

Modelace lisovací formy pro vzorek na měření oděru

Aleš Machů

Bakalářská práce
2016

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav inženýrství polymerů
akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Aleš Machů**
Osobní číslo: **T13297**
Studijní program: **B2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor: **Polymerní materiály a technologie**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Modelace lisovací formy pro vzorek na měření oděru**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši zabývající se oděrem pryžových materiálů
2. Připravte návrh lisovací formy
3. Vypracujte výkresovou dokumentaci



Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. Budinski, Kenneth G.. (2007). **Guide to Friction, Wear, and Erosion Testing: (MNL 56).**
2. Sommer, John G.. (2009). **Engineered Rubber Products – Introduction to Design, Manufacture and Testing. Hanser Publishers**
3. **Databáze UK**
4. **Internet**

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Zádrapa, Ph.D.

Ústav inženýrství polymerů

Datum zadání bakalářské práce:

15. ledna 2016

Termín odevzdání bakalářské práce:

20. května 2016

Ve Zlíně dne 1. března 2016

doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



Ing. Lubomír Beníček, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně19.5.2016

.....


¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídně k vyšší výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce pojednává o popisu oděru pryžových materiálů. Teoretická část je věnována mechanismu a faktorům ovlivňující oděr. V první kapitole je popsáno tření obecně, mechanismus tření, specifika tření u pryžových materiálů, měření tření a druhy opotřebení. Druhá kapitola je zaměřena přímo na oděr a odolnost proti oděru. Třetí kapitola je věnována způsobům, jakým měříme oděr u pryžových materiálů. V praktické části je navržena podoba nového zkušebního tělesa pro měření oděru a návrh lisovací formy.

Klíčová slova: pryž, opotřebení, tření, oděr, odolnost proti oděru

ABSTRACT

This thesis deals with the description of the wear of rubber materials. The theoretical part is devoted to the mechanism and the factors influencing abrasion. The first chapter describes the general friction, friction mechanism, the specifics of friction of the rubber materials, friction measurement and wear types. The second chapter focuses directly on abrasion and wear resistance. The third chapter is devoted to the ways in which we measure abrasion of rubber materials. The practical part shows the design of testing body for measurement of abrasion and plans of press mold.

Keywords: rubber, wear, friction, abrasion, abrasion resistance

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 TŘENÍ A OPOTŘEBENÍ	11
1.1 TŘENÍ	11
1.1.1 Faktory ovlivňující tření	11
1.1.2 Měření tření	13
1.2 OPOTŘEBENÍ	14
1.2.1 Druhy opotřebení	15
1.2.1.1 Adhezivní opotřebení	16
1.2.1.2 Erozivní opotřebení	16
1.2.1.3 Kavitační opotřebení	17
1.2.1.4 Vibrační opotřebení	17
1.2.1.5 Únavové opotřebení	17
1.2.1.6 Abrazivní opotřebení	17
1.3 STRUKTURNÍ PEVNOST	18
2 ODĚR PRYŽOVÝCH MATERIÁLŮ	20
2.1 MECHANISMUS ODĚRU	20
2.1.1 Oděr při vlečném pohybu	21
2.1.1.1 Vlastní oděr	21
2.1.1.2 Obrazcový oděr	21
2.1.2 Oděr při valivém pohybu	22
2.2 ODOLNOST PROTI ODĚRU	22
2.2.1 Vliv složek směsi na odolnost proti oděru	22
2.2.1.1 Plniva	22
2.2.1.2 Změkčovadla	23
2.2.1.3 Antioxidanty	23
3 ZKOUŠKY OPOTŘEBENÍ	24
3.1 TYPY ZKOUŠEK OPOTŘEBENÍ	25
3.1.1 Metoda Bussen-Schlobach	29
3.1.2 Metoda du Pont-Graselli	30
3.1.3 Metoda Akron-Croydon	31
3.1.4 Metoda Dunlop-Lambourn	32
II PRAKTICKÁ ČÁST	34
4 NÁVRCH LISOVANÉHO DÍLU	35
5 NÁVRCH LISOVACÍ FORMY	37
5.1 VOLBA DĚLÍCÍ ROVINY	37
5.2 VOLBA ZASKŘÍPAVACÍCH HRAN A PŘETOKOVÉ KANÁLKY	37
5.3 SLOŽENÍ FORMY	38
5.3.1 Horní pomocná deska a dolní pomocná deska	40
5.3.2 Tvárník	40
5.3.3 Tvárnice	41
5.4 MATERIÁL FORMY	41
5.4.1 Porovnání oceli a duralu	41

5.5	PEVNOSTNÍ ANALÝZA FORMY	42
5.6	CENOVÁ KALKULACE FORMY.....	44
ZÁVĚR		46
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		47
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....		49
SEZNAM OBRÁZKŮ.....		50
SEZNAM TABULEK		51
SEZNAM PŘÍLOH		52

ÚVOD

Gumárenský průmysl a tedy využívání pryže v běžném životě započalo vynálezem vulkanizace roku 1844 Charlesem Goodyearem, který zjistil, že přidavkem síry a zvýšené teploty se z kaučuku, lepkavé a měkké hmoty stává elastická a přitom pevná hmota (pryž), která si své vlastnosti zachovává při vysokých i nízkých teplotách. Před objevením vulkanizace se kaučuk používal zejména pro výrobu nepromokavého oblečení a obuvi. Roku 1888 John Dunlop vyrobí první pryžovou pneumatiku pro jízdní kola, od toho roku můžeme mluvit o masivním využití kaučuku a velice rychlém rozvoji gumárenského průmyslu.

S rozvojem gumárenského průmyslu roste i počet aplikací kde pryžové výrobky najdou svoje uplatnění. Každá aplikace klade na pryž jiné požadavky a má jiné nároky na její výdrž. Jelikož pryž není jen zesíťovaný kaučuk, ale jedná se o směs obsahující mnoho přísad, navíc v různých poměrech. Můžeme tedy mít nespočet různých variant kaučukových směsí, které se od sebe liší svými vlastnostmi a tedy i svými aplikacemi.

Právě s rostoucími nároky je potřeba znát, jak dlouho použitá pryž vydrží plně vykonávat svou funkci. Například u pneumatik, které slouží k přenosu síly mezi koly a vozovkou a jsou tedy po celou dobu zatěžovány. Největší zátěž spočívá ale v přenosu síly mezi kolem a vozovkou, kdy se pneumatika o vozovku tře a opotřebovává se. Je tedy důležité použít směs, která je vůči takovému opotřebení odolná.

K určení, která směs je více odolná vůči určitému typu opotřebení, slouží zkoušky opotřebení, ty ovšem musíme správně zvolit. Dále musíme vědět, jakým způsobem k opotřebení dochází a na čem závisí.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TŘENÍ A OPOTŘEBENÍ

Je důležité si uvědomit, že tření a opotřebení jsou vzájemně provázané procesy. V jednoduchosti: z důvodu, že tření je nedílnou součástí mechanických procesů opotřebení a oba procesy lze studovat a měřit při stejném experimentu. Tření hraje důležitou roli při mechanis-
mech opotřebená pryže a je třeba brát v úvahu, kde jsou tyto mechanismy studovány. Mimo-
to, hlavním produktem gumárenského průmyslu jsou pneumatiky, kde tření (odolnost
proti prokluzu) a opotřebení tvoří dva nejvíce důležité výkonové parametry. Nicméně pokud
jde o laboratorní měření tření a opotřebení, jsou považovány za samostatné procesy. Zatímco
zkoušky tření jsou jen výjimečně standardizovány a jsou prováděny jen v relativně málo
laboratořích, tak zkoušek opotřebení bylo vynalezeno velké množství a jsou takřka ve všech
gumárenských laboratořích. Lze tvrdit, že tato situace neodráží důležitost tření v procesech
opotřebení. [19]

1.1 Tření

Tření pryže je velmi složitý proces, který se projevuje při styku dvou povrchů, ale obecně se
skládá ze dvou částí a to:

- a) Tření adhezivní
- b) Tření hysterezní

Například u lepidla třením opakovaně vznikají a zanikají mezimolekulární vazby mezi po-
vrchy, což je důsledek adhezivního tření. Zatímco hysterezní tření je výsledkem dynamické
deformace se ztrátou energie. Musíme také brát v úvahu, že tření závisí na vnějších faktorech
jako je drsnost povrchu a vnitřních faktorech které jsou spojeny s viskoelastickými vlast-
nostmi pryže. [19]

1.1.1 Faktory ovlivňující tření

Jak bylo popsáno výše, vnější tření vzniká při relativním pohybu dvou těles. Povrchy se
můžou buď jen dotýkat, nebo může být alespoň jeden přitlačěn normálovou silou k druhému.
Při pohybu povrchu tělesa vzniká na podložce odporová síla a působí proti vzájemnému
pohybu povrchů. Odporová síla je kolmá k normálové síle. Normálová a odporová síla ne-
boli třecí síla jsou ve vztahu:

$$F = \mu \cdot N \quad (1)$$

Kde: F - třecí síla [N]

N – Normálová síla [N]

μ - součinitel tření [-]

Součinitel tření ve vztahu vystupuje jako konstanta úměrnosti. Součinitel tření nezávisí jen na normálové síle, kterou je přitláčen ale také na drsnosti a přilnavosti obou povrchů v kontaktu.

Součinitel tření můžeme rozdělit podle způsobu, jakým povrchy vůči sobě pohybují:

- a) Součinitel kluzného tření
- b) Součinitel valivého tření



Obrázek 1: Znázornění kluzného a valivého tření. [14]

Součinitel kluzného tření je definován vztahem (1). Součinitel valivého tření je definován podílem e_m , normálové síly a reakcí podložky. Platí zde rovnováha momentů:

$$F \cdot R = N \cdot e_m \quad (2)$$

Jelikož síla, která udržuje těleso v rovnoměrném pohybu je v porovnání s třecí silou opačně orientovaná a vůči síle, která je potřeba k uvedení tělesa do pohybu, je menší. Z toho vyplývá, že statický součinitel tření (součinitel za klidu) je vyšší než kinetický součinitel tření (součinitel za pohybu). [6,9]

Jelikož žádný materiál není dokonale hladký, ale jeho povrch se poset mnoha nerovnostmi musíme rozlišovat mezi zdánlivou a skutečnou plochou, kterou se povrchy dotýkají. Zdánlivá plocha kontaktu je mnohem větší než skutečná plocha kontaktu. Třecí síla je tedy přímo úměrná skutečné kontaktní ploše. [19]

Podle charakteru a stavu povrchu lze tření také rozdělit na hysterezní a adhezivní.

$$F = F_h \cdot F_a \quad (3)$$

Kde: F_h – hysterezní síla tření [N]

F_a – adhezivní síla tření [N]

Hysterezní tření vyjadřuje přetváření nerovností na povrchu měkčí složky tvrdší složkou. Adhezivní tření bývá zpravidla menší než deformační tření a projevuje se při každém kontaktu povrchů dvou těles (působení nízkomolekulárních sil).

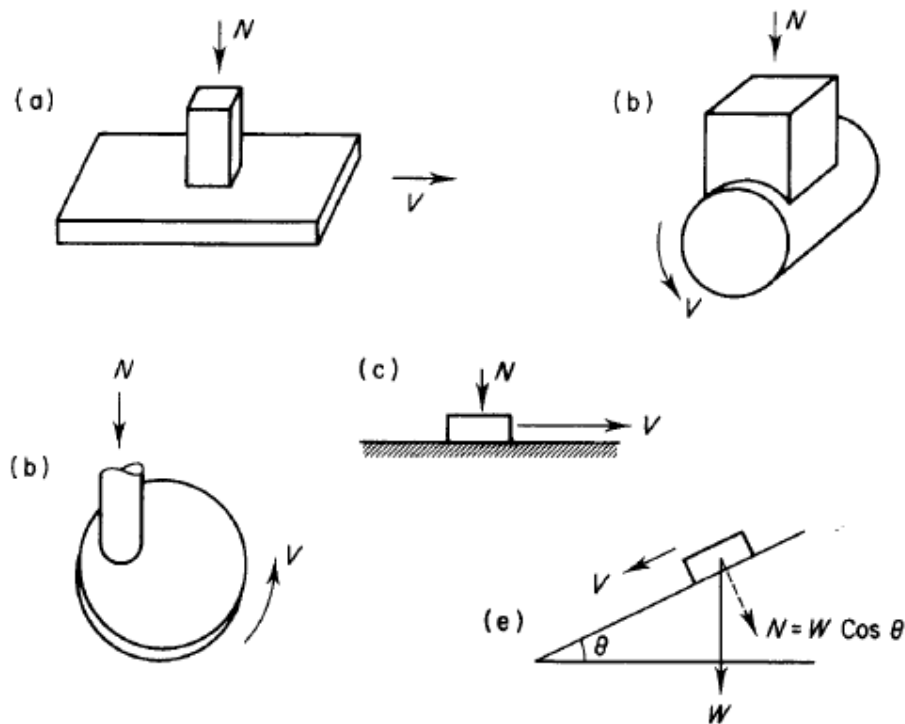
U pryžových materiálů se tření neřídí klasickými zákony tření, které jsou uvedeny v rovnicích (1) a (2), nýbrž součinitel tření klesá s rostoucí normálovou silou. Dalším rozdílem je „stick-slip“ efekt (česky „přilepení a sklouznutí“) při kterém dochází k rapidnímu snížení tření s rostoucí rychlostí. S Velkou rozdílností gumárenských směsí a následných pryží můžeme mít velké rozdíly mezi třením jednotlivých pryží, např. vysokého tření je zapotřebí u pneumatik a nízkého u vodou lubrikovaných pryžových ložisek.

Měření tření u pryžových materiálů je velice citlivé na okrajové podmínky. Z důvodů reprodukovatelnosti měření je důležité věnovat pozornost právě okrajovým podmínkám. [6,9]

1.1.2 Měření tření

Tření se měří mezi dvěma dotýkajícími se povrchy, které se vůči sobě pohybují. Přístroj pro měření tření se obecně skládá ze dvou těles, jejichž plochy se dotýkají, prostředkem pohybujícím tělesy a systémem, který indikuje třecí sílu. Z těchto tří hlavních částí můžeme uspořádat několik typů zařízení.

Na obrázku 2 je schematicky znázorněno několik metod měření tření. Nejpoužívanější metoda je 2c – vlečení vzorku. Tato metoda je velice jednoduchá, ovšem velká nevýhoda spočívá ve vlečení vzorku po druhém povrchu. Během vlečení má vzorek tendenci se naklánět, a tedy výsledek zkoušky může být zkreslen a také při nedostatečné tuhosti vzorku se projevuje slip-stick efekt. [19]



Obrázek 2: Druhy uspořádání zařízení pro měření tření: a - lineární dráha, b - hřídel, c - vlečení vzorku. d - válec s rotujícím kotoučem, e - nakloněná rovina. [19]

1.2 Opotřebení

Opotřebení je trvalá nežádoucí změna povrchu a rozměrů jednoho nebo více těles. Je způsobeno vzájemným působením funkčních povrchů, případně i okolního média. Projevem je odstraňování nebo přemístění částic hmoty z funkčního povrchu (opotřebovaného povrchu) mechanickými účinky, ale i jinými vlivy, například chemické, elektrické nebo elektrochemické vlivy.

Na opotřebení se lze dívat makroskopicky jako na pozorovatelný úbytek materiálu či změnu tvaru tělesa. Nebo také mikroskopicky, které vychází z pozorování elementárních procesů, např. lokální plastické deformace, dislokace struktury.

V důsledku působení procesů opotřebení nastává degradace povrchu materiálu a tím povrch materiálu přestává plnit požadovanou funkci. Účinek opotřebení nemusí být vždy doprovázen úbytkem hmotnosti nebo měřitelnými změnami rozměrů povrchu tělesa. Částice v opotřebovaném povrchu se mohou přemísťovat (plastickou deformací), přenášet se na druhý povrch nebo vytrhávat (oddělovat) z povrchu. [9]

Mezi důležité vlastnosti materiálu patří odolnost proti opotřebení, tato vlastnost má velký technický i ekonomický význam. Jedná se o schopnost tenké povrchové vrstvy materiálu odolávat působení vnějších mechanických sil a nelze opomenout další vlivy, které ovlivňují proces opotřebení, např. vlhkost, teplota, maziva.

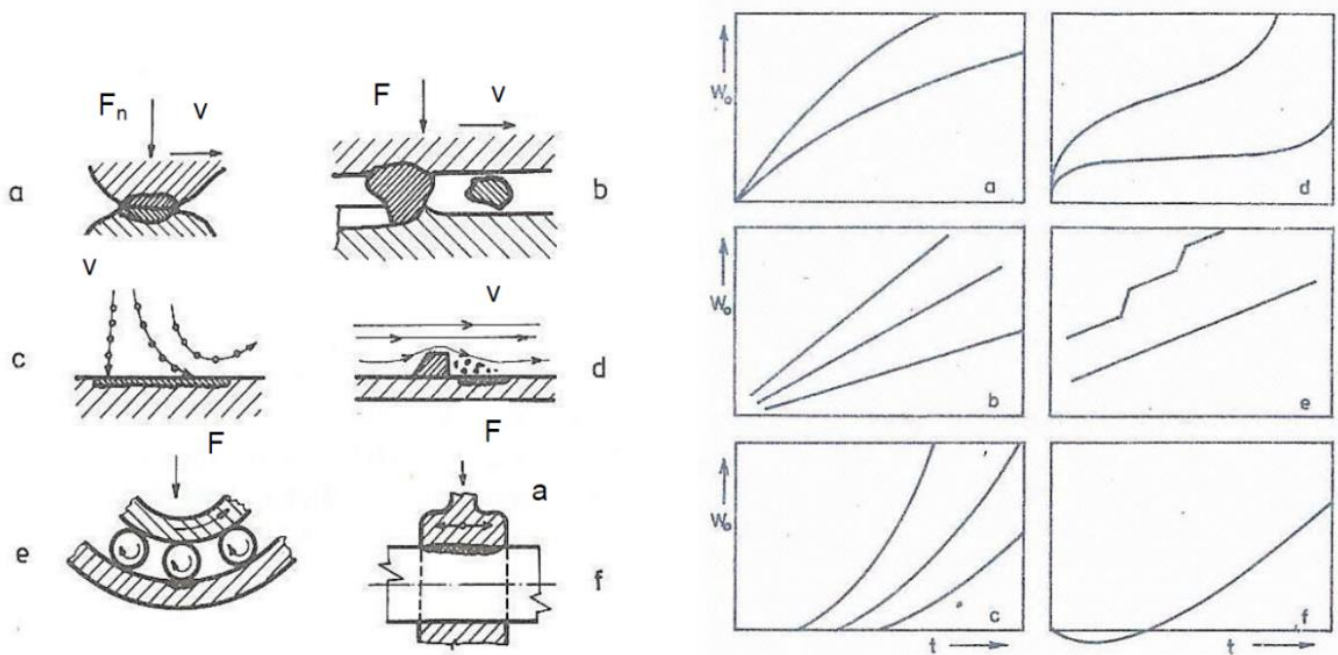
Vědní obor zabývající se procesem opotřebením a třením se nazývá tribologie.

Ve většině případů nelze jednoznačně určit, o jaký typ opotřebení se jedná, jelikož jeden probíhající proces může způsobovat kombinace více současně probíhajících druhů opotřebení. Dle charakteristických projevů probíhajícího opotřebení lze určit druh opotřebení, který se nejvíce podílí na nežádoucích změnách. [3,9,11]

1.2.1 Druhy opotřebení

Jednotlivé druhy opotřebení se od sebe liší způsobem, jakým k opotřebení dochází. Opotřebení lze rozdělit na šest základních druhů:

- Adhezivní
- Abrazivní
- Erozivní
- Kavitační
- Únavové
- Vibrační



Obrázek 3 : Základní druhy opotřebení (schéma): a – adhezivní, b – abrazivní, c - erozivní, d – kavitáční, e – únavové, f– vibrační. Typické časové závislosti základních druhů opotřebení. [9]

1.2.1.1 Adhezivní opotřebení

Adhezivní opotřebení nastává u dvou funkčních povrchů, které jsou k sobě přitlačovány danou silou a jsou v relativním pohybu. Adheze je způsobena silnými adhezivními silami mezi materiály v kontaktu. Adhezivní síly způsobují přilnutí a vznik mikrospojů, které při relativním pohybu neustále vznikají a zanikají. Žádný materiál není dokonale hladký (mikronevnostmi), v důsledku toho nedochází k opotřebení a tedy k deformaci na celé ploše, ale pouze v místě mikrospojů dvou funkčních povrchů. Při adhezivním opotřebení dochází, a je pro tento typ opotřebení charakteristický, přenos materiálu z jednoho povrchu na druhý. [9,11]

1.2.1.2 Erozivní opotřebení

K opotřebení materiálu erozivním způsobem dochází, když je povrch materiálu vystaven proudící kapalině, ve které jsou unášeny pevné částice. Erozivní opotřebení se projevuje rýhováním na povrchu vystaveného materiálu, tento typ opotřebení je charakteristický pro svou nerovnoměrnost opotřebení. [9,11]

1.2.1.3 Kavitační opotřebení

Základem kavitačního opotřebení je vznikání a zanikání kavitačních bublin v proudící kapalině při náhlé změně tlaku. Změna tlaku je způsobena změnou rychlosti nebo změnou hydrodynamických podmínek proudění. [9]

1.2.1.4 Vibrační opotřebení

Vibrační opotřebení se projevuje u součástí, u kterých dochází k vzájemnému tangenciálnímu kmitavému pohybu při působení normálových zatížení. Velikost vibračního opotřebení závisí na následujících faktorech:

- a) Amplituda
- b) Frekvence
- c) Měrný tlak

Se zvyšující se amplitudou za konstantní frekvence dochází k růstu otěru, a tedy se už nejedná jen o vibrační opotřebení, ale o kombinaci více druhů opotřebení. [9]

1.2.1.5 Únavové opotřebení

Únavové opotřebení se projevuje při dlouhodobých cyklických deformacích. Dochází ke změně tuhosti a pevnosti. Je doprovázeno tvorbou trhlin pod povrchem materiálu (tvorba důlků) a následně k oddělování částic materiálu. [9]

1.2.1.6 Abrazivní opotřebení

Abrazivní opotřebení patří mezi velmi intenzivní degradační procesy. Je způsobeno účinkem tvrdého a drsného povrchu druhého tělesa nebo účinkem samotných tvrdých částic v materiálu při kontaktu dvou funkčních povrchů. Jeho typickým projevem je hlavně rýhování a odřezávání částic z povrchu materiálu. [9,11]

Na intenzitu abrazivního opotřebení mají vliv hlavně abrazivní částice, u kterých můžeme charakterizovat vliv:

- Množství částic
- Tvaru částic
- Velikosti částic
- Pevnosti částic
- Tvrdosti částic

a) Množství částic:

vliv množství je na první pohled jasný, ovšem pokud je počet částic hodně vysoký může docházet k jejich shlukování nebo vrstvení, čímž dochází k opotřebení i v situaci kdy většina částic má menší velikost než vzdálenost mezi dvěma povrchy.

b) Tvaru částic:

vliv tvaru částic je nezanedbatelný, zaoblený tvar nepůsobí tak intenzivně a nepronikne do takové hloubky jako částice s ostrohranným tvarem.

c) Velikosti částic:

vliv velikosti částic nejde taktéž zanedbat. U částic větších než vzdálenost mezi dvěma povrchy dochází k opotřebení jen těmito částicemi.

d) Pevnosti částic:

pevnost částic ovlivňují dva děje, a to drcení a otupování částic, k těmto dějům dochází při kontaktu částic s povrchem druhého tělesa. Při drcení částic dochází k jejímu zmenšení. Při otupování také dochází k zmenšení rozměrů částice, ale může být doprovázeno tvorbou nových ostrohranných částic.

e) Tvrdosti částic:

Vliv tvrdosti je dán rozdílem tvrdostí abrazivní částice a opotřebovávaného povrchu, tedy čím je abrazivní částice tvrdší než opotřebovávaný povrch tím lépe do něj může proniknout a působit intenzivněji. [8]

1.3 Strukturní pevnost

Strukturní pevnost je vlastnost materiálu (ale nelze ji považovat za materiálovou charakteristiku), která nám udává míru, jakou se materiál dokáže bránit tvorbě trhlin a jejich šíření. Trhliny vznikají v místě, kde dochází ke koncentraci napětí, což jsou různé poruchy povrchu materiálu. Jednotlivé druhy pryží mají různou strukturní pevnost, tedy jsou jinak odolné vůči tvorbě trhlin. Strukturní pevnost se dá u pryží ovlivnit druhem plniva, stupněm naplnění, stupně síťování a geometrií výrobku. Velikost síly, kterou potřebujeme pro vytvoření trhliny je odlišná od síly, jakou musíme vynaložit pro její šíření. U oděru nás zajímá více tvorba trhlin než jejich šíření. [1,4]

Energii (sílu) potřebnou pro vytvoření nové plochy trhliny nám udává trhací energie ze vztahu:

$$dT = \frac{dW}{dA} \quad (4)$$

Kde: dT – trhací energie [N/m].

dW – objemová energie [N.m].

dA – plocha [m²].

2 ODĚR PRYŽOVÝCH MATERIÁLŮ

Pojmy opotřebení a oděr bývají často zaměňovány a jsou používány velice volně, což může vyvolat zmatek. Zatímco opotřebení je velice obecný pojem používaný pro ztrátu materiálu praktický jakýmkoliv způsobem, oděr je většinou spojený s abrazivním opotřebením materiálu způsobený hrubým povrchem tvrdšího materiálu. [19]

K oděru dochází, jsou-li v kontaktu povrchy vulkanizátu a nějakého dalšího materiálu. Oděr vulkanizátu závisí na vlastnostech vulkanizátu (strukturní pevnost, tvrdost, odrazová pružnost, tepelná stabilita) a také na vlastnostech povrchu, který vulkanizát odírá. [1]

2.1 Mechanismus oděru

Mechanismus oděru můžeme rozdělit na:

- a) Mechanický oděr
- b) Chemickou degradaci

Převážná většina opotřebení je způsobena právě mechanickým oděrem, ale důležitou roli hraje i chemická degradace, při které vulkanizát ztrácí své vlastnosti, čímž se zvýší intenzita mechanického oděru. V předchozí kapitole byly zmíněny způsoby opotřebení. Mechanismus oděru však není tvořen jedním druhem opotřebení ale nýbrž kombinací více opotřebení a v rozdílných intenzitách. Největší podíl na oděru má abrazivní, adhezivní a únavové opotřebení.

Z hlediska převažujícího opotřebení můžeme mechanický oděr rozdělit na:

- a) Abrazivní – působení ostrými nerovnostmi (naseknutí vulkanizátu). Vzniká působením nerovnostmi tvrdšího materiálu na povrch vulkanizátu. Je doprovázen plastickou i elastickou deformací vulkanizátu a probíhá za vysokých hodnot tření.
- b) Únavový – vzniká lokálním dynamickým namáháním části povrchu vulkanizátu. Probíhá na rovných plochách ale i na nerovných plochách s tupými výčnělky.
- c) Adhezivní – vzniká důsledkem působení adhezivních sil nejčastěji mezi relativně hladkými povrchy. Je doprovázen přenosem materiálu z jednoho povrchu na druhý.
- d) Svitkový – vzniká odtrháváním vrstev vulkanizátu doprovázený tvorbou svitků.

V závislosti na typu pohybu jaký vulkanizát vykonává, můžeme mechanický oděr rozdělit na:

- a) Oděr při vlečném pohybu
- b) Oděr při valivém pohybu

[3,19]

2.1.1 Oděr při vlečném pohybu

Při vlečném pohybu může docházet ke dvěma rozdílným oděrům. První – „vlastní oděr“. Vlastní oděr spočívá v pohybu vulkanizátu po drsném povrchu, přičemž povrch vulkanizátů zůstává, i přes objemový úbytek, hladký. Druhý oděr – „obrazcový oděr“ liší se od předchozího tím, že při odírání se na povrchu vulkanizátu tvoří soustava rovnovážných rýh, které jsou kolmé ke směru vlečení a tvoří tzv. „brusný vzorec“ [13]

2.1.1.1 Vlastní oděr

Vlastní oděr je možno pozorovat při otáčení zkušebního tělesa vzhledem ke směru vlečení, protože při takovém způsobu vlečení nevznikají obrazce. U vlastního oděru je důležitá nerovnost povrchu materiálu, jelikož skutečná kontaktní plocha mezi povrchem vulkanizátu a drsným povrchem podložky, je dán místy kde se dotýkají výstupky (nerovnosti) obou povrchů. V místě dotyku obou povrchů dochází ke koncentraci napětí. Pohybující se výstupek (drsné podložky) valí před sebou povrchovou vrstvu vulkanizátu. Na stranách vzniklé „rýhy“ se tvoří tahové napětí. Pokud toto takové napětí překročí mechanickou pevnost pryže, dojde na povrchu vulkanizátu k tvorbě trhliny a z povrchu se může až část odtrhnout. Když se vytvoření trhliny dojde k uvolnění napětí a děj se opakuje o krátkou vzdálenost vedle. [13]

2.1.1.2 Obrazcový oděr

Vlečeme-li povrch vulkanizátu po drsném povrchu podložky aniž by se vulkanizát mohl otáčet, začnou se na povrchu vulkanizátu tvořit brusné obrazce. Když se budeme dívat na brusné obrazce z profilu, uvidíme obrazce podobné jako vlny na vodní hladině. Vlny se během oděru ohýbají a v určité fázi se hřeben vlny odtrhne a rýha se obnoví na spodnější vrstvě vulkanizátu. V průběhu odírání dochází k posouvání vln po povrchu pryže ve směru pohybu. Rychlost jakou se vlny posouvají, roste se zatížením. Velikost obrazců je závislá na zatížení a drsnosti povrchu podložky. U obrazcového oděru je opotřebení vulkanizátu větší než při stejných podmínkách u vlastního oděru. Je to způsobeno tím, že při obrazcovém oděru jsou odtrhávány z povrchu větší částice. [13]

2.1.2 Oděr při valivém pohybu

Při odvalování vulkanizátu na drsné podložce dochází k prokluzu. K prokluzu dochází, je-li v přední části kontaktní plochy větší tření než tečné napětí působící na vulkanizát. Při valivém pohybu dochází také k vlečnému pohybu, kvůli kterému se ve vulkanizátu akumuluje deformační energie, která se posléze spotřebuje na třecí práci při vlečném pohybu. Hysterezi vulkanizátu je způsobeno, že část deformační energie se ztrácí. Kvůli ztrátám deformační energie zbývá pro uskutečnění třecích pochodů méně energie. S rostoucími ztrátami deformační energie se sníží opotřebení vulkanizátu. [13]

2.2 Odolnost proti oděru

Odolnost proti oděru je schopnost materiálu odolávat mechanickému působení. Tato schopnost pomáhá udržovat původní vzhled a strukturu materiálu.

Prozatím nebyla zjištěno, na čem konkrétně odolnost proti oděru závisí, ale bylo zjištěno že, např. tvrdost, pevnost, strukturní pevnost, odrazivost a další vlastnosti mají vztah k opotřebení. Odolnost vulkanizátu proti oděru můžeme ovlivnit složením směsi.

2.2.1 Vliv složek směsi na odolnost proti oděru

2.2.1.1 Plniva

Plniva zvyšují tuhost vulkanizátu v závislosti na stupni plnění a jejich kvalitě. Vlastnosti vulkanizátu nejsou ovlivněny jen stupněm plnění a kvalitou plniv ale také i strukturou a velikostí částic plniva. Např. přírodní kaučuk vyniká svojí odolností a vysokou pevností v tahu, ale má špatnou odolnost proti oděru a nižší strukturní pevnost. Špatná odolnost proti oděru se u přírodního kaučuku řeší použitím anorganických plniv ve směsi.

Anorganická plniva se běžně používají ve směsích pro zlepšení odolnosti proti oděru. Nejpožívanější anorganická plniva pro zlepšení odolnosti proti oděru jsou saze a oxid křemičitý (silika). Použitím ztužujících plniv (saze) ve směsi dojde ke zlepšení tuhosti a pevnosti vulkanizátu. Vulkanizát s vyšší tuhostí a pevností lépe odolává tvorbě trhlin a zasekávání abrazivních částic do svého povrchu a tedy dochází také ke zvýšení odolnosti proti oděru.

Zvýšení odolnosti proti oděru závisí také na velikosti částic. Zatím co plnivo s částicemi velkými jako zrnko rýže nevykazuje žádné zlepšení, tak plnivo s částicemi o velikosti 0,01-0,1 μm výrazně zlepšuje odolnost proti oděru. Toto zlepšení je způsobeno přednostní interakcí částic plnivo-kaučuk. Ke zvýšení interakce plnivo-kaučuk je dosaženo zvýšením plochy

plniva a mezifázové adheze mezi částicemi. Menší částice plniva lépe „zapadnou“ do kaučukové matrice.

Plněné vulkanizáty jsou méně citlivé na působení třecích sil, ať už je opotřebení způsobeno kluzným třením nebo zasekáváním abrazivních částic. Saze a další ztužující plniva mají zásadní vliv na odolnost proti oděru vulkanizátu. [2]

2.2.1.2 Změkčovadla

Jak bylo napsáno v kapitole 1, změkčovadla slouží k úpravě mechanických vlastností a také ke zlepšení zpracovatelnosti. Změkčovadla mohou způsobovat velké snížení tření vulkanizátu o hladké povrchy, avšak u nerovného povrchu není účinek tak velký. I když změkčovadla ve směsi způsobují snížení pevnosti, může být odolnost proti oděru vynikající, jelikož změkčovadla způsobí, že abrazivní opotřebení měkčeného vulkanizátu nedosahuje tak velké intenzity jako u vulkanizátu, který změkčovadla neobsahuje. [2]

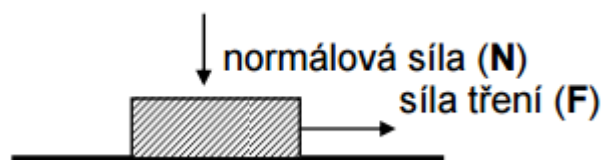
2.2.1.3 Antioxidanty

Při oděru může v místě kontaktu dvou povrchů vlivem tření vzrůst teplota, až na hodnotu při které vulkanizát začne tepelně degradovat. Degradace povrchu vulkanizátu je doprovázena oxidací, přetržením hlavního řetězce (vznik radikálů) a dochází ke ztrátě mechanických vlastností. Porušení hlavního řetězce kaučuku vede ke zrychlení degradace u přírodního kaučuku, butadien-styrenového kaučuku a etylen-propylenového kaučuku. Naopak u butadienového kaučuku se tvoří radikály, které reagují více s řetězcem polymeru, než aby způsobili degradaci, a tím se zvýší zesíťování kaučuku. Úkolem antioxidantů a všech antidegradantů ve směsi je zamezit degradačním procesům. [2]

3 ZKOUŠKY OPOTŘEBENÍ

Zkoušky opotřebení slouží ke zjištění odolnosti proti oděru zkoušeného materiálu. Zkoušky se provádí v laboratořích, kde se většinou zkouška zaměřuje na jeden faktor opotřebení. Oproti tomu zkoušky prováděné na místě použití daného výrobku (např. silniční zkouška u testování pneumatik) nejsou zaměřené na jeden faktor, ale na celou skupinu faktorů, které většinou nejdu v laboratořích věrně simulovat. Doposud bylo sestrojeno na 30 různých druhů laboratorních zařízení na stanovení odolnosti proti oděru, které se od sebe navzájem liší tvarem zkušebního tělesa, tak i podmínkami při kterých zkouška probíhá. Neexistuje tedy žádné kritérium, kterým by šlo posoudit, zda je zvolený typ zkoušky správný. Výsledky zkoušky může být zkreslen povahou pryže, např. pokud testujeme pryž, která obsahuje velké množství změkčovadel, mohou změkčovadla zanášet brusný materiál a tím snižují součinitel tření.

Odolnost proti oděru a jeho hodnota není specifickou vlastností pryže, protože závisí na způsobu měření, tedy spočívá na podmínkách a vlivech, které na materiál při zkoušce působily. Velikost odolnosti proti oděru se udává pouze zápornou hodnotou, jelikož se většinou vyjadřuje ztrátou hmotnosti testovaného vzorku. [12,13]



Obrázek 4: zjednodušené schéma zkoušky tření [3]

Většina zkoušek opotřebení probíhá na různě drsných, brusných površích, kde hlavní úlohu má třecí síla F , kolmá tlaková síla N a součinitel smykového tření μ .

Při zkouškách tření může docházet k trhavému pohybu vulkanizátu po podložce (tzv. „slip-stick“ mechanismus který byl popsán v kapitole (3)).

U laboratorních zkoušek je snaha co nejvíce simulovat podmínky které budou na výrobek působit během jeho používání.

Výsledkem laboratorních zkoušek oděru je většinou hmotnostní úbytek po dané zkoušce.

Pro srovnávání výsledků laboratorních zkoušek oděru se hmotnostní úbytek přepočítává na úbytek objemový. Výsledkem pak je objemový úbytek vyjádřený v mm^3 získaný za normovaných podmínek. [12,13]

V průběhu zkoušky oděru dochází také k opotřebení brusného nástroje, tudíž rychlost oděru v čase není konstantní. Kvůli zvýšení přesnosti výsledků zkoušky oděru musíme přesně definovat podmínky zkoušky a výsledky provedené na zkušební vzorku srovnat s výsledky identické zkoušky na standardním vulkanizátu. [12,13]

$$\text{Index odolnosti proti oděru (\%)} = \frac{V_S}{V_R} \cdot 100 \quad (5)$$

Kde: V_S – objemový úbytek standardu [mm^3]

V_R – objemový úbytek zkoušeného vulkanizátu [mm^3] [1]

Provázanost tření a oděru je velice důležitá, jelikož mechanismus oděru zahrnuje tření, proto je důležité charakterizovat oba faktory. [12,13]

3.1 Typy zkoušek opotřebení

Zkoušky opotřebení můžeme rozdělit podle druhu použitého brusiva:

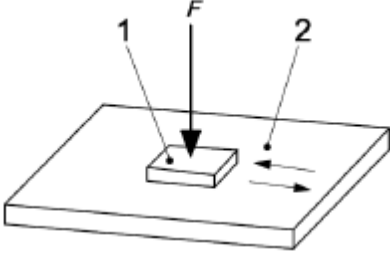
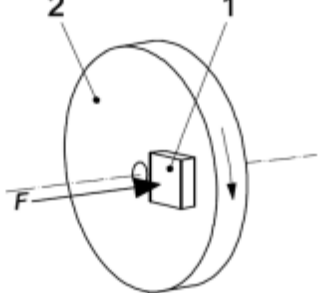
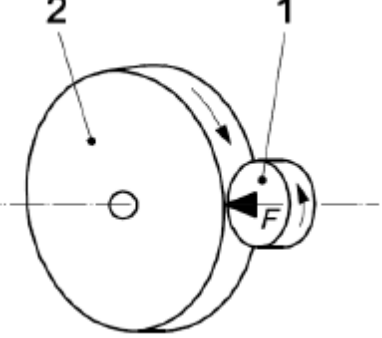
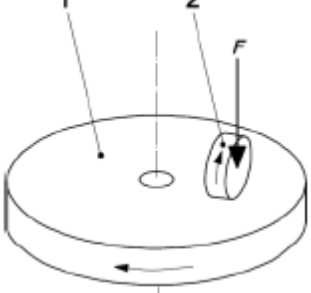
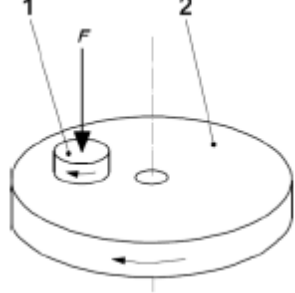
- Volné brusivo – použití ve formě prášku. Využití pro simulaci působení např. písku při testování pneumatik nebo dopravních pásů.
- Pevné brusivo – použití ve formě brusných kotoučů, brusných papírů, tkanin, kovových nožů.

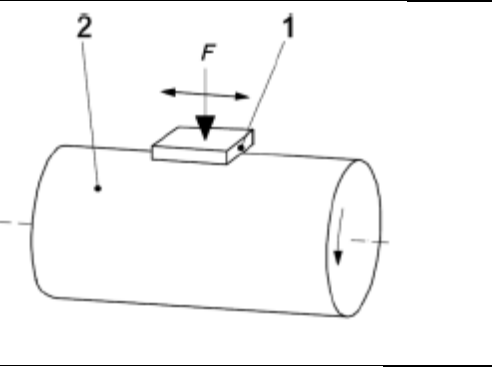
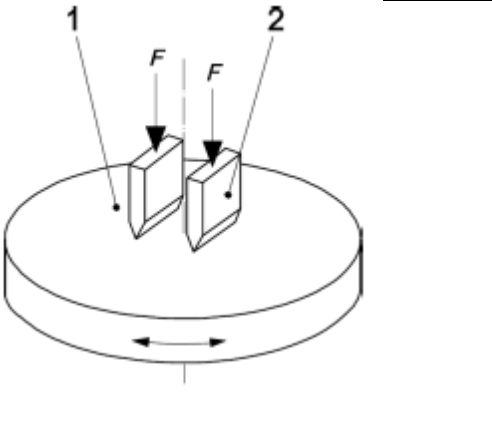
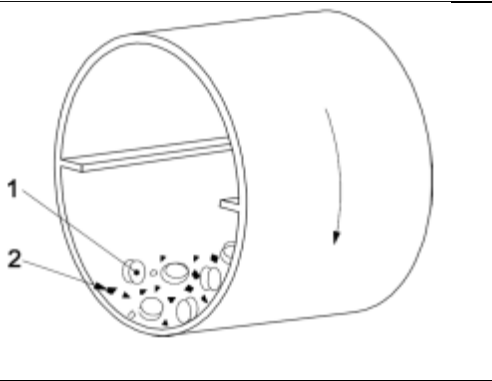
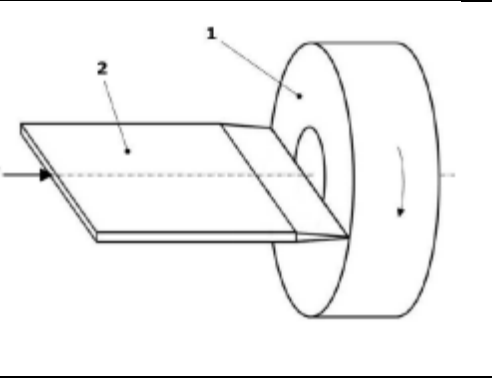
V následujícím seznamu jsou popsány nejdůležitější zkoušky pro gumárenský a plastikářský průmysl. [5]

Typ zkušebního zařízení	Popis Zkoušky a zařízení [schéma zařízení]
Akron	Geometrie kotouč o kotouč, vyznačuje se schopností měnit míru skluzu změnou relativního úhlu kotoučů.[3]
Blade abrader	Jeden nůž pod konstantním normálovým zatížením je v kontaktu s plochým povrchem rotujícího zkušebního trubkového vzorku.[9]

DuPont (Grasselli)	Několik plochých malých zkušebních vzorků na rotujícím brusném papírovém disku.[2]
Frick Taber	Brusný kotouč na disku zkušebního vzorku s přiváděným brusivem ve formě prášku. Simulace opotřebení podlahy.[4]
Laboratory Abrasion Tester 100	Počítačem řízené zařízení umožňující změnu mnoha parametrů zkoušky. Geometrie Brusného kotouče na disku.[4]
Lambourn (Dunlop)	Zkušební těleso i brusný kotouč jsou poháněny. Kvůli rozdílným rychlostem dochází k prokluzu.[3]
Improved Lambourn	Vzorek i brusný kotouč jsou řízeny nezávisle na sobě.[3]
Martindale	Kotouč zkušebního vzorku na tkanině brusného kotouče. Vzor relativního pohybu tvoří lissajousovy obrazce. Standardní metoda pro povrstvené tkaniny.[1]
NBS	Malý čtvercový vzorek ve styku s otáčivým bubnem pokrytý brusným papírem. Metoda pro testování směsí pro obuv.[6]
Pico	Disk zkušebního vzorku se otáčí ve styku s párem wolframových nožů s jednotným proudem zásypu.[7]
Rotating cylindrical drum (DIN, Conti)	Malý kotouč zkušebního vzorku přejíždí rotující válec pokrytý brusným papírem, který poskytuje velkou plochu brusiva.[6]
Rotating cylindrical mill	Zkušební vzorky (nejčastěji kotouče) a brusný materiál jsou spolu uvnitř rotujícího dutého bubnu. Simulace činnosti volného proudícího brusného materiálu.[8]
Schiefer (WIRA)	Zkušební vzorek a brusivo jsou dva kotouče, jejichž uspořádání je znázorněno na obrázku. Může být použito různé brusivo i zoubkovaný kovový povrch.[5]
Taber	Pár brusných kotoučů, které jsou v kontaktu s poháněným plochým kotoučem zkušebního kotouče. Sílu na kotoučích a brusivo lze snadno měnit. Zkouška může být provedena v přítomnosti kapaliny.[4]

Tabulka 1: Přehled zkoušek a zkušebních zařízení [5]

Číslo	Schéma	Popis
1		<p>Zkušební vzorek je vratně lineárně ve styku s deskou brusiva.</p>
2		<p>Zkušební vzorek je držěn proti rotujícímu disku brusiva</p>
3		<p>Zkušební vzorek a brusivo jsou ve tvaru kola, jeden z nich je řídicí.</p>
4		<p>Brusný disk je poháněn rotujícím zkušebním vzorkem tvaru disku.</p>
5		<p>Zkušební vzorek a brusivo ve tvaru disku. Oba se otáčí</p>

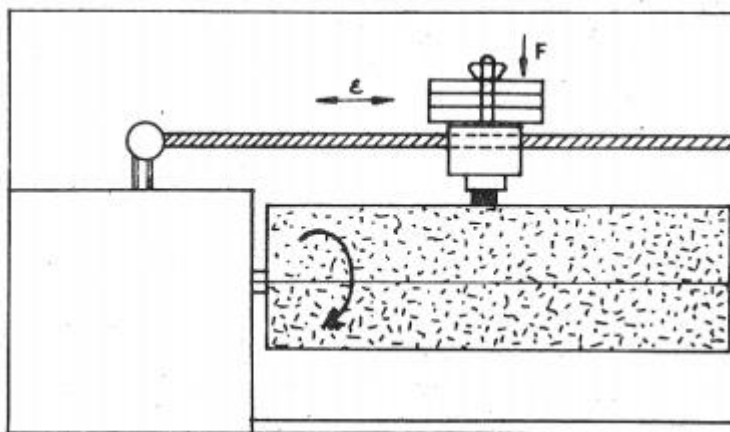
<p>6</p>		<p>Zkušební vzorek je přitlačěn na rotující brusivo ve tvaru bubnu</p>
<p>7</p>		<p>Nože jsou přitlačeny na zkušební vzorek tvaru rotujícího disku.</p>
<p>8</p>		<p>Zkušební vzorky a brusivo uvnitř rotujícího dutého bubnu.</p>
<p>9</p>		<p>Nůž je přitlačěn proti rotujícímu zkušebnímu vzorku.</p>
<p>1- Zkušební vzorek, 2 - brusivo</p>		

Tabulka 2: Schémata jednotlivých zkoušek [5]

3.1.1 Metoda Bussen-Schlobach

Metoda spočívá v odírání zkušební vzorku pryže za proměnlivé velikosti tření. Zkušební vzorek je tvaru válce o průměru 16 mm a výšce 6-10 mm. Zkušební zařízení se skládá z otáčejícího válce, jehož povrch je pokryt brusným povlakem a z jezdce do kterého se ukotví zkušební vzorek. Jezdec je dále připevněn na kyvadle, které umožňuje podélný pohyb vzorku po rotujícím válci a také rotaci vzorku kolem vlastní osy. Váha jezdce a objímky s pouzdem je nastavená tak, aby na plochu zkušební vzorku působila síla 1 kp.

Zkušební vzorek se upevní do jezdce tak aby jeho plocha byla kolmá k povrchu válce a vyčníval 2 - 2,5 mm. Připravený vzorek uchycený v jezdci se nasadí na otáčející se válec. Dráha, kterou celkem odírající se vzorek po válci urazí je 40 m (400 mm při jedné otáčce vzorku, která proběhne stokrát). Zkouška se provádí na normalizovaném smirkovém papíru. Ostrost smirkového papíru se musí kontrolovat použitím standardizovaného vzorku pryže. Váhový úbytek, dle kterého se posuzuje ostrost smirkového papíru, by měla být na dráze 40 m a zatížení 1 kg v rozmezí 180 – 220 mg.



Obrázek 5: Schéma zařízení pro měření opotřebení metodou Bussen-Schlobach [10]

Zkouška probíhá v následujících krocích:

1. Oděr standardu.
2. 3x oděr zkušební vzorku.
3. Oděr standardu pro srovnání.

Z měření opotřebení standardu se spočítá opotřebení smirkového válce z průměrné hodnoty dvou měření standardu.

$$V_S = \frac{(m_0 - m_1) \cdot 200}{\rho \cdot O_S} \quad (6)$$

Kde: V_S – průměrný objemový úbytek standardu [mm^3]

$m_0 - m_1$ – průměrný úbytek váhy standardu [g]

ρ – hustota standardu [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$]

O_S – ostrost standardu [mg]

Odolnost pryže pro oděru se vypočte dle vztahu:

$$O_{BS} = \frac{V_S}{V_R} \cdot 100 \quad (7)$$

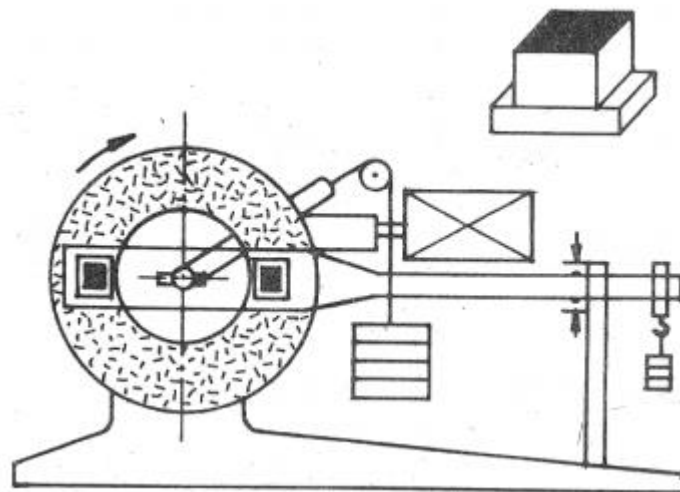
Kde: O_{BS} – odolnost proti odírání [%]

V_S – průměrný objemový úbytek standardu [mm^3]

V_R – průměrný objemový úbytek zkušebních vzorků [mm^3] [10]

3.1.2 Metoda du Pont-Graselli

Zkušební těleso používané pro tuto metodu má tvar čtverce o délce strany 20 mm a výšce 10 mm. Sleduje se vždy dvojice odíraných vzorků. Zkušební vzorek se připevní na páku přístroje, kterou je přitlačován konstantním tlakem 0,045 MPa na odírací mezikružší, které se rotuje rychlostí 37 $\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}$. Zkouška se dá také provádět za konstantního tření.



Obrázek 6: Schéma zařízení pro měření opotřebení metodou du Pont-Graselli [7]

Během zkoušky je potřeba odfukovat obroušené kousky vzorku. Z důvodů zachování konstantní ostrosti kotouče se pro každý vzorek používá nový odírací kotouč.

Zkouška probíhá v následujících krocích:

1. Odírání dvojice standardu.
2. Odírání dvojice zkušebních vzorků.
3. Opětovné odírání dvojice standardu.

Délka odírání vzorků se liší v závislosti na jeho odolnosti, čím odolnější tím delší doba. Obvykle 5 min nebo 3 mm.

Pokud známe hustotu zkoušeného vzorku, můžeme jeho odolnost proti odírání vypočítat dle vztahu:

$$O_{DG} = \frac{V_S}{V_R} \cdot 100 \quad (8)$$

Kde: O_{DG} – odolnost proti odírání [%]

V_S – průměrný objemový úbytek standardu [cm^3]

V_R – průměrný objemový úbytek zkušebních vzorků [cm^3]

Ale pokud hustotu neznáme, musíme výsledek zkoušky uvést v objemovém úbytku zkoušeného materiálu za 1 hodinu.

$$O_{DG} = \frac{m}{\rho} \cdot \frac{60}{t} \quad (9)$$

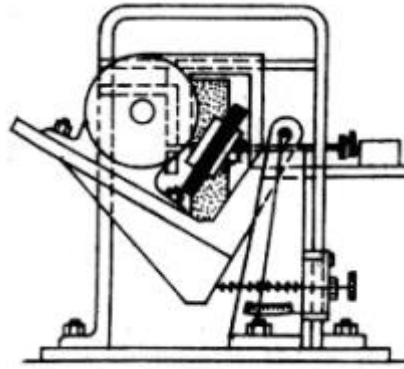
Kde: O_{DG} – objemový úbytek zkoušeného materiálu za 1 hodinu [$\text{cm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]

m – váhový úbytek za dobu t [g]

ρ – hustota [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$] [10]

3.1.3 Metoda Akron-Croydon

Zkušební těleso používané pro tuto metodu má tvar dutého kotouče (vnější průměr 64 mm, vnitřní průměr 43,6 mm a tloušťka 12,7 mm). Zkušební těleso se umísťuje na hřídel, která rotuje rychlostí 250 ot. min^{-1} . Na zkušební těleso je přitlačěn karborundový kotouč tlakem 0,28 MPa a pod úhlem 15°.



Obrázek 7: Schéma zařízení pro měření opotřebení metodou Akron-Croydon [7]

Zkouška probíhá v následujících krocích:

1. Předbroušení (2000 ot.).
2. Odírání standardu při 500 ot.
3. Odírání tří zkušebních vzorků.
4. Opět odírání standardu.

Výsledkem je objemový úbytek za 1000ot. který reprezentuje odolnost proti odírání nebo poměrná hodnota vypočtená pomocí vzorce:

$$O_{AC} = \frac{V_S}{V_R} \cdot 100 \quad (10)$$

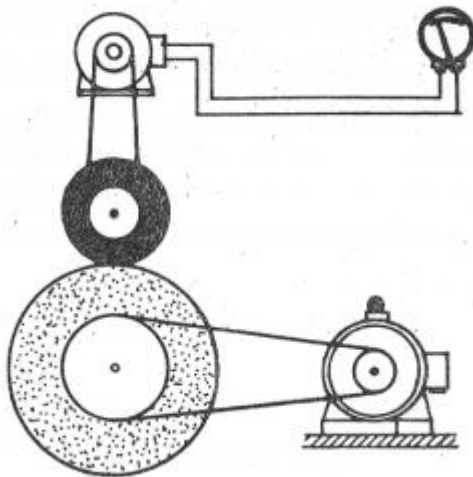
Kde: O_{AC} – odolnost proti odírání [%]

V_S – průměrný objemový úbytek standardu za 500 ot. [cm^3]

V_R – průměrný objemový úbytek zkušebních vzorků za 500 ot. [cm^3] [10]

3.1.4 Metoda Dunlop-Lambourn

Způsob metody i tvar zkušebního vzorku podobné jako u předchozí metody. Rozdíl je pouze ve výšce zkušebního tělesa (vnější průměr 64 mm, vnitřní průměr 43,6 mm a tloušťka 10 mm), vyšších otáčkách (600 ot. min^{-1}) a v tom že korundový kotouč a zkušební vzorek se navzájem otáčejí rozdílnou rychlostí, v důsledku toho dochází k prokluzu. Brusný kotouč se musí během zkoušky čistit.



Obrázek 8: Schéma zařízení pro měření opotřebení metodou Dunlop-Lambourn [8]

Zkouška probíhá v následujících krocích:

1. Odírání standardu
2. 2x se provede odírání zkušebního vzorku
3. Odírání standardu

Každému kroku (měření) předchází předbrušování.

Výsledná hodnota, je objemový úbytek v cm^3 na dráze 1 km, který vypočteme dle vztahu:

$$O_{DL} = \frac{V_S}{V_R} \cdot 100 \quad (11)$$

Kde: O_{DL} – odolnost proti odírání [%]

V_S – průměrný objemový úbytek standardu za 1 km. [cm^3]

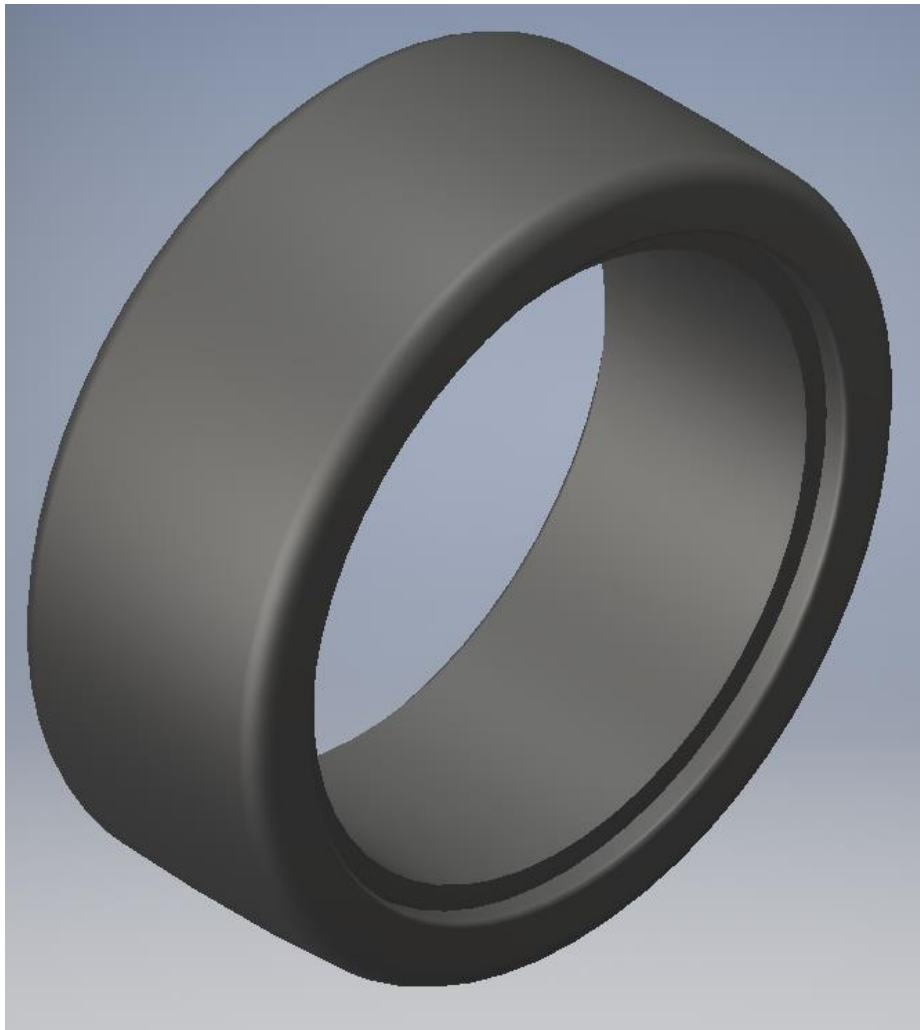
V_R – průměrný objemový úbytek zkušebních vzorků za 1 km [cm^3] [10]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

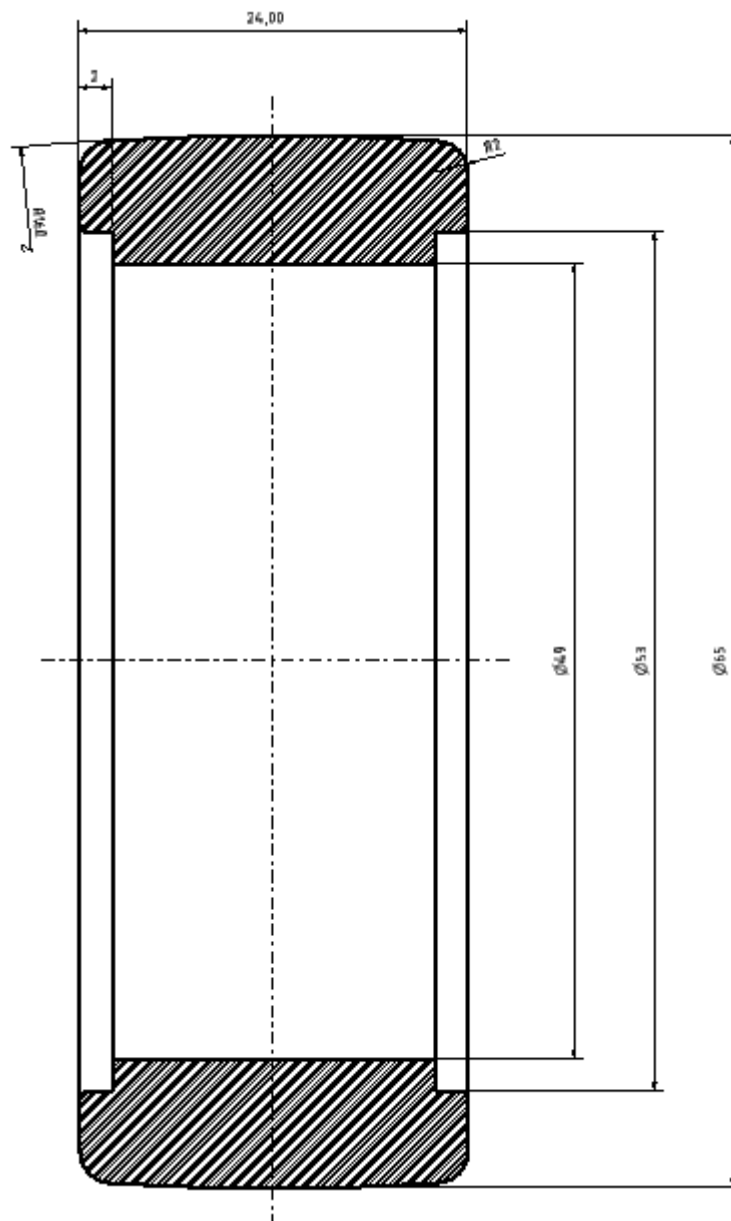
4 NÁVRCH LISOVANÉHO DÍLU

Výlisek bude sloužit pro měření oděru na připravovaném stroji pro měření oděru v rámci diplomové práce. Navrhovaný vzorek by se měl svým tvarem podobat skutečným pneumatikám, a tedy výsledek zkoušky by mohl více korespondovat s reálným oděrem pneumatik v provozu.

Z důvodů snazší vyrobiteľnosti je vzorek tvarem velice podobný pneumatikách používaných u RC modelů aut.



Obrázek 9: model vzorku



Obrázek 10: model vzorku v řezu

5 NÁVRCH LISOVACÍ FORMY

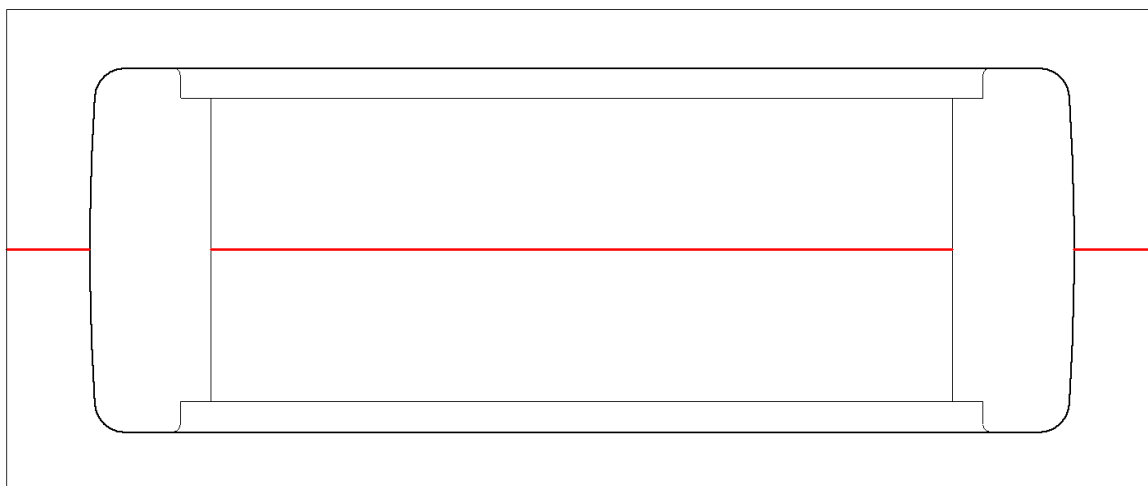
Forma je určena pro hydraulický lis, Jedná se tedy o ruční formu. Požadavky na formu:

1. Jednoduchá konstrukce
2. Nízká hmotnost
3. Snadná manipulace
4. Snadné otevření

5.1 Volba dělicí roviny

Dělicí rovina se volí, tak aby bylo co nejsnazší vyjmout výlisek z formy a také aby stopa po dělicí rovině nezpůsobila funkční vady a aby šla lehce odstranit.

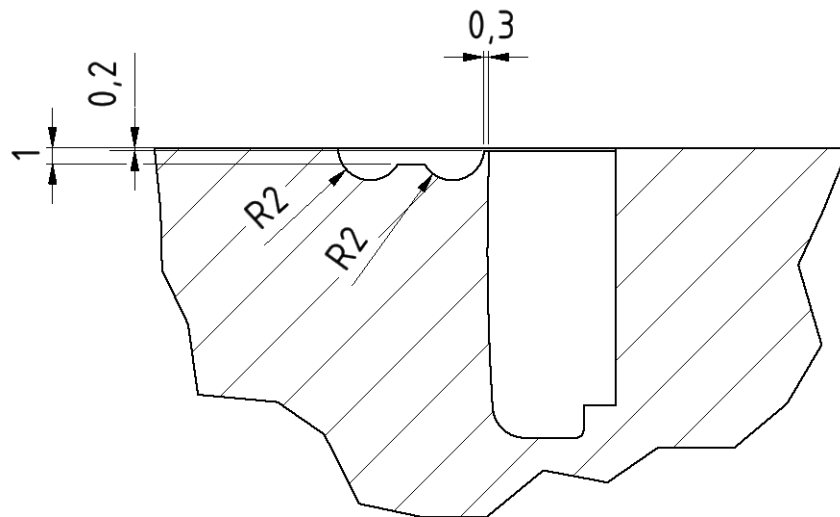
Dělicí rovina je na obrázku 10 znázorněna červeně.



Obrázek 11: schéma znázorňující dělicí rovinu

5.2 Volba zaskřípavacích hran a přetokové kanálky

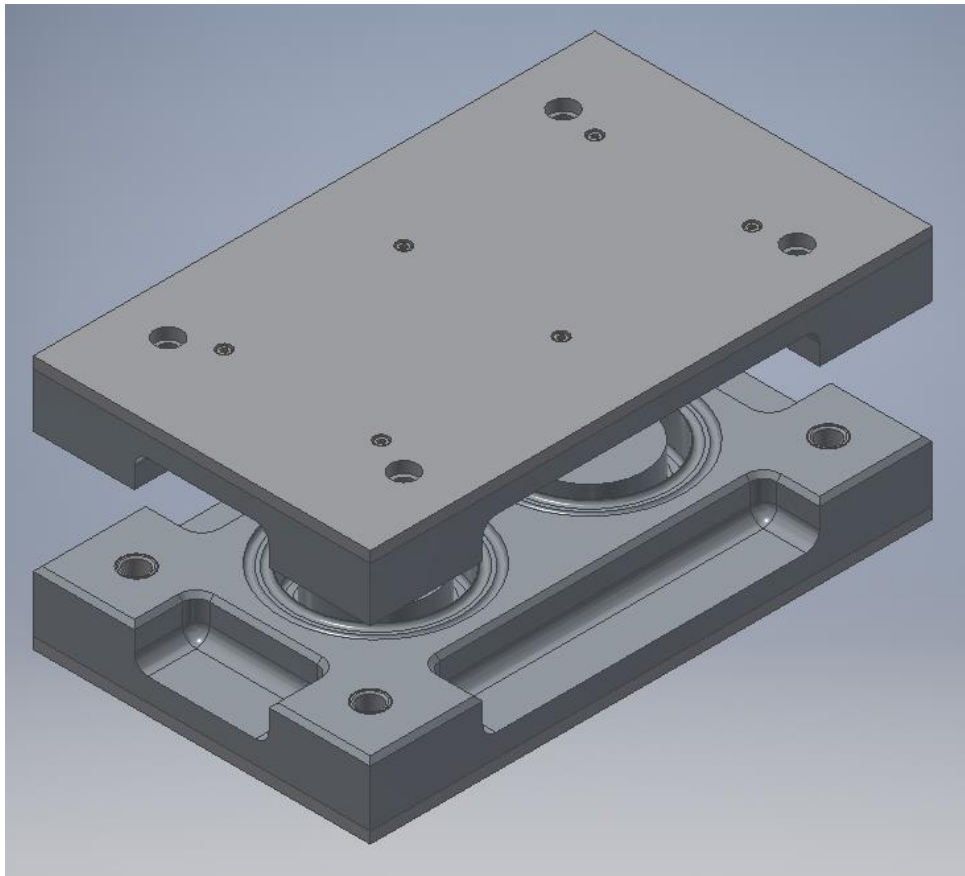
Jelikož nálož, která se vkládá do formy, bývá v nadbytku, aby nedocházelo k tomu, že v některých místech výlisku budou vady způsobené nedostatkem materiálu, je tedy nutné navrhnout zaskřípavací hrany které budou nadbytečný materiál odvádět.



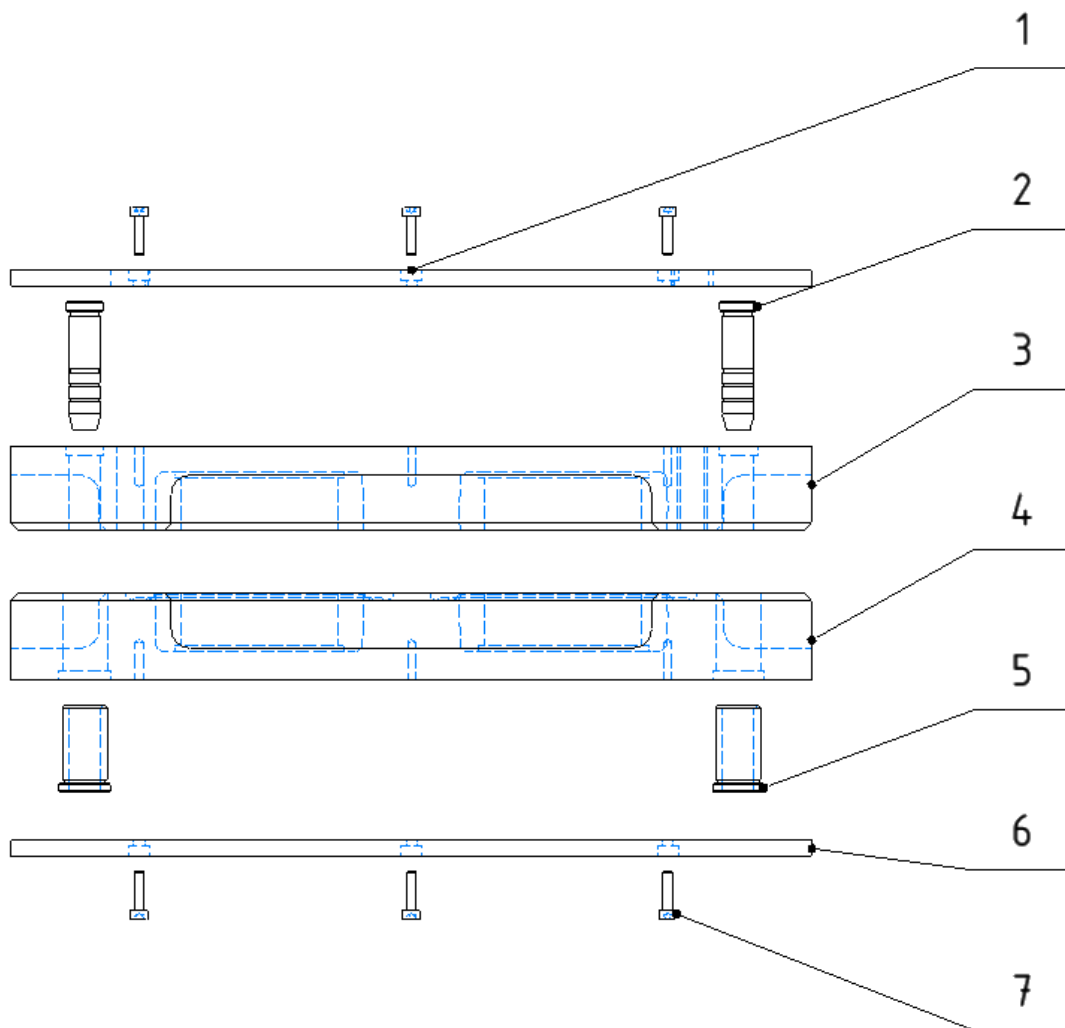
Obrázek 12: zaskřípavací hrany a přetokové kanálky

5.3 Složení formy

Lisovací forma je složena z: tvárnice, tvárníku, horní pomocné desky, dolní pomocné desky, vodících čepů, pouzder a šroubů.



Obrázek 13: sestava formy



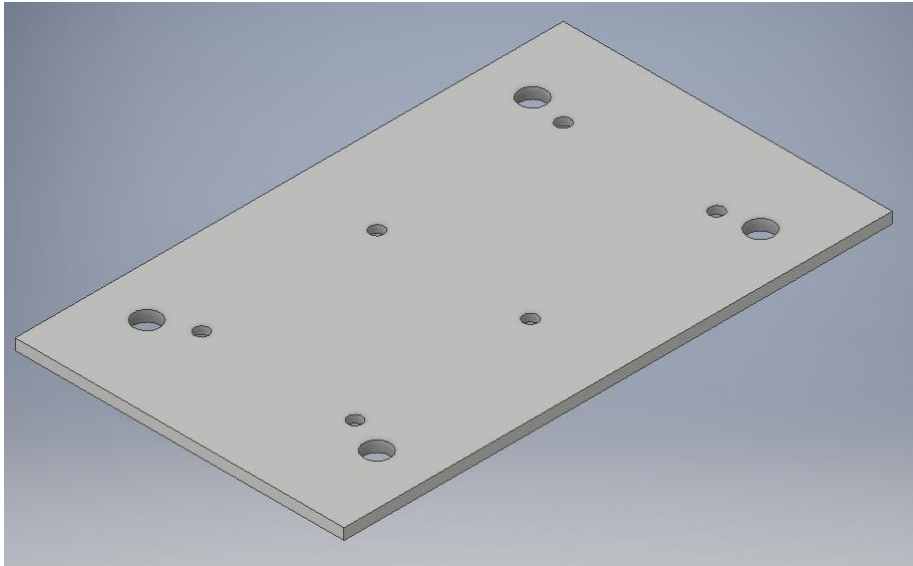
Obrázek 14: sestava formy s pozicemi

Pozice	Název	Č.výkresu – norma	Počet kusů
1	Horní pomocná deska	AM-BP-1	1
2	Vodící čep	E 1020	3
3	Tvárník	AM-BP-3	1
4	Tvárnice	AM-BP-4	1
5	Pouzdro	E 1110	3
6	Dolní pomocná deska	AM-BP-2	1
7	Šroub M3x12	ISO 4762	12

Tabulka 3: Části formy

5.3.1 Horní pomocná deska a dolní pomocná deska

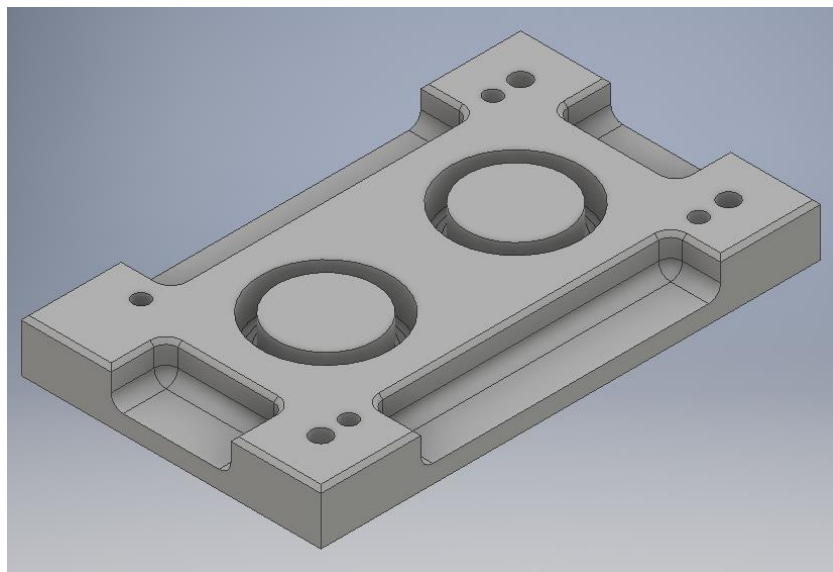
Pomocné desky slouží k fixaci vodících čepů a pouzder ve formě. Horní pomocná deska se liší od dolní pouze čtyřmi dírami pro šrouby, které by usnadnili otevírání formy.



Obrázek 15: pomocná deska

5.3.2 Tvárník

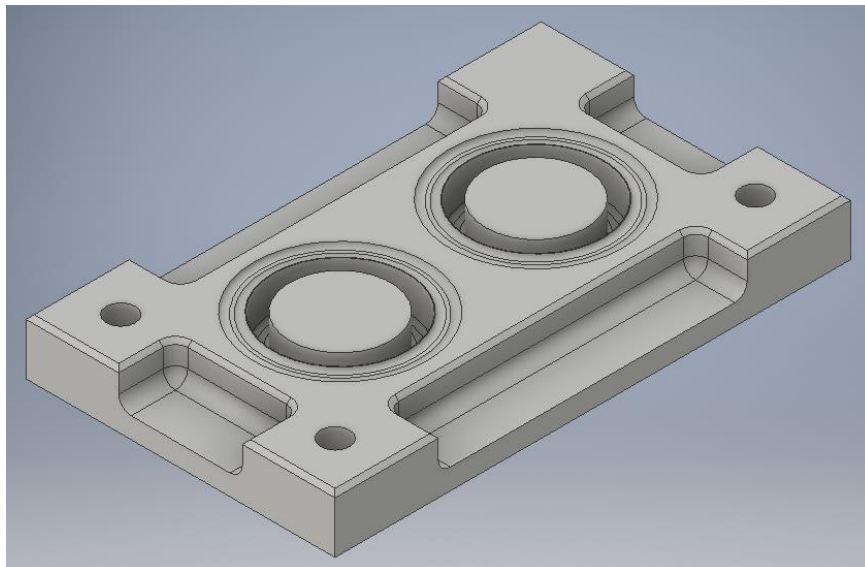
Tvárník udává tvar vylisku. Obsahuje vybrání pro umístění vodících čepů a také čtyři díry se závitem, které slouží k otevření formy v případě, že by otevření formy bylo obtížnější.



Obrázek 16: tvárník

5.3.3 Tvárnice

Tvárnice stejně jako tvárník udává tvar vylisku. Obsahuje odtokové kanálky, zaskřípanací hrany a vybrání pro umístění pouzder.



Obrázek 17: tvárnice

5.4 Materiál formy

Materiál pro desky formy se volí s ohledem na její životnost, cenu a nízkou hmotnost kvůli manipulaci s formou. Vodící čepy a pouzdra byla vybrána z normálí Meusburger. Materiál vodících čepů a pouzder odpovídá normě ČSN 14220. Pouzdra jsou kaleny, vodící čepy cementovány a kaleny. Pro tvarové desky a pomocné desky můžeme volit ze dvou materiálů, oceli třídy 19 a duralu (certal).

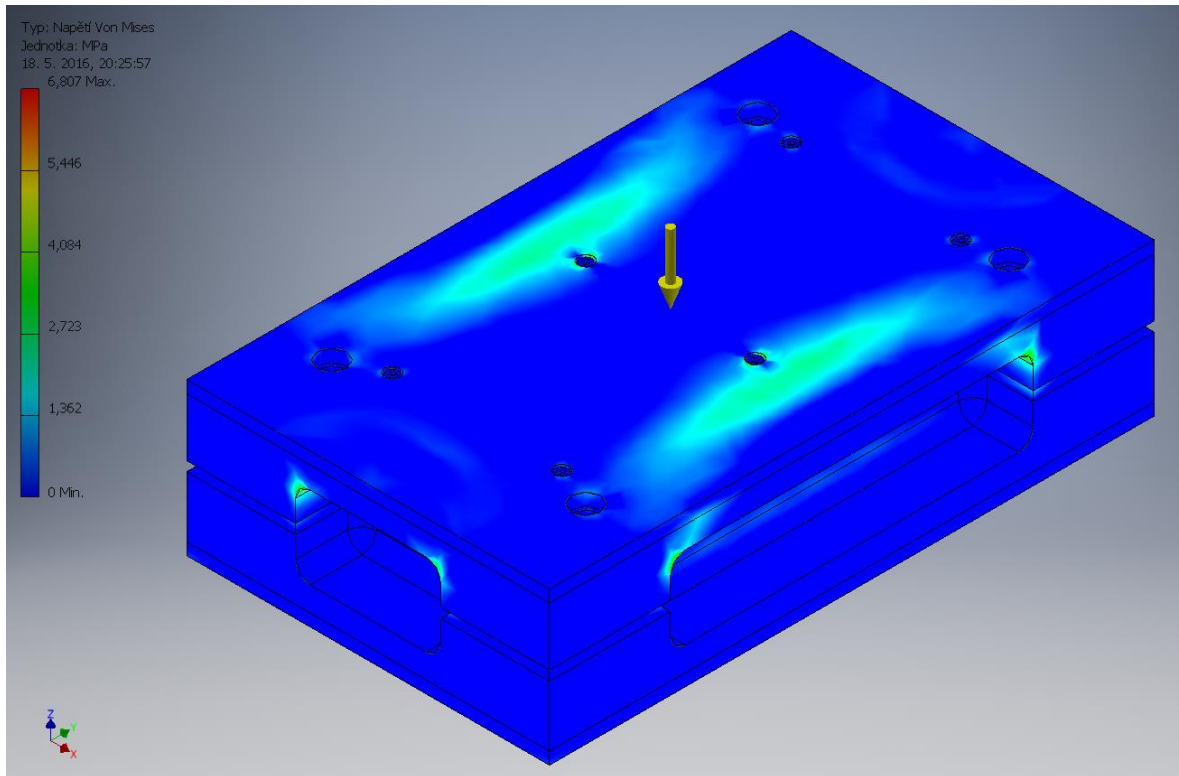
5.4.1 Porovnání oceli a duralu

Výhody použití oceli jsou její velká trvanlivost, tedy vyšší pevnost, a menší riziko poškození formy, ale nevýhodou je vyšší cena a hmotnost.

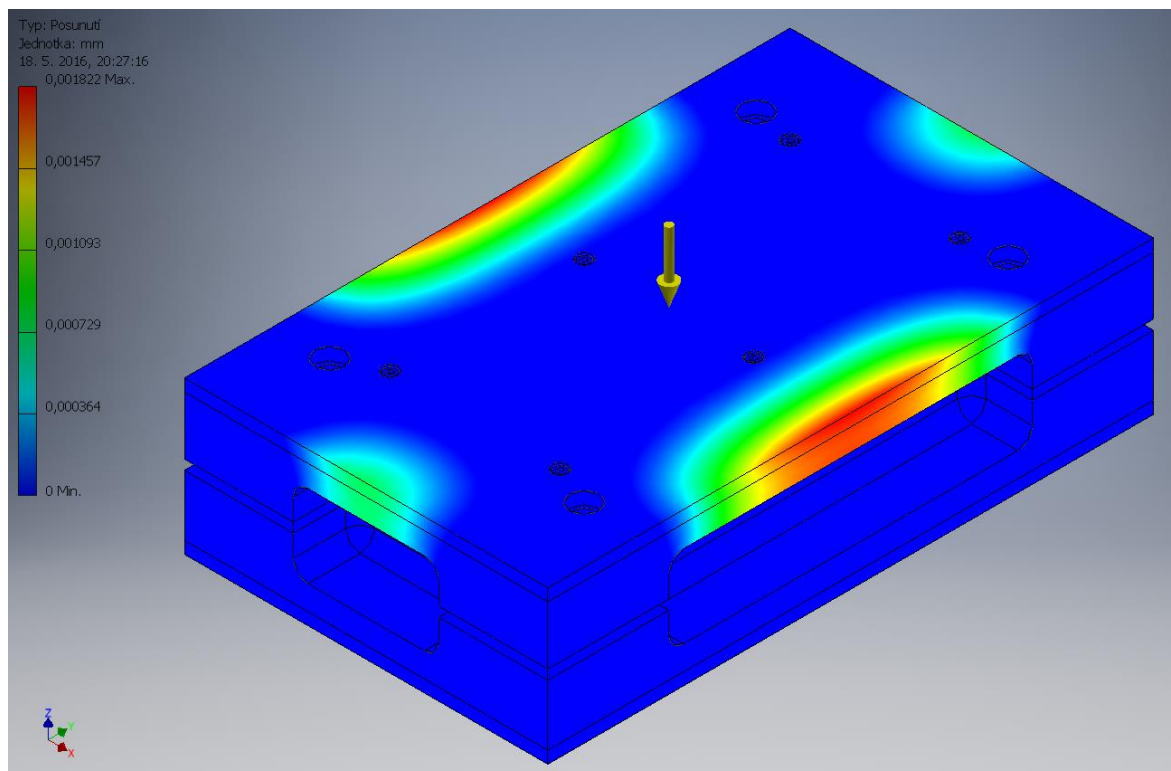
Výhody Certalu jsou nízká cena a také nízká hmotnost. Nevýhodou však je snadné poškození tvaru formy při její manipulaci i při procesu lisování, je tedy nutné při práci s takovou formou dbát zvýšené ostražitosti.

5.5 Pevnostní analýza formy

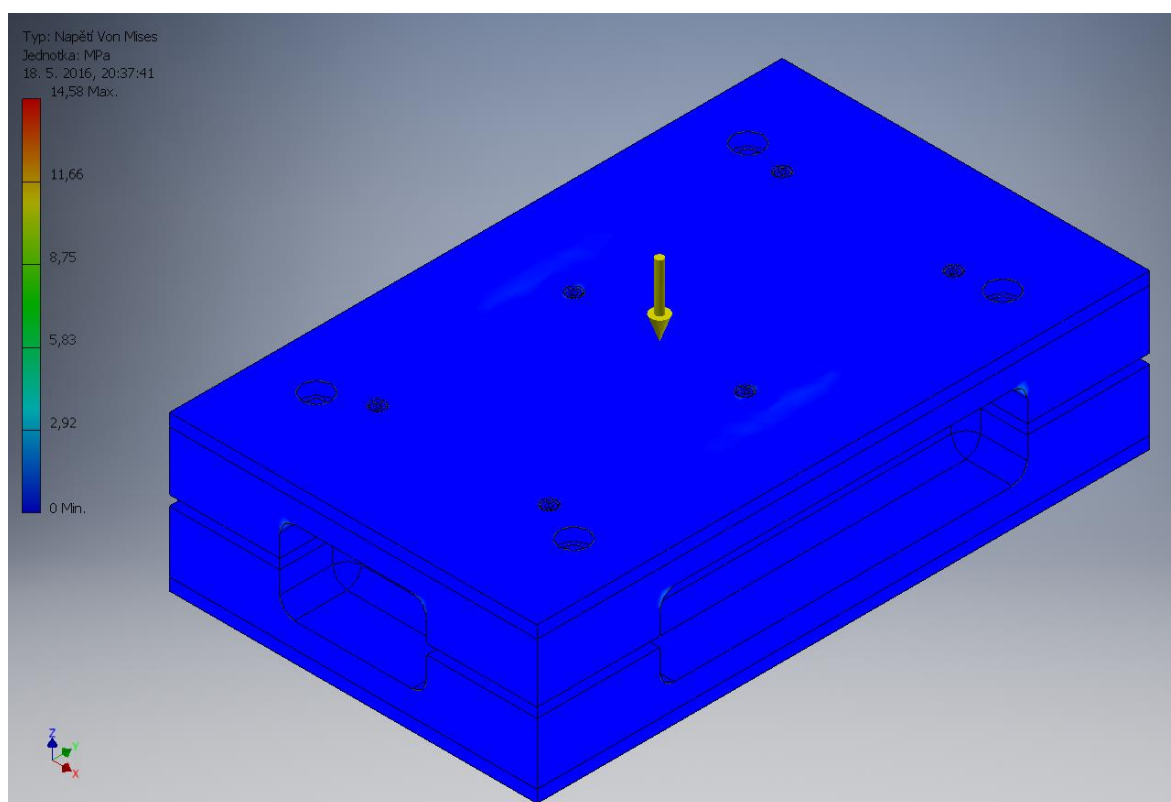
Pevnostní analýzy byly provedeny pro sestavu formy. Byly analyzovány dva materiály – ocel třídy 19 a dural (Certal). Forma bude pracovat v hydraulickém lisu s uzavírací silou 21 kN.



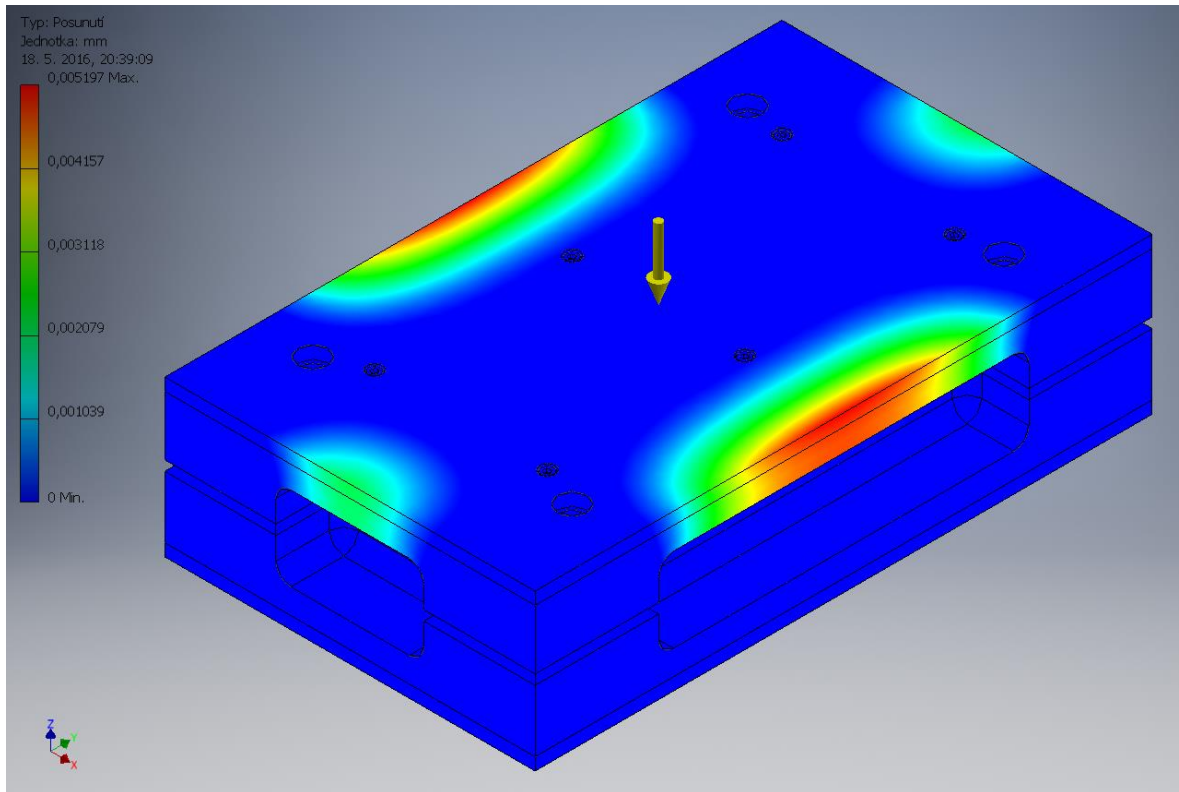
Obrázek 18: rozložení napětí dle Von Mises pro ocel



Obrázek 19: velikost deformace pro ocel



Obrázek 20: rozložení napětí dle Von Mises pro dural



Obrázek 21: velikost deformace pro dural

Výsledkem pevnostní analýzy je napětí dle Von Mises a deformace. U obou materiálu maximální hodnota napětí nepřesáhla mez pevnosti. Maximální hodnota deformace u obou materiálu je v řádu mikrometrů. Dle výsledků analýzy jsou oba materiály vhodné.

5.6 Cenová kalkulace formy

Cenová kalkulace byla vypracována ve spolupráci s externí nástrojárnou.

Položka	Popis	Cena materiálu	Cena obrábění
Tvárník	1.2312 / 150×250×26	2 500	18 500
Tvárnice	1.2312 / 150×250×27	2 500	20 500
Horní pomocná deska	1.1730 / 150×250×5	435	2 700
Dolní pomocná deska	1.1730 / 150×250×5	435	2 700
normálie		2 000	
Dokončení, sestavení		5 000	

Tabulka 4: Cenová kalkulace

Cenová kalkulace byla stanovena pro formu z nástrojové oceli. Konečná cena formy je 57 270 Kč.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo v teoretické části objasnit mechanismus oděru pryžových materiálů a v praktické části navrhnout vzorek pro měření oděru, který by svým tvarem připomínal pneumatiku, a navrhnout lisovací formu pro tento vzorek.

V teoretické části byly vysvětleny pojmy tření a opotřebení, které spolu úzce souvisí a bez kterých by nebylo možné popsat mechanismus oděru. Bylo zjištěno, že oděr pryže se skládá z několika druhů opotřebení, z nichž každý se na celkovém oděru projeví jinou měrou. To, jak je daný materiál odolný vůči oděru, závisí nejen na intenzitě oděru, kterému je vystaven, ale také vlastnostem materiálu jako je např. strukturní pevnost, tvrdost, odrazová pružnost, tepelná stabilita. Vlastnosti pryže jsou dané skladbou směsi a technologickým postupem výroby.

V praktické části byl navrhnout vzorek pro měření oděru tvaru pneumatiky pro RC modely aut, který svým tvarem více odpovídá skutečným pneumatikám než současné vzorky pro měření oděru. Navrhovaný vzorek je určen pro nově konstruované zařízení měřící oděr, které bude připravováno v rámci diplomové práce. Tvar podobný pneumatice by měl hrát důležitou roli.

Dále byla navrhována lisovací forma. Při návrhu byla snaha splnit hlavní požadavky na formu a to jednoduchá konstrukce a snadná manipulace s formou jelikož se jedná o ruční formu. U formy byla provedena pevnostní analýza, kterou forma splňuje.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MALÁČ, J. Gumárenská technologie I. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2005.
- [2] Arayaprane, W. Rubber Abrasion Resistance. INTECH Open Access Publisher. 2012. ISBN: 978-953-51-0300-4.
- [3] HELEBRANT, F., ZIEGLER J. a MARASOVÁ D. Technická diagnostika a spolehlivost. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2001. ISBN 80-7078-883-6.
- [4] LAPČÍK, L. a RAAB M. Nauka o materiálech II. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2001. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-238-6527-7.
- [5] ISO 23794. Rubber, vulcanized or thermoplastic — Abrasion testing — Guidance. © 2010. Dostupné z: <http://standardsproposals.bsigroup.com/Home/getPDF/2229>
- [6] DUCHÁČEK, V. Přírodní a syntetické kaučuky, termoplastické elastomery. Zlín: Česká společnost průmyslové chemie, místní pobočka Gumárenská skupina Zlín, 2006, 158 s. ISBN 80-02-01784-6.
- [7] KUBÍK, J., ZYTKA, A.: Gumárenská technologie V – Zkušební metody v gumárenství. SNTL Praha, 1632.
- [8] DOUBEK, P.: Abrazivní a erozivní opotřebení. Brno: Mendelova univerzita v Brně, Fakulta agronomická, 2010. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Josef Filípek, CSc.
- [9] LASEK, S. Základy degradačních procesů: studijní opora. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2014. ISBN 978-80-248-3591-4.
- [10] Elektrické vlastnosti. Ústav fyziky a materiálového inženýrství [online]. 2011. Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/kzm/KZM_13.pdf
- [11] BUDINSKI, K. G. MNL 56 guide to friction, wear and erosion testing. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2007. ISBN 9780803142695.
- [12] PREKOP, Š. Gumárenská technológia II. 1. vyd. Trenčín: GC TECH Ing. Peter Gerši, 2003, 374 s. ISBN 80-88914-85-x.
- [13] SCHÄTZ, M. a Petr V. Zkoušení polymerů. 2. vyd. Praha: VŠCHT, 1988, 276 s.

- [14] BROWN, R. Physical testing of rubber. 4th ed. New York: Springer, 2006. ISBN 0387290125.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

F	Třecí síla
N	Normálová síla
μ	Součinitel tření
F_h	Hysterezní síla tření
F_a	Adhezivní síla tření
dT	Trhací energie
dW	Objemová energie
dA	Plocha
V_S	Objemový úbytek standardu
V_R	Objemová úbytek zkoušeného vulkanizátu
ρ	Hustota
O_S	Ostrost standardu
O_{BS}	Odolnost proti oděru stanovené metodou Bussen-Schlobach
O_{DL}	Odolnost proti oděru stanovené metodou Dunlop-Lambourn
O_{AC}	Odolnost proti oděru stanovené metodou Akron-Croydon
O_{DG}	Odolnost proti oděru stanovené metodou du Pont-Graselli

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Znázornění kluzného a valivého tření. [14]	12
Obrázek 2: Druhy uspořádání zařízení pro měření tření: a - lineární dráha, b – hřídel, c – vlečení vzorku. d – válec s rotujícím kotoučem, e – nakloněná rovina. [20]	14
Obrázek 3 : Základní druhy opotřebení (schéma): a – adhezivní, b – abrazivní, c - erozivní, d – kavitační, e – únavové, f – vibrační. Typické časové závislosti základních druhů opotřebení. [14]	16
Obrázek 4: zjednodušené schéma zkoušky tření [3]	24
Obrázek 5: Schéma zařízení pro měření opotřebení metodou Bussen-Schlobach [15]	29
Obrázek 6: Schéma zařízení pro měření opotřebení metodou du Pont-Grasselli [12]	30
Obrázek 7: Schéma zařízení pro měření opotřebení metodou Akron-Croydon [12].	32
Obrázek 8: Schéma zařízení pro měření opotřebení metodou Dunlop-Lambourn [12]	33
Obrázek 9: model vzorku.....	35
Obrázek 10: model vzorku v řezu	36
Obrázek 11: schéma znázorňující dělicí rovinu	37
Obrázek 12: zaskřípavací hrany a přetokové kanálky.....	38
Obrázek 13: sestava formy	38
Obrázek 14: sestava formy s pozicemi.....	39
Obrázek 15: pomocná deska	40
Obrázek 16: tvárník.....	40
Obrázek 17: tvárnice	41
Obrázek 18: rozložení napětí dle Von Mises pro ocel	42
Obrázek 19: velikost deformace pro ocel	43
Obrázek 20: rozložení napětí dle Von Mises pro dural.....	43
Obrázek 21: velikost deformace pro dural.....	44

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Přehled zkoušek a zkušebních zařízení [10]	26
Tabulka 2: Schémata jednotlivých zkoušek [10]	28
Tabulka 3: části formy	39
Tabulka 4: Cenová kalkulace	44

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P I: VÝKRES SESTAVY FORMY

PŘÍLOHA P II: HORNÍ POMOCNÉ DESKY

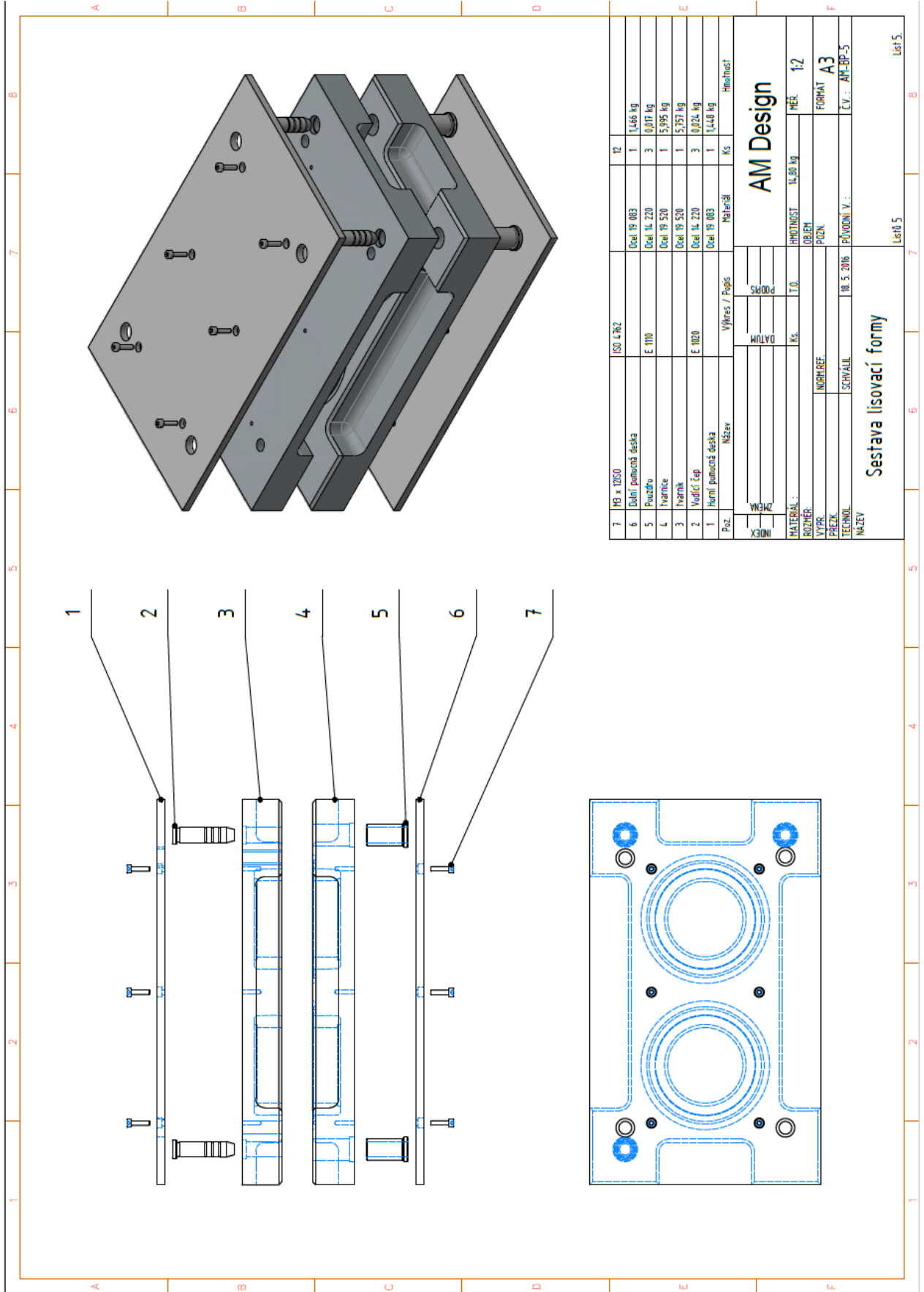
PŘÍLOHA P III: DOLNÍ POMOCNÉ DESKY

PŘÍLOHA P IV: VÝKRES TVÁRNÍKU

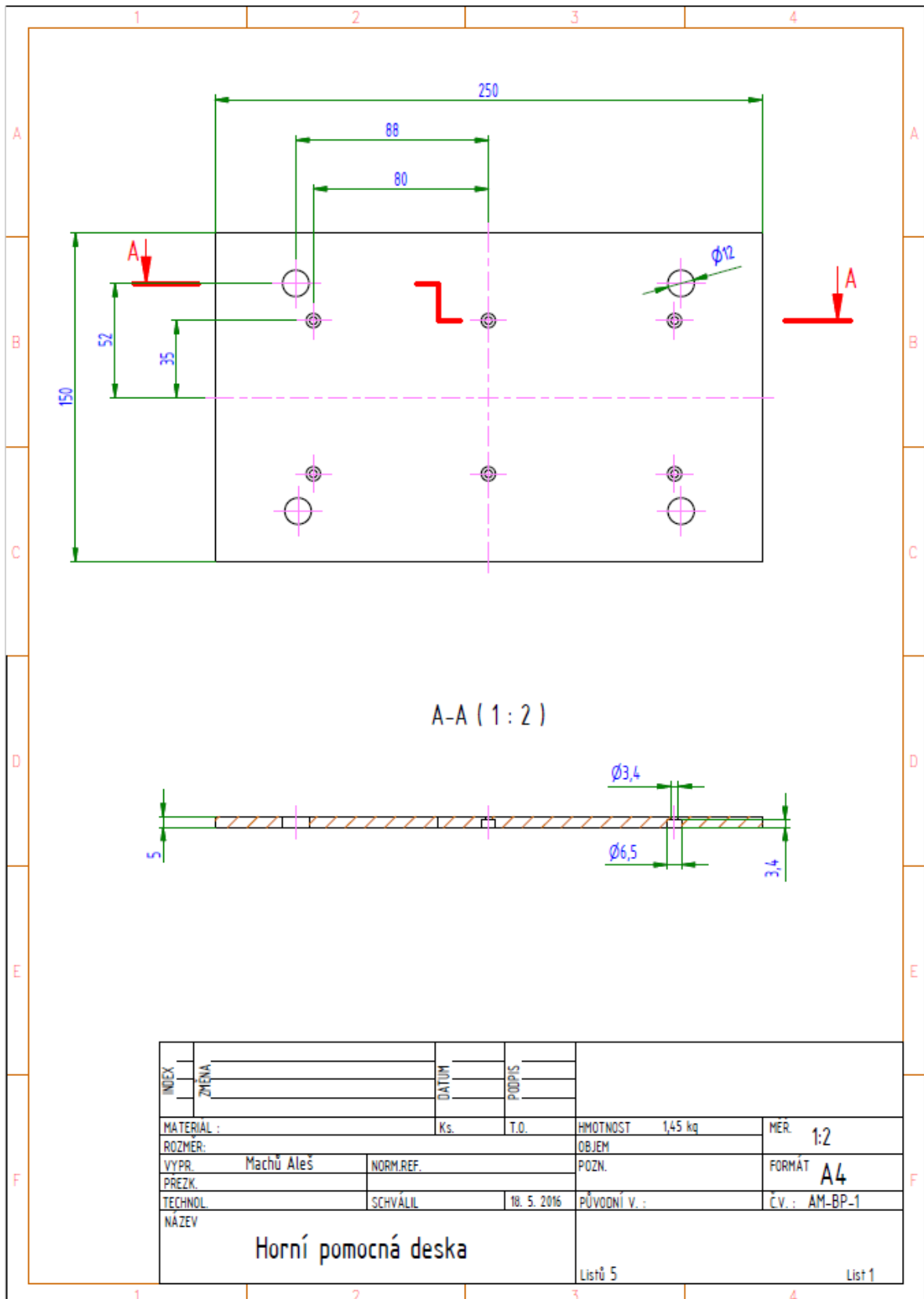
PŘÍLOHA P V: VÝKRES TVÁRNICE

PŘÍLOHA P VI: VÝKRES VZORKU

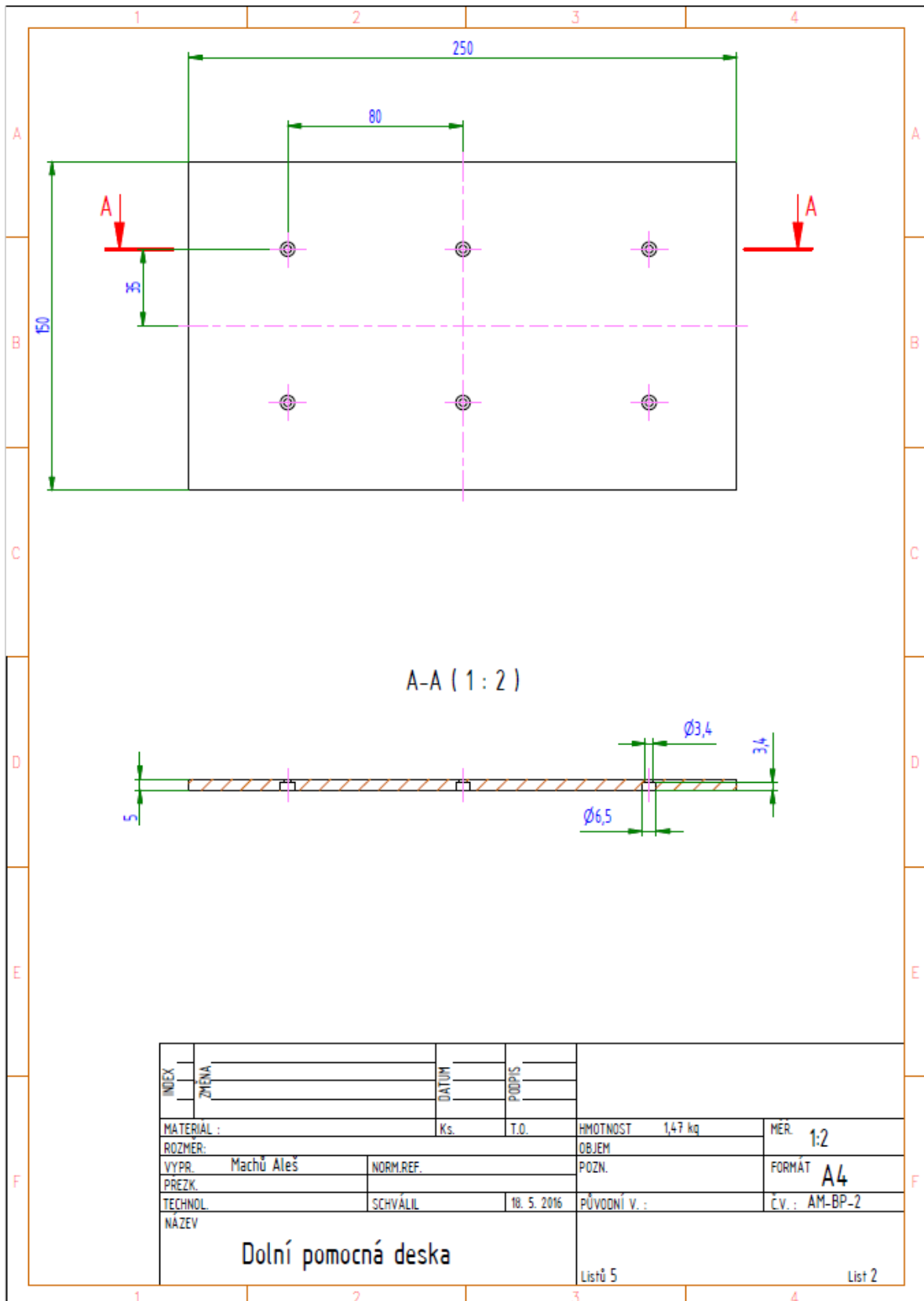
PŘÍLOHA P I: VÝKRES SESTAVY FORMY



PŘÍLOHA P II: VÝKRES HORNÍ POMOCNÉ DESKY



PŘÍLOHA P III: DOLNÍ POMOCNÉ DESKY



PŘÍLOHA P VI: VÝKRES VZORKU

