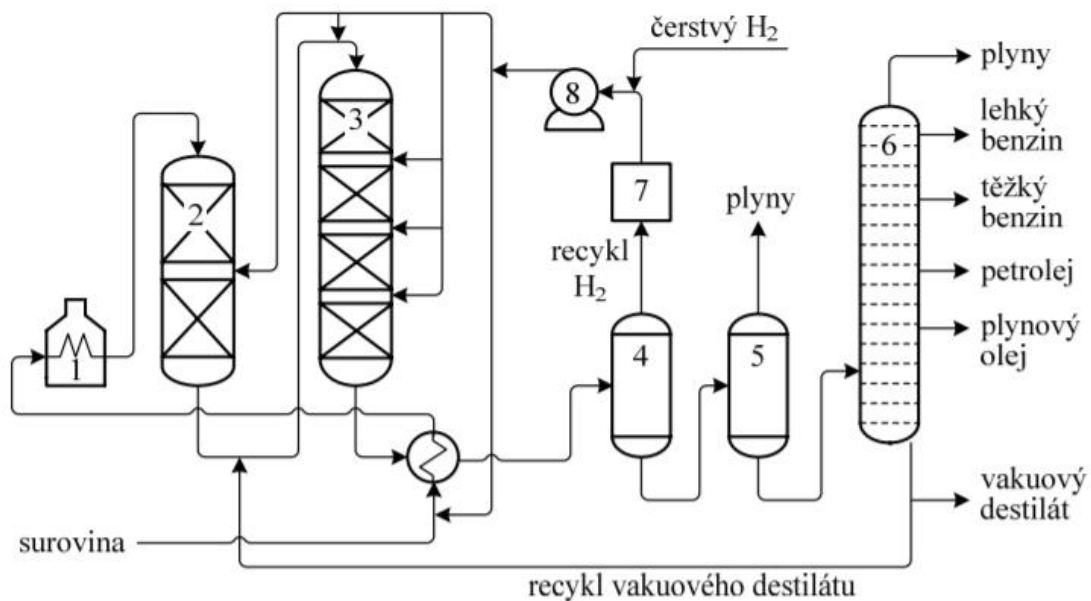
Při tomto procesu se uhlovodíky podrobí hydrogenolyze za vzniku dvou molekul alkanu. Proces probíhá na povrchu katalyzátorů, v tomto případě s kyselou a hydrogenační aktivitou. Jako katalyzátory jsou použity aluminosilikáty – zeolity. Na rozdíl od štěpení na kyselých katalyzátorech, které je endotermní, je hydrogenolyza exotermní. V podmínkách této reakce nevznikají uhlovodíky – alkeny, které by jinak polymerovaly až na látky blízké koksů a následně se usazovaly na katalyzátoru, čímž by ztrácel svoji katalytickou aktivitu. Z tohoto důvodu je tento proces technologicky výhodnější než katalytické krakování na kyselých katalyzátorech.

Reakční teplota hydrokrakování bývá okolo 400 °C. Hloubka štěpení je ovlivněna jak teplotou, tak parciálním tlakem vodíku. Celkový tlak se pohybuje okolo 5 – 20 MPa. Benzin, který

---

<sup>12</sup> Zdroj: <http://www.technip.com/sites/default/files/technip/2-fcc-australia.jpg>

se získá hydrokrakováním, je oproti benzínu z katalytického krakování méně kvalitní – má menší OČ. Hydrokrakováním se však získá velmi kvalitní motorová nafta s nízkým obsahem aromátů.



Obr. 4.4-1: Schéma jednostupňového hydrokrakování se dvěma reaktory  
 (1 - pec, 2 - hydrogenační reaktor, 3 - hydrokrakovací reaktor, 4 - vysokotlaký separátor, 5 - nízkotlaký separátor, 6 - frakční kolona, 7 - vypírka kyselých plynů, 8 - vodíkový kompresor)

Obrázek 44 – Schéma hydrokrakování [1]



Obrázek 45 – Hydrokrakovací reaktory<sup>13</sup>

## 9. Petrochemie

Petrochemie se zabývá syntézou nejdůležitějších výchozích organických sloučenin pro další výrobu. Jejím úkolem je zpracovat základní uhlovodíky získané z ropy. Ty se přemění na petrochemikálie, které jsou následně dalšími reakcemi transformovány na jiné, mnohem složitější produkty chemické technologie využitelné jako léčiva, pesticidy, barviva, výbušniny, vonné látky apod.

Mezi základní petrochemické produkty patří:

- Alkeny – ethylen, propylen a nenasycené uhlovodíky  $C_4$ .
- Aromatické sloučeniny – benzen.
- Alkany.

---

<sup>13</sup> Zdroj: <http://www.contractresources.com/Images/Showcase/Large/839137910.jpg>

## Ethylen, Propylen

Ethylen je v dnešní době jedna z nejdůležitějších chemikálií, protože je základem výroby tří nejdůležitějších termoplastů. Spotřeba propylenu je oproti ethylenu asi o polovinu menší. Propylen může nabídnout širší spektrum syntetických možností.

Tyto alkeny se vyrábí pomocí pyrolýzy vhodných uhlovodíkových surovin. Pyrolýza je vysokoteplotní štěpení vyšších uhlovodíků. V nasycených uhlovodících jsou uhlíkové atomy vázány jednoduchými vazbami. Pyrolýzou se ohřejí uhlovodíkové molekuly, čímž se zvýší jejich energie a zvýší se vibrace jejich jednoduchých vazeb mezi uhlíkovými atomy. Při teplotách okolo 500 °C (pyrolýza probíhá kolem 800 °C) dochází k disociaci vazeb a tvorbě primárních radikálů. Pro pyrolýzu je zásadní, že tento ohřev proběhne v přesně daném reakčním čase, který je menší jak 1 vteřina. Tyto podmínky se dají splnit pouze v tenké trubce, do které se musí za krátký čas předat velké množství tepelné energie. Pro pyrolýzu se tedy používá pyrolýzní reaktor, který je konstruován jako trubkový reaktor uložený v peci.

## Aromáty

Postup výroby aromátu je takový, že se nejdříve primární frakce aromatizují a poté se odseparují aromáty od nearomatických složek. K tvorbě aromátů se použije výše zmíněná pyrolýza, katalytické reformování nebo koksování.

## 10. Využití ropy

Z rafinerie jsou produkovány jak hotové výrobky, určené k přímému použití, tak suroviny pro navazující zpracování v jiných odvětvích průmyslu, kde se vyrábí další výrobky a poloproducty.

Hlavní využití ropy a ropných produktů:

- Výroba pohonných paliv pro automobilové, letecké a další motory.
- Výroba topných olejů a plynů.
- Výroba mazacích olejů.
- Výroba asfaltu.
- Výroba plastů, automobilových pneumatik, pryže.
- Výroba léků, pesticidů a léčiv.

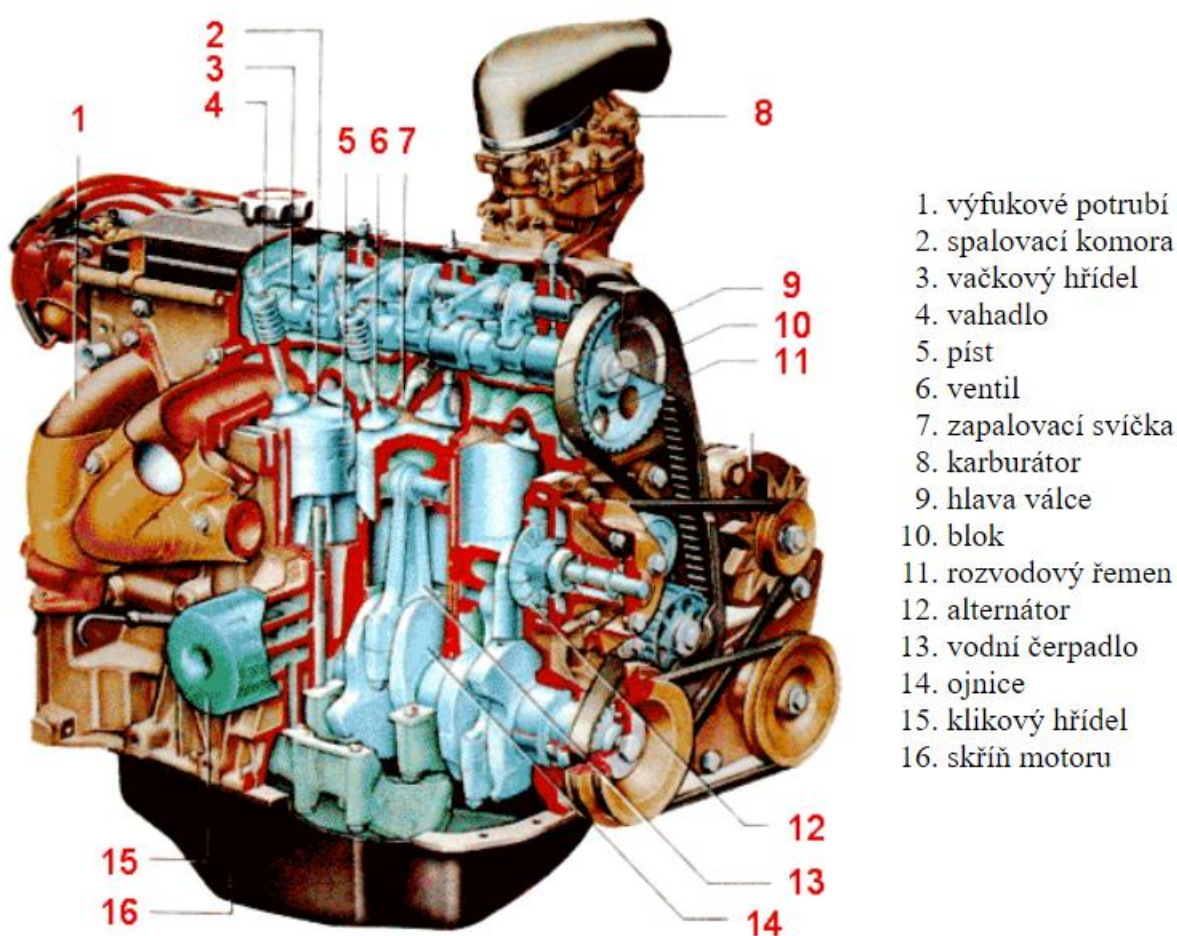
## Využití různých produktů rafinerie

### Benziny

Benziny se podle využití dělí na:

- Automobilové.
- Letecké.
- Technické (ředidla, rozpouštědla).

Automobilové benziny se používají pro pohony automobilů, které jsou vybaveny zážehovým motorem.



Obrázek 46 – Čtyřdobý zážehový motor <sup>14</sup>

Letecké benziny se používají pro pohon letadel vybavených zážehovými motory. Nejsou schopné pohánět většinu dnešních letadel. Ty jsou poháněny tryskovými (proudovými) motory, kde jako palivo slouží letecký petrolej.

Technické benziny mají technologické a technické využití jako rozpouštědla ředidla apod.

<sup>14</sup> Zdroj: [http://dragon.web2001.cz/fyzika/tepelnastroje/ctyrdoby\\_zazehovy.htm](http://dragon.web2001.cz/fyzika/tepelnastroje/ctyrdoby_zazehovy.htm)

## Petroleje

Petroleje jsou využívány pro výrobu leteckého petroleje a motorové nafty, kdy se olej smísí s plynovým olejem. Pouze minimálně se dnes petrolej užívá jako palivo do petrolejových lamp.

Jak již bylo zmíněno výše, letecký petrolej se používá jako palivo pro proudové (letecké) motory. Ty využívají sílu, která vznikne nepřetržitým spalováním paliva a stlačeného vzduchu. Ke stlačení vzduchu se používá lopatkový kompresor.



Obrázek 47 – Proudový letecký motor <sup>15</sup>

## Motorové nafty

Motorové nafty se používají k pohánění vznětových motorů.

## Mazací prostředky

Mazací prostředky se využívají ke snížení tření a opotřebení různých strojních součástí, čímž snižují spotřebu energie, prodlužují životnost třecích ploch, působí jako izolanty v elektrických zařízeních apod.

Můžeme je rozdělit na:

- Mazací oleje.
- Plastická maziva.

---

<sup>15</sup> [http://www.autolexicon.net/obr\\_clanky/cs\\_letecky\\_petrolej\\_001.jpg](http://www.autolexicon.net/obr_clanky/cs_letecky_petrolej_001.jpg)

Mazací oleje se využívají hlavně k promazávání spalovacích motorů, v kluzných ložiskách, převodech motorů a dalších strojních zařízeních. Jejich hlavním úkolem je mazání – separace povrchů a snížení tření, chlazení součástí a vynášení nečistot.

Plastická maziva jsou tvořena částicemi zpevňovačů, která vytvářejí vláknitou strukturu vyplněnou olejem. Poměr částic a oleje bývá obvykle 2:8. Funkce plastických maziv je:

- Mazání – vytvoření pevného filmu mezi třecími plochami, čímž se zvyšuje životnost součástí.
- Korozní ochrana povrchu.
- Dotěsňování – utěsnění daného místa, čímž se zabraňuje vniknutí nečistot a vlhkosti.

### Topné oleje

V minulosti patřily topné oleje mezi nejčastější ropné výrobky tvořící téměř 50 % ze zpracované ropy. S rozvojem plynofikace se však jejich význam postupně zmenšoval a dnes produkce topných olejů představuje pouze malou část produkce rafinerií.

### Asfalty

Asfalty můžeme podle využití rozdělit do těchto kategorií:

- Silniční – údržba silnic, letišť apod.
- Průmyslové – izolace staveb, střech apod.
- Modifikované – asfalty modifikované organickými polymery – silniční/průmyslové využití
- Ředěné – využití jako nátěrové hmoty, izolace proti vodě.



## 11. Návrh výměníků pro ohřev ropy před atmosférickou destilací – základní bilanční výpočet

Ropa je před nástřikem do atmosférické destilační kolony nejdříve předeřívána v soustavě výměníků produkty destilace a následně dohřívána v trubkové peci.

### Předeřev ropy destilačním zbytkem

V horizontálním trubkovém výměníku se ropa předeřívá z teploty 224 °C na teplotu 252 °C destilačním zbytkem o vstupní teplotě 345 °C.

Cílem bilančního výpočtu je určit:

- 1) tepelný výkon výměníku
- 2) výstupní teplotu destilačního zbytku
- 3) součinitel prostupu tepla
- 4) potřebnou teplosměnnou plochu

Vstupní data pro návrh:

#### A. Trubková strana

Médium: ropa, průtok 710 t/h, vstupní teplota 224 °C, výstupní teplota 252 °C.

Návrhová rychlost proudění ropy v trubkách: 1,5 m/s.

Rozměr trubky vnitřní/vnější = 19/25,4 mm, ocel, tepelná vodivost  $\lambda = 50 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ .

Fouling na vnitřní straně trubky: tloušťka vrstvy 0,5 mm, tepelná vodivost  $\lambda = 0,15 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ .

Fouling na vnější straně trubky: tloušťka vrstvy 0,5 mm, tepelná vodivost  $\lambda = 0,15 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ .

#### B. Mezitrubkový prostor

Médium: destilační zbytek, průtok 250 t/h, vstupní teplota 345 °C.

Návrhová rychlost proudění zbytku v nejužším průtočném průřezu: 1 m/s.

#### C. Svazek

Uspořádání trubek za sebou (průběžné uspořádání), rozteč 31,5 x 31,5 mm (čtverec 90°).

#### D. Fyzikální vlastnosti ropy

měrná tepelná kapacita  $c_p = 2,61 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

hustota  $\rho = 799 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

tepelná vodivost  $\lambda = 0,111 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

kinematická viskozita  $\nu = 0,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

### E. Fyzikální vlastnosti destilačního zbytku

$$\text{měrná tepelná kapacita} \quad c_p = 2,85 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$$

$$\text{hustota} \quad \rho = 768 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\text{teporná vodivost} \quad \lambda = 0,107 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

$$\text{kinematická viskozita} \quad \nu = 0,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

### Výpočet

#### Tepelný výkon výměníku

$$\dot{Q} = \dot{m}_1 * c_{p1} * (T'' - T') = \frac{710 \cdot 10^3}{3600} * 2610 * (252 - 224) = 14\,413\,000 \text{ W} = 14,413 \text{ MW} \quad (1)$$

#### Výstupní teplota destilačního zbytku

$$T'' = T' - \frac{\dot{Q}}{\dot{m}_2 * c_{p2}} = 618,15 - \frac{14\,413\,000}{\frac{250\,000}{3600} * 2850} = 545,32 \text{ K} = 269,27 \text{ °C} \quad (2)$$

#### Součinitel prostupu tepla v trubce

$$Nu = a * D_i / \lambda = 0,023 * Re^{0,8} * Pr^{0,4}$$

$$\text{Platnost: } 10\,000 < Re < 200\,000, 1 < Pr < 150$$

$$Re = \bar{v} * D_i / \nu = \bar{v} * D_i * \rho / \mu$$

$$Pr = \nu / a = m * c_p / \lambda$$

$$a = \lambda / (\rho * c_p)$$

Při výpočtu součinitele přestupu tepla na svazku neuvažujte vliv foulingu (vliv na  $D_i$ ).

$$\mu = \nu * \rho = 0,4 * 10^{-6} * 799 = 0,32 * 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s} \quad (3)$$

$$Re = \frac{\bar{v} * D_i * \rho}{\mu} = \frac{1,5 * 0,019 * 799}{0,32 * 10^{-3}} = 71\,160 \rightarrow \text{Turbulentní proudění} \quad (4)$$

$$Pr = \frac{\mu * c_p}{\lambda} = \frac{0,32 * 10^{-3} * 2,61 * 10^3}{0,111} = 7,524 \quad (5)$$

$$Nu = 0,023 * Re^{0,8} * Pr^{0,4} = 0,023 * 71\,160^{0,8} * 7,524^{0,4} = 392,73 \quad (6)$$

$$\alpha_1 = Nu * \frac{\lambda}{D_i} = 392,73 * \frac{0,111}{0,019} = 2\,288,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad (7)$$

## Přestup tepla na horizontálním trubkovém svazku

### Uspořádání trubek za sebou

$$Nu = a * \frac{D_e}{\lambda} = 0,202 * K1 * Re^{0,64} * Pr^{0,4}$$

$$Platnost: 6\ 000 < Re < 100\ 000, 0,7 < Pr < 500.$$

$$Re = \bar{v} * D_e / \nu = \bar{v} * D_e * \rho / \mu$$

$$Pr = \nu / a = \mu * c_p / \lambda$$

$$a = \lambda / (r * c_p)$$

Výpočtová hodnota součinitele  $K1 = 0,92$ .

Rychlost  $u$  v Reynoldsově čísle – rychlost v nejužším průtočném průřezu.

Při výpočtu součinitele přestupu tepla na svazku neuvažujte vliv foulingu (vliv na  $D_e$ ).

$$\mu = \nu * \rho = 0,3 * 10^{-6} * 768 = 0,23 * 10^{-3} Pa \cdot s \quad (8)$$

$$Re = \frac{\bar{v} * D_e * \rho}{\mu} = \frac{1 * 0,0254 * 768}{0,23 * 10^{-3}} = 84\ 667 \quad (9)$$

$$Pr = \frac{\mu * c_p}{\lambda} = \frac{0,23 * 10^{-3} * 2,85 * 10^3}{0,107} = 6,14 \quad (10)$$

$$Nu = 0,202 * K1 * Re^{0,64} * Pr^{0,4} = 0,202 * 0,92 * 84\ 667^{0,64} * 6,14^{0,4} = 547,2 \quad (11)$$

$$\alpha_1 = Nu * \frac{\lambda}{D_i} = 547,2 * \frac{0,107}{0,0254} = 2\ 305 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (12)$$

### Součinitelé přestupu tepla

$$K_{1m} = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_i * D_i} + \frac{1}{\alpha_e * D_e} + \sum \frac{1}{2 * \lambda_j} * \ln \frac{D_{ej}}{D_{ij}}} = \frac{\pi}{\frac{1}{2288,5 * 0,018} + \frac{1}{2305 * 0,0264} + \frac{1}{2 * 0,15} * \ln \frac{0,019}{0,018} + \frac{1}{2 * 50} * \ln \frac{0,0254}{0,019} + \frac{1}{2 * 0,15} * \ln \frac{0,0256}{0,0254}} = 12,57 \frac{W}{m * K} \quad (13)$$

(Pro zajímavost: Kdyby se neuvažoval vliv foulingu  $K_{1m}$  by se rovnalo  $72 \frac{W}{m * K}$ )

$$K_e = \frac{K_{1m}}{\pi * D_e} = \frac{12,57}{\pi * 0,0264} = 151,56 \frac{W}{m^2 * K} \quad (14)$$

### Teplosměnná plocha na vnější straně

$$\Delta T_{ln} = \frac{\Delta' - \Delta''}{\ln \frac{\Delta'}{\Delta''}} = \frac{121 - 93}{\ln \frac{121}{93}} = 106,39 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (15)$$

$$S_e = \frac{\dot{Q}}{K_e \cdot \Delta T} = \frac{14\,413\,000}{151,56 \cdot 106,39} = 893 \text{ m}^2 \quad (16)$$

$$L = \frac{S_e}{\pi \cdot D_e} = 10\,777 \text{ m} \quad (17)$$

Za předpokladu, že délka trubek  $l_t = 3 \text{ m}$ , je potřeba:

$$n = \frac{L}{l_t} = \frac{10\,777}{3} = 3593 \text{ trubek} \quad (18)$$

Za předpokladu, že délka trubek bude 3 m, je potřebný počet trubek 3593. Vzhledem k takto vysokému počtu trubek bych tepelný výměník navrhoval jako soustavu výměníků.

## 12. Návrh trubkové pece pro ohřev ropy – základní bilanční výpočet

V trubkové peci se ropa ohřívá z teploty 252 °C na teplotu 355 °C. Cílem bilančního výpočtu bylo stanovit potřebný tepelný výkon pece pro ohřev 710 t/h ropy z teploty 252 °C na teplotu 355 °C. Tepelná účinnost pece je 81 %.

Tepelný výkon potřebný pro ohřev

$$\dot{Q}' = \dot{m}_1 \cdot c_{p1} \cdot (T'' - T') = \frac{710 \cdot 10^3}{3600} \cdot 2840 \cdot (355 - 252) = 57\,691\,444 \text{ W} = 57,7 \text{ MW} \quad (19)$$

Výkon pece

$$\dot{Q} = \frac{\dot{Q}'}{\eta} = \frac{57\,691\,444}{0,81} = 71\,224\,005 \text{ W} = 71,2 \text{ MW} \quad (20)$$

## 13. Závěr

Cílem práce bylo vypracovat rešerši se zaměřením na zpracování ropy. Práce je rozdělena do následujících částí.

V první části práce je shrnut vznik a výskyt ropy, popsány způsoby těžby a přepravy do rafinerie včetně skladování ropy. V další části jsou popsány základní procesy zpracování ropy v rafinerii, používaná zařízení a typy rafinerií. Předposlední část je zaměřena na využití ropy a získaných produktů.

V poslední části je prezentován základní bilanční výpočet pro návrh výměníku pro přehřev ropy před atmosférickou destilací. Cílem výpočtu bylo stanovit základní procesní parametry: tepelný výkon výměníku, výstupní teplotu destilačního zbytku, součinitel prostupu tepla a potřebnou teplosměnnou plochu a odhadnout potřebný počet trubek. Vypočtený tepelný výkon soustavy výměníků je  $14,413 \text{ MW}$ , výstupní hodnota destilačního zbytku  $269 \text{ }^\circ\text{C}$ , potřebná teplosměnná plocha je  $893 \text{ m}^2$ . Vzhledem k potřebnému počtu trubek bude nutné výměník navrhnout jako soustavu výměníků. Výpočtem bylo také zjištěno, že významnou roli a vliv na přestup tepla, a tedy i na teplosměnnou plochu má fouling trubek.

Dále byl proveden základní bilanční výpočet trubkové pece. Cílem výpočtu bylo stanovit potřebný tepelný výkon pece. Vypočtený potřebný tepelný výkon pece pro ohřev  $710 \text{ t/h}$  ropy při tepelné účinnosti  $81 \%$  je  $71,23 \text{ MW}$ .

## Seznam použité literatury

- [1] BLAŽEK, Josef a Vratislav RÁBL. Základy zpracování a využití ropy. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-7080-619-2.
- [2] PAŠEK, Josef. Uhlíkaté suroviny. 2., přeprac. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko – technologická, 1996. ISBN 80-7080-249-9.
- [3] RÁBL, Vratislav, Petr KOZÁK a Michal STEJSKAL. Technologie ropy. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1991. ISBN 80-7080-089-5.
- [4] SKOBLO, A. I., I. A. TREGUBOVOVÁ a Ju. K. MOLOKANOV. Procesy a zařízení pro průmyslové zpracování ropy. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989. ISBN 80-03-00089-0
- [5] Petroleum.cz. [Http://petroleum.cz/](http://petroleum.cz/) [online]. [cit. 2017-12-07]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/>
- [6] National Geographic Česko [online]. [cit. 2017-12-22]. Dostupné z: <https://www.national-geographic.cz/>
- [7] Mero. [Http://petroleum.cz/](http://petroleum.cz/) [online]. [cit. 2017-12-07]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/>

## Seznam obrázků

Obrázek 1 – Rovnice vzniku methanu, acetylenu a propynu [5] .....	7
Obrázek 2 – Fyktoplankton [5] .....	8
Obrázek 3 – Řez ropným ložiskem [5] .....	9
Obrázek 4 – Vznik sedimentárních pánví [5] .....	9
Obrázek 5 – Jezero Pitch Lake [6] .....	10
Obrázek 6 – Kráter Derweza Gas [6] .....	11
Obrázek 7 – Gravimetr .....	12
Obrázek 8 – Automobil pro seismický průzkum .....	13
Obrázek 9 – Seismický průzkum [5] .....	14
Obrázek 10 – Ropný vrt .....	15
Obrázek 11 – Schéma vrtné věže [1] .....	16
Obrázek 12 – Schéma znázornění různých způsobů vrtání na moři [1] .....	17
Obrázek 13 – Druhy plošin [5] .....	17
Obrázek 14 – Ropná plošina na moři .....	18
Obrázek 15 – Schéma způsobů těžby ropy [1] .....	19
Obrázek 16 – Čisticí ježek v potrubí [7] .....	20
Obrázek 17 – Ježek DN 200 inteligentní ultrazvukový [7] .....	21
Obrázek 18 – Ropovod [5] .....	22
Obrázek 19 – Mapa tras ropovodů v Evropě [5] .....	23
Obrázek 20 – Výstavba ropovodu Družba duben 1963 [7] .....	24
Obrázek 21 – Výstavba ropovodu IKL v ČR [7] .....	25
Obrázek 22 – Velikosti tankerů .....	26
Obrázek 23 – Tanker .....	27
Obrázek 24 – CTR Nelahozeves [7] .....	27
Obrázek 25 – Schémata nadzemních skladovacích nádrží na ropu a kapalné produkty ropy [1] .....	28
Obrázek 26 – Skladovací nádrže [5] .....	29
Obrázek 27 – Ropná rafinerie [5] .....	30
Obrázek 28 – Zařízení na odsolování ropy .....	31
Obrázek 29 – Schéma odsolování ropy [1] .....	32
Obrázek 30 – Schéma trubkových pecí [1] .....	33
Obrázek 31 – Destilační kolony .....	34
Obrázek 32 – Typy kloboučkových pater [3] .....	36
Obrázek 33 – Schéma studeného a teplého toku [1] .....	37
Obrázek 34 – Schéma cirkulačního zpětného toku [1] .....	37
Obrázek 35 – Frakce z atmosférické destilace [1] .....	38
Obrázek 36 – Schéma atmosférické destilace ropy [1] .....	39
Obrázek 37 – Schéma vakuové destilace [1] .....	40
Obrázek 38 – Frakce získané atmosférickou a vakuovou destilací [1] .....	41
Obrázek 39 – Princip činnosti čtyřdobého zážehového motoru .....	43
Obrázek 40 – Označování kvality benzinů na pumpách .....	44
Obrázek 41 – Schéma visbreakingu [1] .....	47
Obrázek 42 – Schéma fluidního katalytického krakování [1] .....	48
Obrázek 43 – Zařízení pro fluidní katalytické krakování .....	49
Obrázek 44 – Schéma hydrokrakování [1] .....	50
Obrázek 45 – Hydrokrakovací reaktory .....	51
Obrázek 46 – Čtyřdobý zážehový motor .....	53
Obrázek 47 – Proudový letecký motor .....	54