



# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA SILNIČNÍCH STAVEB

Působení leteckých paliv na změnu vlastností asfaltových směsí

The effect of aviation fuels on the change in the properties of asphalt mixtures

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: konstrukce a dopravní stavby

Vedoucí práce: Ing. Petr Mondschein Ph.D.

**Daniel Bezpalec**

Praha, 2022

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Bezpapec** Jméno: **Daniel** Osobní číslo: **484396**  
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra silničních staveb**  
Studijní program: **Stavební inženýrství**  
Studijní obor: **Konstrukce a dopravní stavby**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Působení leteckých paliv na změnu vlastností asfaltových směsí**

Název bakalářské práce anglicky:

**The Effect of Aviation Fuels on the Change in the Properties of Asphalt Mixtures**

Pokyny pro vypracování:

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Petr Mondschein, Ph.D. katedra silničních staveb FSv**

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

Datum zadání bakalářské práce: **14.02.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **15.05.2022**

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

\_\_\_\_\_  
Ing. Petr Mondschein, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

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

\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Jiří Máca, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

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



### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci na téma „Působení leteckých paliv na změnu vlastností asfaltových směsí“ vypracoval samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací vedoucího bakalářské práce. Uvedl jsem veškerý seznam použité literatury a informačních zdrojů. Vše v souladu s metodickým pokynem č. 1/2009 O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací. Dále prohlašuji, že nemám žádné námítky pro použití této bakalářské práce, či její části.

V Praze dne.....

Daniel Bezpalec



## **Poděkování**

Rád bych poděkoval panu Ing. Petru Mondscheinovi Ph.D, vedoucímu mé bakalářské práce za rady, připomínky, pomoc a trpělivost při vypracování. Dále bych chtěl poděkovat všem pracovníkům silniční laboratoře Českého vysokého učení technického v Praze, za jejich ochotu mi pomoci, poradit s jakýmkoliv problémem a poskytnutí optimálního zázemí.



## **Anotace**

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou působení leteckých pohonných hmot na změnu vlastností asfaltových směsí, konkrétně obrusné asfaltové vrstvy. V úvodních kapitolách je popsána výroba a princip asfaltových vrstev, metody jejich zhutnění a základní náhled na popis vlastností a výroby používaných typů leteckých pohonných hmot. Dále v praktické části této práce jsou popsány používané materiály a vysvětlen postup výroby a zkoušení zkušebních těles. Cílem této práce je vyhodnotit, jak velké mohou být ztráty a který typ leteckého paliva působí největší degradaci při úkapech a dlouhodobém působení na asfaltová zkušební tělesa.

## **Klíčová slova**

asfaltová směs, asfaltový beton pro obrusné vrstvy, letecké pohonné hmoty, Marshallova zkouška, zkouška ztráty částic tělesa asfaltového koberce drenážního, zkouška odolnosti proti působení pohonných hmot

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with the issue of the effect of aviation fuels on the change of properties of asphalt mixtures, specifically the asphalt overlay. The introductory chapters describes the manufacture and principle of asphalt layers, methods of their compaction and a basic insight into the description of the properties and manufacture of the types of aviation fuels used. Furthermore, the practical part of this thesis describes the materials used and the procedure for the manufacture and testing of test specimens. The aim of this work is to evaluate how large the losses can be and which type of aviation fuel causes the greatest degradation during the leakage and long-term exposure of the test specimens.

## **Key words**

asphalt mixture, asphalt concrete for surface cours, aviation fuels, Marshall's test, particle loss of porous asphalt specimens, resistance to fuel



## Obsah

1	Úvod .....	7
2	Asfaltové vrstvy za horka .....	8
2.1	Princip fungování asfaltové vrstvy.....	8
2.2	Asfaltový beton .....	8
2.3	Výroba asfaltového betonu .....	9
3	Hutnění asfaltových obrusných vrstev .....	10
3.1	Základní zásady pro pokládku a hutnění.....	10
3.2	Hutnění prostředky.....	11
4	Letecké pohonné hmoty .....	14
4.1	Letecké benzíny .....	14
4.2	Letecké petroleje .....	15
5	Praktická část.....	17
5.1	Charakteristika použitých materiálů .....	17
5.2	Příprava a tvorba zkušebních těles .....	19
5.3	Měření volumetrických vlastností zkušebních těles.....	21
5.4	Odolnost proti působení pohonných hmot.....	26
5.5	Marshallova zkouška .....	28
5.6	Ztráta částic zkušebního tělesa asfaltového koberce drenážního .....	30
6	Výsledky.....	31
6.1	Volumetrické vlastnosti zkušebních těles.....	31
6.2	Odolnost proti působení pohonných hmot.....	31
6.3	Marshallova zkouška .....	38
6.4	Ztráta částic zkušebního tělesa asfaltového koberce drenážního .....	42
7	Závěr.....	47
8	Seznam použitých zdrojů .....	48
9	Seznam obrázků .....	50
10	Seznam grafů .....	52
11	Seznam tabulek.....	52
12	Přílohy .....	53



# 1 Úvod

Letectví patří mezi nejpoužívanější typ mezinárodní přepravy osob a nákladu. Jen v Evropě se letecky přesune přes 2,7 milionů osob denně [18], světově se udává kolem 11 milionů a každoročně toto číslo roste [19] vzhledem ke statistickým datům z roku 2018. S tím souvisí i rostoucí vytiženost letišť a počet letadel jich využívající, na která dopadá velký důraz na bezpečnost a plynulost přepravy.

Proto jsem se rozhodl prozkoumat, jak velké mohou být degradace od letištního paliva na asfaltových plochách. Ať už by šlo o malé úkapy během tankování letadel nebo přepravy paliva z cisteren po letištních plochách, tak i velkému vystavení působení po vytečení paliva z cisteren při přepravě z rafinérií na letiště nebo při leteckých nehodách.

Teoretická část této bakalářské práce se zabývá principem fungování asfaltové vrstvy, speciálně pak asfaltového betonu, technologií jeho výroby, úvodem do principů hutnění obrusných vrstev a rozdělením hutnicích strojů. Dále seznamuje s jednotlivými druhy leteckých paliv a jejich výrobou. V praktické části jsou popsány všechny použité materiály, výroba zkušebních těles a zkoušky na nich prováděné. Jedná se o zkoušky popisující volumetrické vlastnosti těles a zkoušky zjišťující velikost degradace zkušebního vzorku (asfaltového pojiva) od leteckých pohonných hmot. Jmenovitě se jedná o zkoušky stanovující objemovou hmotnost směsi, těles a jejich mezerovitost, zkoušku odolnosti proti působení pohonných hmot, Marshallovu zkoušku a zkoušku ztráty částic tělesa asfaltového koberce drenážního.

Zkušební tělesa byla namáhána třemi nejběžněji vyskytujícími se palivy na českých letištích a pro širší sledování změn byly vytvořeny tři různě hutněné skupiny těles, na která byla paliva aplikována.

Pro vyhodnocení degradace od chemického a abrasivního působení byla vytvořena i tělesa nenamáhaná palivy, tzv. referenční, která byla podrobena stejným zkouškám.

Cílem této práce je vyhodnotit, jak velké mohou být ztráty a který typ leteckého paliva působí největší degradaci při úkapech a dlouhodobém působení na zkušební tělesa, popřípadě jak velkou roli degradace hraje při snižujícím se zhutněním těles.



## 2 Asfaltové vrstvy za horka

### 2.1 Princip fungování asfaltové vrstvy

Čerstvě vyrobená horká asfaltová směs, skládající se ze směsi kameniva a pojiva, tvoří po zhutnění asfaltovou vrstvu. Zhutněním horké směsi dochází k vytvoření kostry z jednotlivých do sebe zaklíněných zrn spojených dohromady pojivem, vzniká tzv. třífázový systém. Významnou roli zde hrají částice kameniva v rozměru do cca 2 mm, které po obalení asfaltem vytvoří asfaltovou maltu, která je tužší než samotný asfalt a tím pádem se významně podílí na fixaci hrubého kameniva. Nedílnou součástí systému tvoří vzduchové mezery, které zajišťují správné fungování směsi. Příliš nízký obsah vzduchových mezer může způsobit, že v letních měsících dojde k vyplnění většiny mezer asfaltovým pojivem, jelikož má cca 20x větší teplotní roztažnost než kamenivo. Jelikož se pojivo chová obdobným způsobem jako hustá a nestlačená kapalina, dochází k odtlačování jednotlivých zrn v kostře od sebe. V důsledku toho ztrácí kostra svou přirozenou smykovou pevnost a nastává tvorba trvalých deformací od zatížení. Tření mezi zrny kameniva a jejich vzájemné stmelení asfaltovým pojivem udává únosnost asfaltové vrstvy. [1]

### 2.2 Asfaltový beton

Asfaltový beton, značený zkratkou AC, se užívá pro stavbu obrusných, ložných a podkladních vrstev silničních, dálničních, letištních a jiných zpevněných ploch. Vyznačuje se rovnoměrným zastoupením zrn všech velikostí což vede k plynulé čáře zrnitosti. Textura povrchu směsi je spíše uzavřená proto po správném rozprostření a zhutnění se stává obrusná vrstva takřka vodotěsná. Mezerovitost by se u obrusných vrstev měla pohybovat od 2,5 do 6,0 % a u podkladních od 4 do 10 %. Nejčastěji používaná asfaltová pojiva jsou silniční asfalty a polymerem modifikované asfalty. [1]

Vytvořený beton se značí podle užití v konstrukční vrstvě (O - obrusná, L - ložní, P - podkladní), podle nejhrubší použité frakce kameniva D a podle kvalitativních požadavků (S, +, bez označení, Ch). [1] V našem případě ACO 11S 50/70 značí asfaltový beton pro obrusné vrstvy s maximální velikostí zrna kameniva 11 mm, kvalitativním požadavkem S a silničním asfaltem 50/70.

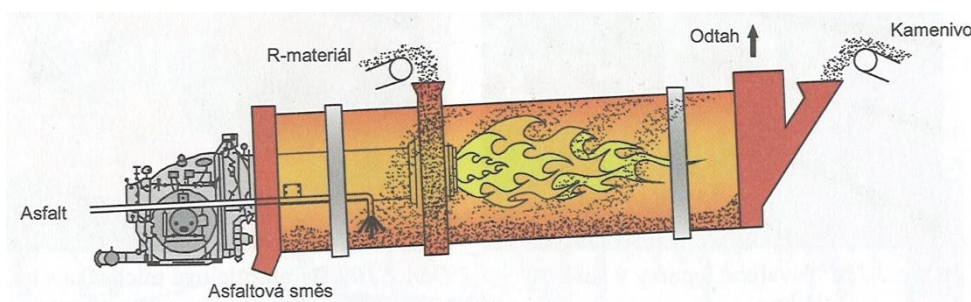


## 2.3 Výroba asfaltového betonu

Asfaltové betony se vyrábějí na obalovnách, které můžeme rozlišit z pohledu technologie na obalovny šaržové a kontinuální. [1]

### 2.3.1 Kontinuální obalovny

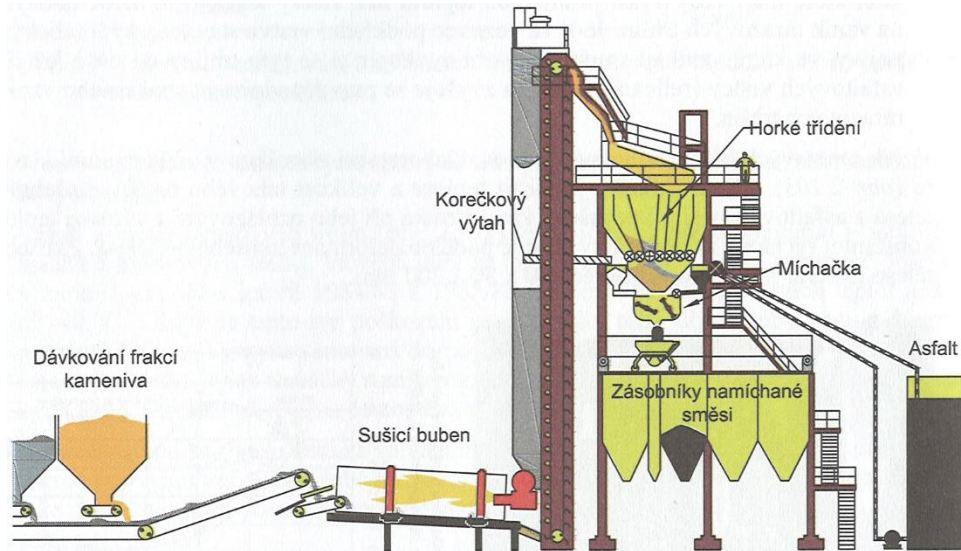
Tento typ obaloven se nejčastěji využívá u velkých liniových staveb, kde se míchá po dlouho dobu jeden typ asfaltové směsi. Vysušený materiál se míchá přímo v sušícím bubnu nebo přidavné míchačce. Do sušícího bubnu přichází kamenivo s předepsaným složením, aby parametry byly co nejvíce konstantní, zejména podsítné a nadsítné. [1]



Obr. 1 - Kontinuální obalovna [1]

### 2.3.2 Šaržové obalovny

U šaržových obaloven, na rozdíl od kontinuálních, je kamenivo dávkováno a váženo z jednotlivých násypků a dopravováno do sušícího bubnu pomocí dopravníku. Kamenivo se v bubnu postupně ohřívá a pohybuje směrem k hořáku. Horký vzduch z hořáku unáší z kameniva jemné částice, nazývané filer, které se usazují na filtrech a ukládají v sílech pro budoucí zpětné použití. Smíchané vysušené kamenivo se z bubnu přemísťuje pomocí křečkového výtahu do věže obalovny, kde se na vibračních sítích provádí tzv. horké třídění a roztříděná zrna padají do jednotlivých kapes, odkud jsou navažována podle předepsané skladby do míchačky. V horní části míchačky jsou umístěny výpusti jednotlivých násypků od kameniva, fileru, R-materiálu a přívodu pojiva. Teplota směsi, procentuální složení, doba a pořadí míchání je dáno výrobním předpisem. [1]



Obr. 2 - Šaržová obalovna [1]

### 2.3.3 Doprava směsi

Asfaltová směs je dopravována na stavbu pomocí nákladních vozidel v horkém stavu. Korba vozidel musí být ošetřena postřikem na bázi rostlinných olejů, nebo mýdlovým roztokem, aby nedocházelo k nalepování směsi na její stěny. Korba se musí po naložení směsi zaplachtovat, aby se předcházelo ztrátám tepla směsi. Rádius obalovny je stanoven tak, aby směs v době přepravy nestačila vychladnout a mohlo tak dojít k dokonalému zhutnění. Orientační vzdálenost je cca 40 až 60 km, avšak závisí na druhu přepravy a klimatických podmínkách, které ovlivňují čas přepravy. [1]

## 3 Hutnění asfaltových obrusných vrstev

### 3.1 Základní zásady pro pokládku a hutnění

Důležitým faktorem pro správnou pokládku je kvalita podkladu. Musí být čistý, bez výtluků a trhlin. Podkladní vrstva musí být dostatečně únosná, platí obecné pravidlo, čím únosnější podklad, tím lepší zhutnění. Při neúnosném podkladu dochází při hutnění k neustálému přetváření hutněného materiálu. [1]

Velkou roli při pokládce hrají povětrnostní podmínky. Asfaltové směsi se nesmějí pokládat za deště, nebo je-li na podkladu led, sníh či vodní film. Obrusná vrstva se musí pokládat na suchý, maximálně lehce zvlhlý povrch. Příznivé je zamezit co největšímu ochlazení od deště a větru, aby byla směs co nejlépe zhutnitelná. [1]



Tloušťka vrstvy je další faktor, který ovlivňuje hutnění. Tenké vrstvy chladnou rychleji, naopak silnější vrstvy chladnou pomaleji a je obtížné najít efektivní způsob jejich hutnění. [1]

K rozprostírání směsi se nejvíce využívají finišery, které díky vibrační desce a hutnícímu pěchu jsou schopny vrstvu předhutnit. [1]

Hutnění je jedna z nejnáročnějších operací, které se často nevěnuje požadovaný čas. Výsledkem je znehodnocená vrstva s nedosaženou potřebnou objemovou hmotností asfaltové směsi, ve které se bude vytvářet mnoho poruch. Kvalitativní parametry rychle klesají a není možné dosáhnout takových hodnot jako v laboratoři, kde pracují se 100% zhutněnými asfaltovými směsmi. [1]

Zhutnění nejvíce ovlivňuje několik vlastností např. čára zrnitosti. Čím je čára plynulejší, tím je lehčí zhutnitelnost. Dále druh kameniva, kde kamenivo těžené vykazuje menší odpor než kamenivo drcené. Velikost maximálního zrna, kde jemnozrnné směsi jsou sice méně stabilní, ale dají se oproti hrubozrnným hutnit lépe. Se zvýšeným obsahem pojiva se zhutnitelnost zlepšuje, ale jen do meze, kde pojivo nenaplní většinu vzduchových mezer. Pak se totiž směs dále nedohutňuje a ztrácí na své smykové pevnosti. Poslední vlastností je teplota směsi. Vychladlá směs je nezhutnitelná. [1]

Nedosažená míra zhutnění vede k nadměrné mezerovitosti, tvorbě výtluků, trhlin nebo hloubkové korozi. U špatně zhutnitelné směsi se můžou vytvářet poruchy i přímo pod hutnícím prostředkem. [1]

## 3.2 Hutnící prostředky

### 3.2.1 Statické válce s hladkými ocelovými běhouny

Působením běhounů vznikají uvnitř hutněné vrstvy smyková napětí, která zaviňují pohyb jednotlivých částí a spolu s tlakem působí k jejich těsnějšímu uložení a tím pádem hutnější směsi. Mimo svislé síly vznikají při hutnění i síly vodorovné. U poháněných běhounů dochází k tlačení směsi proti směru jízdy což působí velmi příznivě oproti nepoháněným běhounům, které tlačí směs před sebou. [2]

Základními popisnými vlastnostmi těchto válců je jejich celková hmotnost, rozměr a zatížení běhounů a koeficient účinnosti běhounů. Celková hmotnost je s druhem válce základní údaj popisující kapacitní a technické možnosti. [2]



Pro splnění požadavků rovnosti se použijí běhouny široké, se kterými je obtížnější dosáhnout stejnoměrného zhutnění. Pro splnění míry zhutnění se použijí spíše běhouny úzké, které jsou však spojovány s tvorbou podélných trhlin. [2]

Obvykle se používají dva základní druhy válců. Válce tříběhounové dvouosé a válce tandemové dvouosé, jejichž optimální rychlost pojezdu se pohybuje do 5 km/h. [2]

Tříběhounové dvouosé válce se vyznačují hmotností do 16 t, velkým zatížením zadních běhounů a menším zatížením předního běhounu. Hodí se pro první fázi hutnění. Tandemové dvouosé válce bez vibračního zařízení, jejichž hmotnost bývá až 15 t, obvykle do 8 t, se hodí hlavně pro první a finální fázi. V dnešní době nepatří k nejuvhodnějším, jelikož je omezuje velká pracovní hmotnost. [2]

### 3.2.2 Pneumatikové válce

Pneumatikové válce působí na hutněné vrstvy, nezávisle na okamžité tuhosti vrstvy, vždy nízkými tlaky o stejné velikosti. Velikost tlaků je dána zatížením kol, typem pneumatiky a tlakem vzduchu v pneumatikách, proto mají jiné zhutňovací charakteristiky a účinky než válce s ocelovými běhouny. Jejich použitím nedochází k hnutí směsi a tvorbě trhlin. Hutnící účinek naopak trhliny dokáže rozhladit a na vrstvu působí hnětacím účinkem, který napomáhá k uzavření povrchu vrstvy, což vede ke zvětšení její povrchové pevnosti a odolnosti proti vodě. [2]

Obvykle se používají samopojízdné válce s hmotností od 5 do 35 t s 5 až 11 koly. Jejich optimální rychlost práce je do 6 km/h a při hlazení až do 10 km/h. Mohou být použity ve větších sklonech než statické válce s ocel. Běhouny, avšak dnes bývají nahrazovány tandemovými válci s dynamickými účinky. [2]

K základním charakteristikám patří celková hmotnost, zatížení kola, počet kol, pracovní šířka a typ pneumatik s tlakem vzduchu. Nejdůležitější charakteristikou z hlediska kapacitních možností je zatížení na jedno kolo, kde se s přibývajícím hodnotou zvyšuje hutnící účinek. Dalším důležitým faktorem pro míru zhutnění je tlak vzduchu, který ovlivňuje tvar pneumatik. S vyšším tlakem dochází k většímu zhutnění, při němž může docházet k bočnímu vytlačování a tvorbě vln ze směsi. [2]

Pneumatikové válce jsou velmi vhodné pro první fázi hutnění kvůli vysoké teplotě směsi a její nízké viskozitě. Jsou vhodné k zahlazování trhlin a použití ve velkých sklonech. Jelikož nedokáží dosáhnout vysoké míry zhutnění, nedoporučují se pro hlavní fázi a hutnění spojů. Doporučuje se je používat v kombinaci s válci oscilačními. [2]



### 3.2.3 Válce s hutnicími dynamickými účinky

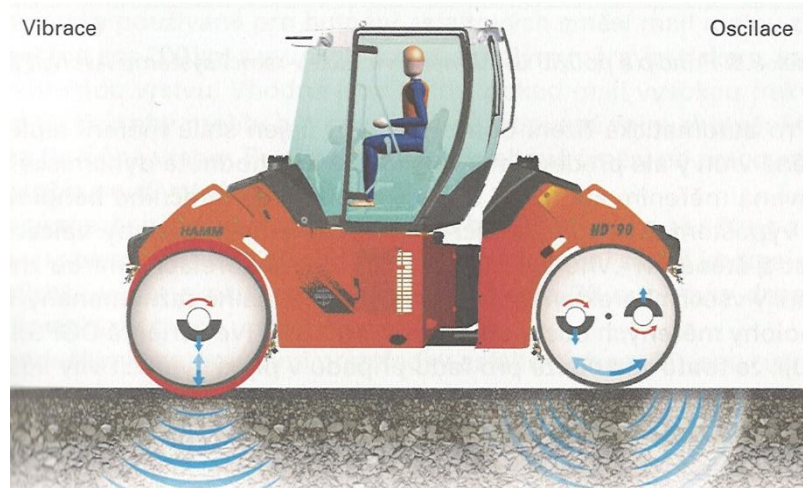
V této kategorii se nacházejí válce vibrační, oscilační nebo s kombinovanými účinky. Jsou účinnější než klasické statické válce a jejich využití dosahuje 90 %. Oproti statickým válcům mají až 3x menší hmotnost a díky dynamickým účinkům stejný nebo lepší zhutňovací efekt. Díky vytvořenému kmitání procházející skrze vrstvu dochází k lepšímu zaklínění jednotlivých zrn do sebe i při menším statickém zatížení běhounu. Velkou nevýhodou je potřebná odbornost obsluhy a technická náročnost provádění. [2]

#### 3.2.3.1 Vibrační válce

Při zhutňování dochází ke kombinaci účinků vibrace a svislého zatížení. Vibrační běhoun se pohybuje nahoru a dolů a tím snižuje vnitřní tření směsi. Jejich velkou výhodou je hutnicí účinek až do hloubky 300 mm a zhutnění i obtížně zhutnitelných směsí. Ve srovnání se statickými válci, vibračním válcům stačí menší počet pojezdů a mají lepší teplotní rozsah hutnění. Nejdůležitější charakteristikou vedle základních, stejných jako u válců s hladkými běhouny, je frekvence vibrace. Ta by se pro optimální zhutnění měla přibližovat rezonanční frekvenci hutněné vrstvy. [2]

#### 3.2.3.2 Oscilační válce

U těchto válců dochází k vytváření smykových napětí od tangenciálních sil. Oproti vibračním válcům zůstává běhoun ve stálém kontaktu s hutněnou vrstvou. Hutnicí síla má tedy stálou velikost i směr a tím pádem i vysoký hutnicí účinek se šetrným působením bez nežádoucího účinku přehutnění. Stejně jako u vibračních válců je možnost hutnění při nižších teplotách. Důležitou vlastností spolu s vlastnostmi vibračních válců je tangenciální amplituda, odstředivá síla a nízká frekvence. Mezi jejich přednosti patří vhodnost pro hutnění spojů, vysoký zhutňovací výkon s malým počtem pojezdů, vhodnost pro všechny typy směsí a využití pro hlavní a hladicí fázi. Oproti vibračnímu válci má však menší hloubkový účinek a je citlivější na typ směsi a její teplotu. [2]



Obr. 3 - Rozdíl mezi působením vibračních a oscilačních válců [2]

## 4 Letecké pohonné hmoty

### 4.1 Letecké benzíny

Benzíny jsou bezbarvé kapaliny vroucí v rozmezí od 40 do 180°C. Obsahují alkanické, izoalkanické, cyklické, aromatické uhlovodíky v určitých poměrech s ohledem na ostatní vlastnosti. Palivo musí být chemicky stálé ve všech teplotních případech. Nesmí vylučovat žádné pevné látky ani látky působící korozivně na konstrukci pístových motorů. Tyto vlastnosti zaručuje frakční složení paliva. [3]

#### 4.1.1 Frakční složení

Paliva musí jednoznačně zaručit dobrou startovatelnost, rychlé uvedení motoru do otáček a stabilní chod motoru. Důležitá vlastnosti pro správný chod motoru je správná odpařivost paliva i při startu v teplotách pod nulou. Tato vlastnost je dána správným frakčním složením, které je zejména důležité u víceválcových motorů, aby byla přiváděna do každého válce směs se stejným poměrem vzduchu a paliva, které musí být také stejnorodé. Odpařivost se posuzuje podle normované destilační zkoušky, ze které vychází počáteční teplota destilace a teploty ve kterých predestiluje 10 %, 50 %, 90 % a 98 % objemu paliva. [3]

Teplota, při které destiluje 10 % objemu, udává přítomnost a množství lehkých podílů, které jsou důležité pro správný start motoru při nízkých teplotách. Naopak konec destilace udává přítomnost a množství nejtěžších podílů, které mají za následek tvorbu karbonizovaných zbytků, v důsledku špatného odpařování, jejichž působení zanáší písty motoru. [3]



## 4.1.2 Výroba benzínů

Letecké benzíny vznikají upravením přímé destilace ropy. Nutné je odstranění těkavých vodíků, které se snadno a rychle odpařují, způsobují ztráty během manipulace a skladování. Z důvodu vyšší spotřeby benzínů, než je možnost získat přímou výrobou, byly vytvořeny procesy pro výrobu benzínů nebo jejich složek. Například krakování, kdy dochází k termickému rozkladu uhlovodíku, při kterém probíhá odbourání molekul, polymerace, kondenzace a cyklizace. [3]

Benzíny získané z přímé destilace i z krakování mají nedostačující vlastnosti a musejí se reformovat. Při tomto procesu se zvětšuje oktanové číslo benzínu a benzín se stává stabilnější s menší možností tvorby usazenin. [3]

Těmito způsoby se získávají benzíny pro klasické využití. Pro použití v leteckém provozu se musejí ještě upravit jejich vlastnosti rafinačními procesy a přídatnými složkami pro zvětšení oktanového čísla. Mezi procesy, pro získání vysokooktanových složek k výrobě leteckého benzínu, patří polymerace, alkylace, izomerace, katolická aromatizace a dehydrogenace. Mísením těchto složek a klasického benzínu po rafinaci získáváme letecké benzíny. Při přimíchání velkého počtu vysokooktanových složek vzniká benzín o vysokém tlaku par, který vytváří karbonové úsady ničící motor. Proto je nutné udržovat při míchání určité kompromisy. [3]

## 4.2 Letecké petroleje

Letecké petroleje, tzv. kerosiny, patří do skupiny ropných paliv pro turbínové motory. Od široké frakce benzínopetrolejů nebo paliv s vysokým bodem vzplanutí se liší bodem krystalizace a teplotou vzplanutí. Jednotlivá paliva se hodnotí podle 24 jakostních ukazatelů, mezi něž patří například charakteristika hoření, energetická charakteristika, charakteristika rozprašování, nízkoteplotní vlastnosti, tepelná stabilita, skladovatelnost a snášenlivost s materiály. [3]

### 4.2.1 Frakční složení

Vliv frakčního složení na úplnost hoření (jaké množství paliva shoří z celku) ve výškových podmínkách a režimech malého plynu není výrazný. Důležitou část hraje složka vysokovroucích a nízkovroucích podílů. Velkým rozdílem těchto dvou složek je viskozita paliva, která do značné míry ovlivňuje hoření. Vysokovroucí podíly jsou viskóznější a tedy i mají horší úplnost hoření. Kromě frakčního složení viskozity má



velký vliv na úplnost hoření i složení uhlovodíků. Kde aromatické, cyklické a alkanické uhlovodíky mají při stejných poměrech rozdílnou úplnost hoření. Nejlépe se spalují uhlovodíky alkanické, naopak nejhůře aromatické. Jejich viskozita se zvyšuje s molekulární hmotností. Nakonec má velký vliv na úplnost hoření i rozprášení paliva, které je závislé na již zmíněné viskozitě. Největší spalovatelnosti se dosáhne s nejmenším povrchovým napětím a nízkým bodem varu. [3]

Složení uhlovodíků má i vliv na rychlost hoření. Největší rychlosti dosahují uhlovodíky nenasycené, které dosahují rychlosti 45 až 85 m/s. Daleko nižší rychlosti, 33 až 39 m/s, dosahují alkany a ještě o něco nižší aromatické uhlovodíky. [3]

V místech hoření s nedostatkem kyslíku nebo kde je směs příliš bohatá, dochází k termickému rozpadu paliva a vznikají výrobky vysoce bohaté na uhlík. Může jít od sazovitých úsad až po tvrdý karbon. Záleží na tlaku, rychlosti a turbulentnosti proudu plynu v místě hoření. Díky usazeninám může docházet k přehřátí povrchu motoru, deformaci komor, propálení nebo erozi lopatek. [3]

#### 4.2.2 Výroba petrolejů

Většina petrolejů se vyrábí přímou destilací ropy a následnou rafinací. Pro zvýšení stability, odstranění nežádoucích složek a zlepšení vlastností je potřeba rafinačních procesů. Příkladem je rafinace kyselinou sírovou, vodným roztokem kyseliny sírové a hydrogenační rafinace, ze které se získávají vysoce kvalitní paliva. K dalšímu zlepšení kvality spalovatelnosti a menší náchylnosti k tvorbě sazí je možná hydrogenační dorafinace a to o hlubokou hydrogenizaci. [3]





## 5 Praktická část

### 5.1 Charakteristika použitých materiálů

#### 5.1.1 Asfaltová směs

Zkušební tělesa byla vyráběna z asfaltové směsi ACO 11S 50/70. Směs byla vyrobena Pražskou obalovnou Herink s.r.o., která je dceřinou společností dvou nadnárodních korporací: Skanska a.s. a Eurovia CS a.s.

#### 5.1.2 Asfaltové pojivo

Pro zkoušky na zkušebních tělesech jsem využil nemodifikovaný silniční asfalt 50/70. Označení 50/70 uvádí hloubku penetrace jehlou v rozmezí 5 – 7 mm při 25°C.

#### 5.1.3 Letecké pohonné hmoty

V praktické části jsem pracoval se třemi druhy leteckých paliv (*Obr. 4*):

- Palivo č.1 AVGAS LL100 je letecký benzín s oktanovým číslem 100 a nízkým obsahem olova. Používá se speciálně pro letadla konstruována s pístovými motory.
- Palivo č.2 JET A-1 je letecký petrolej užívaný v letadlech s proudovými motory podzvukovými i nadzvukovými.
- Palivo č.3 JP/F-34 je jednotné turbínové palivo typu leteckého petroleje Jet A-1 pro letadla s proudovými i proudovrtulovými motory létající rychlostí podzvukovou i nadzvukovou a jako palivo vznětových motorů pozemní vojenské techniky. [16]



Obr. 4 - Letecká paliva (zleva AVGAS 100LL, JET A-1, JP/F-34) [4]

### 5.1.3.1 Chemické složení a specifikace leteckých paliv:

#### Palivo č.1 AVGAS 100LL:

1. Toulén	15 – 25 %
2. Benzínová frakce isomerovaná	< 30 %
3. Benzínová frakce široká alkylátová	> 30 %
4. Tetraethylolovo	< 0,1 %
5. 1,2 Dobromoethan	< 0,1 %

Vzhled: Modrá kapalina

Hustota při 15°C: 700 - 720 kg/m<sup>3</sup>

Teplota varu: 30 - 170°C

Bod vzplanutí: 0 °C

[15]

#### Palivo č.2 JET A-1:

1. Petrolej hydrogenačně odsířený nespecifikovaný	100 %
---	-------

Vzhled: Bezbarvá kapalina

Hustota při 15 °C: 775 - 840 kg/m<sup>3</sup>

Teplota varu: 135 - 300°C

Bod vzplanutí: > 38°C

[16]



Palivo č.3 JP/F-34:

1. Antioxidační přísada	24 g/m <sup>3</sup>
2,6-diterc.butyl-4-metylphenol	
2,4-dimetyl-6-terc.butylphenol	
2,6-diterc.butylphenol	
2. Antistatická přísada Stadis <sup>R</sup> 450	3 g/m <sup>3</sup>
3. Inhibitor koroze s mazivostními vlastnostmi	23 g/m <sup>3</sup>
Hitec 580	
Octel DCI-4A	
NALCO 5403	
APOLLO PRI-19	
4. Deaktivátor kovů	2 g/m <sup>3</sup>
N,N'-disalicyden-1,2-diaminopropan	
5. Inhibitor zamrznání	0,1 - 0,15 %
Monometyléter dietyléngykolu	
6. Detektor netěsnosti Tracer A	1 mg/kg
8. Biocidní přísada Kathon 1.5 FP	50 mg/kg

Vzhled: Bezbarvá kapalina

Hustota při 15 °C: 775 - 840 kg/m<sup>3</sup>

Teplota varu: 150 - 300°C

Bod vzplanutí: > 38°C

[17]

## 5.2 Příprava a tvorba zkušebních těles

Pro praktickou část bylo vytvořeno celkem 144 zkušebních těles válcového tvaru. Tělesa byla tvořena ve 3 skupinách s rozdílným počtem hutnicích úderů. Hutnění bylo prováděno rázovým zhutňovačem podle normy ČSN EN 12697-30. První skupina byla hutněna 2x75 úderů k úplnému zhutnění. Druhá skupina byla hutněna 2x50 úderů a třetí skupina 2x30 úderů. Toto rozdělení vedlo k rozdílné mezerovitosti těles a tedy k rozdílnému chování při působení leteckých pohonných hmot.



Obr. 5 - Rázový zhutňovač [4]

Asfaltová směs byla nahřata v horkovzdušných sušárnách, odvážena do nahřátých zednických fanek, kdy hmotnost odvážené směsi na jedno těleso činila cca 1200 g a byla zpět vložena do sušárny, kde se nahřívala na 155°C. Společně se směsí se v sušárně nahřívaly pomůcky pro přípravu těles, jako jsou špachtle, válcová forma, lopatka, násypka, podložka a nástavec (Obr. 33).

V momentě, co směs dosáhla požadované teploty, byla přesypána skrz násypku do válcové formy s nasazeným nástavcem položené na podložce pro hutnění, vyložené na dně papírovým kolečkem, aby se těleso k podložce nepřilepilo. Po nasypání bylo na vrch opět položeno papírové kolečko. Připravená forma se směsí byla umístěna na podkladní desku pod hutnící beran (Obr. 5), zajištěna proti pohybu a na počítadle se nastavil požadovaný počet úderů (75,50,30). Po provedení prvního cyklu hutnících úderů byl z formy odebrán nástavec. Forma byla sejmuta z podložky, převrácena a s nasazeným nástavcem usazena zpět na podložku pod beran a hutněna z druhé strany druhým cyklem úderů.

Z vrchu a ze dna byla odstraněna papírová kolečka a forma s horkým tělesem byla usazena na ocelovou podložku, kde chladla (Obr. 34). Po zchlazení na 40°C se hotové těleso vysunulo z formy výtlačným zařízením. Po vysunutí bylo těleso uloženo na rovném povrchu k následnému vychladnutí na teplotu mezi 18 až 28°C.



## 5.2.1 Značení a rozřídění těles

144 hotových válcových těles bylo rozděleno podle způsobu hutnění do třech skupin po 48 kusech. Každá skupina se skládala z 11 referenčních těles, 12 těles pro Marshallovu zkoušku, 9 těles pro zkoušku odolnosti proti pohonným hmotám a 12 těles pro zkoušku ztráty částic zkušební tělesa. Zbylá 4 tělesa byla ponechána, jako rezervní. Římská číslice na tělese znamenala hutní skupinu a arabská číslice pořadové číslo zkušební tělesa (*Obr. 6*) (I. skupina - 2x75 úderů, II: skupina - 2x50 úderů, III. Skupina - 2x30 úderů).

## 5.3 Měření volumetrických vlastností zkušebních těles a vlastností asfaltové směsi

### 5.3.1 Stanovení výšky a průměru těles

U válcových těles používaných v Marshallově zkoušce byl měřen pomocí elektronické šuplery průměr ve dvou místech a výška ve čtyřech místech (*Obr. 6*) se zaokrouhlením na 0,1 mm. Z výsledku byl pro každé takovéto zkušební těleso stanoven aritmetický průměr průměru a výšky tělesa.



*Obr. 6* - Číselné značení těles se znázorněnými osami pro měření rozměrů [4]

### 5.3.2 Stanovení objemové hmotnosti asfaltového tělesa

U všech zkušebních těles bylo provedeno stanovení objemové hmotnosti postupem B podle normy ČSN EN 12697-6, tedy s nasyceným suchým povrchem. Tato metoda je nejvhodnější pro přesné stanovení objemové hmotnosti těles mezerovitých a tvarově složitých.

Všechny hmotnosti byly stanoveny s přesností na 0,1 g.



Prvně se stanovily hmotnosti suchých zkušebních těles ( $m_1$ ). Následně byla tělesa položena do vodní lázně při známé teplotě, ze které byla stanovena hustota vody s přesností na 0,000 1 Mg/m<sup>3</sup>, a nechala se sytit vodou déle než 30 minut, aby se dosáhlo konstantní hodnoty. Pro kontrolu se sledovalo zda z povrchu těles nevzlínají žádné vzduchové bubliny. Tělesa byla poté jednotlivě vážena ponořená pod vodní hladinou ke stanovení hmotnosti nasyceného zkušebního tělesa ( $m_2$ ). Vyjmuly se z vody a povrchově osušily vlhkou jelenicí. Ihned po osušení byla stanovena hmotnost tělesa nasyceného vodou na suchu ( $m_3$ ) (Obr. 7).

Hustota vody se stanovila pomocí vzorce:

$$\rho_w = 1,000\ 252\ 05 + \left( \frac{7,59 \times t - 5,32 \times t^2}{10^6} \right)$$

kde je

$t$  teplota vody, ve stupních Celsia (°C);

$\rho_w$  hustota vody při zkušební teplotě, v megagramech na metr krychlový (Mg/m<sup>3</sup>);

Objemová hmotnost těles se stanovila ze vzorce:

$$\rho_{bssd} = \frac{m_1}{m_3 - m_2} \times \rho_w$$

kde je

$\rho_{bssd}$  objemová hmotnost SSD, v megagramech na metr krychlový (Mg/m<sup>3</sup>);

$m_1$  hmotnost suchého zkušebního tělesa, v gramech (g);

$m_2$  hmotnost zkušebního tělesa ve vodě, v gramech (g);

$m_3$  hmotnost zkušebního tělesa nasyceného vodou a povrchově osušeného, v gramech (g);

$\rho_w$  hustota vody při zkušební teplotě, v megagramech na metr krychlový (Mg/m<sup>3</sup>);

[8]



Obr. 7 - Vážení zkušebního tělesa [4]

### 5.3.3 Stanovení maximální objemové hmotnosti směsi

Maximální objemová hmotnost směsi byla stanovena podle normy ČSN EN 12697-5 volumetrického postupu A. Všechny hmotnosti byly stanoveny v gramech s přesností na 0,1 g. Objem pyknometru byl stanoven v metrech kubických s přesností na 0,000005 m<sup>3</sup>.

Zkušební vzorek směsi se vložil do horkovzdušné sušárny, kde se nahříval na teplotu 110°C. Vzorek se po vysušení rozdrobil na částice menší než 6 mm (obr. 8) a nechal se vychladnout.



Obr. 8 - Rozdrobený vzorek [4]



Nejprve se určila hmotnost prázdného pyknometru s nástavcem ( $m_1$ ) o známém objemu ( $V_p$ ). Vysušený vzorek se vložil do pyknometru, nechal temperovat na okolní teplotu a stanovila se hmotnost pyknometru s nástavcem naplněného směsí ( $m_2$ ). Pyknometr se naplnil demineralizovanou vodou do výšky 30 mm pod okraj. Pomocí krouživých pohybů a promíchání se odstranilo velké množství vzduchu. Poté se pyknometr vložil do vakuové nádrže s předepsaným programem na 40 minut. Zbytkový vzduch se odstranil pomocí rotačních pohybů. Nasadil se nástavec na pyknometr a opatrně se naplnil demineralizovanou vodou až po rysku nástavce. Následně se umístil pyknometr do vodní lázně s rovnoměrnou teplotou po dobu 30 minut k vyrovnání teploty. Pyknometr se vyjmul z lázně, povrchově osušil od zbytkové vody, odměřila se momentální teplota a zvážila se hmotnost ( $m_3$ ) (Obr. 9).



Obr. 9 - Naplněný pyknometr rozdrobenou směsí a demineralizovanou vodou [4]

Hustota vody se stanovila pomocí vzorce:

$$\rho_w = 1,000\,252\,05 + \left( \frac{7,59 \times t - 5,32 \times t^2}{10^6} \right)$$

kde je

$t$  teplota vody, ve stupních Celsia ( $^{\circ}\text{C}$ );

$\rho_w$  hustota vody při zkušební teplotě, v megagramech na metr krychlový ( $\text{Mg}/\text{m}^3$ );





Objemá hmotnost těles se stanovila ze vzorce:

$$\rho_{mv} = \frac{(m_2 - m_1)}{10^6 \times V_p - (m_3 - m_2)/\rho_w}$$

kde je

$\rho_{mv}$  maximální objemová hmotnost směsi, v megagramech na metr krychlový (Mg/m<sup>3</sup>);

$m_1$  hmotnost prázdného pyknometru s nástavcem, v gramech (g);

$m_2$  hmotnost pyknometru s nástavcem a naplněnou směsí, v gramech (g);

$m_3$  hmotnost pyknometru se směsí, nástavcem a demineralizovanou vodou, v gramech (g);

$\rho_w$  hustota vody při zkušební teplotě, v megagramech na metr krychlový (Mg/m<sup>3</sup>);

[7]

### 5.3.4 Stanovení mezerovitosti

Mezerovitost zkušební tělesa se vypočítá pomocí maximální objemové hmotnosti směsi a objemové hmotnosti zkušební tělesa dle normy ČSN EN 12697-8 pomocí vzorce:

$$V_s = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} \times 100$$

kde je

$V_s$  mezerovitost asfaltového zkušební tělesa s přesností 0,1 % (objemu);

$\rho_m$  maximální objemová hmotnost směsi, v megagramech na metr krychlový (Mg/m<sup>3</sup>);

$\rho_b$  objemová hmotnost zkušební tělesa, v megagramech na metr krychlový (Mg/m<sup>3</sup>);

[9]

### 5.3.5 Stanovení zrnitosti

Asfaltová směs byla náhřáta pro snadnější manipulaci a cca 1000 g bylo odváženo. Dle normy ČSN EN 12697-1 bylo ze směsi extrahováno asfaltové pojivo. Následně se na samotném kamenivu provedl síťový rozbor za sucha.

[6]



## 5.4 Odolnost proti působení pohonných hmot

K jednotlivým leteckým pohonným hmotám byla přiřazena zkušební tělesa v počtu 3 ks z každé rozdílně hutněné skupiny (*kap. 5.2*). Tělesa byla do paliv ponořena a namáhána po dobu 24 h.

K následnému kartáčování byla použita laboratorní míchačka upravená tak, aby splňovala požadavky normy ČSN EN 12697-43 podle které byla zkouška provedena.

Výsledkem bylo stanovení ztrát hmotnosti jednotlivých těles od chemického a abrazivního namáhání v procentech s přesností na 0,1 %.

### Provádění zkoušky:

#### Příprava zkušebních těles:

Zkušební tělesa byla zvážena ke stanovení počáteční suché hmotnosti těles ( $m_1$ ) s přesností na 0,1 g a položena spodní stranou do plechových misek vyložených distančními kroužky pro oddělení spodní strany těles a dna misek, aby nedocházelo k uzavření vzduchu pod zkušebními tělesy. Misky se naplnily pomocí skleněné nálevky leteckými pohonnými hmotami do 50 % ( $\pm 3$  %) výšky těles (*Obr. 10*). Mezi stěnami misek a zkušebních těles se zajistil minimální volný prostor 10 mm.

Naplněné misky s tělesy se přikryly kovovou fólií (*Obr. 35*) k zamezování výparů pohonných hmot do volného vzduchu.

Ponořená zkušební tělesa se ponechala v klidu po dobu 24 h ( $\pm 30$  min) při teplotě v rozmezí 18 až 25°C.

Po uplynutí stanovené doby se tělesa opatrně vyjmula z misek a povrchově omývala vodou. Volné částice na povrchu namáhané strany se odstranily opatrně ručně s použitím kartáče s jemnými štětinami.



Obr. 10 - Těleso ponořené v palivu [4]



Po důkladném očištění se tělesa vložila na 24 h ( $\pm 2$  h) do klimatizační skříně (Obr. 37) na 25°C ( $\pm 2^\circ\text{C}$ ). Následně se zkušebním tělesům stanovila hmotnost ( $m_2$ ) s přesností na 0,1 g.

#### Kartáčování těles:

Tělesa se jednotlivě umísťovala vzhůru namáhanou stranou pevně na střed plochy, kterou pokrývá ocelový kartáč. Mezi kartáčem a tělesem musela být zajištěna síla 140 kN ( $\pm 5$  kN). K zajištění této síly byl k upevněnému tělesu zavěšen koš se závažími (Obr. 11). Síla byla měřena vhodným tenzometrem .

Poté bylo těleso namáháno kartáčováním s rychlostí kartáče 60 otáček za minutu ( $\pm 3$  ot.) ve třech dobách kartáčování. První dvě doby trvaly 30 s a třetí doba 60 s. Po každé době bylo těleso vyjmuta a byly zváženy hmotnosti  $m_3$ ,  $m_4$ ,  $m_5$  s přesností na 0,1 g. Kartáč se na zkušebním tělese v prvních 5 s postupně roztáčí a zbylých 25 s nebo 55 s se kartáč točí maximální požadovanou rychlostí.

#### Výpočet a vyjádření výsledků:

Každému zkoušenému tělesu se vypočetly parametry  $A_i$ ,  $B_i$ ,  $C_i$  podle rovnic:

$$A_i = \frac{m_{1,i} - m_{2,i}}{m_{1,i}} \times 100$$

$$B_i = \frac{m_{2,i} - m_{5,i}}{m_{2,i}} \times 100$$

$$C_i = \frac{m_{1,i} - m_{5,i}}{m_{5,i}} \times 100$$

kde je:

- $A$  uvádí ztrátu materiálu po vystavení pohonné hmotě, v procentech (%);
- $B$  uvádí ztrátu materiálu po abrasivním zatížení, v procentech (%);
- $C$  uvádí celkovou ztrátu hmotnosti po chemickém a abrasivním zatěžování, v procentech (%);
- $m_1$  počáteční suchá hmotnost tělesa  $i$  před ponořením do pohonné hmoty, v gramech (g);
- $m_2$  hmotnost suchého zkušebního tělesa  $i$  po ponoření do pohonné hmoty, v gramech (g);
- $m_5$  hmotnost zkušebního tělesa  $i$  po ponoření do pohonné hmoty a 120 s kartáčování, v gramech (g);



$A_i$ ,  $B_i$ ,  $C_i$  byly zaokrouhleny na nejbližší 0,1%. Vypočítaná průměrná hodnota  $A$ ,  $B$ ,  $C$  se zaokrouhlila na nejbližší 1 %.

[13]



Obr. 11 - Laboratorní míchačka upravená ke kartáčování těles [4]

## 5.5 Marshallova zkouška

K jednotlivým leteckým pohonným hmotám byla přiřazena zkušební tělesa v počtu 4 ks od každé rozdílně hutněné skupiny (kap. 5.2). Pohonné hmoty byly naneseny pomocí rozprašovače na zkušební tělesa a namáhaly je po dobu 24 h.

Zkouška byla prováděna v souladu s požadavky normy ČSN 12697-34.

Výsledkem bylo stanovení stability  $S$  přesností 0,1 kN, přetvoření  $F$  na 0,1 mm a míry tuhosti  $S/F$  na 0,1 kN/mm zkušebních těles.

Provádění zkoušky:

Příprava zkušebních těles:

Tělesa byla obrácena spodní stranou vzhůru a pokropena stříky z rozprašovače přidělenou pohonnou hmotou. Po dobu 24 h byla tělesa uložena při pokojové teplotě v rozmezí 18 až 25 °C.



Následovalo ponoření po dobu nejméně 30 min do vodní lázně s teplotou 60°C za účelem nahřátí (Obr. 36).



Obr. 12 - Tlačné čelisti [4]

### Stlačování těles:

Zkušební tělesa byla vyjmuta z lázně a byla bočně uložena do středu čelistí (Obr. 12) tak, aby byl zajištěn dobrý kontakt mezi povrchem tělesa a tlačnou čelistí. Na zkušební těleso byl vytvořen nátlak k dosažení konstantní rychlosti posunu 50 mm ( $\pm 2$  mm) za minutu a pokračovalo se až do dosažení maximální hodnoty působící síly.

### Vyjádření výsledků:

Dosažená maximální hodnota síly představuje stabilitu směsi  $S/F$  v kilo Newtonech na milimetr s přesností 0,1 kN/mm.

[12]



## 5.6 Ztráta částic zkušební tělesa asfaltového koberce drenážního

K jednotlivým leteckým pohonným hmotám byla přiřazena zkušební tělesa v počtu 4 ks od každé rozdílně hutněné skupiny (kap. 5.2). Pohonné hmoty byly nanášeny pomocí rozprašovače na zkušební tělesa a namáhaly je po dobu 24 h.

Zkouška byla prováděna v souladu s požadavky normy ČSN 12697-17.

Výsledkem bylo stanovení ztrát hmotnosti jednotlivých zkušebních těles v procentech s přesností na 0,1 %.

### Provádění zkoušky:

#### Příprava zkušebních těles:

Tělesa byla obrácena spodní stranou vzhůru a pokropena stříky z rozprašovače přidělenou pohonnou hmotou. Po dobu 24 h byla tělesa uložena při pokojové teplotě v rozmezí 18 až 25 °C.

#### Otloukání těles:

Zkušební tělesa byla zvážena ke zjištění počáteční hmotnosti ( $W_1$ ) v gramech s přesností na 0,1 g. Následně byla uložena samostatně, bez železných koulí, do rotačního otlukového bubnu Los Angeles (Obr. 13). Rychlost otáček byla nastavena 30 otáček za minutu. Celkový počet otáček se rovnal 300.

#### Vyjádření výsledků:

Tělesům byla zjištěna hmotnost ( $W_2$ ) v gramech s přesností na 0,1 g a byly stanoveny ztráty hmotnosti vyjádřené v procentech s přesností na 0,1 % podle vzorce:

$$PL = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

kde je

$PL$  celková ztráta částic, v procentech (%);

$W_1$  počáteční hmotnost zkušební tělesa, v gramech (g);

$W_2$  hmotnost zkušební tělesa po otluku v bubnu, v gramech (g);

[10]



Obr. 13 - Rotační otlukový buben Los Angeles [4]

## 6 Výsledky

### 6.1 Volumetrické vlastnosti zkušebních těles

SKUPINA	$\varnothing d$ [mm]	$\varnothing h$ [mm]	$\varnothing \rho_{bssd}$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	$\varnothing V_s$ [%]
I.	102,1	65,3	2,296	6,7
II.	102,3	68,1	2,251	8,6
III.	102,3	69,1	2,224	9,7

Tab. 1 - Průměrné volumetrické vlastnosti zkušebních těles

Jak bylo předpokládáno, s poklesem hutnicí energie na těleso roste jeho výška, zmenšuje se objemová hmotnost a zvyšuje se mezerovitost v tělese. Tabulka maximální objemové hmotnosti směsi (Tab. 18.), tabulka propadů na sítích (Tab. 19) a graf zrnitosti kameniva (Graf 7) jsou uvedeny v přílohách.

### 6.2 Odolnost proti působení pohonných hmot

Namáhání zkušebních těles ponořením do pohonných hmot a následným kartáčováním prokázalo silnou degradaci asfaltového pojiva resp. asfaltové směsi.

Ukazatelem změny byla hmotnost tělesa měnící se po čas zkoušení.

Po vyjmutí zkušebních těles z plechových misek byla zejména u skupiny II. a III. vidět velká degradace asfaltové směsi. Největší ztráty hmotnosti po ponoření způsobilo



působení benzínu AVGAS 100LL, nejméně pak působení petroleje Jet A-1. V průběhu vyjímání zkušebních těles z misek odpadávaly kusy kameniva.



Obr. 14 - Změna tvaru zkušebního tělesa po ponoření do AVGAS 100 LL (zleva těleso hutněné skupiny I., II., III.) [4]



Obr. 15 - Změna tvaru zkušebního tělesa po ponoření do JET A-1 (zleva těleso hutněné skupiny I., II., III.) [4]



Obr. 16 - Změna tvaru zkušebního tělesa po ponoření do JP/F-34 (zleva těleso hutněné skupiny I., II., III.) [4]

Tělesa byla vážena v jednotlivých etapách zkoušení. Na začátku zkoušení před ponořením do pohonné hmoty ( $m_1$ ), po ponoření a vysušení ( $m_2$ ), po první fázi kartáčování ( $m_3$ ), po druhé fázi kartáčování ( $m_4$ ) a po poslední fázi kartáčování ( $m_5$ ).





Na základě jednotlivých navážených hmotností byly vypočteny parametry  $A_i$  (jednotlivé ztráty hmotnosti po ponoření do pohonné hmoty),  $B_i$  (jednotlivé ztráty hmotnosti po zkoušce kartáčováním),  $C_i$  (jednotlivé hodnoty kombinované ztráty hmotnosti).

Proces kartáčování byl proveden i na referenčních tělesech pro získání hodnot ztrát hmotnosti nenamáhaných těles



Obr. 17 - Referenční tělesa po kartáčování (zleva těleso hutněné skupiny I., II., III.) [4]

ODOLNOST PROTI PŮSOBENÍ POHONÝCH HMOT - REFERENČNÍ TĚLESA												
SK.	POŘ. Č.	$m_1$ [g]	$m_2$ [g]	$m_3$ [g]	$m_4$ [g]	$m_5$ [g]	$A_i$ [%]	$B_i$ [%]	$C_i$ [%]	A [%]	B [%]	C [%]
I.	ref 17	1192,4	-	1192,3	1192	1191,9	-	-	0,0	-	-	0,03
	ref 18	1180,4	-	1180,3	1180,2	1180,1	-	-	0,0			
	ref 19	1196,1	-	1195,9	1195,9	1195,8	-	-	0,0			
II.	ref 17	1232,5	-	1232,3	1232,2	1231,7	-	-	0,1	-	-	0,09
	ref 18	1212,8	-	1212,6	1212,5	1212,4	-	-	0,0			
	ref 19	1206,8	-	1205,5	1205,1	1204,6	-	-	0,2			
III.	ref 17	1212,9	-	1212,7	1212,2	1211,7	-	-	0,1	-	-	0,14
	ref 18	1193,8	-	1193,5	1192,9	1192,3	-	-	0,1			
	ref 19	1209,9	-	1209	1208,6	1207,6	-	-	0,2			

Tab. 2 - Hodnoty ztrát hmotnosti referenčních těles

U těles nenamáhaných pohonnými hmotami dochází ke ztrátám po procesu kartáčování menším než 1 %.

S menším počtem hutnicích úderů a s větší mezerovitostí narůstá ztráta hmotnosti od kartáčování.



Obr. 18 - Zkušební tělesa před kartáčováním ponořena do benzínu AVGAS 100LL (zleva těleso hutněné skupiny I., II., III.) [4]



Obr. 19 - Zkušební tělesa po kartáčování ponořena do benzínu AVGAS 100LL (zleva těleso hutněné skupiny I., II., III.) [4]

ODOLNOST PROTI PŮSOBENÍ POHONÝCH HMOT - AVGAS 100 LL												
SK.	POŘ. Č.	$m_1$ [g]	$m_2$ [g]	$m_3$ [g]	$m_4$ [g]	$m_5$ [g]	$A_i$ [%]	$B_i$ [%]	$C_i$ [%]	A [%]	B [%]	C [%]
I.	20	1201,8	1145,4	1141,7	1140,4	1138,8	4,7	0,6	5,2	6,1	1,0	7,0
	21	1193	1099,4	1093,1	1090,1	1089,1	7,8	0,9	8,7			
	22	1205,4	1136,4	1129,2	1123,2	1121,1	5,7	1,3	7,0			
II.	20	1208,6	914,8	846,5	835,1	821,8	24,3	10,2	32,0	11,8	4,0	14,9
	21	1226,3	1158,3	1156,7	1152,4	1149,1	5,5	0,8	6,3			
	22	1195,2	1130,6	1123,7	1120,3	1117,2	5,4	1,2	6,5			
III.	20	1207,1	786,5	540,7	520,8	484,4	34,8	38,4	59,9	25,2	17,9	37,6
	21	1197,9	966,2	924,3	909,5	902,4	19,3	6,6	24,7			
	22	1257,2	987,6	944,8	925,8	901,4	21,4	8,7	28,3			

Tab. 3 - Hodnoty ztrát hmotnosti zkušebních těles po ponoření do benzínu AVGAS 100LL



Obr. 20 - Zkušební tělesa před kartáčováním ponořena do petroleje JET A-1 (zleva těleso hutněné skupiny I., II., III.) [4]



Obr. 21 - Zkušební tělesa po kartáčování ponořena do petroleje JET A-1 (zleva těleso hutněné skupiny I., II., III.) [4]

ODOLNOST PROTI PŮSOBENÍ POHONÝCH HMOT - JET A-1												
SK.	POŘ. Č.	$m_1$ [g]	$m_2$ [g]	$m_3$ [g]	$m_4$ [g]	$m_5$ [g]	$A_i$ [%]	$B_i$ [%]	$C_i$ [%]	$A$ [%]	$B$ [%]	$C$ [%]
I.	23	1224,4	1154,3	1112,3	1103,3	1101,8	5,7	4,5	10,0	3,9	4,3	8,1
	24	1163,3	1132	1094,7	1089,8	1081,4	2,7	4,5	7,0			
	25	1205,4	1166,6	1135,5	1132,3	1119,8	3,2	4,0	7,1			
II.	23	1178,7	1094,9	1056,1	1050,5	1037,3	7,1	5,3	12,0	6,5	7,8	13,8
	24	1197,1	1130,3	1083,2	1074,5	1067	5,6	5,6	10,9			
	25	1192,9	1111,9	1016,7	998,2	972	6,8	12,6	18,5			
III.	23	1196,3	992	836,5	814,6	800,7	17,1	19,3	33,1	11,8	12,8	22,8
	24	1190,3	1079,3	1013,7	1001,1	995,1	9,3	7,8	16,4			
	25	1179,2	1074,5	982,8	965,2	954,4	8,9	11,2	19,1			

Tab. 4 - Hodnoty ztrát hmotnosti zkušebních těles po ponoření do petroleje JET A-1



Obr. 22 - Zkušební tělesa před kartáčováním ponořena do petroleje JP/F-34 (zleva těleso hutněné skupiny I., II., III.) [4]



Obr. 23 - Zkušební tělesa po kartáčování ponořena do petroleje JP/F-34 (zleva těleso hutněné skupiny I., II., III.) [4]

ODOLNOST PROTI PŮSOBENÍ POHONÝCH HMOT - JP/F-34												
SK.	POŘ. Č.	$m_1$ [g]	$m_2$ [g]	$m_3$ [g]	$m_4$ [g]	$m_5$ [g]	$A_i$ [%]	$B_i$ [%]	$C_i$ [%]	A [%]	B [%]	C [%]
I.	26	1301,6	1251	1204,3	1189,8	1172,1	3,9	6,3	9,9	3,9	4,4	8,1
	27	1274,4	1236,6	1203,8	1194,1	1186,8	3,0	4,0	6,9			
	28	1197,7	1140,5	1115,9	1113,4	1109	4,8	2,8	7,4			
II.	26	1209,4	1032,4	858	844,9	835,2	14,6	19,1	30,9	8,4	11,2	18,5
	27	1185,5	1121	1065,6	1062,6	1053,1	5,4	6,1	11,2			
	28	1216,6	1153	1079,2	1055,6	1055	5,2	8,5	13,3			
III.	26	1206,2	967	848,1	814,1	783,8	19,8	18,9	35,0	16,4	17,3	30,8
	27	1201,4	1040	902,2	871,5	859,2	13,4	17,4	28,5			
	28	1204,1	1013	928,2	902,3	854,4	15,9	15,7	29,0			

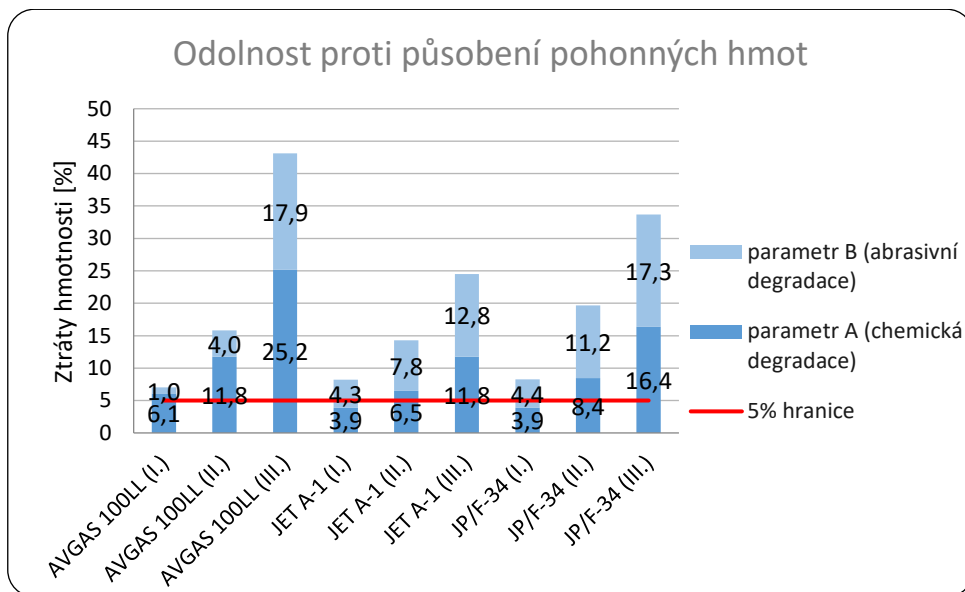
Tab. 5 - Hodnoty ztrát hmotnosti zkušebních těles po ponoření do petroleje JP/F - 34 [4]

Největší ztráty pouze od chemického namáhání vykazují tělesa ponořená do benzínu AVGAS 100LL. Výsledek byl pravděpodobně ovlivněn výskytem toulenu, který se běžně používá jako rozpouštědlo. Petroleje JET A-1 a JP/F-34 dosahují podobných ztrát. Naopak pouze od abrasivního namáhání jsou petroleje účinnější.

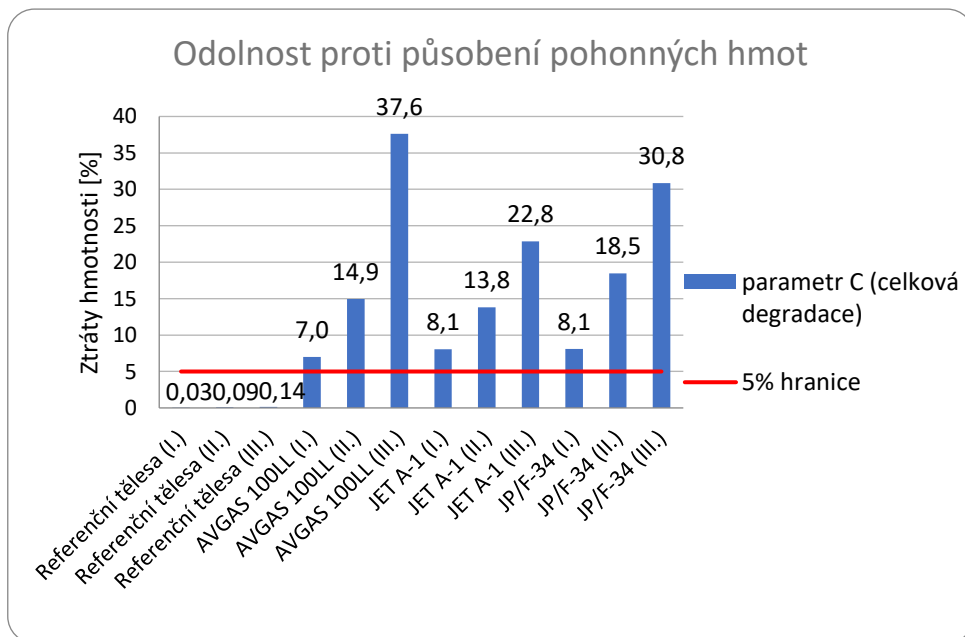


Méně zhutněná zkušební tělesa s větší mezerovitostí jsou náchylnější na chemické působení, jelikož se pohonné hmoty dostanou více do kontaktu s asfaltovým pojivem, na který působí degradačním účinkem.

Podle normy by se zkouška měla zastavit pokud parametr *A* vyjde větší než 5 %, nýbrž už takto velká ztráta pouze od chemického namáhání je kritická. Ze zvědavosti, jak moc mohou být tělesa zničena ještě kartáčováním, bylo ve zkoušce pokračováno.



Graf 1 - Ztráta hmotnosti po ponoření a kartáčování



Graf 2 - Celková ztráta hmotnosti

## 6.3 Marshallova zkouška

Namáhání zkušebních těles postřikem pohonných hmot prokázalo lehkou degradaci asfaltového pojiva.

Ukazatelem změny byla měnící Marshallova stabilita a přetvoření zkušebního tělesa.

Zkušební tělesa po vystavení působení pohonných hmot nevykazovala žádné vizuální změny, až na lehce rozpuštěné asfaltové pojivo na povrchu u těles namáhaných benzínem AVGAS 100LL.

Pro srovnání hodnot bylo provedeno namáhání v tlačných čelistech na referenčních tělesech.



Obr. 24 - Referenční tělesa po stlačení čelistí (zprava těleso hutněné skupiny I., II., III.) [4]

MARSHALLOVA ZKOUŠKA - REFERENČNÍ TĚLESA							
SK.	POŘ. Č.	Pevnost [kN]	Přetvoření [mm]	Výška vzorků [mm]	Mar. Stab. [kN]	Stabilita [kN]	Přetvoření [mm]
I.	ref 13	15,9	4	67,2	14,5	13,7	4,2
	ref 14	13,3	3,8	65,4	12,6		
	ref 15	15	4,7	68,7	13,2		
	ref 16	15,4	4,4	66,0	14,5		
II.	ref 13	8,9	4,4	65,6	8,5	9,3	5,0
	ref 14	7,7	3,7	66,0	7,3		
	ref 15	12,8	4,1	66,2	12,1		
	ref 16	10,4	7,8	68,6	9,2		
III.	ref 13	7,2	4,7	69,8	6,2	6,0	4,6
	ref 14	6,6	4,1	67,2	6		
	ref 15	7,3	5,4	68,9	6,4		
	ref 16	6,1	4	68,4	5,4		

Tab. 6 - Hodnoty stability a přetvoření referenčních těles



Obr. 25 - Zkušební tělesa namáhaná benzínem AVGAS 100LL před a po stlačení čelistí (zleva těleso hutněné skupiny I., II., III.) [4]

MARSHALLOVA ZKOUŠKA - AVGAS 100LL							
SK.	POŘ. Č.	Pevnost [kN]	Přetvoření [mm]	Výška vzorků [mm]	Mar. Stab. [kN]	Stabilita [kN]	Přetvoření [mm]
I.	1	12,8	4,1	64,3	12,6	12,1	4,0
	2	11,2	3,7	64,1	11,1		
	3	11,6	4,7	66,3	10,8		
	4	14,2	3,6	64,7	13,7		
II.	1	5,7	5,4	71,1	4,8	7,1	5,3
	2	8,2	5,4	68,5	7,3		
	3	9,2	5,1	68,2	8,2		
	4	9	5,4	68,2	8,1		
III.	1	7,4	5	68,2	6,6	5,5	5,4
	2	6	6,2	68,1	5,4		
	3	5,3	5,2	69,8	4,6		
	4	6	5,3	69,4	5,2		

Tab. 7 - Hodnoty stability a přetvoření zkušebních těles vystaveny působení benzínu AVGAS 100LL



Obr. 26 - Zkušební tělesa namáhaná petrolejem JET A-1 po stlačení čelistí (zleva těleso hutněné skupiny I., II., III.) [4]

MARSHALLOVA ZKOUŠKA - JET A-1							
SK.	POŘ. Č.	Pevnost [kN]	Přetvoření [mm]	Výška vzorků [mm]	Mar. Stab. [kN]	Stabilita [kN]	Přetvoření [mm]
I.	5	10,3	3,1	64,0	10,2	10,6	3,6
	6	9,6	3,6	65,9	9		
	7	12,5	2,9	64,2	12,2		
	8	11,3	4,6	64,7	11,1		
II.	5	8,9	8,2	69,8	7,6	6,6	6,7
	6	7	5,9	69,8	6		
	7	6,9	7,3	68,6	6,1		
	8	7,6	5,3	68,7	6,7		
III.	5	3	5,1	73,4	2,4	4,0	4,9
	6	5	5,5	69,8	4,3		
	7	5,6	4,6	68,3	5		
	8	4,8	4,3	68,4	4,2		

Tab. 8 - Hodnoty stability a přetvoření zkušebních těles vystaveny působení petroleje JET A-1



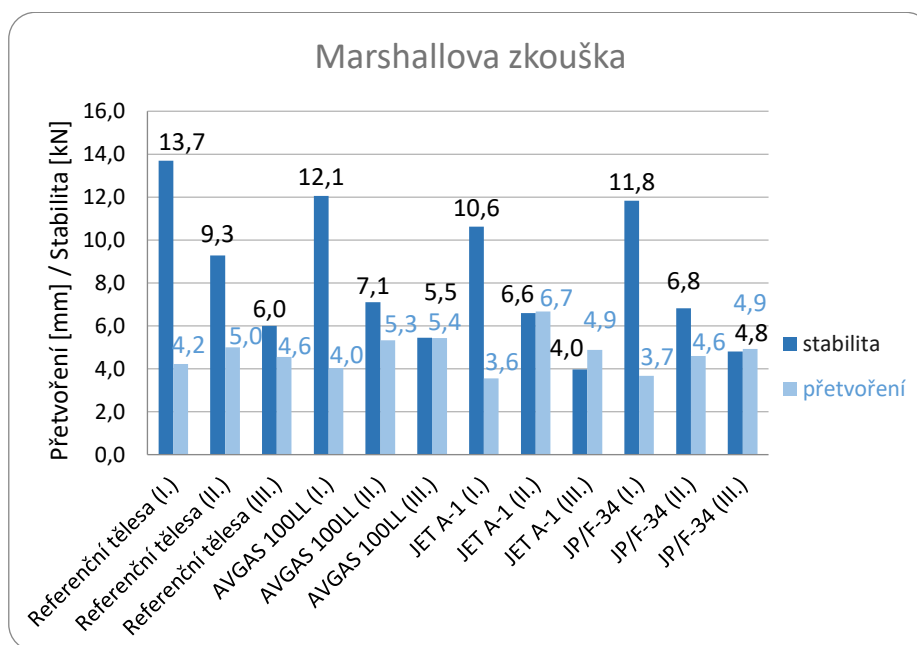
Obr. 27 - Zkušební tělesa namáhaná petrolejem JP/F-34 po stlačení čelistí (zleva těleso hutněné skupiny I., II., III.) [4]





MARSHALLOVA ZKOUŠKA - JP/F-34							
SK.	POŘ. Č.	Pevnost [kN]	Přetvoření [mm]	Výška vzorků [mm]	Mar. Stab. [kN]	Stabilita [kN]	Přetvoření [mm]
I.	9	12,7	3,4	64,2	12,4	11,8	3,7
	10	10,6	3,2	64,9	10,3		
	11	12	4	66,0	11,3		
	12	13,6	4,1	64,2	13,3		
II.	9	8,1	5,8	67,7	7,1	6,8	4,6
	10	9	4,1	66,5	8,4		
	11	7	3,3	67,8	6,3		
	12	6,2	5,2	68,6	5,5		
III.	9	5,8	5,6	69,5	5	4,8	4,9
	10	4,3	5,4	69,1	3,8		
	11	5,7	3,9	68,6	5,1		
	12	5,9	4,8	68,4	5,3		

Tab. 9 - Hodnoty stability a přetvoření zkušebních těles vystaveny působení petroleje JP/F-34



Graf 3 - Celkové přetvoření a stabilita zkušebních těles

S menším počtem hutnicích úderů a s větší mezerovitostí klesá stabilita a narůstá přetvoření. Působení leteckých pohonných hmot na zkušebních tělesech zanechalo změny v rozmezí od 10 do 30 % od referenčních hodnot. Nejnepříznivější výsledek Marshallovy stability a přetvoření vykazují tělesa namáhaná petrolejem JET A-1. Tento závěr byl neočekávaný, jelikož největší degradace asfaltové směsi byla shledána u benzínu AVGAS 100LL (kap. 6.2) a proto bylo očekáváno i největší přetvoření a ztráta stability u takto namáhaných zkušebních těles.

## 6.4 Ztráta částic zkušebního tělesa asfaltového koberce drenážního

Namáhání zkušebních těles postřikem pohonných hmot prokázalo lehkou degradaci asfaltového pojiva.

Ukazatelem změny byl rozdíl hmotností zkušebních těles před a po dokončení zkoušky.

Zkušební tělesa po vystavení působení pohonných hmot nevykazovala žádné vizuální změny, až na lehce rozpuštěné asfaltové pojivo na povrchu u těles namáhaných benzínem AVGAS 100LL.

Pro srovnání hodnot bylo provedeno otlučení v rotačním bubnu na referenčních tělesech.



Obr. 28 - Otlučená referenční tělesa (zleva těleso hutněné skupiny I., II., III.) [4]

ZTRÁTA ČÁSTIC - REFERENČNÍ TĚLESA					
SK.	POŘ. Č.	$W_1$ [g]	$W_2$ [g]	$PL$ [%]	$PL_c$ [%]
I.	ref 29	1197,4	1079,9	9,8	8,3
	ref 30	1191,4	1093,7	8,2	
	ref 31	1189,0	1101,5	7,4	
	ref 32	1182,0	1088,8	7,9	
II.	ref 29	1198,0	1073,1	10,4	13,5
	ref 30	1118,3	941,0	15,9	
	ref 31	1208,3	1019,2	15,7	
	ref 32	1206,2	1060,7	12,1	
III.	ref 29	1208,4	1098,5	9,1	9,7
	ref 30	1209,4	1075,8	11,0	
	ref 31	1204,0	1131,6	6,0	
	ref 32	1195,5	1042,9	12,8	

Tab. 10 - Ztráta hmotnosti referenčních těles po otluku



Obr. 29 - Otlučená zkušební tělesa namáhaná benzínem AVGAS 100LL (zleva těleso hutněné skupiny I., II., III.) [4]

ZTRÁTA ČÁSTIC - AVGAS 100LL					
SK.	POŘ. Č.	$W_1$ [g]	$W_2$ [g]	$PL$ [%]	$PL_c$ [%]
I.	33	1177,2	1096,1	6,9	7,2
	34	1197,0	1139,5	4,8	
	35	1215,3	1104,4	9,1	
	36	1192,0	1097,2	8,0	
II.	33	1201,9	1111,0	7,6	10,4
	34	1198,9	1087,5	9,3	
	35	1206,6	1059,6	12,2	
	36	1204,7	1052,5	12,6	
III.	33	1198,6	1122,8	6,3	6,5
	34	1214,8	1138,7	6,3	
	35	1204,7	1126,5	6,5	
	36	1199,2	1116,9	6,9	

Tab. 11 - Ztráta hmotnosti zkušebních těles namáhaných benzínem AVGAS 100LL po otluku



Obr. 30 - Otlučená zkušební tělesa namáhaná petrolejem JET A-1 (zleva těleso hutněné skupiny I., II., III.) [4]



ZTRÁTA ČÁSTIC - JET A-1					
SK.	POŘ. Č.	$W_1$ [g]	$W_2$ [g]	$PL$ [%]	$PL_c$ [%]
I.	37	1191,3	1102,8	7,4	9,3
	38	1196,5	1039,2	13,1	
	39	1193,1	1094,9	8,2	
	40	1208,3	1106,2	8,4	
II.	37	1205,9	1055,6	12,5	10,9
	38	1196,5	1069,2	10,6	
	39	1227,6	1084,0	11,7	
	40	1204,2	1097,1	8,9	
III.	37	1195,9	1117,9	6,5	5,9
	38	1196,4	1077,7	9,9	
	39	1187,5	1129,3	4,9	
	40	1209,1	1184,2	2,1	

Tab. 12 - Ztráta hmotnosti zkušebních těles namáhaných petrolejem JET A-1 po otluku

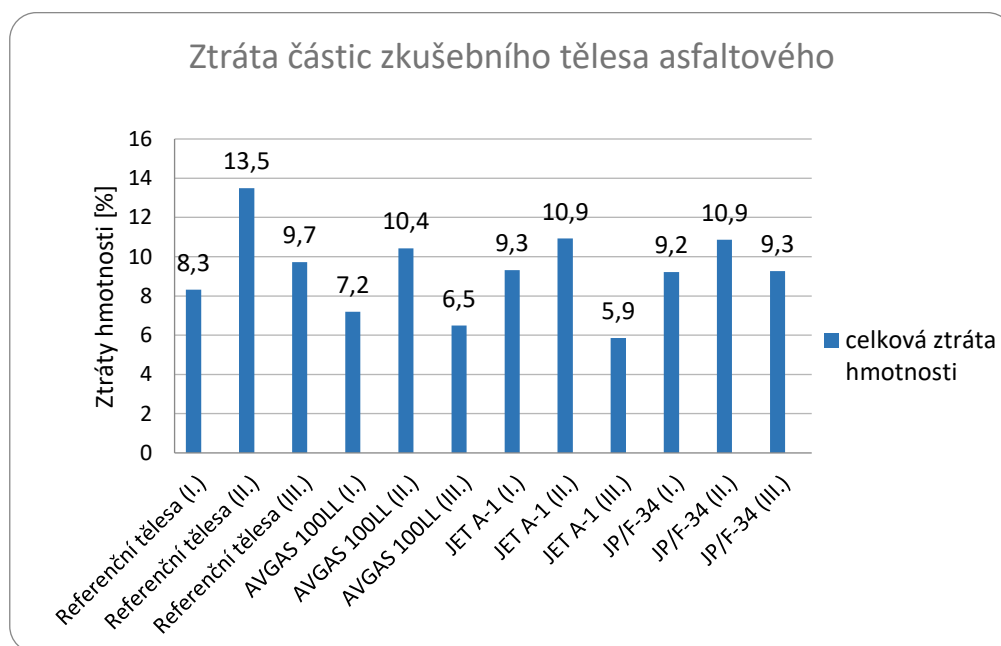


Obr. 31 - Otlučená zkušební tělesa namáhaná petrolejem JP/F-34 (zleva těleso hutněné skupiny I., II., III.) [4]



ZTRÁTA ČÁSTIC - JP/F-34					
SK.	POŘ. Č.	$W_1$ [g]	$W_2$ [g]	$PL$ [%]	$PL_c$ [%]
I.	41	1195,3	1114,6	6,8	9,2
	42	1188,6	1081,0	9,1	
	43	1210,1	1114,4	7,9	
	44	1202,6	1044,6	13,1	
II.	41	1197,9	1089,9	9,0	10,9
	42	1202,5	1129,4	6,1	
	43	1206,6	998,8	17,2	
	44	1209,3	1074,7	11,1	
III.	41	1201,7	1138,8	5,2	9,3
	42	1199,4	1146,3	4,4	
	43	1234,2	1066,5	13,6	
	44	1204,6	1038,4	13,8	

Tab. 13 - Ztráta hmotnosti zkušebních těles namáhaných petrolejem JP/F-34 po otluku



Graf 4 - Celková ztráta hmotnosti zkušebních těles

Největší ztráty hmotnosti napříč třemi skupinami hutnění jeví zkušební tělesa namáhaná benzínem AVGAS 100LL, což bylo předpokládáno z výsledků zkoušky odolnosti proti pohonným hmotám (kap 6.2). V celkovém přehledu není zkouška plně průkazná, jelikož její hlavní využití slouží k testování asfaltových koberců drenážních. Procentuální ztráty hmotnosti u třetí skupiny hutnění se nevyvíjely podle předpokladu, kde méně hutněné skupiny měly mít větší ztráty. Pro kontrolu bylo provedeno nové měření objemové hmotnosti na otlučených zkušebních tělesech. U zkušebních těles skupin I. a II. byl zaznamenán rostoucí pokles objemové hmotnosti. U III. skupiny, hutněné pouze 2x30 údery, se objemová hmotnost skoro nezměnila. Nejspíše u málo hutněných těles dochází k elastickému chování mezi jednotlivými zrny spojených pojivem a tedy dochází i k mírnému dohutnění. Tuto domněnku potvrzuje i tvar zkušebních těles, na jejichž hranách vznikají vlny tvořené přemístěnými částicemi (Obr. 32).

SK.	POŘ. Č.	Objemová hmotnost po otluku						před otlukem	rozdíl	
		Hmotnost [g]			Teplota	$\rho_w$	$\rho$			$\rho_c$
		Suchá $m_1$	Ponořená $m_2$	Nasyčená $m_3$	°C	Mg/m <sup>3</sup>	Mg/m <sup>3</sup>	Mg/m <sup>3</sup>	Mg/m <sup>3</sup>	Mg/m <sup>3</sup>
I.	33	1095,2	626,4	1099,1	17,5	0,999	2,314	2,3	2,326	0,011
	37	1102,4	631,2	1106,6	17,5	0,999	2,316			
II.	33	1057,1	601,8	1073,0	17,5	0,999	2,241	2,2	2,252	0,015
	37	1054,8	593,7	1065,4	17,5	0,999	2,233			
III.	33	1116,4	627,7	1128,7	17,5	0,999	2,226	2,2	2,216	0,001
	37	1116,9	623,5	1129,4	17,5	0,999	2,205			

Tab. 14 - Rozdíl objemových hmotností zkušebních těles před a po otluku v rotačním bubnu.



Obr. 32 - Viditelné tvoření vln na kraji zkušebního tělesa nejméně hutněné skupiny [4]



## 7 Závěr

Jak bylo předpokládáno, velký účinek na degradaci asfaltových zkušebních těles od leteckých pohonných hmot má stupeň zhutnění a z něho se odvíjející mezerovitost. Díky tomu, se následně dostane letecká pohonná hmota hlouběji do kostry vrstvy a je tedy ve větším kontaktu s asfaltovým pojivem, které jejím působením degraduje.

Největší degradaci, a z toho i naměřenou změnu vlastností zkušebních těles, například stability, pevnosti, přetvoření nebo celistvosti, zavinuje letecký benzín AVGAS 100LL, vzhledem k jeho obsahu toulenu, který nejspíše způsobuje tak velkou degradaci u zkoušky odolnosti proti pohonným hmotám, že zkušební tělesa namáhaná pouze od ponoření vykazují ztráty hmotnosti větší než 5 %. Petroleje JET A-1 a JP/F-34 působí na zkušební tělesa o něco menším účinkem než letecký benzín, ale i tento účinek se stává pro soudržnost asfaltové vrstvy kritický.

Proto na letištích plochách, kde jsou použity asfaltové betony, doporučuji, aby bylo prováděno hutnění pomocí pneumatikových válců v kombinaci s oscilačními, které účinně uzavírají mezery ve vrstvě a tedy se zamezuje hloubkovému proniknutí pohonných hmot do asfaltových vrstev a jejich působení .

Při velkém úkapu doporučuji okamžité ošetření poškozeného místa vymytím tlakovou vodou. Při dlouhodobém působení dochází k nevratným procesům a degradaci asfaltového pojiva a vznikají trvalé deformace. Při rekonstrukci je důležité provést sondové vrty ke zjištění hloubky poškození a vyměnit poškozenou vrstvu v celé tloušťce.



## 8 Seznam použitých zdrojů

- [1] ZAJÍČEK, Jan. Technologie stavby vozovek. Praha: ČKAIT, 2014. Technická knižnice (ČKAIT). ISBN 978-80-87438-59-6.
- [2] HANŽÍK, Václav, Pavel KLAPKA, Petr MONDSCHHEIN, František LUXEMBURK, Martin OTTA a Daniel SOVA. Pokládka hutněných asfaltových směsí: revidované a rozšířené vydání s počítačovým programem. Praha: Sdružení pro výstavbu silnic Praha, 2015. ISBN 978-80-903925-6-4.
- [3] KROTKÝ, Jan. Letecké pohonné a mazací hmoty. Praha: ČVUT, 1979.
- [4] Bezpalec, Daniel: Vlastní fotodokumentace, Praha, 2022.
- [5] ČSN 73 6160 Zkoušení asfaltových směsí
- [6] ČSN EN 12697-2+A1 Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 2: Stanovení zrnitosti, 2020
- [7] ČSN EN 12697-5 Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti, 2019.
- [8] ČSN EN 12697-6 Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa, 2021.
- [9] ČSN EN 12697-8 Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí, 2020.
- [10] ČSN EN 12697-17 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 17: Ztráta částic zkušebního tělesa asfaltového koberce drenážního, 2017.
- [11] ČSN EN 12697-30 Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 30: Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem, 2020.
- [12] ČSN EN 12697-34 Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 34: Marshallova zkouška, 2021.
- [13] ČSN EN 12697-43 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 43: Odolnost proti působení pohonných hmot, 2014.
- [14] ČSN 73 6121 Stavba vozovek – Hutněné asfaltové vrstvy – Provádění a kontrola shody, 2019





- [15] TWIN TRANS S.R.O. BEZPEČNOSTNÍ LIST: AVGAS 100LL [online]. 2. Vlašim, 5.5.2016 [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: <https://www.twintrans.cz/wp-content/uploads/2017/05/Bezpecnostni-list-Avgas-100LL.pdf>
- [16] ČEPRO A.S. Bezpečnostní list: LETECKÝ PETROLEJ JET A-1 [online]. 3. Praha, 22.9.2017 [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: [https://www.twintrans.cz/wp-content/uploads/2018/01/PL-JET\\_CEPRO\\_REACH\\_GHS\\_22\\_9\\_2017.pdf](https://www.twintrans.cz/wp-content/uploads/2018/01/PL-JET_CEPRO_REACH_GHS_22_9_2017.pdf)
- [17] ŘEDITELSTVÍ LOGISTICKÉ A ZDRAVOTNÍ PODPORY / SMU, Odbor vývoje a zkušebnictví. GENERÁLNÍ ŠTÁB ARMÁDY ČESKÉ REPUBLIKY. VOJENSKÉ JAKOSTNÍ SPECIFIKACE POHONNÝCH HMOT, MAZIV A PROVOZNÍCH KAPALIN: 1 - 3 - L: Jednotné turbínové palivo typu leteckého petroleje Jet A-1: NATO Code: F-34 [online]. Praha, 1.3.2007, [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: [https://www.army.cz/images/id\\_9001\\_10000/9262/017.pdf](https://www.army.cz/images/id_9001_10000/9262/017.pdf)
- [18] Statistika přepravy cestujících. Eurostat: StatisticsExplained [online]. 2020 [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Passenger\\_transport\\_statistics/cs&oldid=511139#Cestuj.C3.ADc.C3.AD\\_v\\_leteck.C3.A9\\_doprav.C4.9B](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Passenger_transport_statistics/cs&oldid=511139#Cestuj.C3.ADc.C3.AD_v_leteck.C3.A9_doprav.C4.9B)
- [19] Air transport, passengers carried. Worldbank [online]. 2020 [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: <https://data.worldbank.org/indicator/IS.AIR.PSGR?end=2020&start=2000>



## 9 Seznam obrázků

Obr. 1 - Kontinuální obalovna [1].....	9
Obr. 2 - Šaržová obalovna [1].....	10
Obr. 3 - Rozdíl mezi působením vibračních a oscilačních válců [2] .....	14
Obr. 4 - Letecká paliva (zleva AVGAS 100LL, JET A-1, JP/F-34) [4].....	18
Obr. 5 - Rázový zhutňovač [4] .....	20
Obr. 6 - Číselné značení těles se znázorněnými osami pro měření rozměrů [4] .....	21
Obr. 7 - Vážení zkušební tělesa [4].....	23
Obr. 8 - Rozdrobený vzorek [4] .....	23
Obr. 9 - Naplněný pyknometr rozdrobenou směsí a demineralizovanou vodou [4] .	24
Obr. 10 - Těleso ponořené v palivu [4].....	26
Obr. 11 - Laboratorní míchačka upravená ke kartáčování těles [4].....	28
Obr. 12 - Tlačné čelisti [4].....	29
Obr. 13 - Rotační otlukový buben Los Angeles [4].....	31
Obr. 14 - Změna tvaru zkušební tělesa po ponoření do AVGAS 100 LL (zleva těleso hutněné skupiny I., II., III.) [4] .....	32
Obr. 15 - Změna tvaru zkušební tělesa po ponoření do JET A-1 (zleva těleso hutněné skupiny I., II., III.) [4] .....	32
Obr. 16 - Změna tvaru zkušební tělesa po ponoření do JP/F-34 (zleva těleso hutněné skupiny I., II., III.) [4] .....	32
Obr. 17 - Referenční tělesa po kartáčování (zleva těleso hutněné skupiny I., II., III.) [4].....	33
Obr. 18 - Zkušební tělesa před kartáčováním ponořena do benzínu AVGAS 100LL (zleva těleso hutněné skupiny I., II., III.) [4] .....	34
Obr. 19 - Zkušební tělesa po kartáčování ponořena do benzínu AVGAS 100LL (zleva těleso hutněné skupiny I., II., III.) [4].....	34
Obr. 20 - Zkušební tělesa před kartáčováním ponořena do petroleje JET A-1 (zleva těleso hutněné skupiny I., II., III.) [4].....	35
Obr. 21 - Zkušební tělesa po kartáčování ponořena do petroleje JET A-1 (zleva těleso hutněné skupiny I., II., III.) [4] .....	35
Obr. 22 - Zkušební tělesa před kartáčováním ponořena do petroleje JP/F-34 (zleva těleso hutněné skupiny I., II., III.) [4].....	36
Obr. 23 - Zkušební tělesa po kartáčování ponořena do petroleje JP/F-34 (zleva těleso hutněné skupiny I., II., III.) [4] .....	36



Obr. 24 - Referenční tělesa po stlačení čelistí (zprava těleso hutněné skupiny I., II., III.) [4].....	38
Obr. 25 - Zkušební tělesa namáhaná benzínem AVGAS 100LL před a po stlačení čelistí (zleva těleso hutněné skupiny I., II., III.) [4] .....	39
Obr. 26 - Zkušební tělesa namáhaná petrolejem JET A-1 po stlačení čelistí (zleva těleso hutněné skupiny I., II., III.) [4].....	40
Obr. 27 - Zkušební tělesa namáhaná petrolejem JP/F-34 po stlačení čelistí (zleva těleso hutněné skupiny I., II., III.) [4].....	40
Obr. 28 - Otlučená referenční tělesa (zleva těleso hutněné skupiny I., II., III.) [4] ...	42
Obr. 29 - Otlučená zkušební tělesa namáhaná benzínem AVGAS 100LL (zleva těleso hutněné skupiny I., II., III.) [4] .....	43
Obr. 30 - Otlučená zkušební tělesa namáhaná petrolejem JET A-1 (zleva těleso hutněné skupiny I., II., III.) [4] .....	43
Obr. 31 - Otlučená zkušební tělesa namáhaná petrolejem JP/F-34 (zleva těleso hutněné skupiny I., II., III.) [4] .....	44
Obr. 32 - Viditelné tvoření vln na kraji zkušebního tělesa nejméně hutněné skupiny [4].....	46
Obr. 33 - Pomůcky pro výrobu zk. těles (zleva: válcová forma, podložka, nástavec, fenek, podložka pro hutnění, násypka) [4] .....	60
Obr. 34 - Zhutněná zkušební tělesa ve válcových formách odstavena k ochladnutí [4] .....	61
Obr. 35 - Těleso přikryté kovovou fólií [4] .....	61
Obr. 36 - Kád s nahřívanou vodou [4] .....	62
Obr. 37 - Klimatizační skříň [4] .....	62



## 10 Seznam grafů

Graf 1 - Ztráta hmotnosti po ponoření a kartáčování .....	37
Graf 2 - Celková ztráta hmotnosti .....	37
Graf 3 - Celkové přetvoření a stabilita zkušebních těles .....	41
Graf 4 - Celková ztráta hmotnosti zkušebních těles .....	45
Graf 5 - Objemová hmotnost zkušebních těles .....	59
Graf 6 - Mezerovitost zkušebních těles .....	59
Graf 7 - Čára zrnitosti kameniva .....	60

## 11 Seznam tabulek

Tab. 1 - Průměrné volumetrické vlastnosti zkušebních těles .....	31
Tab. 2 - Hodnoty ztrát hmotnosti referenčních těles .....	33
Tab. 3 - Hodnoty ztrát hmotnosti zkušebních těles po ponoření do benzínu AVGAS 100LL .....	34
Tab. 4 - Hodnoty ztrát hmotnosti zkušebních těles po ponoření do petroleje JET A-1 .....	35
Tab. 5 - Hodnoty ztrát hmotnosti zkušebních těles po ponoření do petroleje JP/F -34 [4] .....	36
Tab. 6 - Hodnoty stability a přetvoření referenčních těles .....	38
Tab. 7 - Hodnoty stability a přetvoření zkušebních těles vystaveny působení benzínu AVGAS 100LL .....	39
Tab. 8 - Hodnoty stability a přetvoření zkušebních těles vystaveny působení petroleje JET A-1 .....	40
Tab. 9 - Hodnoty stability a přetvoření zkušebních těles vystaveny působení petroleje JP/F-34 .....	41
Tab. 10 - Ztráta hmotnosti referenčních těles po otluku .....	42
Tab. 11 - Ztráta hmotnosti zkušebních těles namáhaných benzínem AVGAS 100LL po otluku .....	43
Tab. 12 - Ztráta hmotnosti zkušebních těles namáhaných petrolejem JET A-1 po otluku .....	44
Tab. 13 - Ztráta hmotnosti zkušebních těles namáhaných petrolejem JP/F-34 po otluku .....	45



Tab. 14 - Rozdíl objemových hmotností zkušebních těles před a po otluku v rotačním bubnu..... 46  
Tab. 15 - Výška a průměr zkušebních těles I. hutněné skupiny použitých pro Marshallovu zkoušku..... 53  
Tab. 16 - Výška a průměr zkušebních těles II. hutněné skupiny použitých pro Marshallovu zkoušku..... 54  
Tab. 17 - Výška a průměr zkušebních těles III. hutněné skupiny použitých pro Marshallovu zkoušku..... 54  
Tab. 18 - Maximální objemová hmotnost asfaltové směsi..... 55  
Tab. 19 - Propady kameniva na sítích ..... 55  
Tab. 20 - Objemová hmotnost a mezerovitost zkušebních těles I. hutněné skupiny 56  
Tab. 21 - Objemová hmotnost a mezerovitost zkušebních těles II. hutněné skupiny ..... 57  
Tab. 22 - Objemová hmotnost a mezerovitost zkušebních těles III. hutněné skupiny ..... 58

## 12 Přílohy

SK.	POŘ. Č.	Výška [mm]					Průměr [mm]		
		1	2	3	4	∅	1	2	∅
I.	1	64,4	64,1	64,4	64,4	64,3	102,6	102,6	102,6
	2	64,1	63,8	63,9	64,5	64,1	102,1	102,1	102,1
	3	66,4	65,8	66,2	66,7	66,3	102,1	102,1	102,1
	4	64,9	64,5	64,4	64,8	64,7	102,0	102,2	102,1
	5	64,2	64,0	63,8	64,0	64,0	102,2	101,2	101,7
	6	65,7	65,8	65,7	66,5	65,9	101,8	102,0	101,9
	7	64,5	64,6	64,0	63,7	64,2	102,1	102,1	102,1
	8	65,0	64,7	64,5	64,8	64,7	102,0	102,0	102,0
	9	63,9	64,1	64,5	64,2	64,2	102,3	102,2	102,2
	10	64,6	64,9	65,3	64,9	64,9	102,2	102,1	102,2
	11	65,6	66,2	66,0	66,2	66,0	102,1	102,0	102,0
	12	63,7	64,3	64,7	64,0	64,2	102,4	102,4	102,4
	ref 13	67,3	67,4	67,2	66,9	67,2	102,1	102,2	102,1
	ref 14	65,4	64,8	65,5	65,9	65,4	102,1	102,1	102,1
	ref 15	68,8	68,3	68,6	69,0	68,7	101,8	102,0	101,9
	ref 16	66,0	65,6	66,0	66,3	66,0	102,2	102,2	102,2

Tab. 15 - Výška a průměr zkušebních těles I. hutněné skupiny použitých pro Marshallovu zkoušku



SK.	POŘ. Č.	Výška [mm]					Průměr [mm]		
		1	2	3	4	Ø	1	2	Ø
II.	1	71,0	71,5	71,1	70,7	71,1	102,0	102,1	102,1
	2	68,8	68,8	68,2	68,2	68,5	102,2	102,3	102,2
	3	68,6	68,1	67,8	68,2	68,2	102,5	102,5	102,5
	4	68,8	68,2	67,9	68,1	68,2	102,2	102,1	102,1
	5	70,4	69,6	69,4	70,0	69,8	102,2	102,2	102,2
	6	69,5	70,0	70,2	69,5	69,8	102,0	102,1	102,0
	7	68,7	68,1	68,5	69,0	68,6	101,9	102,0	102,0
	8	68,6	69,1	68,8	68,3	68,7	102,0	102,1	102,0
	9	67,4	68,0	67,7	67,6	67,7	102,0	102,0	102,0
	10	66,6	66,3	66,7	66,3	66,5	102,6	102,4	102,5
	11	67,2	67,4	67,9	68,7	67,8	102,2	102,3	102,2
	12	68,3	68,6	68,9	68,7	68,6	102,1	102,1	102,1
	ref 13	65,4	65,4	65,8	66,0	65,6	103,4	103,1	103,2
	ref 14	65,7	66,2	66,3	66,0	66,0	103,5	103,4	103,5
	ref 15	65,8	66,4	66,4	66,4	66,2	102,4	102,4	102,4
	ref 16	68,4	68,5	68,9	68,7	68,6	102,0	102,0	102,0

Tab. 16 - Výška a průměr zkušebních těles II. hutněné skupiny použitých pro Marshallovu zkoušku

SK.	POŘ. Č.	Výška [mm]					Průměr [mm]		
		1	2	3	4	Ø	1	2	Ø
III.	1	68,2	68,8	67,1	68,9	68,2	102,4	102,4	102,4
	2	67,7	67,9	68,6	68,1	68,1	102,4	102,6	102,5
	3	69,6	70,3	70,1	69,3	69,8	102,4	102,5	102,5
	4	69,9	69,7	69,0	69,1	69,4	102,1	102,2	102,1
	5	73,3	73,8	73,5	73,0	73,4	101,9	101,9	101,9
	6	70,3	69,8	69,1	70,2	69,8	101,9	102,0	102,0
	7	68,4	67,9	68,1	68,8	68,3	102,2	102,2	102,2
	8	68,9	68,4	67,9	68,3	68,4	102,4	102,5	102,4
	9	69,6	70,0	68,8	69,6	69,5	102,4	102,5	102,4
	10	69,3	69,5	68,8	69,0	69,1	102,2	102,2	102,2
	11	68,1	68,4	68,6	69,2	68,6	102,2	102,1	102,1
	12	68,2	68,3	68,7	68,4	68,4	102,2	102,0	102,1
	ref 13	69,9	69,6	69,6	70,0	69,8	101,9	101,8	101,8
	ref 14	66,9	66,9	67,7	67,3	67,2	103,2	103,2	103,2
	ref 15	68,6	68,6	69,2	69,4	68,9	102,5	102,6	102,5
	ref 16	68,2	68,9	67,9	68,5	68,4	102,0	101,9	101,9

Tab. 17 - Výška a průměr zkušebních těles III. hutněné skupiny použitých pro Marshallovu zkoušku



Hmotnost [g]			$V_p$	Teplota	$\rho_w$	$\rho_{mv}$
$m_1$	$m_2$	$m_3$	$m^3$	$^{\circ}C$	$Mg/m^3$	$Mg/m^3$
696,7	1568,1	2528,5	0,001317	23,1	0,998	2,462

Tab. 18 - Maximální objemová hmotnost asfaltové směsi

Frakce [mm]	Hmotnost kameniva [g]	Hmotnost kameniva [%]	Propady [%]
11,2	20,9	2,2	97,8
8	202,3	21,6	76,1
5,6	187,1	20,0	56,2
4	83,5	8,9	47,2
2	117,2	12,5	34,7
1	138,4	14,8	19,9
0,5	65,1	7,0	13,0
0,25	37,1	4,0	9,0
0,125	22,9	2,4	6,6
0,063	14,6	1,6	5,0
<0,063	46,7	5,0	0,0

Tab. 19 - Propady kameniva na sítích



SK.	POŘ. Č.	Hmotnost [g]			Teplota °C	$\rho_w$ Mg/m <sup>3</sup>	$\rho$ Mg/m <sup>3</sup>	$V_s$ %
		Suchá $m_1$	Ponořená $m_2$	Nasyčená $m_3$				
	1	1191,1	675,3	1192,5	18,9	0,998	2,300	6,59
	2	1187,6	678,6	1188,5	18,9	0,998	2,326	5,53
	3	1214,9	690,1	1216,5	19,0	0,998	2,304	6,39
	4	1189,6	676,8	1191,9	19,0	0,998	2,306	6,33
	5	1177,4	671,8	1179,1	19,0	0,998	2,317	5,86
	6	1185,4	670,7	1189,9	19,1	0,998	2,280	7,40
	7	1186,1	674,4	1187,3	19,1	0,998	2,309	6,21
	8	1186,7	675,1	1188,3	19,1	0,998	2,309	6,21
	9	1180,4	670,2	1182,2	19,1	0,998	2,302	6,49
	10	1171,5	664,2	1175,9	19,2	0,998	2,286	7,14
	11	1211,7	690,4	1212,7	19,2	0,998	2,316	5,91
	12	1192,6	679,7	1193,8	19,2	0,998	2,316	5,91
	ref 13	1225,8	672,8	1227,3	20,0	0,998	2,207	10,35
	ref 14	1202,9	683,5	1204,6	20,0	0,998	2,304	6,39
	ref 15	1243,8	700,2	1244,6	20,1	0,998	2,281	7,35
	ref 16	1197,5	677,3	1199,8	20,1	0,998	2,288	7,06
	ref 17	1192,4	676,3	1195,1	20,4	0,998	2,294	6,80
	ref 18	1180,6	674,3	1182,0	20,4	0,998	2,321	5,71
	ref 18	1196,3	677,6	1199,3	20,4	0,998	2,289	7,02
	20	1201,9	681,0	1203,3	20,5	0,998	2,297	6,69
	21	1192,9	677,9	1199,8	18,4	0,999	2,282	7,28
	22	1205,2	687,1	1208,1	18,4	0,999	2,310	6,16
	23	1224,3	692,9	1227,2	18,4	0,999	2,288	7,05
	24	1163,1	662,0	1166,4	18,5	0,999	2,303	6,46
i.	25	1205,4	684,2	1207,5	18,5	0,999	2,300	6,56
	26	1301,4	737,5	1303,8	18,5	0,999	2,295	6,78
	27	1274,2	725,5	1277,7	18,5	0,999	2,304	6,40
	28	1197,5	679,6	1200,6	18,6	0,999	2,295	6,77
	ref 29	1196,4	678,9	1201,4	18,6	0,999	2,286	7,12
	ref 30	1191,0	678,6	1195,0	18,6	0,999	2,303	6,45
	ref 31	1189,6	679,6	1192,4	18,6	0,999	2,316	5,90
	ref 32	1181,7	673,0	1184,4	18,6	0,999	2,307	6,27
	33	1177,1	671,9	1179,1	18,7	0,999	2,317	5,86
	34	1196,9	684,4	1198,2	18,7	0,999	2,326	5,51
	35	1214,6	686,5	1221,3	18,7	0,999	2,268	7,88
	36	1191,7	673,7	1195,2	18,7	0,999	2,282	7,31
	37	1190,4	682,4	1191,6	18,7	0,999	2,334	5,17
	38	1194,4	674,1	1202,4	18,8	0,999	2,257	8,30
	39	1195,5	674,9	1196,7	18,8	0,999	2,288	7,07
	40	1207,6	684,4	1211,5	18,8	0,999	2,288	7,07
	41	1194,9	678,4	1196,3	18,8	0,999	2,304	6,42
	42	1187,2	673,3	1189,1	18,9	0,999	2,298	6,64
	43	1207,0	683,7	1212,6	18,9	0,999	2,279	7,44
	44	1198,7	678,2	1210,5	18,9	0,998	2,249	8,66
	45	1183,2	668,2	1190,3	18,9	0,998	2,263	8,08
	46	1162,2	662,1	1163,3	18,9	0,998	2,315	5,95
	47	1182,2	672,1	1184,0	19,0	0,998	2,306	6,33
	48	1200,6	683,3	1201,8	19,0	0,998	2,312	6,08
						Ø	2,296	6,72

Tab. 20 - Objemová hmotnost a mezerovitost zkušebních těles I. hutněné skupiny





SK.	POŘ. Č.	Hmotnost [g]			Teplota °C	$\rho_w$ Mg/m <sup>3</sup>	$\rho$ Mg/m <sup>3</sup>	$V_s$ %
		Suchá $m_1$	Ponořená $m_2$	Nasycená $m_3$				
	1	1204,7	679,0	1224,8	19,3	0,998	2,204	10,48
	2	1199,2	678,1	1212,7	19,3	0,998	2,240	9,02
	3	1197,9	675,4	1207,6	19,3	0,998	2,247	8,71
	4	1187,2	675,6	1203,1	19,4	0,998	2,247	8,72
	5	1199,9	679,6	1216,8	19,4	0,998	2,230	9,41
	6	1218,2	690,1	1234,0	19,4	0,998	2,236	9,16
	7	1192,7	679,7	1214,9	19,5	0,998	2,225	9,62
	8	1199,0	683,2	1217,0	19,5	0,998	2,243	8,90
	9	1197,8	677,3	1208,4	19,5	0,998	2,252	8,53
	10	1190,7	674,7	1199,6	19,5	0,998	2,265	8,00
	11	1209,3	682,5	1218,2	19,6	0,998	2,254	8,45
	12	1198,7	678,0	1216,2	19,6	0,998	2,224	9,67
	ref 13	1195,5	672,7	1202,4	20,1	0,998	2,253	8,48
	ref 14	1202,0	675,1	1208,7	20,2	0,998	2,249	8,66
	ref 15	1192,4	672,1	1196,9	20,2	0,998	2,268	7,87
	ref 16	1208,6	681,2	1217,7	20,2	0,998	2,249	8,65
	ref 17	1230,3	693,9	1236,5	19,0	0,998	2,264	8,03
	ref 18	1212,0	687,8	1215,4	19,0	0,998	2,294	6,83
	ref 19	1201,4	678,3	1212,3	19,1	0,998	2,246	8,75
	20	1205,4	682,7	1224,5	19,1	0,998	2,221	9,76
	21	1226,2	695,5	1229,2	19,1	0,998	2,294	6,81
	22	1194,8	673,4	1201,0	19,1	0,998	2,261	8,15
	23	1177,9	668,1	1189,5	19,2	0,998	2,256	8,37
	24	1196,9	673,3	1199,7	19,2	0,998	2,270	7,78
II.	25	1191,3	674,3	1202,0	19,2	0,998	2,254	8,44
	26	1205,9	683,8	1224,1	19,3	0,998	2,228	9,48
	27	1185,3	666,9	1189,8	19,3	0,998	2,263	8,06
	28	1216,1	684,9	1220,6	19,3	0,998	2,267	7,93
	ref 29	1196,1	675,3	1201,7	19,3	0,998	2,269	7,84
	ref 30	1115,0	631,5	1122,7	19,4	0,998	2,266	7,94
	ref 31	1203,0	682,1	1213,6	19,4	0,998	2,260	8,20
	ref 32	1199,9	679,7	1213,7	19,4	0,998	2,243	8,87
	33	1200,5	677,0	1204,1	19,5	0,998	2,274	7,63
	34	1195,1	676,1	1205,6	19,5	0,998	2,253	8,46
	35	1200,8	686,7	1220,0	19,5	0,998	2,248	8,68
	36	1201,7	681,3	1211,8	19,5	0,998	2,262	8,13
	37	1198,5	677,9	1214,6	19,6	0,998	2,229	9,44
	38	1193,6	673,4	1199,4	19,6	0,998	2,265	7,97
	39	1221,9	694,3	1239,4	19,6	0,998	2,238	9,09
	40	1200,6	679,2	1208,3	19,6	0,998	2,265	7,98
	41	1194,1	676,5	1207,0	19,7	0,998	2,247	8,72
	42	1200,8	677,4	1207,9	19,7	0,998	2,260	8,20
	43	1198,8	683,7	1220,0	19,7	0,998	2,232	9,35
	44	1202,9	684,3	1219,6	19,8	0,998	2,243	8,87
	45	1208,8	682,9	1216,8	19,8	0,998	2,260	8,18
	46	1194,0	677,5	1206,3	19,8	0,998	2,254	8,43
	47	1202,0	684,5	1221,9	19,8	0,998	2,233	9,30
	48	1213,5	692,9	1234,5	19,9	0,998	2,237	9,14
						Ø	2,251	8,57

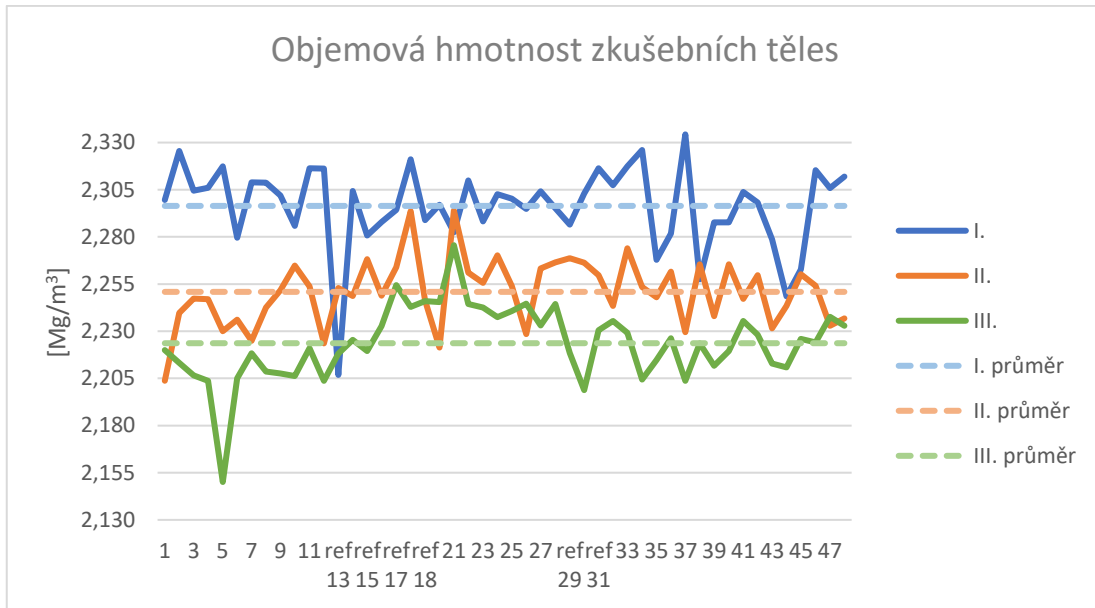
Tab. 21 - Objemová hmotnost a mezerovitost zkušebních těles II. hutněné skupiny



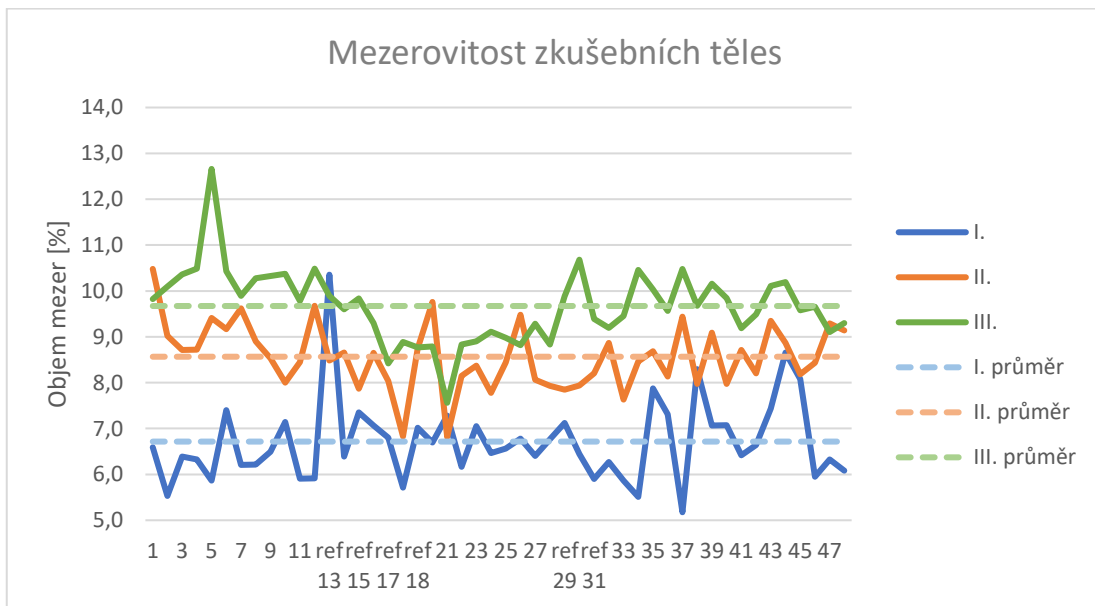
**ČVUT v Praze, Fakulta stavební, katedra silničních staveb**  
**Působení leteckých paliv na změnu vlastností asfaltových směsí**

SK.	POŘ. Č.	Hmotnost [g]			Teplota °C	$\rho_w$ Mg/m <sup>3</sup>	$\rho$ Mg/m <sup>3</sup>	$V_s$ %
		Suchá m <sub>1</sub>	Ponořená m <sub>2</sub>	Nasyčená m <sub>3</sub>				
	1	1215,2	679,1	1225,6	19,6	0,998	2,220	9,82
	2	1190,0	669,5	1206,3	19,7	0,998	2,213	10,10
	3	1198,0	678,2	1220,2	19,7	0,998	2,207	10,36
	4	1195,5	673,8	1215,4	19,7	0,998	2,204	10,48
	5	1202,4	676,1	1234,4	19,8	0,998	2,150	12,66
	6	1196,7	675,0	1216,8	19,8	0,998	2,205	10,43
	7	1195,2	670,5	1208,4	19,8	0,998	2,218	9,89
	8	1186,3	668,4	1204,6	19,9	0,998	2,209	10,28
	9	1202,1	677,1	1220,7	19,9	0,998	2,208	10,32
	10	1200,5	671,9	1215,1	19,9	0,998	2,206	10,38
	11	1190,5	674,2	1209,3	19,9	0,998	2,221	9,78
	12	1196,0	671,6	1213,4	20,0	0,998	2,204	10,48
	ref 13	1206,8	673,4	1216,5	20,3	0,998	2,218	9,90
	ref 14	1201,6	672,0	1211,0	20,3	0,998	2,225	9,60
	ref 15	1206,9	677,8	1220,6	20,3	0,998	2,219	9,84
	ref 16	1198,9	670,9	1206,9	20,3	0,998	2,233	9,30
	ref 17	1212,9	686,1	1223,2	19,9	0,998	2,254	8,42
	ref 18	1193,8	669,8	1201,1	19,9	0,998	2,243	8,89
	ref 19	1209,9	680,9	1218,7	19,9	0,998	2,246	8,77
	20	1216,6	686,9	1227,8	19,9	0,998	2,245	8,79
	21	1203,8	684,8	1212,9	19,9	0,998	2,276	7,56
	22	1259,0	708,2	1268,2	20,0	0,998	2,244	8,83
	23	1202,1	675,9	1211,0	20,0	0,998	2,243	8,90
	24	1192,8	666,6	1198,8	20,0	0,998	2,237	9,11
III.	25	1183,8	663,5	1190,9	20,0	0,998	2,241	8,98
	26	1213,3	683,9	1223,5	20,0	0,998	2,245	8,82
	27	1207,5	676,9	1216,7	20,0	0,998	2,233	9,29
	28	1210,9	682,2	1220,8	20,0	0,998	2,244	8,83
	ref 29	1197,8	677,2	1216,2	20,0	0,998	2,218	9,88
	ref 30	1192,3	676,2	1217,5	20,1	0,998	2,199	10,68
	ref 31	1197,4	672,8	1208,7	20,1	0,998	2,230	9,39
	ref 32	1185,5	673,5	1202,9	20,1	0,998	2,235	9,19
	33	1195,1	672,3	1207,5	20,1	0,998	2,229	9,45
	34	1205,9	683,5	1229,6	20,1	0,998	2,204	10,46
	35	1196,5	680,3	1219,6	20,1	0,998	2,215	10,03
	36	1194,7	672,3	1208,0	20,1	0,998	2,226	9,57
	37	1188,6	672,4	1210,8	20,1	0,998	2,204	10,48
	38	1191,7	671,1	1206,1	20,2	0,998	2,224	9,67
	39	1179,8	668,6	1201,1	20,2	0,998	2,212	10,16
	40	1201,3	679,9	1220,2	20,2	0,998	2,219	9,84
	41	1196,3	673,2	1207,4	20,2	0,998	2,235	9,19
	42	1191,5	676,5	1210,3	20,2	0,998	2,228	9,49
	43	1224,8	700,6	1253,1	20,2	0,998	2,213	10,11
	44	1199,5	679,3	1220,9	20,2	0,998	2,211	10,19
	45	1198,3	674,5	1211,9	20,2	0,998	2,226	9,58
	46	1186,4	670,9	1203,4	20,2	0,998	2,224	9,66
	47	1193,2	682,5	1214,8	20,3	0,998	2,238	9,10
	48	1201,6	685,3	1222,5	20,3	0,998	2,233	9,30
						Ø	2,224	9,67

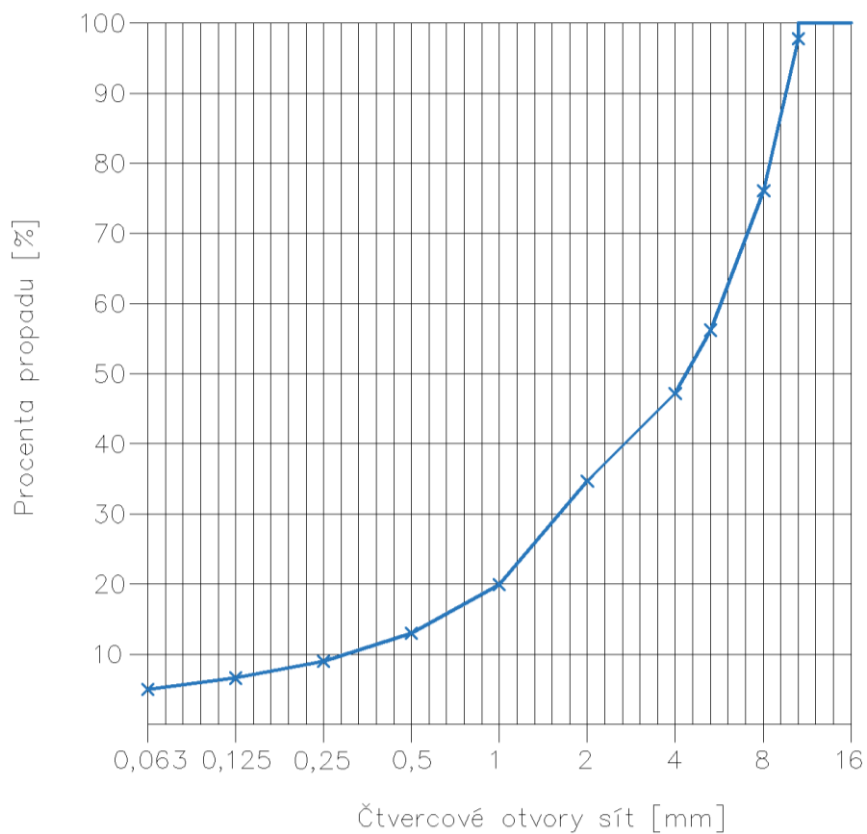
Tab. 22 - Objemová hmotnost a mezerovitost zkušebních těles III. hutněné skupiny



Graf 5 - Objemová hmotnost zkušebních těles



Graf 6 - Mezerovitost zkušebních těles



Graf 7 - Čára zrnitosti kameniva



Obr. 33 - Pomůcky pro výrobu zk. těles (zleva: válcová forma, podložka, nástavec, fenek, podložka pro hutnění, násypka) [4]



Obr. 34 - Zhutněná zkušební tělesa ve válcových formách odstavena k ochladnutí [4]



Obr. 35 - Těleso přikryté kovovou fólií [4]



Obr. 36 - Kád' s nahřívanou vodou [4]



Obr. 37 - Klimatizační skříň [4]