VĚDECKÉ SPISY VYSOKÉHO UČENÍ TECHNICKÉHO V BRNĚ

*Edice PhD Thesis, sv. 334*

*ISSN 1213-4198*

***Ing. David Maňas***

# Obrobitelnost pryže a opotřebení pryžových výrobků

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**
Fakulta strojního inženýrství
Ústav strojírenské technologie

Ing. David Maňas

**Obrobitelnost pryže a opotřebení pryžových výrobků**

**Rubber Workability and Wear of Rubber Parts**

zkrácená verze Ph.D. Thesis

**Obor:** Strojírenská technologie

**Školitel:** Doc. Ing. Imrich Lukovics, CSc.

**Oponenti:** Prof. Ing. Alexander Janáč, CSc.
Prof. Ing. Bohumil Bátora, CSc.
Mgr. Ing. Vladislav Sudník, CSc.

**Datum obhajoby:** 24. 6. 2005

## Klíčová slova

Obrábění, opotřebení, pryžový výrobek, pneumatika, chip – chunk odolnost.

## Key words:

Workability, Wear, Rubber Parts, Tyres, Chip – Chunk Resistance

## Místo uložení práce:

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, Technická 2896/2, 616 69 Brno

**Všechna práva vyhrazena. Žádná z částí této práce nesmí být použita bez písemného souhlasu autora. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.**

© David Maňas, 2005
ISBN 80-214-3026-5
ISSN 1213-4198

# OBSAH

ÚVOD ..... 4

1 STUDIJNÍ A TEORETICKÁ ČÁST ..... 6

1.1 Základní pojmy procesu obrábění ..... 6
1.2 Silové poměry při procesu řezání ..... 7
*1.2.1 Řezný odpor a řezná síla ..... 7*
*1.2.2 Práce řezání ..... 7*
1.3 Metody určování řezných sil ..... 8
1.4 Tepelné jevy při obrábění ..... 8
1.5 Opotřebení nástroje ..... 8
*1.5.1 Mechanizmus opotřebení ..... 9*
*1.5.2 Formy opotřebení ..... 10*
1.6 Obrobitelnost materiálů a řezivost nástroje ..... 11
*1.6.1 Obrobitelnost polymerů ..... 12*

2 CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE ..... 14

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST ..... 15

3.1 Měřené vlastnosti ..... 15
3.2 Test opotřebení ..... 15
*3.2.1 Rozměry zkušebního tělesa ..... 17*
*3.2.2 Analýza opotřebení ..... 18*
*3.2.3 Závislost na provozních podmínkách ..... 20*
*3.2.4 Průběh opotřebení ..... 20*

DISKUSE VÝSLEDKŮ ..... 23

ZÁVĚR ..... 28

POUŽITÁ LITERATURA ..... 29

CURICULUM VITAE ..... 31

ABSTRAKT ..... 32

ABSTRACT ..... 32

# ÚVOD

Lidské civilizaci trvalo velmi dlouho, a stálo ji to mnoho úsilí, než dospěla k současným poznatkům ve vědě a technice. Je však dokázáno, že čas mezi významnými objevy se zkracuje. Stejně je tomu i v teorii obrábění. První vědecké práce na toto téma jsou z druhé poloviny 18. století, rozhodující práce pak z jeho přelomu. V roce 1907 uveřejnil práce zabývající se trvanlivostí břitu američan F.W.Taylor, byl to známý vědec z oblasti vědeckého řízení práce.

Jedním ze základních směrů rozvoje technologie obrábění je hledání nových směrů a postupů směřujících ke zvyšování jakosti výrobků, zkracování výrobních cyklů jejich mechanizací, automatizací, zaváděním a uplatňováním vysoce-přesných technologií. Tyto požadavky mohou být splněny za předpokladu, že budou maximálně eliminovány vlivy nehomogenity obráběných materiálů, vlivy působící na degradaci nástroje a vlivy subjektivního lidského činitele.

Jednou z možností, jak dosáhnout uvedených cílů, je nejen využívání drahých výrobních zařízení, ale i vytváření takových technologických podmínek, které umožní dosáhnout požadované jakosti výrobku. Takové podmínky je možno zajistit na základě dokonalých znalostí vlastností použitého materiálu - jeho obrobitelnosti, vlastností nástrojů – jejich řezivosti a znalostí moderních metod řízení a organizace práce.

Obrábění a tváření kovů je ve strojírenství celkem dobře známé, což nelze říci o nekovových materiálech, které jsou pro mnohé z nás ještě novinkou. V současné době nekovové materiály představují skupinu konstrukčních materiálů, které se uplatňují ve všech oblastech lidské činnosti. Jejich širší používání ve strojírenství je možné až nyní, kdy se na trhu objevují nové druhy materiálů se zvýšenou pevností, tepelnou odolností a s některými dalšími speciálními vlastnostmi. Zároveň se zaváděním nekovových materiálů místo kovů je ovšem nutné prověřovat výrobky z hlediska využití materiálu, optimálnosti tvaru, technologičnosti apod.

Průmysl výroby a zpracování polymerů byl vždy poměrně významným průmyslovým odvětvím a má v ČR dlouholetou tradici. Své postavení si toto průmyslové odvětví zahrnující gumárenský a plastikářský průmysl stále drží a dnes patří jak gumárenství tak i zpracování plastů k úspěšným a rozvíjejícím se oborům.

Sektor zpracování polymerů je velmi členitý, protože představuje výrobu obrovského množství výrobků pro nejrůznější aplikace. Výrobky z polymerů a kompozitů s polymerní matricí nacházejí stále širší uplatnění. Z polymerů jsou vyráběny předměty běžné potřeby, předměty pro sport a volný čas, přístroje pro domácnost, obaloviny pro průmyslové výrobky i potraviny a stále více se uplatňují ve stavebnictví, elektrotechnice a elektronice, strojírenství a automobilovém průmyslu. Velmi specifické je uplatnění ve zdravotnictví. Nárůst výroby je zaznamenáván téměř ve všech sledovaných skupinách výrobků. Ještě názorněji tuto situaci zahrnuje celkový vývoj produkce v gumárenském průmyslu. Jako jedna

z mála průmyslových odvětví, vykazuje gumárenský průmysl stabilní meziroční nárůst výroby, vysoce překračující hodnoty průměrného růstu. Tento trend si zachoval i v roce 1998 a 1999, kdy v ČR došlo k výraznému poklesu průmyslové výroby a své místo mezi velmi prosperujícími průmyslovými odvětvími si udržuje doposud. Za období 1995 – 1998 došlo ke zdvojnásobení výroby. [1]

Z hlediska rozvoje průmyslového odvětví hraje právě výroba pneumatik dominantní roli zejména z pohledu spotřeby suroviny.Spolu s výrobou hadic je jejich podíl na trhu více než 65% . Udržet vysoké tempo rozvoje vyžaduje mimo investice do technologií taky investice do vývoje a výzkumu. Tyto investice jsou většinou dlouhodobějšího charakteru, ale dávají záruku dalšího rozvoje oboru a udržení konkurenceschopnosti. Malým příspěvkem do této oblasti mohou být i diplomové nebo disertační práce reagující na problémy, které se vyskytují v průmyslové praxi. Mezi nimi je také problematika obrobitelnosti pryže a otázky opotřebení pryžových výrobků včetně pneumatik. [2]

# 1 STUDIJNÍ A TEORETICKÁ ČÁST

## 1.1 ZÁKLADNÍ POJMY PROCESU OBRÁBĚNÍ

Obráběním nazýváme technologický proces, při kterém odebíráním materiálu řezným nástrojem zpracováváme polotovar tak, aby dostal požadovaný tvar, rozměry a jakost obrobené plochy. Při obrábění vykonávají obráběný předmět a nástroj relativní pohyb, při kterém řezná část nástroje, tzv. břit vniká do materiálu a odřezává jeho část ve tvaru třísek.

Obráběný předmět nazýváme obrobkem, hranu nástroje, která řeže, nazýváme řeznou hranou neboli ostřím a vzájemný pohyb nástroje a obrobku nazýváme řezným pohybem. [3]

Vzájemný pohyb obrobku a nástroje umožňující odřezávání určité vrstvy materiálu obrobku se skládá z hlavního pohybu a z vedlejších pohybů (posuv, posunová rychlost, přísuv).

Hlavní pohyb je pohyb stroje, jemuž odpovídá větší rychlost, a na jehož uskutečnění se spotřebuje převážná část příkonu stroje.
Posuv je relativní pohyb obrobku vůči nástroji, který umožňuje postupné oddělování třísek.

Přísuv je vedlejší pohyb nástroje umožňující vzájemné přestavování obrobku vůči nástroji, nastavování hloubky řezu apod. Vzhledem k tomu, že se přísuv vykonává zpravidla přerušovaně mimo vlastní řezání (s výjimkou kopírování), neovlivňuje řezný pohyb.

Pracovní pohyby obrobku a nástroje jsou vykonávány výrobním strojem. Všechna kinematická schémata obráběcích strojů používaných při obrábění jsou založena na kombinaci dvou elementárních pohybů: pohybu rotačního a pohybu přímočarého.

Velikost pracovních pohybů udáváme jejich rychlostmi.

Posuvová rychlost, šířka záběrového ostří společně s rychlostí pohybu $v_e$, nazýváme technologické parametry řezání. Jejich velikosti se nastavují přímo na stroji a předpisují se v technologickém postupu.

Hodnotou rychlosti řezného posuvu a posunové rychlosti je dána velikost řezné rychlosti. Hodnotou posuvu a hloubkou řezu, pak velikost průřezu odebíraného materiálu (jmenovitý průřez třísky):

Mechanika tvoření třísky, velikost řezných odporů i tepelné namáhání řezného klínu nezávisí však pouze na velikosti průřezu, ale rovněž i na tvaru odebírané vrstvy. Tento tvar je udán tzv. fyzikálními parametry řezu: tloušťkou třísky a šířkou třísky.

Proces oddělování třísky, zatížení řezného nástroje a jeho trvanlivost nezávisí pouze na geometrickém tvaru řezného klínu, vyjádřeném nástrojovou geometrií břitu, ale na poloze nástroje vůči obrobku a na jejich vzájemném pohybu.

Vzájemnou polohu funkčních ploch řezného klínu vůči obrobku udávají tzv. technologické (skutečné) úhly řezného klínu.

Tyto úhly měříme v souřadnicovém systému vztaženém k plochám obrobku vznikajícím v procesu obrábění, tj. k ploše řezu a k obrobené ploše. Poněvadž tyto plochy souvisejí s trajektorií řezného pohybu, vychází z ní i orientace systému souřadnicových rovin, nazývaných rovinami efektivními (technologickými). [3]

## 1.2 SILOVÉ POMĚRY PŘI PROCESU ŘEZÁNÍ

### 1.2.1 Řezný odpor a řezná síla

Při oddělování vrstvy materiálu obrobku, tvoření třísky a při jejím odchodu z místa řezu se spotřebovává určité množství práce. Tato práce se spotřebovává při vnikání břitu nástroje do materiálu obrobku, který klade odpor proti vnikání, zvaný řezný odpor, a ten je překonáván řeznou silou. Řezný odpor je odpor, který klade materiál obrobku proti vnikání nástroje při tvoření a odchodu třísky z místa řezu. Řezná síla je síla, kterou působíme na nástroj k překonání řezného odporu.

Mechanika tvoření třísky je ve skutečnosti značně složitější než při volném řezání a uvažujeme-li všechny opravné hodnoty, jsou teoretické vzorce pro výpočet řezných sil pro jednotlivé způsobu obrábění příliš složité a prakticky pouze omezeně použitelné. Proto se spíše používají vzorce získané empiricky měřením složek řezné síly dynamometry. [3]

Mezi činitele, které ovlivňují řezný odpor, patří řezná rychlost, úhel řezu, stav břitu, jakost povrchu činných ploch nože, povrch obráběného předmětu apod. V každém případě je nutno velikost řezného odporu stanovit vždy pro konkrétní podmínky, neboť pouhý teoretický výpočet řezného odporu nám nemůže dát přesné hodnoty, protože se zakládá na součinitelích stanovených za podmínek, které nemusí být totožné s podmínkami případu, který máme řešit. [3]

### 1.2.2 Práce řezání

Celková práce řezání, kterou musíme vynaložit na utvoření třísky, její oddělení a odvedení z místa řezu, se skládá z několika dílčích složek různě významných. Velikost jednotlivých složek práce řezání a jejich vzájemná vazba závisí na materiálu obráběné součásti a na řezných podmínkách. Celková práce řezání je dána součtem práce plastické deformace, práce třením, práce pružných deformací a práce

tvořených nových povrchů. Závisí na řezných podmínkách a mechanických vlastnostech obráběného materiálu.

## 1.3 METODY URČOVÁNÍ ŘEZNÝCH SIL

Řezné síly se určují na základě analytických vzorců (z geometrie nože a rozměrů třísky), pomocí měrného řezného odporu, z empirických vzorců a měření řezných sil při obrábění.

Jelikož velikost jednotlivých složek řezné síly je ovlivňována řeznými podmínkami, jsou výsledky získané výpočtem ze vzorců pouze přibližné a v praxi je nutno je porovnávat s experimentálně zjištěnými výsledky. Řeznou sílu a její složky můžeme při obrábění měřit nepřímým měřením sil a přímým měřením dynamometrem.

## 1.4 TEPELNÉ JEVY PŘI OBRÁBĚNÍ

Mechanická energie spotřebovaná při obrábění na odebrání třísky a její odvedení z místa řezu se mění převážně v teplo. Toto teplo, které se vyvíjí v úzké oblasti u řezné hrany, je provázeno vznikem vysoké teploty. Vysoké teploty funkčních ploch nástroje mají nepříznivý vliv na intenzitu opotřebení nástroje, nepříznivě ovlivňují přesnost obrábění a jakost obrobené plochy.

Jelikož tepelné namáhání břitu nástroje rozhodujícím způsobem ovlivňuje opotřebení funkčních ploch, je důležité znát jak celkové množství tepla vzniklého při obrábění a jeho rozdělení, tak i výši a rozdělení teplot na čele a hřbetě nástroje. [3]

## 1.5 OPOTŘEBENÍ NÁSTROJE

V průběhu obrábění je nástroj vystaven intenzivnímu tepelnému a mechanickému namáhání, které vede po určité době k opotřebení funkčních ploch nástroje. Čelo nástroje je opotřebováno odcházející třískou, hřbet nástroje obrobkem. Opotřebením se mění výchozí tvar břitu – břit nástroje se otupuje.

Se vzrůstajícím otupením břitu se mění rozměr obrobku, jakost obrobené plochy, vzrůstají řezné odpory a teplota řezání roste. Po dosažení určité hodnoty otupení se stává nástroj neschopný další práce a je nutno ho přeostřit nebo vyměnit.

Z hlediska průběhu opotřebení rozeznáváme tyto základní příčiny opotřebení:

Opotřebení čela a hřbetu nástroje v důsledku postupného otírání funkčních ploch břitu, tzv. opotřebení otěrem, jehož průběh je funkcí doby řezání.

Opotřebení břitu nástroje v důsledku mechanického porušení břitu nástroje, projevujícího se vydrolením nebo vylomením ostří, tzv. křehký lom ostří.

Otupení břitu nástroje v důsledku plastické deformace povrchových vrstev funkční části břitu, tzv. plastický otěr. [3]

### 1.5.1 Mechanizmus opotřebení

**Abrazivní otěr** je velmi rozšířený mechanizmus, který vzniká hlavně působením tvrdých částic v materiálu obrobku.

Schopnost břitu odolávat abrazivnímu otěru je z větší části závislá na jeho tvrdosti. Řezný materiál, který obsahuje hustou strukturu tvrdých částic, bude abrazivnímu otěru odolávat dobře, avšak nemusí stejně dobře odolávat také jiným mechanizmům opotřebení.

Abrazivní otěr je významný především při nízkých řezných rychlostech, kdy se oba materiály stýkají na vrcholcích mikronerovností.

**Difuzní otěr** vzniká působením chemických vlivů při procesu obrábění. Chemické vlastnosti řezného materiálu a jeho afinita vůči materiálu obrobku jsou rozhodujícími činiteli pro vznik a průběh difuzního opotřebení. Na tomto procesu má tvrdost materiálu jen relativně malý podíl. O podílu difuzního opotřebení na celkovém opotřebení rozhoduje chemické složení řezného nástrojového materiálu a materiálu obrobku.

Některé řezné materiály nereagují s materiálem obrobku vůbec, zatímco jiné mají ve vztahu k materiálu obrobku vysoký stupeň afinity.

**Oxidační otěr** souvisí s vysokými teplotami řezného procesu, které spolu s okolním vzduchem mají za následek oxidaci nástrojového materiálu. Vzniklé oxidy působí velmi rozdílně. Wolfram a kobalt tvoří porézní filmy oxidu, které jsou snadno odnášeny třískou. Jiné oxidy, jako např. oxid hlinitý, jsou naproti tomu podstatně pevnější a tvrdší. Některé řezné nástrojové materiály jsou proto náchylnější k oxidačnímu opotřebení než jiné. Speciálně v místě kontaktu břitu, kde končí šířka třísky, má vzduch přístup do řezného procesu. V tomto případě vznikají působením oxidace typické žlábky, které jsou však v současné výrobě relativně vzácným fenoménem.

**Adhezní otěr** se vyskytuje hlavně při nízkých teplotách obrábění na čele břitu nástroje. Adhezní otěr je způsoben vytrháváním částic břitu v důsledku adhezivních spojů mezi nástrojem a obrobkem. Je významný při nižších řezných rychlostech, kdy vzniká bodový styk mezi třískou a nástrojem a kdy je umožněno adhezní spojení obou materiálů. Adhezní otěr vzniká zejména při obrábění nástroji z nástrojových a

rychlořezných ocelí. Tento jev často vede k vytváření nárůstku mezi třískou a břitem. Jedná se přitom o dynamický průběh s narůstajícím počtem vrstev, které jsou z třísky nalepovány a vytvrzovány a stávají se tak součástí břitu. Takto nárůstkem vytvořený břit může tvořit základ pro nové nárůstky na břitu, nebo může poškodit původní břit vydrolováním nebo výlomem. [3]

### 1.5.2 Formy opotřebení

V závislosti na technologických podmínkách řezného procesu nabývá opotřebení břitu různých forem:

**Opotřebení hřbetu** patří mezi abrazivní formy opotřebení. Plochy hřbetu u hlavního ostří, u vedlejšího ostří a poloměru špičky jsou před utvářením třísky, v průběhu a po utváření třísky zvlášť vystaveny působení materiálu obrobku. Opotřebení hřbetu je všeobecně obvyklým typem opotřebení. Příliš velké opotřebení hřbetu má za následek zhoršení jakosti obrobeného povrchu, nepřesnost rozměrů a narůstající tření, které vzniká změnou geometrie břitu.

**Opotřebeni čela ve tvaru žlábku** je důsledkem působení mechanizmů difuzního opotřebení a abraze. Žlábek vzniká částečně úběrem materiálu nástroje vyvolaným brousicím pochodem, který způsobují tvrdé částice obsažené v materiálu obrobku, ale hlavně difuzí v místě břitu s nejvyšší teplotou, tzn. v kontaktním místě mezi třískou a materiálem břitu. Tvrdost za tepla a malá afinita mezi materiály obrobku a břitu nástroje snižují tendenci ke vzniku tohoto typu opotřebení. Velké opotřebení čela ve tvaru žlábku může změnit geometrii břitu a ovlivnit tak tvar třísky, změnit směr působení řezných sil a zeslabit břit.

**Plastická deformace břitu** vzniká působením kombinace vysokých teplot a řezných tlaků na břitu. Vysoké řezné rychlosti a posuvy, jakož i tvrdé materiály obrobků vyvolávají vznik vysokých teplot a tlaků. Plastická deformace břitu ještě více zvyšuje teploty a má za následek změnu geometrie břitu a změny v odchodu třísek. Plastická deformace břitu se vyskytuje při obrábění všemi nástrojovými materiály po dosažení určité teploty v některém místě stykových ploch mezi nástrojem a obrobkem. Při dosažení této teploty (limitní teplota) dochází k prudkému poklesu tvrdosti řezného materiálu v důsledku strukturních změn. Plastickou deformaci břitu lze zmenšit použitím správného zaoblení ostří a volbou vhodné geometrie břitu.

**Opotřebeni hřbetu ve tvaru vrubu** patří k typickým adhezním opotřebením, může však stejně dobře souviset s jevem oxidačního opotřebení. Vruby vznikají v místě kontaktu břitu s bokem třísky. Toto opotřebení se omezuje přesně na to místo, kudy proniká vzduch do oblasti obrábění. Velké opotřebení hřbetu ve tvaru vrubu ovlivňuje utváření třísky a může vést k lomu destičky.

**Hřebenovité trhliny na ostří** jsou formou únavového opotřebení, které vzniká tepelnými šoky. Zvláště změna teplot při frézováni často vede k tomuto druhu opotřebení. Trhliny se tvoří kolmo na ostří, přitom se mohou částice řezného nástrojového materiálu mezi jednotlivými trhlinami vylamovat a vyvolat tak náhlý lom břitu. Změnou tloušťky třísky se při obrábění mění rovněž teploty. Použitím řezných kapalin se zvyšují teplotní rozdíly při záběru břitu do materiálu obrobku a při výstupu z něj.

**Únavový lom** je typickým následkem velkých změn velikosti řezných sil. Tento druh lomu vzniká vlivem součtu neustále se měnících různých zatížení, kdy působení jednotlivých druhů zatížení není samo o sobě dost velké, aby mělo za následek křehký lom. Lomové plochy probíhají obvykle paralelně s ostřím.

**Vydrolování ostří** je formou opotřebení, při níž se břit vydroluje. Toto opotřebení je způsobeno špičkami zatížení a vede k tomu, že drobné částečky řezného materiálu se začnou oddělovat z povrchu břitu. Přerušované řezy jsou nejčastější příčinou tohoto typu opotřebení. Odlupování materiálu a trhliny jsou příznaky, které upozorňuji na možnost vzniku křehkého lomu břitu.

**Lom břitu** představuje náhlou poruchu a okamžitý konec jeho technického života. Totální lom je často velmi nebezpečný a mělo by se mu za všech okolností zabránit. Lom břitu nástroje je nutné v každém případě považovat za ukončení trvanlivosti. Změny geometrie, oslabení břitu, nárůst teplot a sil mohou vést ke značným škodám. Křehký lom může být způsoben různými faktory, často je zvolený materiál břitu málo houževnatý, aby mohl zvládnout všechny požadavky na obrábění. [3]

## 1.6 OBROBITELNOST MATERIÁLŮ A ŘEZIVOST NÁSTROJE

Obrobitelnost charakterizuje podmínky, při kterých se materiál nejlépe obrábí. Řezivost charakterizuje řeznou schopnost určitého nástroje a jeho použitelnost pro obrábění různých materiálů. Aby oba pojmy podávaly úplnou charakteristiku, musely by v sobě zahrnovat všechny činitele, ovlivňující řezný proces. Vyjádřit tak širokou škálu vlivů jednou veličinou není možné. [5]

### 1.6.1 Obrobitelnost polymerů

***A) Obrobitelnost plastů***

Obrobitelnost plastů, je závislá na jejich fyzikálních a mechanických vlastnostech. Jejich dynamická obrobitelnost je příznivá, avšak špatná tepelná vodivost může vést k horší kinetické obrobitelnosti a ke špatné tvorbě třísky (roztírání nebo praskání plastu) a k zvýšené drsnosti obrobeného povrchu.

Neobyčejný vliv na obrobitelnost má plnivo plastu. Dřevové, bavlněné a textilní plnivo nezhoršuje obrobitelnost tou měrou jako minerální plnivo. Vrstvené plasty jsou obvykle lépe obrobitelné než termoplasty, které nevytvářejí vždy dokonalou třísku. Plasty se sklotextilem a azbestem mají špatnou kinetickou obrobitelnost. [3]

Plasty řadíme do skupin obrobitelnosti v rozsahu od 10 do 17 skupiny. Pro plasty a jejich odlišení od materiálů jiných kategorií (ocel, litina) je uplatněn index i. [7]

***B) Obrobitelnost pryže***

Podle omezeného rozsahu zkoušek lze říci, že tvrdé pryže s větším obsahem síry jsou lépe obrobitelné než měkké elastické pryže, pro které musí být zvlášť upraveny nástroje.

Pro úspěšné obrábění je důležitá volba vhodných upínacích přípravků. Bez těchto přípravků by většina operací nemohla být vůbec provedena.

K rozlišení jednotlivých kategorií materiálů z hlediska obrobitelnosti je pro pryž uplatněn index g a číselné označení v rozsahu od 13 do 15 skupiny. [7]

Obrábění polymerních matriálů má v porovnáním s obráběním kovů svá specifika. Většinou vyžaduje speciální nástroje, zvláštní technologické podmínky, zejména s ohledem na mechanické vlastnosti polymerů a jejich výrazně nižší tepelnou odolností.

Obrábění pryže se jeví z hlediska svého uplatnění v technické praxi jako málo zajímavý problém. S obráběním pryže se v průmyslu setkáváme spíše výjimečně např. u pogumovaných válců. I zde však dochází pouze k odebírání tenké povrchové vrstvy a finální operací je spíše broušení.

V gumárenské praxi velmi často setkáváme s problémem opotřebení pryžových dílů. Některé formy opotřebení, zejména opotřebení běhounu plášťů pneumatik, jsou svým charakterem velmi podobné obrábění. Běhoun pláště (obr. 8) je ta část

pneumatiky, která zabezpečuje styk vozidla s vozovkou a přímo se podílí na přenosu hnací síly. U plášťů pneumatik osobních i nákladních automobilů, pohybujících se po běžných komunikacích je opotřebení běhounu charakterizováno jejich obrušivostí. Běhoun dané pneumatiky umístěné na vozidle je vystaven brousícímu účinku vozovky, po které se právě pohybuje.

U pneumatik pohybujících se v těžkých terénních podmínkách je však mechanismus opotřebení zcela odlišný. Ostré hrany kamínků, kamenů a terénních nerovností postupně vyřezávají části běhounu, což je možné chápat jako určitý mechanismus obrábění. Je zde určitá podobnost např. s frézováním, i když za zcela specifických podmínek.Mechanismus opotřebení běhounů pneumatik pracující v těžkých terénních podmínkách, lze s určitým zjednodušením považovat za „obrábění“ pryžového povrchu.

Vzhledem k tomu, že zkoušky opotřebení jsou v praxi realizovány většinou na hotových výrobcích v provozních podmínkách, mají dlouhodobý charakter a jsou z těchto důvodů také velmi nákladné. Nalezení a ověření možnosti rychlého testu opotřebení na malých vzorcích pryže, by proto znamenalo významný přínos pro technickou praxi.

Obr. 1 Řez osobním radiálním pláštěm

# 2 CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE

Cílem disertační práce je posoudit možnost využití rychlé metody stanovení opotřebení pryžových dílů, zejména velmi namáhaných částí pneumatiky (běhounů) pracujících ve velmi náročných terénních podmínkách.

Pro tyto účely je nutno navrhnout a realizovat zkušební zařízení, s možností nastavení pracovního režimu.

Výsledky testů je nutné porovnat s mechanickými vlastnostmi směsí a nalézt souvislosti využitelné pro praktické posuzování opotřebitelnosti pneumatik.

Postup řešení:

- vypracování literární rešerše
- návrh vhodných typů gumárenských směsí
- příprava směsí a zkušebních těles
- vyhodnocení mechanických vlastností vybraných běhounových směsí
- návrh a realizace zařízení na měření opotřebení běhounových směsí
- porovnání testů opotřebení s dalšími vlastnostmi směsí
- vyhodnocení výsledků

# 3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Pro experimentální ověřování bylo vybráno 13 druhů běhounových směsí určených pro běhouny silně namáhaných motocyklových plášťů, plášťů pro technická vozidla, zemědělská vozidla a víceúčelová vozidla. Všechny směsi představují reálné výrobky a jsou průmyslově vyráběny a zpracovávány

## 3.1 MĚŘENÉ VLASTNOSTI

Na základě analýzy vlastností, které mohou ovlivnit výsledné chování pryžových výrobků bylo rozhodnuto provést u připravených vzorků následující měření:

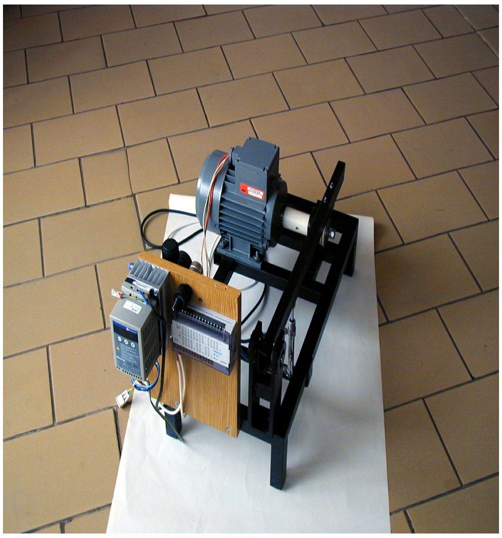
- Tahové zkoušky (trhací stroj T 2000, Alfa Technologies FT UTB Zlín)
- Strukturní pevnost (trhací stroj T 2000)
- Odrazová pružnost Luepke (zařízení typ Luepke, ÚIP FT)
- Tvrdost Shore (tvrdoměr HPE – D Bereiss, ÚVI FT)
- Dynamické chování (DMA) (DMA DX – 04T, RMI, ÚIP FT)
- Rychlý test opotřebení (ÚVI FT)

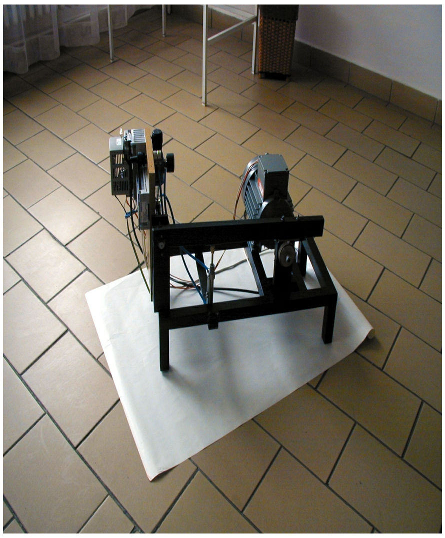
Zkušební tělesa pro všechny druhy testů byly připraveny lisováním na laboratorním lisu typ 400x400, v laboratořích ÚIP FT UTB ve Zlíně. Tvar a rozměry zkušebních těles odpovídají příslušným normám [16, 17, 18, 19].

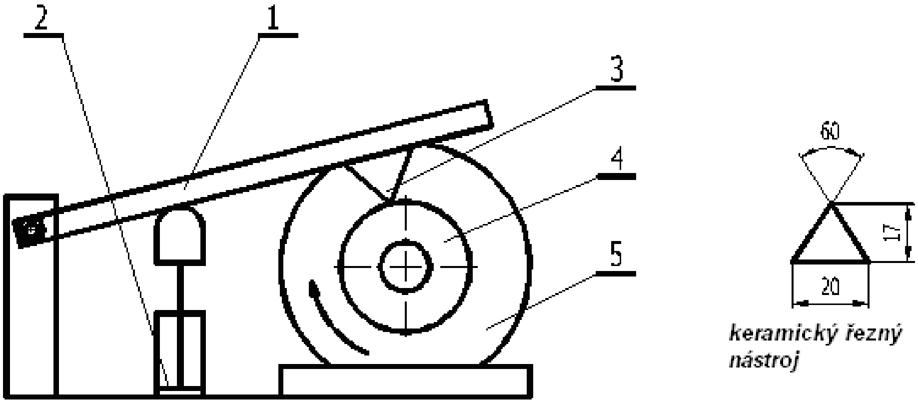
## 3.2 TEST OPOTŘEBENÍ

Zkoušky opotřebení pneumatik (běhounů) jsou časově i ekonomicky velmi náročné. Provádí se s hotovými pneumatikami na zkušebnách nebo přímo v terénu při jízdních zkouškách. Proto je snaha nalézt takovou metodu, při níž by bylo možné velmi rychle (v minutách) na malých vzorcích testovat opotřebení a tak navzájem porovnávat jednotlivé druhy směsí.

Na základě těchto požadavků bylo navrženo zařízení jehož princip je znázorněn na obr. 3.








Obr.3 Schéma zařízení pro testování opotřebení
1 – rameno, 2 – pneumatický válec, 3 – keramický břit, 4 – zkušební těleso, 5 - elektromotor

Rameno 1 otočné okolo čepu 6 je zvedáno zvedacím ustrojím (píst pneumatického válce) 2. Po zvednutí padá rameno, na jehož konci je připevněn speciální keramický břit 3, na rotující kotouček 4 (zkušební těleso) poháněné elektromotorem 5. Při dopadu na rotující kotouč břit postupně vysekává materiál a tvoří v kotoučku

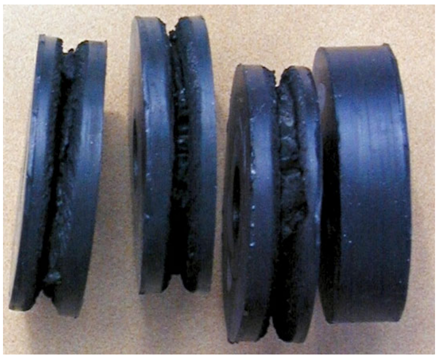
drážku.Velikost drážky zhotovena břitem za určitý čas je měřítkem opotřebení. Při návrhu musely být zohledněny následující požadavky:

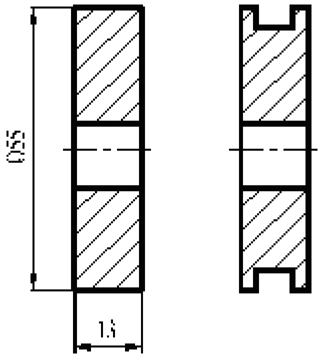
- Otáčky kotoučku (zkušebního tělesa) musí být nastavitelné v širokém rozmezí. Aby byl tento požadavek splněn, byl zvolen pohon elektromotorem s regulací otáček pomocí statického měniče kmitočtů.Tímto řešením odpadla nutnost redukce otáček převodovkou a byla zabezpečena regulace otáček prakticky od 0 do max hodnoty. Pro pohon byl použit elektromotor typ 4AP80 – 6s a statický měnič kmitočtů typ Alitivar 08.
- Proměnlivý zdvih ramene.Aby bylo možné realizovat tento požadavek, byl navržen a realizován pneumatický mechanismus tvořený pracovním pístem s možností proměnlivého zdvihu. Pracovní válec je zásobovaný přímo ovládaným ventilem EVK 3120 firmy SMC a proces je řízen řídící jednotkou FESTO typ FEC – FC20/10W.
- Zabezpečit konstantní parametry břitu. Nejdříve byl pro tyto účely navržen břit z nástrojové oceli. Docházelo však k velmi rychlému opotřebení a tím ke změnám podmínek experimentu. Z toho důvodu byl odzkoušen keramický břit – upravená břitová destička pro řezné nástroje (typ TNGN 220608). Při úpravě byly zbroušením vytvořeny tři řezné břity s úhlem 60°.
  Keramické břity vykazovaly vynikající odolnost proti opotřebení. Pokud nedošlo k poškození břitu neopatrným zacházením, nebyl znatelný rozdíl mezi originální a „opotřebovanou“ destičkou.

### 3.2.1 Rozměry zkušebního tělesa

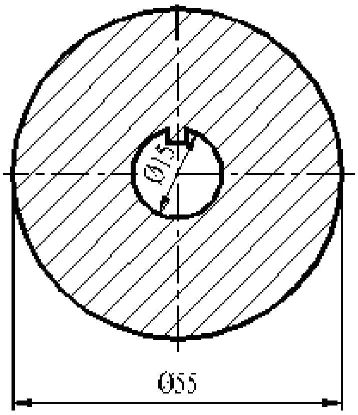
Z důvodu snadné přípravy zkušebních těles (vzorků) byl navržen rozměr dle obr. 4.

V průběhu testu byla do zkušebního tělesa vytvořena (vykousána) keramickým nástrojem drážka. Po zkušenosti s obráběním jiných materiálů zejména kovů, ale i dřeva, plastů aj., by se dalo očekávat, že tvar drážky bude pravidelný. Vzhledem k vlastnostem obráběné pryže, u které se výrazně projevil její elastický charakter, došlo k nerovnoměrnému vykusování materiálu v okamžiku dopadu břitu na rotující kotouč. Z těchto důvodů bylo taky upuštěno od původní představy vyhodnocování opotřebení – měřením průměru drážky a vyhodnocování bylo provedeno gravimetricky.






a) b)




Obr. 4 Zkušební těleso pro zkoušku rychlého opotřebení
a) před zkouškou b) po zkoušce

### 3.2.2 Analýza opotřebení

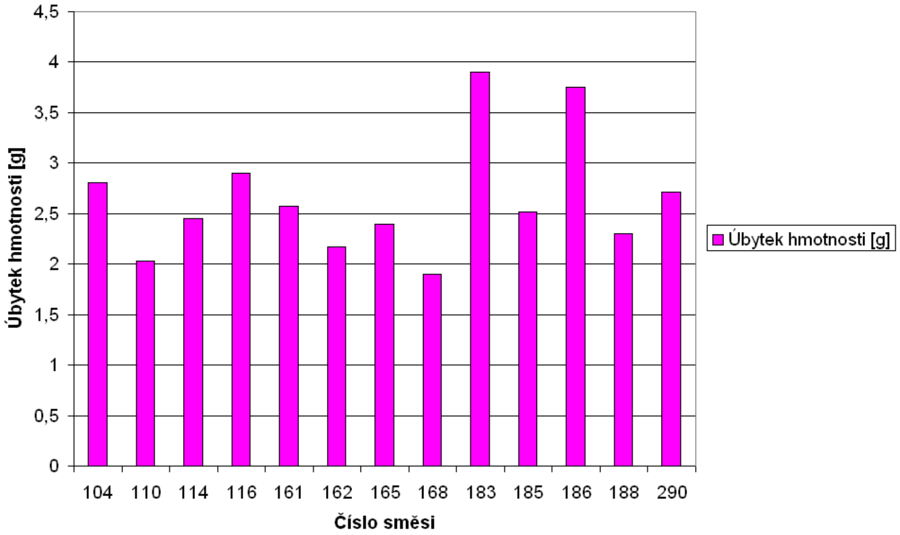
Na opotřebení bude mít rozhodující vliv energie dopadu keramického břitu na povrch zkušebního tělesa. Pokud by se jednalo o pevné těleso bude výpočet účinku dopadové energie poměrně jednoduchý. Elastické vlastnosti zkušebního tělesa však způsobují, že dojde po hlavním účinku (prvním dopadu keramického břitu na povrch zkušebního tělesa) ještě k sérii dalších účinků s menší intenzitou („poskakování“ po povrchu). Hlavní účinky keramického břitu mají pouze částečný vliv na celkové opotřebení. Ukázalo se, že posuzovat celkovou práci potřebnou k opotřebení ( tj. vytvoření drážky ve zkušebním tělese) pouze uvažováním energie hlavního dopadu, by bylo značně zkreslené. Pro první otestování experimentálního zařízení se proto vycházelo z předpokladu, že výsledky v dané sérii měření budou srovnatelné, pokud bude experiment probíhat za stejných podmínek. Konstrukce zkušebního tělesa s perem zapadajícího do drážky na hřídeli a upínací podložky s hroty zabraňují prokluzování zkušebního tělesa při záběru.

### *Podmínky experimentu*

Zkoušky rychlého opotřebení byly prováděny na experimentálním zařízení při následujících podmínkách:

- otáčky zkušebního tělesa 910 $min^{-1}$
- frekvence dopadu keramického břitu 1 Hz
- zdvih keramického břitu 60 mm
- teplota okolí 21 °C
- doba trvání experimentu 270s

Zkušební těleso bylo upnuto do čelistí stroje tak, aby bylo zabráněno jeho prokluzování a uvedeno do rotace. Byl uveden do chodu zdvihací mechanismus pro zvedání ramene s keramickým břitem. Od prvního kontaktu břitu se zkušebním tělesem byl měřen čas. K měření bylo vždy použito deset zkušebních těles zhotovených z jednotlivých směsí. Po ukončení experimentu byl zjišťován hmotnostní úbytek vážením na analytických vahách. Naměřené hodnoty byly statisticky zpracovány a vyhodnoceny.

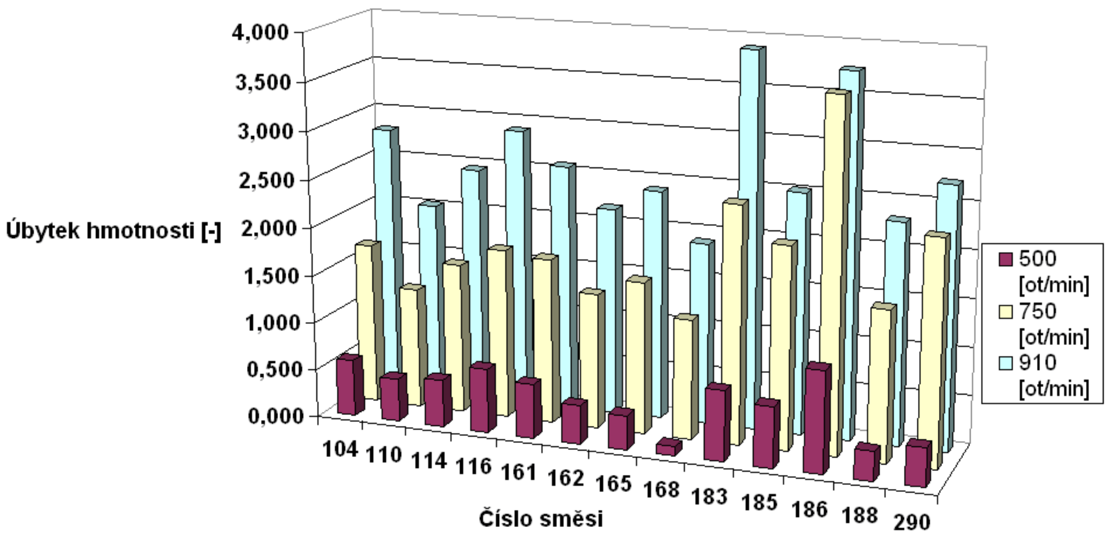



Obr.5 Porovnání úbytku hmotností

Nejvyššího opotřebení dosáhly směsi 183, 186 a směs 116. Naopak nejlepších vlastností z hlediska opotřebení vykazovala zkušební tělesa připravená ze směsích 168, 110 a 162.

### 3.2.3 Závislost na provozních podmínkách

V provozních podmínkách se vozidla pohybují v terénu různou rychlostí, kterou lze charakterizovat obvodovou rychlostí běhounu pláště. Proto byly vykonány další experimenty, které by charakterizovaly stupeň opotřebení při různých podmínkách. Test opotřebení byl prováděn při následujících otáčkách zkušebních těles $n_1$= 910 ot/min, $n_2$= 500 ot/min, $n_3$= 250 ot/min. Ostatní podmínky experimentu zůstaly beze změn. Z uvedených výsledků vyplývá očekávaná tendence růstu opotřebení při vzrůstajících otáčkách.

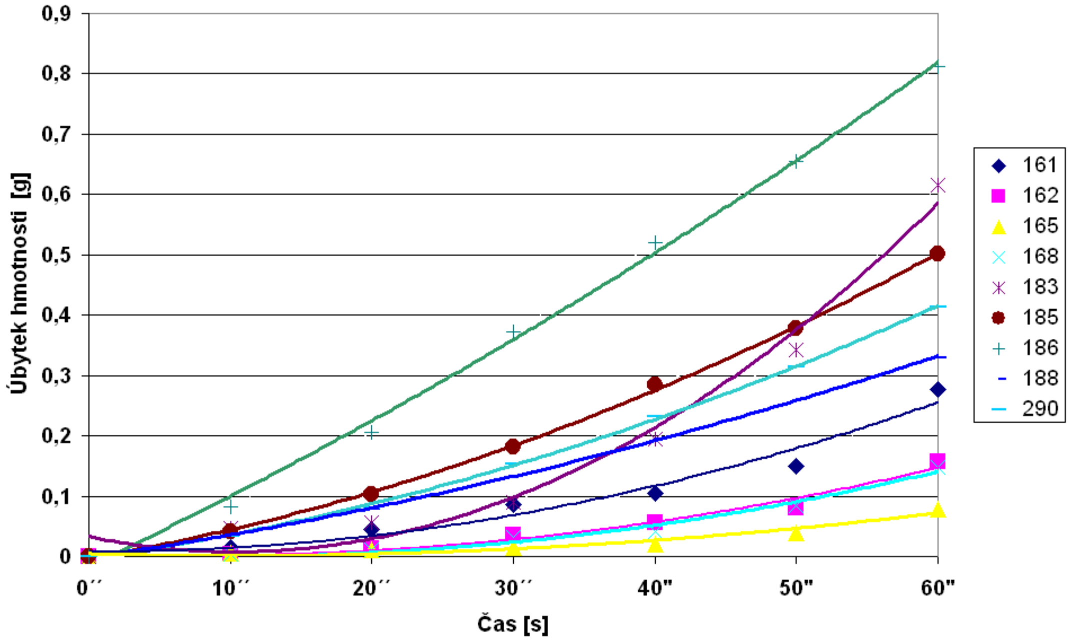



Obr. 6 Porovnání úbytku hmotností při různých otáčkách

### 3.2.4 Průběh opotřebení

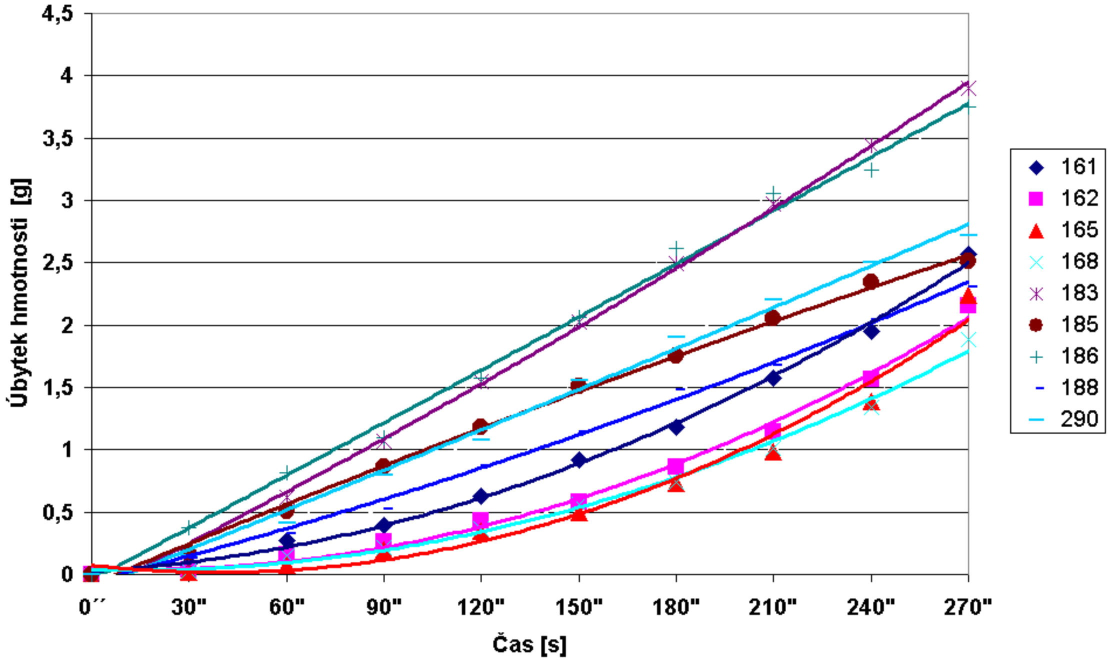
Cílem experimentu bylo sledovat změnu hmotnosti zkušebního tělesa (opotřebení) v průběhu testu.

Byla vyhodnocována hmotnost vybraných vzorků po 30s od počátku až do konce experimentu (270s). Vzhledem k odlišnému chování testovaných směsí v počátečním úseku testu, byla věnována zvláštní pozornost i fázi experimentu v čase 0 – 60s, při kterém byla zjišťována hmotnost zkušebního tělesa v intervalu 10s.




Obr. 7 Postupný úbytek hmotnosti u všech směsích v čase (0 – 60)s

U většiny testovaných vzorků je patrný pozvolný nárůst opotřebení v počáteční fázi experimentu. K výraznějšímu nárůstu opotřebení dochází až po vzniku počátečních trhlin. Teprve poté je nárůst opotřebení výraznější. Z praktického hlediska to znamená, že do vzniku prvních známek poškození povrchu je opotřebení nepatrné. U směsi s nízkou odolností proti opotřebení (např. směs 186) je nárůst opotřebení výrazný již od samého počátku testu. Vzájemné porovnání vybraných směsí je na obr. 7 a 8.



Obr. 8 Postupný úbytek hmotnosti u všech směsích v čase (0 – 270)

0“ 10“ 20“ 30“ 60“ 120“ 270“

Obr. 9 Postupný úbytek hmotnosti (opotřebení) u testovaných vzorků v čase (0-270)s

Na obr. 8 a 9 je znázorněn úbytek hmotnosti (opotřebení) v průběhu celého testu (0 – 270)s.

Ve většině sledovaných případů je patrná tendence k rychlejšímu opotřebení s narůstajícím časem. Z praktického hlediska to znamená, že dokud nedojde ke vzniku prvních poškozeních povrchu běhounu jízdou po terénních nerovnostech (ostré hrany kamenů apod.) je opotřebení nepatrné. První poškození povrchu však odstartuje „lavinu“dalšího poškozování povrchu a celkově opotřebení běhounu pláště pneumatik se bude urychlovat.

# DISKUSE VÝSLEDKŮ

K testům bylo použito třináct druhů běhounových směsí určených pro:

- motocyklové pláště cross (směsi číslo 183, 185, 186)
- motocyklové pláště enduro (směs 290)
- pláště technických vozidel (směs 188)
- zemědělské pneu (104, 110, 114, 116)
- TR – 03 (161)
- NB VZV (162)
- TP, ZS (165)
- MPT/R (168)

Experimentální část zahrnuje soubor měření, k nimž bylo použito celkem 13 druhů různých směsí s označením A až M, používaných pro výrobu běhounů pneumatik zemědělských strojů, mimosilničních vozidel, technických vozidel a motocyklů.

Bylo provedeno 8 souborů standardních testů (tahová zkouška, strukturní pevnost, odrazová pružnost, tvrdost, DMA). Testována byla zkušební tělesa připravená ze 13 běhounových směsí. Vždy šlo o reálné směsi používané při výrobě uvedených typů pneu.

Výsledky měření byly zpracovány a byla hledána korelace ve vztahu s opotřebením, charakterizovaným úbytkem hmotnosti zkušebního tělesa.

Soubory naměřených hodnot byly zpracovány a výsledky graficky znázorněny. Pro snadnější orientaci a rychlé porovnání naměřených hodnot, byly použity tzv. bezrozměrné hodnoty, vyjádřené jako poměr jednotlivých měření, k maximální hodnotě dosažené v průběhu příslušného měření.

Byl proveden test opotřebení při různých provozních podmínkách, charakterizovaných různými otáčkami zkušebního tělesa. Potvrdila se očekávaná tendence zvyšování opotřebení při zvyšujících se otáčkách. (obr. 6)

Byl sledován průběh opotřebení během celého testu. Zvláštní pozornost byla věnována počáteční fázi testu. Experimenty ukázaly, že růst opotřebení v průběhu testu je relativně rovnoměrný (obr. 8), s výjimkou počáteční fáze (obr. 7). Počáteční fáze opotřebení je charakterizována velmi pozvolným nárůstem. Rychlý nárůst nastává teprve po narušení povrchu zkušebního vzorku.

Byly porovnávány výsledky testů opotřebení s dalšími fyzikálně – mechanickými vlastnostmi. Souvislosti mezi fyzikálně – mechanickými vlastnostmi a opotřebením jsou uvedeny na následujících obrázcích.

### *Pevnost v tahu*

Nejmenšího opotřebení bylo dosaženo u směsí 168, 110, 162, 188, 290. U uvedených směsí byla zároveň zjištěna nejvyšší pevnost v tahu. Největší opotřebení zaznamenaly směsi 183, 186, ale zjištěné hodnoty pevnosti v tahu, nebyly v rámci sledovaného souboru měření nejmenší.

### *Tažnost*

Nejvyšší hodnota tažnosti byla zjištěna u směsí 168, 188 a 290, což jsou směsi, které vykazují malé opotřebení.

Z uvedeného vyplývá, že tahové vlastnosti (pevnost v tahu a odpovídající tažnost), příznivě ovlivňují opotřebení.

### *Strukturní pevnost*

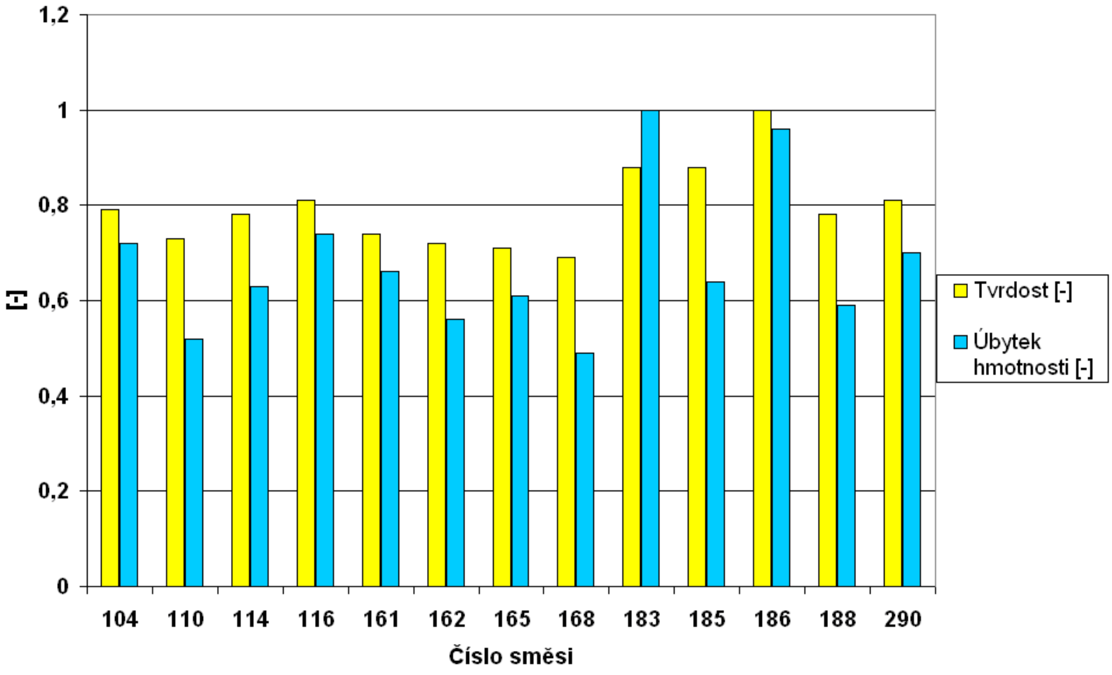
Nejvyšších hodnot strukturní pevnosti bylo dosaženo u směsi 186, která zároveň zaznamenala velmi vysoké opotřebení. Směs s nejnižší hodnotou opotřebení (168), vykázala poměrně vysokou strukturní pevnost. Vzhledem k tomu, že hodnoty strukturní pevnosti jsou v celé škále hodnocených směsí poměrně vyrovnané, je možno považovat vliv strukturní pevnosti za méně významný.

### *Tvrdost*

Vysoké hodnoty tvrdosti byly zjištěny u směsí 183, 186, což jsou zároveň směsi s nejnižší odolností proti opotřebení. Velmi nízká tvrdost byla zaznamenána u směsi 168, která zároveň vykazuje nejmenší opotřebení. To velmi dobře odpovídá představám o chování materiálu. Větší tvrdost usnadňuje „vydrolování“ směsi, zatímco houževnatější materiál bude opotřebení odolávat lépe (obr. 11).

### *Odrazová pevnost Luepke*

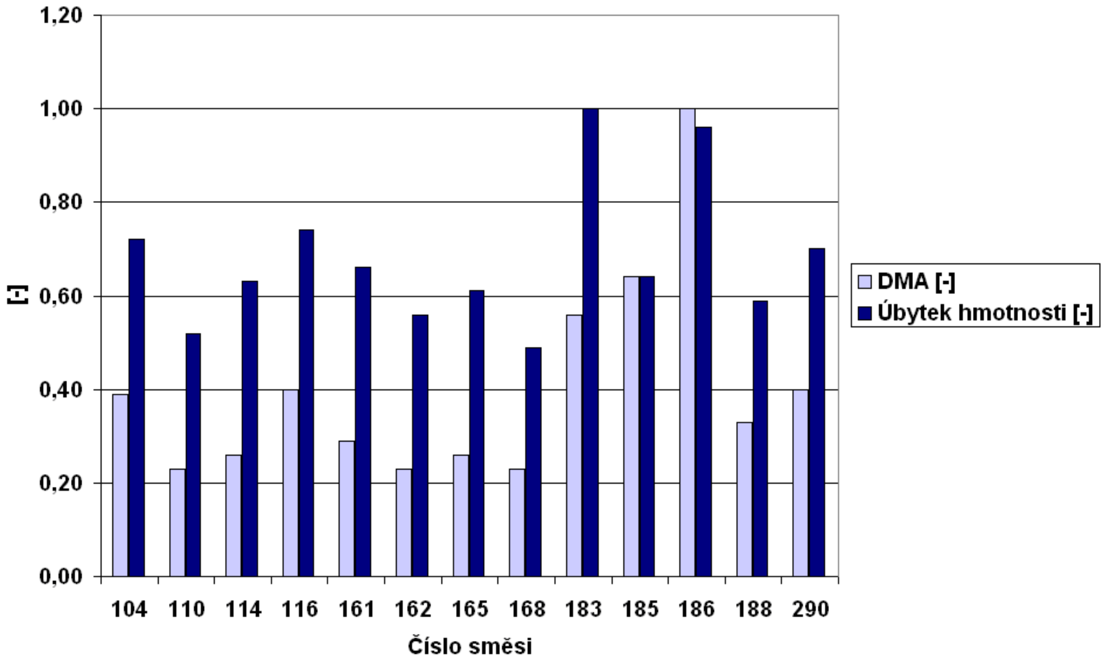
Naměřené hodnoty jsou velmi roztříštěné a neukazují na jednoznačnou závislost mezi opotřebením a odrazovou pružností.




Obr. 10 Porovnání tvrdosti a opotřebení

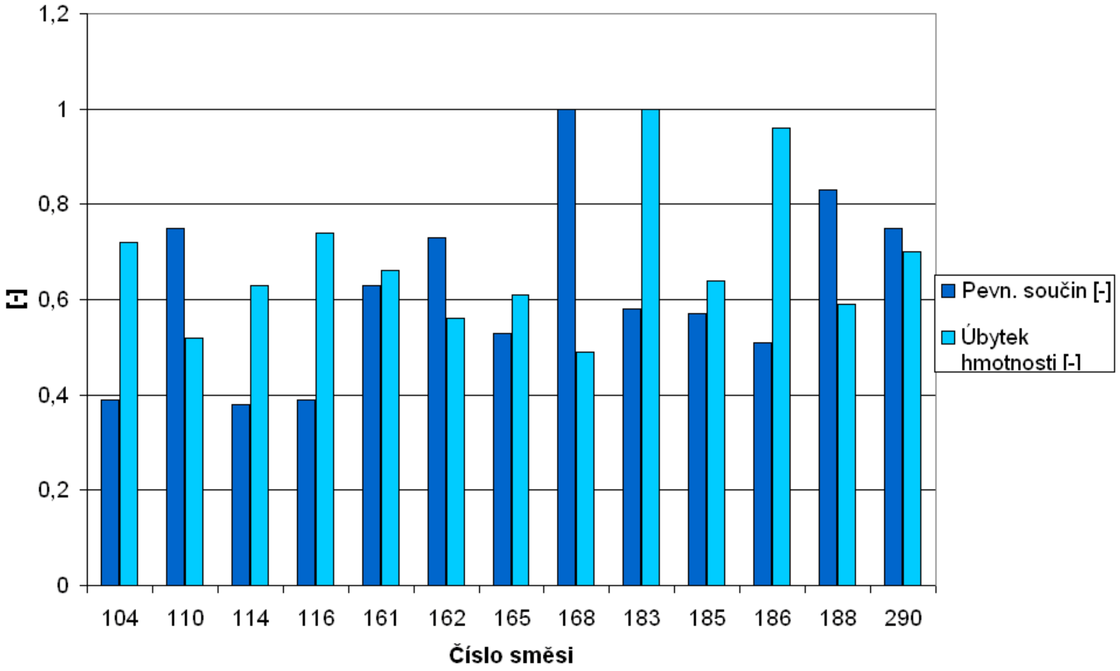
***Dynamicko – mechanické vlastnosti***

Z naměřených hodnot lze vypozorovat korelaci mezi komplexním modulem /E*/ a opotřebením. Nízká hodnota modulu (směsí 168, 110, 162, 188) zároveň odpovídá velmi dobré odolnosti vůči opotřebení. Zjištěná závislost dobře koresponduje s pevností a tažností.



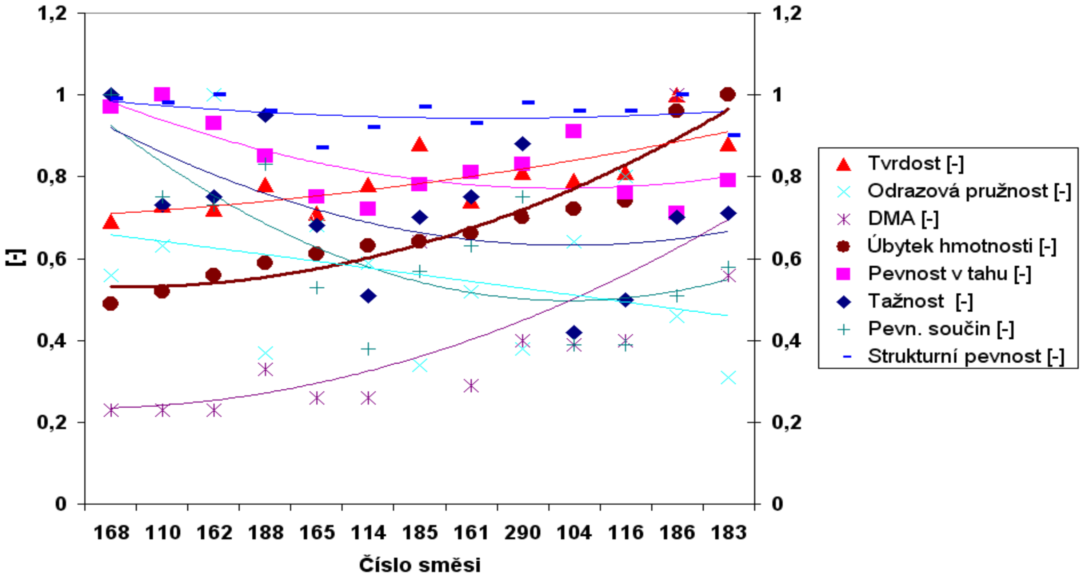

Obr. 11 Porovnání DMA a opotřebení

Z uvedeného vyplývá, že hodnoty tažnosti a komplexního modulu mohou korelovat s opotřebením. Pro další porovnání byly vypočteny hodnoty tzv. pevnostního součinu, což je součin pevnosti a tažnosti. Výsledky tohoto porovnání jsou uvedeny na obr. 12.




Obr. 12 Porovnání pevnostního součinu a opotřebení

Na obr. 13 je znázorněno komplexní porovnání všech naměřených hodnot fyzikálně – mechanických vlastností a opotřebení.




Obr. 13 Porovnání všech sledovaných vlastností

Z naměřených hodnot vyplývá:

- V souboru naměřených hodnot dosáhly z hlediska opotřebení nejlepších výsledků směsi 168, 110, 162, 188, 290. tyto směsi zároveň vykazovaly nejvyšší hodnotu tzv, pevnostního součinu a nejnižší hodnoty komplexního modulu.
- Větší odolnost vůči zkoumanému typu opotřebení bylo dosaženo u směsi vykazující nižší tvrdost.
- Rychlost opotřebení závisí na provozních podmínkách.
- Opotřebení roste ve většině sledovaných případů rovnoměrně s časem, s výjimkou počáteční fáze.
- Vzhledem k tomu, že vlastnosti směsí jsou ovlivňovány jejich složením (druhem a zastoupením jednotlivých komponent), bude i opotřebení ovlivněno skladbou směsi.

# ZÁVĚR

Disertační práce řeší problém opotřebení silně namáhaných pryžových dílů, zejména běhounů pneumatik. Byl proveden soubor standardních měření zahrnující tahové zkoušky při normální (pevnost v tahu, tažnost, strukturní pevnost), zkoušky tvrdosti, odrazové pružnosti, DMA.

Součástí disertační práce je také návrh a realizace experimentálního zařízení pro rychlý test opotřebení. Na navrženém zařízení byl proveden soubor měření na zkušebních tělesech zhotovených ze třinácti různých typů běhounových směsí určených pro výrobu běhounů velmi namáhaných motocyklových plášťů a plášťů pro technická vozidla.a zemědělská vozidla.

Výsledky obou testů byly porovnány. Z analýzy vyplynul určitý vztah mezi mírou opotřebení zjištěnou na zkušebním zařízení a některými mechanickými vlastnostmi. Za relevantní může být považován vztah mezi tvrdostí a opotřebením - čím tvrdší byl vzorek, tím větší opotřebení vykazoval.

Vztah mezi pevností, eventuálně strukturní pevností a opotřebením nebyl prokázán, respektive míra opotřebení nevykazuje jednoznačný vztah k pevnosti vzorku. Z naměřených hodnot se jeví určitá závislost mezi tažností a mírou opotřebení.

Pozorováním výsledků měření lze pozorovat korelaci mezi opotřebením a pevnosti v tahu, tažností a komplexním modulem. Výrazný je i vztah mezi pevnostním součinem a opotřebením. Tento vztah však nebyl patrný v celém spektru testovaných směsí. Výrazněji se projevil u směsí s hodnotou pevnostního součinu vyšší než 10000.

Na zařízení je možno realizovat rychlé testy opotřebení (tzv. chip – chunk odolnost) běhounových směsí při velmi nízkých provozních nákladech.

# POUŽITÁ LITERATURA

[1] MAŇAS, M,: The Plastics Industry in the Czech Republic. Czech Business and Trade, č.2, 2001, s44. ISSN 1211-2208.
[2] VESELÁ, E.: Gummi und Kunststoff verarbeitende Industrie in der Tschechischen Republic. Wirtschaft und Handel in der Tschechischen Republic, č. 2, s16, ISSN 1211-2216.
[3] LIMERT, G., DRÁBEK, F., ONDRA, J., VAVŘÍK, I. Obrábění. SNTL/ALFA, Praha, 1974.
[4] GAZDA, J. a kol. Teorie obrábění. Řezné síly při obrábění. VŠST, Liberec, 1993.
[5] LUKOVICS, I. Konstrukční materiály a technologie. Nakladatelství VUT, Brno, 992
[6] KOCMAN, K., PROKOP, J. Technologie obrábění. CERM, Brno, 2001.
[7] Jednotné normativy. Obrobitelnost materiálů,CNN 10-0-II/II. Panorama, Praha,1980.
[8] Lukovics, I. – Maňas, D.: Tools Workability and Cutting power when Polymers Machining. In 2nd International Congress of Precision Machining, 3. – 6.9. 2003, Praha, p. 210 – 214, ISBN 80 – 01 – 02795 – 3
[9] MARCÍN, J. ZÍTEK, P.: Pneumatiky. SNTL Praha, 1985, 490s., ISBN 04-626-85.
[10] DUCHÁČEK Polymery Vydavatelství VŠCHT, Praha, 1995
[11] MAŇAS, M.: Výrobní stroje a zařízení . Gumárenské a platikářské stroje I. ES VUT, Brno, 1990, 253s.
[12] MAŇAS, M.: Výrobní stroje a zařízení . Gumárenské a platikářské stroje II. ES VUT, Brno, 1990, 199s.
[13] BATTY, J. R., MIKSCH, B. J.: A Laboratory Cutting and Chipping Tester for Evaluting OFF – the – Duty Tires Treads. Rubber Chemistry and Technology. Vol 55, 1983, s. 1531
[14] MAYA SCHERBAKOV AND MARK R. GURVICH A Metod of Wear Characterization under Cut, Chip and Chunk Condition. Journal of Elastomers
[15] I. BEKAR, M. S. H. FATT, J. PADOVAN Deformace a Trhání Pryže Při Tahovém Rázovém Zatížení
[16] ČSN 621431 Stanovení tvrdosti vtlačováním hrotu tvrdoměru (Tvrdost Shore)
[17] ČSN ISO 37 Pryž z vulkanizovaných nebo termoplastických kaučuků – stanovení tahových vlastností
[18] ČSN 621459 Stanovení strukturní pevnosti
[19] ČSN 621481 Odrazová pevnost Luebke

[20] J. ŠTEPEK, J. ZELINGER, A. KUTA Technologie zpracování plastů, Praha, SNTL, 1984

[21] SCHATZ, M., VONDRÁČEK, P.: Zkoušení polymerů. VŠCHT Praha, 1988, 276 s, ISBN 17/61 017/88¨

# CURICULUM VITAE

## Osobní údaje

| | |
|---|---|
| Jméno a příjmení, titul: | David Maňas, Ing. |
| Datum a místo narození: | 1.dubna 1975, Zlín |
| Bydliště: | Větrná 4606 Zlín 760 05 |
| Telefon: | +420 604 85 21 88 |
| E-mail: | manas@ft.utb.cz |
| Státní příslušnost: | ČR |
| Rodinný stav: | svobodný |

## Školní vzdělání

| | |
|---|---|
| 2002 nyní | VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství<br>*obor:* 23-07-9 Strojírenská technologie (doktorské studium) |
| 1999 – 2002 | UTB ve Zlíně, Fakulta technologická<br>*magisterský studijní program:* 2808 T Chemie a technologie materiálů, *studijní obor:* Technologie kůže, plastů a pryže |
| 1996 – 1999 | VUT v Brně, Fakulta technologická ve Zlíně<br>*bakalářský studijní program:* 32-13-7 Technologická zařízení |
| 1991 – 1995 | Střední průmyslová škola strojní, Zlín<br>*obor:* 23-81-6 Strojírenství |

## Odborná praxe

| | |
|---|---|
| 1993 – 1994 | Kovárna VIVA |
| 1994 – 1996 | TESAC spol. sr.o. |
| 2001 - 2003 | MITAS a.s., výrobní úsek Zlín |

## Zahraniční stáže

2005 (květen) Högskolan Kristianstad, Technical Institute, Sweden

**Pedagogická činnost:** Vedení a recenze diplomových prací

# ABSTRAKT

Disertační práce řeší problém opotřebení silně namáhaných pryžových dílů, zejména běhounů pneumatik. Byl proveden soubor standardních měření zahrnující tahové zkoušky při normální (pevnost v tahu, tažnost, strukturní pevnost), zkoušky tvrdosti, odrazové pružnosti, DMA.

Součástí disertační práce je také návrh a realizace experimentálního zařízení pro rychlý test opotřebení. Na navrženém zařízení byl proveden soubor měření na zkušebních tělesech zhotovených z třinácti různých typů běhounových směsí určených pro výrobu běhounů velmi namáhaných motocyklových plášťů a plášťů pro technická vozidla.a zemědělská vozidla.

Výsledky obou testů byly porovnány. Z analýzy vyplynul určitý vztah mezi mírou opotřebení zjištěnou na zkušebním zařízení a některými mechanickými vlastnostmi. Za relevantní může být považován vztah mezi tvrdostí a opotřebením - čím tvrdší byl vzorek, tím větší opotřebení vykazoval.

Vztah mezi pevností, eventuálně strukturní pevností a opotřebením nebyl prokázán, respektive míra opotřebení nevykazuje jednoznačný vztah k pevnosti vzorku. Z naměřených hodnot se jeví určitá závislost mezi tažností a mírou opotřebení.

Pozorováním výsledků měření lze pozorovat korelaci mezi pevnosti v tahu, tažností a komplexním modulem. Výrazný je i vztah mezi pevnostním součinem a opotřebením. Tento vztah však nebyl patrný v celém spektru testovaných směsí. Výrazněji se projevil u směsí s hodnotou pevnostního součinu vyšší než 10000.

Na zařízení je možno realizovat rychlé testy opotřebení (tzv. chip – chunk odolnost) běhounových směsí při velmi nízkých provozních nákladech.

# ABSTRACT

This dissertation thesis solves the problem of wear of heavily stressed rubber parts, particularly tyre treads. A set of standard measurements including tensile tests under normal conditions (tensile strength, elongation, tear resistance), tests of hardness, resilience, DMA has been performed.

Component part of this thesis is also a project and realization of an experimental device for a fast test of wear. On the projected device, a set of measurements on test pieces made of thirteen

different types of tread compounds designed to the manufacture of extremely stressed motor cycle tyres and for tyres of technical and agricultural vehicles have been performed.

The results of both tests have been compared. From the given analysis, a certain relation between the degree of wear ascertained in the testing device and some mechanical properties has ensued. The relation between the hardness and the wear may be regarded as relevant – a harder test piece has shown a higher degree of wear.

The relation between the strength, eventually, between the tear resistance and the wear has not been proven, respectively, the given degree of wear does not show any explicit relation to the test piece strength. From the values measured there ensues a certain dependence between the elongation and the degree of wear.

When observing the results of the given measurements, some correlation between the tensile strength, elongation and complex modulus may be observed. Even the relation between the strength coefficient and the wear is evident. But this relation has not been obvious within the whole spectrum of the compounds tested. It has been more evident with a compound having the value of its strength coefficient superior to 10000.

The above device enables realizing fast tests of wear (the so-called chip – chunk resistance) of tread compounds with very low working expenses.