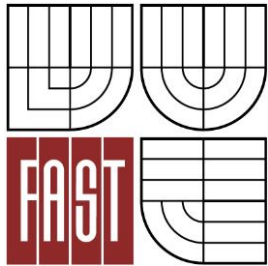




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

## POJIVA DO NETUHÝCH VOZOVEK

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Michal Pěnčík

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. PETR HÝZL, Ph.D.

BRNO 2013



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

**Studijní program** B3607 Stavební inženýrství  
**Typ studijního programu** Bakalářský studijní program s prezenční formou studia  
**Studijní obor** 3647R013 Konstrukce a dopravní stavby  
**Pracoviště** Ústav pozemních komunikací

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

**Student** Michal Pěňčík

**Název** Pojiva do netuhých vozovek

**Vedoucí bakalářské práce** Ing. Petr Hýzl, Ph.D.

**Datum zadání bakalářské práce** 30. 11. 2012

**Datum odevzdání bakalářské práce** 24. 5. 2013

V Brně dne 30. 11. 2012

.....  
doc. Dr. Ing. Michal Varaus  
Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

### **Podklady a literatura**

ČSN EN 12591 - Asfalty a asfaltová pojiva - Specifikace pro silniční asfalty

ČSN EN 14023 Asfalty a asfaltová pojiva - Specifikace pro polymerem modifikované asfalty

ČSN EN 13108-1 Asfaltové směsi - Specifikace pro materiály - Část 1: Asfaltový beton

ČSN 736160 Zkoušení asfaltových směsí

ČSN 736121 Stavba vozovek - Hutněné asfaltové vrstvy - Provádění a kontrola shody

Internetové zdroje

Sborníky z konferencí Asfaltové vozovky 2003,2005,2009,2011

### **Zásady pro vypracování**

V práci bude zpracována problematika použití asfaltových pojiv do asfaltových směsí. Pozornost bude věnována především alternativním pojivům.

### **Předepsané přílohy**

.....  
Ing. Petr Hýzl, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce je zaměřena na pojiva používaná v netuhých vozovkách. V jednotlivých částech jsou rozebrána jak asfaltová pojiva vyskytující se přirozeně v přírodě, tak pojiva získaná z ropy pomocí její destilace a následným dalším zpracováním. V další části je zpracována problematika zkoušení těchto pojiv. Posledním tématem práce jsou alternativní pojiva, která mají potenciál tradiční asfaltová pojiva v budoucnu nahradit.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Asfalt, asfaltové pojivo, ropa, modifikátor, alternativní pojivo

## **ABSTRACT**

The Bachelor's thesis is focused on binders, which are used in flexible pavements. Firstly, we offer the reader description of different types of bitumen binders, which could be found in nature, and binders produced from petroleum through the process of distillation and further processing. Later on, we focus on the issue of testing these binders. The last part of the work deals with alternative types of binders which could potentially replace traditional bitumen binders.

## **KEYWORDS**

Bitumen, bitumen binder, petroleum, modifier, alternative binder

PĚNČÍK, M. *Pojiva do netuhých vozovek*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební Ústav pozemních komunikací, 2013. 73 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Petr Hýzl, Ph.D.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 22. 5. 2013

.....  
podpis autora  
Michal Pěňčík

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Petru Hýzlovi, Ph.D. za vzorné vedení při zpracování této práce. Dále děkuji Ing. Miloši Kašpárkovi z firmy COLAS CZ, a.s. za poskytnuté materiály, ochotu a cenné rady.

# OBSAH

1	ÚVOD .....	10
1.1	Stručný popis práce .....	10
1.2	Cíl práce .....	10
2	ASFALT.....	11
3	ASFALTOVÁ POJIVA PŘÍRODNÍ .....	14
3.1	Vznik přírodních asfaltů .....	14
3.2	Historie používání .....	14
3.3	Ložiska a naleziště.....	14
3.4	Těžba, zpracování a použití.....	15
4	ASFALTOVÁ POJIVA ROPNÁ.....	17
4.1	Ropa jako surovina pro výrobu .....	17
4.1.1	Vznik ropy.....	18
4.1.2	Migrace a akumulace ropy .....	20
4.1.3	Historie těžby ropy .....	21
4.1.4	Současná ropná ložiska .....	22
4.1.5	Těžba ropy.....	24
4.1.6	Doprava ropy.....	25
4.2	Zpracování ropy a výroba základního asfaltového materiálu.....	28
4.2.1	Atmosférická destilace .....	29
4.2.2	Vakuová destilace .....	31
4.2.3	Oxidace (polofoukání) asfaltu.....	32
4.3	Silniční asfalty .....	34
4.4	Modifikované asfalty .....	35
4.5	Asfalty speciální .....	38
4.5.1	Tvrdé silniční asfalty.....	38
4.5.2	Multigradové silniční asfalty.....	39
4.5.3	Účelové asfalty.....	39
4.6	Asfaltové emulze .....	39
4.7	Ředěné a fluxované asfalty.....	43
4.7.1	Ředěné asfalty .....	43
4.7.2	Fluxované asfalty .....	43
5	ZKOUŠENÍ ASFALTOVÝ POJIV .....	44
5.1	Empirické zkoušky .....	44



5.1.1	Stanovení penetrace jehlou .....	44
5.1.2	Stanovení bodu měknutí kroužkem a kuličkou .....	45
5.1.3	Stanovení teploty lámavosti podle Fraasse .....	46
5.1.4	Stanovení vratné duktility modifikovaných asfaltů .....	47
5.1.5	Stanovení tažných vlastností modifikovaných asfaltů – silová duktilita ..	49
5.2	Funkční zkoušky.....	50
5.2.1	Viskozita .....	51
5.2.2	Dynamický smykový reometr .....	52
5.2.3	Průhybový trámečkový reometr .....	54
5.2.4	Zkoušky stárnutí pojiva.....	54
6	ALTERNATIVNÍ POJIVA DO NETUHÝCH VOZOVEK .....	58
6.1	Zdůvodnění nutnosti.....	58
6.2	Současné směry vývoje alternativních pojiv v silničním stavitelství.....	59
6.2.1	Pojiva rostlinného původu .....	60
6.2.2	Alternativní pojiva syntetického původu .....	61
6.2.3	Závěrem k alternativním pojivům.....	63
7	ZÁVĚR .....	64
8	POUŽITÁ LITERATURA.....	65
9	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	70
10	SEZNAM TABULEK.....	72
11	SEZNAM ZKRATEK.....	73

# 1 ÚVOD

## 1.1 Stručný popis práce

Tato bakalářská práce se zabývá pojivou směsí netuhých vozovek. Pojednává o postupu výroby, zkoušení a používání běžných silničních asfaltů, které se vyrábějí z ropy její destilací, a následnou úpravou foukáním, polofoukáním a dalšími procesy, které zlepšují jejich vlastnosti.

Další části práce se zabývají modifikovanými asfaltovými pojivou, která reprezentují materiály vzniklé přidáním modifikátoru (polymeru) do základního silničního asfaltového pojiva. Toto aditivum zlepšuje vlastnosti původního asfaltového pojiva, jako jsou teplota bodu měknutí, teplota bodu lámavosti, odolnost proti trvalým deformacím, zpomalení procesu stárnutí, apod. Popsány jsou též technologie asfaltových emulzí, ředěných a fluxovaných asfaltů.

Poslední a neméně důležitou součástí práce je seznámení s novými trendy a směry vývoje alternativních pojiv, založených na odlišných vstupních materiálech, než je v současné době běžné. Tyto hmoty mají velký potenciál využití v budoucnosti, v době, kdy už ve světě nebudou dostupné dostatečné zdroje konvenčních ropných materiálů.

## 1.2 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je podat komplexní obraz o současných možnostech použití tradičních asfaltových pojiv do asfaltových směsí, užitých v krytu netuhých vozovek. Taktéž bude pojednáno o možnostech použití alternativních pojiv „budoucnosti“ vyrobených z jiných než konvenčních ropných materiálů.

## 2 ASFALT

Asfalt představuje koloidní systém vysokomolekulárních uhlovodíků, ve kterém se ve spojitě fázi z vysokovroucích olejů a pryskyřic, souhrnně označovaných jako maltény, vyskytuje disperzní fáze ve stabilním rozptýlení. Disperzní fáze, asfaltény, je tvořena vysokomolekulárními složkami obsahujícími velké množství polárních vazeb, heterocyklicky vázané uhlovodíky a anorganické soli. Jsou považovány za nositele tvrdosti asfaltu. Výrazem maltény označujeme druhou část systému, kterou tvoří alkany, nafteny a aromatické sloučeniny naftenu. Jsou jim přisuzovány plastické a lepidivé vlastnosti. Zastoupení jednotlivých skupin látek je zjišťováno pomocí chromatografické metody SARA (LTC/FID) Iatroscan. Znalost složení asfaltu může pomoci při určení vhodnosti konkrétního pojiva do vrstvy vozovky. [10], [5]

Uhlovodíky tvořící asfalt lze rozdělit na:

- Alifatické - nenasycené (olefiny)  
- nasycené (parafiny)
- Cyklické - nenasycené (cykloolefiny, nenasycené nafteny)  
- nasycené (cykloparafiny, nafteny) [31]

Asfalt je prakticky netěkavý, přílnavý izolační materiál. Vyskytuje jako černá, méně často jako černohnědá hmota, která je úplně nebo téměř úplně rozpustná v toluenu. [2]



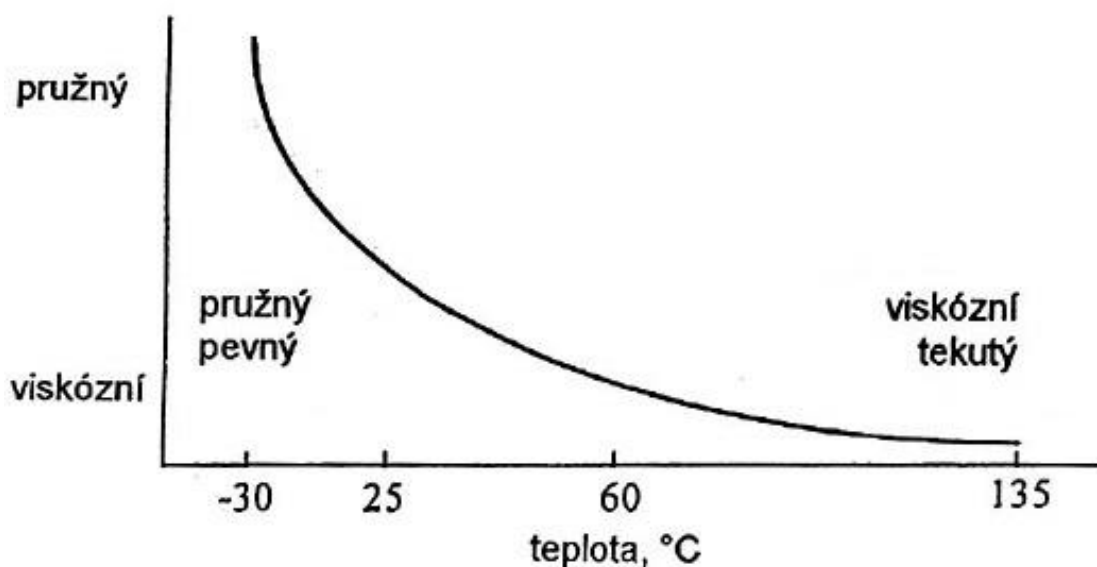
**Obrázek 2-1:** Ukázka asfaltového pojiva v tekutém stavu [45]

Název je odvozen z řeckého slova „asfaltos“ = upevňuji. Ve světě se většinou pro označování asfaltu používá slovo „bitumen“, méně často „tar“ (tér). [12]

Hustota asfaltů se pohybuje od  $980 \text{ kg.m}^{-3}$  do  $1100 \text{ kg.m}^{-3}$ , měrná tepelná vodivost dosahuje hodnoty cca  $0,2 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$  a součinitel délkové tepelné roztažnosti se pohybuje okolo  $600.10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . Asfalt je velmi hořlavou a výhřevnou látkou. Vlivem působení UV záření a kyslíku dochází k jeho stárnutí a křehnutí. [19]

Pro vlastnosti asfaltu je rozhodující druh ropy, ze které je vyroben, chemické složení a především poměr obou fází. Je v něm obsaženo kolem 1000 různých sloučenin. [5]

Asfalt je termoplastická hmota, jejíž viskozita se mění v závislosti na teplotě. Za běžných teplot se nachází ve stavu pevném a chová se jako pružná (elastická) látka. Za teplot vysokých ( $120 - 150 \text{ }^\circ\text{C}$ ) přejde do stavu tekutého a lze jej přečerpávat a míchat jej s kamenivem pro vytvoření asfaltové směsi. V tekutém stavu je charakterizována svou viskozitou. Za normálních teplot má vlastnosti obou stavů. Označujeme jej tedy jako látku visko-elastickou, viz obrázek 2-2. [5]



Obrázek 2-2: Visko-elastické chování asfaltu [5]

Velmi důležitým faktorem je rychlost zatěžování směsí s asfaltovými pojivy. Při pomalé rychlosti, tzn. při dlouhém trvání zatížení (stoupací pruhy, zastavující doprava, statická doprava), se výrazně projevuje viskózní složka asfaltového pojiva a dochází k plastickým trvalým deformacím. Na druhou stranu, když zatížení trvá kratší dobu, projeví se viskózní složka výrazně méně a trvalé deformace budou malé. [16]

Asfalty můžeme v zásadě rozdělit na:

- Asfalty přírodní
- Asfalty ropné (vzniklé destilací surové ropy a dalšími úpravami destilačního zbytku)

## 3 ASFALTOVÁ POJIVA PŘÍRODNÍ

### 3.1 Vznik přírodních asfaltů

Přírodní asfalt vzniká zvětráváním asfaltické a aromatické ropy po úniku jejich těkavých složek. Obvykle se vyskytuje s příměsí písků a úlomků hornin. [1]

### 3.2 Historie používání

Přírodní asfalty byly nalezeny a využívány už ve starověku. Například Syřané a Babyloňané využívali přírodní asfalt, který vystoupil na povrch zemské kůry, jako pojivo ve stavebnictví. Spojovali jím cihly a používali ho jako izolační materiál proti vlhkosti. Pro současné moderní využití byl asfalt znovuobjeven až v 19. století zejména zásluhou inženýrů Darcyho, de Coulaina, Furnela a především inženýra Malo. [7]

### 3.3 Ložiska a naleziště

Historicky jsou známá starověká naleziště asfaltu ve Francii, dnešní Albánii, řeckém ostrově Zakynthos. Asfalt se ve starověk těžil také na jezeře Sirbonis (blízko Mrtvého moře), u libanonského města Sidón. Římský encyklopedista 1. stol. n. l. Plinius Starší zmiňuje ve svém díle „asfaltový pramen“ u města Megalopolis v Řecku. [1], [7]

Přírodní asfalt se v současnosti vyskytuje buď ve formě asfaltových jezer, nebo jako výron naftenových rop, které se po okysličení změní v asfalt. Tento asfalt často impregnuje porézní horniny (písky, pískovec, vápenec). Vznikají tak „dehtové“ písky a bituminózní břidlice. [12]

Největší asfaltové jezero na světě se nachází na karibském ostrově Trinidad (Lake Pitch). Toto jezero se rozkládá na ploše 40 hektarů a největší hloubka dosahuje 75 metrů. Druhým největším jezerem je Guanoco ve Venezuele. Přes svou malou hloubku cca 2,5 metru je nejrozsáhlejším jezerem svého druhu neboť dosahuje rozlohy 445 hektarů. Dalšími místy kde asfaltová hmota vystoupila až na povrch je asfaltová jáma v Los Angeles v Kalifornii, Selenica v Albánii, na blízkém východě v Mrtvém moři, v Ain Japchu, Abu Džiru (arabsky otec asfaltu) a u města Heet na Eufratu. [1], [12], [56]



**Obrázek 3-1:** Pitch Lake, Trinidad [46]

Přírodní asfalt byl též nalezen, a na některých místech se i těží, ve formě asfaltem nasycených hornin. Největší objem tohoto materiálu se nejspíše nachází v kanadské provincii Alberta a ve Venezuele. Zde se nachází ve formě tzv. dehtových písků. Dalšími ložisky podobného typu se nacházejí v Kalifornii, Coloradu, Oklahomě, Francii, Švýcarsku, Izraeli, Sýrii a na dalších místech. [1], [12]

### **3.4 Těžba, zpracování a použití**

Těžba asfaltu z dehtových písků je poměrně náročná a odborníci polemizují o rentabilitě dobývání této suroviny. Pokud se písky nachází při zemském povrchu, bituminózní materiál je vytěžen obdobným způsobem a mechanismy, které se používají v povrchových dolech. Vytěžený materiál je poté promíchán s horkou vodou a živice, která se vylučuje na povrchu, je sbírána a shromažďována. Tento materiál je většinou dále zpracováván (např. krakováním), míchán s lehkou ropou a ropovodem dopravován k dalšímu zpracování. Lze jej však, po mírné úpravě, použít jako asfaltové pojivo. [58]

Asfalt z jezer (např. Pitch Lake) se těží kopáním buď manuálně, nebo pomocí strojní mechanizace. Při tomto velmi pomalu vystupuje k povrchu asfalt z hlubších míst

jezera a snaží se vyrovnat hladinu asfaltu do vodorovné roviny. Tímto způsobem se hladina Pitch Lake snížila od počátku těžby (od roku 1815) cca o 9,1 metru. Vytěžená surovina je poté nakládána na železniční vagony stojící na ocelových podpěrách, které jsou pomocí kabelů vytahovány z jezera. Po zahřátí suroviny na cca 160 °C je z ní odpařena voda a nežádoucí těkavé složky. Dále je třeba tekutý asfalt prolít přes síta, kde jsou z něj odstraněny hrubé nečistoty a organické zbytky. Trinidadský asfalt je označován názvem „Trinidad Epuré“. [5], [57]

Přírodní asfalty se vyznačují větší tvrdostí než asfalty destilační a samy o sobě zpravidla nejsou vhodné pro přímé použití v silničním stavitelství. Jsou proto míchány s měkčími destilačními asfalty a pro svou tvrdost se užívají zejména jako složka litých asfaltů. Lité asfalty se uplatňují jako obrusné vrstvy silnic a dálnic, dopravních ploch, ochranné vrstvy izolace mostních objektů. Největší objem litých asfaltů je však použit na povrchy chodníků pro svou snadnou aplikaci a variabilitu použití. [31]



## 4 ASFALTOVÁ POJIVA ROPNÁ

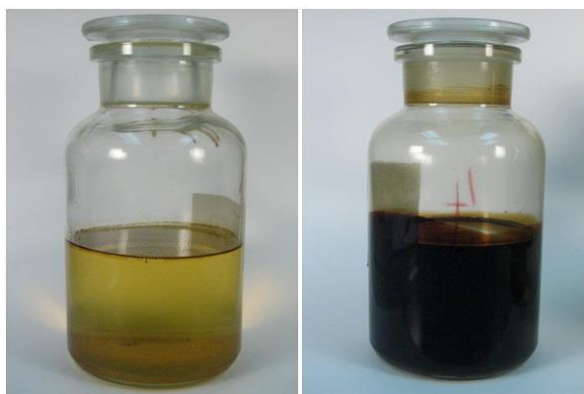
Asfaltová pojiva, vyrobená atmosférickou destilací surové ropy, následnou vakuovou destilací destilačního zbytku a dalšími úpravami, jsou nejrozšířenějším pojivem netuhých vozovek.

### 4.1 Ropa jako surovina pro výrobu

Ropa je tradičně základní surovinou pro výrobu asfaltových silničních pojiv. V současné době je prozatím nejvyužívanějším výchozím materiálem pro pojiva užívaná v silničním stavitelství.

Poprvé je slovo „olej z bitumenu“ zapsáno na sumerských hliněných tabulkách z doby asi 3000 let př. Kr. Ropu znali již staré národy jako Syřané a požívali ji jako stavební pojivo. Peršané ji užívali pod názvem „nepthoj“, Sumerové „nepth“ a Řekové „naphta“. Římané ji nazývali „petroleum“ (skalní olej). V Americe ji nazývají „crude oil“ nebo „seneca oil“. Český název „ropa“ je přejatý z polštiny v poměrně nedávné době (18. stol.) a ve svém původním významu znamená „hnis“. Do té doby byl u nás zaužívaný výraz „nafta“ nebo „petrolej“. [1]

Ropu lze popsat jako hořlavou olejovitou kapalinu, která hoří čadivým plamenem. Její barva se liší podle ložiska od žluté přes zelenou po hnědou až černou. Je tvořena směsí uhlovodíků, jejichž řetězce obsahují nejčastěji 5 – 35 atomů. Hustota ropy je 0,73 – 0,98 g/cm<sup>3</sup>, tzn. je lehčí než voda a proto plave na vodní hladině.



**Obrázek 4-1:** Různá zbarvení ropy. Vlevo Senné (SK), vpravo Letošov (ČR) [47]

Základními prvky v ropě jsou:

- Uhlík (C) ..... 83 – 87 %
- Vodík (H) ..... 11 – 15 %
- Síra (S) ..... 0,1 – 10 %
- Dusík (N), kyslík (O) a další prvky jsou obsaženy ve stopových množstvích [13]

Dle objemové hmotnosti lze užít dělení na:

- Lehké ropy (ozn. Calvert) < 0,83 g/cm<sup>3</sup>
- Středně těžké ropy (Duri) 0,83 – 0,93 g/cm<sup>3</sup>
- Těžké ropy (San Andro) > 0,93 g/cm<sup>3</sup> [1]

Dle složení ropy můžeme dělit na:

- Asfaltické ropy – obsahují největší množství asfaltických látek
- Poloasfaltické ropy (též poloparafinické)
- Parafinické – obsahují nepatrné množství asfaltických látek [5]

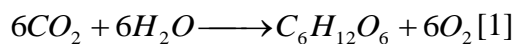
#### **4.1.1 Vznik ropy**

Existují 2 teorie o vzniku ropy. Jedna z nich prosazuje anorganický původ, druhá původ organický.

Za anorganický původ se zasazoval zejména D. I. Mendělejev. Podle něj vznikla působením přehřáté páry na karbidy těžkých kovů blízko povrchu zemské kůry. Tato teorie byla podpořena laboratorními zkouškami, které prokázaly, že tento způsob vzniku je možný. Většinová část vědecké obce se však spíše přiklání ke vzniku způsobem organickým. [31]

Teorie o organickém původu ropy předpokládá, že ropa začala vznikat před miliony let z organické hmoty. Na rozdíl od uhlí, které vzniklo karbonizací pravěkých suchozemských rostlin za nepřístupu vzduchu, přisuzuje se vznik ropy mořskému planktonu. Základním materiálem jsou zelené rostlinky vznášející se v mořské vodě – tzv. fytoplankton. Patří sem zelené řasy, rozsivky, obrněnky, kokolitky a mořští bičíkovci. Tyto zelené rostlinky produkují pomocí fotosyntézy, slunečního svitu a

oxidu uhličitého kyslík a organickou hmotu pro svůj růst. Tento jev lze popsat rovnicí fotosyntézy:



Součástí mořského planktonu je i zooplankton což jsou rozmanité druhy korýšek, dírkovců, mřížkovců, měkkýšů, drobných mlžů a jiných prvoků, které se živí fytoplanktonem. Třetí a neméně důležitou složkou planktonu jsou heterotrofní bakterie rozkládající organickou hmotu odumřelých rostlinek a živočichů. [1]

Současně těžená ropa vznikla v minulých geologických periodách v místech mělkých moří, příbřežních oblastech, šelfech a ústích velkých řek, kde plankton po svém odumření sedimentoval na dno. Když poté byly tyto mocné vrstvy překryty nepropustnými vrstvami sedimentujícího kalu, písků, jílu a bahna začala první fáze vzniku ropy – **diagenese**. [2]

Sedimentovaný organický materiál – **sapropel**, byl ihned rozkládán chemickou oxidací, aerobními a poté anaerobními bakteriemi, a zůstaly jen nejodolnější složky obsahující poměrně velké množství uhlíku a vodíku. V průběhu času docházelo tíhou sedimentovaných nadložních vrstev k pomalému zatlačování materiálu pod mořské dno (cca 50 m za milion let), ze kterého byla vytlačována voda, a zmenšoval se objem pórů. Pokud došlo k poklesu vrstev tektonickými jevy, např. při vývoji geosynklinály (zvlnění vrstev do tvaru koryta), došlo k poklesu vrstev až 10x rychleji, zejména v oblastech kontinentálních šelfů. Vznikly tak vrstvy mocné až 10 km. Při vysokém geostatickém tlaku (7 – 30 MPa) došlo ke vzniku sedimentárních hornin. Z písku pískovec, z jílu jílovec, jílovité břidlice, atd. Původní látky obsažené v sapropelu, se dlouhodobým působením vysokého tlaku a zvýšené teploty sloučily chaotickou polykondenzací. Tímto vznikla tuhá organická nerozpustná hmota zvaná **kerogen**. [1], [2]

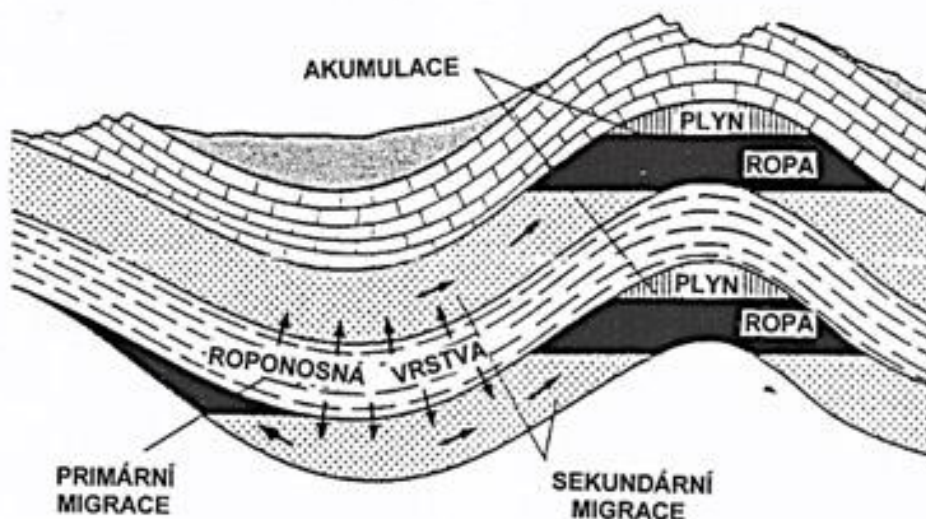
Dalším poklesem do hloubky 2 – 5 km, zvýšením teploty až na 180 °C a geostatickém tlaku asi 150 MPa došlo k termické degradaci kerogenu, odštěpování molekul CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S a H<sub>2</sub>O, aromatizaci cyklických sloučenin, praskání vazeb a vzniku jednodušší látky – **bitumenu**. Tento proces se nazývá **katagenese**. [1], [2]

Dalším snižováním molekulové hmotnosti, štěpením vazeb a zjednodušováním struktury vznikla látka tekutá, lehčí než voda, kterou nazýváme **ropa**. Posléze za stále vysokého tlaku, vysoké teploty vzniká v hloubkách větších než 4 km **zemní plyn**. Tento poslední stupeň se nazývá **metagenese**. [1], [2]

#### 4.1.2 Migrace a akumulace ropy

Ropa je v horninovém prostředí obsažena v tzv. roponosných neboli matečných horninách (většinou jílovité horniny nebo břidlice). Pokud se v nadloží nebo podloží matečné vrstvy nachází poréznější vrstva, tzv. kolektor (většinou pískovce, vápence, dolomity), geostatický tlak vytlačuje kapičky ropy společně s vodou do tohoto kolektoru. V matečné hornině dochází vlivem rozpínání kapalné a zejména pevné fáze k rozpukání roponosné vrstvy a kapičky ropy a plyny mohou přejít do kolektoru. Toto se nazývá primární migrace. [1], [2]

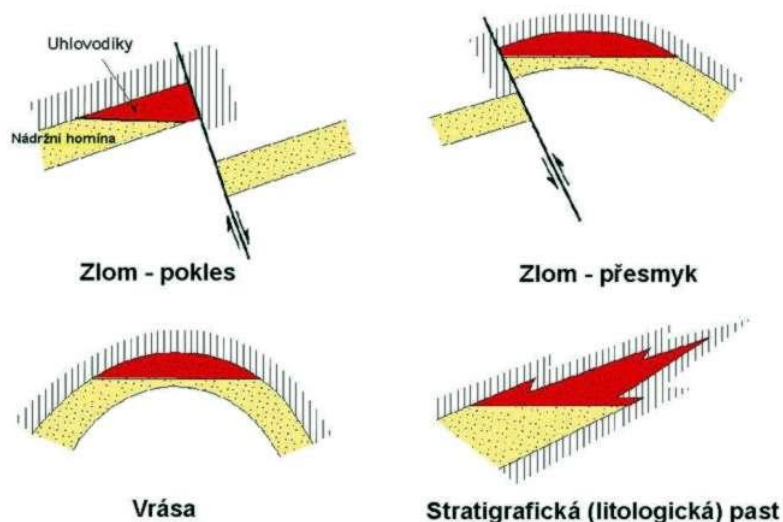
Vhledem k tomu, že ropa a plyn má menší hustotu než voda, stoupá ropa v podobě mikrokapiček nebo tenkých vláken vzhůru skrze póry kolektorové horniny. Její pohyb v kolektoru může ovlivnit také proudící voda, a proto může ropa urazit od svého zdroje, např. šikmým kolektorem, vzdálenosti v řádu kilometrů až několika stovek kilometrů. [1], [2]



Obrázek 4-2: Znázornění primární a sekundární migrace, akumulace ropy [1]

V případě, že ropa vystoupí až na povrch, mohou vzniknout po následné oxidaci asfaltová jezera jako je Pitch Lake na Trinidadu. Pokud se v blízkosti matečné horniny nebude nacházet vhodný kolektor, zůstane ropa uvězněna v matečné hornině a tzv. vyhoří. Uvězněná ropa se přemění na zemní plyn, který má větší šanci uniknout z matečné horniny a popř. vytvořit ložisko. [1], [2]

Jestli kapičky ropy a zemního plynu narazí při svém stoupání kolektorem na nepropustnou vrstvu (břidlice, permafrost, evapority – soli z odpařené mořské vody, apod.), vznikne při příznivých podmínkách ropné ložisko a zároveň většinou ložisko zemního plynu. Takováto ložisková „past“ může vzniknout např. vrásněním vrstev či tektonickým zlomem. 80 % známých ložisek je pastmi těchto 2 typů. Dalším typem jsou tzv. stratigrafické (litologické) pasti. [1], [2], [9]



Obrázek 4-3: Ložiskové pasti [9]

#### 4.1.3 Historie těžby ropy

Už od starověku byla známá přirozená ložiska ropy, tzv. ropné jámy, a přirozené vývěry. Když nepostačovala ropa z přirozených zdrojů, kopaly se studny, štoly a šachty (až 100 m hluboké). [1]

První oblastí, kde se začala ropa zpracovávat jednoduchou destilací, bylo už v 17. stol. okolí Baku u Kaspického moře. Pod názvem kerosin se zde z ropy získával lehký ropný olej. Válečné události však nedopřály Kavkazské oblasti rozvoj ropného

průmyslu už 100 let před USA. Až v 70. letech 19. stol. Uvolnil ruský car toto území pro soukromé podnikání a ropná horečka začala naplno. [2]

Mezníkem v masovém využívání ropy a ropných produktů bylo, zvládnutí procesu rafinace ropy. V 1. pol. 19. stol se začaly hloubit ropné vrty. Nejdříve pomocí tzv. nárazového vrtání, poté vrtáním rotačním se současným výplachem vrtu vodou a vynášením rozrušené horniny na povrch. Často se kopaly šachty, které byly potom prohubovány vrtáním. [2]

Světová těžba ropy, začala oficiálně roku 1857, kdy bylo v Rumunsku vytěženo asi 270 tun této suroviny. V pol. 19. stol. v Pensylvánii v USA lidé často naráželi na ropu při hledání vody. Se znalostí technologie destilace se zde rozmohl naftařský průmysl kolem města Titusville, kde bylo nalezeno vydatné ložisko ropy. V roce 1901 bylo v Texasu na kopci Spindeltop nalezeno ohromně vydatné ložisko, které za prvních několik let vydalo na 3 miliony tun ropy. Postupem času vzniklo v USA silné průmyslové odvětví, které řídily velké petrolejářské společnosti. Tyto vyrostly ve velké světové firmy ovládající těžbu ropy, její dopravu, skladováním, rafinaci a zpracování. [1]

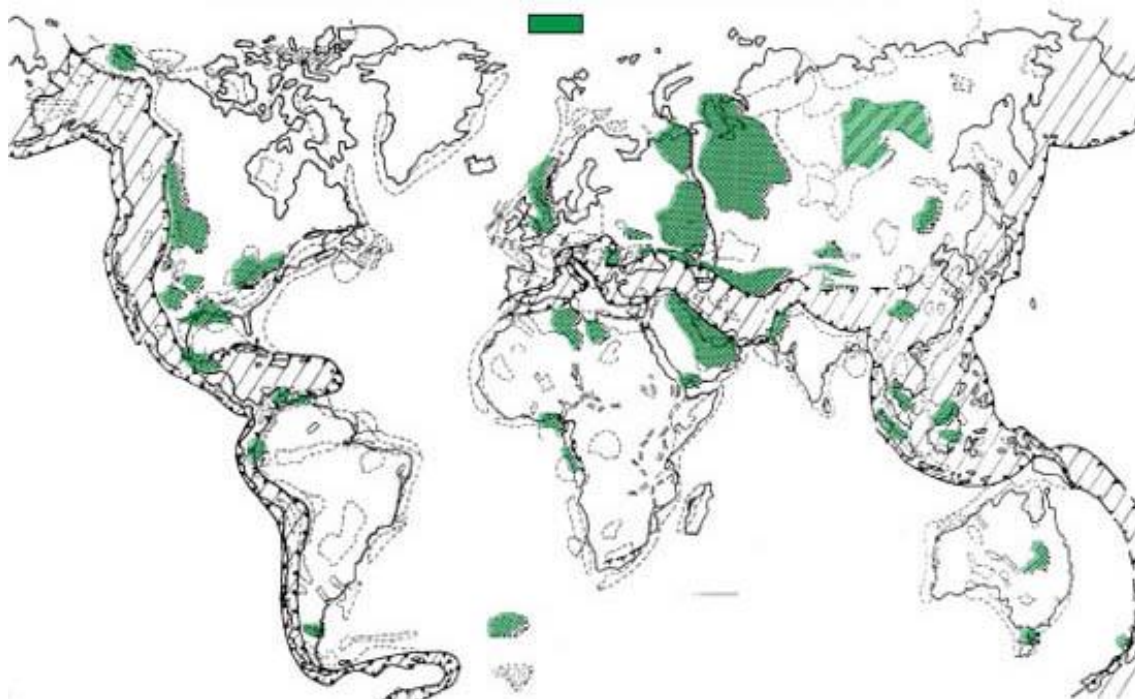
V Československu bylo objeveno první ložisko v západoslovenských Gbelech (asi 20 km jižně od Hodonína) roku 1910. Dalším významným nalezištěm je rybník Nesyt u Hodonína na jižní Moravě roku 1919. Ropa se v okolí Hodonína těží dodnes. [9]

#### **4.1.4 Současná ropná ložiska**

V současné době se nejvýznamější ložiska vyskytují zejména v oblasti Středního východu, Ruska, Severní Ameriky, Jižní Ameriky, severní Afriky. V Evropě se nacházejí také ložiska ropy a to zejména v Severním moři. [1]

Nevětší aktuálně známé zásoby ropy se nacházejí v oblasti **Středního východu**, nalézají se v hloubce do 3 km a jsou dobře těžitelná. Mezi největší naleziště patří:

- Ghawar field (Saudská Arábie) 450 mld. m<sup>3</sup>
- Burgan field (Saudská Arábie) 450 mld. m<sup>3</sup>
- Kashagan field (Kazachstán) 190 mld. m<sup>3</sup>
- Rumaila field (Irák) 125 mld. m<sup>3</sup>[1]



**Obrázek 4-4:** Výskyt ropy v současnosti [1]

V **Rusku** se také nacházejí obrovská množství ropy. Mezi nejvýznamější roponosné oblasti patří Timan – Pečorská pánev s největšími ložisky:

- Samotlorské ložisko 125 mld. m<sup>3</sup>
- Priobskoje ložisko 80 mld. m<sup>3</sup>

Oblast Volha – Ural:

- Romaskinské ložisko > 100 mld. m<sup>3</sup>

Zauralská a západosibiřská pánev:

- Ljantorské ložisko 80 mld. m<sup>3</sup>
- Ložisko Fjodorovskoje 80 mld. m<sup>3</sup>

Bohatá jsou rovněž ložiska v blízkosti Kaspického a Černého moře a Sachalinu. [1]

Na území **Severní Ameriky** byla ložiska ropy nalezena v Pensylvánii, Kalifornii, Texasu, a zejména na Aljašce.

- Prudhoe Bay (Aljaška) 80 mld. m<sup>3</sup>
- East Texas Oil Field (Texas) 37 mld. m<sup>3</sup>

Největší zásoby ropy se nacházejí v západní Kanadě (Athabasca Oil Sand) – 10 000 mld. m<sup>3</sup>. Tato těžká ropa, vyskytující se v podobě dehtových písků je však nesnadno těžitelná. [1]

Dalšími nezanedbatelnými nalezišti disponuje severní Afrika (Egypt, Libie, Nigérie), Jižní a Střední Amerika (Mexiko, Venezuela, Brazílie), Indonésie, Austrálie, Čína, Indie i Evropa. [1]

Od počátku dějin lidstva bylo vytěženo cca 900 miliard barelů ropy (1 barel = cca 159 litrů = 42 US galonů) a její spotřeba stále stoupá. Světové zásoby byly k roku 2009 přibližně 1342 miliard barelů, ne všechna ropa lze však současnými technologiemi vytěžit. Někteří odborníci usuzují, že v nejbližších několika letech dojde k vrcholu těžby, někteří z nich tvrdí, že už těžba za svým vrcholem je. Každopádně zásoby ropy nejsou nevyčerpatelné a lidstvo musí do budoucna hledat nové zdroje energie, potažmo pojiv netuhých vozovek. [13]

#### **4.1.5 Těžba ropy**

V nynější době je ropa těžena zpravidla pomocí vrtů. Pokud je součástí naleziště ložisko zemního plynu, pak tento plyn vytlačuje ropu do vrtu a ta samovolně vytéká na povrch. Toto se nazývá primární těžbou a tímto způsobem lze získat až 20 % ropy obsažené v nalezišti. [13]



**Obrázek 4-5:** Pohled na hlubinná čerpadla ropného pole [48]



Až tlak ve vrtu klesne na hodnotu, kdy už není možné využívat přirozený tlak plynu, užijí se tzv. sekundární metody těžby. Používá se pump, tzv. hlubinných čerpadel, pro čerpání ropy, do ložiska se injektuje voda, či se tlak udržuje zpětným pumpováním plynu nebo vzduchu. Primárními a sekundárními metodami těžby lze vytěžit dohromady 25 – 35 % ložiska. [13]

Pokud je další těžba ještě ekonomicky výhodná přijdou na řadu terciární metody. Ty spočívají ve snížení viskozity ropy a to buď sycením horkou vodní párou, popř. zapálením části ropného ložiska. Takto lze vytěžit dalších 5 – 15 % ložiska. [13]

Výtěžky se liší podle druhu ropy v ložisku. Při vhodných podmínkách (lehké ropy) lze vytěžit až 80 % ložiska. V podmínkách nepříznivých (těžké asfaltické ropy) se vytěžitelnost pohybuje okolo 5 %. [1], [13]

Světová produkce ropy v roce 2009 činila 26,39 mld. bbl (barelů). V jednotlivých zemích:

- Rusko (3,47 mld. bbl)
- Saudská Arábie (3,01 mld. bbl)
- USA (1,96 mld. bbl)
- Irán (1,47 mld. bbl)
- Čína (1,39 mld. bbl)
- ...
- ČR (1,55 mil. bbl) [8]

#### **4.1.6 Doprava ropy**

Po primárním vyčištění ropy v místě těžby putuje ropa zpravidla ropovody, často na velké vzdálenosti (tis. km) do míst svého zpracování nebo do přístavů, kde se přečerpá do tankeru, který ji dopravuje po moři. [6]

Ropovod je potrubní cesta, vedoucí většinou po povrchu, která slouží k dopravě ropy do místa svého zpracování. Tvoří ji ocelová roura o průměru 30 – 122 cm uložená na nevysoké konstrukci nad zemí. V žádoucích případech je ropovod veden pod úroveň terénu. Po délce ropovodu se nacházejí čerpací stanice, které udržují dostatečný tlak v potrubí. Po délce trasy se také nacházejí armaturní šachty, osazené přístrojovým

vybavením na měření tlaku. Tyto šachty mohou sloužit také pro zavádění tzv. čistících ježků, které procházejí ropovodem spolu s přepravovanou surovinou a odstraňují usazeniny ze stěn potrubí. [6], [14]

Mezi nejvýznamnější světové ropovody patří:

- Družba (Kujbyšev v Rusku – Záluží u Mostu, ČR), délka 5502 km
- Kanadský ropovod (Edmonton – Montreal), délka 3787 km
- Big Inch (Texas – Pensylvánie, USA), délka 2190 km
- Trans Arabia (Bahrajn – Středozemní moře), délka 1700 km
- Aljašský (zátoka Prudhoe – Valdez), délka 1278 km [6]

Důležitými ropovody pro Českou republiku jsou zejména Družba a ropovod IKL (Ingolstadt – Kralupy – Litvínov).



**Obrázek 4-6:** Síť ropovodů ve střední Evropě [49]

Ropovod Družba je uložen v podzemí v průměrné hloubce 1,3 metru. Na naše území vstupuje u Hodonína na jižní Moravě, v Kloboučích u Brna přebírá ropu z Moravských naftových dolů, prochází Českomoravskou vrchovinou, u obce Potěhy je zřízena odbočka do pardubické rafinérie PARAMO. Dále pokračuje do Centrálního tankoviště Nelahozeves, kde se také spojuje s ropovodem IKL. V Nelahozevsi jsou

rovněž uskladněny hmotné státní rezervy ropy, postačující pro produkci českých rafinérií na 90 dní. Dalšími místy trasy jsou rafinerie v Kralupech nad Vltavou, rafinerie v Litvínově a Záluží u Mostu, kde ropovod končí. Ropovod Družba byl uveden do provozu v celé délce roku 1965. Převážná kapacita ropovodu Družba je 9 mil. tun ropy ročně. [1], [14]

Ropovod IKL byl postaven z důvodu zajištění dodávek ropy pro české rafinerie v případě výpadku dodávek ropy z Ruska. Provoz byl zahájen v roce 1996. IKL začíná ve Vohburgu u Ingolstadtu (Německo), kde je napojen na ropovod TAL (Transalpine Pipeline). TAL je zásobován ropou různého původu tankery z přístavu v Terstu (Itálie). Z Vohburgu vede trasa do Centrálního tankoviště Nelahozeves, kde končí. [1], [6]



**Obrázek 4-7:** Ukázka ropovodu [50]

Tankerů je využíváno pro přepravy na dlouhé vzdálenosti (např. mezi kontinenty), nebo tam kde nejsou vybudovány ropovody. Dalšími možnostmi dopravy ropy jsou železniční cisterny nebo přeprava v barelech nákladními automobily. Železniční a silniční doprava je, ale vzhledem k energetické náročnosti velmi nevýhodná v porovnání s ropovody. [6]

## 4.2 Zpracování ropy a výroba základního asfaltového materiálu

Zpracování ropy se uskutečňuje v ropných rafinériích. Tyto většinou navazují na petrochemické závody, ve kterých se z oddestilovaných ropných frakcí vyrábějí nejrůznější další produkty. [2]

V České republice fungují v současné době 3 rafinérie. Největší objem zpracované ropy vykazují rafinérie v Litvínově a v Kralupech nad Vltavou. Tyto však zpracovávají ropu především na lehké ropné frakce, jako jsou benzin, motorová nafta, apod. Třetí rafinérií zpracovávající surovou ropu je závod PARAMO (Pardubická rafinérie minerálních olejů). Tento podnik se soustředí především na výrobu olejů, maziv a v neposlední řadě na výrobu asfaltových výrobků a pojiv. Tímto se stal největším tuzemským dodavatelem silničních pojiv v ČR. [1], [2]



**Obrázek 4-8:** Příklad ropné rafinérie [51]

Dalšími rafineriemi v oblasti střední Evropy jsou např. rafinérie v Leuně, Karsruhe (obě Německo), Schwechatu (Rakousko), Bratislavě (Slovensko), Płocku (Polsko), aj.

Před samotným procesem destilace je třeba surovou ropu odsolit. Odsolení probíhá z velké části už v místě těžby, aby se do rafinérie nedopravovala voda a v ní rozpuštěné soli. Ropa přivedená do rafinérie obsahuje většinou 0,02 – 0,2% obj. vody. Odsolení je důležité z důvodu zamezení koroze, usazování solí v zařízeních rafinérie a ucpávání pórů katalyzátorů. Sůl se ze surové ropy odstraňuje pomocí procesu elektrostatického odsolování. [1], [2]

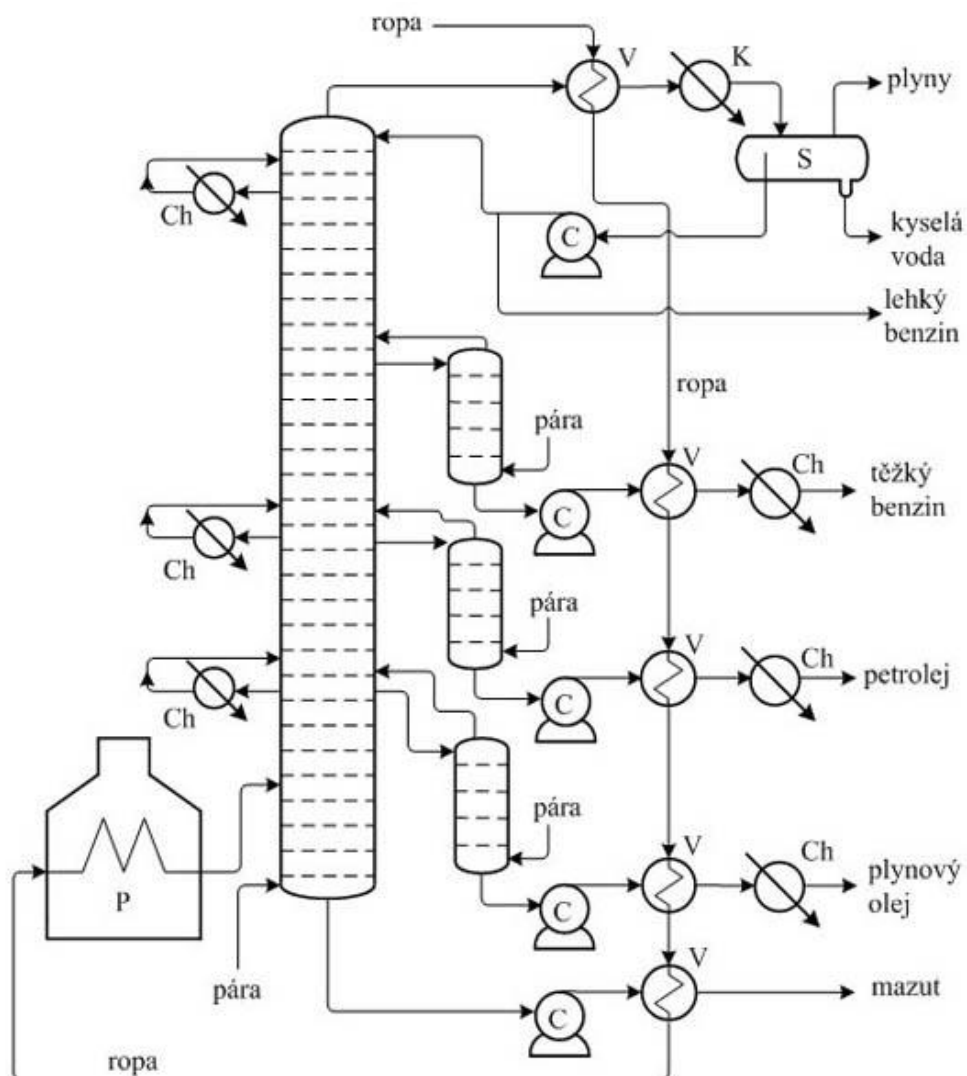
Základními procesy při rafinaci ropy, respektive výroby asfaltových pojiv jsou:

- Atmosférická destilace
- Vakuová destilace
- Oxidace (foukání nebo polofoukání) [31]

#### **4.2.1 Atmosférická destilace**

Základním principem atmosférické destilace je skutečnost, že jednotlivé frakce mají různý bod varu. Proces atmosférické destilace se provádí v atmosférických destilačních kolonách za mírně zvýšeného tlaku (0,15 MPa). [1], [2]

Odsolená ropa proudí přes výměníky tepla, kde se zahřeje asi na 280 – 300 °C do trubkové pece, kde se zahřeje na 360 °C. Putuje na nástřikové patro, kde těžší podíly padají ke dnu atmosférické kolony a přehřátou párou jsou z nich vyháněny zbytky lehčích podílů, které stoupají vzhůru. Páry uvolněné na nástřikovém patře stoupají vzhůru a při postupném průchodu kolonou s destilačními patry kondenzují na jednotlivé frakce, které jsou odváděny do bočních kolon a vyhánějí se z nich další zbytkové lehčí podíly. Materiál, který se neodpaří je sváděn přes výměníky tepla a přes chladiče do zásobníků. Hlavou kolony odcházejí nejlehčí frakce, jako je lehký benzin, plyny a vodní pára, přes výměník tepla do kondenzátoru. Zkondenzované páry vody a benzínu jsou poté v separátoru odděleny. Část benzínu se vrací na nejvyšší patro kolony a část je odebírána do nádrží. Voda i plyny jsou ze separátoru kontinuálně odváděny. Ze spodní části kolony je též kontinuálně odváděn mazut, který je dále zpracováván a je základem pro výrobu asfaltu. [1], [2]



**Obrázek 4-9:** Technologie atmosférické destilace [1]

*C – čerpadlo, P – trubková pec, V – výměník tepla,  
K – kondenzátor, Ch – chladič, S – separátor*

Výslednými produkty atmosférické destilace jsou tedy:

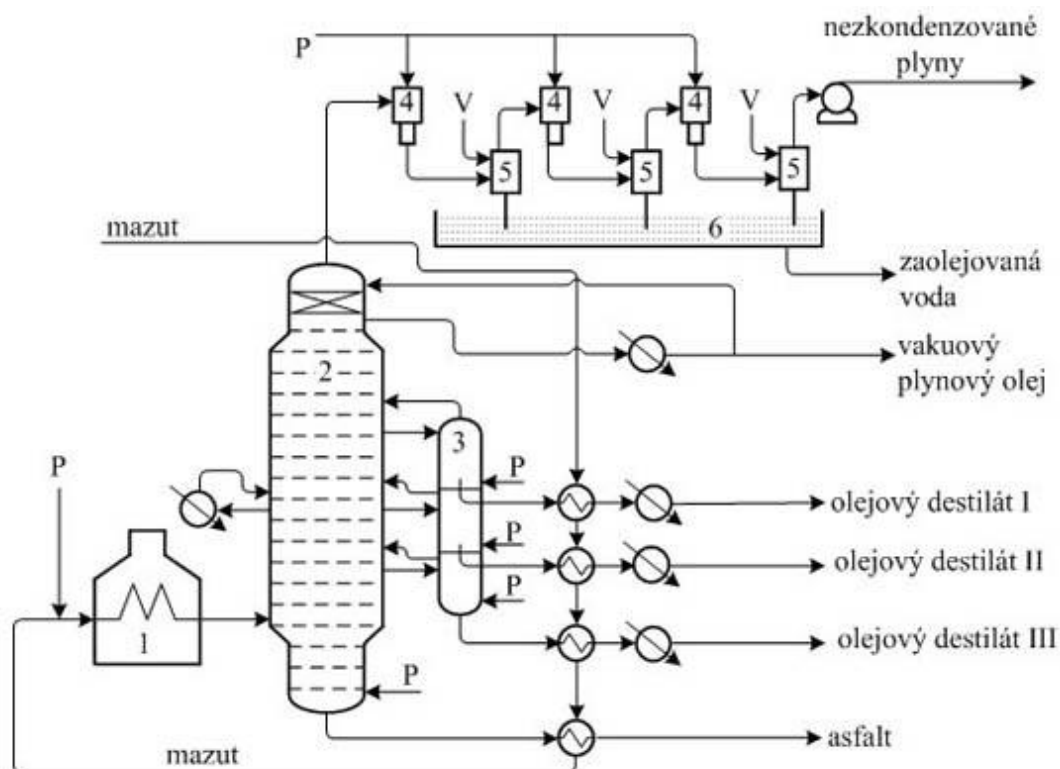
- Lehké plyny
- Lehký benzin
- Těžký benzin
- Petrolej
- Plynový olej
- Mazut [1]

Po atmosférické destilaci jsou jednotlivé frakce odsířeny a případně dále zpracovány na:

- Topný plyn
- Propan-butan
- Motorové benziny
- Letecký petrolej
- Motorovou naftu
- Topný olej
- Síru [1]

#### 4.2.2 Vakuová destilace

Dalším technologickým postupem zpracování ropy je vakuová destilace, pomocí které se zpracovává zbytek po atmosférické destilaci – mazut. Principem vakuové destilace je snížení teploty varu látek, které se za normálního tlaku odpařují jen velmi obtížně. Vakuová destilační kolona pracuje za sníženého tlaku, tj. 2 – 10 kPa. [1], [2]



**Obrázek 4-10:** Technologie vakuové destilace [1]

1 – trubková pec, 2 – vakuová kolona, 3 – boční kolony, 4 – parní ejektor,  
 5 – barometrický kondenzátor, 6 - hydraulická uzávěrka, P- pára, V – chladící voda

Princip destilace je obdobný jako u destilace atmosférické. Vstupní materiál, v tomto případě zbytek po atmosférické destilaci (mazut) je přehříván při prostupu výměníky tepla, po zahřátí v trubkové peci putuje na nástřikové patro, nejtěžší podíly klesají ke dnu vakuové kolony a jsou syceny párou, která vyhání zbylé lehčí podíly. Tyto podíly stoupají vzhůru kolonou a podobně jako u atmosférické destilace se při prostupu destilačními patry oddělují jednotlivé frakce. Spodkem kolony se odebírá asfalt. [1], [2]

Mechanismus tvorby podtlaku je následující. Nezkondenzované plyny a vodní pára stoupají hlavou kolony a poté prochází třístupňovým systémem parních ejektorů a barometrických kondenzátorů. Plyny odtahované hlavou destilační kolony parním ejektorem vstupují do barometrického kondenzátoru, kde jsou sprchovány studenou vodou, páry kondenzují a snižuje se tlak. Voda se odvádí potrubím dlouhým minimálně 10,3 m (10 m vodního sloupce o teplotě 4 °C udrží tlak 98 kPa). Snížený tlak se vytváří proudem horké vodní páry v parním ejektoru. [1], [2]

Výslednými produkty vakuové destilace jsou:

- Zbytkové plyny
- 3 olejové frakce
- Asfalt [1], [2]

#### **4.2.3 Oxidace (polofoukání) asfaltu**

V případě, že asfalt nespĺňuje po atmosférické a vakuové destilaci dostatečně kritéria vhodnosti použití jako pojiva do vozovek silnic, je třeba jeho vlastnosti upravit. Toto je možno docílit oxidací asfaltu – polofoukáním.

Vlastnosti polofoukaného asfaltu ovlivňuje řada faktorů. Zejména je jím typ ropy, z níž je vyrobena vstupní surovina, její penetrace, reakční teplota a doba. [2]

Hlavní reakcí probíhající při tomto procesu je oxidativní dehydrogenace, při níž dochází k přeměně cykloalkanických kruhů na aromatické. V důsledku tohoto procesu se zvyšuje, kromě jiných látek, také podíl asfalténů – pevných částic, které zvyšují tvrdost pojiva. Polofoukání má také pozitivní vliv na teplotu bodu lámavosti a bodu měknutí. Teplota bodu lámavosti se snižuje a teplota bodu měknutí se zvyšuje. [1]

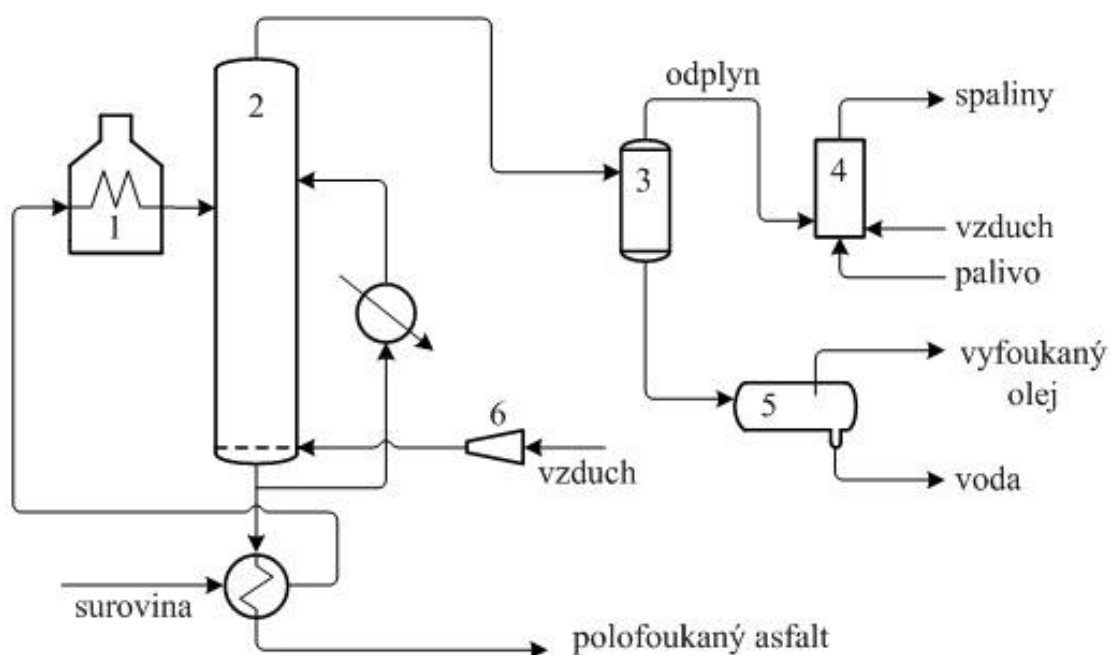


Asfalt	Bod měknutí (°C)	Penetrace (0,1 mm)	Bod lámavosti (°C)	Obsah asfaltenů <sup>a</sup> (% hm.)
Destilační asfalt	44	85	-10	7,4
Polofoukaný asfalt	46	85	-15	12,0

<sup>a</sup> heptanové asfalteny

**Tabulka 4-1:** Porovnání vlastností destilačního a polofoukaného asfaltů 70/100 vyrobeného z ropy REB [2]

Vlastní oxidace asfaltu se provádí v cca 15 m vysokém vertikálním oxidačním reaktoru, do něhož přes výměník tepla a pec přichází asfalt o teplotě cca 220 °C. Asi 1 m nad dnem reaktoru se do něj vhná kyslík. Oxidace je exotermní pochod, takže se může teplota uvnitř reaktoru zvýšit až na 250 °C. Plynné fáze reakce se z horní části reaktoru vedou do odlučovače, kde se od sebe oddělí vyfoukaný olej s vodou a odplyn. Odplyn má nepříjemný zápach, a proto se okamžitě spaluje pomocí zemního plynu. V separátoru se od sebe oddělí voda a vyfoukaný olej, který se většinou přidává do ropy před atmosférickou destilací. [2], [4]



**Obrázek 4-11:** Technologické schéma oxidace asfaltů [1]

1 – pec, 2 – oxidační reaktor, 3 – odlučovač,  
 4 – spalovací komora, 5 – separátor, 6 – kompresor

Obdobným způsobem se vyrábí i foukaný asfalt. Při výrobě foukaného asfaltu se však užívá vyšší teplota po delší reakční dobu. Foukané asfalty jsou poté výrazně tvrdší a teplota bodu měknutí se zvyšuje na 80 – 120 °C. Jsou používány zejména jako izolace proti vodě a vlhkosti. [2], [4]

### 4.3 Silniční asfalty

První vozovka s asfaltovým krytem s ropným asfaltem byla položena roku 1876 ve Washingtonu, D.C. Nejrozšířenějším pojivem netuhých vozovek jsou v současnosti silniční asfalty. Jsou používány do asfaltových vrstev vozovky. Asfaltové vrstvy spodní – podkladní a ložné, obsahují zpravidla 3,5 – 4,5 % hmotnosti asfaltové směsi. Horní – obrusné vrstvy obsahují pojivo v míře cca 5 – 6 % hmotnosti směsi. Tato pojiva se vyrábějí atmosférickou, posléze vakuovou destilací z ropy. V případě, že pojivo po vakuové destilaci nesplňuje požadované parametry, je upravováno polofoukáním. [31]

Silniční asfalty jsou označovány podle hodnoty penetrace, která se určuje z výsledků zkoušky, prováděné dle ČSN EN 1426 „Stanovení penetrace jehlou“.

Norma ČSN EN 12591 „Asfalty a asfaltová pojiva - Specifikace pro silniční asfalty“, stanovuje hodnoty vlastností, které musí silniční asfalty splňovat. Viz tabulka 4-2 a tabulka 4-3.

Vlastnosti	Zkušební metoda	Jednotka	20/30	30/45	35/50
Penetrace při 25 °C	EN 1426	0,1 mm	20 – 30	30 – 45	35 – 50
Bod měknutí	EN 1427	°C	55 – 63	52 – 60	50 – 58
Odolnost proti stárnutí při 163 °C (RTFOT)	EN 12607-1				
Změna hmotnosti		%	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5
Zbylá penetrace		%	≥ 55	≥ 53	≥ 53
Zvýšení bodu měknutí		°C	≤ 10	≤ 11	≤ 11
Bod vzplanutí	EN ISO 2592	°C	≥ 240	≥ 240	≥ 240
Rozpustnost	EN 12592	%	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0
Bod lámavosti podle Fraasse	EN 12593	°C	–	≤ -5	≤ -5

**Tabulka 4-2:** Specifikace pro silniční asfalty s penetrací od 20 x 0,1 mm do 50 x 0,1 mm dle národní přílohy ČSN EN 12591 [21]

Vlastnosti	Zkušební metoda	Jednotka	50/70	70/100	100/150	160/220
Penetrace při 25 °C	EN 1426	0,1 mm	50 – 70	70 – 100	100 – 150	160 – 220
Bod měknutí	EN 1427	°C	46 – 54	43 – 51	39 – 47	35 – 43
Odolnost proti stárnutí při 163 °C (RTFOT)	EN 12607-1					
Změna hmotnosti		%	≤ 0,5	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 1,0
Zbylá penetrace		%	≥ 50	≥ 46	≥ 43	≥ 37
Zvýšení bodu měknutí		°C	≤ 11	≤ 11	≤ 12	≤ 12
Bod vzplanutí	EN ISO 2592	°C	≥ 230	≥ 230	≥ 230	≥ 220
Rozpuštnost	EN 12592	%	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0
Bod lámavosti podle Fraasse	EN 12593	°C	≤ -8	≤ -10	≤ -12	≤ -15

**Tabulka 4-3:** Specifikace pro silniční asfalty s penetrací od 50 x 0,1 mm do 220 x 0,1 mm dle národní přílohy ČSN EN 12591 [21]

V případě, že je požadováno zvýšení přilnavosti asfaltového pojiva, lze do silničních asfaltů přidávat adhezni přísady. [18]

#### 4.4 Modifikované asfalty

Jak už bylo napsáno v předešlé kapitole, běžné silniční asfalty jsou nejrozšířenějším pojivem netuhých vozovek. Během posledních 20 let došlo v Evropě, potažmo v celém světě, k výraznému nárůstu objemu silniční dopravy. Z tohoto důvodu dochází také k výraznému zvýšení zatížení materiálů konstrukcí vozovek. Vzhledem ke skutečnosti, že velký nárůst zaznamenala také těžká nákladní doprava, dochází na mnoha místech silniční sítě k nevratným plastickým deformacím asfaltových vozovek, tzv. vyjíždění kolejí. Na základě snahy o vyřešení problému plastických deformací byla vyvinuta modifikovaná asfaltová pojiva, která mnohem lépe odolávají těžké, pomalé a zastavující dopravě, která právě tyto nevratné plastické deformace způsobuje. Takovými místy jsou zejména hlavní tranzitní tahy nákladní dopravy, místa zastavující a stojící dopravy (oblasti křižovatek, autobusové zastávky, parkoviště), apod.

Přidáním vhodného aditiva, tj. přísady, lze docílit výrazného zlepšení viskoelastických vlastností původního silničního asfaltového pojiva. Nejdůležitějšími přínosy této modifikace je zlepšení chování pojiva za vysokých teplot, tj. zvýšení teploty bodu měknutí, a zlepšení chování pojiva za nízkých teplot, tj. snížení teploty bodu lámavosti.

Dalšími a nezanedbatelnými vlastnostmi je vyšší odolnost proti vytváření trvalých deformací, vyšší odolnost proti stárnutí vlivem UV zářením, vysoké teplotě při přípravě asfaltových směsí na obalovně a vzdušného kyslíku, zvýšená adheze, tažnost, zlepšení únavových vlastností. [3], [18]

Modifikátorem se mohou stát:

- Syntetické polymery
- Přírodní kaučuky
- Pryžový granulát
- Síra
- Organokovové sloučeniny [34]

Nejrozšířenějšími modifikátory jsou polymery. Modifikací polymerem vznikne tzv. asfalto-polymerní kompozit. V anglicky a německy psané literatuře jsou polymerem modifikované asfalty označovány zkratkou PmB (Polymer modified Bitumen - anglicky, Polymer modifizierte Bitumen - německy). V literatuře české se můžeme setkat se zkratkou SMA (silniční modifikovaný asfalt). V označení modifikovaných asfaltů je definována hodnota penetrace, a teplota bodu měknutí (např. PmB 45/80-65, polymerem modifikovaný asfalt, hodnota penetrace mezi 45 a 80, teplota bodu měknutí 65 °C). [59]

Polymery lze rozdělit na:

- Elastomery (kaučuky)
- Plastomery (termoplasty) [31]

Mezi elastomery používané k modifikaci patří styren-butadien-styren (SBS), označován také jako termoplastický kaučuk. Pro dosažení dostatečného modifikačního efektu je třeba 7 – 15 % objemu. Způsobuje primárně nárůst tažnosti a zvýšení teploty bodu měknutí. Dalšími dnes už ne tolik používanými elastomery jsou styren-butadien (SBR). Nevýhodou těchto modifikátorů je náchylnost k dekantaci, tj. vypadávání polymeru z modifikovaného asfaltu. Proto je nutné tato pojiva během skladování míchat, popř. přečerpávat. Zesíťování a tím pádem stabilizování pojiv modifikovaných elastomery je možné provést přidávkem síry, která má schopnost vytvořit tzv. sírné

můstky, které dokáží zabránit dekantaci. Použití síry je však náročné, neboť při této reakci vzniká sirovodík, který je třeba odčerpávat, aby nedošlo k výbuchu. [39], [55]

Mezi plastomery vhodné pro modifikaci řadíme ataktický polypropylen (APP), polyetylen (PE), etylen-vinyl-acetát (EVA), aj. [39], [55]

V současné době nejrozšířenějším modifikátorem je reaktivní elastomerní terpolymer (RET). Jedná se o termoplastický kaučuk, tzn. kombinaci plastomeru a elastomeru. Chemicky etylen-glycidyl-akrylát. Byl vyvinut roku 1998 a jeho předností je schopnost zesilovat strukturu modifikovaného asfaltového pojiva bez vzniku vedlejších škodlivých produktů. Takovéto pojivo se tak stává stabilní proti dekantaci a není jej třeba při skladování míchat. RET se chová jako epoxid pryskyřice, který brání rozsazování asfaltového pojiva při skladování. Takto vznikne, např. oproti SBS, zcela homogenní materiál. [55]

Modifikovaný asfalt je zpracováván při teplotách 150 – 180 °C. Nesmí dojít k přehřátí pojiva na více jak 200 °C. Působením vyšších teplot by došlo k degradaci polymeru. [3]

Dalším možným modifikačním prostředkem je pryžový granulát vyrobený drcením ojetých pneumatik. Jedná se o technologii, která v sobě snoubí výhody recyklace nepotřebného gumového odpadu a zlepšení vlastností silničních asfaltů. Asfaltová pojiva modifikovaná pryžovým granulátem jsou však náročnější na skladování. Čím vyšší je obsah granulátu v pojivu, tím častěji je třeba pojivo při skladování míchat. [41]

Modifikované asfalty jsou většinou viskóznější než silniční asfalty, tudíž hůře zpracovatelné. Z toho důvodu je třeba přísně dodržovat technologických předpisů. Silně modifikované asfalty se používají jako pružné zálivky, elastické mostní závěry a pro výrobu izolačních pásů. [1]

K prvnímu použití modifikovaného asfaltového pojiva došlo v roce 1970. Od té doby zaznamenal vývoj tohoto druhu pojiv značné pokroky a objem jeho použití se stále zvyšuje. Zvláště v poslední době prožívají modifikovaná pojiva velký rozmach, drtivá většina výrobců asfaltových pojiv se intenzivně zabývá jejich vývojem a investuje do něj nemalé finanční prostředky. Všechny okolnosti nasvědčují tomu, že modifikovaná

asfaltová pojiva budou pro své výjimečné vlastnosti používána v čím dál větší míře, a to nejen v silničním stavitelství, ale také v oblasti stavebních izolací proti vodě. [31]

## 4.5 Asfalty speciální

Do této skupiny patří:

- Tvrdé silniční asfalty
- Multigradové silniční asfalty
- Účelové asfalty [18]

### 4.5.1 Tvrdé silniční asfalty

Jedná se o asfaltová pojiva používaná do směsí s vysokým modulem tuhosti. Přestože hranice mezi silničním asfaltem a tvrdým silničním asfaltem není pevně definována, považuje se za tvrdý silniční asfalt pojivo penetrace 10/20, 15/25 a 20/30. Jejich požadované vlastnosti jsou určeny normou ČSN EN 13924 „Asfalty a asfaltová pojiva - Specifikace pro tvrdé silniční asfalty“ [23]

Určená vlastnost	Metoda zkoušení	Jednotka	TSA 10/20	TSA 15/25	TSA 20/30
Penetrace při 25 °C	EN 1426	0,1 mm	10 – 20	15 – 25	20 – 30
Bod měknutí	EN 1427	°C	66 – 76	63 – 73	60 – 70
Dyn. viskozita při 60 °C	EN 12596	mPa·s	NR	NR	NR
Změna hmotností, max.		%	0,5	0,5	0,5
Zbylá penetrace, min.	EN 1426	%	55	55	55
Bod měknutí po stárnutí, min.	EN 1427	°C	68	65	62
Zvýšení bodu měknutí, max.	EN 1427	°C	8	8	8
Zvýšení bodu měknutí & penetrační index před zkouškou	EN 1427 Příloha A	°C	NR	NR	NR
Kinem. viskozita při 135 °C, min.	EN 12595	°C	NR	NR	NR
Bod lámavosti, max.	EN 12593	°C	+3	0	-4
Bod vzplanutí, min.	EN 22592	°C	245	245	245
Rozpuštěnost, min.	EN 12592	% (m/m)	99,0	99,0	99,0

**Tabulka 4-4:** Specifikace pro tvrdé silniční asfalty s penetrací od 10 x 0,1 mm do 30 x 0,1 mm dle národní přílohy ČSN EN 13924 ( NR – „No Requirement“ – nepožaduje se) [23]

#### **4.5.2 Multigradové silniční asfalty**

Multigradové silniční asfalty jsou speciálním druhem pojiva, které se vyznačuje zvýšeným bodem měknutí, určeným pomocí metody „Kroužek a kulička“, a zároveň sníženou teplotou bodu lámavosti, určenou zkouškou lámavosti dle Fraasse. Obě vlastnosti jsou vztaženy k silničnímu asfaltovému pojivu stejné gradace (penetrace). Těchto zlepšených vlastností je dosaženo bez použití modifikátorů speciálními rafinérskými procesy. Při jejich výrobě není použita technologie destilace ani polofoukání. [18]

#### **4.5.3 Účelové asfalty**

Účelové asfalty mají vlastnosti podobné silničním asfaltům. Jsou využívány jako polotovary pro další zpracování v průmyslu. Například asfalt s penetrací 80/25 °C je používán jako pojivo pro silicifikaci nebezpečných odpadů. Asfalt penetrace 220/25 °C je využíván k impregnaci nebo výrobě modifikovaných střešních pásů. [18]

### **4.6 Asfaltové emulze**

Asfaltovou emulzi označujeme jako disperzní systém, dvou navzájem nemísitelných kapalin. Spojitou fází systému tvoří voda a dispergovaným materiálem jsou mikroskopické kapičky asfaltového pojiva. Nedílnou součástí každé asfaltové emulze je povrchově aktivní látka – emulgátor, který zabraňuje koagulaci jednotlivých kapek asfaltu. [17], [40]

Dle náboje, který nese dispergovaná složka je lze emulze dělit na:

- Anionaktivní
- Kationaktivní [17]

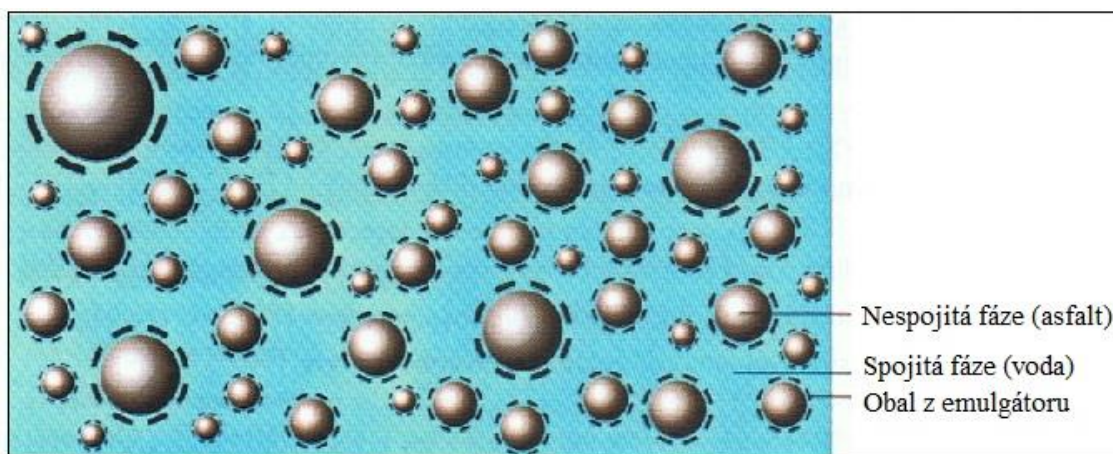
K prvním aplikacím asfaltových emulzí došlo začátkem 20. století. Jedněmi z prvních zemí, kde bylo používání této technologie masově rozšířeno, byla Francie, Německo, Velká Británie. V počátcích byly užívány pouze anionaktivní emulze. Po objevu technologie výroby kationaktivních emulzí a jejich uvedení na trh stávaly se tyto postupem času stále používanější, a v současné době zaujímají v Evropě dominantní postavení na poli asfaltových emulzí. [17]

Asfaltové emulze jsou využívány zejména v aplikacích za studena. Hlavními oblastmi použití jsou kalové zákryty, mikrokoberce, nátěry, penetrační makadam, stabilizace zemin, infiltrační, spojovací, regenerační postřiky a v neposlední řadě použití při recyklaci vozovek za studena. Jsou hojně využívány při opravách a údržbě pozemních komunikací. [17], [40]

Mezi výhody asfaltových emulzí patří

- Možnost použití za studena – úspora energie při zahřívání
- Možnost obalovat mokré kamenivo
- Nezatěžují životní prostředí jedovatými výpary
- Téměř okamžitá možnost pojíždění směsí s emulzemi
- Bezproblémové skladování [17]

Disperzním prostředím je voda. Jedná se proto o typ emulze „olej ve vodě“. Dispergovaným materiálem jsou mikroskopické (1-20  $\mu\text{m}$ ) kapičky asfaltového pojiva. Z důvodu značného povrchového napětí na rozhraní vody a asfaltu, je problematické dispergovat a udržet ve stabilním stavu asfaltové pojivo. Proto jsou při výrobě do směsi přidávány emulgátory, které zajistí, aby se od sebe navzájem jednotlivé kapičky pojiva odpuzovaly. Výroba asfaltových emulzí se provádí v tzv. koloidních mlýnech. [17], [40]

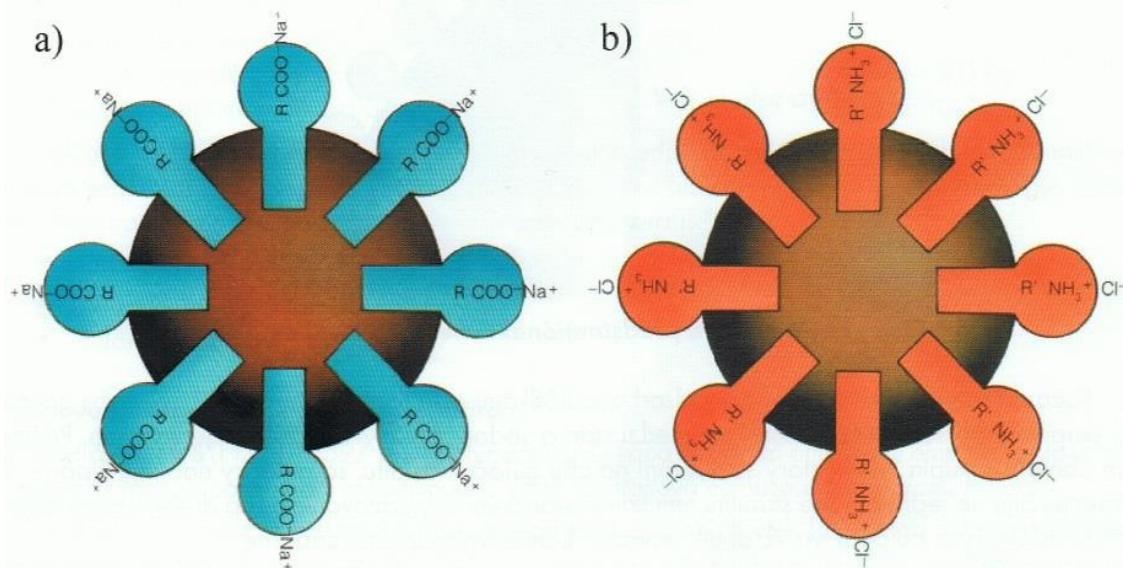


**Obrázek 4-12:** Schématické zobrazení asfaltové emulze [17]

Emulgátory jsou látky, které umožňují vznik asfaltové emulze. Přispívají ke snížení povrchového napětí pojiva, takže lze materiál v koloidním mlýnu rozdělit na jednotlivé kapičky. Okamžitě po vzniku kapiček dojde k obalení jejich povrchu emulgátorem,



který zabrání, aby došlo k opětovnému scelení. Dle použitého emulgátoru vznikají buď emulze anionaktivní, nebo kationaktivní. [17], [40]



**Obrázek 4-13:** Schéma částice a) anionaktivní, b) kationaktivní emulze [17]

Emulgátor se skládá ze dvou složek. Jedna složka je tzv. lipofilní (přitahuje tuky a oleje) a je nepolární. V obrázku 4-13 ji představuje R – řetězec mastné kyseliny. Druhá je hydrofilní (přitahuje vodu) a zároveň polární. V obrázku 4-13 ji představuje  $\text{COO}^-$  (anionaktivní) a  $\text{NH}_3^+$  (kationaktivní). Lipofilní část je orientovaná směrem do středu kapičky, hydrofilní vstříčně k vodě. Ionty  $\text{Na}^+$  (anionaktivní) a  $\text{Cl}^-$  (kationaktivní), přechází v okamžiku emulgace do vodního prostředí. Tímto způsobem je každé kapičce asfaltu dán souhlasný náboj (kationaktivní – kladný, anionaktivní – záporný), tudíž se navzájem odpuzují. Tímto je zabezpečena stabilita emulze. Čím vyšší je koncentrace emulgátoru, tím je emulze stabilnější. Emulgátory procházejí neustálým vývojem a emulgátor zobrazený na obrázku 4-13 je jen jedním z mnoha. [17]

Množství pojiva v asfaltových emulzích se pohybuje mezi 40 – 74 %. Čím více obsahuje emulze pojiva, tím je viskóznější. Jednou z nejdůležitějších věcí je však použití vhodného druhu asfaltového pojiva. Ne každé pojivo je vhodné pro emulgaci. Nejběžněji emulgovaným pojivem je silniční asfalt gradace od 50 do 220 penetračních jednotek. Asfalt nižší gradace není pro asfaltové emulze vhodný. Je možné používat také modifikovaná pojiva, či přidávat modifikátor přímo do koloidního mlýna. Výhodou

tohoto modifikování je, že při nízkých teplotách mísení nedochází k degradaci polymeru. [17], [40]



**Obrázek 4-14:** Provádění emulzního nátěru s použitím asfaltové emulze [52]

Při styku s kamenivem začíná proces štěpení. Štěpení představuje proces oddělování obou fází. Po vyštěpení se stává směs nezpracovatelnou a začíná fáze konsolidace směsi. Existují emulze rychloštěpné, středněštěpné, pomaluštěpné. Při tomto procesu dochází ke smáčení kameniva buď asfaltem, nebo vodou. V případě smáčení asfaltem dochází k přilnutí – adhezi asfaltu ke kamenivu a vytlačení vody z povrchu zrn. Toto se nazývá aktivní adheze a projevuje se u kationaktivních emulzí. V případě smáčení vodou (anionaktivní emulze) dochází k přilnutí asfaltu ke kamenivu až po odpaření vody z povrchu zrn – pasivní adheze. V případě emulzí s horší přilnavostí ke kamenivu lze přidat aditivum zlepšující adhezní schopnosti. [17], [40]

## 4.7 Ředěné a fluxované asfalty

### 4.7.1 *Ředěné asfalty*

Ředěné asfalty se vyrábějí ze základního silničního asfaltu, za účelem snížení viskozity pojiva. Při výrobě jsou do asfaltu přidávána organická rozpouštědla na bázi ropy. Jako rozpouštědla se používají lehké nebo středně těžké ropné frakce (benzin, petrolej), které jsou relativně těkavé. Existuje možnost použít frakce dehtové (toluen, xylen, solventní nafta). Výsledkem naředění asfaltu se stávají roztoky těchto rozpouštědel a asfaltu, které jsou poté aplikovatelné za nižších teplot, popř. bez nutnosti ohřevu za studena. [18]

V minulosti byl tento druh pojiva používán při regeneraci starších krytů vozovek, pro nátěrové a penetrační úpravy, jako regenerační postřiky, spojovací postřiky a jako pojivo směsí prováděných za snížených teplot a mrazu. [1]

V současné době se od používání ředěných asfaltů upouští, neboť při pokládce a při zrání se ze směsi uvolňují těkavé látky dráždivé kůži, škodlivé pro dýchací orgány a škodlivé pro vodní prostředí. Jedná se také o hořlavinu II. třídy nebezpečnosti a při vypařování tvoří se vzduchem snadno zápalnou směs. [18]

### 4.7.2 *Fluxované asfalty*

Fluxované asfalty se začaly používat ze stejného důvodu jako asfalty ředěné, či asfaltové emulze. Přidání fluxačního činidla do asfaltu se pojivo stává tekutějším, klesá jeho viskozita a je snadno zpracovatelné za běžných teplot. Jako fluxační činidlo jsou používány minerální (ropné) oleje a oleje rostlinného původu. Tyto však nejsou tolik těkavé, a proto se nevypařují z asfaltu, jako je tomu u asfaltů ředěných organickými rozpouštědly. Dle normy ČSN EN 15322 „Asfalty a asfaltová pojiva - Systém specifikace ředěných a fluxovaných asfaltů“ jsou fluxovadla minerální označována značkou „Fm“ a fluxovadla rostlinného původu jako „Fv“. [59]

## 5 ZKOUŠENÍ ASFALTOVÝ POJIV

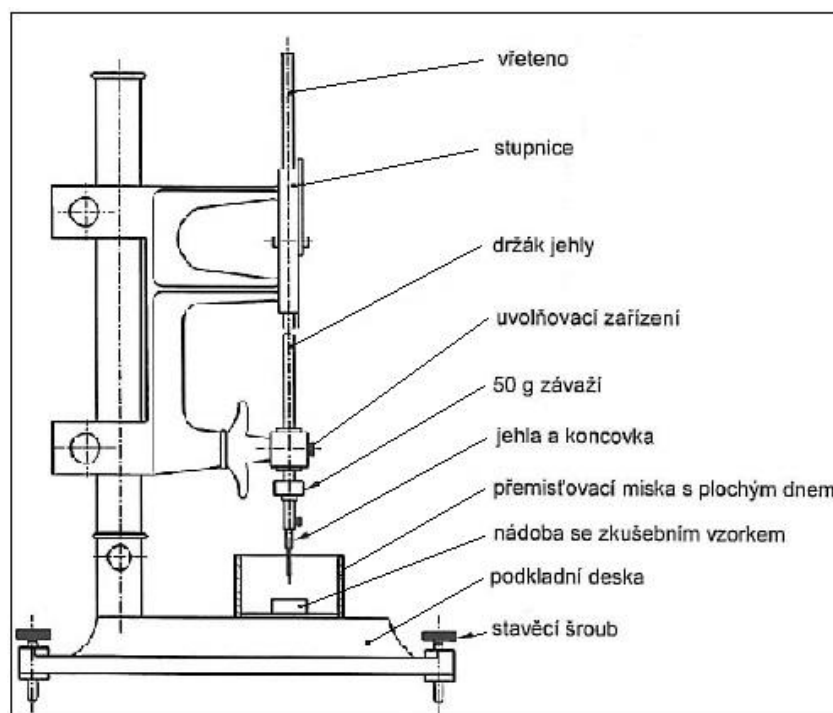
Na základě potřeby zajištění odpovídající kvality prováděných asfaltových vrstev byly vyvinuty zkušební postupy pro jednotlivé složky asfaltových směsí. Tato část se zabývá problematikou zkoušení asfaltových pojiv.

### 5.1 Empirické zkoušky

Empirickými zkouškami jsou zjišťovány základní vlastnosti jednotlivých asfaltových pojiv. Tyto tradiční zkoušky jsou prováděny již dlouhou dobu a v současné době mají nezastupitelnou úlohu při popisu a klasifikaci asfaltového pojiva. Kromě níže popsaných zkoušek, patří do této kategorie stanovení bodu vzplanutí, rozpustnosti, aj.

#### 5.1.1 Stanovení penetrace jehlou

Postup zkoušení asfaltového pojiva pro zjištění penetrace stanovuje norma ČSN EN 1426 „Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení penetrace jehlou“. Požívá se jako základní parametr hodnocení jakosti asfaltů. Lze ji použít pro pojiva o penetraci do 330 x 0,1 mm. [24]



Obrázek 5-1: Příklad penetrometru [24]

Definice penetrace: Konzistence vzorku materiálu vyjádřená jako hloubka v desetinách milimetru, do které svisle vnikne normalizovaná jehla za stanovených podmínek teploty, zatížení a doby zatěžování. [24]

Postup zkoušky je následující. Nádoba se zkušebním vzorkem zchlazeným na laboratorní teplotu je temperována ve vodní lázni po dobu určenou dle objemu vzorku na 25 °C. Vzorek musí být zcela ponořen ve vodě. Po stanovené době se těsně k povrchu hladiny zkušebního vzorku přiblíží očištěná penetrační jehla. Po uvolnění jehly, která vyvozuje na zkoušený vzorek celkové zatížení  $100 \text{ g} \pm 0,10 \text{ g}$ , je hrot jehly tímto zatížením zatlačován do zkušebního vzorku po dobu 5 vteřin. Poté se odečítá hodnota penetrace. Jedna penetrační jednotka je rovna desetina milimetru. [24]

Při rádném provedení je třeba provést 3 zkoušky penetrace na jednom zkušebním vzorku. Místa penetrování musí být nejméně 10 mm od okraje nádoby se vzorkem a 10 mm od sebe navzájem. Aby byla zkouška platná, nesmí se výsledné hodnoty od sebe lišit o více, než stanovuje tabulka 5-1. Z těchto 3 stanovení se vypočte aritmetický průměr, který je zaokrouhlen na nejbližší celou penetrační jednotku (0,1 mm). [24]

Penetrace v 0,1 mm	do 49	50 až 149	150 až 249	250 a výše
Maximální rozdíl mezi nejvyšším a nejnižším stanovením	2	4	6	8

**Tabulka 5-1:** Maximální rozdíl platných stanovení [24]

### 5.1.2 Stanovení bodu měknutí kroužkem a kuličkou

Postup zkoušení asfaltového pojiva pro zjištění teploty bodu měknutí stanovuje norma ČSN EN 1427 „Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení bodu měknutí - Metoda kroužek a kulička“. Lze ji použít pro pojiva o bodu měknutí od 28 °C do 150 °C. Určuje horní mez oboru plasticity. [25]

Zkouška začíná přípravou vzorků. Do 2 nahřátých mosazných kroužků se nalije pojivo s mírným přebytkem, které po 30 minutách chlazení seřízeme, podle kroužků. Tloušťka vzorků činí 6,4 mm. Tyto jsou osazeny do zkušební aparatury, která je umístěna buď ve vodní lázni, v případě předpokládaného bodu měknutí od 28 °C do 80 °C, nebo v glycerinu pokud je předpokládaná hodnota bodu měknutí vyšší než 80 °C.

Na každý z vzorků je položena kovová kulička. Poté následuje temperování na 5 °C (vodní lázeň), nebo 30 °C (glycerin). Po naterování započne zahřívání, za stálého míchání, kádinky s lázní, buď kahanem nebo elektrickým vařičem rychlostí 5 °C/min. Sleduje se teplota v okamžiku, kdy asfalt obklopující kuličku dosáhne 25 mm propadu. Tato teplota se měří s přesností na 0,2 °C (voda) nebo 0,5 °C (glycerin). [25]



**Obrázek 5-2:** Zkouška stanovení bodu měknutí kroužkem a kuličkou [31]

Zkouška je platná pouze tehdy, je-li rozdíl mezi oběma naměřenými teplotami max. 1 °C (voda), max. 2 °C (glycerin). V případě zkoušení modifikovaných asfaltů se zkouška stává neplatnou, pokud je rozdíl větší než 2 °C nebo dojde k odlepení asfaltu od kuličky. Výsledek je vyjádřen jako průměr teplot se zaokrouhlením na nejbližší 0,2 °C (voda) nebo 0,5 °C (glycerin). [25]

### 5.1.3 Stanovení teploty lámavosti podle Fraasse

Postup zkoušení asfaltového pojiva pro zjištění teploty bodu lámavosti stanovuje norma ČSN EN 12593 „Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení bodu lámavosti podle Fraasse“. Určuje se jí křehkost pojiva za nízkých teplot.

Před započítáním zkoušky je třeba připravit zkušební vzorky, které sestávají z očištěného plíšku, na který je naneseno 410 mg ± 10 mg pojiva. Plíšek umístíme na magnetický blok, který je vyhříván kovovým podstavcem. Až je pojivo dostatečně tekuté, zajistíme rovnoměrné rozprostření nakláněním podstavce. Po vychladnutí na laboratorní teplotu se mírně ohnutý plíšek upevní do ohýbacího zařízení a vloží do zkumavky chladičeho zařízení. Chlazení se provádí prostřednictvím tuhého oxidu uhličitého (suchého ledu) rychlostí cca 1 °C/min. Při teplotě 10 °C ± 2 °C nad

očekávanou teplotou lámavosti, započne ohýbání plíšku, pomocí klíčky ohýbacího zařízení (1 otáčka/s). Sleduje se, kdy dojde na ohýbaném plíšku k první prasklině asfaltového filmu. [26]



**Obrázek 5-3:** Zkušební zařízení pro určení bodu lámavosti dle Fraasse [32]

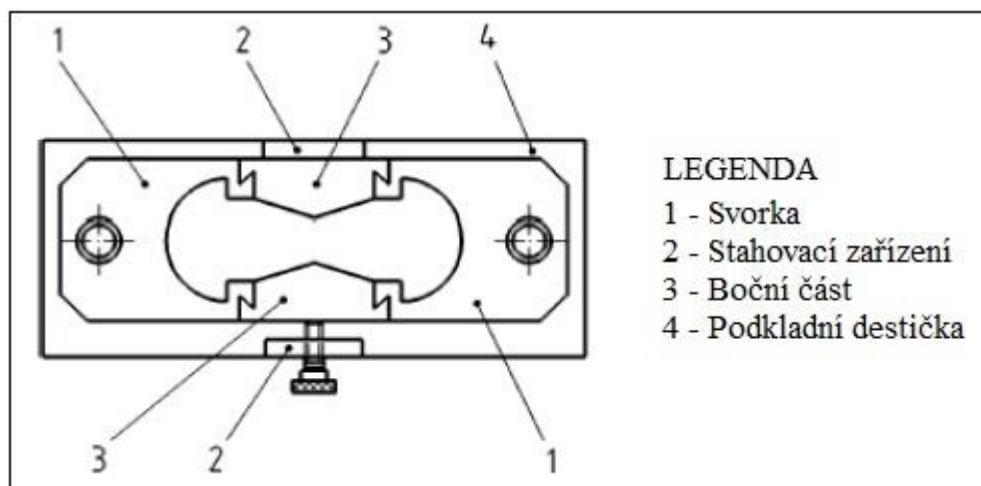
Celkově se ozkouší 3 vzorky. První zkouška je pouze orientační. Z dalších dvou zkoušek se vypočte aritmetický průměr zaokrouhlený na nejbližší celé číslo. Pokud se výsledky neliší o více než 3 °C, je zkouška platná. [26]

#### **5.1.4 Stanovení vratné duktility modifikovaných asfaltů**

Zkouška se provádí podle normy ČSN EN 13398 „Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení vratné duktility modifikovaných asfaltů“. Tato zkouška je určena v prvé řadě pro asfaltová pojiva modifikovaná polymery. Zkouškou se prokazují pružné schopnosti asfaltového pojiva vrátit se do původní délky. [27]

Ke zkoušce je třeba tři zkušebních tělísek. Do mírně nahřáté odlévací formy vymazané separačním prostředkem se nalije zahřáté pojivo s malým přesahem. Po 1 hodině při laboratorní teplotě se odřízne přesahující část pojiva zároveň s formou. Vzorek se vloží do vodní lázně protahovacího zařízení – duktilometru, o teplotě obvykle

25 °C nebo 10 °C na dobu 90 minut. Je možno provádět i při jiné teplotě. Po 90 minutách se vzorek sejme z podkladních destiček a odstraní se boční části formy. Asfaltové tělísko se upevní na vodící desky a začíná protahování rychlostí 50 mm/min až do 200 mm délky. Do 10 s po zastavení se přestřihne vlákno pojiva a sleduje se zkrácení polovláken. Po 30 min. se změří vzdálenost mezi polovlákný pravítkem. [27]



**Obrázek 5-4:** Odlévací forma pro zkoušku vratné ductility [31]



**Obrázek 5-5:** Duktilometr [53]



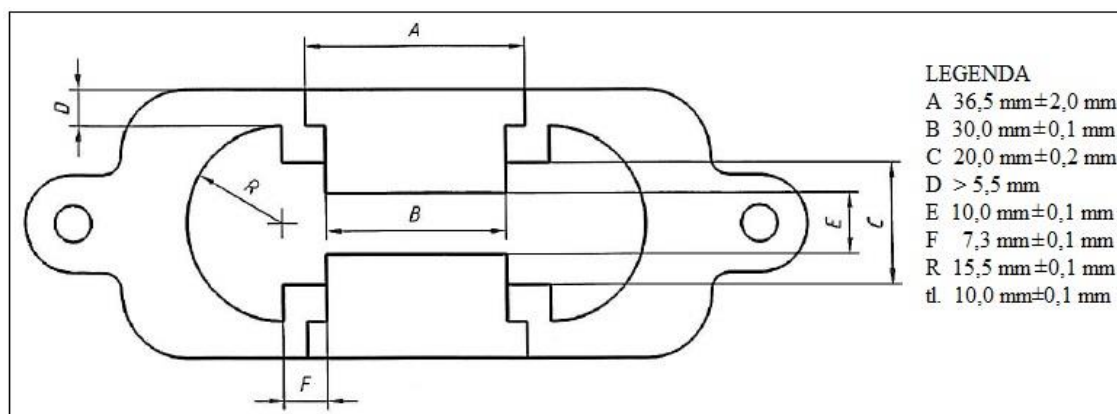
Vratná duktilita  $R_E$  se poté vypočítá dle rovnice

$$R_E = \frac{d}{L} \cdot 100 [\%],$$

kde  $d$  je vzdálenost mezi konci polovláken,  $L$  je délka protažení (200 mm). Vyjadřuje se v procentech a zaokrouhluje se na celá procenta. Pokud se 2 vzorky neliší o více než 5 %, určí se aritmetický průměr z těchto dvou vzorků. Pokud překročí 5 %, ozkouší se ještě jedno tělísko. Výsledek zkoušky třetího tělíska se porovná s výsledkem jemu bližším, a pokud je mezi nimi rozdíl menší než 5 %, tak aritmetický průměr z nich vypočítaný je výsledkem zkoušky. Jinak je třeba zkoušku opakovat. Výsledek se zaokrouhlí na celá %. [27]

### 5.1.5 Stanovení tažných vlastností modifikovaných asfaltů – silová duktilita

Postup zkoušky je určen normou ČSN EN 13589 „Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení tažných vlastností modifikovaných asfaltů metodou silové duktility“. Zkouškou lze zjistit tažné a kohezní vlastnosti asfaltového pojiva. Práce nutná k protažení tělíska je kritériem jakosti těchto pojiv. [31]



**Obrázek 5-6:** Rozměry formy tělíska - silová duktilita [28]

Kromě odlišné formy je příprava vzorků shodná se zkouškou vratné duktility. Standardní teplotou lázně je 5 °C. V případě měkkých asfaltových pojiv se však zkouška provádí za teploty 0 °C a tvrdá polymerem modifikovaná pojiva při teplotě 10 °C. Těleso je temperováno při této teplotě 90 minut. Po této době se odstraní boční části formy a tělísko je upevněno v duktilometru vybaveném snímačem tahové síly. Po zahájení zkoušky dochází k natahování tělíska konstantní rychlostí 50 mm/min až do

dosažení protažení 1333 %, tj. 400 mm. Po celou dobu natahování je zaznamenávána hodnota protažení a hodnota působící síly. Pokud dojde ke křehkému lomu při protažení menším než 400 mm, zkouška se opakuje. V případě porušení i druhého vzorku se zvyšuje teplota lázně o 5 °C. [28]

Kvalita polymerem modifikovaných asfaltů se vyjadřuje pomocí tzv. smluvní energie. Hodnoty zkoušky silové ductility se vyjadřují jako rozdíl smluvní energie příslušné ke dvěma bodům protažení (0,2 m a 0,4 m). [31]

$$E_s = E_{0,4} - E_{0,2}$$

kde:  $E_s$  hodnota smluvní energie uvedené v tabulkách specifikací PmB

$E_{0,4}$  smluvní energie odpovídající protažení 0,4 m

$E_{0,2}$  smluvní energie odpovídající protažení 0,2 m [31]

Výsledná hodnota smluvní energie je stanovena aritmetickým průměrem 3 platných měření. [28]

## 5.2 Funkční zkoušky

Vzhledem ke skutečnosti, že klasické empirické zkoušky asfaltových pojiv nejsou schopny obsáhnout dostatečně jejich vlastnosti, zavádějí se do praxe tzv. zkoušky funkční. Tyto se zaměřují především na plastické vlastnosti pojiv, které jsou důležité z hlediska trvalých plastických deformací, tzv. vyjíždění kolejí. Další oblastí, kde nachází tyto nové zkoušky uplatnění je ve zkoumání vlivu slunečního záření a kyslíku na křehnutí pojiv, nazývané též stárnutí pojiva.

Častým pojmem, na který se odborníci ve svých pracích odkazují je SHRP (Strategic Highway Research Program). Tento výzkumný program byl započat koncem 80. let. 20. stol. v USA a zabývá se výzkumem asfaltových vozovek, jejich poruch a zkoumá možnosti vylepšení jak materiálů, tak zkušebních metod. [16]

Dle metodiky SHRP je postup zkoušení asfaltového pojiva následující. Prvním krokem je určení PG (Performace Grades), které popisuje, pro který region bude pojivo

určeno. Od PG se odvíjejí zkušební teploty. Ověří se bod vzplanutí (musí být vyšší než 230 °C), změří se viskozita pojiva (DSR), poté se provede zkouška krátkodobého stárnutí pojiva (RTFOT, TFOT, popř. RFT) a opět zkouška DSR. Vše s jedním vzorkem. Následuje zkouška dlouhodobého stárnutí pojiva v tlakovém hrnci – PAV, měření únavy pomocí DSR a poslední zkouškou bude trámečkový reometr – Bending Beam Rheometer (BBR). Popřípadě se ještě provede měření přímé tažnosti. [16]

Zatřídění dle PG se v evropských podmínkách neprovádí, ostatní výše popsané zkoušky jsou zahrnuty v sadě evropských norem zabývající se asfaltovými pojivy. [16]

### 5.2.1 Viskozita

Viskozita se stává fyzikální vlastností, která většinu funkčních reologických zkoušek spojuje. Platí, že čím je materiál, např. asfalt, viskóznější, tím je odpor proti přetvoření větší a naopak. [16]

Asfaltové pojivo se může v zásadě nacházet ve třech stavech. Při vysokých teplotách nebo při pomalém zatížení se chová jako viskózní kapalina, „olej“. Lze jej míchat, přečerpávat a obalovat jím kamenivo. Při klesání teploty se zvyšuje viskozita a asfalt vykazuje vlastnosti viskózní i pružné. Při nízkých teplotách nebo rychlém zatížení dosahuje viskozita vysokých hodnot a jedná se prakticky o látku pružnou. [16]

Dynamická viskozita je definována, jako poměr mezi smykovým napětím  $\tau$  a smykovým stupněm (stříhovým spádem)  $\dot{\gamma}$ . V klasické mechanice kapalin, která vychází z Newtonovské teorie kapalin (voda vzduch) a je definována vztahem

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} [\text{Pa}\cdot\text{s}],$$

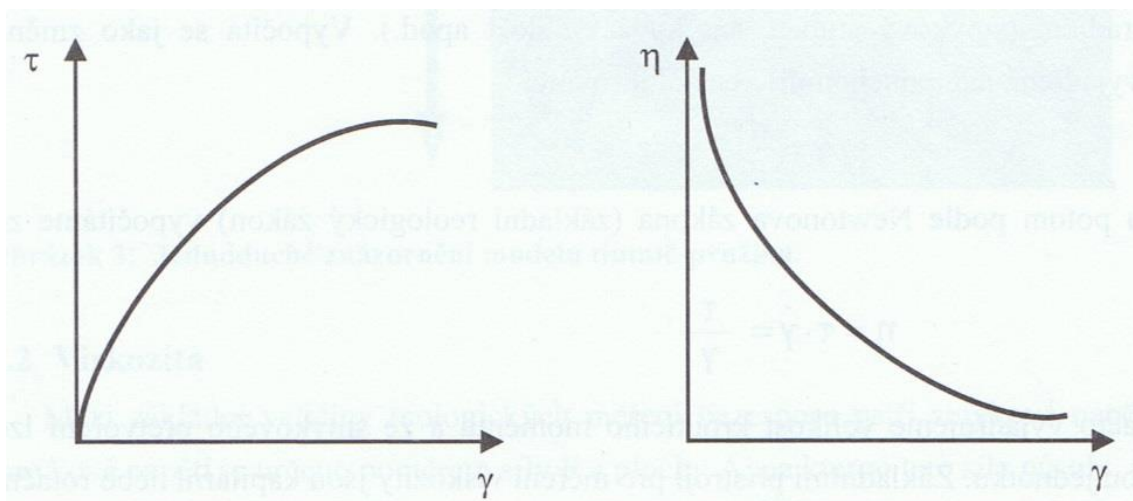
kde  $\eta$  označuje dynamickou viskozitu. Současně platí vztah

$$\tau = \eta \cdot \frac{dv}{dy},$$

kde  $dv/dy$  představuje rychlost smykové deformace. Mezi dynamickou viskozitou  $\eta$  a kinematickou viskozitou  $\nu$  existuje vztah závislý na hustotě látky  $\rho$ :

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}. [43]$$

U viskoelastických látek, na rozdíl od látek viskózních, závisí napětí na celém předchozím průběhu deformace. Typické pro jejich chování je, že po skončení toku nedosáhne okamžitě nulového tečného napětí, ale je patrné postupné snižování tohoto napětí, což se například projevuje i možností stanovit tzv. viskozitu při nulovém stříhovém spádu. [43]



**Obrázek 5-7:** Toková (vlevo) a viskózní křivka (vpravo) [16]

Graficky lze znázornit viskozitu pomocí viskózní křivky, která ukazuje závislost viskozity na smyku. Důležitá je též toková křivka znázorňující závislost smykového napětí na smyku. [16]

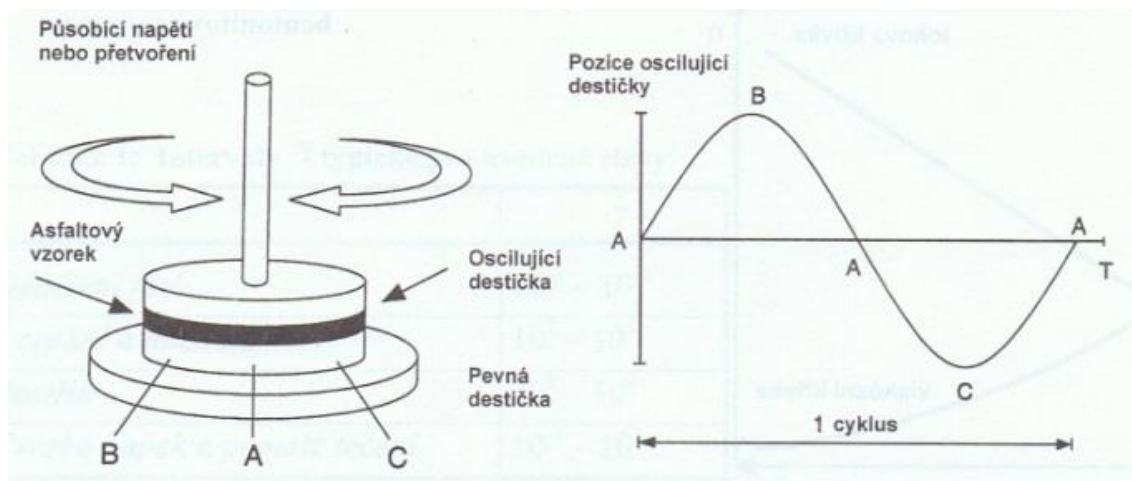
K měření viskozity asfaltových pojiv je nejčastěji používán Brookfieldův rotační viskozimetr, jenž využívá vřetenou tvaru kuželu, které je ponořeno do pojiva rozehrátého na teplotu 135 °C. Podstatou je měření míry odporu kapaliny při otáčení kuželu v pojivu. [34]

### 5.2.2 *Dynamický smykový reometr*

Jedná se o funkční zkoušku, která je popsána v normě ČSN EN 14770 „Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení komplexního modulu ve smyku a fázového úhlu – Dynamický smykový reometr (DSR)“.

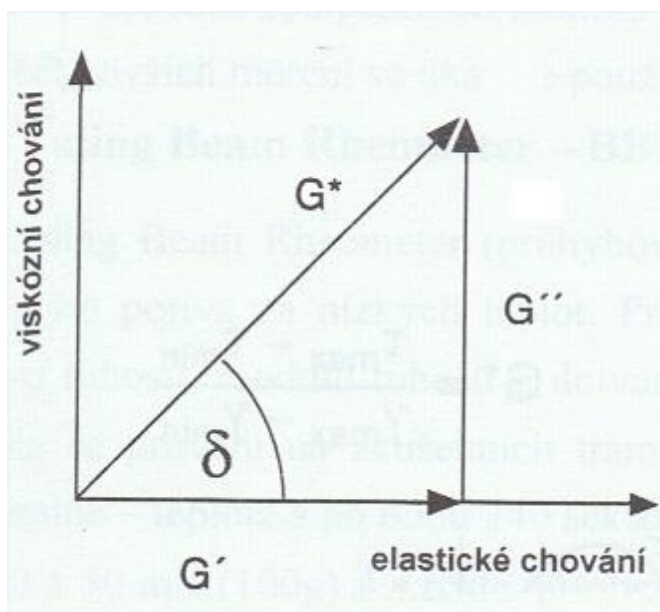
V současnosti je používána geometrie destička – destička, z nichž jedna je pevná a druhá je oscilující ve vzájemné vzdálenosti 1 mm (originální pojiva), popř. 2 mm (zestárlá pojiva). Mezi nimi se nachází vzorek, který je namáhán oscilací s možností

řízené deformace, či řízeného napětí. Zatížení rotací odpovídá harmonicky proměnné (sinusové) funkci namáhání, která nejvěrohodněji odpovídá simulaci zatížení ve vozovce od jedoucích vozidel. Frekvenci lze měnit, dle rychlosti vozidel. [34]



**Obrázek 5-8:** Princip dynamického smykového reometru [16]

Kromě dynamické viskozity lze zkouškou DSR získat také hodnoty komplexního smykového modulu  $G^*$ , za který je označován podíl maximálních hodnot smykového napětí a relativního smykového přetvoření. Veličina  $G^*$  je mírou celkové odolnosti materiálu proti přetvoření. Skládá se z elastické složky  $G'$  (reálné) a viskózní složky  $G''$  (ztrátová).  $\delta$  označuje fázový úhel. [43]

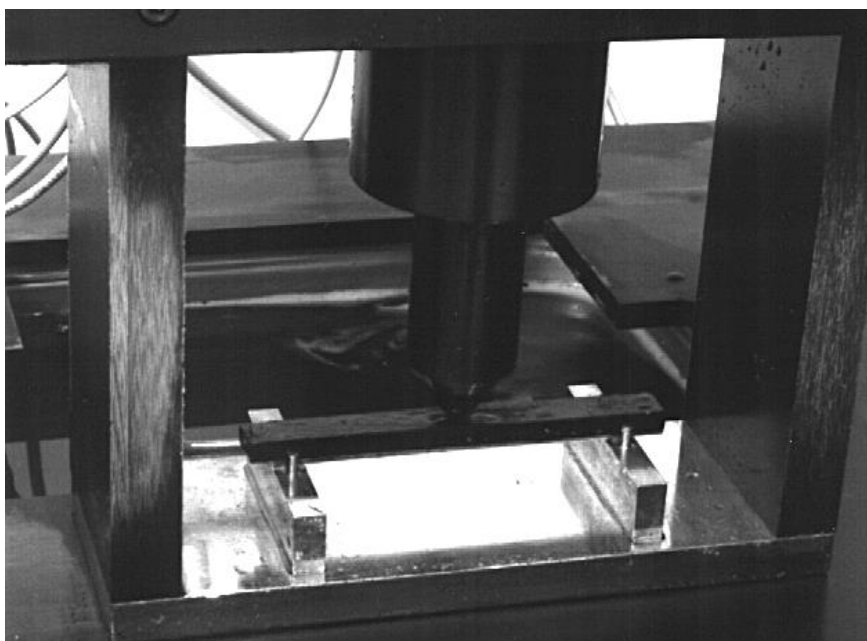


**Obrázek 5-9:** Složky komplexního modulu [16]

### 5.2.3 *Průhybový trámečkový reometr*

Všeobecně rozšířeným anglickým názvem je Bending Beam Rheometer – BBR. Postup zkoušení stanovuje norma ČSN EN 14771 „Stanovení modulu tuhosti za ohybu pomocí průhybového trámečkového reometru“.

Slouží k určování chování asfaltového pojiva za nízkých teplot. Princip měření je založen na provedení zkoušky průhybu a výpočtu ohybové tuhosti, modulu tuhosti a dotvarování u asfaltového pojiva před i po stárnutí při nízkých teplotách. [16]



**Obrázek 5-10:** Zkouška průhybovým trámečkovým reometrem [32]

### 5.2.4 *Zkoušky stárnutí pojiva*

Mezi tyto zkoušky zařazujeme RTFOT, TFOT, RFT a zkoušku PAV

Metoda **RTFOT**, neboli stanovení odolnosti proti stárnutí vlivem tepla a vzduchu (ČSN EN 12607-1), je založena na principu tepelné stálosti tenké pohybující se vrstvy filmu, která se ohřívá v sušárně za přívodu předehřátého vzduchu. [30]

Zkouška probíhá následovně. Do skleněné nádoby se nalije  $35 \pm 0,5$  g pojiva a nádoba se vloží se do sušárny vytemperované na  $163 \text{ }^\circ\text{C}$ . Zkouší se naráz 8 vzorků. Během zkoušky, která trvá 75 minut, je nádobkami otáčeno, což zabraňuje vytvoření povrchové vrstvičky, a zároveň je přímo do nádobek vháněn horký vzduch. Po zkoušce je změřen úbytek hmotnosti po umělém stárnutí, bod měknutí, penetrace při  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  a

dynamická viskozita při 60 °C. Hodnoty jsou porovnány s parametry nezestárlého pojiva. [30]



**Obrázek 5-11:** Zařízení pro zkoušku RTFOT [32]

Metoda **TFOT** (ČSN EN 12607-2), je založena na tepelné stálosti tenké vrstvy zkušebního materiálu. Princip je postaven na vzorku uloženém na kovové misce, která je umístěna na vodorovně se otáčejícím kotouči za přístupu tepla. [30]

Připraví se 3 misky s pojivem o hmotnosti 50 g, které se umístí do sušárny na kotouč, který se během zkoušky otáčí. Zkouška probíhá při teplotě 163 °C po dobu 5 hodin. [30]

Výstupem zkoušky je úbytek pojiva a zjištění poměrné kinematické viskozity. Vliv tepla a vzduchu lze prokázat také určením bodu měknutí a penetrací. [30]

Princip metody **RFT** je založen na tenké pohybující se vrstvě vzorku asfaltového pojiva, které se ohřívá v olejové lázni. Přesný postup je popsán v technické normě ČSN EN 12607-3.

Vzorek o hmotnosti 100 g, který se ohřívá při teplotě 165 °C po dobu 150 minut za konstantního přívodu vzduchu o objemu 500 ml/min, je umístěn ve skleněné baňce o objemu 1000 ml, do které je přiváděn vzduch. Baňka je uložena pod úhlem 45° a otáčí se rychlostí 20 otáček/min. [30]



**Obrázek 5-12:** Vzorky pojiva v sušárně připravená ke zkoušce TFOT [32]



**Obrázek 5-13:** Aparatura pro zkoušku RFT [32]



Urychlené dlouhodobé stárnutí v tlakové nádobě – **PAV** je popsáno v převzaté verzi evropské normy ČSN EN 14769. Princip zkoušky je založen na uchování misek s tenkou nepohyblivou vrstvou pojiva v tlakové nádobě za zvýšené teploty a tlaku. [30]

Aparatura je tvořena tlakovou nádobou, která se předeřeje na 100 °C. Poté jsou do PAV vloženy vzorky pojiva na miskách o hmotnosti 50 g pojiva v jedné misce. Po natlakování nádoby na 2,1 MPa za teploty 100 °C probíhá zkouška po dobu 20 hodin. Udává se, že pojivo uměle zestárlé pomocí metody PAV, je ekvivalentní pojivu po 6 - 7 letech provozu. [30]



**Obrázek 5-14:** Aparatura pro zkoušku v tlakovém hrnci PAV [32]

## 6 ALTERNATIVNÍ POJIVA DO NETUHÝCH VOZOVEK

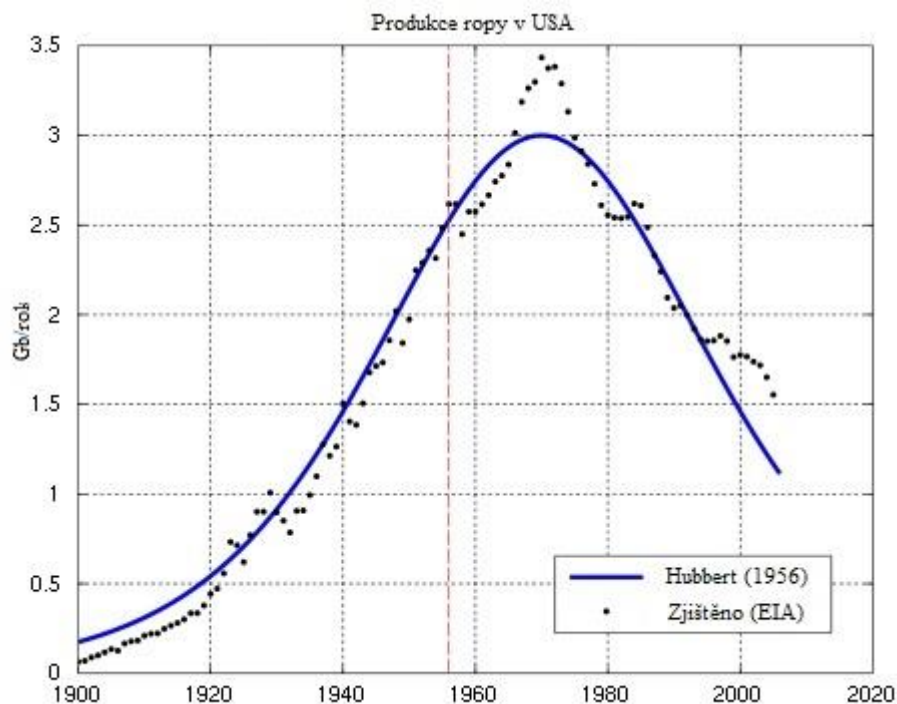
### 6.1 Zdůvodnění nutnosti

Během posledních cca 150 let si lidstvo, potažmo rozvinuté oblasti světa, zvyklo na relativně snadnou dostupnost ropy. Ropa je v současné době nepostradatelnou surovinou a málokdo si dokáže představit, že by se bez ropy a výrobků z ní obešel. Ropa a ropné produkty jsou nyní využívány téměř ve všech odvětvích lidské činnosti, průmyslu, zemědělství, dopravě, aj. Výrobky z ropy nás obklopují téměř na každém kroku, pohonné hmoty vyráběné z této neuvěřitelně energeticky bohaté suroviny se staly nejrozšířenějším palivem v dopravě. Mimo jiné je destilací a následnými procesy získáván z ropy asfalt, nejrozšířenější pojivo ve vozovkách pozemních komunikací.

Ropa je však také nerostná surovina. Její vývoj až do podoby nám známé mazlavé tmavé kapaliny, trvá několik desítek až stovek milionů let. Proto je jasné, že současným tempem těžby dojde postupem času k vyčerpání zásob, které se zdály v počátcích těžby obrovské a téměř nevyčerpatelné. Z tohoto zdánlivého pocitu ale již dávno zasvěcení lidé vystřízlivěli.

Kontroverzní a v současné době více než aktuální teorií týkající se zásob ropy je tzv. „Hubbertova teorie ropného vrcholu“. Tuto teorii vyřkl roku 1956 americký geolog Marion King Hubert. Teorie tvrdí, že jednoho dne dojde v rámci určitého ložiska, území, státu, celého světa k situaci, že produkce ropy přestane růst nebo stagnovat a začne klesat až do úplného vyčerpání. Právě celosvětová těžba ropy je důležitým faktorem, který určuje zejména cenu ropy. Předpokládaný vývoj těžby ropy ukazuje tzv. Hubbertova křivka (viz Obrázek 6-1). Z tohoto je vidět, že model relativně souhlasí se skutečností. [54]

Někteří naftoví geologové tvrdí, že celosvětový ropný vrchol nastane v nejbližší době. Jiní tvrdí, že už nastal. Třetí skupinu tvoří ti, kteří doufají, že tato situace v dohledné době nenastane a úbytek ropy v ložiscích, bude kompenzován nalézáním ložisek nových, popř. nalezením nových technologií umožňujících získávat ropu z prozatím obtížně těžitelných ložisek (dehtové písky, ropné břidlice). [13]



**Obrázek 6-1:** Hubbertova křivka těžby ropy na pevninské části USA [54]

Na každý pád jednou ropa dojde. Neustále se zvyšující poptávka nebude moci být uspokojována do nekonečna. Ropa se stane nedostatkovým zbožím a vzácnou surovinou, která se bude využívat jen na ty nejdůležitější a nejsostikovanější účely jako je farmacie, speciální technologie, atd. Nastane konec plýtvání touto látkou na pohony aut, potažmo také jako materiálu pro silniční stavitelství. Lidstvo je nuceno hledat nové zdroje energie a silniční průmysl bude zase muset nalézt nové materiály, které nahradí stávající asfaltová pojiva.

## 6.2 Současné směry vývoje alternativních pojiv v silničním stavitelství

Jak už bylo zmíněno v předešlém textu, stavitelé silnic jsou tlačeni, popř. dříve nebo později tlačeni budou, k hledání materiálů pojiv, která budou schopna v budoucnosti nahradit dnes používaná asfaltová pojiva. Přestože je v současnosti objem asfaltů vyráběných z ropy dostačující pro stávající poptávku, většina společností produkujících asfaltová pojiva se snaží vyvinout materiály, které by využívaly jako základní surovinu jiné, např. obnovitelné zdroje.

Potenciálními surovinami pro výrobu tzv. bioasfaltu mohou v budoucnu být např. rostlinné oleje, přírodní kaučuky a latex, cukr, melasa, rýže, kukuřice, řepka, slunečnice, arašídy, a další jiné. V USA bylo vyvinuto pojivo, které bylo vyrobeno termochemickou přeměnou trusu prasat. [35]

V roce 2010 byl ve městě City of Des Moines (Iowa, USA) vytvořen povrch cyklostezky ze směsi, která obsahovala 5 % pojiva vyrobeného z dubového dřeva. [36]

### 6.2.1 *Pojiva rostlinného původu*

V současné době jsou na evropském trhu dostupná pojiva podobných vlastností jako asfaltová, která jsou založena na obnovitelných zdrojích. Výrobce těchto pojiv je francouzská společnost COLAS a jsou vyráběna v jihofrancouzském městě Vitrolles. Pojivo nese obchodní název Végécol a je výhradně rostlinného původu, nikoliv z ropy. [37]



**Obrázek 6-2:** Srovnání průhlednosti a barvy netradičních pojiv firmy COLAS [37]

Je zpracováváno obdobně jako běžné silniční asfalty. S úspěchem jej lze využít jako pojivo emulzí. Je určeno pro obalování kameniva směsi netuhých vozovek a nevyžaduje speciální mechanizaci ani zařízení pro mísení, pokládku ani hutnění. Základní zkoušky se provádějí stejně jako pro běžná asfaltová pojiva. [37]



**Obrázek 6-3:** Aplikace emulzního nátěru s pojivem Végécol [37]

Díky nízké počáteční viskozitě je však možné tyto směsi připravovat již za nižších teplot a to 110 – 130 °C, čímž dochází k úspoře energie, nutné pro zahřátí pojiva i kameniva a snížení exhalací skleníkových plynů. Další výhodou je bezbarvosť pojiva, která umožňuje např. nechat vyniknout texturu použitého kameniva. Požitím pigmentačního prostředku lze pojivu přisoudit téměř jakoukoliv barvu. [37]

Skutečnost, že se jedná o pojiva neropná, tzn. z obnovitelných zdrojů, v sobě skrývá ohromný potenciál postupem času nahradit tradiční asfaltová pojiva na poli pojiv do netuhých vozovek a stát se tak „materiálem budoucnosti“. [37]

### **6.2.2 Alternativní pojiva syntetického původu**

Dalším typem jsou pojiva syntetického původu, která lze rovněž snadno pigmentovat. Nejsou však rostlinného původu, ale vyrábí se chemickou syntézou z ropy. Tato vyrábí společnosti COLAS a Shell. Vykazují rovněž obdobné vlastnosti jako silniční asfalty, lze je modifikovat, dokonce lze některá přidávkem aditiva snížit teplota zpracování o 20 – 40 °C. Lze je používat jako lité asfalty či asfaltové emulze. Nesou

obchodní názvy Bituclair (COLAS) a Shell Mexphalte C (Shell). Jejich hlavní výhodou je snadná barvitelnost a uplatnění proto nachází zejména v případech, kdy je záhodno opticky odlišit např. pruh pro cyklisty od jízdního pruhu, pokud je vhodné zesvětlit povrch vozovky, např. v tunelech, apod. V neposlední řadě najde tento druh pojiv využití v architektonických kompozicích, např. v městském prostředí. [11], [37]



**Obrázek 6-4:** Směs s pojivem Bituclair, Sainte Roseline, Francie, rok 2005 [37]



**Obrázek 6-5:** Pokládka směsi se syntetickým pojivem Shell Mexphalte C [11]

### 6.2.3 Závěrem k alternativním pojivům

V České republice byly tyto druhy pojiva (Bituclair a Végécol) použity poprvé v roce 2007 při budování odstavných ploch v Praze. Od té doby došlo ještě k dalším aplikacím v ČR, zejména v parcích. Největší podíly ploch s těmito pojivy se nachází ve Francii, Švýcarsku, dále byly uskutečněny realizace v Polsku, na Slovensku, v Maďarsku, atd. [37]



**Obrázek 6-6:** Směs s pojivem Bituclair, Toulon - tunel, Francie, rok 2002 [37]

Alternativní pojiva rostlinného, ale i syntetického původu nejsou v dnešní době masově aplikována zejména pro jejich vysokou cenu. Např. pojivo Végécol je až 5x dražší než standardní silniční asfalty. Pojivo Bituclair je asi 3x dražší. Postupem času se však jistě cena asfaltového a pojiva rostlinného původu bude vyrovnávat. Asfaltová pojiva budou vzhledem k předpokládanému zvýšení ceny ropy a tím pádem i ropných produktů zdražovat, a pojiva z obnovitelných zdrojů budou levnější díky zvýšeným objemům a dokonalejším technologiím výroby.

## 7 ZÁVĚR

Práce si dala za cíl podat komplexní informace o vlastnostech, možnostech použití, zkoušení a technologiích výroby současně používaných asfaltových pojiv. Též bylo účelem seznámit čtenáře s možnostmi používání alternativních pojiv, která jsou vyráběna jiným procesem, než je destilace ropy, popř. vyráběných z jiných surovin.

V první kapitole byl obecně popsán asfaltový materiál. V dalších částech jsou přiblížena pojiva z přírodních asfaltů a pojiva vzniklá destilací ropy. Mezi tato patří silniční asfalty, tvrdé silniční asfalty, pojiva modifikovaná polymerem, popř. pryžovým granulátem z recyklovaných pneumatik, či dalšími vhodnými aditivy. Jsou zde popsány též asfalty speciální, přiblížena problematika asfaltových emulzí, ředěných a fluxovaných asfaltů.

Další nedílnou součástí je pojednání o zkouškách pojiv. Zejména funkční zkoušky nabývají na důležitosti, z důvodů schopnosti objasnit reologické vlastnosti asfaltových pojiv, které nám umožňují lépe pochopit chování pojiv v netuhých vozovkách. Na základě jejich výsledků lze lépe určit vhodné pojivo do konkrétních směsí.

Alternativní pojiva vyrobená z obnovitelných zdrojů, která tvoří spolu s pojivy syntetickými závěrečnou pasáž práce, mají velký potenciál stávající pojiva asfaltová v budoucnu nahradit. Ropa se totiž dříve nebo později stane surovinou nedostatkovou, vzácnou a drahou. Proto je téměř jisté, že se budou výrobci intenzivně zabývat vývojem pojiv právě na této bázi.

Závěrem lze říci, že informace shrnuté v této práci, mohou technologům i dalším pracovníkům pohybujícím se v oblasti silničního stavitelství, pomoci k získání přehledu o druzích a možnostech použití pojiv k výrobě směsí netuhých vozovek. Zejména pojednání o alternativních pojivech, která jsou prozatím málo diskutovaným tématem, je přínosné pro zvýšení zájmu o tuto problematiku.



## 8 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] VŠCHT PRAHA. *Www.petroleum.cz* [online]. 2007 [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/>
- [2] BLAŽEK, Josef a Vratislav RÁBL. *Základy zpracování a využití ropy*. 2., přepr. vyd. Praha: VŠCHT, 2006, 254 s. ISBN 80-708-0619-2.
- [3] PARAMO A.S. *Silniční modifikované asfalty*. 2009. Dostupné z: [http://www.stavebnivyrobekroku.cz/db\\_binary\\_file/other/364](http://www.stavebnivyrobekroku.cz/db_binary_file/other/364)
- [4] Oxidace asfaltů: Návod na laboratorní práci. VŠCHT. *Cesmina.vscht.cz/trp/* [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: [http://cesmina.vscht.cz/trp/data/soubory/52\\_oxidace-asfaltu-mag.pdf](http://cesmina.vscht.cz/trp/data/soubory/52_oxidace-asfaltu-mag.pdf)
- [5] VARAUS, Michal, *Pozemní komunikace II, Modul 3, Asfaltová pojiva*. Elektronické skriptum, FAST VUT, Brno, 17 s.
- [6] PDF MU BRNO. *Život s autem* [online]. 2010 [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: <http://is.muni.cz/do/ped/kat/fyzika/autem/index.html>
- [7] *Ottův slovník naučný: Ilustrovaná encyklopedie obecných vědomostí, Druhý díl: Alqueire-Ažušak*. Praha: Ottovo nakladatelství, 1889. Dostupné z: <http://archive.org/stream/ottvslovnknauni07ottogoog#page/n796/mode/2up>
- [8] JIRÁSEK, Jakub, Martin SIVEK a Petr LÁZNIČKA. *Ložiska nerostů*. Ostrava: Anagram, 2010, 1 CD-ROM. ISBN 978-80-7342-206-6.
- [9] Naftová geologie. MUZEUM NAFTOVÉHO DOBÝVÁNÍ A GEOLOGIE HODONÍN. *MUZEUM NAFTOVÉHO DOBÝVÁNÍ A GEOLOGIE* [online]. 2006 [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: [http://mng.webz.cz/naftova\\_geologie.php](http://mng.webz.cz/naftova_geologie.php)
- [10] Asfalty a bitumeny - Informační centrum. OMW. *Www.omw.cz* [online]. [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: [http://www.omv.cz/portal/01/cz/omv\\_cz/Firmy/Urady\\_institute\\_obce\\_a\\_spolecens\\_tvi/Asfalty\\_a\\_bitumeny/Informacni\\_centrum](http://www.omv.cz/portal/01/cz/omv_cz/Firmy/Urady_institute_obce_a_spolecens_tvi/Asfalty_a_bitumeny/Informacni_centrum)
- [11] SHELL. *Shell Mexphalte C*. 2011. Dostupné z: <http://s00.static-shell.com/content/dam/shell/static/bitumen/downloads/business/shell-mexphaltecbrochure.pdf>.
- [12] Černé slzy matky Země. *Www.czech-press.cz. Koktejl* [online]. [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: [http://www.czech-press.cz/index.php?option=com\\_content&view=article&id=479%3Aerne-slzy-matky-zem&Itemid=4](http://www.czech-press.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=479%3Aerne-slzy-matky-zem&Itemid=4)
- [13] O ropě. *Www.ropa.cz* [online]. [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: [//www.ropa.cz/o-rope/](http://www.ropa.cz/o-rope/)

- [14] Technické údaje ropovodu Družba. MERO ČR, a.s. *Wwww.mero.cz* [online]. [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://www.mero.cz/provoz/technicke-udaje-druzba/>
- [15] KRAJČOVIČ, Marián. *Dopravní stavby I.: pozemní komunikace*. Brno: CERM, 1998, 215 s. ISBN 80-214-1147-3.
- [16] VALENTIN, Jan. ČVUT, Fakulta stavební, Katedra silničních staveb. *Užitné vlastnosti a reologie asfaltových pojiv a směsí: charakteristiky, nové zkušební metody, vývojové trendy*. Praha: INPRESS a.s., 2003, 224 s.
- [17] GRÜNNER, Karol. *Asfaltové emulzie pri výstavbe a údržbe ciest*. 1. vyd. Harmanec: Bitunova, 2007, 151 s. ISBN 978-80-969771-5-4.
- [18] BUCHTA, Jaroslav. *Asfalty a asfaltové výrobky*. ČAPPO. *Wwww.cappo.cz* [online]. [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.cappo.cz/res/data/000111.pdf>
- [19] VYMAZAL, Tomáš a Jan KUDRNA. VUT, Fakulta stavební, Ústav stavební zkušebnictví. *Asfalty a dehty*. Přednáška předmětu: Stavební látka, 2008
- [20] ČSN EN 12597. *Asfalty a asfaltová pojiva - Terminologie*. Český normalizační institut, 2007.
- [21] ČSN EN 12591. *Asfalty a asfaltová pojiva - Specifikace pro silniční asfalty*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [22] ČSN EN 14023. *Asfalty a asfaltová pojiva - Systém specifikace pro polymerem modifikované asfalty*. Český normalizační institut, 2006.
- [23] ČSN EN 13924. *Asfalty a asfaltová pojiva - Specifikace pro tvrdé silniční asfalty*. Český normalizační institut, 2006.
- [24] ČSN EN 1426. *Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení penetrace jehlou*. Český normalizační institut, 2007.
- [25] ČSN EN 1427. *Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení bodu měknutí - Metoda kroužek a kulička*. Český normalizační institut, 2007.
- [26] ČSN EN 12593. *Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení bodu lámavosti podle Fraasse*. Český normalizační institut, 2007.
- [27] ČSN EN 13398. *Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení vratné duktility modifikovaných asfaltů*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [28] ČSN EN 13589. *Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení tažných vlastností modifikovaných asfaltů metodou silové duktility*. Český normalizační institut, 2008.
- [29] ČSN EN 14770. *Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení komplexního modulu ve smyku a fázového úhlu – Dynamický smykový reometr (DSR)*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.

- [30] MONDSCHHEIN, Petr a Jan VALENTIN. Asfaltová pojiva: Zkušební postupy. ČVUT. [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: [http://d2051.fsv.cvut.cz/predmety/eak/asfaltova\\_pojiva\\_cast3.pdf](http://d2051.fsv.cvut.cz/predmety/eak/asfaltova_pojiva_cast3.pdf)
- [31] HÝZL, Petr. VUT. *Zkoušení asfaltových pojiv*. Přednáška předmětu: Pozemní komunikace II, 2011.
- [32] Zkoušení asfaltových pojiv: Prezentace projektu 1716/2011 Aktualizace a rozšíření výuky předmětu experimentální analýza konstrukcí. ČVUT. [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: [http://d2051.fsv.cvut.cz/predmety/eak/asfaltova\\_pojiva.pptx](http://d2051.fsv.cvut.cz/predmety/eak/asfaltova_pojiva.pptx).
- [33] Ropný vrchol. *Wikipedie* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Ropn%C3%BD\\_vrchol](http://cs.wikipedia.org/wiki/Ropn%C3%BD_vrchol)
- [34] PARAMO A.S. *Katalog silničních pojiv: Doplněný technickou zprávou o funkčních vlastnostech*. 2009. Dostupné z: [http://www.stavebnivyrobekroku.cz/db\\_binary\\_file/other/365](http://www.stavebnivyrobekroku.cz/db_binary_file/other/365)
- [35] Characterization and Application of Manure-Based Bio-binder in Asphalt Industry. ELHAM H, Fini, Yang SHIH-HSIEN a Xiu SHUANGNING. [online]. 2010 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://trid.trb.org/view.aspx?id=910772>
- [36] Bioasphalt® developed at Iowa State to be used, tested on Des Moines bike trail. IOWA STATE UNIVERSITY. [Http://www.iastate.edu/](http://www.iastate.edu/) [online]. 2010 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://archive.news.iastate.edu/news/2010/oct/Bioasphalt>
- [37] KAŠPÁREK, Miloš. COLAS. *Obalované směsi kameniva s pojivy Bituclair a Végécol*. 2009
- [38] Shell Mexphalte C: Your colour solution. SHELL. *Www.shell.com* [online]. 2011 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://s00.static-shell.com/content/dam/shell/static/bitumen/downloads/business/shell-mexphaltecbrochure.pdf>
- [39] Izolace proti vodě a vlhkosti. ČVUT. *Tpm.fsv.cvut.cz* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: [http://tpm.fsv.cvut.cz/vyuka/materialy\\_izolace/prednaskaIII\\_IZMA.pdf](http://tpm.fsv.cvut.cz/vyuka/materialy_izolace/prednaskaIII_IZMA.pdf).
- [40] KOUDELKA, T. *Mikrokoberce za studena*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební Ústav pozemních komunikací, 2012. 75 s., 8 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Petr Hýzl Ph.D.
- [41] *Konference Asfaltové vozovky 2011*. Praha: PRAGOPROJEKT, a.s, 2011. ISBN 978-80-903925-2-6.
- [42] *Konference Asfaltové vozovky 2009*. Praha: PRAGOPROJEKT, a.s, 2009. ISBN 978-80-903925-1-9.

- [43] MILÁČKOVÁ, K. *Porovnání metod využitelných pro stanovení dynamické viskozity asfaltových pojiv*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, 2012. 17 s., 3 s. příloh. Studentská vysokoškolská odborná činnost. Vedoucí práce: Ing. Jan Valentin Ph.D.
- [44] VENEMA, A. *The potential of biobased materials in civil engineering sector*. Groningen: University of Groningen, Center for Isotope Research, Center for Energy and Environmental Studies, 2012. Dostupné z: [http://ivem.eldoc.ub.rug.nl/FILES/ivempubs/dvrapp/EES-2012/EES-2012-130M/EES-2012-130M\\_AnneVenema.pdf](http://ivem.eldoc.ub.rug.nl/FILES/ivempubs/dvrapp/EES-2012/EES-2012-130M/EES-2012-130M_AnneVenema.pdf)
- [45] Bitumen. <Http://bestpaintingsinindia.com/> [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: [http://bestpaintingsinindia.com/product\\_detail.php?id=1](http://bestpaintingsinindia.com/product_detail.php?id=1)
- [46] Pitch Lake. <Www.flickr.com/> [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.flickr.com/photos/striderv/4314238332/>
- [47] Ropa. VŠB-TU OSTRAVA. <Geologie.vsb.cz/> [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/loziska/loziska/energysur/ropa.html>
- [48] Oil Field Worker Salaries. <Http://www.ehow.com/> [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: [http://www.ehow.com/info\\_8644353\\_oil-field-worker-salaries.html](http://www.ehow.com/info_8644353_oil-field-worker-salaries.html)
- [49] Která ropa je pro rafinérie nejvýhodnější. <Www.ihned.cz> [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://ekonom.ihned.cz/c1-20175410-rafinerie-a-ropovody-ve-stredni-evrope>
- [50] Číňané otevřeli první ropné pole na severu Afghánistánu. <Www.e15.cz/> [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://zpravy.e15.cz/byznys/prumysl-a-energetika/cinane-otevrel-i-prvni-ropne-pole-na-severu-afghanistanu-925030>
- [51] Petrochemie. <Www.kassex.cz> [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.kassex.cz/produkty/industrial-ethernet/aplikace/petrochemicky-prumysl>
- [52] Omlazování a konzervace asfalto-betonových povrchů. <Www.rekma.net> [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: [http://www.rekma.net/index.php?id1=230&pg=\\_A\\_&lg=cz](http://www.rekma.net/index.php?id1=230&pg=_A_&lg=cz)
- [53] Duktilometr. [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://xn--90afcnmwva.xn--p1ai/wp-content/uploads/2011/09/SNC000501.jpg>
- [54] Hubbert US high. FOUCHER, S. [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hubbert\\_US\\_high.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hubbert_US_high.svg)
- [55] PLITZ, Jiří a František SVOVODA. Modifikace silničních asfaltů RET polymerem. *Silnice a mosty*. 2008, roč. 2008, č. 2.

- [56] Bakterie v asfaltu. *Www.akademon.cz/* [online]. 2010 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z:  
<http://akademon.cz/clanekDetail.asp?name=Bakterie%20v%20asfaltu&source=0510>
- [57] Asphalt industry in Trinidad. *Www.wikipedia.org* [online]. [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Asphalt\\_industry\\_in\\_Trinidad](http://en.wikipedia.org/wiki/Asphalt_industry_in_Trinidad)
- [58] Dehtové písky. *Www.wikipedia.org* [online]. [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Dehtov%C3%A9\\_p%C3%ADsky](http://cs.wikipedia.org/wiki/Dehtov%C3%A9_p%C3%ADsky)
- [59] ČSN EN 15322. *Asfalty a asfaltová pojiva – Systém specifikace ředěných a fluxovaných asfaltů*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

## 9 SEZNAM OBRÁZKŮ

<b>Obrázek 2-1:</b> Ukázka asfaltového pojiva v tekutém stavu [45] .....	11
<b>Obrázek 2-2:</b> Visko-elastické chování asfaltu [5] .....	12
<b>Obrázek 3-1:</b> Pitch Lake, Trinidad [46].....	15
<b>Obrázek 4-1:</b> Různá zbarvení ropy. Vlevo Senné (SK), vpravo Letošov (ČR) [47].....	17
<b>Obrázek 4-2:</b> Znázornění primární a sekundární migrace, akumulace ropy [1].....	20
<b>Obrázek 4-3:</b> Ložiskové pasti [9] .....	21
<b>Obrázek 4-4:</b> Výskyt ropy v současnosti [1] .....	23
<b>Obrázek 4-5:</b> Pohled na hlubinná čerpadla ropného pole [48] .....	24
<b>Obrázek 4-6:</b> Síť ropovodů ve střední Evropě [49].....	26
<b>Obrázek 4-7:</b> Ukázka ropovodu [50].....	27
<b>Obrázek 4-8:</b> Příklad ropné rafinérie [51] .....	28
<b>Obrázek 4-9:</b> Technologie atmosférické destilace [1].....	30
<b>Obrázek 4-10:</b> Technologie vakuové destilace [1].....	31
<b>Obrázek 4-11:</b> Technologické schéma oxidace asfaltů [1].....	33
<b>Obrázek 4-12:</b> Schématické zobrazení asfaltové emulze [17].....	40
<b>Obrázek 4-13:</b> Schéma částice a) anionaktivní, b) kationaktivní emulze [17].....	41
<b>Obrázek 4-14:</b> Provádění emulzního nátěru s použitím asfaltové emulze [52].....	42
<b>Obrázek 5-1:</b> Příklad penetrometru [24].....	44
<b>Obrázek 5-2:</b> Zkouška stanovení bodu měknutí kroužkem a kuličkou [31].....	46
<b>Obrázek 5-3:</b> Zkušební zařízení pro určení bodu lámavosti dle Fraasse [32] .....	47
<b>Obrázek 5-4:</b> Odlévací forma pro zkoušku vratné duktility [31] .....	48
<b>Obrázek 5-5:</b> Duktilometr [53] .....	48
<b>Obrázek 5-6:</b> Rozměry formy tělíska - silová duktilita [28] .....	49
<b>Obrázek 5-7:</b> Toková (vlevo) a viskózní křivka (vpravo) [16] .....	52
<b>Obrázek 5-8:</b> Princip dynamického smykového reometru [16].....	53
<b>Obrázek 5-9:</b> Složky komplexního modulu [16] .....	53
<b>Obrázek 5-10:</b> Zkouška průhybovým trámečkovým reometrem [32] .....	54
<b>Obrázek 5-11:</b> Zařízení pro zkoušku RTFOT [32].....	55
<b>Obrázek 5-12:</b> Vzorky pojiva v sušárně připravená ke zkoušce TFOT [32].....	56
<b>Obrázek 5-13:</b> Aparatura pro zkoušku RFT [32].....	56

<b>Obrázek 5-14:</b> Aparatura pro zkoušku v tlakovém hrnci PAV [32].....	57
<b>Obrázek 6-1:</b> Hubbertova křivka těžby ropy na pevninské části USA [54] .....	59
<b>Obrázek 6-2:</b> Srovnání průhlednosti a barvy netradičních pojiv firmy COLAS [37] ...	60
<b>Obrázek 6-3:</b> Aplikace emulzního nátěru s pojivem Végécol [37] .....	61
<b>Obrázek 6-4:</b> Směs s pojivem Bituclair, Sainte Roseline, Francie, rok 2005 [37].....	62
<b>Obrázek 6-5:</b> Pokládka směsi se syntetickým pojivem Shell Mexphalte C [11] .....	62
<b>Obrázek 6-6:</b> Směs s pojivem Bituclair, Toulon - tunel, Francie, rok 2002 [37].....	63

## 10 SEZNAM TABULEK

<b>Tabulka 4-1:</b> Porovnání vlastností destilačního a polofoukaného asfaltů 70/100 vyrobeného z ropy REB [2] .....	33
<b>Tabulka 4-2:</b> Specifikace pro silniční asfalty s penetrací od 20 x 0,1 mm do 50 x 0,1 mm dle národní přílohy ČSN EN 12591 [21] .....	34
<b>Tabulka 4-3:</b> Specifikace pro silniční asfalty s penetrací od 50 x 0,1 mm do 220 x 0,1 mm dle národní přílohy ČSN EN 12591 [21] .....	35
<b>Tabulka 4-4:</b> Specifikace pro tvrdé silniční asfalty s penetrací od 10 x 0,1 mm do 30 x 0,1 mm dle národní přílohy ČSN EN 13924 ( NR – „No Requirement“ – nepožaduje se) [23] .....	38
<b>Tabulka 5-1:</b> Maximální rozdíl platných stanovení [24] .....	45



## 11 SEZNAM ZKRATEK

bbl.	Barel (oil barrel), americká jednotka pro množství ropy
REB	Russian Export Blend
PmB	Polymer modified Bitumen
SMA	Silniční modifikovaný asfalt
SBS	Styren-butadien-styren
SBR	Styren-butadien (rubber)
PE	Polyethylen
APP	Ataktický polypropylen
EVA	Etylen-vinyl-acetát
RET	Reaktivní elastomerní terpolymer
SHRP	Strategic Highway Research Program
PG	Penetration Grades
DSR	Dynamický smykový reometr
PAV	Pressure Aging Vessel
RTFOT	Rolling Thin Film Oven Test
TFOT	Thin Film Oven Test
RTF	Rotating Flask Method
BBR	Bending Beam Rheometer
EIA	U.S. Energy Information Administration