

Návrh dílů zařízení pro metodu padajícího tlouku

Luboš Valenta

Bakalářská práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Luboš VALENTA**
Osobní číslo: **T10796**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Návrh dílů zařízení pro metodu padajícího tlouku**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracování literární studie na dané téma**
- 2. Zhotovení výkresové dokumentace**
- 3. Zadání přípravku do výroby a jeho zprovoznění**
- 4. Ověření funkčnosti přípravku provedením experimentálních zkoušek**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

-dle doporučení vedoucího bakalářské práce

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Milan Žaludek, Ph.D.
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

8. února 2013

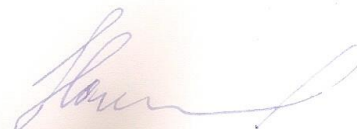
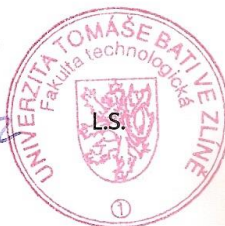
Termín odevzdání bakalářské práce:

17. května 2013

Ve Zlíně dne 11. února 2013



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: Obor:

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 Zlíně

.....

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 vzdělávacího 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 přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ATBSTRAKT

Práce byla zhotovena na téma: Návrh dílů zařízení pro metodu padajícího tlouku
V teoretické části jsem se věnoval vlastnostmi materiálů, zkouškami materiálů, kde jsem se podrobněji zaměřil na dynamické zkoušky a v neposlední řadě na kompozitní materiály. V praktické části jsem se věnoval navrhováním konstrukčního řešení potřebných dílů ke zkušebnímu zařízení, pro které jsem vytvořil výkresovou dokumentaci a zadal ji do výroby.

Klíčová slova: vlastnosti materiálů, dynamická zkouška, padostroj, kompozit

ABSTRACT

The work was done on the topic: Design parts machine for method falling thumper.
In the theoretical part is devoted to the properties of materials, material testing, where I was more focused on dynamic testing and last but not least, on composite materials. In the practical part is devoted to the design of structural solutions needed parts to the test facility, for which I created drawings documentation and entered it into production.

Keywords: properties of materials, dynamic testing, falling machine, composite

Rád bych poděkoval mému vedoucímu Ing. Milanu Žaludkovi, Ph.D. za odborné vedení a ochotu, kterou mi věnoval při vypracování mé bakalářské práce.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval sám a použitou literaturu jsem řádně citoval, odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
1 TEORETICKÁ ČÁST	11
1 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ	12
1.1 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI.....	12
1.2 CHEMICKÉ VLASTNOSTI.....	14
1.3 MECHANICKÉ VLASTNOSTI	15
2 DRUHY ZKOUŠEK	16
2.1 DRUHY ZKOUŠEK MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ MATERIÁLŮ.....	16
2.2 MECHANICKÉ ZKOUŠKY STATICKÉ	16
2.2.1 Zkouška pevnosti.....	17
2.3 DYNAMICKÉ ZKOUŠKY	20
2.3.1 Zkoušky rázové a vrubové houževnatosti	20
2.3.1.1 Zkoušky rázové a vrubové houževnatosti metodou Charpy	22
2.3.1.2 Metoda IZOD	25
2.3.1.3 Metoda Dynstat	26
2.3.1.4 Rázové zkoušky pádem.....	26
2.3.1.5 Rázové zkoušky tahem	27
2.3.1.6 Odrazová pružnost	29
2.3.1.7 Odrazová pružnost podle Schoba	29
2.3.1.8 Odrazová pružnost podle Lüpkeho	30
2.3.2 Zkoušky opětovným namáháním	31
2.3.2.1 Wöhlerova křivka	32
2.3.2.2 Mez únavy (σ_c), (MPa)	32
2.3.3 Lomy	33
3 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY	34
3.1 DEFINICE KOMPOZITU	34
3.2 ZVLÁŠTNOSTI VYZTUŽENÝCH POLYMERŮ	34
3.3 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA KOMPOZITŮ	35
3.3.1 Výhody laminátu:	36
3.3.2 Nevýhody laminátu:	37
3.3.3 Podle oblastí použití lze vyztužené plasty rozdělit do tří skupin:	37
3.4 ZVLÁŠTNOSTI POLYMERNÍCH KOMPOZITŮ JAKO KONSTRUKČNÍCH MATERIÁLŮ.....	38
3.5 VYZTUŽUJÍCÍ VLÁKNA	40
3.5.1 Skleněná vlákna.....	40
3.5.2 Aramidová vlákna	40
3.5.3 Uhlíková vlákna	42
3.5.4 Přírodní vlákna	43
3.6 MATRICE – POJIVO.....	44
3.6.1 Úloha matrice a její druhy	44
3.6.2 Termoplastické lisovací hmoty	44

3.6.3	Reaktivní pryskyřice.....	45
3.6.4	Termoplasty.....	46
3.6.5	Spojení vlákno – matrice.....	46
3.7	VLÁKNA V KOMPOZITU.....	48
3.8	ZPRACOVÁNÍ POLOTOVARŮ.....	48
II	PRAKTICKÁ ČÁST	50
4	PODSTATA ZKOUŠKY	51
5	POSTUP ZKOUŠKY	53
5.1	PROSTŘEDÍ ZKOUŠKY	53
5.2	VŠEOBECNÉ POKYNY.....	53
5.3	METODA A: STUPŇOVITÁ METODA.....	53
5.4	METODA B: STATICKÁ METODA	54
6	NÁVRH DÍLŮ PADAJÍCÍHO TLOUKU.....	56
6.1	PODSTAVA 1.....	56
6.2	PODSTAVA 2.....	58
6.3	SESTAVA TLOUKU.....	60
7	SOUČÁSTI PADAJÍCÍHO TLOUKU.....	62
7.1	DRŽÁK PODPĚR.....	62
7.2	PODPĚRA 1	62
7.3	PODPĚRA 2	63
7.4	UPÍNACÍ KROUŽEK.....	63
7.5	TLOUK S POLOKRUHOVOU NÁRAZOVOU PLOCHOU	64
7.6	TYČ	64
7.7	ZÁVAŽÍ 1	65
7.8	ZÁVAŽÍ 2.....	65
	ZÁVĚR	66
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	67
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	68
	SEZNAM OBRÁZKŮ	69
	SEZNAM TABULEK.....	71
	SEZNAM PŘÍLOH.....	72

ÚVOD

Materiály jsou při svém použití vystaveny různému namáhání, kterým mohou být například tah, tlak, krut, střih, ohyb. Tato namáhání nepůsobí samostatně, ale v různých kombinacích. Aby materiál odolal těmto námahám, musí mít určité vlastnosti, jako je pevnost, tvrdost, pružnost, tvárnost a jiné. Na mechanické vlastnosti má vliv i teplota. Při změnách teploty se mění krystalická struktura látky a tím pádem i vlastnosti dané látky. Proto je nutné uvádět v podmínkách měření při jaké teplotě je zkouška prováděna. Běžně se zkoušky provádí při pokojové teplotě 20°C, ale také při různých teplotách, aby se zjistilo, jak se materiál za daných podmínek chová.

Další mechanické vlastnosti materiálů se budou probírat zároveň s popisem jejich zkoušek. Těmito zkouškami totiž získáváme údaje nutné pro návrh tvaru, rozměrů a materiálů strojních součástí. Největší pozornosti dostanou zkoušky dynamické, při kterých působí síla nárazově po zlomek sekundy, protože zadané zařízení funguje pro testování za podmínek dynamické zkoušky.

Při těchto zkouškách se mohou uplatnit kompozitní materiály, které postupně více a více nahrazují běžně používané materiály, jejich největšími výhodami jsou vysoká pevnost, nízká hmotnost a dobrá ohnivzdornost. Kompozity se dnes hojně používají ve sportovním, automobilním, leteckém a jiném odvětví.

Pro dynamickou zkoušku rázem je navrženo několik dílů pro zařízení padostroje, jedná se o doplnění a nahrazení několika částí již vyrobených ve škole, které nebyly v souladu s normou ČSN EN ISO 6603-1.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ

Abychom mohli správně, a hospodárně využívat technické materiály musíme znát jejich vlastnosti a umět je správně určovat a zjišťovat. U kovů počítáme s technickou čistotou, u slitin nejčastěji s jejich průměrným složením. Je třeba vědět, že i malé množství přísady nebo nečistot může ovlivnit vlastnosti kovů a slitin. [2]

Vlastnosti dělíme na:

- Fyzikální
- Chemické
- Mechanické

1.1 Fyzikální vlastnosti

Hustota je dána poměrem hmotnosti k objemu homogenní látky při určité teplotě. Její velikost závisí na atomové stavbě dané látky (závislá na poloze prvku v periodické soustavě). To platí jen tehdy, jsou-li v krystalu obsazena atomy všechna uzlová místa. Ve skutečnosti se vyskytují četné poruchy mřížky (vakance, nečistoty) a tím se liší skutečná hustota od ideální.

Teplota (bod) tání a tuhnutí je teplota, při níž látka mění své skupenství. Závisí na vnitřní stavbě kovů. Znalost této teploty je důležitá pro slévárenství, pokovování, svařování apod. Teplota tání je důležitá pro eutektické slitiny.

Teplotní rozsah (interval) tání nebo tuhnutí Krystalické látky, které se skládají z jediného prvku nebo jediné sloučeniny, mají pro každý druh látky zcela určitou teplotu tání a tuhnutí. (např. slitiny, skla, keramické látky, atd.) Se stoupající nebo klesající teplotou pozvolna mění své skupenství, proto se u nich musí uvádět teplotní rozsah tání nebo tuhnutí.

Teplota tavení – je teplota asi o 200 °C vyšší, než je teplota tání dané slitiny. Touto zvýšenou teplotou se dosahuje u různých slitin stejného přehřátí.

Teplota lité – bývá asi o 50 až 100 °C nad teplotou likvidu.

Délková a objemová roztažnost je prodloužení délky nebo zvětšení objemu vlivem zvýšení teploty látky. Vztahuje se k počáteční délce nebo objemu.

Teplotní součinitel délkové a objemové roztažnosti je změna délkové nebo objemové jednotky při změně teploty o 1 K. U odlitků, součástí ze spékaných materiálů a součástí z plastů musíme naopak počítat se smrštivostí, která je opakem roztažnosti.

Tepelná vodivost je množství tepla Q , které při ustáleném stavu projde za jednotku času mezi dvěma protilehlými stěnami krychle o délce hrany 1 m, je-li rozdíl teplot mezi těmito stěnami 1 K. Nejlepším vodičem tepla je stříbro. Tepelnou vodivost ostatních kovů zjišťujeme často porovnáním s tepelnou vodivostí stříbra a udáváme ji v procentech. Největší vodivost mají čisté kovy.

Elektrická vodivost je schopnost vést elektrický odpor. Vodič s odporem 1 Ω má vodivost 1 S (siemens). Podle vodivosti dělíme materiály na **vodiče**, **polovodiče** nebo **izolanty**. Elektrickou vodivost posuzujeme podle měrného elektrického odporu ρ .

Měrný elektrický odpor je u vodivých materiálů jako odpor vodiče o průřezu 1 mm² a délce 1 m. Pro méně vodivé a pro nevodivé materiály definujeme odpor jako odpor mezi protilehlými stěnami krychle o straně 1 cm. Nejlepším vodičem elektrického proudu je stříbro, po něm měď a hliník. Nejlepším izolantem by bylo dokonalé vakuum.

Supravodivost je vlastnost některých kovů, jejichž elektrický odpor se při velmi nízkých teplotách (blízkých 0 K) skokem sníží na nezjistitelnou hodnotu (el. proud prochází vodičem prakticky bez odporu). U čistých kovů je přechod rychlý, u slitin pomalejší. Supravodivost se vyskytuje u kovů i u polovodičů a projevuje se hlavně při stejnosměrném proudu.

Magnetické vlastnosti materiálů se zjišťují z jejich chování v magnetickém poli. Podle velikosti permeability (uvádí míru magnetizace) lze materiály zařadit do tří skupin.

1. Diamagnetické látky mají $\mu < 1$. Patří k nim vodík a většina organických sloučenin, z kovů měď, zlato, rtuť, cín, olovo apod. Znamená to, že tyto kovy nezesilují účinek vnějšího magnetického pole.

2. Paramagnetické látky mají $\mu > 1$, ale blízké jedné. Patří k nim kyslík, soli vzácných zemin, alkalické kovy, hliník, platina apod. Tyto kovy zesilují účinek vnějšího magnetického pole zcela nepatrně.

3. Feromagnetické látky mají μ velmi vysokou a závislou na intenzitě magnetického pole. Patří k nim železo, nikl, kobalt a slitiny chromu a manganu. Feromagnetické látky se dělí podle svých vlastností na magneticky měkké a magneticky tvrdé.

Magneticky měkké materiály se snadno zmagnetizují, ale i snadno odmagnetizují (nepodrží si své magnetické vlastnosti po zániku vnějšího magnetického pole). Používají se na stavbu obvodů u elektrických strojů a přístrojů.

Magneticky tvrdé materiály se obtížně magnetizují, ale své vlastnosti si podrží i po zániku vnějšího magnetického pole. Používají se na výrobu permanentních (stálých) magnetů. [2]

1.2 Chemické vlastnosti

Vlivem chemických účinků různých kapalných nebo plyných prostředí se povrchy součástí často porušují, případně se celé rozruší.

Koroze

U kovů se tomuto jevu říká koroze. Aby bylo možno korozi zamezit nebo ji zpomalit, je nutno vědět, jak jí daný materiál odolává (znát jeho odolnost proti korozi). Odolnost vůči korozi se určuje těžko, protože koroze závisí na mnoha faktorech jak povrchu tak korozního prostředí (druh látky, jakost povrchu, zpracování, koncentrace, teplota a pohyb korozního činidla). Proto je snahou při zkouškách v laboratořích napodobit co nejvěrněji skutečné provozní podmínky, nebo dokonce se zkouší materiály ve skutečném provozním prostředí. Při *korozních zkouškách v přírodě* (dlouhodobé zkoušky) se umísťují vzorky zkoušených materiálů přímo do provozních podmínek nebo do míst s nejnepříznivějšími podmínkami. Materiál pro zařízení v chemickém průmyslu se zkouší často pomocí vzorků přímo v pracovním prostředí. *Korozními zkouškami v laboratořích* (krátkodobé zkoušky) se získá přehled o korozní odolnosti materiálů v chemicky působících kapalinách nebo plynech. V laboratoři lze uměle připravit nepříznivé klimatické poměry (mikroklima) v klimatizačních komorách. Velikost koroze se obvykle udává úbytkem hmotnosti kovu v gramech na 1 cm² plochy za určitý čas.

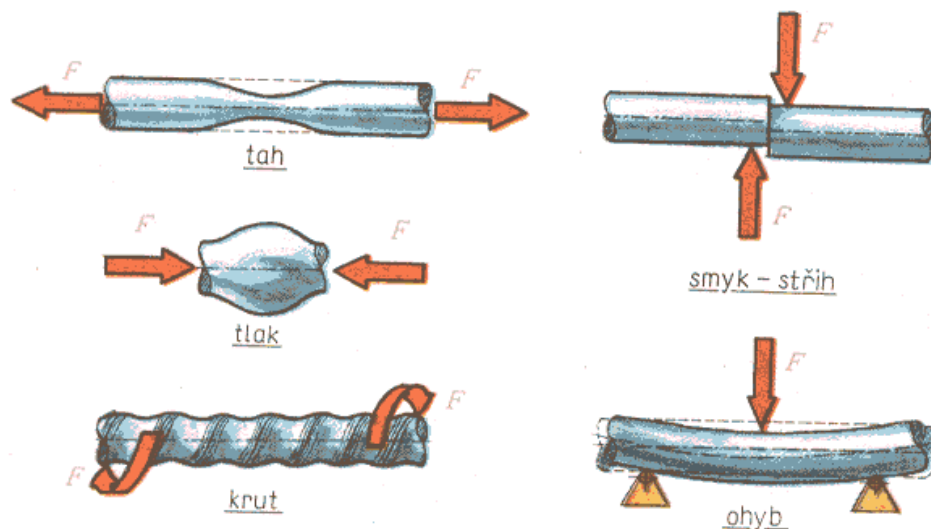
Žárovzdornost

Je to odolnost proti opalu neboli oxidace za vyšších teplot. Odolné proti opalu musí být ty části strojů a zařízení, které musí dlouhodobě odolávat žaru (teplota zhruba nad 600 °C). (kotle, rošty, kotlové trubky). Tuto odolnost získávají slitiny přidáním žárovzdorných prvků, jako např. hliníku, chromu, křemíku. [2]

1.3 Mechanické vlastnosti

Při zpracování i při použití jsou materiály vystaveny různému namáhání, jako je **tah**, **tlak**, **krut**, **střih** a **ohyb**. Tato namáhání obvykle nepůsobí samostatně, ale naopak působí většinou současně jako kombinace dvou i více namáhání prostých (např. tah a ohyb, nebo tah, ohyb a krut). Aby jim materiál mohl odolávat, musí mít určité vlastnosti, jako **pevnost**, **tvrdost**, **pružnost**, **tvárnost** aj.

Na mechanické vlastnosti materiálů má značný vliv také teplota. Při určitých teplotách se mění krystalická struktura materiálů a tím se mění i jejich mechanické vlastnosti. [2]



Obr. 1. Základní druhy namáhání materiálu [2]

2 DRUHY ZKOUŠEK

2.1 Druhy zkoušek mechanických vlastností materiálů

Rozdělujeme je podle síly působící na těleso, provádí se většinou na zkušebních vzorcích buď přímo z dané součásti, nebo z materiálu na součást.

Statické zkoušky

Zatížení se zvětšuje zvolna, trvají většinou minuty, při dlouhých zkouškách dny nebo dokonce roky.

Dynamické zkoušky rázové

U dynamických zkoušek síla působí nárazově jen na zlomek sekundy.

Cyklické zkoušky

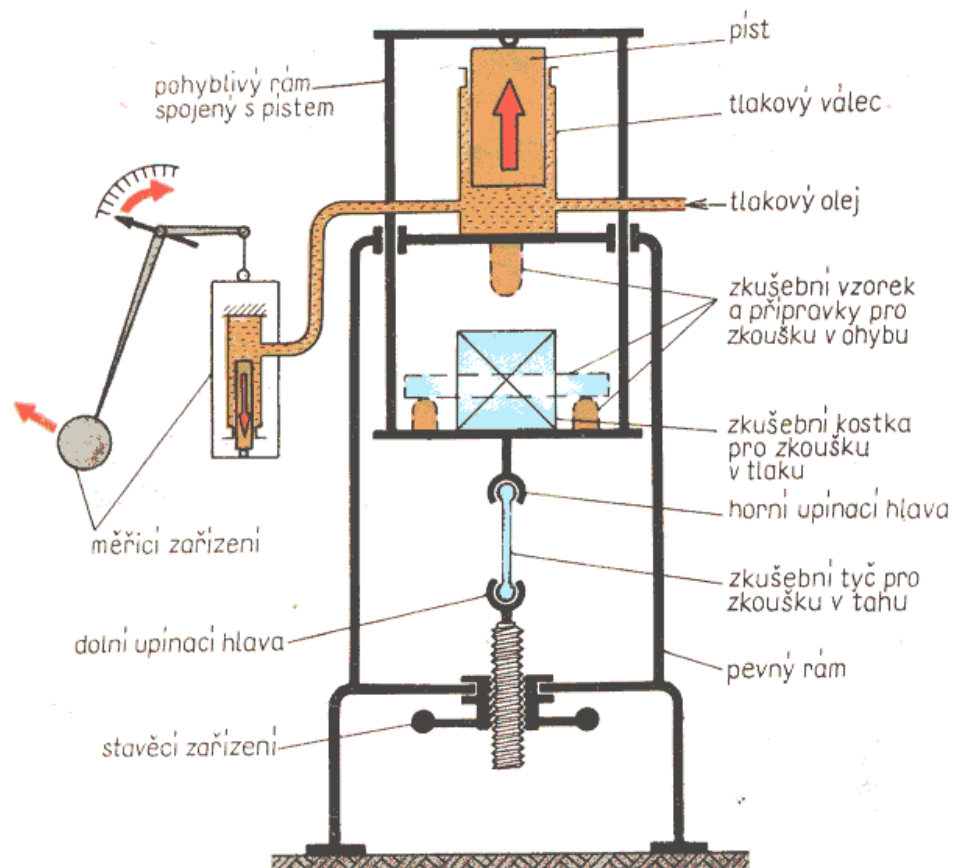
U cyklických zkoušek (zkoušky na únavu materiálu) se proměnné zatížení opakuje i mnoha cykly za sekundu až mnoha milionů jejich celkového počtu.

Zvláštní technické zkoušky

Dělí se do skupin podle toho, za jaké teploty jsou prováděny, jsou to zkoušky za normálních, vysokých a nízkých teplot. Jejich údaje je možné považovat za směrné, neboť výsledky zkoušek zde závisí na mnoha vedlejších činitelích. Nejdůležitější jsou zkoušky tvrdosti. [2]

2.2 Mechanické zkoušky statické

Základem těchto zkoušek jsou zkoušky pevnosti, podle způsobu působení zatěžující síly rozdělujeme tyto zkoušky na zkoušky pevnosti v **tahu, tlaku, ohybu, krutu a stříhu**. Zkoušky můžeme provádět buď na jednoúčelových, nebo na univerzálních strojích. [2]



Obr. 2. Schéma univerzálního zkušebního stroje pro zkoušku tahem, tlakem a ohybem [2]

2.2.1 Zkouška pevnosti

Zkouška tahem (trhací)

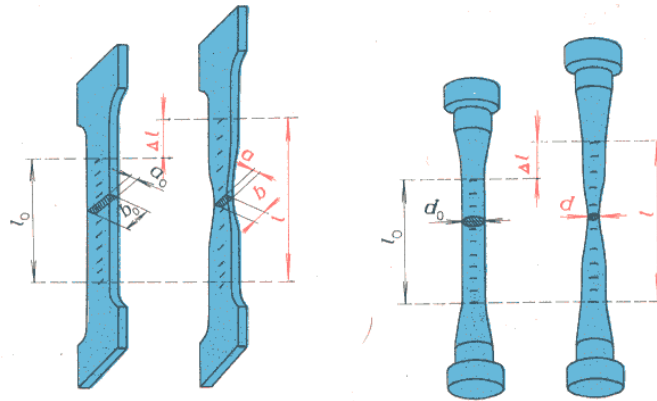
Je nejrozšířenější statickou zkouškou, provádí se téměř u všech materiálů, protože jí získáváme některé základní hodnoty potřebné pro výpočet konstrukčních prvků a volbu vhodného materiálu. Zjišťujeme její *pevnost v tahu*, *poměrné prodloužení*, *tažnost* a *zúžení* (kontrakci) zkoušených materiálů.

Zkoušky tahem se zpravidla nedělají přímo na vyrobené součásti, ale na *zkušebních tyčích*, jejichž tvary a rozměry jsou normalizovány

Zkušební tyče mohou být kruhové nebo ploché, krátké nebo dlouhé. Kruhové zkušební tyče (krátké i dlouhé) se liší tvarem hlav, volí se podle zkoušeného materiálu a upínacího zařízení trhacího stroje, které bývá výměnné.

Vlastní měřená délka l_0 závisí na průřezu zkušební tyče, při kruhovém průřezu se tyče dělí podle průměru zkušební tyče na $10d_0$ (dlouhé tyče) nebo $5d_0$ (krátké tyče).

Aby bylo možné měřit prodloužení zkušební tyče po přetržení, vyznačí se na ní před zkouškou rysky ve vzdálenosti 10 mm.



Obr. 3. Tvary zkušebních tyčí pro zkoušku tahem [2]

Napětí materiálu

U všech statických zkoušek vzniká v materiálu napětí. Je to míra vnitřních sil, které vznikají v materiálu působením sil vnějších, číselná hodnota napětí se určí jako podíl síly a plochy, na níž síla působí.

Normálové napětí σ (tah, tlak, ohyb)

Tečné napětí τ (smykové)

Skutečné napětí σ - podíl síly a skutečné plochy průřezu v kterémkoliv okamžiku

Smluvní jmenovité napětí R – běžně se využívá, protože se neuvažuje změna průřezu tyče, zatížení se proto vztahuje na počáteční průřez tyče S_0 .

Pevnost v tahu R_m (σ_{Pt})

Je smluvní hodnota napětí daného podílem největší zatěžující síly F_m , kterou snese zkušební tyč a původního průřezu tyče S_0

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \text{ [MPa]} = \text{[N/mm}^2\text{]} \quad (1)$$

Prodloužení ΔL

Byla-li původní délka zkušební tyče L_0 a délka zjištěná po přetržení L_u , je celkové (absolutní) prodloužení (změna délky):

$$\Delta L = L_u - L_0 \text{ [mm]} \quad (2)$$

Poměrné prodloužení ε

Je dáno poměrem změny délky ΔL k původní délce tyče L_0

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_u - L_0}{L_0} \text{ [1]} \quad (3)$$

Tažnost A

Je to poměrné prodloužení v procentech počáteční délky. Uvádí se s dolním inde-
xem 5 nebo 10, podle toho jestli tyč byla dlouhá nebo krátká

$$A = \varepsilon \cdot 100 \text{ [%]} \quad (4)$$

Kontrakce Z

Je dána poměrem zúžení průřezu tyče po přetržení ($S_0 - S_u$) k původnímu průřezu
tyče S_0 , vyjádřená v procentech

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (5)$$

Pevnost v kluzu Re

Mez pevnosti v kluzu je napětí, při němž se zkušební tyč počne výrazně prodlužo-
vat, aniž by stoupala zatěžující síla, nebo při němž nastává prodlužování doprovázené po-
klesem zatěžující síly

$$Re = \frac{Fe}{S_0} \text{ [MPa]} \quad (6)$$

u uhlíkových ocelí bývá poměr $Re: R_m = 0,5 - 0,6$ u slitinových až 0,9 [2]

2.3 Dynamické zkoušky

V praxi jsou většinou strojní součásti namáhány zatížením, jehož velikost a smysl se prudce, popřípadě opakovaně mění. Potřebné údaje o chování takto namáhaného materiálu nemůžeme zjistit statickými, ale dynamickými zkouškami. Při tomto namáhání dochází často k náhlému porušení materiálu, i když zatěžující síla ještě nedosáhla statické pevnosti materiálu. [4]

2.3.1 Zkoušky rázové a vrubové houževnatosti

Zkouška rázové a vrubové houževnatosti materiálů spočívá v namáhání tělesa rázem, tedy silou koncentrovanou do velmi krátké doby. Souvisí s jejich deformačními vlastnostmi, schopností rychle absorbovat energii, tedy deformovat se určitou rychlostí. Na rozdíl od statického namáhání například v ohybu, kdy dojde k porušení tělesa až při extrémním průhybu, nebo vůbec, tak s rostoucí rychlostí namáhání se materiály stávají křehčími, což se projeví deformací či porušením zkušebního tělesa už při malém průhybu. Je to důsledek toho, že některé rovnovážné pochody v materiálu nemají dostatek času k tomu, aby proběhly. Lomy, které se při nízkých rychlostech namáhání jeví jako tažné, se mění na křehké.

Střední odpor proti deformaci při statické zkoušce tahem je definován jako

$$\delta_l = \frac{A_\varepsilon}{\Delta l \cdot A_0} \text{ [MPa]} \quad (7)$$

kde

A_ε ... deformační práce daná plochou tahové křivky

Δl ... přírůstek deformace

A_0 ... počáteční průřez zkušebního tělesa

A podobně se stanoví pro deformaci rázem

$$\delta_\alpha = \frac{A_d}{\Delta l \cdot A_0} \text{ [MPa]} \quad (8)$$

Poměr obou hodnot je potom tak zvaný součinitel dynamického působení

$$C_d = \frac{\delta_d}{\delta_l} \quad (9)$$

Hodnota součinitele dynamického působení, která je větší než 1 u všech materiálů, potvrzuje, že při dynamickém namáhání roste odpor materiálu proti deformaci.

Rázové zkoušky se provádí především v ohybu. Pro srovnání s ostatními druhy deformací, je lze však provádět také v tahu, tlaku, případně krutu. Energie pro deformaci se rázem získává pomocí padacího závaží (padostroje) anebo častěji pomocí kyvadlovým pohybem kladiva, které při dopadu působí na zkušební těleso kinetickou energií

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{G}{g} \cdot v^2 \quad [J] \quad (10)$$

kde

v ... okamžitá rychlost

G ... hmota kladiva

g ... zemské tíhové zrychlení ($9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$)

Otočně zavěšené kladivo má ve své horní (počáteční) poloze maximální potenciálovou energii rovnou

$$E_p = m \cdot g \cdot h = G \cdot h \quad [J] \quad (11)$$

a nulovou kinetickou. Po uvolnění zavěšené kladivo padá a prochází nejnižší polohou, přičemž dosahuje maximální kinetické energie (a nulové potenciální), se kterou působí na zkušební těleso. Hodnota kinetické energie je dána polohou zavěšení kladiva, protože jeho hmota se považuje za konstantní. Rozdíl výšky kladiva před a po zkoušce odpovídá energii spotřebované na přeražení zkušební tělesa

$$W = G \cdot (h_1 - h_2) = G \cdot l \cdot (\cos\beta - \cos\alpha) \quad [J] \quad (12)$$

Při zkoušce se však ne všechna energie využije k deformaci zkušební tělesa. Určitá část slouží k iniciaci trhliny (W_i) a její šíření tělesem (W_p), odmrštění přeražených částí zkušební tělesa (W_z), ztrátám třením v ložiscích, vzduchu či vibracemi (W_k) a zbylá část slouží k vynesení kyvadla do výšky h_2 (W_h). Podíly jednotlivých složek energie se mění v závislosti na zkoušeném materiálu.

$$W = W_i + W_p + W_z + W_k + W_h \quad (13)$$

Zkoušky rázové a vrubové houževnatosti se obvykle provádím jedním ze tří metod:

Charpy – zkušební těleso je umístěno na dvou podpěrách a přeráží se otáčivým kladivem uprostřed. V principu se jedná se o třibodový ohyb

Izod – zkušební těleso tvaru trámce se na jednom konci pevně upevní (vetknutý trámec) a na druhém se přeráží

Dynstat – je metoda pro zkoušení těles malých rozměrů, například z hotových výrobků [4]

2.3.1.1 Zkoušky rázové a vrubové houževnatosti metodou Charpy

Rázová houževnatost je definována jako kinetická energie kyvadlového rázového kladiva nutná k přeražení zkušební tělesa vztažená na původní plochu příčného průřezu (u zkušebních těles obdélníkového profilu je důležité rozlišovat šířku a tloušťku)

$$A_n = \frac{W}{b \cdot h} \quad [\text{kJ} \cdot \text{m}^2] \quad (14)$$

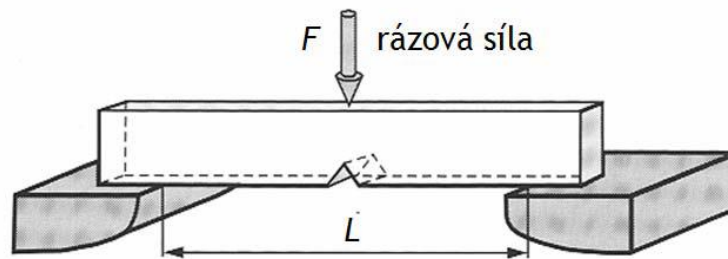
kde

W ... deformační energie spotřebovaná k přeražení zkušební tělesa a odečtená na stupnici zkušebního zařízení

b ... šířka zkušební tělesa

h ... tloušťka zkušební tělesa

Vrubová houževnatost je hodnota získaná na zkušebních tělesech zeslabených vrubem různého tvaru (obr. 4) vztažená na průřez po odečtení vrubu.



Obr. 4. Schéma rázové deformace metodou Charpy [4]

$$A_k = \frac{W}{b \cdot h_k} \quad [\text{kJ} \cdot \text{m}^2] \quad (15)$$

kde

h_k ... redukovaná tloušťka (v místě vrubu) zkušebního tělesa

Účelem úpravy zkušebního tělesa vrubem je, aby lom proběhl uprostřed a kolmo na podélnou osu vzorku. Při samotné zkoušce se vzorky pokládají na podpěry tak, aby vrub ležel na opačné straně (tahové namáhání), než ze které dochází k nárazu kladivem (tlakové namáhání), tedy rázové deformaci.

Vzhledem k násobně nižším hodnotám vrubové než rázové houževnatosti ($5 \times - 10 \times$), bylo zavedeno kritérium, tak zvaný vrubový koeficient (vrubové číslo), který udává citlivost jednotlivých polymerních materiálů vůči zeslabení vrubem, případně zesílení či zeslabení matrice plnivý nebo jinými výztužnými materiály (vlákna).

$$K_v = \frac{A_k}{A_n} \quad (16)$$

Vrubová houževnatost je výrazně ovlivněna tvarem vzorku (používá se půlkruhový, U a V vrub) a jeho rozměry (tab. 1). Větší hloubka vrubu než 20 % tloušťky zkušebního tělesa už má však zanedbatelný vliv na houževnatost. Informace o lomovém chování polymerních materiálů při rázových zkouškách lze rozšířit zkoušením vzorků opatřených oboustranným vrubem, případně otvorem. Vruby se na zkušebních tělesech vytváří frézováním či pilováním. Většinou se používá vrubu o šířce 2 mm a hloubce 3,3 mm se zaoblením o poloměru 0,2 mm. U malých zkušebních těles jsou vruby menší, u vrstevnatých materiálů se vruby dělají až do 1/3 jejich tloušťky.

Rázové a vrubové zkoušky se provádí na zkušebních přístrojích Charpy lišících se rozsahem podle typu zkoušeného materiálu a rozměrů zkušebních vzorků. Naměřené hodnoty by měly vždy pohybovat mezi 10 % až 80 % rozsahu měřící stupnice (tab. 2 a 3). [4]

Tab. 1. Normované rozměry zkušebních těles

Zkušební těleso	Délka l [mm]	Šířka b [mm]	Tloušťka h [mm]	Vzdálenost podpěr [mm]
velké	120	15	10	70
střední	80	4	10	70
malé	50	6	4	40

Tab. 2. Rozsah zkušebního zařízení Charpy

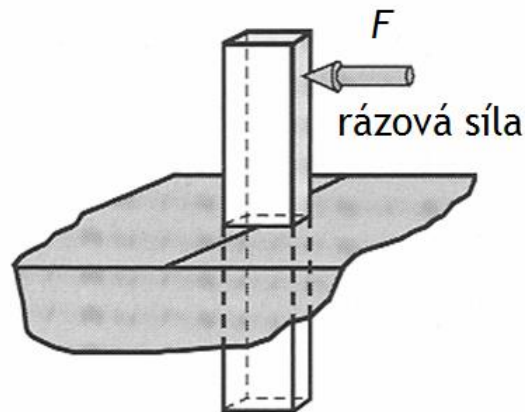
	Rázová energie		Rychlost dopadu kladiva
	kpcm	Nm J	Cm s ⁻¹
5	0,49	290 ± 10	
10	0,98	290 ± 10	
40	3,92	290 ± 10	
150	14,71	380 ± 20	
500	49,03	380 ± 20	

Tab. 3. Rázová a vrubová houževnatost vybraných polymerních materiálů

Polymerní materiál	Rázová energie	Vrubová energie
PP - polypropylen	9 – 13	4 – 15
PVC tvrdý polyvinylchlorid	N	2 – 5
PS - polystyren	10 – 20	2 – 3
ABS - akrylobutadienstyren	80 – 100	6 – 10
PMMA - polymethylmetakrylat	10 – 11	2 – 3
PA 66 - polyamid 66	N	20
PA 6 - polyamid 6	N	3 – 10
PA 6 - polyamid 6 plněné SK 25 %	30	10
PA 6 - polyamid 6 plněné SK 35 %	45	14
Fenolformaldehydové pryskyřice	2 – 10	1 – 10
Melaminformaldehydové pryskyřice	3 – 11	1 – 8
Epoxidové pryskyřice	8 – 11	1 – 8

2.3.1.2 Metoda IZOD

Metoda Izod a Charpy se navzájem odlišují ve způsobu přerážení zkušebního tělesa, kdy v případě metody Izod se vzorek na jedné straně upne a na druhé přeráží. Vrubová zkušební tělesa se uchytávají tak, aby se přerážela ze strany opatřené vrubem (obr. 5).



Obr. 5. Schéma rázové deformace metodou Izod [4]

Nevýhodou této metody je, že přerážený zbytek zkušebního tělesa brzdí pohyb kladiva, což snižuje naměřené hodnoty. Proto se vedle vlastního měření provádí tak zvaný slepý pokus s kyvadlem, na kterém je umístěna přerážená část zkušebního vzorku. Z této rozdílu hodnoty a hodnoty naměřené s volným kladivem se získá energie nutná k odmrštění zkušebního vzorku, která se pak odečítá od hodnoty získané při vlastním přerážení zkušebního tělesa.

Výpočet rázové houževnatosti se provede podle vzorce

$$A_n = \frac{W - (W_0 - W_z)}{b \cdot h} \quad [\text{kJ} \cdot \text{m}^2] \quad (17)$$

kde

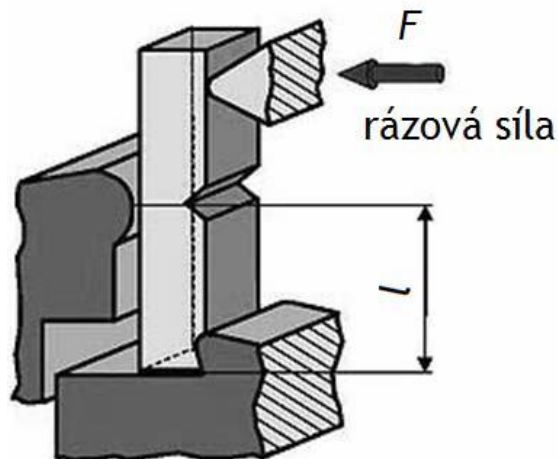
W ... práce odečtená na stupnici po přerážení zkušebního tělesa

W_0 ... hodnota volného kyvu ze stejné výchozí výšky

W_z ... hodnota odečtená při volném kyvu a odmrštění části přeráženého zkušebního tělesa

2.3.1.3 Metoda Dynstat

Rázovou a vrubovou houževnatost je možné měřit také pomocí přístroje Dynstat, který má výměnná kladiva s různými energiemi (0,49 Nm, 0,98 Nm, 1,96 Nm a 3,92 Nm). K měření se používají relativně malá zkušební tělíska o rozměrech 15 mm × 10 mm a tloušťky 1,5 až 4,5 mm, která se přerážejí podobně jako u metody Izod systémem vetknutého trámce (obr. 6).

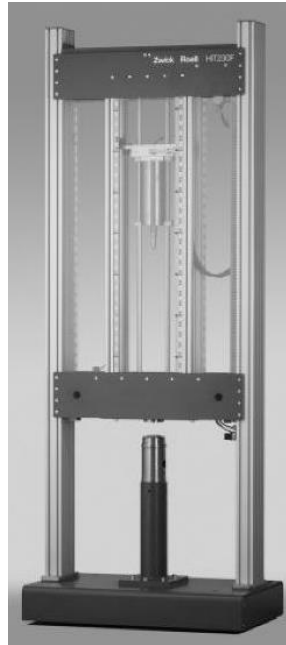


Obr. 6. Schéma rázové deformace na přístroji Dynstat [4]

Výpočet rázové houževnatosti je podobný jako u metody Charpy. Největší výhodou této metody spočívá v použití malých zkušebních těles, která mohou být připraveny z desíček anebo přímo vyříznutím z konkrétního výrobku. [4]

2.3.1.4 Rázové zkoušky pádem

Padostroje představují alternativní způsob měření rázové houževnatosti polymerních materiálů, když eliminují nedostatky kyvadlových přístrojů (volba energie, rychlost provedené deformace). Padostroje pracují na principu padajícího tělesa na zkušební vzorek s libovolně volitelnou kinetickou energií (závisí na hmotě padající tělesa) a rychlosti (ovlivněna výškou pádu).



Obr. 7. Padostroj [4]

Stanovení se provádí tak, že se na zkušební těleso nechá volně padat ocelová kulička, případně padací čidlo, jejichž hmotnost lze dodatečně navyšovat závažím. Hledá se přitom taková zátěž, při níž dojde zlomení alespoň 50 % všech zkušebních vzorků (série 10 vzorků). Energie k tomu vynaložená se počítá ze vztahu

$$W = G \cdot h \quad (18)$$

kde

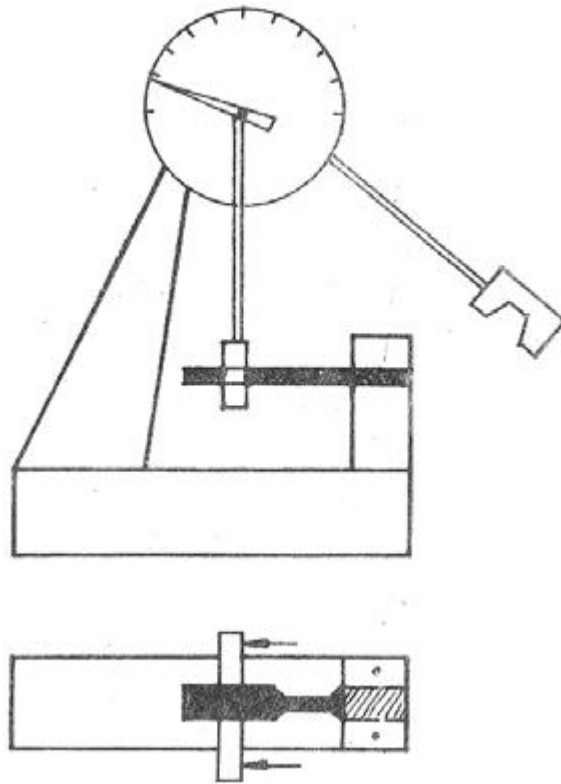
G ... tíha závaží [g]

h ... výška pádu [mm] [4]

2.3.1.5 Rázové zkoušky tahem

Metoda se využívá ke zkoušení materiálů s vysokou houževnatostí, které se během ohybových zkoušek nezlomí, ale pouze prohnou. Deformace tahem umožňuje také rovnoměrnější deformaci. Jako zkušební tělesa se používají tělesa tvarově podobné oboustranným lopatkám k měření tahových vlastností s různou délkou pracovní části. Tělesa s krátkou pracovní částí poskytují výsledky srovnatelné s ohybovými rázovými zkouškami, u

vzorků s delší pracovní částí vzniká určité protažení, což umožňuje vyhodnotit dynamickou tažnost a trvalou deformaci (průtažnost) (obr. 8).



Obr. 8. Schéma uspořádání kyvadla pro rázovou zkoušku tahem [4]

Práce vynaložená na destrukci tělesa je vyhodnocena součinem spotřebované energie a deformace tělesa. Takto lze teoreticky dosáhnout stejných výsledků u dvou materiálů, z nichž jeden bude vykazovat velké protažení a malou spotřebu energie a druhý naopak. Rázová houževnatost v tahu se spočítá podle vztahu

$$A_{\varepsilon} = \frac{W_{\varepsilon}}{b \cdot h_k} \quad [\text{kJ} \cdot \text{m}^2] \quad (19)$$

kde

W_{ε} ... korigovaná rázová práce

$$W_{\varepsilon} = W - (W_k + c) \quad (20)$$

kde

W ... deformační práce odečtená na stupnici Charpyho kladiva

W_k ... ztráty třetím a kyvem

c ... rázový korekční faktor daný konstrukcí kyvadla

Trvalá deformace (průtažnost) se vyhodnocuje se změny délky pracovní části zkušebního tělesa

$$TD = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (21)$$

kde

l ... délka zkušebního tělesa po jeho rekonstrukci měřená 1 min po přeražení [mm]

l_0 ... původní délka zkušebního tělesa před započítáním zkoušky [mm] [4]

2.3.1.6 Odrázová pružnost

Zkouška odrazové pružnosti patří mezi jednoduché a rychlé metody srovnání schopnosti materiálů (využívá se zejména pro pryže) absorbovat, respektive vracet mechanickou energii při rázové deformaci.

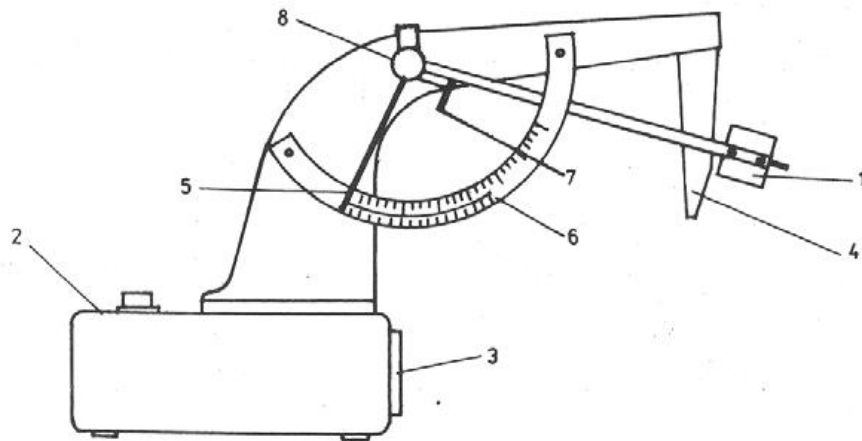
V principu se jedná o to, že kyvadlové kladivo dopadá z předepsané výšky na zkoušený vzorek a podle poměru výšky dopadu a odrazu se stanoví odrazová pružnost

$$R_s = \frac{h_r}{h_0} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (22)$$

Jedná se o poměr energií vrácené k energii dodané při rázovém namáhání a je mírou dynamických elastických vlastností zejména kaučukových vulkanizátů. [4]

2.3.1.7 Odrázová pružnost podle Schoba

Metoda zkoušení odrazové pružnosti podle Schoba (obr. 9) se používá zejména pro rychlou kontrolu v gumárenské praxi. Pracovní část se skládá z kladiva s nárazníkem ve tvaru ocelové kuličky o průměru 7,5 mm, která má potenciální energii 0,5 J a rychlost pádu 2 m/s. Ručička unášená kyvadlem i při zpětném chodu pak slouží k přímému odečtu odrazové pružnosti na stupnici dělené v % dopadové výšce.



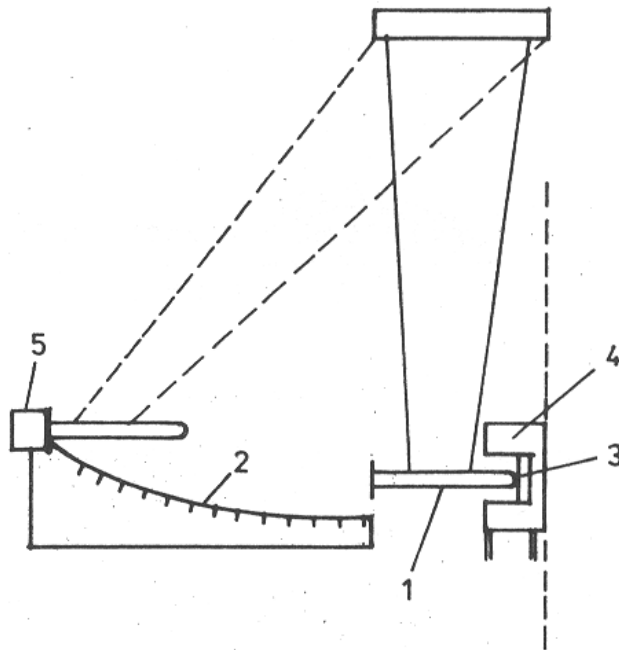
Obr. 9. Zkušební zařízení pro odrazovou pružnost podle Schoba [4]

1 – kyvadlo s kuličkou ve výchozí poloze, 2 – podstava, 3 – kovadlina se zkušebním vzorkem, 4 – výška odečítaná na spodní stupnici, 5 – ukazatel výsledků, 6 – stupnice procentuální odrazové pružnosti, 7 – unášec ukazatele, 8 – nulování ukazatele

2.3.1.8 Odrazová pružnost podle Lüpkeho

Zkušební zařízení podle Lüpkeho (obr. 10) slouží zejména k měření odrazové pružnosti za zvýšené, případně snížené teploty a výsledky se srovnávají s jinými metodami (tlumení, vzrůst teploty při cyklickém namáhání).

Princip metody spočívá v měření vzdálenosti odrazu tyčového kyvadla (350 g) po dopadu na zkoušený vzorek. Jako zkušební tělesa slouží vyseknutá kolečka slepená na požadovanou tloušťku (průměr 55 mm a tloušťka 13 mm až 16 mm). Při zkouškách za zvýšené teploty se vzorek ponechá vytemperovat předepsanou dobu (45 min) v temperační lázni a do 1 min po vytažení se musí provést samotná zkouška v komoře temperované na stejnou teplotu.



Obr. 10. Zařízení ke stanovení odrazové pružnosti podle Lüpkeho [4]

1 – kyvadlo na hedvábné niti (2 m), 2 – stupnice, 3 – zkušební těleso, 4 – duplikátor pro vyhřívání ultra termostatem, 5 – elektromagnet k uvolnění kyvadla.

Podobně jako u předchozí metody, první tři pokusy se nezapočítávají a z dalších dvou se stanoví průměrná hodnota. Oblouková stupnice dělená od 0 do 100 dílků potom udává přímo odrazovou pružnost v procentech. [4]

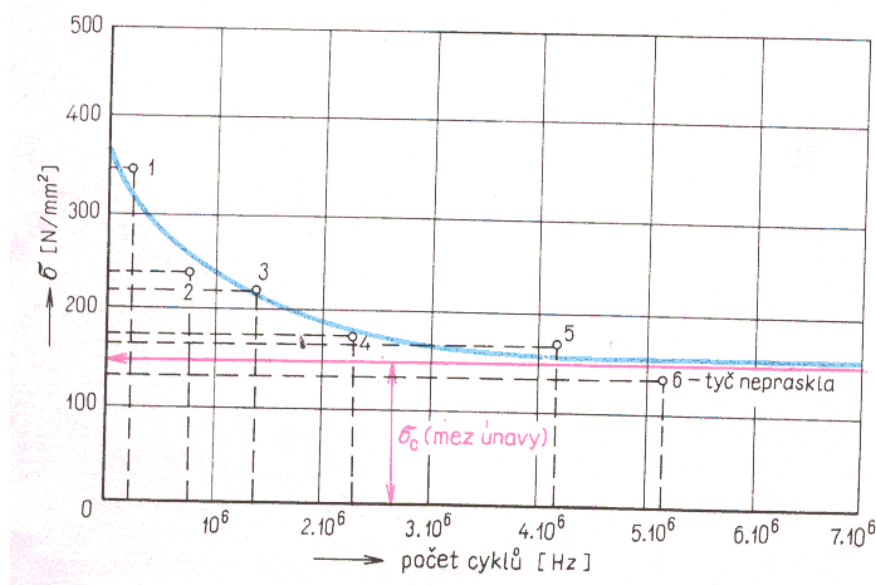
2.3.2 Zkoušky opětovným namáháním

Říkáme jim také zkoušky únavy materiálu. Při namáhání součástí vznikají často poruchy dříve (tj. i při značně nižším napětí), než odpovídá jeho statické pevnosti. Tomuto jevu říkáme **únava materiálu**. Při zkoumání se ukázalo, že nebezpečí lomu z únavy je jen při překročení určité hranice, kterou nazýváme **mez únavy**. Mez únavy zjišťujeme na speciálních zkušebních strojích. Pro střídavé napětí souměrné a nesouměrné stanovíme mez v kombinaci tah - tlak (σ_c), v ohybu (σ_{co}) a v krutu (τ_c). Při napětí pulsujícím a mívivém urč-

jeme mez únavy v tahu, tlaku, ohybu a krutu. Provedení těchto zkoušek, velikost a tvar zkušebních tyčí určuje ČSN 42 03 63. [4]

2.3.2.1 Wöhlerova křivka

Dle ČSN 42 03 63 se používá několika stejných zkušebních tyčí ze zkoušeného materiálu a zatěžují se jedním z uvedených způsobů. První tyč se zatíží, něco málo pod mezí kluzu a po porušení tyče se odečte příslušný počet cyklů změn zatížení. Tím získáme bod 1. Další tyče se zatíží menším napětím, čímž se dosáhne většího počtu cyklů před porušením bod 2. Tak se postupuje i u ostatních tyčí a získají se další body. Tím nám vzniká Wöhlerova křivka, která nám udává závislost mezi napětím a počtem cyklů. [4]



Obr. 11. Konstrukce Wöhlerovy křivky [4]

2.3.2.2 Mez únavy (σ_c), (MPa)

Definujeme ji jako největší napětí, při kterém součást zhotovená z tohoto materiálu vydrží teoreticky neomezený počet cyklů změn zatížení. Únava materiálu souvisí nejen s jeho vlastnostmi, ale i se stavem jeho povrchu (drsnot, vruby, povrchová koroze atd.) snižují mez únavy. Leštění, povrchové tvrzení nebo mechanické zpevnění povrchu naopak mez únavy zvyšují. [4]

2.3.3 Lomy

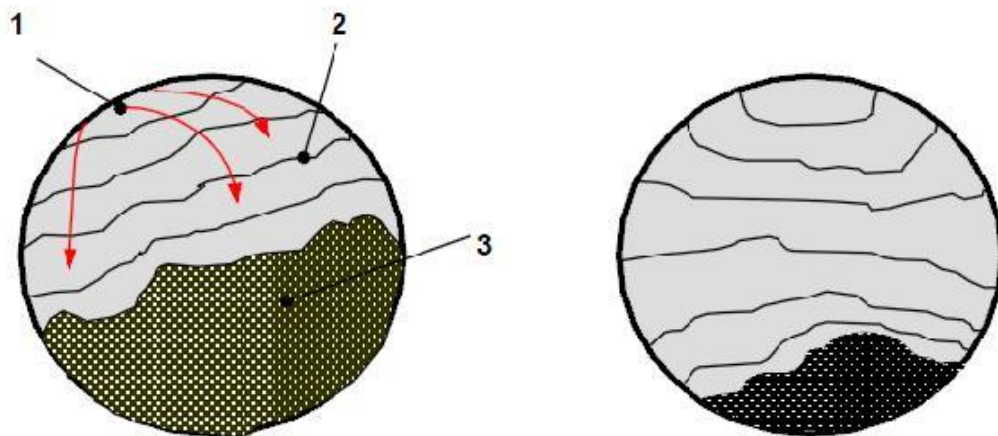
Na základě únavového lomu můžeme zjistit způsob zatěžování, houževnatost, velikost napětí atd.

Příčina únavového lomu:

Příčinou je nehomogenita materiálu. Některé oblasti mají menší pevnost a deformují se natolik, že opakující se namáhání vede ke vzniku mikrotrhlin, které se v dalších cyklech zvětšují, a nastává lom.

Důsledek:

Zpoždění deformace za napětím. Průběh deformace a napětí v závislosti na čase však probíhá podle stejné funkce. Dochází k posuvu fází mezi napětím a deformací = tzv. mechanická hystereze. [2]



Obr. 12. Lomy: vlevo vysoké napětí, vpravo nízké napětí [2]

1 – počátek šíření trhliny, 2 – oblast šíření únavového lomu (lasturovitý vzhled), 3 – statický lom (křehký)

3 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

3.1 Definice kompozitu

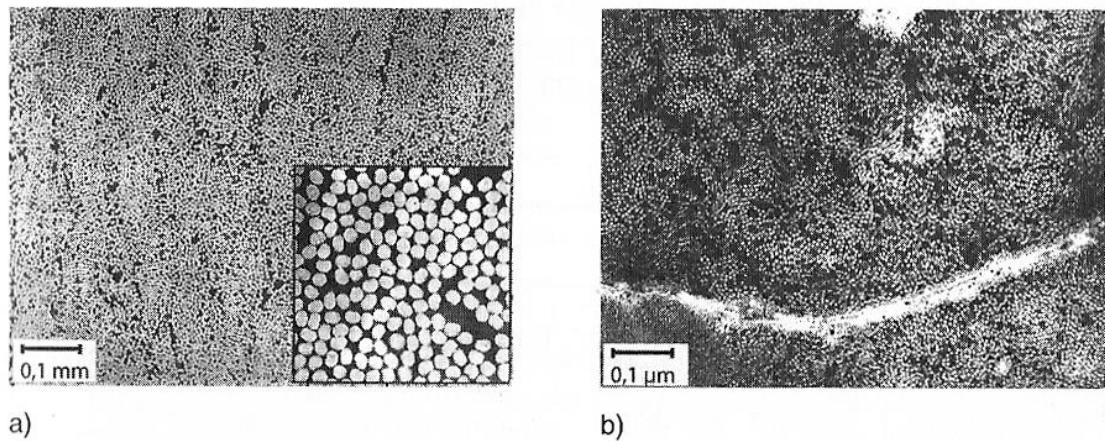
Kompozitní materiál, nebo zkráceně **kompozit** je obecně vzato materiál ze dvou, nebo více substancí s rozdílnými vlastnostmi, které dohromady dávají výslednému výrobku nové vlastnosti, které nemá sama o sobě žádná z jeho součástí.

Obvykle jedna ze součástí dodává výrobku pevnost a druhá slouží jako pojivo.

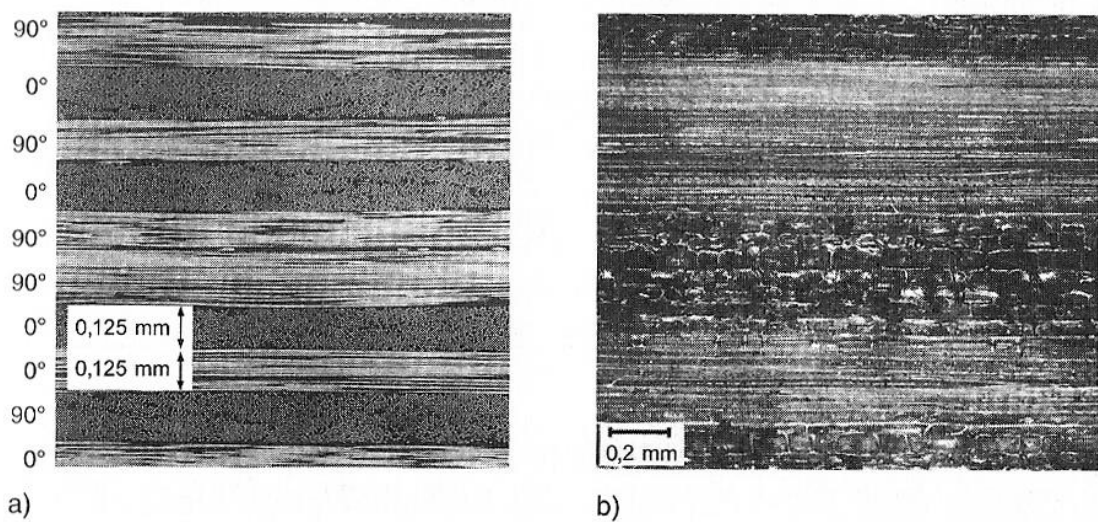
Přednosti kompozitních materiálů tkví zpravidla především v jejich hmotnosti. Oproti tradičním ocelovým součástem mají i při větším objemu stále podstatně nižší hmotnost, což usnadňuje jejich přepravu a rychlou a snadnou montáž a demontáž. Kompozitní materiály se výrazněji nedeformují (jejich mez elasticity odpovídá mezi pevností). Mají velmi vysokou mez únavy a jsou stabilní a spolehlivé. Kompozitní materiály mají výbornou ohnivzdornost v porovnání s lehkými slitinami, nicméně výpary mohou být toxické. Nevýhodou kompozitních materiálů s epoxidovou maticí může být citlivost na ředidla. Jiné běžné chemikálie užívané ve strojích jako vazelína, oleje, rozpouštědla, barvy či ropa kompozity nepoškozují. Kompozity stárnou v závislosti na vlhkosti a teplotě. [1]

3.2 Zvláštnosti vyztužených polymerů

Je běžné, že příroda využívá synergických účinku různorodých materiálů pro dosažení lepších vlastností a vytváří materiály připomínající materiály kompozitní. Například rez buňkou vlny merino a příčný výbrus epoxidové pryskyřice jednosměrně vyztužené uhlíkovými vlákny mají podobnou strukturu, lišící se ovšem rozměrem (obr 13). Obdobně lze porovnávat vrstvenou strukturu epoxidové pryskyřice vyztužené uhlíkovými vlákny se strukturou bambusového stonku (obr 14). Příklady z přírody nacházíme nejen u mikrostruktury, ale i při aplikaci principů lehčených konstrukcí. [1]



Obr. 13. Řez kompozitem z epoxidové pryskyřice jednosměrně vyztužené uhlíkovými vlákny (a) a buňkou vlny merino (b) [1]



Obr. 14. Řez laminátem z epoxidové pryskyřice a uhlíkových vláken (a) a bambusovým stonkem (b) [1]

3.3 Obecná charakteristika kompozitů

Plasty vyztužené vlákny obsahují konečná nebo nekonečná 3,5 až 24 μm silná vyztužující vlákna ze skla, uhlíku nebo aramidu a maticí z termosetu nebo termoplastu. Jednotlivé složky jsou vybírány individuálně.

U vyztužených plastů se v mnoha případech požaduje cílené vyztužení ve směru namáhání, takže výsledkem je – na rozdíl od kovu nebo nevyztužených plastů – anizotropní materiál, tj. materiál vykazující v různých směrech rozdílné vlastnosti.

Mechanické vlastnosti jednotlivých vrstev se mohou výrazně lišit, zejména v závislosti na druhu, orientaci, obsahu a tloušťce vláken výztuže. Protože složení a pořadí jednotlivých vrstev je libovolné volitelné, je možné v projekční fázi předem zvolit vhodné složení, a tím i vlastnosti laminátu. Výhodou tohoto postupu je, že se vlastnosti takového laminátu mohou relativně dobře zkoušet.

Pevnost a tuhost kompozitního materiálu závisí v rozhodující míře na pevnosti a tuhosti vláken. Vlákná a jejich orientace výrazným způsobem ovlivňují také další mechanické vlastnosti kompozitu. V důsledku velmi odlišných mechanických vlastností vláken a matrice vznikají ve struktuře kompozitu místní složité stavy napjatosti. Jejich analýzou se zabývá mikromechanika.

Vstříkované plasty vyztužené krátkými vlákny se často radí mezi vyztužené plasty, protože technologie zpracování, která je obdobná jako u nevyztužených plastů, pouze omezené ovlivňuje požadovanou anizotropii. Avšak 90 % všech vyztužených plastů se skládá ze směsi dlouhých skleněných vláken a polyesterových nebo vinylesterových pryskyřic. Z aplikačního hlediska je většina vyztužených plastů uspořádána vrstevnatě a je nazývána lamináty. Tento materiál má radu výhod, ale i nevýhod, které ovlivňují jeho uplatnění na trhu.

Lamináty se skládají z vrstevnatě uložených plochých vrstev výztuže a pojiva, které je vzájemně spojuje. Tyto spojovací mezivrstvy jsou posuzovány jako nekonečně tenké a odolné proti smyku, tj. schopné přenést zcela deformace jednotlivých vrstev na vrstvu sousední. Tím je namáhání v rovině laminátu zaručena stejná deformace všech vrstev. Laminát se tak chová jako vrstva určitého kompozitu. [1]

3.3.1 Výhody laminátu:

- velká pružnost při deformaci,
- vysoká pevnost a tuhost, kterou lze přizpůsobit směru a druhu zatížení, zejména při zatížení v tahu ve směru vláken, při nízké hmotnosti kompozitu,
- značná přizpůsobivost každému tvaru,

- značná odolnost vůči dynamickému namáhání při vysokém mechanickém tlumení,
- nízký součinitel teplotní délkové roztažnosti,
- vysoká odolnost proti stárnutí a korozi,
- mnoho možností kombinace matrice a vláken, umožňujících složení materiálu tzv. „na míru“,
- dobrá surovinová základna,
- menší požadavky na investice při malém počtu výrobku (i velkoplošných),
- možnost opravy při použití termosetické matrice. [1]

3.3.2 Nevýhody laminátu:

- množství variant materiálového složení, neexistuje standardní kompozit,
- neobvyklé chování materiálu (vlastnosti kompozitu nelze jednoduše odvodit součtem vlastností jeho složek),
- specifické vlastnosti materiálu a způsoby zpracování,
- obtížné nedestruktivní zkoušení materiálu,
- nízká mez pevnosti v tahu ve směru kolmo ke směru uložení vláken (tvorba trhlin, oslabení spojení vlákna a matrice),
- možné katastrofální následky při havárii,
- vysoké náklady při dimenzování náročných konstrukcí,
- nízká odolnost proti působení vlhkosti za tepla,
- místní poškození, například rázem, se obtížně poznávají a hůře opravují než např. u hliníkových konstrukcí. [1]

3.3.3 Podle oblastí použití lze vyztužené plasty rozdělit do tří skupin:

- spotřební zboží – charakteristickým znakem je použití rohoží jako výztuže a vysoká kvalitativní povrchové úpravy
- průmyslové aplikace – základem je použití pryskyřic se zvláštními užitnými vlastnostmi, vyztužených převážně skleněnými vlákny

- výrobky pro speciální aplikace (letectví a kosmonautika, vojenské účely a sport) – používají pryskyřice s vynikajícími vlastnostmi (nejčastěji epoxidové) a uhlíková nebo aramidová vlákna. [1]

3.4 Zvláštnosti polymerních kompozitů jako konstrukčních materiálů

Jednosměrně vyztužené kompozity mohou být zatěžovány různým způsobem. Podle toho, zda zatížení působí ve směru uložení vláken, kolmo na ně nebo v jiném libovolném směru, dochází k rozdílnému uplatnění výztuže. Pouze v 50% možných směrů zatížení je matrice (plast) přídavkem vysoce pevných, jednosměrně uložených vláken skutečně vyztužena. V dalších 50 % případech dochází dokonce ke snížení pevnosti. Je-li stejné množství vláken uloženo rovnoměrně ve všech směrech tak, že vlastnosti hotového laminátu jsou ve všech směrech stejné, dochází vždy ke značnému vyztužení. Stejného účinku však může být dosaženo použitím jedné čtvrtiny vláken, která jsou však uložena ve směru namáhání. V tom spočívá hlavní výhoda cíleného uspořádání vláken. Je proto nutné uložit do laminátu dostatečné množství vrstev vláken v těch směrech, kde působí největší zatížení.

U konstrukčních dílů vyrobených z nepravidelně orientovaných vláken (lamináty z rohoží) je možno měnit mechanické vlastnosti pouze změnou obsahu vláken v jednotlivých vrstvách. Při projektování jsou takto vyráběné díly posuzovány jako by byly zhotoveny z izotropního materiálu. Naproti tomu u vysoce namáhaných konstrukčních prvků je nutno přihlídnout k typu použité matrice a vláken, jejich obsahu a orientaci, stejně jako k pořadí uložení jednotlivých vrstev. Takto lze výhodně projektovat tenkostěnné konstrukce při jejich dvouosém namáhání (tzv. membránový stav napjatosti), u kterých vždy část v rovině kvazichaoticky uložených vláken leží rovnoběžně se směrem namáhání v tahu.

Konstrukční díly z vysokopevnostních kompozitů jsou za běžných podmínek pro většinu aplikací přiměřeně spolehlivé. Teoreticky stanovené hodnoty mechanických vlastností materiálu výrobku by měly být ověřeny experimentálními zkouškami, příp. by mělo být přezkoušeno, zda jsou hodnoty materiálových charakteristik výrobku odpovídající.

Ověření materiálových charakteristik musí být provedeno na dostatečně velkém počtu vzorků, umožňujícím náležité statické vyhodnocení výsledků, zejména s ohledem na kolísání hodnot vlastností. Zkoušky musí odpovídat skutečnému namáhání v konstrukčním

prvku (materiálové zkoušky sloužící ke zjištění vlastností jsou téměř výhradně prováděny při jednoosém namáhání, konstrukční prvky jsou však většinou namáhány víceose).

Dále je nutno při výpočtu hodnot pevnosti a tuhosti přihlížet k tepelným vlivům, zejména pokud se teplota během pracovních podmínek výrazně mění.

Konstrukční prvky musí být navrženy tak, aby zejména při dynamickém namáhání nedošlo v místech s vyšší koncentrací namáhání a napětí k nebezpečnému poškození a následnému lomu.

Při výrobě musí být zajištěno, aby měl prvek v každém místě požadované vlastnosti a výrobní postup probíhal za kontrolovaných podmínek. To předpokládá mimo jiné i odborně vysoce kvalifikovaný výrobní personál.

Velký význam má kvalita vazby mezi vlákny a matricí. Protože je k dispozici téměř nekonečně mnoho mezních ploch, které vykazují většinou menší pevnost než každá složka samostatně, jsou tyto styčné plochy předpokládanými místy vzniku a porušení. Při jejich obrovském množství se tak na malém prostoru přemění velké množství energie. Vyztužené plasty jsou proto velmi vhodné pro aplikace, které musí vydržet nárazy (např. neprůstřelné vesty z aramidových vláken). Jinak vyztužené plasty nedosahují houževnatosti kovů.

Přednosti vysokopevnostních kompozitů v porovnání s kovovými materiály:

- vysoká pevnost a tuhost při současné nízké měrné hmotnosti
- velmi dobrá odolnost proti korozi
- lepší dynamické vlastnosti
- dobré tlumící vlastnosti
- vysoká tvarová stálost
- možnost vyrábět složité díly jednorázově nebo je skládat z celkově menšího počtu dílů [1]

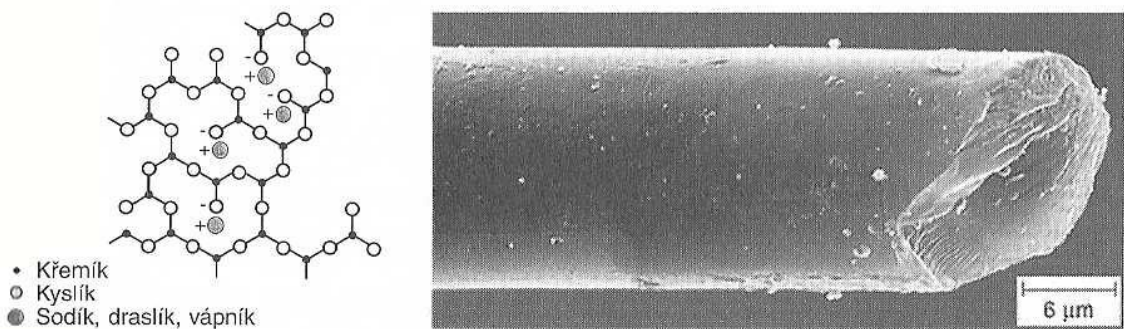
3.5 Vyztužující vlákna

Materiály ve formě vláken se cíleně jako konstrukční prvky používají zřídka. Zajímavou skupinou materiálu se stávají teprve v kompaktní formě, jako je tomu v kompozitních materiálech. Kompozitní - vlákny vyztužené - plasty se skládají jednak z vláken s vysokou měrnou pevností, příp. tuhostí, jednak z rozmanitě přizpůsobivého úložného materiálu - matrice. [1]

3.5.1 Skleněná vlákna

Textilní skleněná vlákna (GF - Glass Fiber) je společný název pro tenká vlákna (\varnothing 3,5 až 24 mm) s pravidelným kruhovým průřezem, tažená z roztavené skloviny a používaná pro textilní účely.

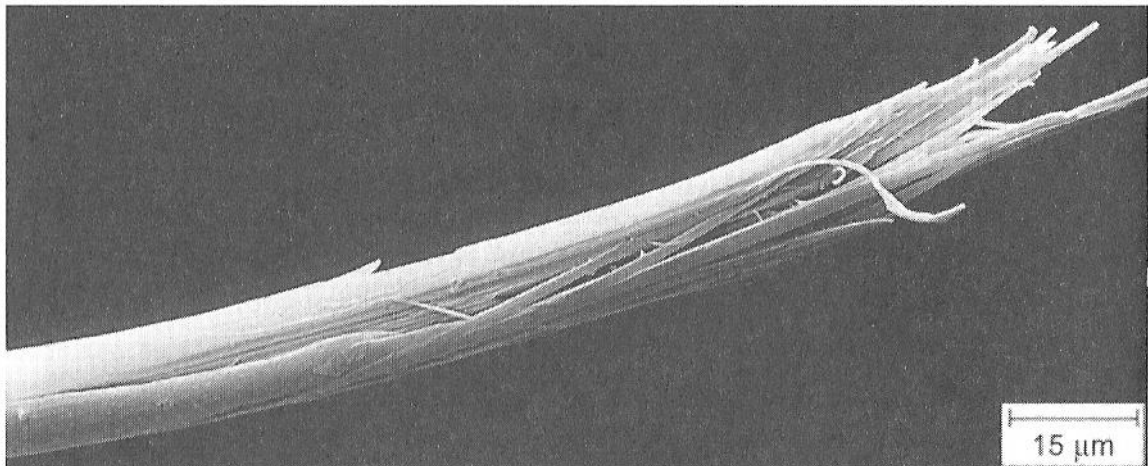
Skleněná vlákna z bezalkalické skloviny jsou vynikajícím elektrickým izolantem s vysokou prostupností pro záření, proto se označují jako E-vlákna (elektrická) a jejich sklovina jako E-sklovina. Je to nejčastěji používaný druh skloviny pro výrobu vláken, který postupně jako standardní typ obsadil téměř 90 % trhu. [1]



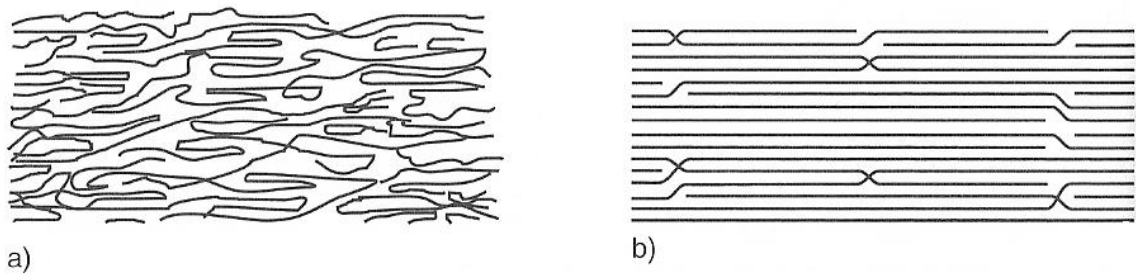
Obr. 15. Struktura skleněného vlákna (snímek pořízen rastrovacím elektronovým mikroskopem) [1]

3.5.2 Aramidová vlákna

Aramidová vlákna (AF - Aramid Fiber) jsou vlákna na bázi lineárních organických polymeru, jejichž kovalentní vazby jsou orientovány podle osy vlákna; předností těchto vláken je vysoká pevnost a tuhost.



Obr. 16. Řez aramidovým vláknem se silným roztřepením v místě lomu (snímek pořízen rastrovacím elektronovým mikroskopem) [1]



Obr. 17. Orientace řetězců [1]

a) normální organická vlákna s řetězci se záhyby a kolísáním jejich orientace (krystalické a amorfní oblasti)

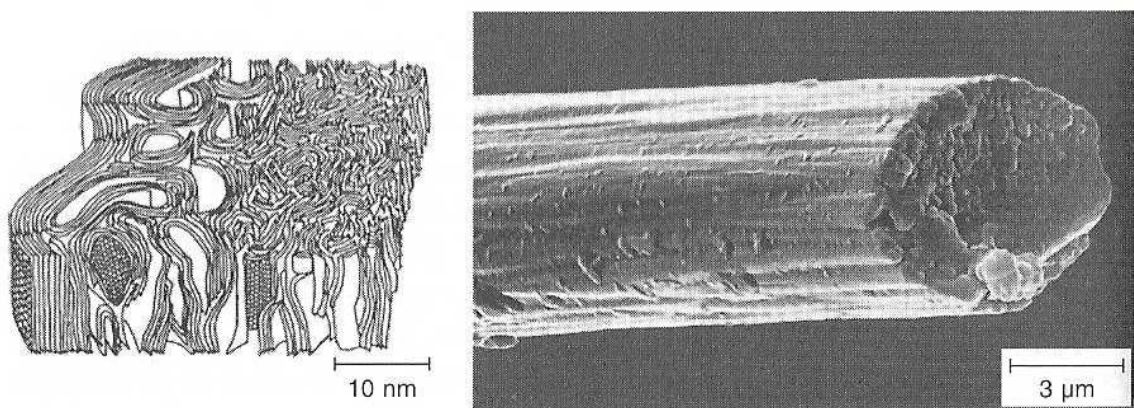
b) aramidové vlákno s dlouhými přímými úseky bez záhybu, orientovanými podél osy vlákna (struktura vysoce krystalická)

Aramidová vlákna se mohou zpracovávat se všemi běžnými reaktivními pryskyřicemi i termoplasty. V laminátu lze využít až 70 % jejich skutečné pevnosti, při zvláště těžné matrici dokonce ještě více.

Aramidová vlákna mají vzhledem k vysoké orientaci molekul záporný součinitel teplotní délkové tepelné roztažnosti ve směru vláken, podobné jako vlákna uhlíková. Aramidová vlákna jsou citlivá na působení vody. [1]

3.5.3 Uhlíková vlákna

Uhlíková vlákna (CF - Carbon Fiber) jsou technická vlákna s extrémně vysokou pevností a tuhostí, ale s nízkou tažností. Výchozí organické suroviny ve vláknitém tvaru jsou nejprve karbonizovány. Přitom se odštěpí téměř všechny prvky až na uhlík. Se stoupající teplotou, a tím se zvyšující grafítizací, zlepšují se mechanické vlastnosti. Při teplotě nad 1 800 °C je tvorba grafitové struktury ukončena, i když vzdálenost vrstev ve vláknech zůstává vždy větší než u vrstev v čistém grafitu.



Obr. 18. Uhlíkové vlákno - mikrostruktura a snímek rastrovacím elektronovým mikroskopem [1]

Výchozí surovinou pro výrobu uhlíkových vláken jsou tři materiály:

- celulóza - vyrobená vlákna však mají méně dokonalou strukturu, používají se převážně jako izolační materiál pro vysoké teploty;
- polyakrylonitril (PAN) - používá se od r. 1980 stále častěji, vlákna z něj vyrobená jsou považována za standardní vlákna;
- smola, ze které se nákladným způsobem připravují vlákna, jejichž konečná cena je vzhledem k nízké ceně výchozí suroviny příznivá. Tato vlákna mají velmi vysokou hodnotu E- modulu a velice dobré tepelné a elektrické vlastnosti. Jejich pevnost v tlaku je ve srovnání se standardními vlákny podstatně nižší, protože vazby mezi jednotlivými grafitovými rovinami jsou řidší. Na trhu mají pouze malý podíl. Uhlíková vlákna se skládají z více než 90 % z uhlíku, < 7 % dusíku, < 1 % kyslíku a < 0,3 % vodíku. Mají průměr mezi 5 a 10 mm. [1]

3.5.4 Přírodní vlákna

Pro vyztužování plastu jsou ze všech přírodních vláken vhodná pouze vlákna rostlinná, která mají jako základ celulózu. Mezi ně patří len, konopí, sisal, juta, ramie a bavlna. Jejich výhodou je odolnost proti stárnutí a cíchová nezávadnost při měnících se klimatických podmínkách. Pozoruhodné jsou i pevnosti v tahu. Vzhledem k nízké měrné hmotnosti jsou tato přírodní rostlinná vlákna zajímavou surovinou pro lehké konstrukce.

Jako přednosti je nutno uvést:

- nízkou hustotu,
- malou abrazivitu při mechanickém opracování,
- výhodnou likvidaci spalováním.

Problémy působí:

- závislost vlastností vláken na podmínkách jejich růstu,
- citlivost na působení vlhkosti,
- omezená možnost volby matrice vzhledem k nebezpečí rozkladu vláken při vysoké teplotě zpracování (odolnost do 200 °C),
- nákladná předběžná úprava pro zlepšení vazby s matricí,
- omezená délka vláken,
- možnost změn vyvolaných biologickým napadením.

Mezi nejrozšířenější druhy přírodních vláken patří len (světová spotřeba 650 000 tun/rok) a juta (2 700 000 tun/rok). Vlastnosti vhodných přírodních a skleněných vláken jsou porovnány v Tab. 4. [1]

Tab. 4 Porovnání mechanických vlastností přírodních a skleněných vláken

Vlastnosti	Vlákno	Sklo	Konopí	Len	Juta	Sisal
E-modul (N.mm ⁻²)		75000	70000	30000	55000	20000
Mez pevnosti v tahu (N.mm ⁻²)		3500	600	750	550	600
Tažnost (%)		4	1,6	2	2	2
Hustota (g.cm ⁻³)		2,54	1,45	1,48	1,4	1,45

3.6 Matrice – pojivo

3.6.1 Úloha matrice a její druhy

Pod pojmem matrice se rozumí materiál, kterým je prosycen systém vláken a partikulárních komponent tak, že po zpracování vznikne tvarové stálý výrobek. Vzniklá surovina se označuje jako kompozit.

Úkolem matrice je zaručení geometrického tvaru, zavedení a přenos sil, ochrana vláken, tj.:

- přenos namáhání na vlákna,
- převedení namáhání z vlákna na vlákno,
- zajištění geometrické polohy vláken a tvarové stálosti výrobku,
- ochrana vlákna před vlivy okolí.

Zásadním hlediskem pro kvalitu kompozitu je zajištění adheze na fázovém rozhraní matrice-vlákno. Pro dosažení lepší fyzikální a příp. i chemické vazby mezi vláknem a maticí se nanese na vlákno apretace vhodná pro určitý druh matrice. Matrice musí mít vhodnou viskozitu a povrchové napětí, aby vlákno smočila úplně a bez bublin.

U polymerních kompozitů se matrice dělí na termosety (reaktoplasty) a termoplasty, ale původně se pro kompozity používaly pouze vyztužené nenasycené polyesterové (UP-R) nebo epoxidové (EP-R) pryskyřice. Tyto reaktivní pryskyřice tvoří i dnes většinu kompozitních aplikací. Mají tu přednost, že jsou ve výchozím stavu nízkomolekulární a většinou při normální teplotě v tekutém stavu. I v případě, že jsou zpracovávány ve formě taveniny, je jejich viskozita nižší než viskozita taveniny termoplastu. Viskozita reaktivních licích pryskyřic se pohybuje při teplotě zpracování radově ve stovkách mPa. s, zatímco u termoplastu dosahuje hodnot 103 až 105 mPa. s.

Proto se termosety snadněji zpracovávají, snadněji smáčejí a lépe prosycují vlákna.

[1]

3.6.2 Termoplastické lisovací hmoty

Jsou vyztužené krátkými vlákny o délce kolem 0,2 mm, vhodné pro sériovou výrobu vstřikováním, jsou dnes běžně používány a jejich podíl na trhu je daleko vyšší než podíl termosetu. Polypropylen, polyamid, polyester, polykarbonát a mnoho dalších termoplastu,

vyztužených 50 a více procenty skleněných nebo uhlíkových vláken, patří mezi materiály pro velmi namáhané aplikace. Menší, ale stále rostoucí skupinu tvoří termoplasty vyztužené rohoží nebo tkaninou, které se zpracovávají na velkoplošné dílce lisováním. Plasty vyztužené skleněnými vlákny dosahují - v závislosti na použitých složkách - hodnot mechanických vlastností ve velmi širokém rozsahu. [1]

3.6.3 Reaktivní pryskyřice

Reaktivní pryskyřice tvoří skupinu termosetu nejčastěji používanou při výrobě kompozitu. Jsou to kapalné nebo tavitelné pryskyřice, které se buď samostatně, nebo za pomoci jiných složek - tvrdidel, tj. iniciátoru, katalyzátoru, urychlovačů, aldehydu (fenolu) apod. - vytvrzují polyadici nebo polymeraci bez odštěpení tekavých složek (ČSN 64 2001). Reaktivní pryskyřice nazýváme také licí, laminační, impregnační, prosakovací nebo zalévací (elektro) pryskyřice.

Mezi nejdůležitější typy reaktivních pryskyřic patří:

- Nenasycené polyesterové pryskyřice (UP-R)
- Vinylesterové (VE-R) nebo fenakrylátové (PFA-R) pryskyřice
- Epoxidové pryskyřice (EP-R)
- Fenolické pryskyřice
- Metakrylátové pryskyřice (MA-R)
- Izokyanátové pryskyřice

Reaktivní pryskyřice se vytvrzují smícháním s tvrdidly. Mezi nejdůležitější tvrdidla patří iniciátory a urychlovače, ale také aldehydy (fenol).

Tvrdidla jsou sloučeniny, které iniciují katalyticky polymerizaci pryskyřic MA-R, UP-R, VE-R nebo FA-R, příp. ovlivňují vytvrzování v průběhu polyadice epoxidových (EP-R) nebo izokyanátových pryskyřic.

Urychlovače jsou látky, které přidány v malém množství urychlují síťovací reakci.

Směsi reaktivních pryskyřic s potřebnými tvrdidly (katalyzátor, urychlovač apod.) s plnivými nebo bez plniv, příp. obsahující rozpouštědlo, ale neobsahující vyztužující vlákna, jsou lisovací směsi. [1]

3.6.4 Termoplasty

Pro vyztužení termoplastu jsou používána:

- krátká vlákna ($\gg 0,2$ mm) - především pro vyztužení a zesílení matrice při vstřikování,
- dlouhá vlákna (až do 25 mm) - většinou se dávkuje z plastifikačního extruderu přímo do lisovací formy,
- nekonečně dlouhá vlákna - např. u termoplastu vyztužených skleněnou rohoží (GMT), tkaninou nebo jednosměrnými pásy se používají na polotovary pro další zpracování.

Termoplasty se liší od termosetu zpracovatelskými i uživatelskými vlastnostmi, avšak vzhledem k velkému počtu různých materiálů jako matrice je jejich všeobecné porovnání velmi obtížné.

Reaktivní pryskyřice (termosety) jsou v počátečním stavu nízkomolekulární, a proto za normální teploty nízkoviskózní, takže dobře smáčejí a prosycují vlákna výztuže. Musí se nejprve chemicky vytvrdit, aby dosáhly své konečné konzistence.

Termoplasty jsou za normální teploty pevné látky a teprve po zahřátí na teplotu většinou nad 200 °C jsou dostatečně tekuté. Použití rozpouštědel pro snížení viskozity termoplastu je problematické, protože i po odstranění rozpouštědla zůstává u termoplastu snížená odolnost proti korozi při napětí.

Zatímco se vyztužené termoplasty mohou zpracovávat a tvarovat pouze po zahřátí nad teplotu roztavení, převládá u reaktivních pryskyřic proces chemického vytvrzování, spojený s vývojem reakčního tepla. Vlastnosti matrice musí vyhovovat kritériím tvarovatelnosti a chemického vytvrzování.

Protože se zpracování reaktivních pryskyřic i termoplastu lisostřikem provádí obvykle při zvýšené teplotě, je nutné ukončit oba procesy chlazením. [1]

3.6.5 Spojení vlákno – matrice

Optimálních vlastností kompozitu lze dosáhnout jen tehdy, podaří-li se převést všechny působící síly na vlákna. Základním předpokladem je proto dobré spojení mezi vláknem a matricí. Protože většina plastů se svým chemickým složením liší od složení vy-

ztužujících vláken, je nutno použít látek, které zvyšují pevnost spojení těchto dvou složek. Toho se dosáhne odpovídající předúpravou výztuže apreturou.

Apretura a další funkční materiály představují vrstvu mezi povrchem vlákna a matricí, proto často hovoříme a mezní vrstvě nebo mezi fází. Zdánlivě je tvořeno spojení mezi povrchem vlákna a matricí apreturou pomocí dvojstranné chemické vazby, ve skutečnosti o tom lze pochybovat, protože např. působením vody dochází ke změknutí spojení. [1]

Textilní skleněná vlákna

Ve spojení s vlákny se u všech plastu uplatňují vedlejší kovalentní vazby. Proto je pevnost vzájemného spojení slabá. K jeho zlepšení se u kompozitu s reaktivní matricí používají povrchové úpravy vláken na bázi organosilanu, které se vyznačují dobrou adhezí jak k vláknům, tak i k matrici.

γ -aminosilan, který se používá často jako apretura pro epoxidové pryskyřice, obsahuje koncové aminoskupiny, které snadno reagují s epoxidovými skupinami a působí jako přídavné tvrdidlo. [1]

Uhlíková vlákna

Povrch uhlíkových vláken obsahuje radu reaktivních skupin, které umožňují spojení matrice s vlákny. Výztuže určené pro aplikaci s epoxidovými pryskyřicemi jsou povrchové upraveny lubrikací obsahující epoxidy, která současně usnadňuje přípravu textilního výrobku. Nové jsou vyvíjeny lubrikace určené pro vinylesterové a fenolické pryskyřice. Pro vyztužování termoplastu jsou používány polyuretanové lubrikace.

Adhezi zlepšuje také oxidace. Vyšší povrchové napětí uhlíkových vláken zlepšuje adhezi zejména vlivem oxidace zvýšeného polárního podílu. Často používaný tzv. finiš pro epoxidovou pryskyřici je založen na oxidaci povrchu vláken a následné úpravě kyselými skupinami. [1]

Přírodní vlákna

Pro úpravu povrchu přírodních vláken, která se často používají pro vyztužení polypropylenu, se používá polypropylen modifikovaný anhydridem kyseliny maleinové (MSA). Ke zlepšení adheze lze použít také úpravu plazmou. [1]

3.7 Vlákna v kompozitu

Podmínky vyztužujícího účinku:

Vyztužením se rozumí zvýšení pevnosti a tuhosti, které vznikne uložení výztuže do základního materiálu (matrice), přičemž musí být splněny tyto podmínky:

- vyztužující vlákna musí být pevnější než matrice:

$$\sigma_{fP} > \sigma_{mP}$$

- vyztužující materiál musí mít vyšší tuhost než matrice:

$$E_f > E_m$$

- matrice se nesmí porušit dříve než vlákno:

$$\varepsilon_{mP} > \varepsilon_{fP}$$

kde je E_m , příp. E_f - modul pružnosti matrice, příp. vlákna, v tahu,

ε_{mP} , příp. ε_{fP} - mezní prodloužení (tažnost) matrice, příp. vlákna,

σ_{mP} , příp. σ_{fP} - pevnost matrice, příp. vlákna. [1]

3.8 Zpracování polotovarů

Vyztužené plasty se skládají z vláken jako vyztužujícího materiálu a z pryskyřic, příp. z termoplastu, jako pojiva neboli matrice.

Jednotlivá vlákna nebo příze se zpracovávají na pramence, tkaniny a rohože.

Plošné hmotnosti - gramáže tkanin jsou:

- pro skleněná vlákna 25 až 900 g. m⁻² (u rohoží 225 až 450 g. m⁻²),

- pro uhlíková vlákna 90 až 800 g. m⁻²,

- pro aramidová vlákna 60 až 460 g. m⁻².

Reaktivní pryskyřice jsou složeny z nízkomolekulárních až oligomerních podílů, které se chemickou reakcí spojují na pevnou hmotu. To je podstatnou předností při smáčení a prosycování výztuže, která se většinou používá ve formě plochých polotovarů.

Termoplasty jsou zcela polymerované makromolekulární látky, které se působením teploty roztaví, ve formě taveniny smáčí a prosytí výztuž a po ochladnutí ztuhnou jako polotovar. Jejich viskozita je všeobecně mnohonásobně vyšší než viskozita reaktivních pryskyřic ve výchozím stavu. Aby nedošlo k poškození hotových výrobků, používají se pro jejich snadnější vyjímání z formy separátory. [1]

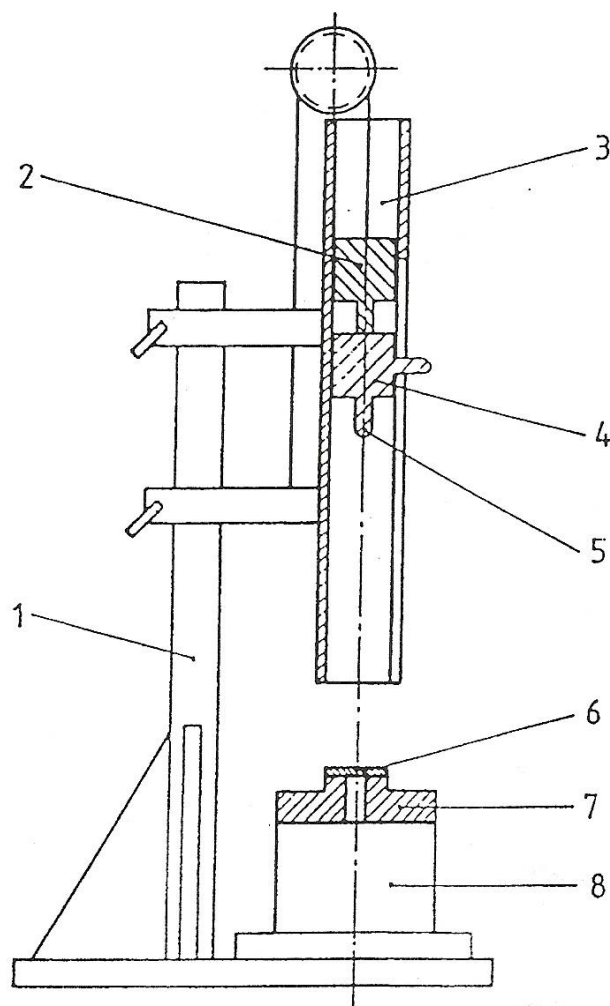
II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 PODSTATA ZKOUŠKY

Rázová houževnatost jako odolnost zkušební tělesa vhodných rozměrů proti porušení, se stanoví nárazem tlouku, který padá volným pádem ze známé výšky.

Povolují se dva způsoby nastavení energie při rázu: změnou hmotnosti tlouku při konstantní výšce pádu (přednostní metoda), nebo změnou výšky pádu při konstantní hmotnosti tlouku.

Jsou také dané dvě metody hodnocení zkoušky: stupňovitá (přednostní) a statická. [5]



Obr. 19. Zkušební zařízení [5]

1. Držák pro systém padajícího tlouku
2. Zařízení pro držení a uvolňování tlouku

3. Vodící lišta pro padající tlouk
4. Tlouk o známé hmotnosti
5. Polokruhová nárazová plocha tlouku
6. Zkušební těleso
7. Podpěra pro zkušební těleso
8. Vhodná tuhá základna podpěry zkušebního tělesa

5 POSTUP ZKOUŠKY

5.1 Prostředí zkoušky

Zkouška se provádí v jednom z typů standardního prostředí podle ISO 291. [5]

5.2 Všeobecné pokyny

Změří se a zaznamená průměrná tloušťka zkušebních těles uvnitř dopadové plochy s přesností na 0,02 mm.

Zkušební těleso se umístí na podpěru a podle potřeby se upevní do upínacího zařízení.

K tlouku se pevně připevní potřebná závaží. Systém tlouku se nastaví do polohy ve výšce mezi 0,3 m a 2,0 m podle metody a uvolní se.

Pokud se tlouk od povrchu zkušebního tělesa odrazí, je nutno ho po jeho odražení zachytit, aby se zabránilo jak dalšímu rázu na povrchu zkušebního tělesa, tak poškození polokulové nárazové plochy tlouku následkem nárazu na kovové části zkušebního zařízení.

Na zkušebním tělese se zjistí, zda došlo k jeho porušení ve smyslu definic. [5]

5.3 Metoda A: Stupňovitá metoda

Při tomto postupu se během zkoušky pracuje se stálou velikostí přírůstku energie. Po každém rázu na zkušební těleso se energie změní. Změnu energie během zkoušky je možno realizovat změnou hmotnosti padajícího tlouku při konstantní výšce pádu při konstantní hmotnosti tlouku.

Při proměnné hmotnosti padajícího tlouku se přednostně volí výška 1 m. Je-li používána proměnná výška pádu, musí být v rozmezí 0,3 m až 2,0 m, přednostně však kolem 1,0 m.

Pro odhad energie, při které dojde k porušení 50 % zkušebních těles, E50 se použije 10 zkušebních těles. [5]

5.4 Metoda B: Statická metoda

Touto metodou se zkouší pořadové skupiny nejméně 10 zkušebních těles. Pro každou skupinu se použije jedna hodnota energie, která se pro každou skupinu stanoví odlišně o určitý přírůstek. Změnou energie je možno realizovat změnou hmotnosti padajícího tlouku při konstantní výšce pádu nebo změnou výšky pádu při konstantní hmotnosti tlouku.

Ve zkoušení se pokračuje do té doby, až je dosaženo alespoň pěti výsledků s následujícími procenty porušení: jeden výsledek s 0 % porušení, jeden výsledek se 100 % porušení a alespoň tři výsledky mezi 0 % a 100 % porušení. Tyto výsledky v rozmezí 0 % a 100 % porušení nesmí být všechny nižší nebo všechny vyšší než 50 %.

Velikosti přírůstků hmotnosti (nebo výšky) se volí tak, aby se mezi limitami „0 %“ a „100 %“ podle předběžné zkoušky získaly alespoň tři body, přičemž v každém z těchto bodů je zkoušeno nejméně 10 zkušebních těles.

Zaznamená se hmotnost (nebo výška) tlouku a procento porušení v každém bodě. [5]

6 DOPLNĚNÍ A NAHRAZENÍ STÁVAJÍCÍCH ČÁSTÍ

Některé části zařízení jsou již vyrobeny ve škole, ale nepodléhají normě ČSN EN ISO 6603-1 proto je potřeba navrhnout takové, které budou odpovídat normě.

Samotný tlouk je jako půlkruh s velkým poloměrem, proto jsem navrhl tlouk, který se shoduje s normou, i tyč bude prodloužena pro případné umístění více závaží najednou. Dále je navržen držák podpěr a dvě varianty podpěr.

Zůstávají jen závaží a podložka, která je pevně přichycena k podlaze a na kterou se umístí nově navržený držák podpěr pro zkušební těleso.

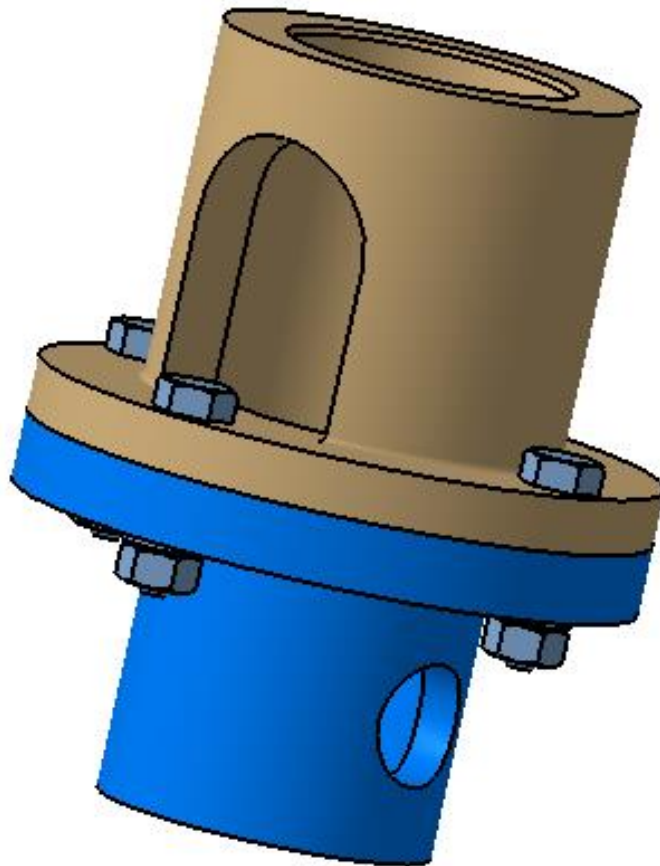


Obr. 20. Stávající díly zařízení

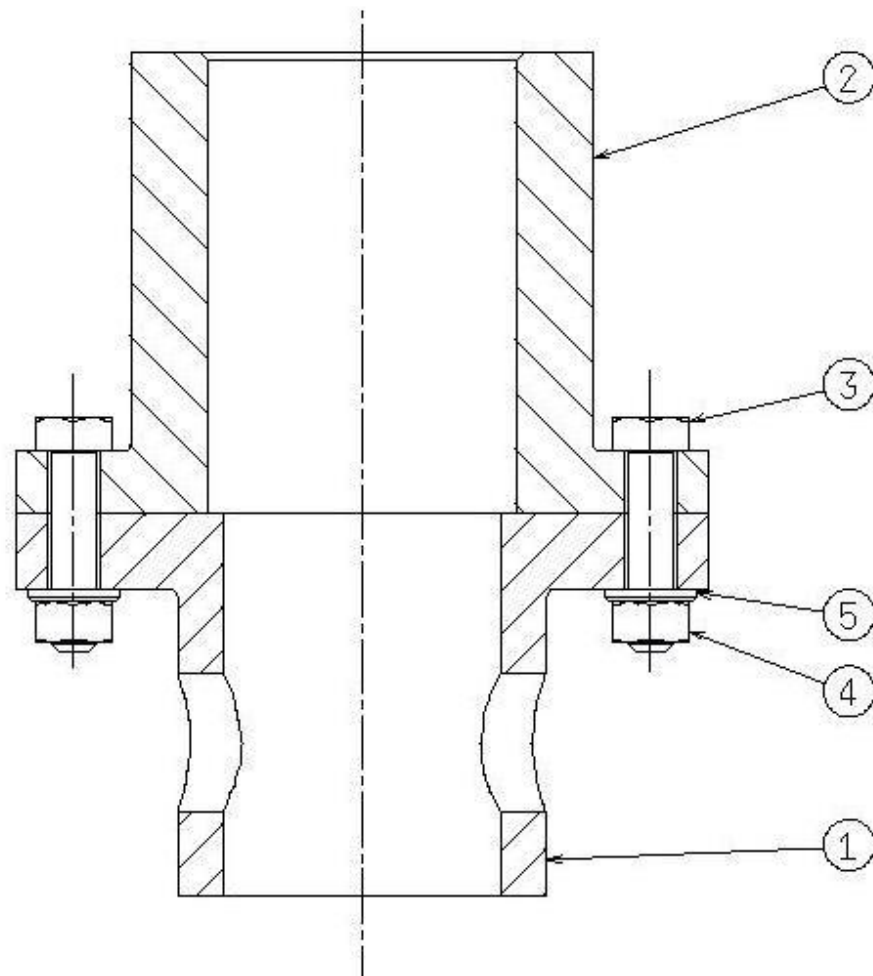
7 NÁVRH DÍLŮ PADAJÍCÍHO TLOUKU

Při konstrukci byly navrženy dvě varianty podstav pro metodu padajícího tlouku. Jedná se o rozdílné uchycení zkušebního tělesa a možnosti posuzování výsledků. Navržen byl i samotný tlouk s tyčí pro umístění různého počtu závaží.

7.1 Podstava 1



Obr. 21. Sestava podstavy 1



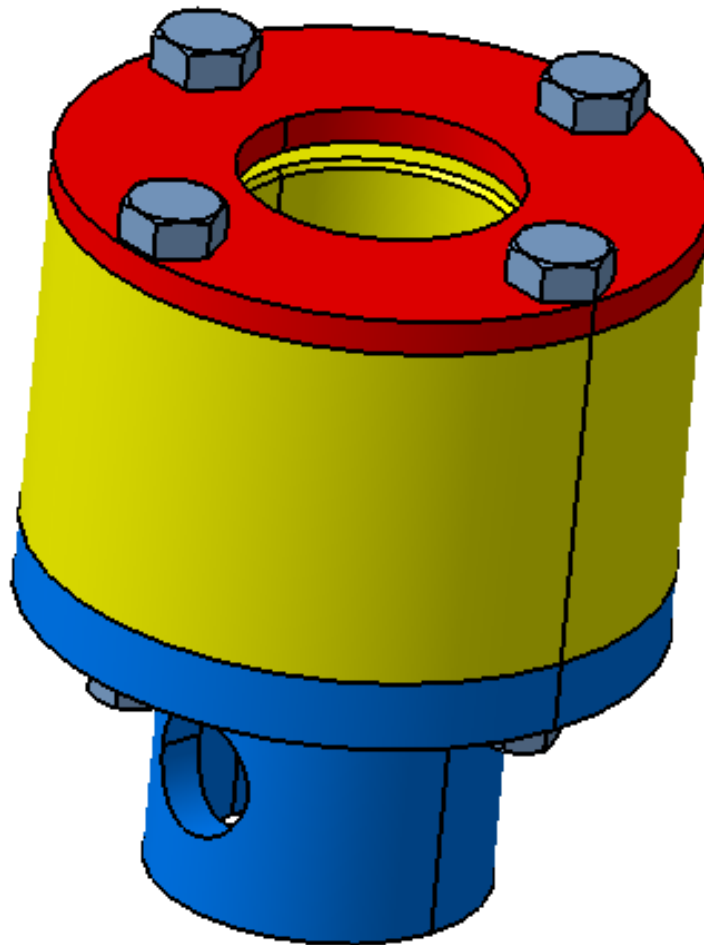
Obr. 22. Řez sestavy podstavy 1

1. Držák
2. Podpěra
3. Šroub šestihranný M6x25
4. Matice šestihranná M6
5. Podložka plochá 6x12

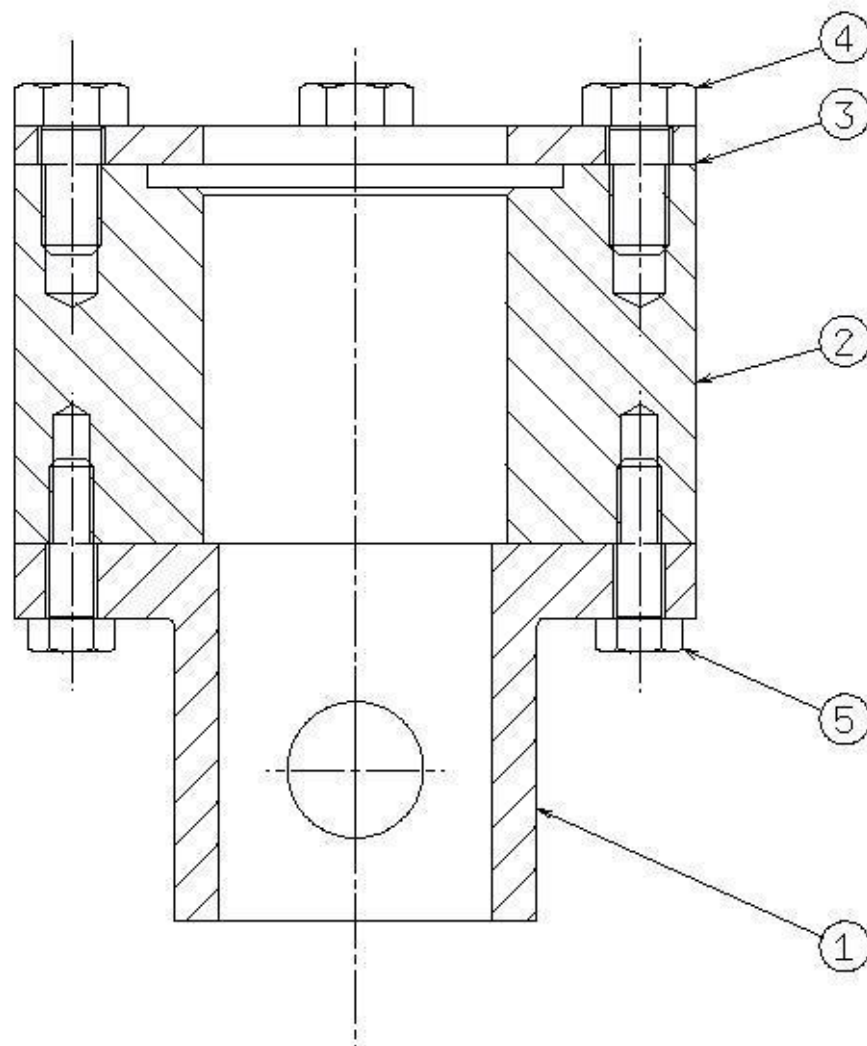
Sestava se skládá z držáku (1), který se připevní pomocí čepu k pevné podložce, dále podpěry (2) pro zkušební těleso, která je sešroubována s držákem pomocí čtyř šroubů (3), které jsou vloženy do vyvrtaných děr na obou dílech a přichyceny maticemi s podložkami.

Zkušební těleso se volně položí na horní část podpěry, bez jakéhokoliv uchycení se na něj spustí tlouk s různým počtem závaží. Otvor v boční straně podpěry slouží pro případný záznam z vysokorychlostní kamery na porovnání porušení zkušebního tělesa za různých podmínek zkoušky.

7.2 Podstava 2



Obr. 23. Sestava podstavy 2



Obr. 24. Řez sestavy podstavy 2

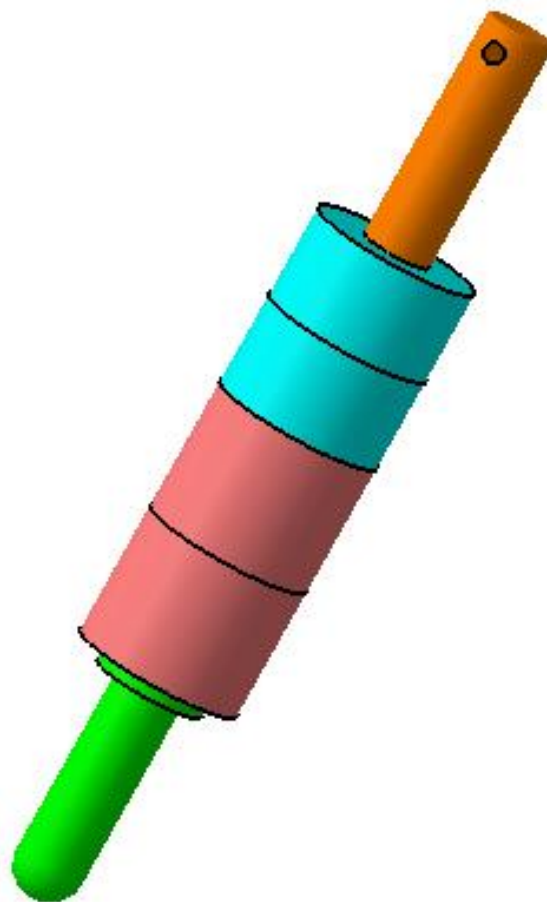
1. Držák
2. Podpěra
3. Upínací kroužek
4. Šroub šestihranný M8x16
5. Šroub šestihranný M6x20

Sestava se skládá ze stejného držáku (1) jako u varianty 1, ke kterému je pomocí čtyř šroubů přichycena podpěra (2). Ta má ve spodní části čtyři díry se závitem M6. Z horní strany je přišroubován upínací kroužek (3), který zabrání pohyb zkušebního tělesa na pod-

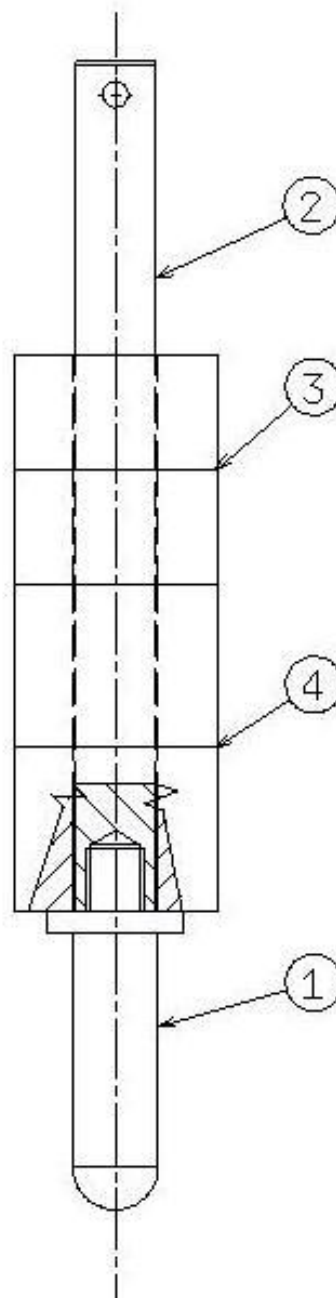
pře. Skrz čtyř vyvrtaných děr v upínacím kroužku je čtyřmi šrouby přichycen do podpěry, kde jsou díry se závitem M8.

Zkušební těleso se vloží do čtvercové mezery mezi podpěrou a upínacím kroužkem, pak se na něj spustí tlouk s různým počtem závaží.

7.3 Sestava tlouku



Obr. 25. Sestava tlouku



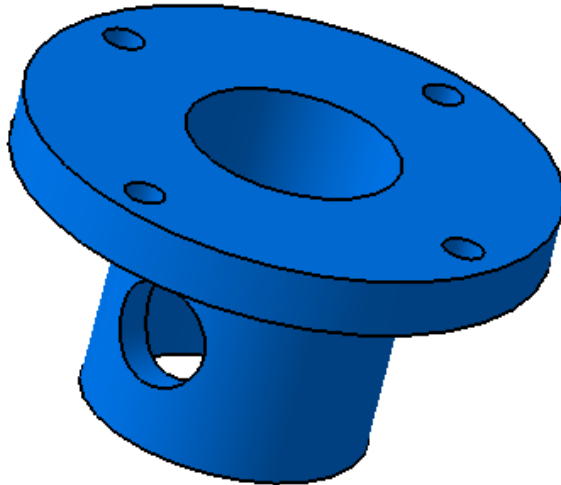
Obr. 26. Schéma sestavy tlouku

Sestava tlouku se skládá z tlouku s polokruhovou nárazovou plochou (1), který je pomocí závitu M14 našroubován na tyč (2). Na tyči jsou nasazena dvě různě těžká závaží (3,4), která se můžou libovolným počtem jakkoliv kombinovat. Pomocí díry na tyči je uchycen ocelovým lankem ke konstrukci padostroje.

8 SOUČÁSTI PADAJÍCÍHO TLOUKU

8.1 Držák podpěr

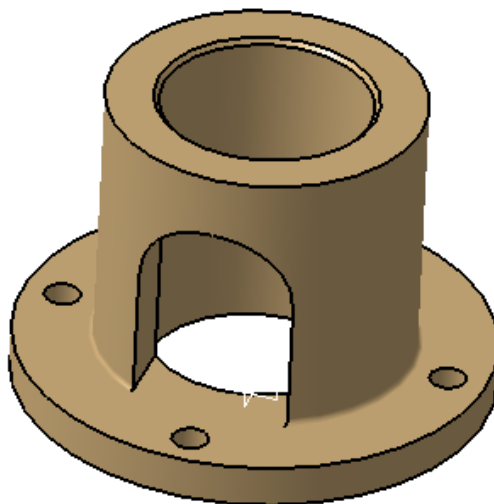
Výrobní výkres držáku podpěr je uveden v příloze bakalářské práce.



Obr. 27. Držák podpěr

8.2 Podpěra 1

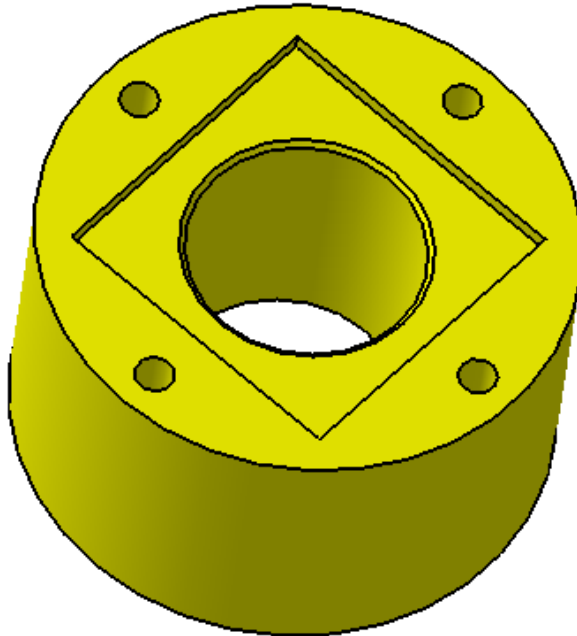
Výrobní výkres podpěry1 je uveden v příloze bakalářské práce.



Obr. 28. Podpěra 1

8.3 Podpěra 2

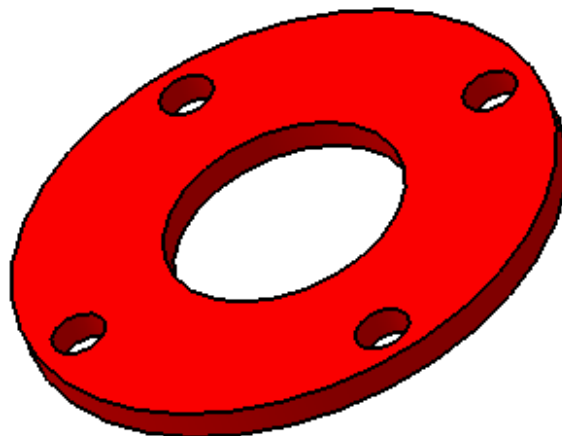
Výrobní výkres podpěry 2 je uveden v příloze bakalářské práce.



Obr. 29. Podpěra 2

8.4 Upínací kroužek

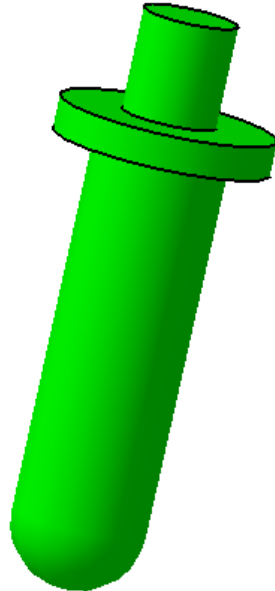
Výrobní výkres upínacího kroužku je uveden v příloze bakalářské práce.



Obr. 30. Upínací kroužek

8.5 Tlouk s polokruhovou nárazovou plochou

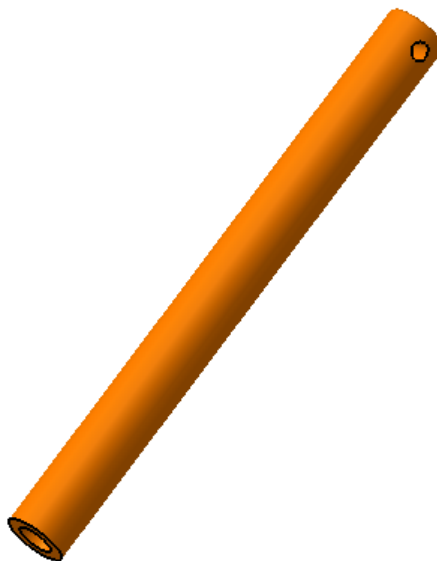
Výrobní výkres tlouku je uveden v příloze bakalářské práce.



Obr. 31. Tlouk

8.6 Tyč

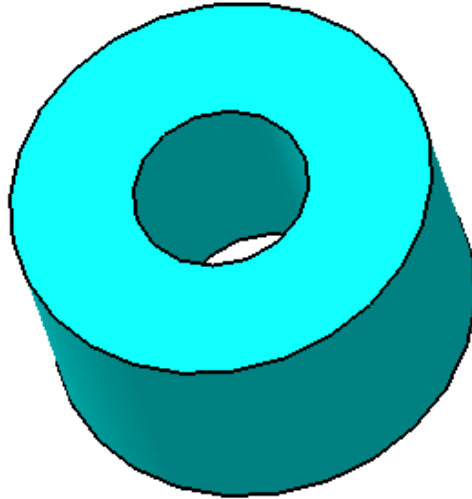
Výrobní výkres tyče je uveden v příloze bakalářské práce.



Obr. 32. Tyč

8.7 Závaží 1

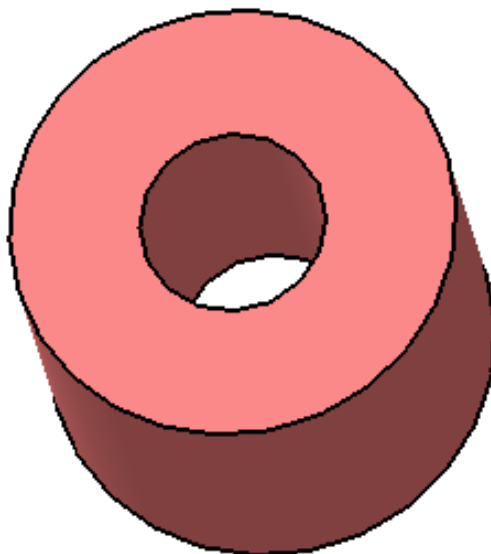
Výrobní výkres závaží 1 je uveden v příloze bakalářské práce.



Obr. 33. Závaží 1

8.8 Závaží 2

Výrobní výkres závaží 2 je uveden v příloze bakalářské práce.



Obr. 34. Závaží 2

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout několik dílů zařízení pro metodu padajícího tlouku. Jedná se o jednoduché zařízení, které má i jednoduché součásti. Navrhl jsem dvě možnosti podpěr pod zkušební těleso, kde jsem se musel držet normovaného vnitřního průměru trubky ($\varnothing 40$ mm) a již některých ve škole vyrobených součástí. Dále pak tlouk s polokruhovou nárazovou plochou, protože stávající tlouk nesplňuje podmínky normy.

U první navržené podpěry je možnost záznamu vysokorychlostní kamerou pro detailní zhodnocení porušení zkušební tělesa, které je volně položeno na podpěře. U druhé navržené podpěry se zkušební těleso umístí na podpěru a pevně se přichytí upínacím kroužkem, aby se zabránilo jakémukoliv pohybu zkušební tělesa na podpěře.

Veškeré 3D modely a výrobní výkresy jsem vypracoval v programu Catia V5R18. Výkresová dokumentace se nachází v příloze bakalářské práce.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] EHRENSTEIN, Gottfried W. Polymerní kompozitní materiály. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009, 351 s. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [2] Mechanické vlastnosti materiálů. [Online] [Citace: 30. 1 2011.]
http://chemikalie.upol.cz/skripta/mvm/zkousky_mat.pdf.
- [3] Technologie II Tváření kovů a plastů. [Online] [Citace: 30. leden 2011.]
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/
- [4] Kontrolní a zkušební metody. Ústav fyziky a materiálového inženýrství. [online]. [cit. 2012-11-20]. Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/kzm/KZM_11.pdf
- [5] ČSN EN ISO 6603-1. *Plasty-Stanovení chování tuhých plastů při víceosém rázovém namáhání: Část 1: Metoda padajícího tlouku*. Český normalizační institut. Praha, 1998.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

$A\varepsilon$... deformační práce daná plochou tahové křivky [J]

Δl ... přírůstek deformace [mm]

A_0 ... počáteční průřez zkušebního tělesa [mm²]

v ... okamžitá rychlost [m·s⁻¹]

g ... zemské tíhové zrychlení [m·s⁻²]

b ... šířka zkušebního tělesa [mm]

h ... tloušťka zkušebního tělesa [mm]

h_k ... redukovaná tloušťka (v místě vrubu) zkušebního tělesa [mm]

W ... práce odečtená na stupnici po přeražení zkušebního tělesa [J]

W_0 ... hodnota volného kyvu ze stejné výchozí výšky [J]

W_z ... hodnota odečtená při volném kyvu a odmrštění části přeraženého zkušebního tělesa [J]

G ... tíha závaží [N]

h ... výška pádu [mm]

W_ε ... korigovaná rázová práce [J]

W_k ... ztráty třetím a kyvem [J]

c ... rázový korekční faktor daný konstrukcí kyvadla [k]

l ... délka zkušebního tělesa po jeho rekonstrukci měřená 1 min po přeražení [mm]

l_0 ... původní délka zkušebního tělesa před započítáním zkoušky [mm]

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Základní druhy namáhání materiálu [2]</i>	15
<i>Obr. 2. Schéma univerzál. zkušebního stroje pro zkoušku tahem, tlakem a ohybem [2]</i>	17
<i>Obr. 3. Tvary zkušebních tyčí pro zkoušku tahem [2]</i>	18
<i>Obr. 4. Schéma rázové deformace metodou Charpy [4]</i>	23
<i>Obr. 5. Schéma rázové deformace metodou Izod [4]</i>	25
<i>Obr. 6. Schéma rázové deformace na přístroji Dynstat [4]</i>	26
<i>Obr. 7. Padostroj [4]</i>	27
<i>Obr. 8. Schéma uspořádání kyvadla pro rázovou zkoušku tahem [4]</i>	28
<i>Obr. 9. Zkušební zařízení pro odrazovou pružnost podle Schoba [4]</i>	30
<i>Obr. 10. Zařízení ke stanovení odrazové pružnosti podle Lüpkeho [4]</i>	31
<i>Obr. 11. Konstrukce Wöhlerovy křivky [4]</i>	32
<i>Obr. 12. Lomy: vlevo vysoké napětí, vpravo nízké napětí [2]</i>	33
<i>Obr. 13. Řez kompozitem z epoxidové pryskyřice jednosměrně vyztužené uhlíkovými vlákny (a) a buňkou vlny merino (b) [1]</i>	35
<i>Obr. 14. Řez laminátem z epoxidové pryskyřice a uhlíkových vláken (a) a bambusovým stonkem (b) [1]</i>	35
<i>Obr. 15. Struktura skleněného vlákna (snímek pořízen rastrovacím elektronovým mikroskopem) [1]</i>	40
<i>Obr. 16. Řez aramidovým vláknem se silným roztřepením v místě lomu (snímek pořízen rastrovacím elektronovým mikroskopem) [1]</i>	41
<i>Obr. 17. Orientace řetězců [1]</i>	41
<i>Obr. 18. Uhlíkové vlákno - mikrostruktura a snímek rastrovacím elektronovým mikroskopem [1]</i>	42
<i>Obr. 19. Zkušební zařízení [5]</i>	51
<i>Obr. 20. Stávající díly zařízení</i>	55
<i>Obr. 21. Sestava podstavy 1</i>	56
<i>Obr. 22. Řez sestavy podstavy 1</i>	57
<i>Obr. 23. Sestava podstavy 2</i>	58
<i>Obr. 24. Řez sestavy podstavy 2</i>	59
<i>Obr. 25. Sestava tlouku</i>	60
<i>Obr. 26. Schéma sestavy tlouku</i>	61

<i>Obr. 27. Držák podpěr</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 28. Podpěra 1</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 29. Podpěra 2</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 30. Upínací kroužek.....</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 31. Tlouk.....</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 32. Tyč</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 33. Závaží 1</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 34. Závaží 2</i>	<i>65</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Normované rozměry zkušebních těles.....</i>	24
<i>Tab. 2. Rozsah zkušebního zařízení Charpy</i>	24
<i>Tab. 3. Rázová a vrubová houževnatost vybraných polymerních materiálů</i>	24
<i>Tab. 4 Porovnání mechanických vlastností přírodních a skleněných vláken</i>	43

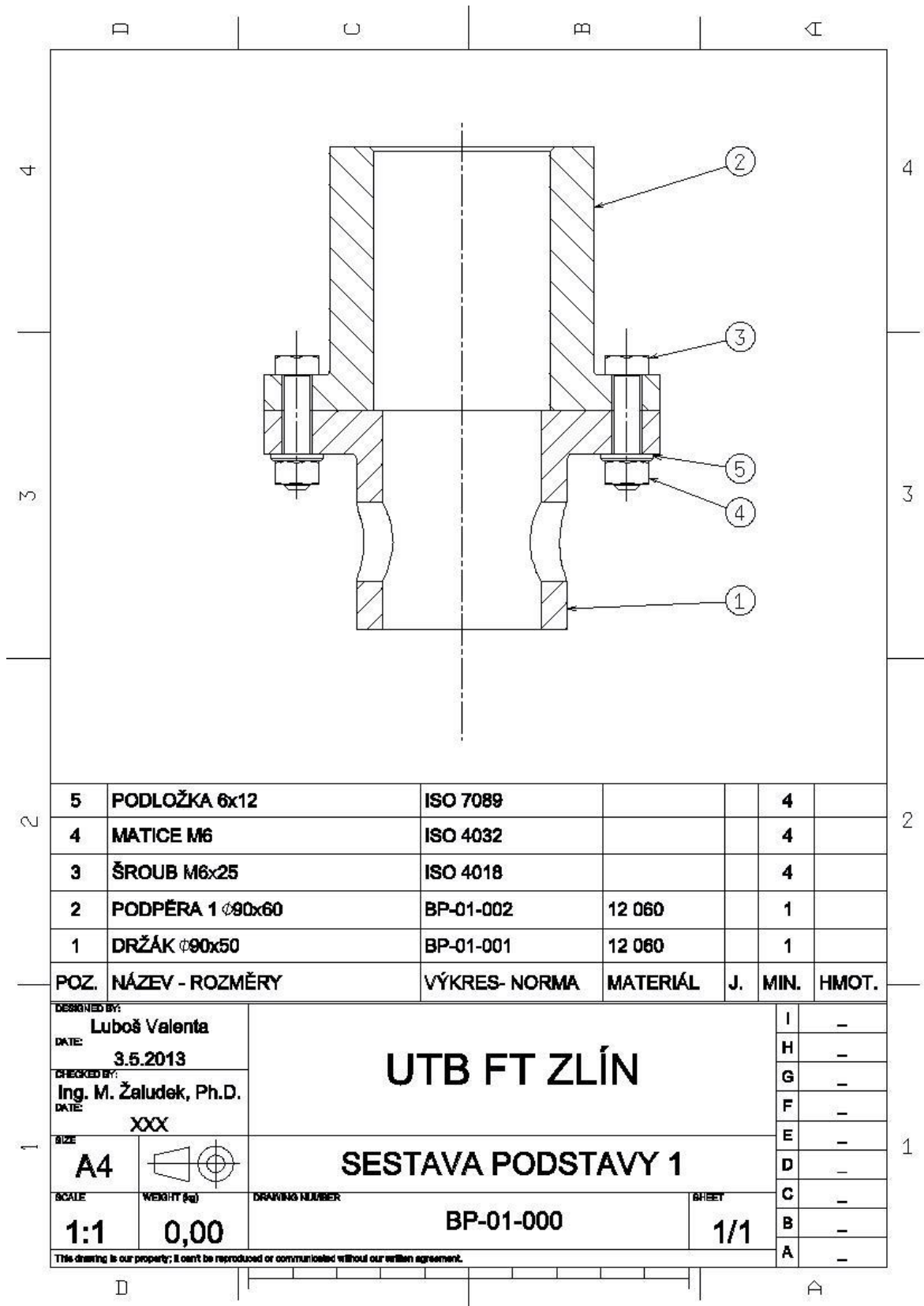
SEZNAM PŘÍLOH

- P 1: Sestava podstavy 1, číslo výkresu BP-01-000
- P 2: Sestava podstavy 2, číslo výkresu BP-02-000
- P 3: Sestava tlouku, číslo výkresu BP-03-000
- P 4: Výrobní výkres držáku, číslo výkresu BP-01-001
- P 5: Výrobní výkres podpěry 1, číslo výkresu BP-01-002
- P 6: Výrobní výkres podpěry 2, číslo výkresu BP-02-001
- P 7: Výrobní upínacího kroužku, číslo výkresu BP-02-002
- P 8: Výrobní tlouku, číslo výkresu BP-03-001
- P 9: Výrobní tyče, číslo výkresu BP-03-002
- P 10: Výrobní závaží 1, číslo výkresu BP-03-003
- P 11: Výrobní závaží 2, číslo výkresu BP-03-004

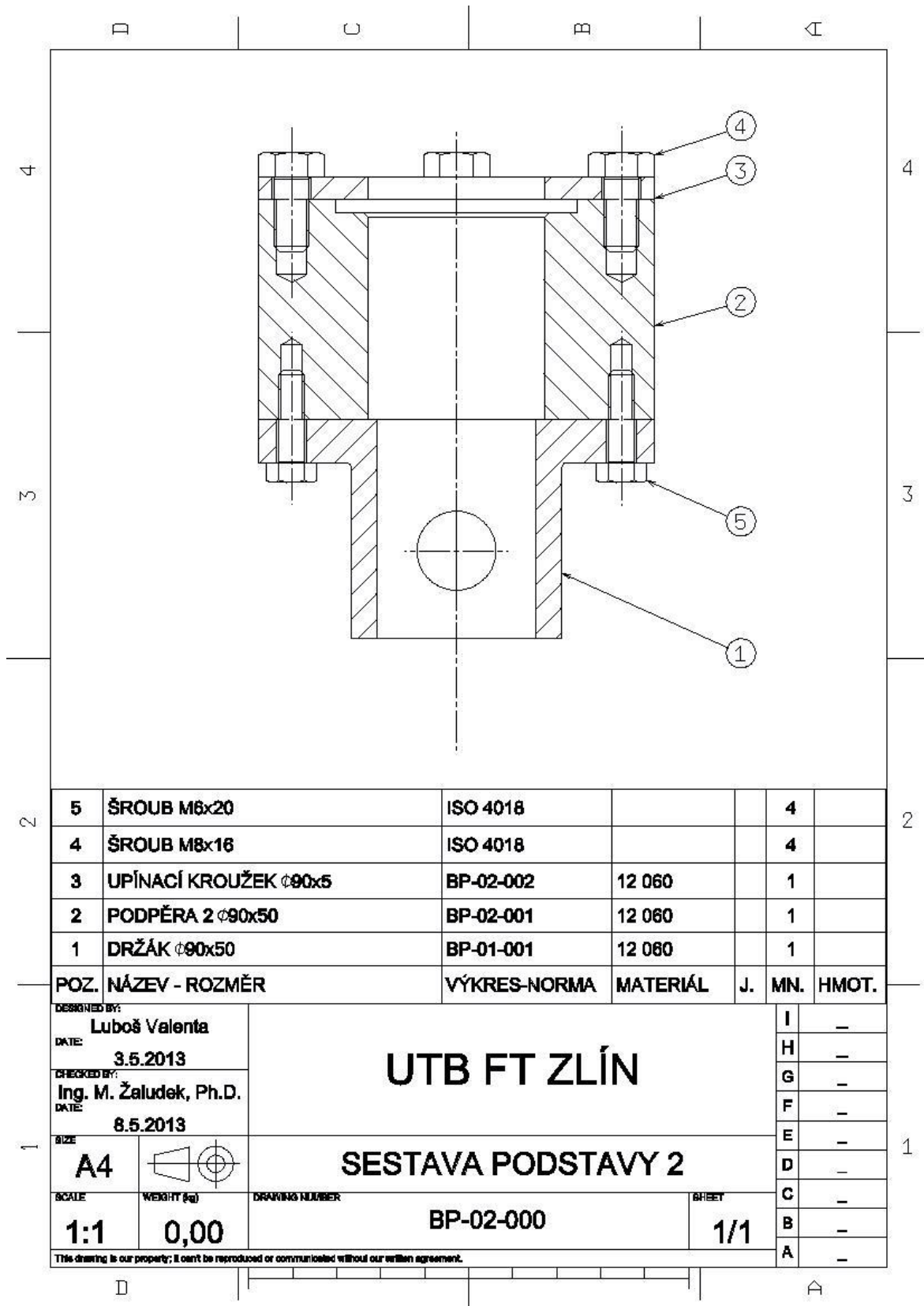
Další přílohy jsou umístěné na CD: 8x soubor Catia Part

3x soubor Catia Product

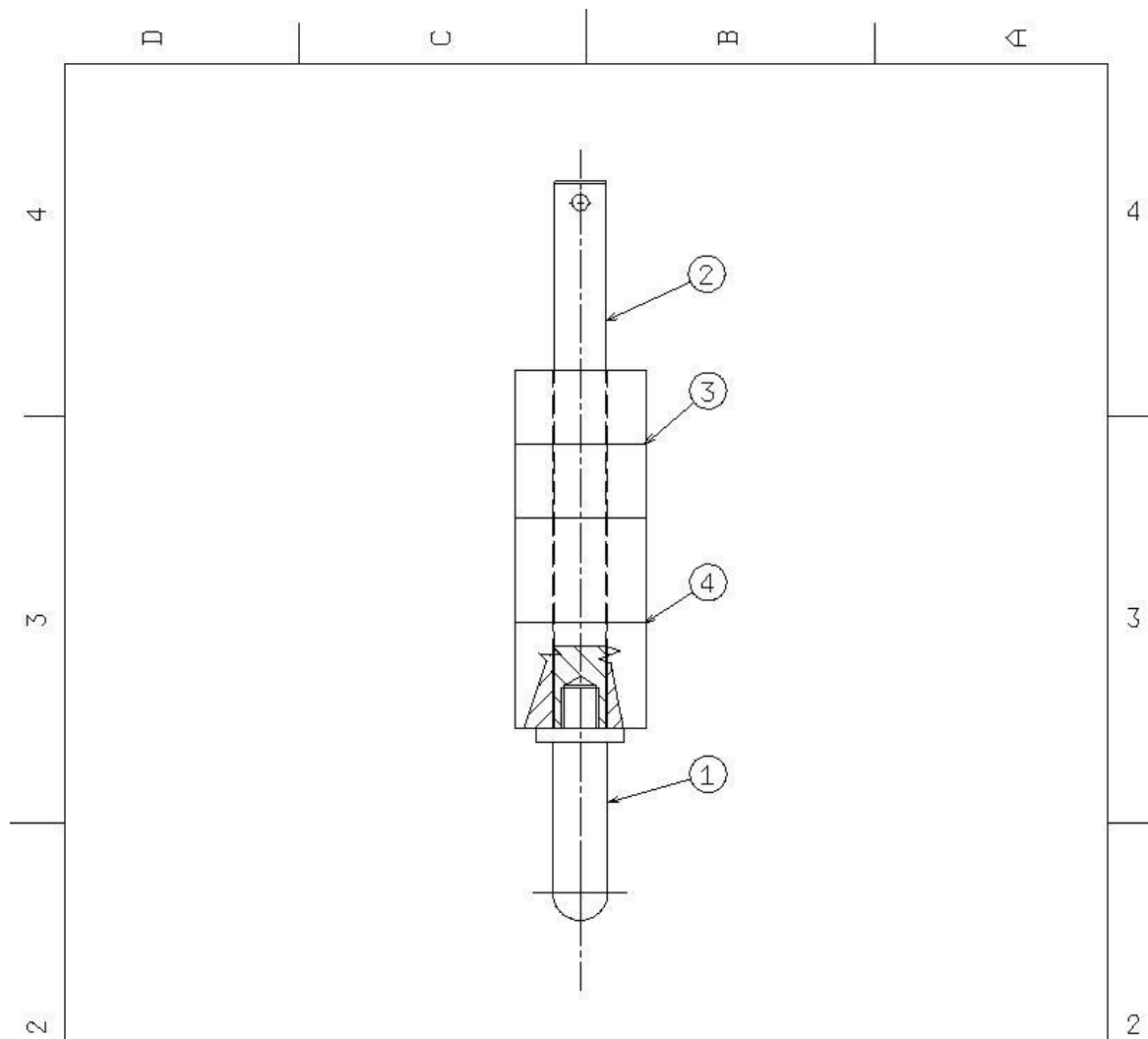
PŘÍLOHA P I: SESTAVA PODSTAVY 1



PŘÍLOHA P 2: SESTAVA PODSTAVY 2



PŘÍLOHA P 3: SESTAVA TLOUKU



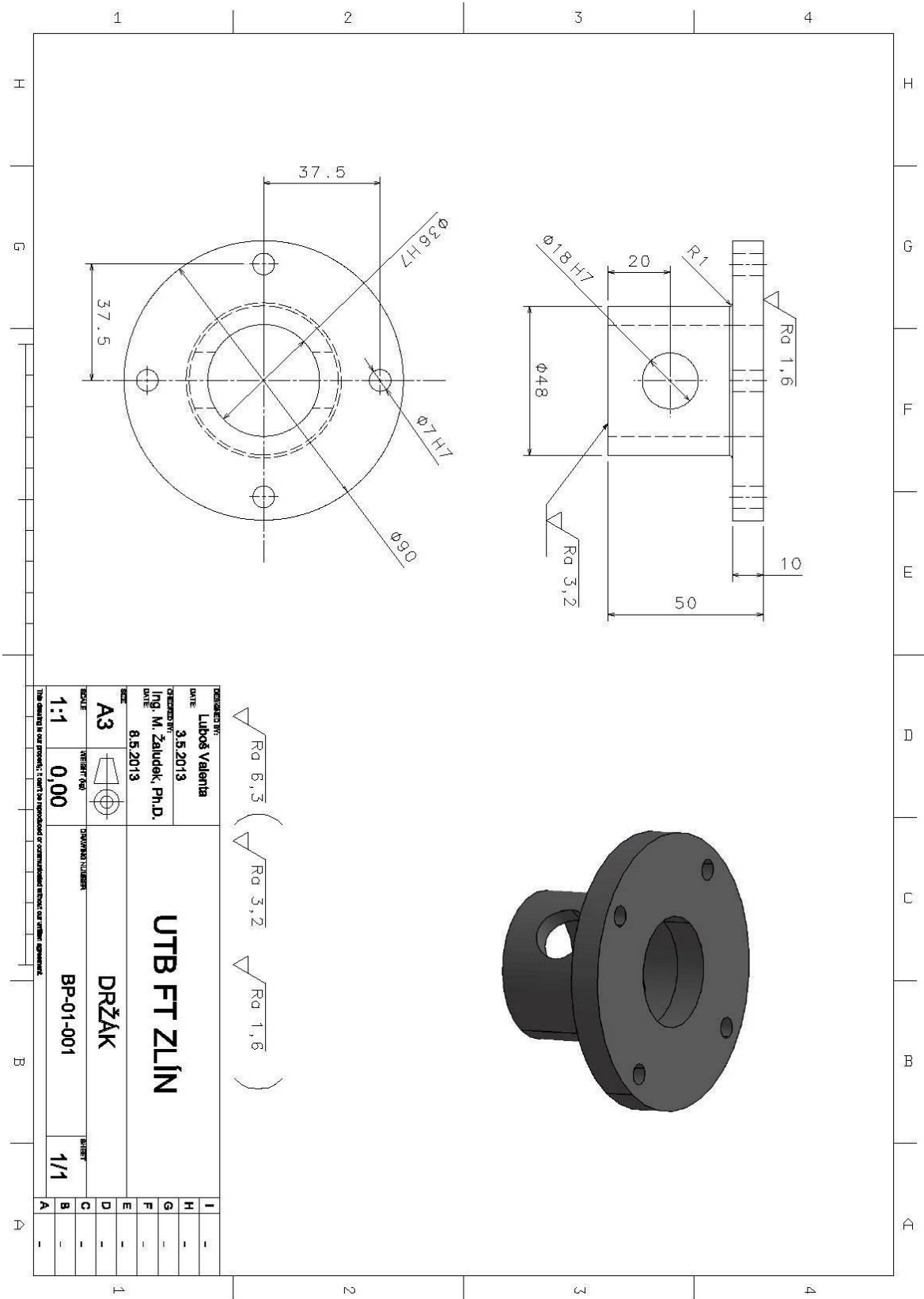
4	ZÁVAŽÍ 2 $\varnothing 48 \times 38,5$	BP-03-004	12 060		2	
3	ZÁVAŽÍ 1 $\varnothing 48 \times 27$	BP-03-003	12 060		2	
2	TYČ $\varnothing 19 \times 20$	BP-03-002	12 060		1	
1	TLOUK $\varnothing 32 \times 85$	BP-03-001	19 452		1	

POZ.	NÁZEV - ROZMĚRY	VÝKRES-NORMA	MATERIÁL	J.	MN.	HMOT.
------	-----------------	--------------	----------	----	-----	-------

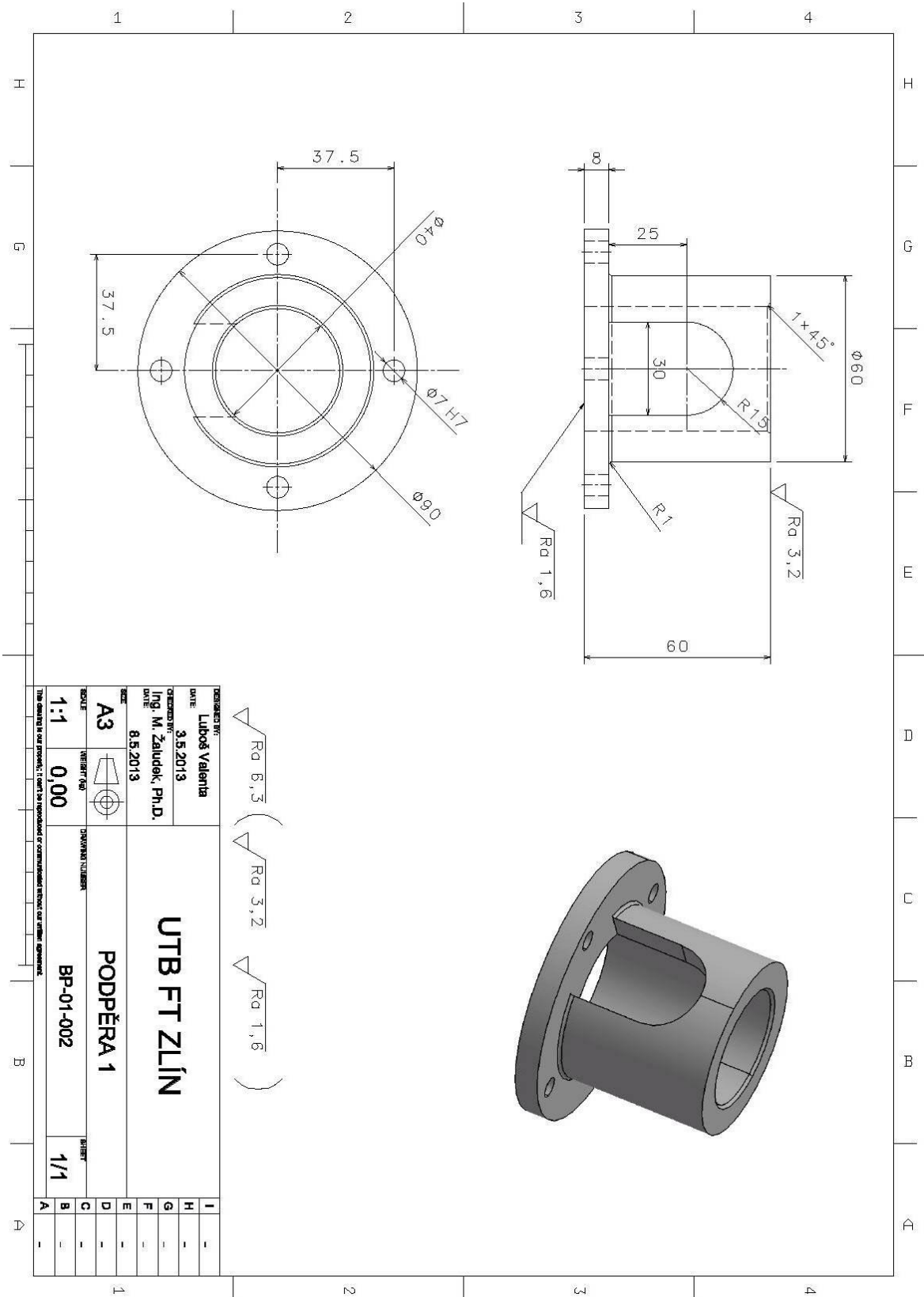
DESIGNED BY: Luboš Valenta		<h2>UTB FT ZLÍN</h2>				I	-
DATE: 3.5.2013						H	-
CHECKED BY: Ing. M. Žaludek, Ph.D.						G	-
DATE: 8.5.2013		F	-	E	-		
SIZE: A4		<h2>SESTAVA TLOUKU</h2>				D	-
SCALE: 1:2	WEIGHT (kg): 0,00	DRAWING NUMBER: BP-03-000	SHEET: 1/1		C	-	
<small>This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.</small>						B	-
						A	-

D A

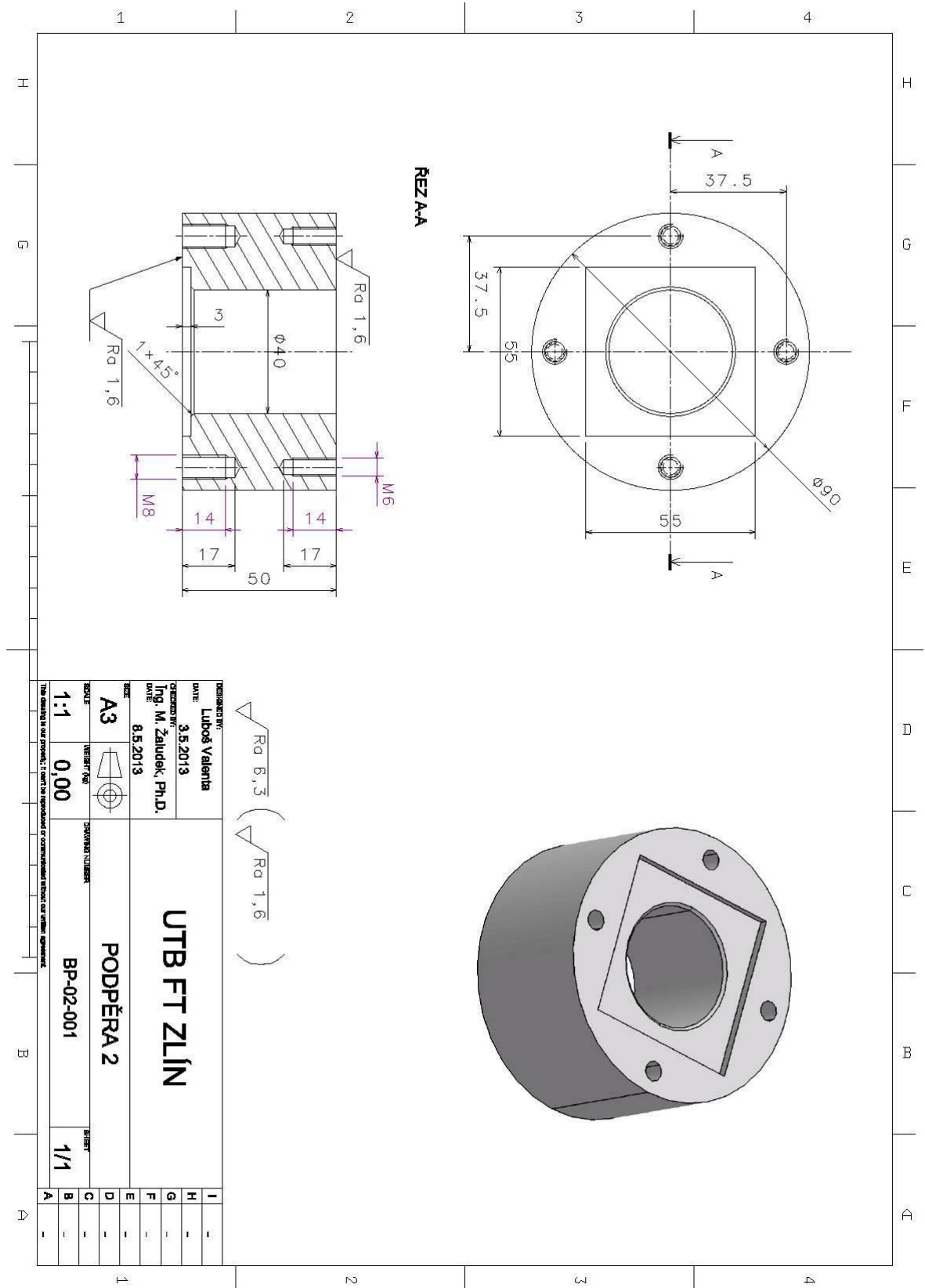
PŘÍLOHA P 4: DRŽÁK



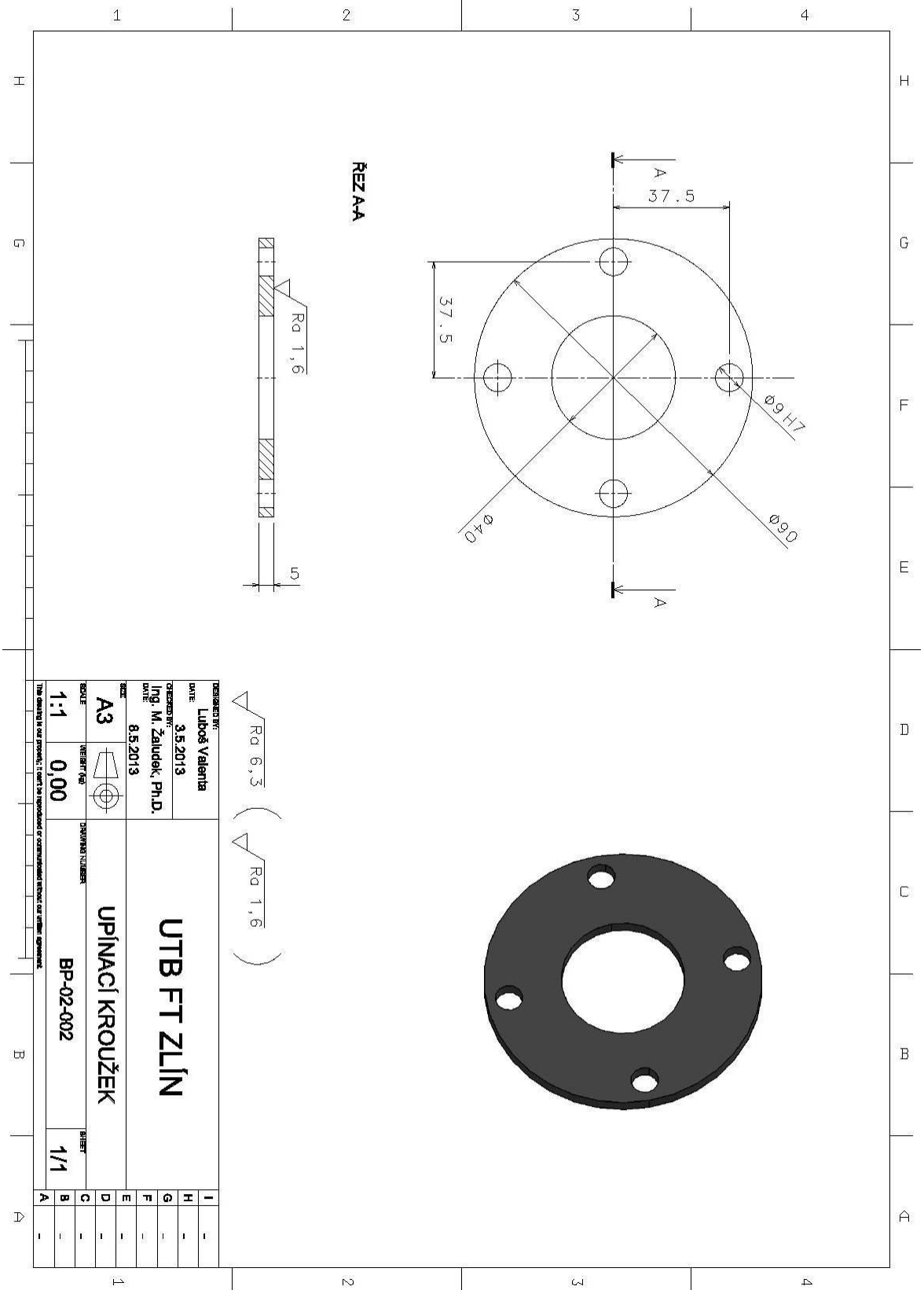
PŘÍLOHA P 5: PODPĚRA 1



PŘÍLOHA P 6: PODPĚRA 2

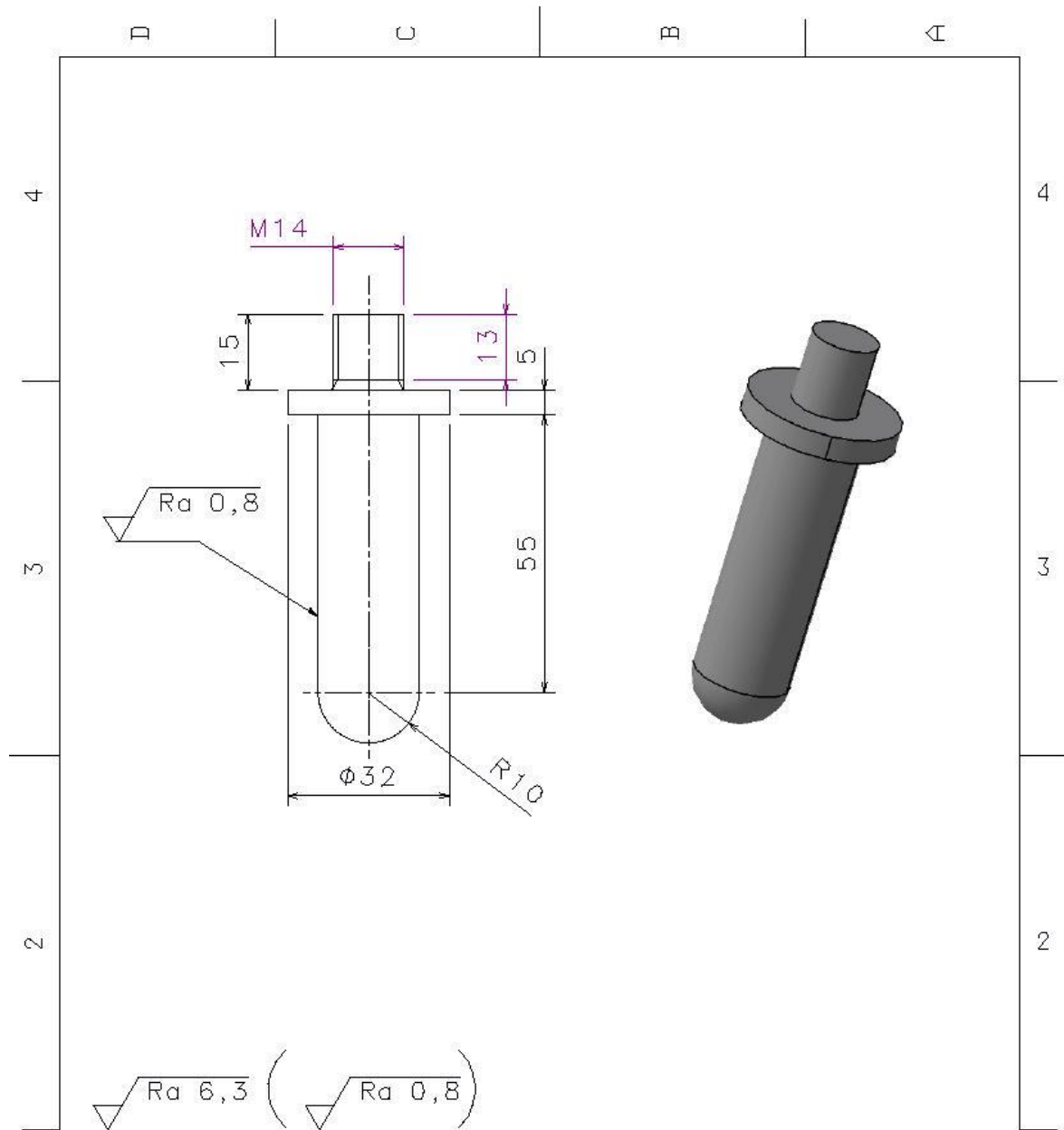


PŘÍLOHA P 7: UPÍNACÍ KROUŽEK



DESIGNER: Luboš Valentík		DATE: 3.5.2013	
CHECKER: Ing. M. Záludek, Ph.D.		DATE: 8.5.2013	
UTB FT ZLÍN			
UPÍNACÍ KROUŽEK			
SCALE: 1:1	INTEGRITY: 0,00	DESIGN NO: BP-02-002	ISSUE: 1/1
<small>THIS DRAWING IS OUR PROPERTY. IT IS NOT TO BE REPRODUCED OR COMMERCIALIZED WITHOUT OUR WRITTEN PERMISSION.</small>			
I	-		
H	-		
G	-		
F	-		
E	-		
D	-		
C	-		
B	-		
A	-		

PŘÍLOHA P 8: TLOUK

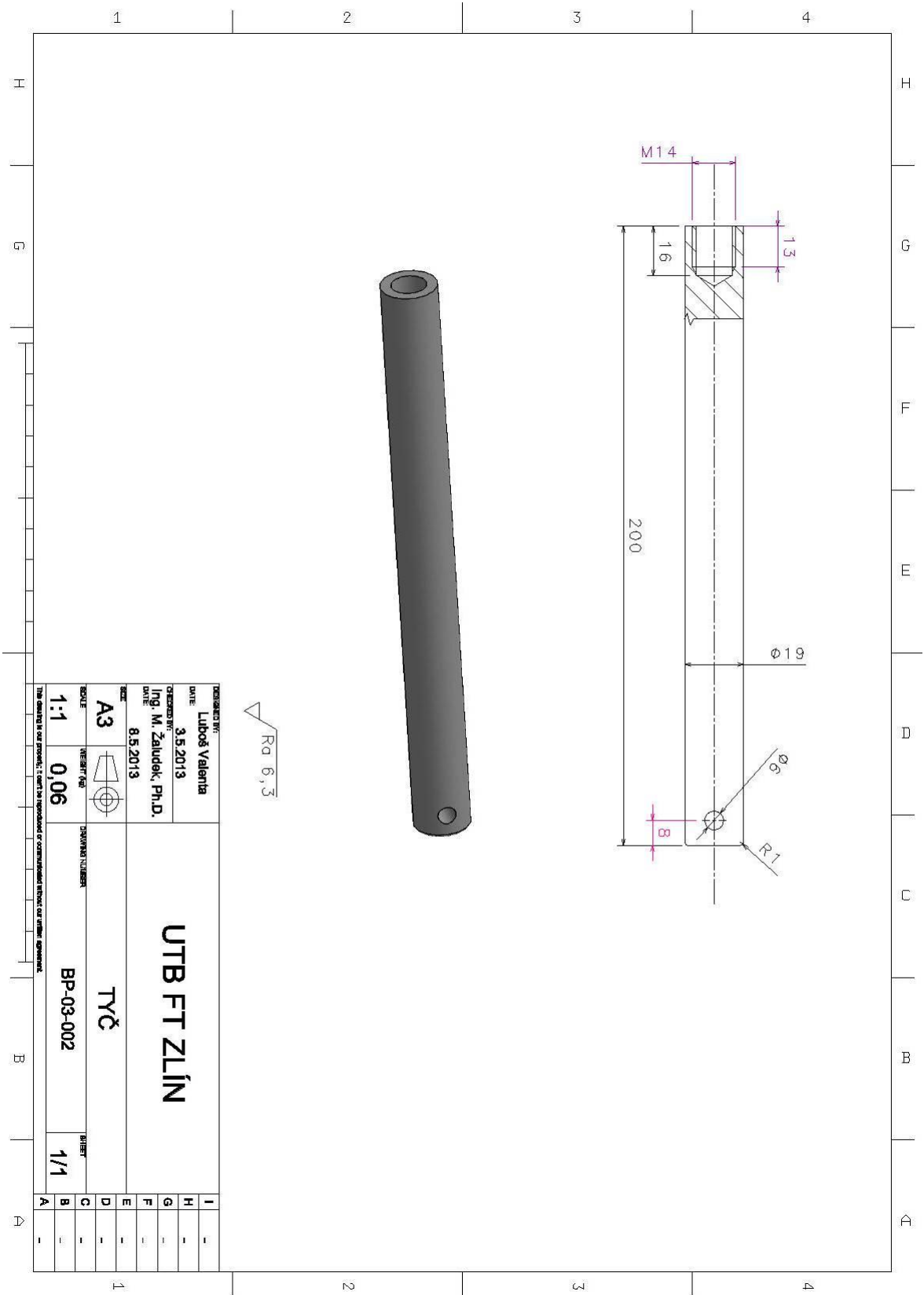


$\sqrt{Ra\ 6,3}$ ($\sqrt{Ra\ 0,8}$)

DESIGNED BY: Luboš Valenta		<h2>UTB FT ZLÍN</h2>		I	-
DATE: 3.5.2013				H	-
CHECKED BY: Ing. M. Žaludek, Ph.D.				G	-
DATE: 8.5.2013		F	-		
SIZE: A4		E	-	<h2>TLOUK</h2>	1
SCALE: 1 : 1	WEIGHT (kg): 0,00	D	-		
DRAWING NUMBER: BP-03-001		C	-		
SHEET: 1/1		B	-		
Title drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.		A	-		

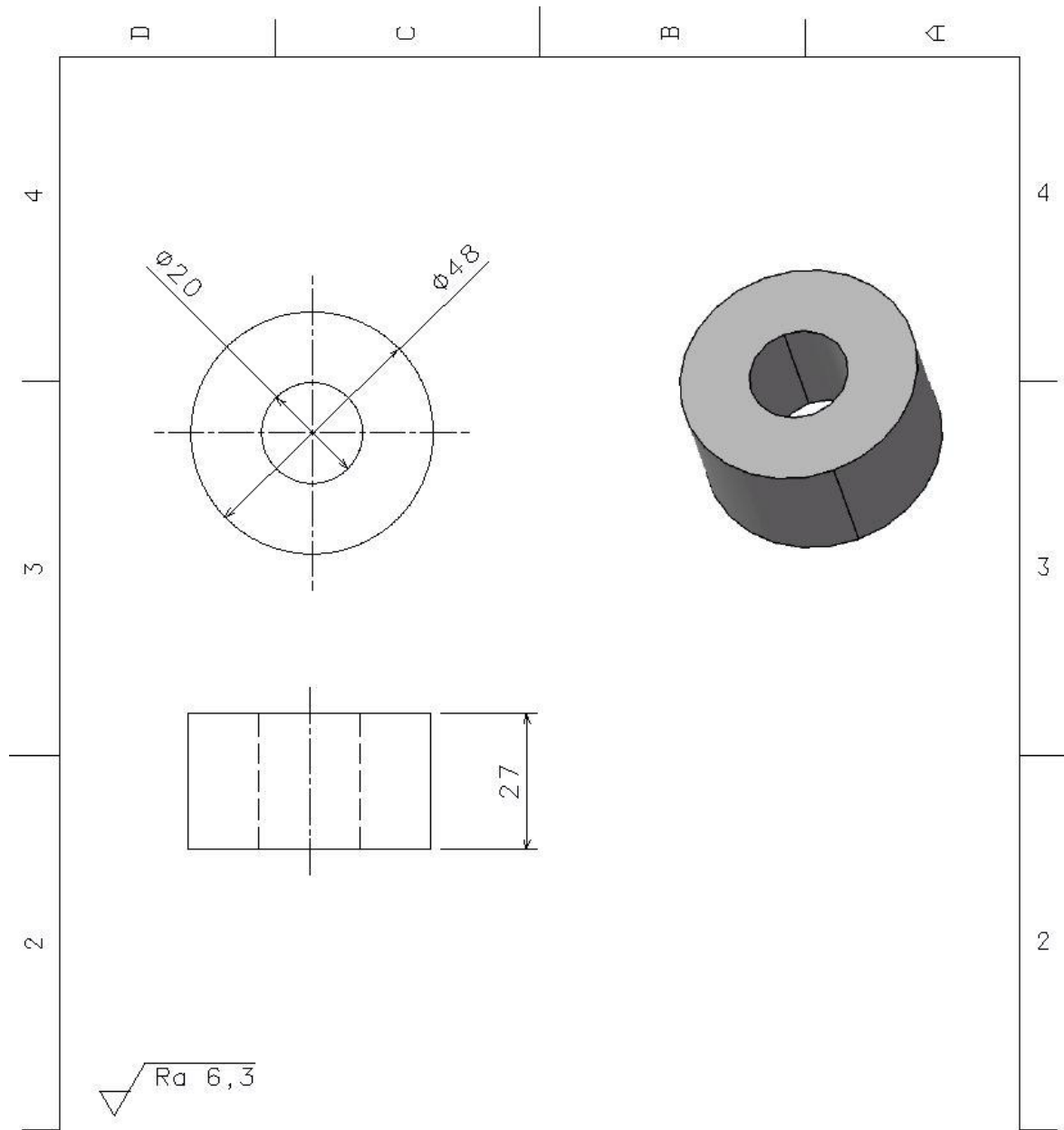
D A

PŘÍLOHA P 9: TYČ



DESIGNER'S NAME: Luboš Valenta		DATE: 3.5.2013		UTB FT ZLÍN TYČ BP-03-002 1/1	
CHECKED BY: Ing. M. Žaludek, Ph.D.		DATE: 8.5.2013			
SCALE: A3		TOLERANCE: 0,06			
THESE DRAWINGS ARE PROVIDED TO YOU AS A REPRESENTATIVE OF OUR COMPANY'S PRODUCT FOR YOUR INFORMATION.					
I	-				
H	-				
G	-				
F	-				
E	-				
D	-				
C	-				
B	-				
A	-				

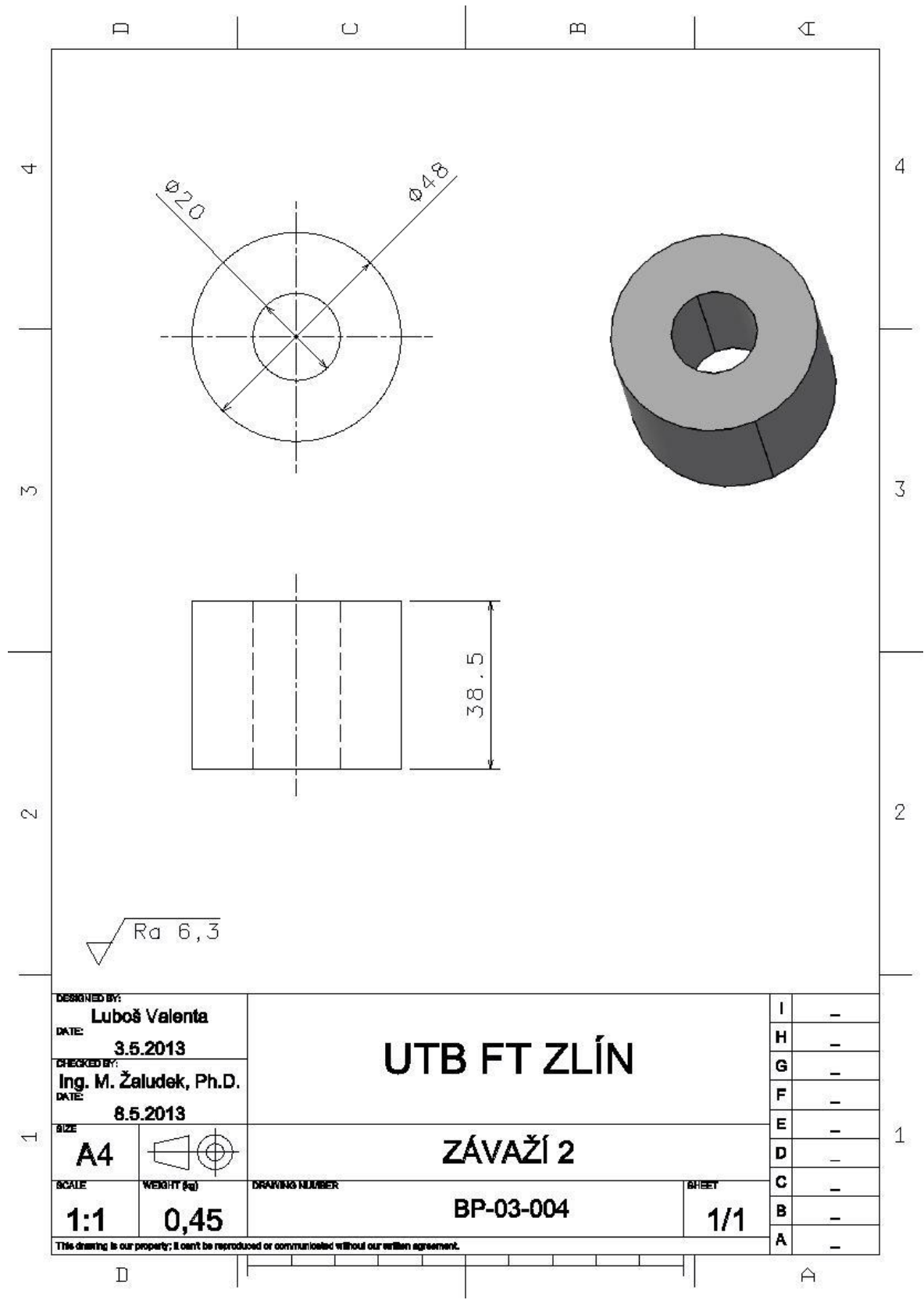
PŘÍLOHA P 10: ZÁVAŽÍ 1



DESIGNED BY: Luboš Valenta		<h2>UTB FT ZLÍN</h2>		I	-
DATE: 3.5.2013				H	-
CHECKED BY: Ing. M: Žaludek, Ph.D.				G	-
DATE: 8.5.2013		F	-		
SIZE: A4		<h2>ZÁVAŽÍ 1</h2>		E	-
SCALE: 1:1	WEIGHT (g): 0,32	DRAWING NUMBER: BP-03-003	SHEET: 1/1	D	-
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.				C	-
				B	-
				A	-



PŘÍLOHA P 11: ZÁVAŽÍ 2



DESIGNED BY: Luboš Valenta		UTB FT ZLÍN		I	-
DATE: 3.5.2013				H	-
CHECKED BY: Ing. M. Žaludek, Ph.D.				G	-
DATE: 8.5.2013		F	-		
SIZE: A4		ZÁVAŽÍ 2		E	-
SCALE: 1:1	WEIGHT (g): 0,45	DRAWING NUMBER: BP-03-004	SHEET: 1/1	D	-
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.				C	-
				B	-
				A	-