

Studie dynamického sočinitele tření polymerních materiálů

Iveta Šedivá

Bakalářská práce
2008



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Iveta ŠEDIVÁ**

Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Studie dynamického součinitele tření polymerních materiálů**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma
2. Proveďte metodu měření dynamického součinitele tření polymerních materiálů
3. Proveďte měření na Ski testeru s vybranými polymery
4. Navrhněte změny v metodě měření a její doplnění
5. Závěrem zhodnoťte dosažené výsledky

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

- (1) I.FRANTA : Zpracování kaučukových směsí a vlastnosti pryže, SNTL Praha 1969
- (2) B.MEISSNER, V.ZILVAR : Fyzika polymerů, SNTL Praha 1987
- (3) P.BLAŠKOVIČ, J.BALLA, M.DZIMKO : Tribologia, SNTL Bratislava 1975
- (4) D.F.MOORE :The friction and lubrication of elastomeres,Pergamon press Oxford 1972

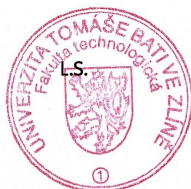
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Zdeněk Dvořák, CSc.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **19. února 2008**

Termín odevzdání bakalářské práce: **6. června 2008**

dne


doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan




doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Má bakalářská práce se zabývá studiem tření mezi polymerními materiály, jejich součinitelem tření a následným ověřením metody měření dynamického součinitele tření.

Prověření metody měření bylo provedeno u vybraných polymerních vzorků na zařízení nazývaném „Skid tester“. Veškeré výsledky byla zhodnoceny a zaznamenány.

Klíčová slova: tření, dynamický součinitel tření, polymer

ABSTRACT

My bachelor theses deals with study of friction between (among) polymeric materials, their coefficient of friction and subsequent check the method measuring dynamic coefficient of friction.

Verification of measuring method was implemented on chozen polymeric exhibits on device called "Skid tester". All results were estimated and registrated.

Keywords: fiction, dynamic coefficient fricion, polymer

Poděkování

Touto cestou dekuji svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Zdeňku Dvořákovi, CSc., za odborné vedení, pomoc při hledání materiálů, připomínky, cenné rady a čas, který mi věnoval při tvorbě bakalářské práce.

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 TŘENÍ JAKO FYZIKÁLNÍ FENOMÉN	10
1.1 GEOMETRIE POVRCHU TŘECÍCH TĚLES.....	10
1.2 TRIBOLOGIE.....	10
1.2.1 Opotřebením.....	11
1.2.2 Mazání.....	11
2 DRUHY TŘENÍ	12
2.1 DĚLENÍ PODLE MÍSTA PŮSOBENÍ TŘECÍCH SIL.....	12
2.1.1 Vnější tření.....	12
2.1.2 Vnitřní tření.....	12
2.2 DĚLENÍ PODLE SKUPENSTVÍ KONTAKTNÍCH PLOCH	13
2.2.1 Tuhá tělesa.....	13
2.2.2 Kapalná tělesa	13
2.2.3 Plynná tělesa.....	13
2.2.4 Plazmatická tělesa	13
2.3 DĚLENÍ PODLE DRUHU POHYBU	14
2.3.1 Smykové třené.....	14
2.3.2 Klidové tření (statické tření)	15
2.3.3 Valivé třené (valivý odpor)	17
3 TŘENÍ V DYNAMICKÝCH PODMÍNKÁCH	19
3.1 POHYBOVÉ ZÁKONY	19
4 TŘENÍ POLYMERŮ	21
II PRAKTICKÁ ČÁST	23
5 CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	24
6 ODVOZENÍ VZTAHŮ	25
7 PŘÍPRAVA VZORKŮ	30
7.1 LISOVÁNÍ.....	31
7.2 ÚPRAVY VÝLISKU.....	33
7.2.1 Vysekávání.....	33
7.2.2 Vrtání.....	33
8 TESTOVÁNÍ VZORKU NA SKID TESTERU	35
8.1 SKID TESTER.....	35
8.2 PRŮBĚH TESTOVÁNÍ.....	35
8.2.1 Obrobení kovová podložky - frézování.....	37
9 VYPOČTENÉ HODNOTY	43
10 NÁVRH ZMĚNY TVARU VZORKU	51

DISKUZE	52
ZÁVĚR	53
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	54
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	55
SEZNAM OBRÁZKŮ	56
SEZNAM TABULEK.....	57
SEZNAM PŘÍLOH.....	58

ÚVOD

Tření patří mezi nejstarší fyzikální jevy a nachází se všude kolem nás. Někdy si jej ani neuvědomujeme, jindy ho požadujeme, nebo tolerujeme, avšak v největší míře je tření nežádoucí jev. Vzniká nejčastěji mezi dvěma povrchy libovolných těles, při pohybu alespoň jednoho z nich. V bakalářské práci se dále dozvíme další možností a příčiny jeho vzniku.

Problematika tření je úzce spjata s problematikou opotřebení a jeho zamezení pomocí maziv. Opotřebení má nežádoucí význam jak z technického hlediska tak pro mnoho firem i z ekonomického hlediska. Proto je velice důležité zvolit vhodný materiál při výrobě strojů nástrojů a i výrobků. Pokud by materiál nevyhovoval, snáze by došlo k opotřebení namáhané části nástroje popřípadě části stroje a musela by se poškozená část nahradit. Také u samotného výrobku, pokud by u něj docházelo k zatěžujícímu tření, je třeba dobře zvolit materiál.

Jak už bylo řečeno, tření vzniká mezi dvěma libovolnými povrchy. Může se jednat o jakékoliv skupenství, ale nejčastěji se zabýváme třením mezi pevnými látkami. V této bakalářské práci se jedná konkrétněji o tření mezi polymerními materiály. Z nich se vyrábí stále více a více výrobků. Můžeme je naléznout v dopravním průmyslu, zemědělství, strojírenství ale i v domácnosti jako části elektrických spotřebičů nebo hračky.

O tření a problematice s ním spjaté bylo již napsáno mnoho publikací. Většina z nich je cizojazyčná. Názory se od pradávna vyvíjely a ještě stále se zdokonalují.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TŘENÍ JAKO FYZIKÁLNÍ FENOMÉN

Tření je přírodní jev, vznikající při kontaktu plochy pohybujícího se tělesa s plochou jiného tělesa. Druhé těleso je většinou v klidu, ale může se i pohybovat.

Tento jev provází člověka od pradávna až do dnešní doby, aniž by si to možná uvědomoval. Můžeme jej rozdělit na žádoucí a na nežádoucí jev. Jako žádoucí jev si můžeme vybavit prvotní rozdělování ohně pomocí dvou dřívek a v dnešní době je využíván například při brzdách. Tření jako nežádoucí jev můžeme nalézt v technické praxi u ozubených soukolí, při styku pístu s válcem anebo úplně v každodenním životě při opotřebovávání pneumatik.

Tření lze měřit podle toho, jak se projevují jeho účinky:

Síla - vyskytuje se v místě, kde se tělesa při pohybu dotýkají

Moment - nalezneme ho pouze u rotačního pohybu při doteku těles

Proces - mechanická práce (třecí energie, třecí práce) přechází na jiné formy energie (především na teplo).

1.1 Geometrie povrchu třecích těles

Mezi dotýkajícími se tělesy při tření vzniká na povrchu tělesa opotřebení materiálu. Jeho intenzita je v každé vrstvě různá. Kvalita povrchu třecího tělesa musí mít geometrické, chemické, fyzikální a i další vlastnosti, aby těleso splňovalo svoji danou funkci. Ne však vždy je to technicky možné a někdy to není ani z technologického hlediska potřebné.

1.2 Tribologie

Tribologie, je věda o vzájemném působení povrchů při jejich relativním pohybu. Mezi prvky zkoumání patří tření a s ním úzce spjata opotřebení a mazání.

1.2.1 Opotřebenění

Opotřebenění je proces úbytku materiálu z povrchu jednoho anebo dvou kontaktních povrchů tuhých těles, probíhající při všech druzích jejich relativních pohybů.

Je to nežádoucí jev, kterým je zapříčiněna změna povrchu tělesa a případně i jeho rozměrů. Napomoci opotřebenění může nejen pohyb těles, ale i další vlivy jako jsou například chemické, elektrické, elektrochemické. Opotřebenění je trvalý jev, ale můžeme mu předejít pomocí mazání.

1.2.2 Mazání

Mazání, je stejně důležitý tribologický proces jako opotřebenění a tření. Na viskozitě maziva a na rychlosti pohyblivých částí závisí výsledná třecí síla. Všeobecně čím je rychlost pohybu vyšší, tím je třecí síla nižší a naopak. Maziva mohou být ve stavu tuhém, plastickém, kapalném, plynném.

2 DRUHY TŘENÍ

Tření lze dělit z více hledisek a postupem času se každá teorie o tření vyvíjela.

Nejčastěji tření dělíme podle:

- místa působení třecích sil
- skupenství kontaktních ploch
- druhu pohybu

2.1 Dělení podle místa působení třecích sil

2.1.1 Vnější tření

Vnější tření vzniká mezi dvěma tělesy, přičemž se alespoň jedno se pohybuje. Je to známější jev než vnitřní tření a lze u něj pozorovat opotřebení, které můžeme částečně ovlivnit mazáním

2.1.2 Vnitřní tření

K vnitřnímu tření dochází uvnitř látky. Toto tření se projevuje například u reálných kapalin. Vnitřní tření charakterizuje fyzikální veličina, která se nazývá viskozita.

Toto tření se neprojevuje jen u reálných kapalin, ale nalezneme jej i u pevných látek. Projevuje se změnou elastických vlastností látky. Například můžeme tento jev pozorovat u pružiny. Pokud na rozkmitanou pružinu nepůsobí žádný, odpor prostředí nemělo by se její kmitání utlumit, ale díky vnitřnímu tření se kmity pružiny utlumují, až k postupnému zastaví kmitů.

2.2 Dělení podle skupenství kontaktních ploch

2.2.1 Tuhá tělesa

Tření mezi tuhými tělesy je nejznámější. K tření dochází mezi dvěma pevnými látkami, přičemž se alespoň jedno těleso pohybuje. Může to být mezi kovy, plasty, keramikou a dalšími látkami. Samozřejmě nemusí docházet ke tření jen mezi kovem a kovem, ale může dojít ke kombinaci tuhých povrchů např. kov a plast, dřevo a plast a další. Tření mezi pevnou látkou a kapalinou nebo pevnou látkou a plynou se označuje jako odpor prostředí.

2.2.2 Kapalná tělesa

Při povrchovém tření má kontaktní vrstva vlastnosti kapaliny (led). U kapalných látek probíhá spíše vnitřní tření, které na povrchu látky nepozorujeme. Čím je kapalina viskóznější tím je vnitřní tření intenzivnější.

2.2.3 Plynná tělesa

Plynné tření je velice podobné tření mezi kapalnými tělesy. Kontaktní vrstva má vlastnosti plynu.

2.2.4 Plazmatická tělesa

Třecí proces má vlastnosti vysoce ionizovaného plynu.

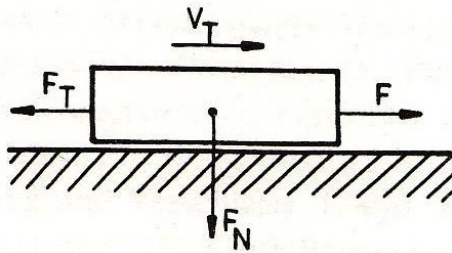
2.3 Dělení podle druhu pohybu

2.3.1 Smykové tření

Smykové tření je tření, které vzniká mezi povrchy těles při jejich posuvném pohybu.

Vědecké práce o tomto přírodním jevu máme již od počátku 15. století. Jako první ho popsal Leonardo da Vinci a poté se vyvíjely navazující teorie až do dnešní doby.

Při tření mezi dvěma tělesy vzniká třecí síla, která vyjadřuje velikost a směr tření. Třecí síla je vždy orientována opačně ke směru pohybu.



Obr. 1. Tření formou třecí síly F_T

Můžeme ji vyjádřit: $F_T = f \cdot F_N$

f [-] ...součinitel smykového tření

F_N [N] ...je normálová síla, která je kolmá na těleso (např. hmotnost tělesa)

Třecí síla má základní jednotku newton. Značíme N

Její velikost závisí na :

a)kvalitě povrchu obou těles-čím je hladší povrch tím je třecí síla menší, u drsných povrchů je třecí síla větší

b) normálové (přítlačné) síle-je to síla, která tlačí oba povrchy kolmo k sobě. čím je přítlačná síla větší tím je i třecí síla větší a naopak

Součinitel smykového tření

Je to bezrozměrná veličina, která se nejčastěji značí f a nebo μ . Můžeme ji vyjádřit jako poměr třecí síly a kolmé tlakové síly mezi tělesy při smykovém tření.

Velikost smykového tření můžeme zjistit výpočtem a nebo experimentálně. Záleží na

Tab. 1. Příklady hodnot součinitele smykového tření

Rozhraní	Součinitel tření
Ocel – ocel	0,1
Ocel – dřevo	0,35
Dřevo – dřevo	0,3
Ocel – led	0,027
Dřevo – led	0,035

2.3.2 Klidové tření (statické tření)

Klidové tření je speciální případ smykového tření. Je to tření, které vzniká mezi dvěma nebo více vzájemně se nepohybujícími se tělesy.

Klidová třecí síla: $F_T = f_O \cdot F_N$

$f_0[-]$...součinitel klidového tření

$F_N[N]$...je normálová síla, která je kolmá na těleso (např. hmotnost tělesa)

Klidová třecí síla F_T má základní jednotku newton. Značíme N

Součinitel klidového tření

Je to bezrozměrná veličina, která se nejčastěji značí f_0 a nebo μ_0 . Můžeme ji vyjádřit jako poměr třecí síly a kolmé tlakové síly mezi tělesy při klidovém tření.

Velikost klidového tření můžeme zjistit výpočtem anebo experimentálně. Záleží na povrchu konkrétní dvojice látek, mezi kterými je klidové tření.

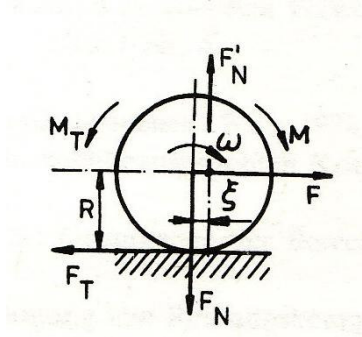
Součinitel klidového tření bývá větší než součinitel smykového tření pro stejná tělesa.

Tab. 2. Příklady hodnot součinitele klidového tření

Rozhraní	Součinitel tření
Ocel – ocel	0,15
Ocel – dřevo	0,65
Guma – led	0,15
Guma – mokrý asfalt	0,35
Guma – suchý asfalt	0,55

2.3.3 Valivé tření (valivý odpor)

Valivé tření je tření, které vzniká mezi tělesem kruhového průřezu při jeho valivém pohybu a druhým libovolným tělesem.



Obr. 2. Valivé tření

Velikost valivého tření: $F_T = \xi \cdot \frac{F_N}{R}$

$\xi[m]$...rameno valivého odporu (ksí)

$F_N[N]$...je normálová síla, která je kolmá na těleso (např. hmotnost tělesa)

$R[m]$...poloměr průřezu tělesa

Jednotka třecí síla F_T je newton, značí se N. Její velikost, je pro stejnou přítláčnou sílu F_N výrazně menší než při smykovém tření. Dokonce v některých případech může třecí síla při valivém tření představovat $\frac{1}{10}$ až $\frac{1}{20}$ hodnoty třecí síly při smykovém tření.

Stejně jako u smykového tření i u valivého tření rozlišujeme dvě jeho složky, a to adhezní a deformační složku.

Rameno valivého odporu (součinitel valivého tření)

Rameno valivého odporu (součinitel valivého tření) je fyzikální veličina, která se značí ξ (ksí). Udává poměr velikosti valivého odporu a kolmé tlakové síly mezi tělesy (např. podložkou a kolem) při jednotkovém poloměru kola.

Hodnoty ramena valivého odporu závisí na konkrétní dvojici látek těles, mezi kterými je valivý odpor.

Tab. 3. Příklady hodnot součinitele valivého tření

Rozhraní	Součinitel tření
Dřevo – dřevo	0,0008 m
Ocel – ocel	0,00003 m
Gumové kolo – asfalt	0,0016 m
Ocelové kolo - kolejnice	0,0005 m

3 TŘENÍ V DYNAMICKÝCH PODMÍNKÁCH

Třecí proces je tvořen dvěma částmi – statickou a dynamickou

Statická část - zabývá se silami, které působí na těleso v dané soustavě a rovnováhou těchto sil

Dynamická část – zabývá se pohybem hmotných bonů a těles při působení sil, které nemusí být v rovnováze a setrvačnými vlastnostmi

3.1 Pohybové zákony

Jsou to základní zákony platné pro podmínky pohybu a byly vyjádřeny anglickým fyzikem Isaacem Newtonem. Vycházejí z myšlenek a pokusů italského fyzika Galilea Galileiho a holandského fyzika Christiana Huygense

Zákon setrvačnosti - první pohybový zákon

Každé těleso setrvává ve stavu klidu nebo rovnoměrného přímočarého pohybu, pokud není nuceno vnějšími silami tento svůj stav změnit.(citace z literatury č.3)

Zákon síly - druhý pohybový zákon

Působí-li na těleso síla (F), udělí mu vždy určité zrychlení (zpoždění) a, které je přímo úměrné hmotnosti tělesa (m). Tato síla se nazývá zrychlující(brzdící) a je rovna součinu hmotnosti tělesa a jeho zrychlení(zpoždění). (citace z literatury č.3)

$$F = m \cdot a$$

Zákon akce a reakce – třetí pohybový zákon

Neznáme-li sílu, jejíž jedno těleso působí na druhé, *akce* a sílu, jíž naopak druhé těleso působí na první, *reakce*, platí tento zákon:

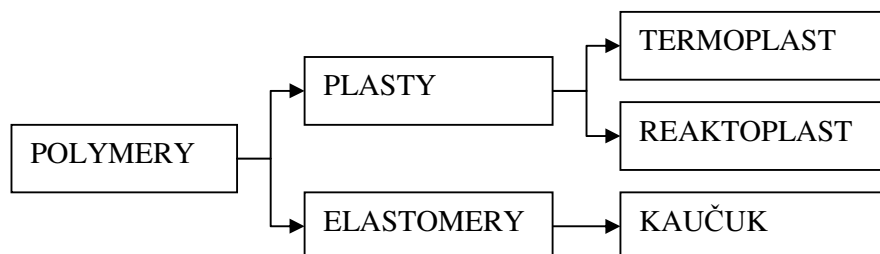
Každí akce způsobuje vždy stejně velkou reakci opačného smyslu, tj. sílu stejné velikosti, stejného směru, ale opačného smyslu (opačné orientace). (citace z literatury č.3)

4 TŘENÍ POLYMERŮ

Polymer

Polymer je organická sloučenina, tvořená velkým množstvím molekul atomu uhlíku C (nebo boru B, či křemíku S), které jsou vzájemně spojeny kovalentní vazbou do dlouhých ohebných řetězců = makromolekul

Polymery nalezneme většinou v tuhém stavu, výjimečně v kapalném. Nikdy se nevyskytují v plynném skupenství.



Obr. 3. Dělení polymerních látek

Polymerní látky mají na rozdíl od kovových materiálů a keramiky specifické vlastnosti pro využití u kluzných kontaktů. Jsou to například odolnost proti některým chemikáliím, schopnost mazání při vysokých teplotách (např. u PTFE) nebo nízký modul pružnosti.

Také jejich cenová dostupnost je dobrá. V současnosti se používají na výrobu těsnění, pneumatik, součástí převodovek a mnohá další využití.

Termoplasty

Termoplasty jsou plasty, které jsou za normální pokojové teploty tuhé. Pokud dojde k zvýšení teploty, přecházejí ze stavu tuhého do stavu plastického (měkne, taje). V tomto stavu jsou snadno tvárné. Při vytvoření požadovaného tvaru je ochladíme a tím docílíme

ztuhnutí a zachování si žádaného tvaru. Změnu tvaru vlivem teploty můžeme vícekrát opakovat. Mezi termoplasty patří např. polyetylen PE, polypropylen PP, polyvinylchlorid PVC.

Termoplasty s vyšší kohezní energií jsou konstrukční materiály, které se používají při výrobě ložisek a převodů. Termoplasty s nižší kohezní energií mají dobré samomazné vlastnosti.

Reaktoplasty

Jsou to plasty, které po prvním zahřátí přecházejí do plastického stavu a lze je tvářet. Zvýšením teploty, nebo opětovným ohřevem sít'ují (vytvrzují) a materiál ztuhne a zachová tvar. Po tomto ze sít'ování se stávají nerozpustné a netavitelné. Dalším ohřevem je nelze převést do plastického stavu. V případě dlouhodobého ohřevu, nebo velkého zvýšení teploty dojde k termické deformaci (tepelný rozklad).

Nejčastěji jsou využívány v případech, kde se vyžaduje vysoký modul pružnosti vysoká tvrdost polymeru, nebo se vyskytují vysoké teploty okolního prostředí.

Elastomery

Elastomery se dají ve svém kaučukovitém stavu natáhnout nejméně na trojnásobnou délku a po uvolnění tahové síly se vrátí skoro do původního stavu. Je to jediný materiál, který je toho schopný. Přesto je tato vlastnost spíše na škodu, protože kaučuk teče. Nebo-li i v nezátíženém stavu mění svůj tvar. Proto za pomoci vulkanizačních činidel, kaučuky sít'ujeme (vulkanizujeme). Můžeme naleznout však i takové elastomery, které nevyžadují sít'ování. Nazývají se termoplastické elastomery.

Vulkanizované kaučuky dostaly název guma. Nejvíce se používá v automobilovém průmyslu na výrobu pneumatik. Dále pak se využívá, když vzniká erozivní opotřebení.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

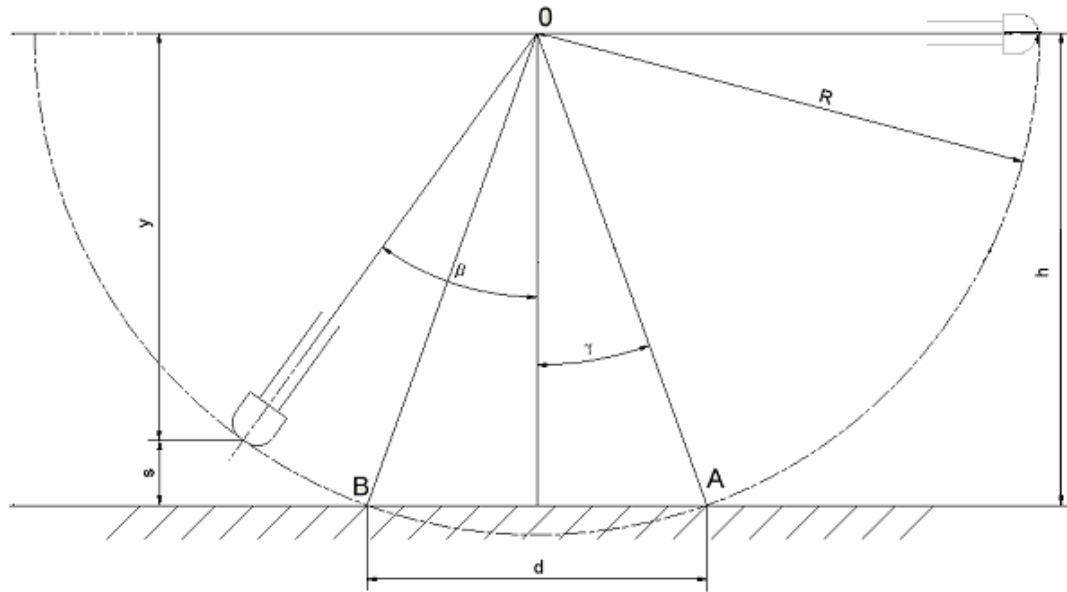
5 CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

S třením a s otázkami z tribologie se setkáváme jak v běžném životě, tak především v technické praxi. Tření nám přináší problémy a je nutné je řešit. V našem případě nám k řešení problému pomohlo zařízení zvané Skid tester, za pomoci kterého byl zjištěn součinitel tření. Na stupnici Skid testeru byla zjištěna energie vzniklou při tření. Při doplnění energetické bilance a dalších výpočtů byl získán součinitel tření.

Skid tester je principiálně jednoduché zařízení a při testování byly objeveny nedostatky. Již při samotném měření bylo zjištěno, že z technického hlediska není provedení zcela bezchybné. Veškeré údaje byly vyhodnoceny a byla navržena změna která odstraní případné chyby při měření.

6 ODVOZENÍ VZTAHŮ

Pro zjištění koeficientu tření je využitý zákon o zachování energie. Pro lepší názornost je princip Skid testeru znázorněn graficky.



Obr. 4. princip Skid testeru

R - poloměr ramene kyvadla

h - výška vzorku v počáteční fázi

s - výška závaží v koncové fázi

d - dráha tření vzorku po podložce

y – rozdíl mezi výškou polohy ramene na počátku a konci kyvu

Vzorek námi zvolené kaučukové směsi má ve výšce h nad stolem energii:

$$E_1 = m \cdot g \cdot h$$

Po uvolnění se dostane po kruhové dráze do bodu A dotyku s měrným materiálem. Zde vlivem tření po rovné dráze d , spotřebuje energii třením:

$$E_t = m \cdot g \cdot d = T \cdot d$$

Po opuštění této dráhy dojde ke zpožděnému pohybu a tím spotřebováním energie:

$$E_2 = m \cdot g \cdot s,$$

s toho nám vyplývá :

$$\begin{aligned} E_1 &= E_t + E_2 \\ m \cdot g \cdot h &= m \cdot g \cdot d + m \cdot g \cdot s \\ m \cdot g \cdot h &= T \cdot d + m \cdot g \cdot s \\ T \cdot d &= m \cdot g \cdot h - m \cdot g \cdot s \end{aligned}$$

z toho vyplývá třecí síla T :

$$T = \frac{m \cdot g \cdot (h - s)}{d}$$

$$T = N \cdot f = m \cdot g \cdot f$$

$$m \cdot g \cdot f = \frac{m \cdot g \cdot (h - s)}{d}$$

pak součinitel smykového tření :

$$f = \frac{m \cdot g \cdot (h - s)}{m \cdot g \cdot d} = \frac{h - s}{d}$$

Příklad výpočtu součinitele tření f ,

kdy kyvadlo bylo umístěno do polohy $h = 500\text{mm}$ od vodorovné podložky, poloměr ramene $R = 500\text{mm}$ a z deseti naměřených poloh y vyhouplého kyvadla byla vypočítána střední hodnota $y = 91,5$. Změřená ztrátová výška byla zjištěna 50mm .

$$s = h - y = 500 - 91,5 = 408,5\text{mm}$$

od hodnoty s musíme ještě odečíst změřenou ztrátovou výšku

$$408,5 - 50 = 358,5\text{mm}$$

po dosazení vypočítaných hodnot do vztahu pro výpočet součinitele tření pak

$$f = \frac{h - s}{d} = \frac{0,5 - 0,3585}{0,1} = \underline{\underline{0,415}}$$

Pro výpočet je možné použít i úhly. Obecný postup výpočtu:

$$\cos \alpha = \frac{x}{R} \Rightarrow x = R \cdot \cos \alpha; \quad h = H - x = H - R \cdot \cos \alpha$$

$$\cos \beta = \frac{y}{R} \Rightarrow y = R \cdot \cos \beta; \quad s = H - y = H - R \cdot \cos \beta$$

$$\sin \gamma = \frac{\frac{d}{2}}{R} \Rightarrow \frac{d}{2} = R \cdot \sin \gamma \Rightarrow d = 2R \sin \gamma$$

$$f = \frac{mgh - mgs}{mgd} = \frac{mg(h - s)}{mgd} = \underline{\underline{\frac{h - s}{d}}}$$

dosazením za h , s a d a výpočtem součinitele tření pomocí úhlů je stanoven :

$$f = \frac{(H - R \cdot \cos \alpha) - (H - R \cdot \cos \beta)}{2R \cdot \sin \gamma} = \frac{H - R \cdot \cos \alpha - H + R \cdot \cos \beta}{2R \cdot \sin \gamma} = \frac{R(\cos \beta - \cos \alpha)}{2R \cdot \sin \gamma}$$

$$f = \frac{\cos \beta - \cos \alpha}{2 \cdot \sin \gamma}$$

Pro výpočet byl zvolen výpočet pomocí výšek h a s , protože úhly získáváme ze změřených či zadaných délek a z důvodu zaokrouhlování by hodnoty nebyly tak přesné.

Pro zajímavost jsme si obecně odvodili rychlost na začátku dotyku kyvadla s podložkou v_1 a při opuštění kyvadla podložku v_2 .

V bodě 1 má kyvadlo energii:

$$E_1 = \frac{1}{2}mv_1^2 = mgh \Rightarrow v_1^2$$

a rychlost při styku kyvadla s podložkou tedy je

$$v_1^2 = \frac{2 \cdot mgh}{m} = 2gh \Rightarrow \underline{\underline{v_1 = \sqrt{2gh}}}$$

Pro bod 2, což je bod kdy kyvadlo opouští podložku, v_1 spočítáme následně:

$$T \cdot d = N \cdot f \cdot d = mgfd = E_t$$

$$E_t = mgfd$$

$$E_1 = \frac{1}{2}mv_1^2$$

$$E_t = E_1$$

dosadím za E_t a E_1

$$mgfd = \frac{1}{2}mv_1^2$$

$$\text{přičemž: } a = \frac{v_2^2}{2d} \Rightarrow d = \frac{v_2^2}{2a}$$

$a \dots$ zrychlení

takže

$$mgf \frac{v_2^2}{2a} = \frac{1}{2}mv_1^2 \Rightarrow v_2^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{mv_1^2 2a}{mgf} = \frac{v_1^2 a}{gf}$$

$$\underline{\underline{v_2 = \sqrt{\frac{v_1^2 a}{gf}}}}$$

Hodnoty stanovené výpočtem jsou uvedeny v kapitole 9.

7 PŘÍPRAVA VZORKŮ

Vzorky byly připraveny z šesti různých druhů kaučuku. Liší se od sebe svými vlastnostmi a to nejen při tření, ale taky při kontaktu s chemikáliemi či při změně teploty. Od každého druhu kaučuku bylo vyrobeno patnáct vzorků. V případě, kdyby zvolené množství vyrobených vzorků nestačilo, byla možnost vyrobit si další vzorky ze zbylých pásů kaučuku, dle naší potřeby. Této možnosti nebylo využili. Prvotně zvolené množství na testování stačilo.

Aby dosáhl zvolený elastomer námi požadovaného tvaru, museli být použita tvářecí metoda lisování a následně byly vzorky do upravení stříháním.



Obr. 5. Pláty kaučukové směsy

7.1 Lisování

Počátky lisování se datují od posledních desetiletí 19.století. Při lisování se polymerní hmota tváří účinkem tlaku za pokojové nebo zvýšené teploty. Tvar výlisku je dán dutinou formy. Ta se skládá ze dvou částí - tvárníkem a tvárnici. Tvárnice většinou udává komplexní tvar výrobku a tvárník působí tlakem na hmotu a většinou udává tvar jedné ploše výrobku, nebo tvoří dutinu výrobku.

K lisování byl pořízen vulkanizační etážový lis 400x400 s hydraulickým pohonem a elektricky vytápěný.



Obr. 6. Vulkanizační etážový lis 400x400 s hydraulickým pohonem

Ještě než dojde k samotnému lisování, musí si z vyválcovaného plátu kaučukové směsi vystříhnout nálož. Je to kus směsi, která byla vkládána do lisu a následně tvářena v požadovaný tvar. Jelikož výsledný výlisek měl mít čtvercový tvar o zvolené tloušťce, byl velmi jednoduše vystřížen ze zvolené kaučukové směsi přibližně totožný tvar a podle váhy přidány menší kousky tak, aby nevznikly na výlisku velké přetoky, a nebo někde materiál nechyběl.

V této chvíli byly již připravené nálože na vložení do lisovací formy, ale ještě než tak bylo učinili, musela být daná forma předeřhřát na vulkanizační teplotu. V našem případě byla lisovací forma vytemperována na požadovanou teplotu 160 °C . Dosažení této teploty trvalo asi tři hodiny.

Těsně předtím než byla vložena nálož, byla provedena kontrola, zda forma byla řádně očištěna po předešlém lisování a bylo na formu nanášeno emulzní separační činidlo, aby se nám vzniklý výlisek dobře odděloval od formy. Vkládání nálože a uzavírání formy musí proběhnout rychle, aby nedošlo k povrchovému navulkanizování nálože. Kdyby bylo vkládání pomalé, zhoršily by se tokové vlastnosti směsi a mohlo by dojít k neúplnému zaplnění formy a vzniklý výlisek by byl nekvalitní.

Při samotném lisování se tvářicí hmota důsledkem teploty převádí do plastického stavu. Na ohřevu lisovaného materiálu se podílí teplota z vyhřáté formy, teplo vzniklé přímou přeměnou mechanické energie při stlačování a teplo uvolněné při probíhajících chemických reakcích. Je-li hmota již plně v plastickém stavu nastává samotný proces tváření uskutečněný tečením materiálu. Tečení nastává důsledkem působení vnějších sil, jejichž vlivem je hmota deformována do všech dutin zvolené formy. Po kompletním vyplnění formy dojde k ustálení materiálu. To nastává důsledkem chemické změny (vulkanizace, vytvrzení) nebo fyzikální změnou (ochlazení) lisované hmoty. Až po ustálení výlisku ho lze vyjmout z formy, jinak by došlo k poškození. Samotné tváření probíhalo zhruba patnáct minut.

7.2 Úpravy výlisku

7.2.1 Vysekávání

Po vyjmutí a zchladnutí výlisku na pokojovou teplotu jsme uplatnily proces vysekávání. Na vyříznutí potřebného tvaru jsme uplatnili zařízení vysekávací stroj hydraulický. Vzorky mají na délku 76mm a na šířku 25mm. Na vylisovaný vzorek byly nejprve předkreslili dané rozměry a následně došlo k samotnému vyříznutí. Z jednoho výlisku bylo vysekáno asi pět vzorků. Kdyby se vzorky na Skid tester lepili, tak by to byla konečná úprava, ale bylo zvoleno je přišroubovat. Proto následovalo ještě vyvrtání dírek.

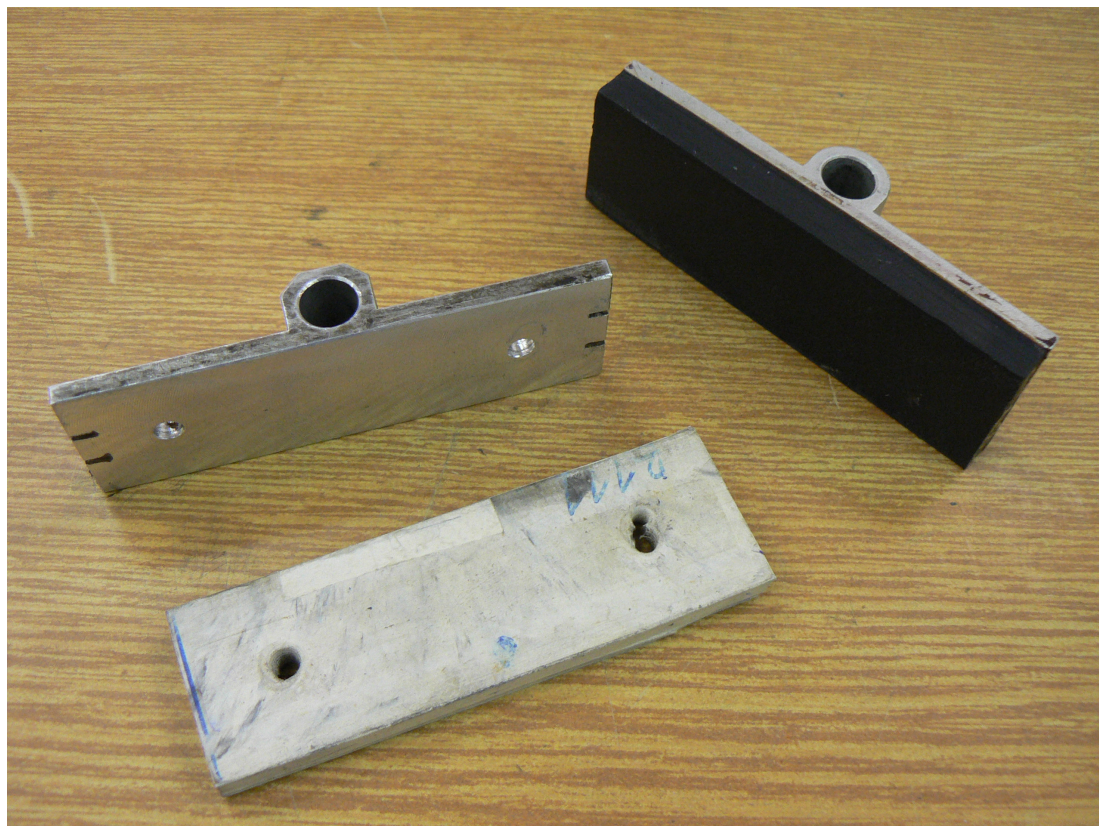


Obr. 7. Vysekávací stroj hydraulický

7.2.2 Vrtání

Za pomoci vrtáku ve vrtačce byly do vzorku vytvořili dvě dírky. Každou o průměru čtyři milimetry. Od delšího okraje byla vzdálena 12.5mm, od kratšího kraje 13mm a o

rozteči 54mm. Vyvrtání potřebných děr byla poslední úprava vzorku. Poté se už mohl hotový vzorek za pomoci šroubku a maticky připevnit ke Skid testeru.



Obr. 8. Zhotovené vzorky

8 TESTOVÁNÍ VZORKU NA SKID TESTERU

8.1 Skid tester

Testování polymerních vzorků probíhalo na Skid testeru, který nám byl zapůjčen z firmy Barum Continental, spol.s r.o. Zařízení se skládá z několika částí. Mezi na první pohled viditelné a námi nejpotřebnější patří rameno tyče s držákem na vzorek, deska na kterou upneme potřebnou destičku o kterou vzorek třeme a stupnice s ručičkou ukazující naměřenou hodnotu. Ski tester pracuje na principu Sharpyho kladiva.



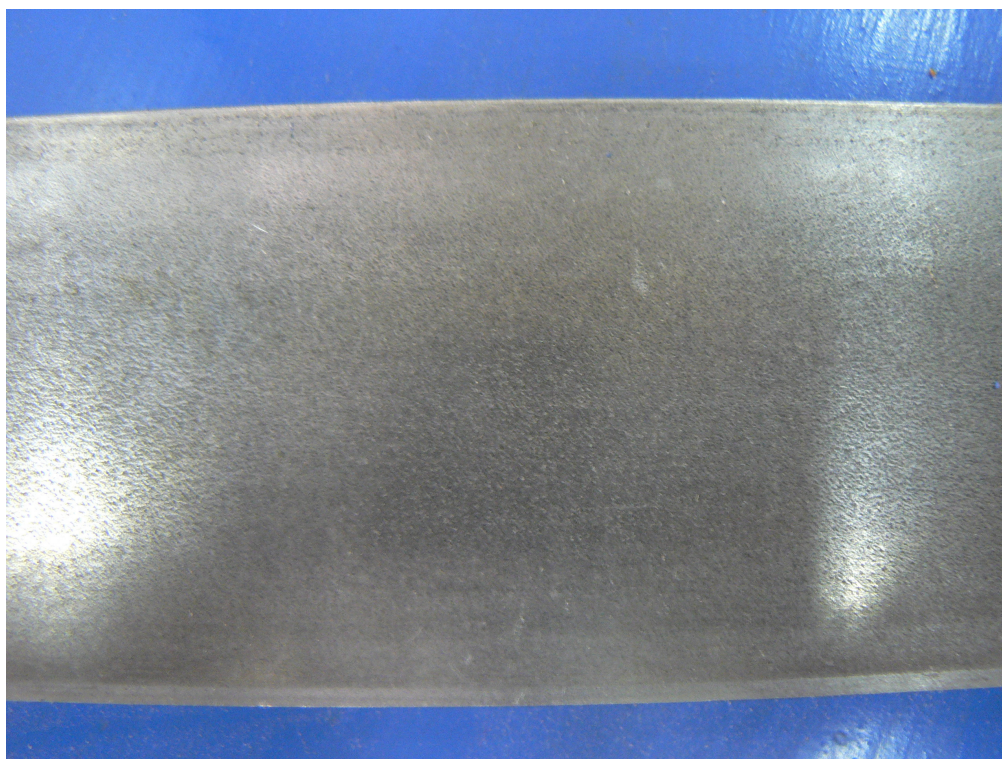
Obr. 9. Skid tester

8.2 Průběh testování

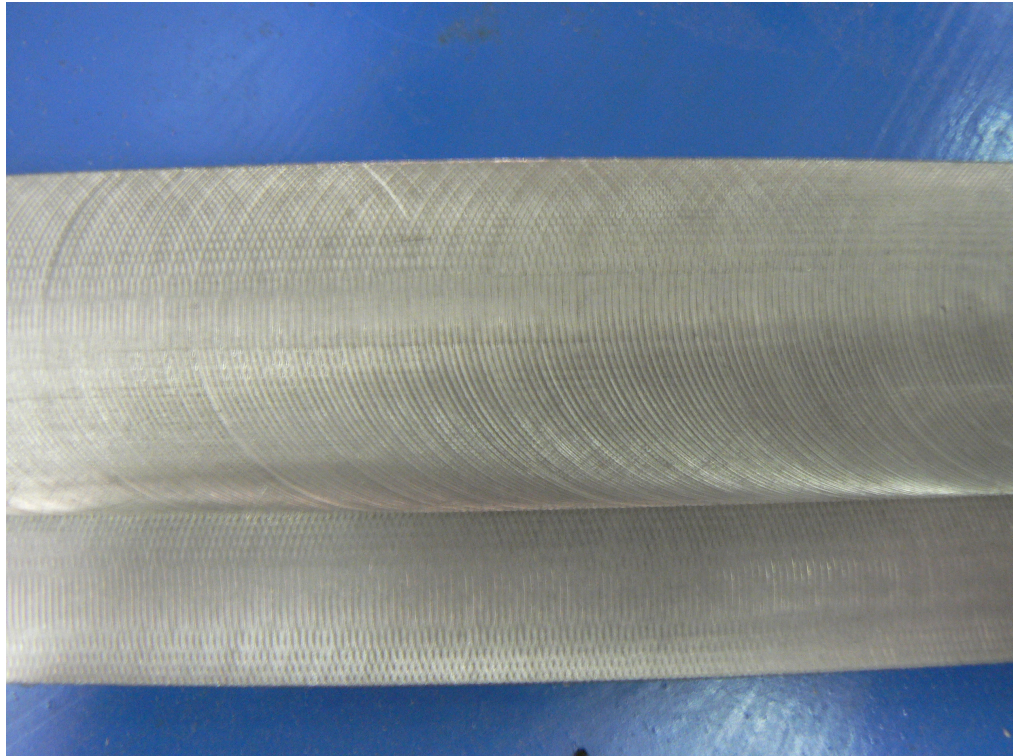
Všechny vzorky již byly vytvořené. Testovalo bylo šest druhů materiálů. U jedné konkrétní námi zvolené testovací situace byl od každého materiálů použili jeden vzorek,

který byl ze dvou nejdelších stran opotřeben o konkrétní podložku. Nejprve třikrát aniž bychom zjištěné údaje zaznamenaly a poté byl vzorek opotřeben desetkrát a každý zjištěný údaj byl zaznamenán.

Podložky byly různé. Nejprve byly vzorky testovány na kovové neopracované destičce. Poté byl za pomoci frézy zhruben její povrch a po provedení měření bylo zhrubnutí ještě jednou opakováno. Opracování povrchu bylo provedeno na univerzální fréze / FLIV – 50 PD.



Obr. 10. Neopracovaná kovová deska

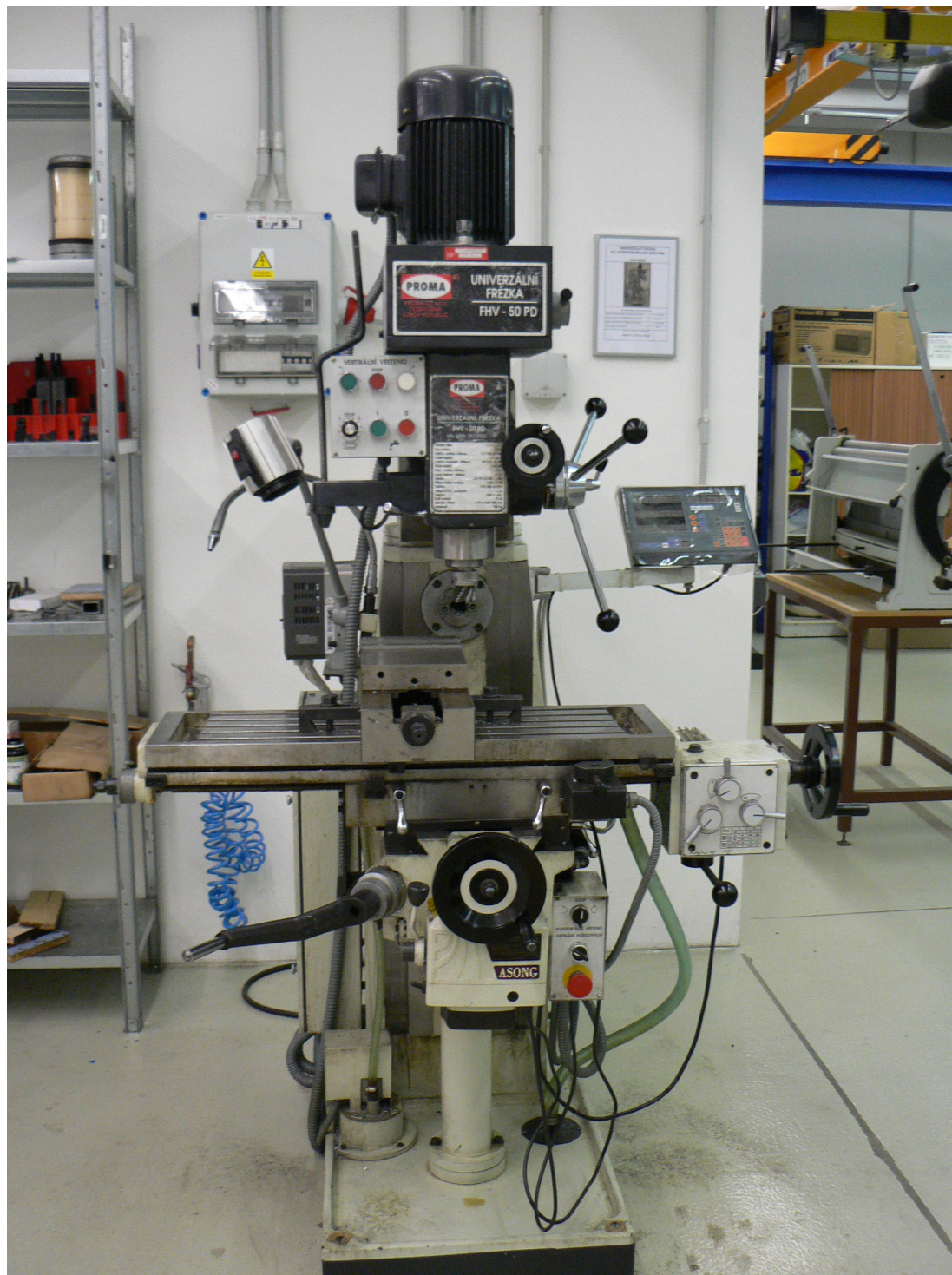


Obr. 11. Obrobená kovová deska

8.2.1 Obrobení kovová podložky - frézování

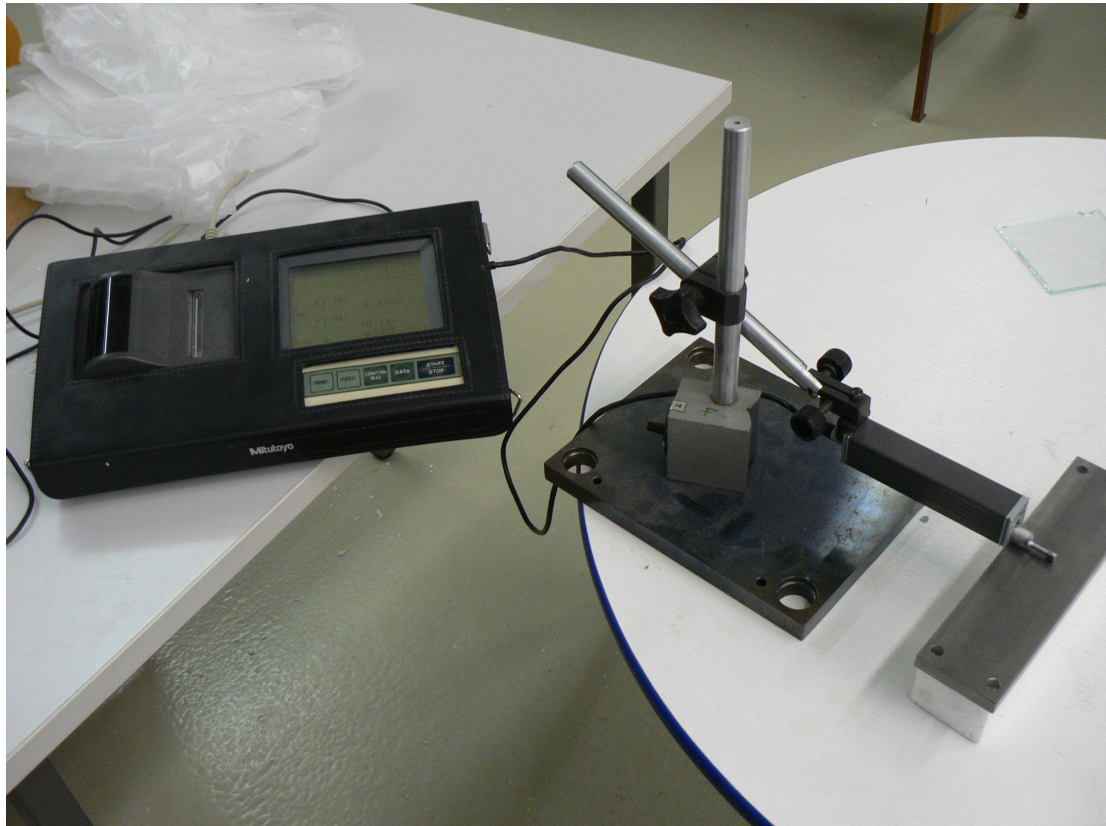
Frézování je obráběcí metoda, při níž se za pomoci břitů otáčejícího se nástroje odebrává materiál obrobku. Je velice důležité obrobek pevně připevnit do svěráku. Kdyby se tak nestalo, mohlo by dojít k nežádoucímu zranění pracovníka, nebo případně lidí náhodně se vyskytujících v blízkosti frézy. Při frézování posuv nejčastěji koná součást a to převážně v kolmém směru k ose nástroje. U moderních frézovacích strojů mohou být posuvné pohyby plynule měnitelné a je možné je provádět ve všech směrech. Řezný proces je přerušovaný a každý zub odřezává krátké třísky o proměnné tloušťce.

Z technologického hlediska, dle výběru nástroje který aplikujeme, dělíme frézování na válcové (frézování obvodem) a čelní (frézování čelem). Od těchto základních způsobů se odvozují některé další způsoby např. frézování okružní a planetové. V našem případě jsme uplatnili frézování čelní.



Obr. 12. Univerzální fréza / FLIV – 50 PD

Každá nová povrchová drsnost byla změřena a zaznamenána. Byl použit měřicí přístroj ZMR – Mitutoyo. Měření drsnosti povrchu bylo provedeno několikrát na více místech dané destičky, abychom měli kompletní představu o celém opracovaném povrchu. Ne okrajových místech měřené destičky byla drsnost lehce nižší než u středu. Změřené hodnoty byly zaznamenány a byl vytvořen jejich průměr.



Obr. 13. Měřicí přístroj ZMR - Mitutoyo

Pro další měření opotřebení byl zvolen betonový povrch. Opět postup měření zůstává stejný. Máme několik vzorků z šesti různých druhů kaučukové směsi a od každého druhu použijeme na jedno měření jeden vzorek. Každý vzorek byl nejdříve 3x opotřeben bez měření a poté bylo změřeno deset pokusů a zaznamenáno do tabulky. Všechny vzorky byly testovány na obou delších stranách.



Obr. 14. Skid tester na suchem betonovém povrchu

Jako první byl zvolen suchý betonový povrch. Po odměření potřebného množství vzorků lehce beton lehce zvlhčili obyčejnou vodou za pomoci hadry. Opět následovalo změření výsledků. Na závěr byl povrch betonu polit.



Obr. 15. Zvlhčený povrch betonu

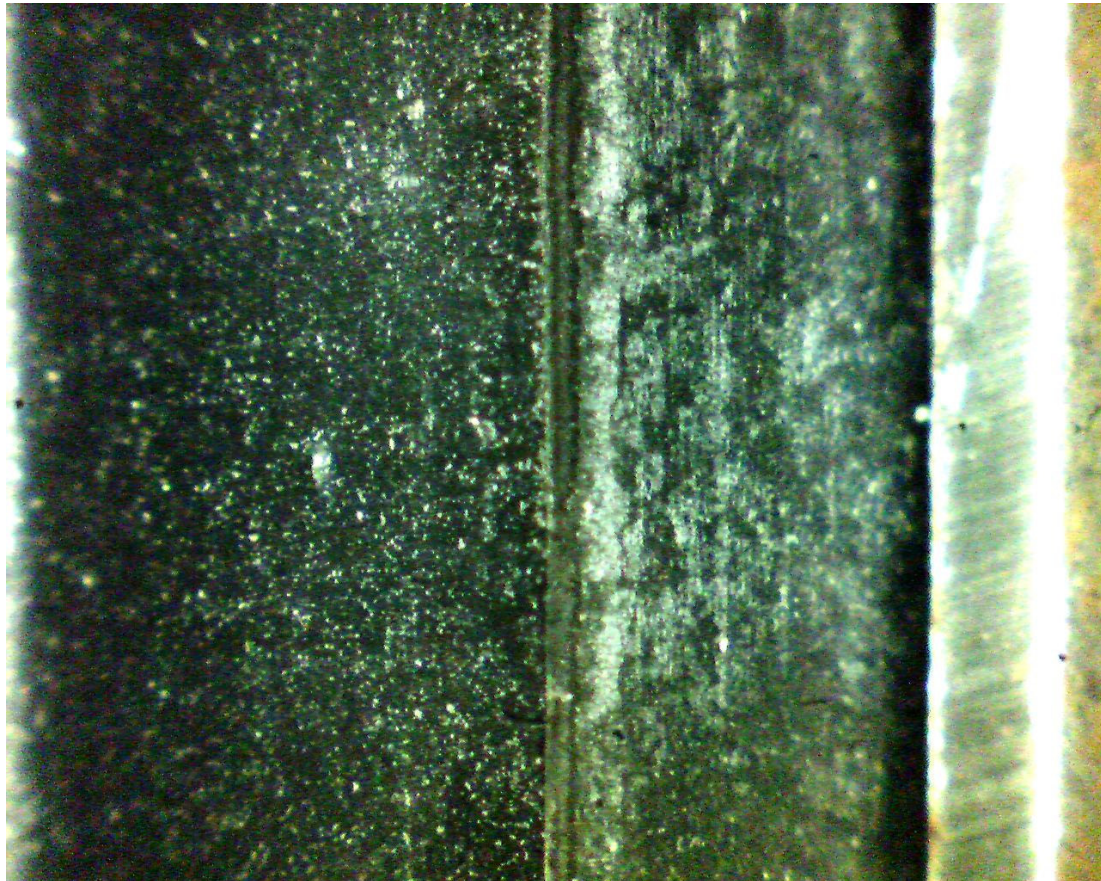


Obr. 16. Mokrý betonový povrch

Hrany opotřebených polymerních vzorků byly následně snímány vysokorychlostní kamerou. U všech opotřebených vzorků byl pořízen zvětšený obraz a je na přiloženém CD.



Obr. 17. PRESCOPE HR, Digital USB microscope



Obr. 18. Vzorek označen 4m2v1s

Každá fotka je označena čísly a písmenky.

Vysvětlení způsob označení přiložených fotek :

např. 3m6v2s

3m.....číslo zvolené situace (třetí měření – nejpracovanější povrch kovové desky)

6v.....číslo vzorku (šestý vzorek)

2s.....strana vzorku (druhá strana)

9 VYPOČTENÉ HODNOTY

Tab. 4. Neopracovaný povrch

		Počáteční energie E1 [J]	Konečná energie E2 [J]	Třecí energie Et [J]	Výška vyhouplého kyvadla s [m]	součinitel tření f [-]	součinitel tření střední fs [-]
1strana							
Běhounová směs	1	9,81	7,03377	2,77623	0,4085	0,415	0,43825
Běhounová směs	2	9,81	6,909183	2,900817	0,40215	0,4785	0,48675
Běhounová směs	3	9,81	6,915069	2,894931	0,40245	0,4755	0,44475
Běhounová směs	4	9,81	6,740451	3,069549	0,39355	0,5645	0,5765
Běhounová směs	5	9,81	6,685515	3,124485	0,39075	0,5925	0,66225
Běhounová směs	6	9,81	6,28821	3,52179	0,3705	0,795	0,78325
2strana							
Běhounová směs	1	9,81	6,942537	2,867463	0,40385	0,4615	
Běhounová směs	2	9,81	6,87681	2,93319	0,4005	0,495	
Běhounová směs	3	9,81	7,035732	2,774268	0,4086	0,414	
Běhounová směs	4	9,81	6,693363	3,116637	0,39115	0,5885	
Běhounová směs	5	9,81	6,411816	3,398184	0,3768	0,732	
Běhounová směs	6	9,81	6,334317	3,475683	0,37285	0,7715	

Tab. 5. Obrobený povrch (fréza)

		Počáteční energie	Konečná energie	Třecí energie	Výška vyhouplého kyvadla	součinitel tření	součinitel tření střední
		E1 [J]	E2 [J]	Et [J]	s [m]	f [-]	fs [-]
1strana							
Běhounová směs	1	9,81	6,743394	3,066606	0,3937	0,563	0,60625
Běhounová směs	2	9,81	6,776748	3,033252	0,3954	0,546	0,5635
Běhounová směs	3	9,81	6,600168	3,209832	0,3864	0,636	0,59375
Běhounová směs	4	9,81	6,58251	3,22749	0,3855	0,645	0,655
Běhounová směs	5	9,81	6,616845	3,193155	0,38725	0,6275	0,6985
Běhounová směs	6	9,81	6,81795	2,99205	0,3975	0,525	0,528
2strana							
Běhounová směs	1	9,81	6,573681	3,236319	0,38505	0,6495	
Běhounová směs	2	9,81	6,708078	3,101922	0,3919	0,581	
Běhounová směs	3	9,81	6,765957	3,044043	0,39485	0,5515	
Běhounová směs	4	9,81	6,54327	3,26673	0,3835	0,665	
Běhounová směs	5	9,81	6,338241	3,471759	0,37305	0,7695	
Běhounová směs	6	9,81	6,806178	3,003822	0,3969	0,531	

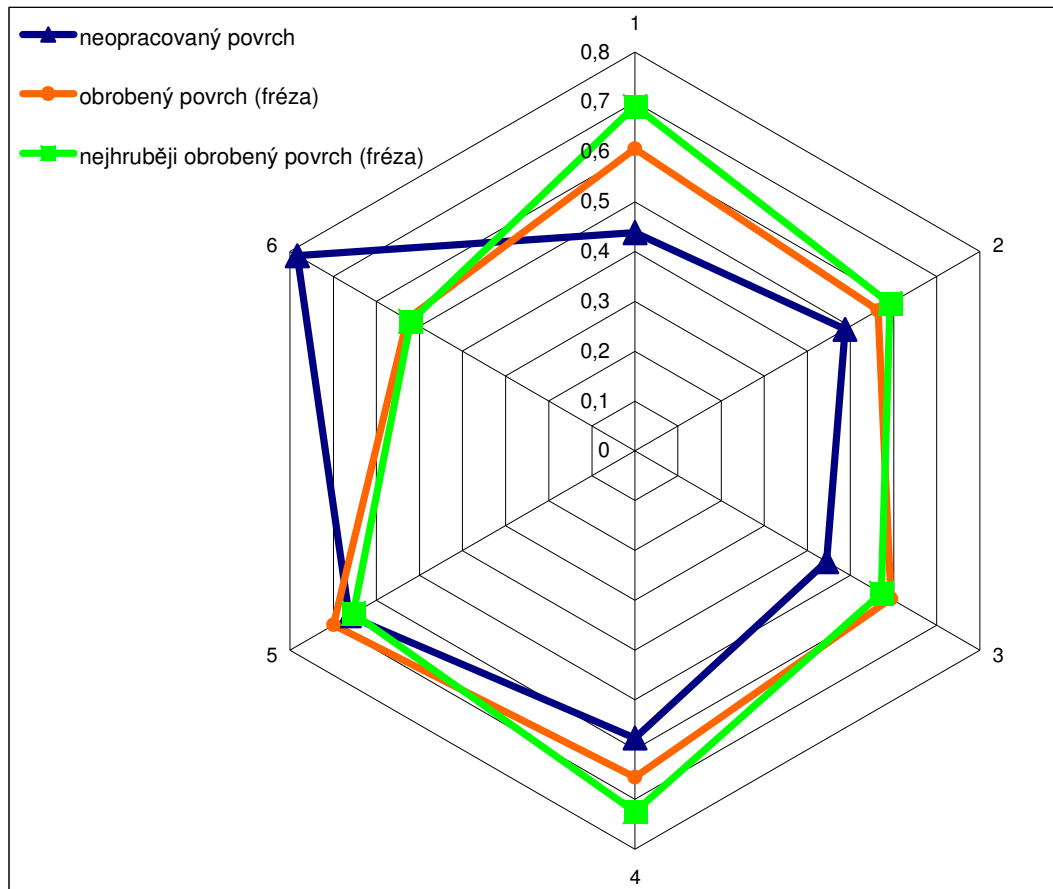
Drsnost ofrézovaného povrchu byla naměřena $Ra = 5,75 \mu\text{m}$

Tab. 6. Nejhruběji obrobený povrch (fréza)

		Počáteční energie	Konečná energie	Třecí energie	Výška vyhouplého kyvadla	součinitel tření	součinitel tření střední
		E1 [J]	E2 [J]	Et [J]	s [m]	f [-]	fs [-]
1strana							
Běhounová směs	1	9,81	6,594282	3,215718	0,3861	0,639	0,69125
Běhounová směs	2	9,81	6,711021	3,098979	0,39205	0,5795	0,5915
Běhounová směs	3	9,81	6,723774	3,086226	0,3927	0,573	0,5715
Běhounová směs	4	9,81	6,511878	3,298122	0,3819	0,681	0,7245
Běhounová směs	5	9,81	6,574662	3,235338	0,3851	0,649	0,653
Běhounová směs	6	9,81	6,870924	2,939076	0,4002	0,498	0,52025
2strana							
Běhounová směs	1	9,81	6,389253	3,420747	0,37565	0,7435	
Běhounová směs	2	9,81	6,663933	3,146067	0,38965	0,6035	
Běhounová směs	3	9,81	6,72966	3,08034	0,393	0,57	
Běhounová směs	4	9,81	6,341184	3,468816	0,3732	0,768	
Běhounová směs	5	9,81	6,558966	3,251034	0,3843	0,657	
Běhounová směs	6	9,81	6,783615	3,026385	0,39575	0,5425	

Drsnost ofrézovaného povrchu byla naměřena $R_a = 9,25 \mu\text{m}$

Obr. 19. Porovnání výsledných hodnot při tření vzorku o kovovou destičku



Z porovnání výsledků měření vyplynulo, že směs č.6 vykazovala nejvyšší hodnoty součinitele tření na nepracovaném povrchu. Zatím co ostatní směsi měli součinitel tření nižší. Opracování povrchu kopíruje přibližně stejné vlastnosti u všech směsí. Liší se minimálně. Drsnost povrchu v obou případech opracování byla rozdílná ($R_a = 9,25 \mu\text{m}$ a $R_a = 5,75 \mu\text{m}$).

Tab. 7. Suchý betonový povrch

		Počáteční energie	Konečná energie	Třecí energie	Výška vyhouplého kyvadla	součinitel tření	součinitel tření střední
		E1 [J]	E2 [J]	Et [J]	s [m]	f [-]	fs [-]
1strana							
Běhounová směs	1	9,81	6,394158	3,415842	0,3759	0,741	0,844
Běhounová směs	2	9,81	6,050808	3,759192	0,3584	0,916	0,923
Běhounová směs	3	9,81	5,991948	3,818052	0,3554	0,946	0,9785
Běhounová směs	4	9,81	5,821254	3,988746	0,3467	1,033	1,0545
Běhounová směs	5	9,81	5,731002	4,078998	0,3421	1,079	1,1325
Běhounová směs	6	9,81	6,086124	3,723876	0,3602	0,898	0,957
2strana							
Běhounová směs	1	9,81	6,970986	2,839014	0,3553	0,947	
Běhounová směs	2	9,81	7,00434	2,80566	0,357	0,93	
Běhounová směs	3	9,81	6,845418	2,964582	0,3489	1,011	
Běhounová směs	4	9,81	6,717888	3,092112	0,3424	1,076	
Běhounová směs	5	9,81	6,502068	3,307932	0,3314	1,186	
Běhounová směs	6	9,81	6,835608	2,974392	0,3484	1,016	

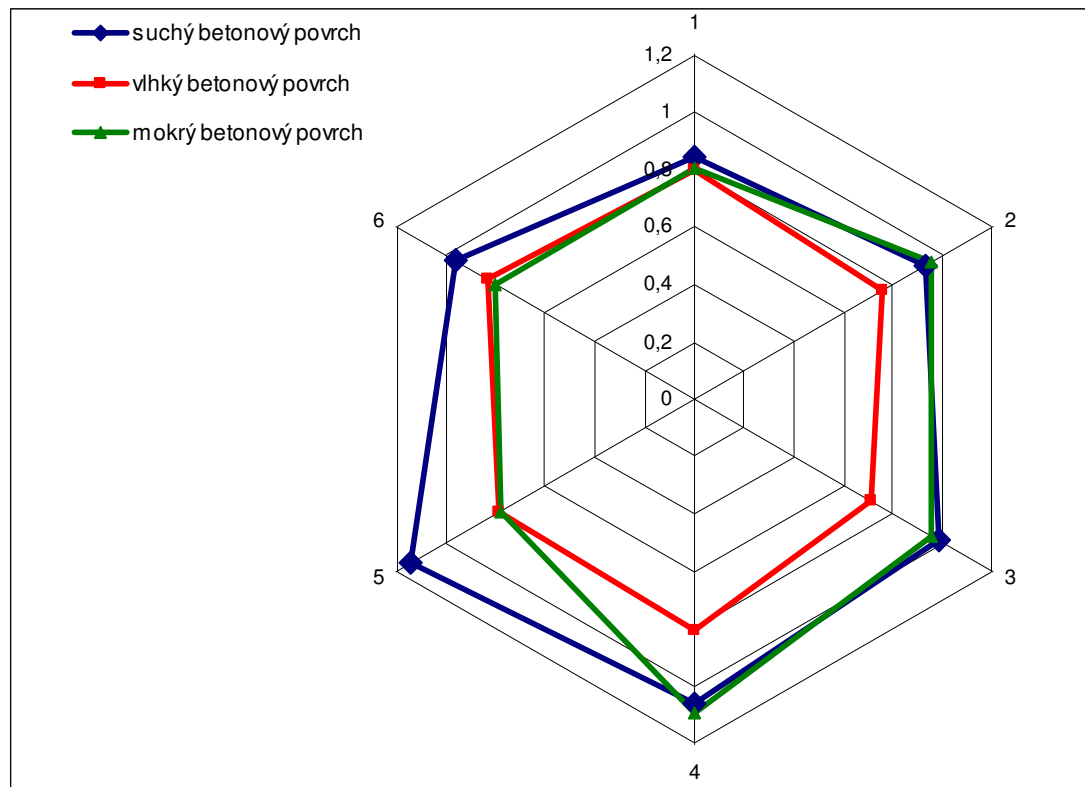
Tab. 8. Vlhký betonový povrch

		Počáteční energie	Konečná energie	Třecí energie	Výška vyhouplého kyvadla	součinitel tření	součinitel tření střední
		E1 [J]	E2 [J]	Et [J]	s [m]	f [-]	fs [-]
1strana							
Běhounová směs	1	9,81	7,265286	2,544714	0,3703	0,797	0,798
Běhounová směs	2	9,81	7,341804	2,468196	0,3742	0,758	0,7505
Běhounová směs	3	9,81	7,483068	2,326932	0,3814	0,686	0,7025
Běhounová směs	4	9,81	7,365348	2,444652	0,3754	0,746	0,8035
Běhounová směs	5	9,81	7,28883	2,52117	0,3715	0,785	0,7805
Běhounová směs	6	9,81	7,196616	2,613384	0,3668	0,832	0,8285
2strana							
Běhounová směs	1	9,81	7,261362	2,548638	0,3701	0,799	
Běhounová směs	2	9,81	7,371234	2,438766	0,3757	0,743	
Běhounová směs	3	9,81	7,418322	2,391678	0,3781	0,719	
Běhounová směs	4	9,81	7,139718	2,670282	0,3639	0,861	
Běhounová směs	5	9,81	7,306488	2,503512	0,3724	0,776	
Běhounová směs	6	9,81	7,21035	2,59965	0,3675	0,825	

Tab. 9. Mokřý betonový povrch

		Počáteční energie	Konečná energie	Třecí energie	Výška vyhouplého kyvadla	součinitel tření	součinitel tření střední
		E1 [J]	E2 [J]	Et [J]	s [m]	f [-]	fs [-]
1strana							
Běhounová směs	1	9,81	7,22016	2,58984	0,368	0,82	0,8005
Běhounová směs	2	9,81	6,961176	2,848824	0,3548	0,952	0,954
Běhounová směs	3	9,81	7,025922	2,784078	0,3581	0,919	0,951
Běhounová směs	4	9,81	6,712002	3,097998	0,3421	1,079	1,0885
Běhounová směs	5	9,81	7,228008	2,581992	0,3684	0,816	0,776
Běhounová směs	6	9,81	7,237818	2,572182	0,3689	0,811	0,7925
2strana							
Běhounová směs	1	9,81	7,296678	2,513322	0,3719	0,781	
Běhounová směs	2	9,81	6,953328	2,856672	0,3544	0,956	
Běhounová směs	3	9,81	6,900354	2,909646	0,3517	0,983	
Běhounová směs	4	9,81	6,674724	3,135276	0,3402	1,098	
Běhounová směs	5	9,81	7,384968	2,425032	0,3764	0,736	
Běhounová směs	6	9,81	7,310412	2,499588	0,3726	0,774	

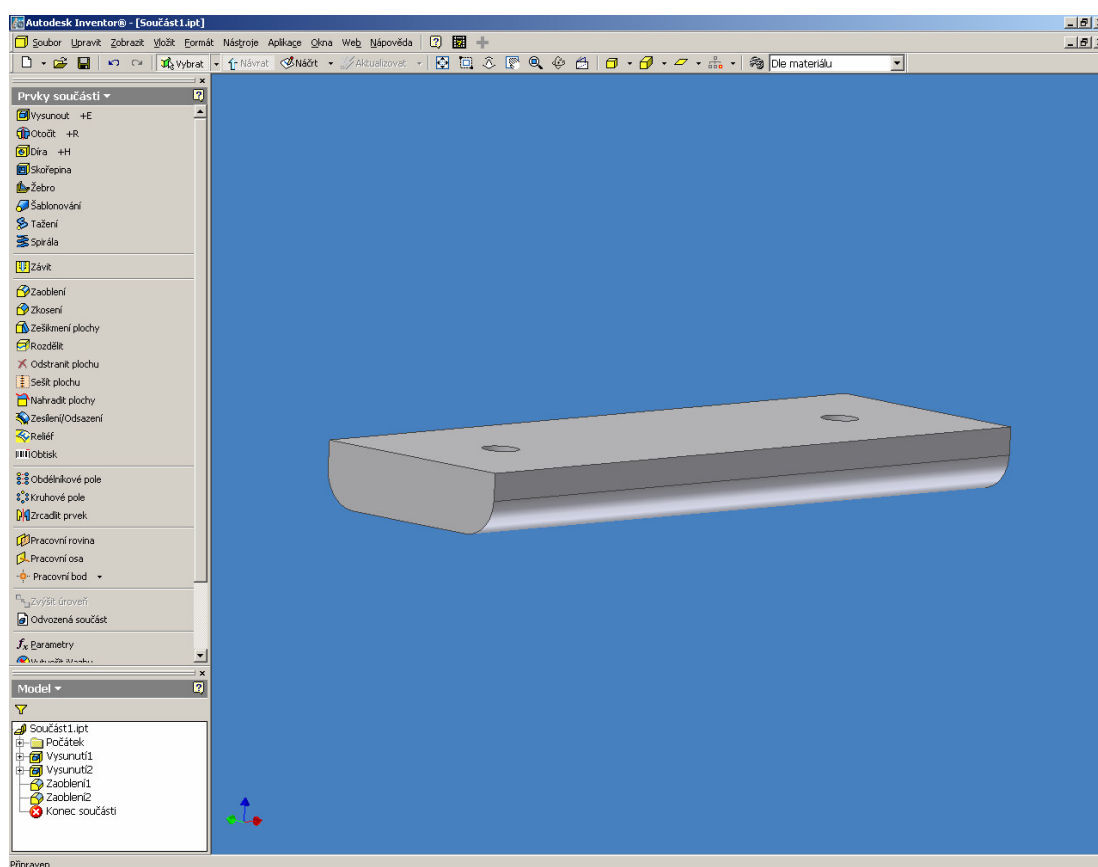
Obr. 20. Porovnání výsledných hodnot při tření vzorku o beton



Z uvedeného grafu vyplývá, že chování posuzovaných běhounových pryží je rozdílné na různém povrchu a jeho stavu. Nejvýhodnější se jeví běhounová směs č.1, která má za všech podmínek přibližně stejné chování. Oproti tomu směsi číslo 2, 3, 4, 5 mají přibližně stejné vlastnosti na vlhkých površích. Nejhorší se jeví směs č.5, která má za vlhkých a mokrých podmínek podstatně horší součinitel tření, což ji lze zařadit k méně bezpečným.

10 NÁVRH ZMĚNY TVARU VZORKU

Zvolená metoda měření dynamického součinitele tření za pomoci Skid testeru je vhodná. Problém nastal při výrobě zkušebních vzorků, jelikož funkční hrana vzorku nebyla dostatečně definována. Proto je navržena změna tvaru zkušebního tělesa. Bylo zvoleno zaoblení dotykové hrany s podložkou. Toto definování nám kladně ovlivní metodu měření. Vzorek je nakreslen za pomoci programu Autodesk Inventor.



Obr. 21. Navržený vzorek

DISKUZE

Z prostudovaného materiálu uvedeného ve studijní části vyplynulo, že pro hodnocení smykových a třecích vlastností běhounů autoplášťů je výhodné použít Skid tester. V příloze je uveden popis zkušebního zařízení. Pro experimenty byly získány vzorky běhounových směsí od výrobce autoplášťů Barum Continental, spol. s r.o. Otrokovice. Ze vzorku gumárenských směsí byly vyrobeny zkušební vzorky. Na zapůjčeném zkušebním zařízení byly provedeny experimenty na zvolených površích kovových a betonu.

Součinitel tření jednotlivých pryží na kovových površích byl proveden z důvodu stability výsledků, jelikož kovový povrch simuluje stabilní podmínky a pomohl rozdělit zkoušené materiály z hlediska jejich chování na relativně hladkých površích. Materiály vykazaly přibližně stejné součinitele tření. Nejmarkantnější rozdíly výsledků v chování jednotlivých směsí se projevily až při zkouškách měření na betonových površích s různými podmínkami mezi vrstvy.

Experimenty prokázaly, že metoda měření dynamického součinitele tření pomocí Skid testeru může být prokazatelná pro hodnocení vlastností a chování běhounové směsi za stanovených podmínek.

V bakalářské práci bylo prokázáno, že běhounové směsi, které mají stejné vlastnosti na povrchu suchém, vlhkém a mokřém mají ve skutečnosti nižší součinitel smykového tření než směsi určené například pro suché povrchy, nebo vyloženě pro mokřé povrchy. Srovnání směs č.1 a směs č.5.

ZÁVĚR

V této práci jsem se věnovala studiu dynamického součinitele tření u běhounových pryží. Ze studijní části vyplynulo, že tření je složitý proces a jeho popis je možno provádět z několika hledisek. Právě správná volba hlediska a výběr metody měření je důležitý pro přesné hodnocení. Tření se dělí do více skupin podle různých faktorů.

V praktické části byly prováděny samotné zkoušky tření mezi vzorkem a povrchem a výrobou zkušebních polymerních vzorků a z výsledků zkoušek byly vyvozeny závěry uvedené v diskuzi.

Všechny získané údaje byly zpracovány v programu Microsoft Excel do tabulek a výsledných grafů. Pro lepší názornost výsledků byly souhrnné výsledky zpracovány do paprskových grafů.

V práci byl odvozen teoretický postup výpočtu a ukázka příkladu výpočtu součinitele tření.

Metoda měření odpovídá potřebám hodnocení dynamického součinitele tření. Problém nastal při výrobě zkušebních vzorků, jelikož funkční hrana vzorku nebyla dostatečně definována. Proto je na závěr navržena změna tvaru zkušebního tělesa, která kladně ovlivní metodu měření.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- (1) M.DZIMKO : Základy tribotechniky, trende, opotrebeni a mazanie, Tribotechnika
Žilina 1985
- (2) V.VENCLÍK - M.JULINA : Mechanika dynamika pro školu a praxi, Scientia, spol.sr.o
Praha 2001
- (3) V.VENCLÍK - M.JULINA : Mechanika statika pro školu a praxi, Scientia, spol.sr.o
Praha 2001
- (4) P.BLAŠKOVI, J.BALLA, M.DZIMKO : Tribologia,SNTL Bratislava 1975

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

F_T	Třecí síla.
F_N	Normálová síla.
f, μ	Součinitel smykového tření.
f, μ	Součinitel klidového tření.
ξ	Rameno valivého odporu (ksí).
R	Poloměr průřezu tělesa.
F	Síla
m	Hmotnost tělesa.
C	Uhlík
B	Bor
S	Křemík
PTFE	Polytetrafluorethylen
PE	Polyethylen
PP	Polypropylen
PVC	Polyvinylchlorid
h	Výška vzorku v počáteční fázi kyvadla
s	Výška závaží v koncové fázi
d	Dráha tření vzorku po podložce
y	Rozdíl mezi výškou polohy ramene na počátku a konci kyvu
Et	Třecí energie
E1	Počáteční energie
E2	Konečná energie
fs	Průměr součinitele smykového tření

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Tření formou třecí sily FT	14
Obr. 2. Valivé tření	17
Obr. 3. Dělení polymerních látek.....	21
Obr. 4. princip Skid testeru	25
Obr. 5. Pláty kaučukové směsy	30
Obr. 6. Vulkanizační etážový lis 400x400 s hydraulickým pohonem	31
Obr. 7. Vysekávací stroj hydraulický.....	33
Obr. 8. Zhotovené vzorky	34
Obr. 9. Skid tester	35
Obr. 10. Neopracovaná kovová deska	36
Obr. 11. Obrobená kovová deska.....	37
Obr. 12. Univerzální fréza / FLIV – 50 PD	38
Obr. 13. Měřicí přístroj ZMR - Mitutoyo	39
Obr. 14. Skid tester na suchem betonovém povrchu	40
Obr. 15. Zvlhčený povrch betonu	40
Obr. 16. Mokrý betonový povrch.....	41
Obr. 17. PRESCOPE HR, Digital USB microscope.....	41
Obr. 18. Vzorek označen 4m2v1s.....	42
Obr. 19. Porovnání výsledných hodnot při tření vzorku o kovovou destičku.....	46
Obr. 20. Porovnání výsledných hodnot při tření vzorku o beton	50
Obr. 21. Navržený vzorek	51

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Příklady hodnot součinitele smykového tření.....	15
Tab. 2. Příklady hodnot součinitele klidového tření	16
Tab. 3. Příklady hodnot součinitele valivého tření	18
Tab. 4. Neopracovaný povrch	43
Tab. 5. Obrobený povrch (fréza).....	44
Tab. 6. Nejhruběji obrobený povrch (fréza).....	45
Tab. 7. Suchý betonový povrch.....	47
Tab. 8. Vlhký betonový povrch	48
Tab. 9. Mokrý betonový povrch	49

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P I: NEOPRACOVANÝ POVRCH OCELOVÉ DESTIČKY

PŘÍLOHA P II: OBROBENÝ POVRCH OCELOVÉ DESTIČKY

PŘÍLOHA P III: NEJOBROBENĚJŠÍ POVRCH OCELOVÉ DESTIČKY

PŘÍLOHA P IV: SUCHÝ BETONOVÝ POVRCH

PŘÍLOHA P V: VLHKÝ BETONOVÝ POVRCH

PŘÍLOHA P VI: MOKRÝ BETONOVÝ POVRCH

PŘÍLOHA P III: NEJOBROBENĚJŠÍ POVRCH OCELOVÉ DESTIŠKY

typ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Udělujeme s. 212	111	111	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136
Přidáme s. 212	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161
Udělujeme s. 212	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186
Přidáme s. 212	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211
Udělujeme s. 212	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236
Přidáme s. 212	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261
Udělujeme s. 212	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286
Přidáme s. 212	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311
Udělujeme s. 212	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336
Přidáme s. 212	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361
Udělujeme s. 212	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386
Přidáme s. 212	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411

