

Vývoj vřeteníku obráběcího stroje z konstrukčních polymerů

Bc. Jindřich Kameneč

Diplomová práce
2008



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jindřich KAMENEC**

Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Výrobní inženýrství**

Téma práce: **Vývoj vřeteníku obráběcího stroje z konstrukčních polymerů**

Zásady pro vypracování:

1. Provedte studium literatury z oblasti tlumení kmitů
2. Popište možnosti měření tlumících charakteristik kovů a polymerů
3. Provedte konstrukci vřeteníku z konstrukčních plastů
4. Vyhodnoťte přínos použití nových materiálů

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. Horák, V.: Fyzika, Academia, 1973
2. Kocman, K.: Technologie, CERM Brno, 2004
3. Lukovics, I.: Mechanické výrobní procesy, VUTB Zlín, 2007
4. Hendrych: Strojní součásti z plastů, SNTL Praha, 1984
5. Brummel, M. aj.: Rozměrově přesné součásti z plastů, VÚNM Praha, 1977
6. Píč, J.: Konstrukce výrobních strojů, SNTL Praha, 1974

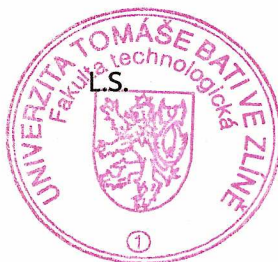
Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Imrich Lukovics, CSc.**
Ústav výrobního inženýrství

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

Termín odevzdání diplomové práce: **23. května 2008**

Ve Zlíně dne 29. ledna 2008


doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan




doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Tématem této diplomové práce bylo navrhnout vřeteník obráběcího stroje z konstrukčních polymerů. Na konstrukčních polymerech bylo provedeno měření tlumení vibrací a tahové zkoušky. Na základě výsledků měření byl navržen materiál pro konstrukci vřeteníku a vypracována výkresová dokumentace.

Klíčová slova: vřeteník, zkouška tahem, tlumení vibrací, konstrukční polymery

ABSTRACT

Subject of my diploma work was develop headstock machine tool from constructional polymers. On constructional polymers was performed measurement vibration damping and tension exams. On the basis results measurement was designed material for construction head stock and work up drawing documentation.

Keywords: headstock, tension test, vibration damping, constructional polymers

Touto cestou bych rád poděkoval doc. Ing. Imrichu Lukovicsovi, CSc. za odborné vedení, cenné rady a připomínky v průběhu vypracování mé diplomové práce.

Dále bych rád poděkoval za spolupráci Ing. Martinu Vašinovi, Ph.D., Ing. Milanu Žaludkovi, Ph.D. a Ing. Jiřímu Šálkovi.

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo podle uvážení vedoucího diplomové práce a ředitele ústavu. V případě publikace budu uveden jako spoluautor. Prohlašuji, že jsem na celé diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

V Karolince, 23.05.2008

.....

podpis

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 KMITÁNÍ OBRÁBĚCÍHO SYSTÉMU	11
1.1 VLASTNÍ KMITÁNÍ.....	12
1.2 VYNUCENÉ KMITÁNÍ.....	12
1.2.1 Způsoby odstraňování vynuceného kmitání.....	13
1.3 SAMOBUZENÉ KMITÁNÍ.....	13
1.3.1 Vliv různých činitelů na samobuzené kmity.....	14
1.3.2 Odstraňování samobuzených kmitů při obrábění.....	14
1.3.3 Tlumiče kmitání.....	15
2 MECHANICKÉ CHVĚNÍ	18
2.1 ZDROJE A PŘÍČINY CHVĚNÍ	18
2.2 PODSTATA MECHANICKÉHO CHVĚNÍ.....	18
2.3 VELIČINY MECHANICKÉHO CHVĚNÍ	19
2.4 ÚVAHY PŘI VOLBĚ ZRYCHLENÍ, RYCHLOSTI NEBO VÝCHYLKY CHVĚNÍ	19
3 VIBRAČNÍ ZKOUŠENÍ	21
3.1 ÚČEL VIBRAČNÍHO ZKOUŠENÍ.....	21
3.2 PRINCIP A KONSTRUKCE ELEKTRODYNAMICKÉHO BUDIČE.....	21
3.3 VÝKONOVÝ ZESILOVAČ.....	22
3.4 OVLÁDACÍ ZAŘÍZENÍ.....	22
3.5 PIEZOELEKTRICKÝ SNÍMAČ ZRYCHLENÍ.....	23
3.5.1 Konstrukce snímačů zrychlení.....	23
3.5.2 Typy snímačů zrychlení.....	24
3.5.3 Určení polohy a místa upevnění snímače.....	24
3.5.4 Upevnění snímačů zrychlení.....	25
3.6 ZÁKLADNÍ SYSTÉM K BUZENÍ MECHANICKÝCH KMITŮ.....	26
3.7 BUZENÍ SINUSOVÝM SIGNÁLEM	26
3.8 BUZENÍ NÁHODNÝM SIGNÁLEM	27
4 ÚTLUM VLIVEM VNITŘNÍCH ZTRÁT MATERIÁLU	28
4.1 ČINITEL VNITŘNÍHO TLUMENÍ.....	28
4.2 ROZDĚLENÍ MĚŘÍCÍCH METOD	29
5 VŘETENA	30
5.1 POŽADAVKY NA VŘETENA.....	30
5.1.1 Přesnost chodu.....	30
5.1.2 Dokonalé uložení.....	30
5.1.3 Dokonalé vedení.....	30

5.1.4	Vysoká účinnost vedení.....	31
5.1.5	Tuhost.....	31
5.1.6	Dynamická stabilita.....	31
5.2	PŘESNOST CHODU VŘETEN	32
5.3	ULOŽENÍ VŘETEN	34
5.3.1	Kluzná ložiska.....	35
5.3.2	Valivá ložiska.....	36
5.4	PŘEDNÍ KONCE VŘETEN	42
6	CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	43
II	PRAKTICKÁ ČÁST	44
7	POUŽITÉ KONSTRUKČNÍ MATERIÁLY	45
7.1	ABS (AKRYLONITRIL-BUTADIEN-STYREN).....	45
7.2	POM (POLYOXYMETYLÉN)	45
7.3	PA (POLYAMID)	46
7.4	PP (POLYPROPYLÉN).....	46
7.5	PVC (POLYVINYLCHLORID)	47
7.6	PTFE (POLYTETRAFLUORETYLEN).....	47
7.7	PE (POLYETYLÉN).....	47
7.8	PS (POLYSTYREN).....	48
7.9	PMMA (POLYMETYLMETAKRYLÁT)	48
7.10	OCELI TŘÍDY 14.....	49
7.11	OCELI TŘÍDY 16.....	49
7.12	OCELI TŘÍDY 19.....	50
7.13	ŠEDÁ LITINA	50
8	MĚŘENÍ PŘENOSOVÉHO ÚTLUMU MATERIÁLU.....	52
8.1	PŘENOSOVÝ ÚTLUM MATERIÁLU	52
8.2	ZKOUMANÉ MATERIÁLY	52
8.3	MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ.....	54
8.4	POROVNÁNÍ PŘENOSOVÝCH ÚTLUMŮ ZKOUMANÝCH MATERIÁLŮ.....	57
8.5	VLIV TLOUŠŤKY.....	60
9	ZKOUŠKA TAHEM.....	63
9.1	MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ.....	66
9.2	VÝSLEDKY MĚŘENÍ	67
9.2.1	ABS	67
9.2.2	PP	68
9.2.3	PS	71
9.2.4	LDPE.....	71

9.2.5	PMMA.....	72
9.2.6	PA 66.....	73
9.2.7	PA 6.....	74
9.2.8	Srovnání	74
10	PŘÍNOS POUŽITÍ NOVÝCH MATERIÁLŮ	76
11	VŘETENÍK.....	77
	ZÁVĚR	78
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	79
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	80
	SEZNAM OBRÁZKŮ	82
	SEZNAM TABULEK.....	84
	SEZNAM PŘÍLOH.....	85

ÚVOD

Strojní součásti jsou často vystavovány mechanickému a tepelnému namáhání. Z toho důvodu se vyžadují poměrně vysoké hodnoty pevnosti a modulu pružnosti používaných materiálů. Navíc musí mít strojní součásti dostatečnou tvarovou a rozměrovou stabilitu.

U klasických konstrukčních materiálů spočívá jejich nevýhoda v malém vnitřním útlumu. Snahou by mělo být aplikovat takové konstrukční materiály, které vykazují velké vnitřní tlumení. Toto splňuje např. šedá litina nebo plastické materiály. Plastické materiály nabízejí kromě velkého vnitřního tlumení také řadu jiných výhod, jako korozivzdornost, nízká hmotnost a také levný způsob zpracování.

Ve větší míře se plasty začaly ve strojírenství používat až s příchodem nových druhů plastů se zvýšenou pevností (např. vyztužené plasty), tepelnou odolností a jinými speciálními vlastnostmi. Při zavádění plastů místo kovů je nutno prověřovat výrobky z hlediska využití materiálu, optimálního tvaru, technologičnosti atd.

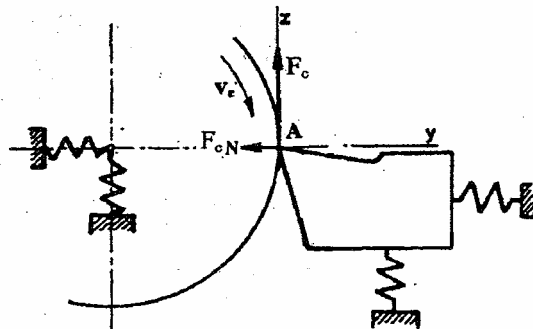
Přirozeně nejžádanější změnou z hlediska efektivnosti je zvýšení kvality při současném snížení výrobních nákladů. V tomto směru plasty přinášejí zcela nebyvalé možnosti.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KMITÁNÍ OBRÁBĚCÍHO SYSTÉMU

V průběhu řezného procesu téměř vždy vzniká kmitání. Kmitání jednotlivých prvků obráběcího procesu zhoršuje kvalitu obrobene plochy (vznik vlnitosti, zhoršená drsnost povrchu), zvyšuje intenzitu opotřebení nástroje (může způsobit vylamování břitu, nebo i celkovou destrukci nástroje) urychluje opotřebení součástí obráběcího stroje a zhoršuje pracovní prostředí [1].

Pro názornost je na obr. 1 naznačen zjednodušený dynamický model obráběcího systému, který charakterizuje stav při ortogonálním řezání.



Obr. 1. Zjednodušený dynamický model obráběcího systému – soustružení, ortogonální řezání

Hmotný bod **A** v místě interakce obrobku a nástroje v důsledku proměnlivosti sil F_c a F_{cN} kmitá ve směru osy z a ve směru osy y s určitými frekvencemi a amplitudami [2].

Na základě vnějšího působení různých silových impulsů lze rozlišit kmitání vlastní, vynucené a samobuzené [1].

1.1 Vlastní kmitání

Patří sem kmitání některé části nebo několika částí soustavy vlastními kmity, určenými vlastními frekvencí. Takové kmitání může být vyvoláno rázem – např. záběrem nástroje nebo zapnutím spojky. Vlastní kmity se udržují působením pružných sil, vlivem odporů se utlumí a proto lze jejich vliv obvykle zanedbat [1].

Zaobírat se vlastními kmity při obrábění má význam jen v souvislosti s určováním charakteru kmitavých procesů. Jejich perioda a frekvence nezávisí na počáteční výchylce ani na počáteční rychlosti kmitající částice [3].

1.2 Vynucené kmitání

Vynucené kmitání je vyvoláno periodicky proměnlivými silami, působícími na jednotlivé prvky obráběcího systému:

a) Silové impulzy vznikající v obráběcím systému

- nevyváženost rotujících hmot (obrobek, nástroj, rotující části obráběcího stroje)
- přímočaré vratné pohyby hmot (obrobek, nástroj, části obráběcího stroje)

b) Periodicky přerušovaný řezný proces

- periodická změna průřezu třísky
- diskontinuální řezné procesy (hoblování, obrážení).

c) Silové impulzy vnesené do obráběcího systému přes základy obráběcího stroje

- technologické systémy a zařízení instalované v blízkém okolí obráběcího stroje (ventilátory, kovací stroje) [2]

1.2.1 Způsoby odstraňování vynuceného kmitání

- Základování
- Odstranění chyb v převodech stroje
- Statické a dynamické vyvážení rotujících součástí
- Zmenšení průřezu třísky
- Používání tlumičů chvění [3].

1.3 Samobuzené kmitání

Toto vzniká bez periodického vnějšího budícího účinku. Soustava je uvedena do samobuzeného kmitání počátečním impulzem, který vyvolá výchylku z rovnovážné polohy a dále kmitání probíhá bez přívodu energie z vnějšku a jeho periodická proměnlivost závisí pouze na vlastnostech kmitající soustavy. Počátečním impulzem může být náraz stroje na tvrdší strukturální částici v obráběném materiálu. Samobuzené kmitání mohou vyvolat vlivy:

- a) nesouvisející s procesem řezání
 - relaxační kmitání (trhavé pohyby při velmi malých posuvech u vyvrtávaček)
 - kmitání kopírovacího systému se zpětnou vazbou
- b) související s rezným procesem
 - reprodukce předchozí vlnitosti povrchu
 - postupné oddělování elementů třísky
 - nestabilita nárůstu
 - změna součinitele tření v závislosti na rychlosti pohybu [1]

1.3.1 Vliv různých činitelů na samobuzené kmity

Pro praktické účely odstraňování kmitání při obrábění mají velký význam poznatky o kvantitativním vlivu různých činitelů podmínek obrábění na jeho intenzitu. Vliv má:

- tuhost technologického systému
- řezná rychlost
- hloubka a šířka třísky
- úhel nastavení
- poloměr zaoblení hrotu nože
- úhel čela
- úhel hřbetu
- obráběný a řezný materiál
- hmotnost soustavy
- síly odporu
- jakost povrchu řezných ploch

1.3.2 Odstraňování samobuzených kmitů při obrábění

- Změna řezných poměrů
- Změna geometrie nástroje
- Snižování drsnosti povrchu činných částí nástroje a použití řezných kapalin
- Zvýšení tuhosti
- Změna hmotnosti kmitající soustavy

Jiné způsoby snížení kmitání

Zmenšení kmitání můžeme docílit i zvětšením energetických ztrát na vnitřní tření kmitajících částí. Vycházejíc z tohoto principu, vyrábí se držáky nožů pro rychlostní obrábění z očkované litiny, protože vnitřní tření litiny je větší než tření oceli.

V praxi se kmitání odstraňuje tak, že hrot nože se nastaví nad osu otáčení obrobku případně obrácený nůž se nastavuje pod osu při opačných otáčkách. Takto se v podstatě zvětšuje úhel čela a zmenšuje úhel hřbetu.

Zvětšením tlumících sil můžeme zmenšit resp. odstranit kmitání. Při této metodě se do soustavy zavedou dodatečné opory, které pohlcují energii zapříčiňující kmitání. Známe víc zařízení, které pracují na tomto principu. Nejrozšířenější jsou tlumiče kmitání, které využívají tření, tj. zavádějí do soustavy pomocné třecí síly.

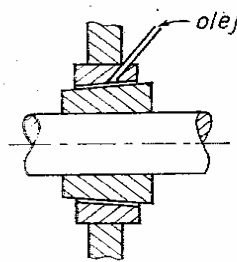
Tlumiče kmitání mohou sloužit na tlumení kmitavého pohybu obrobku nebo na tlumení kmitavého pohybu nástroje. Na tlumení kmitavého pohybu obrobků při soustružení se používají hydraulické nebo mechanické tlumiče [3].

1.3.3 Tlumiče kmitání

Vyšší meze stability kmitání lze dosáhnout pasivními a aktivními tlumiči kmitání.

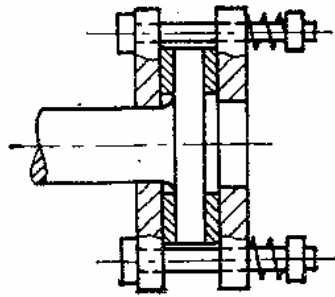
Pasivní tlumiče

Olejový tlumič je nasazen na hřídeli jako pouzdro (obr. 2).



Obr. 2. Tlumící pouzdro s olejem

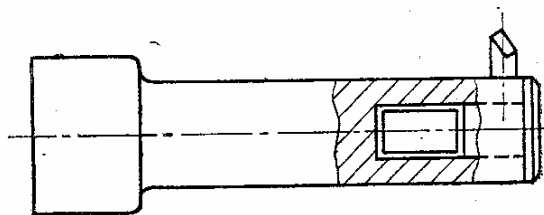
Tlumič Lanchester (obr. 3) působí svojí hmotností prostřednictvím suchého nebo viskózního tření na hřídel nebo na vyvrtávací tyč.



Obr. 3. Tlumič Lanchester

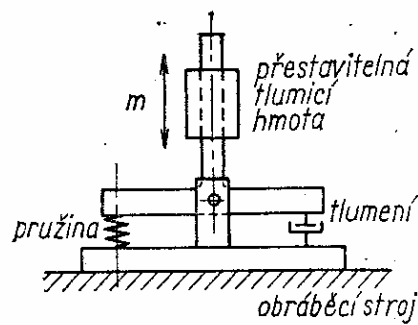
U frézek, vyvrtávaček a odvalovacích frézek se osvědčují tlumiče s pomocnou hmotou, která je tlumenou pružinou připojena k obráběcímu stroji.

Na obr. 4 je vyvrtávací tyč s tlumením (Hahn), které je vyvolané dutým válečkem plněným olovem nebo rtutí, vsazeným do konce tyče. Váleček má v dutině vyvrtávací tyče radiální vůli 0,02 až 0,10 mm a axiální vůli 0,1 až 0,2 mm.



Obr. 4. Hahnův tlumič vyvrtávací tyče, aplikace Lanchesterova tlumiče

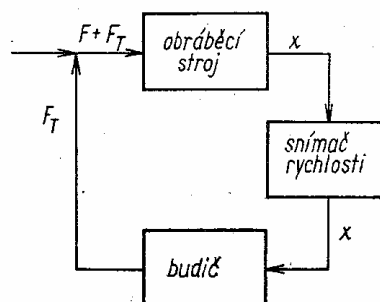
Nevýhodou dosud uvedených tlumičů kmitání je jejich omezené použití pouze pro určitou frekvenci. Tuto nevýhodu lze z části odstranit u tlumičů, které mají pomocnou hmotu stavitelně uspořádanou (obr. 5).



Obr. 5. Tlumič s přestavitelnou tlumící hmotou

Aktivní tlumiče

Další zlepšení přinášejí aktivní tlumiče, které postihují širší oblast kmitání. Na obr. 6 je blokové schéma aktivního tlumiče, u kterého je použit snímač rychlosti kmitání pro ladění budiče tlumící síly. Tento tlumící systém se sám reguluje proměnlivé frekvence samobuzeného kmitání [4].



Obr. 6. Aktivní tlumič s automatickou regulací

2 MECHANICKÉ CHVĚNÍ

2.1 Zdroje a příčiny chvění

Vyhnout se mechanickému chvění je v praxi téměř nemožné. Hlavními příčinami mechanického chvění jsou dynamické síly provázející výrobní nepřesnosti dílů a součástí, vůle pohyblivých součástí, styk dílů se třením a odvalováním a nevyváženost součástí a dílů s rotačním, kmitavým, kývavým a vratným pohybem. Slabé chvění může často vyvolávat rezonance jiných součástí a dílů a tak se stát zdrojem silného mechanického chvění a hluku.

Mechanické chvění může však také plnit užitečné funkce. Uměle buzené mechanické kmity tvoří základ práce vibračních podavačů a dávkovačů, betonářských pýchovačů, ultrazvukových čistících van, pneumatických sbíječek, vrtaček a beranidel. Běžně se také používají vibrátory, které přenášejí přesně definované mechanické kmity na různé výrobky, strojní součásti atd. a umožňují tak jejich zkoušení, zjišťování fyzických a funkčních charakteristik a určování jejich odolnosti vůči vlivům vnějšího prostředí, zejména vlivům mechanického chvění [5].

2.2 Podstata mechanického chvění

Chvění je kmitavý pohyb pevných těles kolem určité, zpravidla rovnovážné polohy. Počet plných cyklů kmitavého pohybu za sekundu se nazývá kmitočet a vyjadřuje se v Hz.

Mechanické chvění zpravidla obsahuje velký počet složek, vyskytujících se současně na mnoha kmitočtech, takže na základě pouhého pozorování časového průběhu jeho amplitud nelze určit ani počet, ani kmitočty jednotlivých složek.

Jednotlivé složky mechanického chvění mohou být zjištěny pouze ze závislosti jeho amplitud na kmitočtu. Rozklad složeného chvění na kmitočtové složky se nazývá kmitočtová analýza a je jednou ze základních metod v oboru měření chvění. Výsledkem kmitočtové analýzy jsou kmitočtová spektra. Grafickou formou závislosti amplitud chvění na kmitočtu jsou spektrogramy.

Kmitočtová analýza chvění mechanismů, strojů atd. obvykle odhaluje řadu významných kmitočtů periodických složek, majících přímý vztah k základním pohybům různých dílů a částí zkoumaného či zkoušeného zařízení. Z toho plyne, že kmitočtová analýza

umožňuje nebo alespoň ulehčuje odhalování a zjišťování zdrojů a příčin nežádoucího chvění [5].

2.3 Veličiny mechanického chvění

Při pohledu na kmitající ladičku je možno bezprostředně popisovat její kmity jako proměnnou výchylku jejích konců vzhledem ke klidové poloze. Pohyb ladičky je však také možno popisovat na základě rychlosti a zrychlení jejích konců. Tvar vlny a kmitočet mechanických kmitů se samozřejmě nemění při jejich popisu na základě výchylky, rychlosti či zrychlení. Hlavní rozdíl v použití těchto tří veličin spočívá ve fázových vztazích mezi časovými průběhy jejich vln.

Výše popsané veličiny mechanického chvění se prakticky všude na světě vyjadřují v jednotkách mezinárodní soustavy, odpovídajících normám ISO [5].

2.4 Úvahy při volbě zrychlení, rychlosti nebo výchylky chvění

Měření zrychlení mechanického chvění nevyklučuje použití jeho jiných veličin, protože elektronické integrátory umožňují vyhodnocování rychlosti a výchylky na základě elektrických signálů, úměrných zrychlení. Většina moderních přístrojů, určených k měření, analýze a hodnocení chvění, zajišťuje údaj všech těchto tří veličin.

Bohaté zkušenosti ukázaly, že nejlepším měřítkem nebezpečnosti a škodlivosti mechanického chvění je celková efektivní hodnota rychlosti chvění v kmitočtovém pásmu 10 – 1000 Hz. Pravděpodobné vysvětlení spočívá v tom, že určitá hodnota rychlosti odpovídá určité hodnotě energie, takže s energetického hlediska je stejná váha kladena na složky chvění s nízkými i vysokými kmitočty. Spektra rychlosti chvění mnoha strojů a zařízení v praxi jsou více či méně plochá.

S hlediska optimálního využití pracovního dynamického rozsahu (t.j. rozsahu mezi nejmenšími a největšími měřenými hodnotami) měřících přístrojů je výhodný výběr té veličiny, jejíž kmitočtové spektrum je co nejplošší a nejrovnoměrnejší. Z toho důvodu se při kmitočtové analýze chvění zpravidla volí rychlost nebo zrychlení.

Typickou vlastností mechanických systémů a soustav je to, že se větší výchylky chvění vyskytují pouze v oblasti nízkých kmitočtů. Proto má měření výchylky pouze omezený význam při obecném zkoumání a rozboru mechanického chvění. Výchylka je však důleži-

tou veličinou tam, kde je nutno brát v úvahu malé vůle a strojních dílů a součástí. Výchylka je také často základní veličinou, charakterizující nevyváženost součástí a dílů otáčivých strojů, protože na kmitočtech odpovídajících rychlostem otáčení a závažných s hlediska vyvažování, zpravidla existují relativně velké hodnoty výchylky [5].

3 VIBRAČNÍ ZKOUŠENÍ

3.1 Účel vibračního zkoušení

Požadavky, kladené na zvyšování pracovních rychlostí a snižování hmotnosti moderních strojních a jiných zařízení, jsou příčinou toho, že nadále nepostačuje jen znalost statických vlastností, namáhání a deformací používaných konstrukčních materiálů a prvků. Nutnost zjišťování a vyšetřování dynamických vlastností materiálů, prvků a konstrukcí proto přivedla k širokému praktickému uplatnění vibračního zkoušení.

Vibrační zkoušky se spolu s klimatickými zkouškami provádějí v rámci zkoušení odolnosti proti vlivům prostředí a tvoří nedílnou součást kontroly kvality a spolehlivosti různých výrobků. Zkoušené objekty se při takových zkouškách vystavují působení mechanického chvění, jehož parametry jsou předepsány různými normami, předpisy a doporučeními.

Při vyšetřování dynamických vlastností materiálů a konstrukcí se zjišťují odezvy na působící časově proměnné síly. Na základě výsledků odpovídajících vibračních zkoušek je možno například hodnotit materiály z hlediska přenosu nebo tlumení chvění a popisovat módy vlastních kmitů konstrukcí v oblasti jejich rezonancí.

Nejvhodnějším a nejrozšířenějším zdrojem mechanických kmitů a chvění je elektrodynamický budič, často nazývaný vibrátorem. Elektrodynamický budič je elektromechanický měnič, převádějící vstupní elektrický signál na kmitavý pohyb mechanického výstupu. Spolu s budičem se zpravidla používá vhodné ovládací zařízení, zajišťující dosažení konstantní amplitudy odpovídající mechanické veličiny, například síly nebo zrychlení chvění [6].

3.2 Princip a konstrukce elektrodynamického budiče

Elektrodynamický budič mechanických kmitů je ve smyslu základního principu shodný s běžným reproduktorem. Mechanický pohyb pohyblivého ústrojí elektrodynamického budiče je vyvoláván průchodem elektrického proudu jeho cívkou, umístěnou v magnetickém poli. Síla, vyvolávající pohyb zmíněného ústrojí, je úměrná proudu, procházejícímu cívkou, a indukci magnetického pole. Díky proudové závislosti síly je možno elektrickou cestou přesně ovládat mechanický výstup elektrodynamického budiče kmitů a chvění.

Zdrojem magnetického pole malých elektrodynamických budičů je permanentní magnet, zatím co magnetické ústrojí větších a velkých budičů zpravidla obsahuje jeden nebo několik elektromagnetů. Největší přípustný proud cívkou a celkové mechanické zatížení (hmotnost pohyblivého ústrojí a objektu) určují maximální dosažitelné zrychlení generované budičem mechanických kmitů. V oblasti nízkých kmitočtů je však maximální zrychlení často navíc omezeno největší dovolenou výchylkou pohyblivého ústrojí budiče. Vlastní rezonance pohyblivého ústrojí zpravidla omezují shora pracovní kmitočtový rozsah elektrodynamického budiče [6].

3.3 Výkonový zesilovač

Kmitočtová charakteristika elektrodynamického budiče, jehož cívkou protéká proud s konstantní amplitudou, má tři výrazně a vzájemně odlišné oblasti. Překrývající se nízké a střední kmitočty oblastí odpovídají charakteristice kombinace hmotnosti a poddajnosti pohyblivé soustavy budiče a jejího pružného uložení. Třetí oblast se nachází v pásmu vysokých kmitočtů a obsahuje osové rezonance pohyblivého ústrojí budiče. Tyto rezonance určují praktickou horní mez pracovního kmitočtového rozsahu elektrodynamického budiče.

Obdobně tři vzájemně odlišné oblasti obsahuje i kmitočtová charakteristika elektrodynamického budiče, jehož cívka je připojena ke zdroji napětí s konstantní amplitudou. Rezonance v pásmu nízkých kmitočtů je však podstatně více ztlumena. Proto se ve většině systémů s elektrodynamickými budiči dává přednost výkonovému zesilovači s malým výstupním odporem, pracujícím jako zdroj napětí. V určitých případech je však výhodnější užití výkonového zesilovače s velkým výstupním odporem, t.j. zdroje proudu. Moderní výkonové zesilovače, určené k použití s elektrodynamickými budiči, zpravidla umožňují volbu malého nebo velkého výstupního odporu [6].

3.4 Ovládací zařízení

Při praktickém použití elektrodynamického budiče se většinou požaduje konstantní charakteristika kmitů jeho mechanického výstupu na všech kmitočtech určitém pracovním rozsahu. Kmitočtová charakteristika budiče však není rovná, ale obsahuje rezonanční vrcholy. Rezonance zkoušeného objektu vedou zpravidla k dalšímu zhoršení situace. K dosažení konstantní amplitudy mechanických kmitů v širokém kmitočtovém rozsahu je proto nutné zařízení, jehož zesílení se mění v závislosti na kmitočtu. Odpovídající regulaci

zajišťuje ovládací zařízení, zpracovávající zpětnovazební signál od jednoho nebo několika snímačů chvění, mechanicky spojených se zkoušeným objektem. Hlavní části ovládacího zařízení proto tvoří zdroj budícího signálu (generátor), měřič chvění a automatický regulátor amplitudy signálu (kompresor) [6].

3.5 Piezoelektrický snímač zrychlení

Elektromechanický měnič, v současné době více či méně běžně užívaný k měření chvění, je piezoelektrický snímač zrychlení (akcelerometr). Piezoelektrický snímač zrychlení předčí v mnoha směrech jiné typy snímačů chvění. K jeho přednostem patří široký pracovní kmitočtový a dynamický rozsah, definovaná linearita v těchto rozsazích, pevná a robustní konstrukce, vysoká spolehlivost a dlouhodobá stabilita.

Velkou výhodou piezoelektrických snímačů zrychlení je také to, že patří k aktivním měničům, generujícím elektrický signál a tudíž nepotřebují vnější napájecí zdroj. Tyto snímače nemají pohyblivé části, citlivé k opotřebení. Konečně, elektrický výstupní signál těchto snímačů, úměrný zrychlení mechanického chvění, je možno integrovat odpovídajícími elektronickými zařízeními a získávat tak elektrické signály, úměrné rychlosti a výchylce chvění.

Základním prvkem piezoelektrického snímače zrychlení je výřez z piezoelektrického materiálu, zpravidla z uměle polarizované piezoelektrické keramické hmoty, vykazující výrazný piezoelektrický jev. Podstatou tohoto jevu je vznik elektrického náboje na čelních stěnách výřezu z piezokeramiky při jeho mechanickém namáhání v tahu, tlaku či stíhu.

3.5.1 Konstrukce snímačů zrychlení

V praxi používaných snímačích zrychlení je piezoelektrický člen konstruován a umístěn tak, že při kmitavém pohybu snímače na něj působí síla, úměrná zrychlení přídavné hmoty. Toto usprádnění odpovídá Newtonovu zákonu, podle nějž síla je rovna součinu hmoty a zrychlení.

Zrychlení přídavné hmoty je na kmitočtech, značně nižších než vlastní rezonanční kmitočet soustavy hmota – pružina snímače, rovno zrychlení základny snímače a tudíž i jeho výstupní elektrický signál je úměrný zrychlení, působícímu na snímač.

V konstrukci moderních piezoelektrických snímačů zrychlení se běžně používají následující konfigurace:

Konfigurace se stlačením – vyznačující se tím, že přídavná hmota působí na piezoelektrický člen stlačujícími silami

Konfigurace se stříhem – ve které přídavná hmota vyvolává stříhové namáhání piezoelektrického členu

3.5.2 Typy snímačů zrychlení

Charakteristiky a parametry různých typů snímačů zrychlení jsou v menší či větší míře přizpůsobeny oblastem použití. Snímače zrychlení s malými rozměry, například, jsou zpravidla určeny k měření chvění s velkými amplitudami a vysokými kmitočty a nebo k měření chvění lehkých, křehkých nebo poddajných předmětů, konstrukcí, panelů atd. Váha těchto malých snímačů se zpravidla pohybuje v mezích 0,5 až 2 g.

Jiné speciální snímače zrychlení mohou být určeny k současnému měření zrychlení ve třech vzájemně kolmých směrech, práci při vysokých teplotách, měření velmi malých amplitud chvění či naopak silných mechanických rázů, cejchování jiných snímačů chvění a trvalému monitorování chvění a jiných zařízení v průmyslu.

3.5.3 Určení polohy a místa upevnění snímače

Snímač zrychlení se upevňuje tak, aby směr, ve kterém se provádí měření, odpovídal směru osy maximální citlivosti snímače. Piezoelektrické snímače jsou také citlivé ke kmitům v příčných směrech v příčných směrech, avšak tuto tzv. příčnou citlivost je možno ve většině případů zanedbat, protože její normální hodnoty nepřesahují 1 % citlivosti ve směru hlavní osy.

Odezvy a reakce mechanických soustav a systémů na vynucené mechanické chvění jsou velmi složité, takže amplitudy i kmitočtová spektra chvění, měřeného na několika nepříliš od sebe vzdálených místech jednoho a téhož dílu či součásti se mohou vzájemně lišit. Tyto rozdíly mohou být zvláště výrazné v oblasti vysokých kmitočtů.

3.5.4 Upevnění snímačů zrychlení

Způsob upevnění snímače zrychlení k měřenému objektu je jedním z nejzávažnějších činitelů, ovlivňujících celkovou přesnost praktických měření chvění. Nedokonalé upevnění snižuje rezonanční kmitočet upevněného snímače zrychlení a tudíž výrazně zmenšuje jeho použitelný pracovní kmitočtový rozsah. Nejlepších výsledků se dosahuje při upevnění pomocí speciálních šroubů na rovném a hladkém povrchu. Celkovou tuhost je ještě možno zvýšit tenkou vrstvou mazacího tuku, nanesenou na stykové povrchy ještě před dotažením šroubového spojení. Závitový otvor v měřeném objektu musí mít dostatečnou hloubku, vylučující možnost dotažení montážního šroubu do dna závitového otvoru v základně snímače. Dosahovaný rezonanční kmitočet (31 kHz) leží velmi blízko ideálního rezonančního kmitočtu (32 kHz) snímače při cejchování, t.j. snímače, upevněného na absolutně rovném a hladkém povrchu.

K upevnění snímačů zrychlení se v praxi často používá tenká vrstva včelího vosku. Z průběhu kmitočtové charakteristiky upevněného snímače je patrné, že použití včelího vosku jen nepatrně snižuje jeho rezonanční kmitočet (29 kHz). Protože však včelí vosk měkne při vyšších teplotách, jeho použití je omezeno na oblast do 40 °C. Při předpokladu čistých povrchů snímače i objektu je upevnění pomocí vrstvy včelího vosku spolehlivé až do zrychlení kolem 100 m/s².

Tam, kde se předpokládá opakované měření v totožných bodech a kde jsou z nějakého důvodu nežádoucí otvory se závitem pro upevňovací šrouby, je nejlepším řešením použití speciálních šroubů, připevňovaných k povrchu měřeného objektu vhodným tvrdým pojivovým materiálem (tmelem, lepidlem atd.). Jako pojivový materiál se doporučují epoxidové pryskyřice a kyanoakryláty. Použití měkkých pojivových látek zpravidla podstatně zužuje užitečný kmitočtový rozsah snímačů zrychlení.

Speciální izolované šrouby a slídové podložky se používají tam, kde je nutná elektrická izolace snímačů zrychlení. Upevnění pomocí izolovaného šroubu a tenké podložky, odštípnuté ze silnějšího kousku slídy, je spolehlivé a snižuje jen málo rezonanční kmitočet upevněného snímače (přibl. 28 kHz).

Velmi jednoduchou pomůckou k upevnění snímače zrychlení na hladkém povrchu objektů z magnetických materiálů je malý permanentní magnet, zajišťující současnou elektrickou izolaci snímače. Nevýhodou tohoto způsobu upevnění je značné snížení rezonanč-

ního kmitočtu upevněného snímače (přibl. 7 kHz) a jeho nevhodnost k trvalému použití při měření v kmitočtovém pásmu od 2 kHz výše [5].

3.6 Základní systém k buzení mechanických kmitů

Základní systém k buzení mechanických kmitů a chvění se skládá z budiče, výkonového zesilovače, ovládacího zařízení s generátorem, snímače zrychlení nebo síly a přizpůsobovacího zesilovače.

Výběr vhodného budiče je především ovlivňován požadovanou maximální hodnotou budící síly nebo zrychlení mechanických kmitů. V úvahu je však také nutno vzít příčné kmity, zkreslení budícího signálu a dovolené příčné namáhání budiče.

Budič je většinou pružně uložen v odpovídající nosné konstrukci tvořící jeho základnu. Soustava pružného uložení zpravidla zajišťuje dokonalou izolaci proti chvění, šířícímu se ve stavebních konstrukcích, takže základnu budiče je možno bezprostředně připevnit k tuhému stavebnímu prvku (podlaze, stěně a pod.). Při použití středních a velkých výkonových budičů je však většinou třeba omezit přenos chvění do stavebních konstrukcí pomocí vhodného uložení, např. uložení s použitím pružných členů nebo plovoucího blokového základu [6].

3.7 Buzení sinusovým signálem

Sinusové signály s pevnými kmitočty nebo s plynule proměnným kmitočtem jsou v oboru vibračního zkoušení nejrozšířenějšími budícími signály. Při buzení sinusovým signálem s plynule proměnným kmitočtem se v odpovídajícím systému používá zpětnovazební smyčka, jejíž součástí tvoří samočinný regulátor (kompresor) ovládacího zařízení. Kompresor musí být dostatečně rychlý, t.j. musí být schopen reagovat na málo zatlumené rezonance při rychlém rozmítání kmitočtu signálu.

Sinusový signál je dokonale charakterizován kmitočtem a amplitudou. Amplituda se při vibračních zkouškách zpravidla vyjadřuje pomocí vrcholových hodnot (u výchylky se většinou udává rozkmit). Kmitočet se většinou nachází v rozsahu od 2 do 10 000 Hz [6].

3.8 Buzení náhodným signálem

Náhodné signály, používané při vibračním zkoušení, mají většinou spojité kmitočtové spektrum a amplitudy s normálním (Gaussovým) rozložením. V určitém rozsahu jsou tedy teoreticky zastoupeny všechny kmitočty i amplitudy. Používané generátory a zesilovače však vnášejí určitá praktická omezení. Při vibračních zkouškách se obecně požadují náhodné signály, jejichž vrcholové hodnoty jsou třinásobkem odpovídajících efektivních hodnot.

Maximální síla, generovaná elektrodynamickým budičem, je omezena především ohřevem, působeným průchodem elektrického proudu. Zde je tedy rozhodující efektivní hodnota, zatím co z hlediska mezních parametrů výkonového zesilovače je nejdůležitější vrcholová hodnota. Z toho plyne, že k dosažení totožné síly je při buzení náhodným signálem nutný výkonnější výkonový zesilovač než při buzení sinusovým signálem. Základní spektrální veličinou náhodného budícího signálu je spektrální výkonová hustota nebo spektrální hustota zrychlení [6].

4 ÚTLUM VLIVEM VNITŘNÍCH ZTRÁT MATERIÁLU

Každý druh materiálu vykazuje větší nebo menší vnitřní tlumení. Nevýhodou většiny klasických konstrukčních materiálů je jejich malý vnitřní útlum. Proto by mělo být snahou všech konstruktérů aplikovat ty konstrukční materiály, které vykazují velké vnitřní tlumení. Tyto požadavky splňují především plastické materiály. Z materiálů tradičních je to šedá litina. Proto jsou z ní odlévány základy přesných obráběcích strojů, které vyžadují potlačení chvění na minimum [7].

4.1 Činitel vnitřního tlumení

Při dynamickém namáhání konstrukčních prvků je nutno, vzhledem k existenci vnitřního tlumení v materiálu, zavést komplexní modul pružnosti. Znamená to, že Hookův zákon popisující závislost napětí na poměrném prodloužení, se rozšíří na tvar

$$\sigma = E \cdot (1 + j \cdot \eta) \cdot \varepsilon \quad (1)$$

Kde je E [N/m²] dynamický modul pružnosti,

σ [N/m²] napětí,

η [-] činitel vnitřního tlumení,

ε [-] poměrné prodloužení.

Hodnotu $E \cdot (1 + j \cdot \eta)$ můžeme nazvat komplexním modulem pružnosti. Činitel vnitřního tlumení je možno definovat vztahem

$$\eta = \frac{I_q}{I} = \frac{E_{Im}}{E_{Re}} \quad (2)$$

Kde je I_q [W/m²] část intenzity chvění přeměněné na teplo

I [W/m²] celková intenzita chvění

E_{Im} [W/m²] imaginární část modulu pružnosti

E_{Re} [W/m²] reálná část modulu pružnosti

Činitel vnitřního útlumu je rovněž možno definovat jako tangentu fázového úhlu mezi deformací a napětím. Ten se zvětšuje tak, jak rostou vnitřní ztráty [7].

4.2 Rozdělení měřících metod

Dělení způsobu měření modulu pružnosti a vnitřního tlumení dle frekvenčního kritéria:

Infrazvukové metody (10^{-4} až 10^2 Hz) - metody statické a dynamické hysterézní smyčky se používají při studiu charakteristik vnitřního tlumení a modulu pružnosti materiálu při napětích blízkých mezi únavy a nebo nad ní. Metoda spočívá v současném měření velikosti napětí σ a vznikající deformace ε v procesu postupného zatěžování a odlehčování vzorku.

Zvukové (10^2 až 10^4 Hz) a ultrazvukové metody (10^5 až 10^8 Hz) - princip této metody je takový, že na vzorek působí periodická síla vznikající v důsledku buzení. Toto buzení vyvolá kmitání vzorku. Způsoby buzení vzorku mohou být různé (elektrostatické, elektrodynamické, elektromagnetické)

Základní rozdělení měřících zařízení: s upevněným vzorkem v uzlových bodech dotykovým způsobem a upevnění vzorku v uzlu kmitů bezkontaktním způsobem.

Hyperzvukové metody (až 10^{11} Hz) - při této metodě se generují akustické vlny s velmi vysokou frekvencí (rozmezí kolem 10^9 Hz) a měří se absorpce těchto vln ve zkoumaném materiálu. Tato metoda je velmi technicky náročná.

Dělení metod měření modulu pružnosti a vnitřního tlumení dle úrovně automatizace:

Podle úrovně automatizace lze metody měření rozdělit na neautomatizované, poloautomatizované, a automatizované. V případě automatizovaných metod jsou procesy snímání a buzení kmitů včetně registrace údajů v analogové nebo digitální podobě zcela automatizovány. Plně automatizované systémy jsou řízené počítačem včetně zpracování údajů a vyhodnocování výsledků [8].

5 VŘETENA

Účelem vřetena je zaručit obrobku (např. na soustruhu) nebo nástroji (např. na frézce, vrtačce, brusce) přesný otáčivý pohyb, tj. takový, při němž dráhy jednotlivých bodů obrobků nebo nástroje se liší od kružnice jen v přípustných mezích. Funkce vřetena je shodná s funkcí kruhového vedení a vřeteno se od něho liší jen tvarem a konstrukčním provedením [9].

5.1 Požadavky na vřetena

5.1.1 Přesnost chodu

Přesnost chodu je určena velikostí radiálního a axiálního házení. Dovolené odchylky jsou závislé na druhu stroje a požadované přesnosti výroby. Musí být značně menší než povolené odchylky při výrobě, neboť navíc působí deformace při zatížení vřetena.

5.1.2 Dokonalé uložení

Vřeteno nesmí měnit polohu v prostoru, mění-li se jeho zatížení co do velikosti, směru i smyslu.

5.1.3 Dokonalé vedení

V uložení vřetena je nutno zabezpečit jeho dlouhodobou přesnost a možnost regulování vůlí vzniklých opotřebením. Na velikosti vůle v uložení závisí nejen přesnost chodu a jeho teplota, ale i únosnost a trvanlivost ložisek.

5.1.4 Vysoká účinnost vedení

Ztráty v uložení vřetena musí být co nejmenší, neboť vždy znamenají vznik tepla, které se šíří jak do jednotlivých dílů – ložiska, vřeteno, skříň, tak do mazacího prostředku. Tepelné dilatace způsobují změnu polohy vřetena, změnu přesnosti jeho chodu a mohou i zhoršovat funkci – změna vůle. Oteplení mazacího prostředku mění jeho základní vlastnosti a může způsobit v souvislosti se změnami vůlí a polohy vřetena v uložení poškození ložiska.

5.1.5 Tuhost

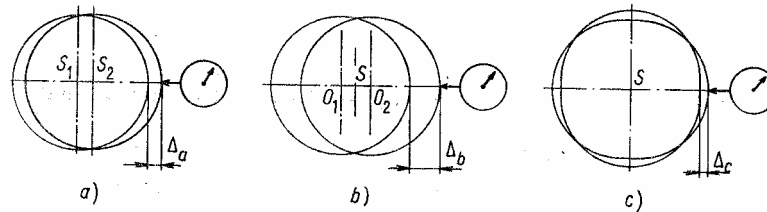
Vřeteno musí být velmi tuhé, neboť jeho deformace má rozhodující vliv na přesnost práce obráběcího stroje. Přesnost chodu vřetena, získaná vysokou přesností jeho výroby a uložení, může být ztracena jeho malou tuhostí, tj. velkou deformací při zatížení. Tuhost vřetena tedy rozhodující měrou určuje dosažitelnou hospodárnou přesnost práce obráběcího stroje.

5.1.6 Dynamická stabilita

Odolnost vřetena proti chvění, schopnosti chvění utlumit, má opět rozhodující vliv na práci obráběcího stroje, zejména na dosažitelnou kvalitu povrchu obrobené plochy. Tato vlastnost je zvlášť důležitá u strojů obrábějících vícebřitovými nástroji (frézka, bruska), neboť charakter jejich práce je příčinou periodicky proměnlivého zatížení vřetena [9].

5.2 Přesnost chodu vřeten

Kontroluje se na předním konci vřetena na ploše, která má přímý vliv na přesnost otáčení obrobku – upínací kužel pro soustružnický hrot popř. plocha pro upevnění – ustředění sklíčidla – nebo nástroje – kuželová, válcová popř. čelní plocha podle ČSN.



Obr. 7. Radiální házení vřetena

Radiální házení je způsobeno:

1. Nepřesností otáčení vřetena – osa vřetena mění během jedné otáčky svou polohu mezi dvěma krajními body S_1 a S_2 (obr. 7a). Tato nepřesnost je způsobena házením jednoho nebo obou ložisek, ve kterých je vřeteno uloženo.
2. Nesouosostí plochy, na níž měříme, s osou otáčení (Δb na obr. 7b). Chyba je způsobena nepřesnostmi výroby.
3. neokrouhlým tvarem příslušné plochy (Δc na obr. 7c). Chyba je opět způsobena odchylkami při výrobě.

Výsledné radiální házení naměřené úchylkoměrem je vždy složeno z těchto tří dílčích nepřesností. Chyby ad 2. a 3. lze zmenšit zvýšením přesnosti při výrobě (obrábění vřetena). Nepřesnost otáčení vřetena způsobenou házením ložisek lze snížit volbou přesnějšího druhu ložisek.

Vliv radiálního házení ložisek na výsledné házení předního konce vřetena je závislý na rozměrech uložení a na velikosti směru házení obou ložisek (obr. 8). Označíme-li házení zadního ložiska Δ_A a předního ložiska Δ_B , přičemž obě jsou stejného směru a smyslu, platí podle obr. 8a:

$$\Delta_1 = \Delta_B + \frac{a}{l}(\Delta_B - \Delta_A). \quad (3)$$

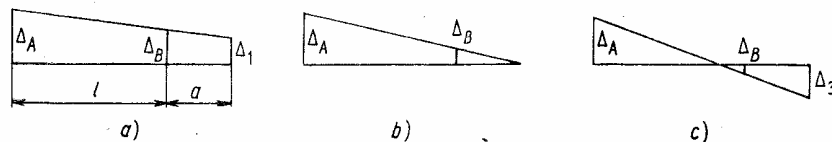
Dosáhne-li se poměru mezi velikostmi házení složek

$$\frac{\Delta_A}{\Delta_B} = \frac{l+a}{a}, \quad (4)$$

Bude $\Delta_2=0$ a vřeteno nebude na volném konci házet (obr. 8b).

Budou-li házení obou ložisek v jedné rovině, ale opačného smyslu, bude výsledné házení na předním konci vřetena největší (obr. 8c).

$$\Delta_3 = \Delta_B + \frac{a}{l} \cdot (\Delta_B + \Delta_A). \quad (5)$$



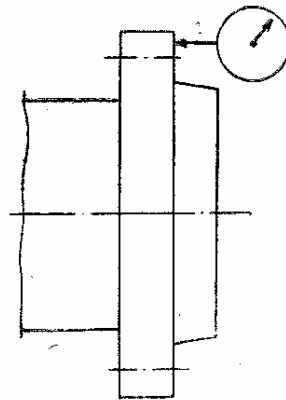
Obr. 8. Vliv házení ložisek na radiální házení předního konce vřetene

Pro volbu a montáž ložisek vřeten obráběcích strojů obecně platí:

Aby radiální předního konce vřetena bylo co nejmenší, je třeba volit přední ložisko – hlavní – s vyšší přesností, tj. s menším házením než má zadní, a montovat je tak, aby obě házela v jedné rovině ve stejném smyslu (obr. 8a). Pro hlavní ložisko je tedy nutno vždy použít valivého ložiska se zvýšenou přesností chodu a pro zadní ložisko je možno použít ložiska běžné přesnosti.

Axiální házení se kontroluje (zjišťuje) na čelní ploše vřetena (obr. 9) a je způsobeno:

1. axiálním házením ložiska,
2. nedokonalou kolmostí dosedací plochy ložiska,
3. nedokonalou kolmostí čelní plochy vřetena k ose otáčení.



Obr. 9. Axiální házení
vřetena

Axiální házení zjištěné na čelní ploše vřetena nebo na čelní upínací ploše upínací desky se zdánlivě odstraní, obrábí-li se příslušná plocha po montáži na vlastním ústrojí. Úchylkoměr v místě nože neukáže žádnou odchylku [9].

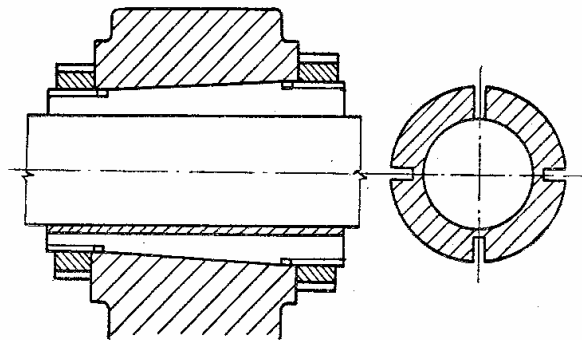
5.3 Uložení vřeten

Vzhledem k velké přesnosti, s jakou je dnes možné průmyslově vyrobit valivá ložiska, používá se k uložení vřeten převážně valivých ložisek, a to i pro uložení velmi náročná na přesnost. Pouze ve zvláštních případech, kde jsou velmi vysoké požadavky na přesnost a klidnost chodu, používá se speciálních kluzných ložisek (např. uložení vřeten brusných vřeteníků a přesných vyvrtávaček). Někdy se však i používá kluzných ložisek k uložení vřeten levných jednoduchých strojů.

5.3.1 Kluzná ložiska

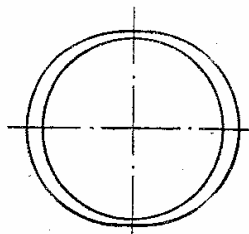
Radiální uložení

Na obr. 10 je jednoduché ložisko s bronzovou pánví, na vnějším povrchu kuželovou. Poddajná pánev se při vymezování vůle zatahuje do kuželové díry v tělese vřeteníku. Poněvadž se při tom poruší kruhový tvar díry, je třeba pánev znova zaškrabat do kruhového tvaru. Rozříznutí nesmí být v místě přívodu oleje ani v místě olejového filmu.



Obr. 10. Jednoduché ložisko vřetena
s bronzovou pánví

K odstranění vlivu vůle, zvýšení tuhosti a zmenšení opotřebení se dělají různé úpravy pánve.

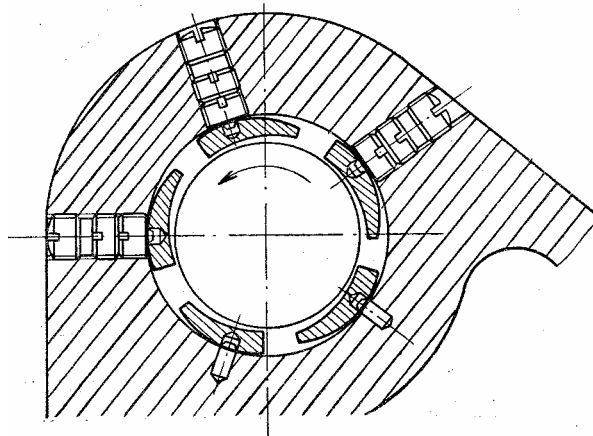


Obr. 11. Pánev s
oválnou dírou

Na obr. 11 je pánev s oválnou dírou vřeten soustruhů. Poněvadž u soustruhů je rozhodující pro přesnost práce zachování polohy osy vřetena ve vodorovném směru, má čep

v tomto směru pouze nepatrnou vůli, vůle potřebná k vytvoření nosného olejového filmu je v dolní a horní části pánve.

K uložení brusných vřeten jsou velmi vhodná ložiska segmentová. Segmenty jsou uloženy výkyvně, úhel jejich sklonu se nastaví samočinně podle obvodové rychlosti a zatížení. Mažou se olejem o tlaku 0,03 MPa až 0,05 MPa.



Obr. 12. Segmentové ložisko

Pro velmi zatížená ložiska jsou vhodná hydrostatická a pro velmi rychloběžná ložiska pneumatická ložiska.

Axiální uložení

Axiálního kluzného ložiska se používá velmi zřídka, a to tam, kde se má omezit axiální házení na nejmenší míru a kde se vyžaduje vysoká tuhost. Při velmi malých rychlostech stačí kalený ocelový kroužek stýkající se s kroužkem vylitým kompozicí nebo bronzem. Pro velké tlaky se použije segmentového ložiska.

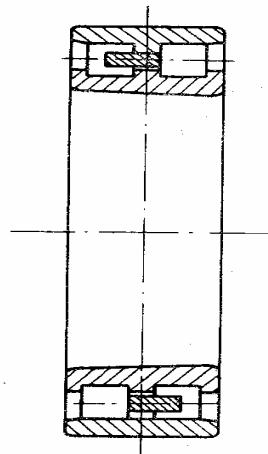
5.3.2 Valivá ložiska

Pro své výhody (možnost vymezení, popřípadě úplného odstranění vůle, předepnutí, vysoká tuhost, jednoduché mazání) a vzhledem k tomu, že se vyrábějí s vysokou přesností,

je jejich použití k uložení vřeten velmi rozšířeno, a to i tam, kde se dříve pro velkou požadovanou přesnost používalo ložisek kluzných. Jedinou jejich nevýhodou je neschopnost tlumení kmitání.

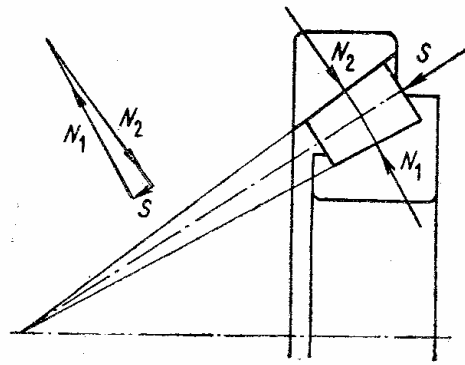
Radiální uložení

Dvouřadé válečkové ložisko s kuželovým vrtáním vnitřního kroužku (obr. 13) má velký počet valivých tělísek, jejichž řady jsou vzájemně posunuty o polovinu rozteče valivých tělísek. Proto má velkou únosnost a klidný chod. Axiálním natahováním na kužel čepu se vnitřní kroužek roztahuje, vymezuje se tak vůle, popřípadě lze dosáhnout radiálního předpětí. Vyrábí se s vysokou přesností a dá se použít pro velká zatížení (vřetena soustruhů a frézek) i pro vysokou požadovanou rychlost (unášecí i brusná vřetena brusek). Obvykle se dvouřadého válečkového ložiska používá jako hlavního ložiska vřetena. Pro velmi zatížená vřetena a velké nároky na přesnost se ho používá i jako zadního ložiska.



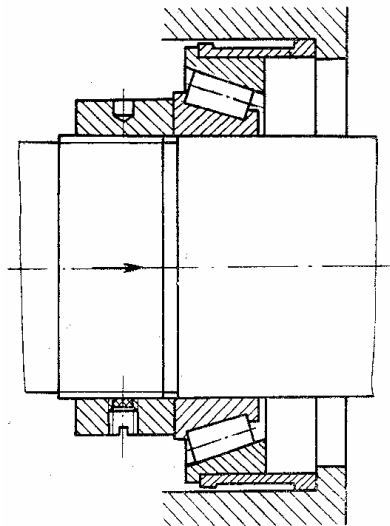
Obr. 13. Dvouřadé válečkové ložisko s kuželovým vrtáním vnitřního kroužku

Kuželíková ložiska jsou velmi únosná, přenášejí současně radiální i axiální zatížení, dá se u nich jednoduše vymezit vůle a dosáhnout předpětí. Obecnou jejich nevýhodou je poměrně velké oteplování, neboť složka S reakce přitlačuje čelo kuželíku k okraji valivé dráhy vnitřního kroužku (obr. 14).



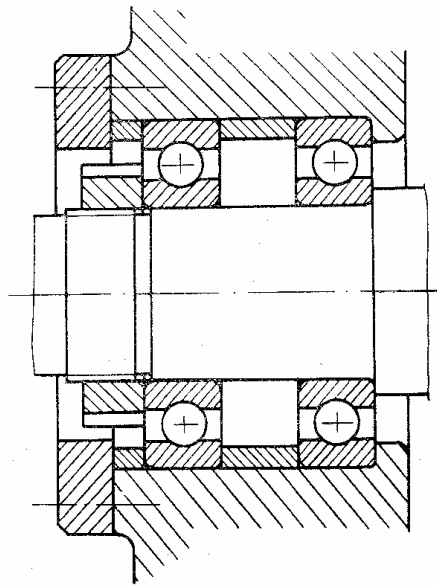
Obr. 14. Zatížení a reakce působící na kuželík kuželíkového ložiska

Kluzné tření v tom místě je hlavním zdrojem oteplování. Přistupují k tomu ztráty v důsledku nedokonalého splnění podmínek valení mezi valivými dráhami a valivými tělisky následkem výrobních nepřesností. Aby se umožnila radiální tepelná dilatace ložiska a nedocházelo k nežádoucímu předpětí, vkládá se vnější kroužek do poddajného pouzdra (obr. 15). Pro uvedené nevýhody se hodí běžná kuželíková ložiska k uložení vřeten pouze v podřadných případech, např. u speciálních hrubovacích strojů.



Obr. 15. Kuželíkové ložisko uložené v poddajném pouzdře umožňujícím radiální tepelnou dilataci

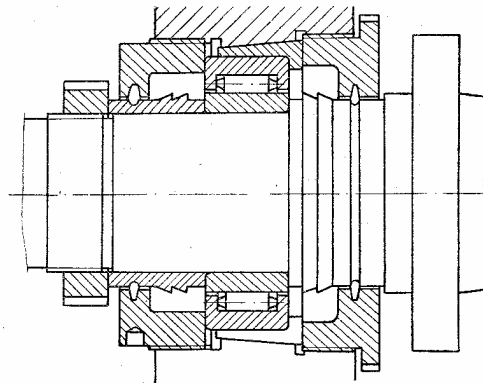
Jednořadá radiální kuličková ložiska jsou vhodná pro vysoké otáčky a velmi malé zatížení. U dvou ložisek montovaných vedle sebe je možné vzájemným posunutím kroužků vymezit radiální vůle, popřípadě dosáhnout předpětí (obr. 16). V tom případě se volí ložiska s radiální vůlí větší, než je normální, aby se zvětšil úhel styku β . Přesto jsou však tato ložiska velmi choulostivá pro tento způsob předepnutí, neboť nepatrná axiální deformace v nich vyvolává značné radiální zatížení, zmenšující jejich trvanlivost. Vhodnější jsou kuličková ložiska s kosoúhlým stykem.



Obr. 16. Spárovaná radiální kuličková ložiska

Dále se pro uložení vřeten používají jehlová ložiska. Jejich výhodou je velká tuhost a únosnost, klidný chod a velmi malý vnější průměr. Jehly vedle valení také prokluzují, a to zejména v odlehčené části ložiska a při vysokých otáčkách, takže v ložisku vzniká kluzné tření a ložisko musí být dokonale mazáno a mít poměrně velkou vůli (0,02 až 0,03 mm). Aby se odstranil vliv této vůle na přesnost chodu, dělá se ložisko ve zvláštní úpravě (obr. 17). Vnější kroužek má na povrch tři žebra o výšce několika setin milimetru, rozložená po 120° . Je uložen v rozříznutém pružném pouzdře s vnějším kuželovým povrchem, které se zatlačuje vložkou se závitem do kuželové díry v tělese, a tím v místech žeber na vnější kroužek ložiska. Valivá dráha se tím deformuje, takže v místech žeber se vymezuje vůle a v místech mezi nimi zůstává větší prostor pro olej. Má-li být dosaženo předpětí, je jedno ze

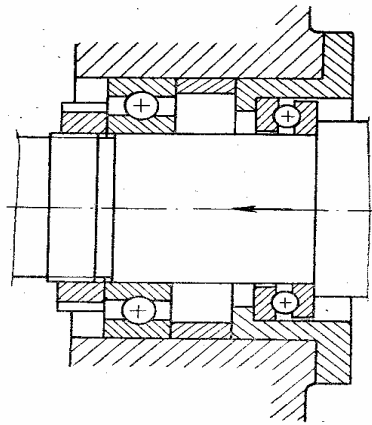
zmíněných žebér odpruženo předepnutými pružinami. Maximální otáčky závisí na velikosti vůle.



Obr. 17. Jehlové ložisko Delta

Axiální uložení

Běžná axiální kuličková ložiska mají velmi malé axiální házení a velkou axiální tuhost. Výhodné umístění axiálních ložisek je na zadním konci vřetena, kde je jeho nejmenší průměr. V tom případě má však tepelná dilatace vřetena vliv na polohu předního konce s upínačem, což je na úkor přesnosti stoupání řezaného závitu na soustruhu. Pro malé radiální zatížení zadního ložiska je vhodné uspořádání podle obr. 18. Poměrně velké pracovní axiální zatížení vřetena (ve směru šipky) přejímá axiální kuličkové ložisko o velké únosnosti. Radiální zatížení a axiální v opačném směru, které bývá velmi malé, je zachyceno radiálním kuličkovým ložiskem. Maticí je možné vymezit vůle, popřípadě dosáhnout předpětí.



Obr. 18. Axiální kuličkové ložisko kombinované s jednořadým radiálním kuličkovým ložiskem

Pro vyšší otáčky jsou vhodná axiální ložiska s kosoúhlým stykem typu SKF 2344. Nejsou-li tato ložiska k dispozici, používá se spárovaných radiálních ložisek s kosoúhlým stykem. Pro poměrně malé síly mohou být zatížena i radiálně. Proti dříve uvedeným ložiskům mají menší axiální tuhost.

Pro velmi vysoké otáčky při velmi malém axiálním zatížení lze použít jednořadého radiálního kuličkového ložiska bez plnicího otvoru. Pro tento účel se volí ložiska s větší radiální vůlí, než je běžná, aby se dosáhlo určitého úhlu styku β , který v ložisku bez vůle je roven nule. Přesto je tento úhel velmi malý, a proto je jejich axiální únosnost a axiální tuhost velmi malá a axiální házení poměrně velké. Obvykle se montují dvě ložiska spárovaná.

Pro velká axiální zatížení a vysoké požadavky na přesnost v axiálním směru a na tuhost se používá axiálních jehlových ložisek. Jehly jsou uloženy ve speciální kleci, která při vysokých otáčkách je středěna na čepu ložiska. Nevýhodou je velké oteplování, proto se musí hodně mazat. Podobně jsou uspořádána i válečková axiální ložiska [9].

5.4 Přední konce vřeten

Přední konce vřeten na něž se upevňuje upínač obrobku nebo nástroje jsou normalizovány. Přední konce vřeten vrtaček a vyvrtávaček jsou opatřeny kuželem Morse nebo metrickým k upevnění stopky vrtáku nebo unášecího zařízení [9].

6 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Tato práce se zabývá vývojem vřeteníku obráběcího stroje z konstrukčních polymerů. Cílem této diplomové práce je navrhnout vhodný konstrukční polymer pro konstrukci vřeteníku. K tomu je třeba prostudovat literaturu z oblasti tlumení kmitů. Na vzorcích z příslušných materiálů je třeba provést měření vnitřního útlumu a tahové zkoušky. Na základě těchto výsledků měření je navržen vhodný materiál a vyhodnocen přínos použití nových materiálů. Na základě výkresové dokumentace provést konstrukci vřeteníku z konstrukčních polymerů v softwaru INVENTOR 6.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 POUŽITÉ KONSTRUKČNÍ MATERIÁLY

7.1 ABS (Akrylonitril-butadien-styren)

Vlastnosti

$\rho = 1,05 \text{ g/cm}^3$, $\sigma = 31\text{-}37 \text{ MPa}$, $E = 4000 \text{ MPa}$, rázová houževnatost $> 70 \text{ kJ/m}^2$, použitelný od -40 do $80 \text{ }^\circ\text{C}$.

Při plnění skelným vláknem: $\rho = 1,36 \text{ g/cm}^3$, $\sigma = 123 \text{ MPa}$, $E = 7100 \text{ MPa}$, rázová houževnatost 59 kJ/m^2 .

Odolný vůči chemikáliím, tvrdý, lesklý, povrch je možno pokovovat = levný konstrukční materiál.

Zpracování

Vstřikováním, válcováním, vytlačováním, tvarováním, vyfukováním. Lze jej lepit, svařovat, galvanicky pokovovat, vstříkovat s nadouvadly.

Použití

Není vhodný pro venkovní použití – nutná stabilizace (nejlépe přídavkem sazí). Na náročné technické aplikace – vnitřní a vnější díly automobilů (přístrojové desky, ozdobné mřížky masek), vysavače, mixéry, pračky, zavazadla, telefony, nábytek, potrubí, atd. [12].

7.2 POM (Polyoxymetylén)

Vlastnosti

$\rho = 1,41 \text{ g/cm}^3$, $\sigma = 97\text{-}102 \text{ MPa}$, $E = 2700\text{-}3200 \text{ MPa}$, velmi dobré mechanické vlastnosti až do $-30 \text{ }^\circ\text{C}$, teplota tání $164\text{-}172 \text{ }^\circ\text{C}$, vysoká odolnost proti oděru, je svařitelný, pokovovatelný, dobré kluzné vlastnosti, nízká odolnost proti povětrnosti.

Zpracování

Vstřikování, vytlačování, vyfukování při $200 \text{ }^\circ\text{C}$. Ve formě prášku lze fluidně nanášet na kovy.

Použití

Technické dílce – ozubená kola, západky namáhané rázem, ložiska, tlakové nádoby, automobilový průmysl, domácí spotřebiče, elektro [12].

7.3 PA (Polyamid)

PA 66 (nylon)

Vlastnosti: $\rho = 1,14 \text{ g/cm}^3$, $\sigma = 70 \text{ MPa}$, $E = 3000 \text{ MPa}$, použitelný od -30 do $120 \text{ }^\circ\text{C}$.

Použití: folie, vlákna

PA 6 (silon)

Vlastnosti: $\rho = 1,13 \text{ g/cm}^3$, $\sigma = 70 \text{ MPa}$, $E = 2800 \text{ MPa}$, použitelný od -30 do $100 \text{ }^\circ\text{C}$, houževnatý, odolný proti oděru

Použití: textilní a technická vlákna, konstrukční materiál na ložiska, ozubená kola [12].

7.4 PP (Polypropylén)

Vlastnosti

$\rho = 0,908 - 0,912 \text{ g/cm}^3$, $\sigma = 34-38 \text{ MPa}$, $E = 1100-1500 \text{ MPa}$, $T_m \sim 170 \text{ }^\circ\text{C}$, křehký pod $0 \text{ }^\circ\text{C}$, výborné elektroizolační vlastnosti, dobrou chemickou odolnost, nerozpustných ve všech organických rozpouštědlech.

Zpracování

Vstřikování, vytlačování, vyfukování, lisování při teplotách do $280 \text{ }^\circ\text{C}$.

Použití

Trubky, fólie, desky, předměty domácí spotřeby s vyšší tuhostí a teplotní odolností, orientované pásy, obaly, automobilový průmysl (výplně dveří, palubní desky, ventilátory, nárazníky), vlákna, kompozity [12].

7.5 PVC (Polyvinylchlorid)

Vlastnosti

$\rho = 1,36 \text{ g/cm}^3$, $\sigma = 35 \text{ MPa}$, $E = 2500 \text{ MPa}$, $T_g = 82 \text{ }^\circ\text{C}$, vynikající odolnost vůči vodě, kyselinám, zásadám i organickým chemikáliím, vysoká tvrdost, odolnost proti oděru a mechanická pevnost, dobré elektroizolační vlastnosti, vysoký lesk a čírost, samozhášivost.

Zpracování

Vstřikování, vytlačování, lisování, válcování, tepelné tvarování

Použití

Trubky, fólie, desky, armatury na odpadní vodu, profily ve stavebnictví (okna), duté výrobky (láhve na kosmetiku a čisticí prostředky) [12].

7.6 PTFE (Polytetrafluoretylen)

Vlastnosti

$\rho = 2,14 - 2,20 \text{ g/cm}^3$, $\sigma = 17 - 26 \text{ MPa}$, $E = 350 - 410 \text{ MPa}$, $T_m = 345 \text{ }^\circ\text{C}$, použitelnost $150 - 260 \text{ }^\circ\text{C}$, nehořlavý, zdravotně nezávadný, nerozpustný, vysoce chemicky odolný, velmi vysoká viskozita taveniny, vysoká houževnatost, vynikající elektrické izolační vlastnosti, výrazné adhezivní vlastnosti

Zpracování

Vytlačování, studené slisování (poté slinování), nanášení

Použití

Těsnění, ucpávky, antiadhezní povlaky, separační povlaky, izolace vodičů, písní kroužky, hadice, armatury, trubky, kluzné elementy, povlakování povrchů [12].

7.7 PE (Polyetylén)

LDPE (nízkohustotní PE)

Vlastnosti

$\rho = 0,915 - 0,925 \text{ g/cm}^3$, $\sigma = 9 - 15 \text{ MPa}$, $E = 200 - 400 \text{ MPa}$, $T_m = 105 - 115 \text{ }^\circ\text{C}$, krystalinita $50 - 70 \%$, dobré tokové vlastnosti, houževnatý do $-70 \text{ }^\circ\text{C}$

Zpracování

Vytlačování, vyfukování, vstřikování

Použití

Obalové a zemědělské fólie, trubky, desky, sáčky [12].

7.8 PS (Polystyren)**Vlastnosti**

$\sigma = 31 \text{ MPa}$, $E = 3200 \text{ MPa}$, $T_g = 90 - 100^\circ\text{C}$, použitelný do 75°C , má sklon ke korozi za napětí, je tvrdý, ale značně křehký, vynikající optické vlastnosti, kvalitní lesklý povrch, výborná zpracovatelnost, malá nasákavost vody, vynikající elektrický a tepelný izolant, nízká chemická odolnost vůči organickým rozpouštědlům.

Zpracování

Vytlačování, vstřikování, tepelné tvarování desek, lepení, svařování.

Použití

Obaly, hračky, kelímky, součást osvětlovacích těles, elektro-technické součástky [12].

7.9 PMMA (Polymetylmetakrylát)**Vlastnosti**

$\rho = 1,18 \text{ g/cm}^3$, $\sigma = 67 - 70 \text{ MPa}$, $E = 3000 \text{ MPa}$, $T_g = 100^\circ\text{C}$, rázová houževnatost 15 kJ/m^2 , sklovitě čirý, částečně propouští UV, propustnost světla 92 %, velmi odolný proti povětrnosti, tvarovatelný při $130 - 140^\circ\text{C}$, velmi dobré elektroizolační vlastnosti, pokovovatelný, použitelný do 80°C , dobře se mechanicky obrábí

Zpracování

Vytlačování, vstřikování, tvarování, mechanické opracování (řezání, frézování...)

Použití

Trubky, desky, tyče, profily, kryty [12].

7.10 Oceli třídy 14

Jsou to oceli legované Cr, Mn, Si, popř. ještě Ni, Al, Ti. Jsou vhodné k cementování, zušlechťování nebo povrchovému kalení. Mají zvýšenou prokalitelnost.

Oceli k cementování – mají nízký obsah C, velkou tvrdost povrchu, s přísadou Ti je můžeme cementovat v plynném prostředí při teplotách 920 °C a 980 °C.

Oceli k nitridování – používá se na součásti u nichž se žádá co největší povrchová tvrdost, před nitridováním se součásti ještě zušlechťují.

Oceli k zušlechťování – používají se pro výrobu součástí nejrůznějších strojů jako pístní kroužky, vačky, ozubená kola, pastorky, čepy, ojnice, klikové hřídele.

Oceli k povrchovému kalení – mají menší prokalitelnost, ale vyšší pevnost v tahu.

Oceli na valivá ložiska – velká metalurgická čistota, tvrdost, odolnost proti opotřebení, vysoká pevnost v tlaku [13].

7.11 Oceli třídy 16

Jsou to oceli legované hlavně niklem (až 5 %) a v kombinaci s chromem, patří mezi nízko a středně legované oceli.

Oceli k cementování – vlivem niklu mají houževnaté jádro i při jeho dostatečné pevnosti, jsou málo citlivé na přehřátí, používají se na zvlášť namáhané součásti jako drážkové hřídele, pastorky, kola diferenciálu.

Oceli k zušlechťování – jsou dobře prokalitelné, pokles tvrdosti směrem jádru je velmi mírný, jsou vhodné na namáhané strojní součásti, u nichž se při dostatečné pevnosti žádá vysoká houževnatost a někdy i malé deformace po kalení, hodí se pro výrobu výstředníkových hřídelů, ozubených kol, klikových hřídelů.

Oceli pro velké výkovky – jsou vhodné na rotory elektrických generátorů, turbín, klikové hřídele, válce pro vysoké tlaky, turbínová kola, vysoce namáhaná ozubená kola a jiné důležité výkovky [13].

7.12 Oceli třídy 19

Jsou to nástrojové oceli. Požaduje se u nich vysoká tvrdost a pevnost, dostatečná houževnatost, odolnost proti opotřebení, vhodná prokalitelnost a leštitelnost.

Nástrojové oceli nelegované – na jejich vlastnosti má největší vliv obsah uhlíku, tvrdost oceli v zakaleném stavu vzrůstá se stoupajícím obsahem asi do 1 % C, při vyšším obsahu C se tvrdost oceli výrazně nemění, ale zvětšuje se obsah cementitu, který zvyšuje odolnost proti otěru, nevýhodou je, že se do určité míry snižuje houževnatost, jsou vhodné na ruční nástroje.

Nástrojové oceli legované – hlavními legovacími prvky jsou tzv. karbidotvorné prvky (Cr, V, W, Mo), které tvoří tvrdé a až do vysokých teplot stálé karbidy, a dále prvky nekarbidotvorné (Ni, Si, Co), z legovaných ocelí se vyrábějí téměř všechny druhy řezacích, stříhacích, tvářecích a jiných nástrojů.

Podle provozních podmínek se dělí na legované oceli pro práci za tepla a pro práci za studena. K hlavním požadavkům na legované oceli pro práci za studena zařazujeme vysokou tvrdost, odolnost proti otěru a dobrou řezivost při vyhovující houževnatosti a prokalitelnosti. Hlavním legovacím prvkem je chrom. Podle požadovaných vlastností obsahují ještě W, V, Mo, Ni v různých kombinacích a množstvích. Oceli pro práci za tepla mají velkou odolnost proti popouštění, vysokou houževnatost při poměrně značné pevnosti a prokalitelnosti. Pokud jde o chemické složení, liší se od předchozích nižším obsahem C a vyšším obsahem W, až 15 %.

Nástrojové oceli rychlořezné – používají se k výrobě výkonných a vysoce výkonných řezných nástrojů a také nástrojů pro tváření za studena, hlavními legovacími prvky jsou W, Cr, V, Mo, Co [13].

7.13 Šedá litina

K její přednosti patří především nízká cena a dobrá slévatelnost, takže z ní jde odlévat i složité odlitky s malou tloušťkou stěny. Její významnou vlastností je velmi dobrá schopnost útlumu.

Mechanické vlastnosti šedé litiny ovlivňuje hlavně grafit, který je vyloučen ve struktuře jako tzv. lupínkový grafit. Čím méně bude ve struktuře grafitu, tím vyšší bude pevnost

v tahu a ohybu. Pevnost v tahu je odstupňována po 50 MPa a pohybuje se od 100 do 350 MPa.

Ze šedé litiny se odlévají nejrůznější odlitky, jako např. smaltované zboží, vodovodní roury, součásti textilních a hospodářských strojů, méně namáhaná ozubená kola, skříně, bloky motorů, hlavy válců, stojany, odlitky obráběcích strojů [14].

8 MĚŘENÍ PŘENOSOVÉHO ÚTLUMU MATERIÁLU

Porovnání materiálů bylo provedeno metodou nuceného kmitání.

8.1 Přenosový útlum materiálu

Přenosový útlum materiálu je dán vztahem:

$$D = 20 \cdot \log \frac{|v_2|}{|v_1|} \quad [\text{dB}] \quad (6)$$

kde: $|v_1|$ – amplituda rychlosti na výstupní straně vzorku

$|v_2|$ – amplituda rychlosti na vstupní straně vzorku

V našem případě se jedná o nucené kmitání vzorků s harmonickou změnou napětí a deformace při různých frekvencích. Potom můžeme rovnici upravit do tvaru:

$$D = 20 \cdot \log \frac{|a_2|}{|a_1|} \quad [\text{dB}] \quad (7)$$

kde: $|a_1|$ – amplituda zrychlení na výstupní straně vzorku

$|a_2|$ – amplituda zrychlení na vstupní straně vzorku

Amplitudy zrychlení jsou změřeny pomocí připojených akcelerometrů na vstupní (resp. výstupní) straně vzorku.

8.2 Zkoumané materiály

Měření bylo prováděno na polymerních materiálech. Cílem měření bylo zjistit, který materiál má nejlepší tlumící vlastnosti. Přehled použitých polymerních materiálů je uveden v tab. 1

Tab. 1. Přehled polymerních materiálů

POLYMERNÍ MATERIÁLY			
Druh materiálu	Hmotnost [g]	Objem [cm ³]	Hustota [g/cm ³]
PP	44,70	50,04	0,89
PVC	76,60	53,53	1,43
POM	73,60	53,20	1,38
PTFE	120,90	56,17	2,15
PA 66	59,20	52,85	1,12
PE	48,70	27,91	1,74
Tvrzená pryž	60,80	52,33	1,16

Dále bylo provedeno porovnání s různými druhy materiálů. Tyto materiály jsem rozdělil do skupin jejichž přehled je rovněž uveden v tabulkách.

Tab. 2. Přehled kovových materiálů

KOVOVÉ MATERIÁLY			
Druh materiálu	Hmotnost [g]	Objem [cm ³]	Hustota [g/cm ³]
Cu	600,10	68,33	8,78
Ti	190,60	43,73	4,36
Dural	178,80	68,05	2,63
Šedá litina	708,60	100,12	7,08

Tab. 3. Přehled ocelí

OCELI			
Druh materiálu	Hmotnost [g]	Objem [cm ³]	Hustota [g/cm ³]
14	195,34	24,55	7,96
16	195,68	24,55	7,97
19	192,52	24,80	7,76

Tab. 4. Přehled dřeva

DŘEVO			
Druh materiálu	Hmotnost [g]	Objem [cm ³]	Hustota [g/cm ³]
Smrk	22,40	45,43	0,49
Dřevotříska 1	30,60	42,83	0,71
Dřevotříska 2	33,10	47,56	0,70
Překližka	33,10	45,17	0,73
Dub - v podélném směru	43,10	64,94	0,66
Dub - v příčném směru	43,10	64,94	0,66

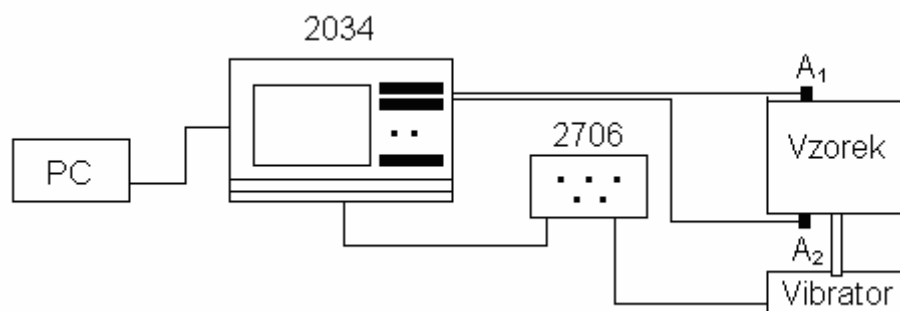
Tab. 5. Ostatní použité materiály

OSTATNÍ MATERIÁLY			
Druh materiálu	Hmotnost [g]	Objem [cm ³]	Hustota [g/cm ³]
PS - lehčený	1,00	78,75	0,01
Pryž	57,90	54,68	1,06
PUR pěna	1,10	43,05	0,03
Beton	120,80	71,08	1,70

Měření přenosového útlumu bylo provedeno ve frekvenčním rozsahu $f = \langle 50, 1000 \rangle$ Hz s frekvenčním krokem $\Delta f = 25$ Hz při teplotě okolí 20 °C.

8.3 Měřicí zařízení

Měření přenosového útlumu bylo provedeno na zařízení firmy Brüel & Kjær. Toto zařízení se skládalo z analyzátoru Brüel & Kjær 2034, vibrátoru Brüel & Kjær 4810 a výkonného zesilovače Brüel & Kjær 2706. Vibrátor je umístěn na stojanu v nádobě s pískem. Písek zabraňuje přenášení chvění z budovy nebo jiných zdrojů vibrací. Měření bylo provedeno metodou nucených kmitů. Pomocí akcelerometrů byly naměřeny amplitudy zrychlení na vstupní a výstupní straně vzorku. Akcelerometry by měly být umístěny co nejbližší středu a v jedné přímce. Měření bylo provedeno bez přídavné zátěže. Akcelerometr měřící amplitudu zrychlení na výstupní straně vzorku byl připevněn přímo na vzorek. Přenosový útlum byl stanoven z rovnice (7). Naměřená data byla zaznamenána na PC.



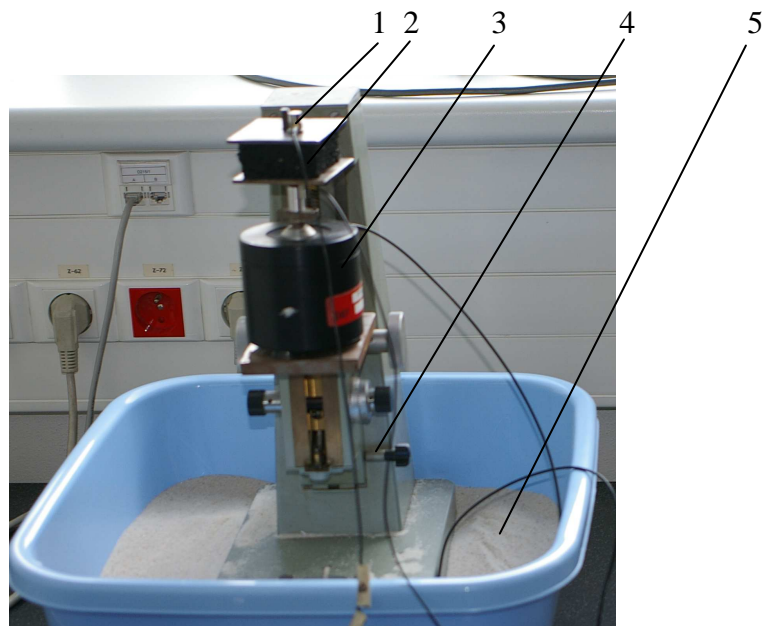
Obr. 19. Blokové schéma měřícího zařízení



Obr. 20. Analyzátor Brüel & Kjær 2034

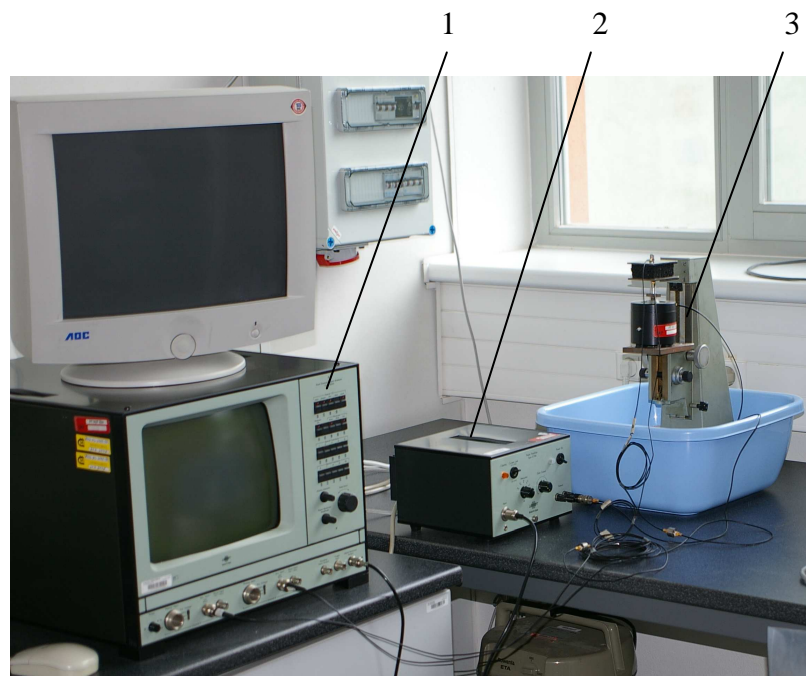


Obr. 21. Výkonový zesilovač Brüel & Kjær 2706



Obr. 22. Umístění vibrátoru Brüel & Kjær 4810

1 – akcelerometr, 2 – vzorek, 3 – vibrátor
Brüel & Kjær 4810, 4 – stojan, 5 – písek



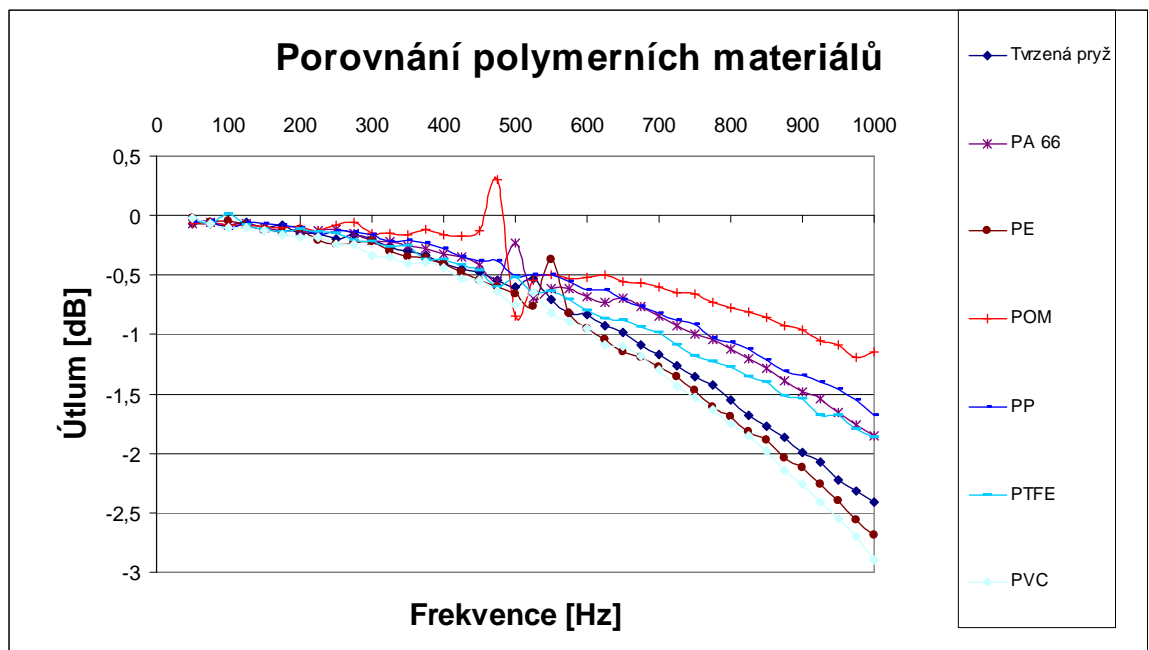
Obr. 23. Celkový pohled na zařízení

1 - analyzátor Brüel & Kjær 2034, 2 - výkonový zesilovač
Brüel & Kjær 2706, 3 - vibrátor Brüel & Kjær 4810

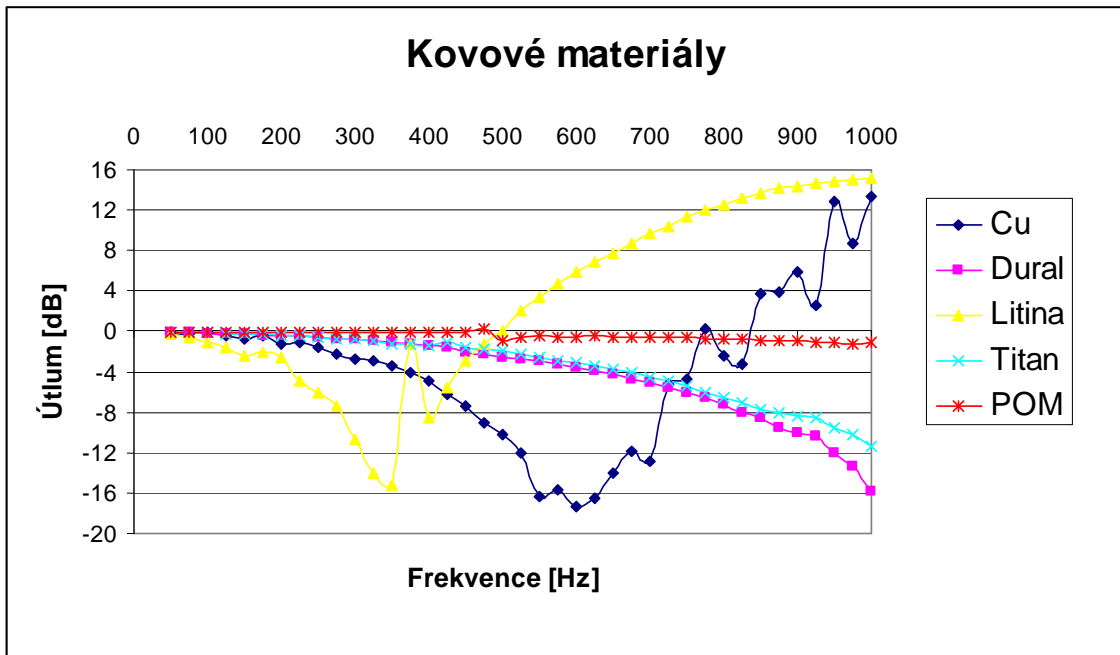
8.4 Porovnání přenosových útlumů zkoumaných materiálů

Obr. 24 porovnává polymerní materiály. Pro naši práci je nejdůležitější oblast do 500 Hz. V této oblasti nejsou výrazné rozdíly mezi jednotlivými polymerními materiály. U všech materiálů se projevují nízké rezonance. Z grafu je patrné, že s rostoucí frekvencí má nejnižší rezonance POM. Naopak největší rezonance se projevují u PVC. Tyto rezonance jsou asi 2x větší než u POM. Z uvedených polymerních materiálů a jejich přenosových útlumů volím pro konstrukci vřetene POM.

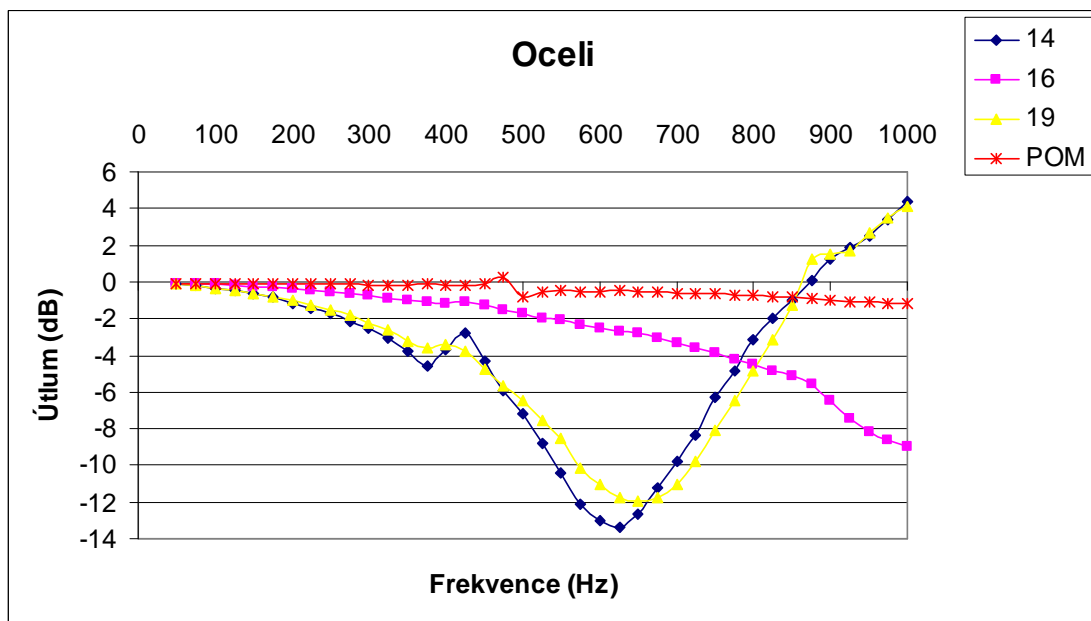
Obr. 25 porovnává POM a kovové materiály. Při nízkých frekvencích jsou opět rozdíly mezi materiály zanedbatelné. V oblasti do 500 Hz má opět nejnižší rezonance POM. Největší rezonance se projevily u šedé litiny, a to u frekvencí kolem 300 Hz. U vyšších frekvencí (nad 500 Hz) má šedá litina dobré tlumící vlastnosti. Velké rezonance v oblasti kolem 500 Hz se projevily také u mědi. Dobré tlumící vlastnosti má měď při frekvencích nad 800 Hz. Srovnatelné jsou rezonance duralu a titanu. Při vyšších frekvencích jsou rezonance těchto materiálů v porovnání s POM značně vyšší.



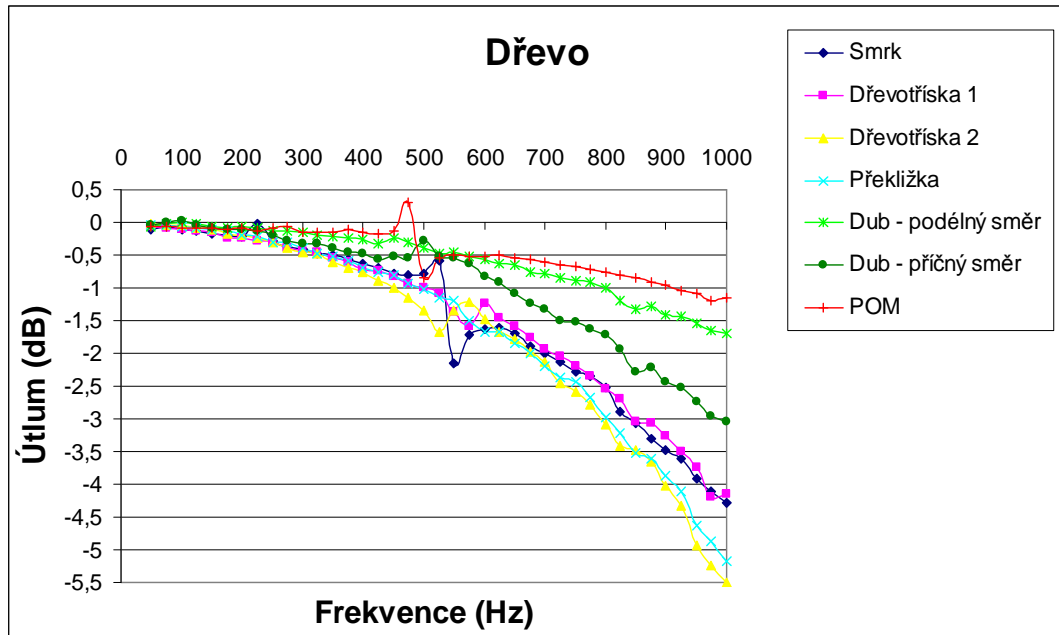
Obr. 24. Porovnání přenosových útlumů polymerních materiálů



Obr. 25. Porovnání přenosových útlumů kovových materiálů a POM



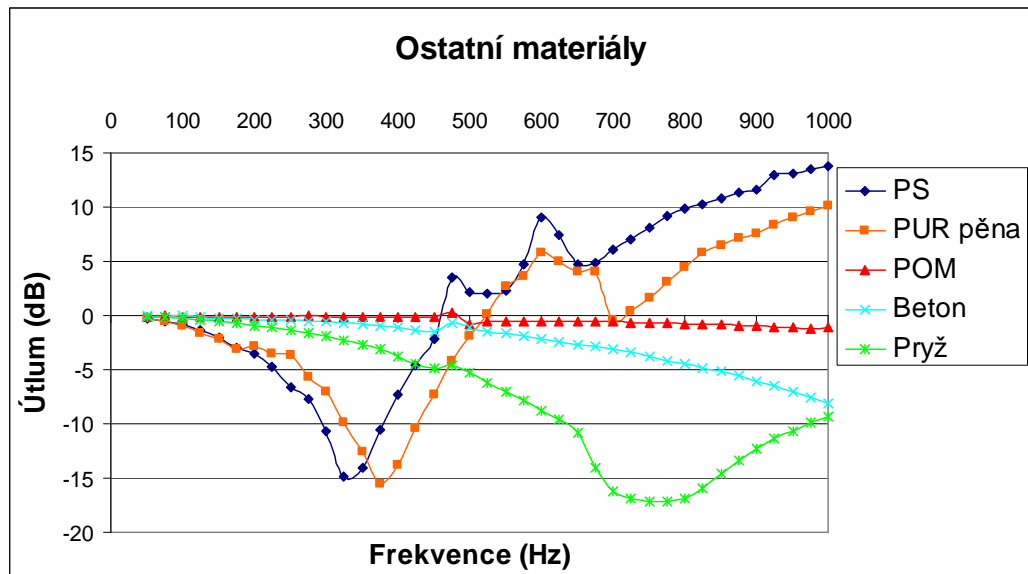
Obr. 26. Porovnání přenosových útlumů ocelí a POM



Obr. 27. Porovnání přenosových útlumů dřeva a POM

Obr. 26: porovnává POM a oceli. V oblasti do 500 Hz vychází nejmenší rezonance u POM. Nízké rezonance má také ocel třídy 16, ale pouze v oblasti nízkých frekvencí. Při nízkých frekvencích (do 100 Hz) je dokonce srovnatelná s POM. Největší rezonance v této oblasti mají oceli třídy 14 a 19. U těchto ocelí se největší rezonance projevují při frekvencích kolem 600 Hz. Při vysokých frekvencích (nad 900 Hz) mají tyto oceli tlumící vlastnosti.

Obr. 27 porovnává POM a některé druhy dřeva. Při frekvencích do 200 Hz má nejmenší rezonance dub, a to jak v podélném (ve směru vláken) tak v příčném (kolmém na vlákna) směru. Při těchto nízkých frekvencích jsou rozdíly mezi rezonancemi jednotlivých materiálů zanedbatelné. S rostoucí frekvencí se opět nejmenší rezonance projevují u POM. největší rezonance vychází u překližky téměř v celém frekvenčním rozsahu. Bylo také provedeno srovnání dubu v podélném a příčném směru. Menší rezonance přenáší dub v podélném směru (ve směru vláken).



Obr. 28. Porovnání přenosových útlumů POM a ostatních materiálů

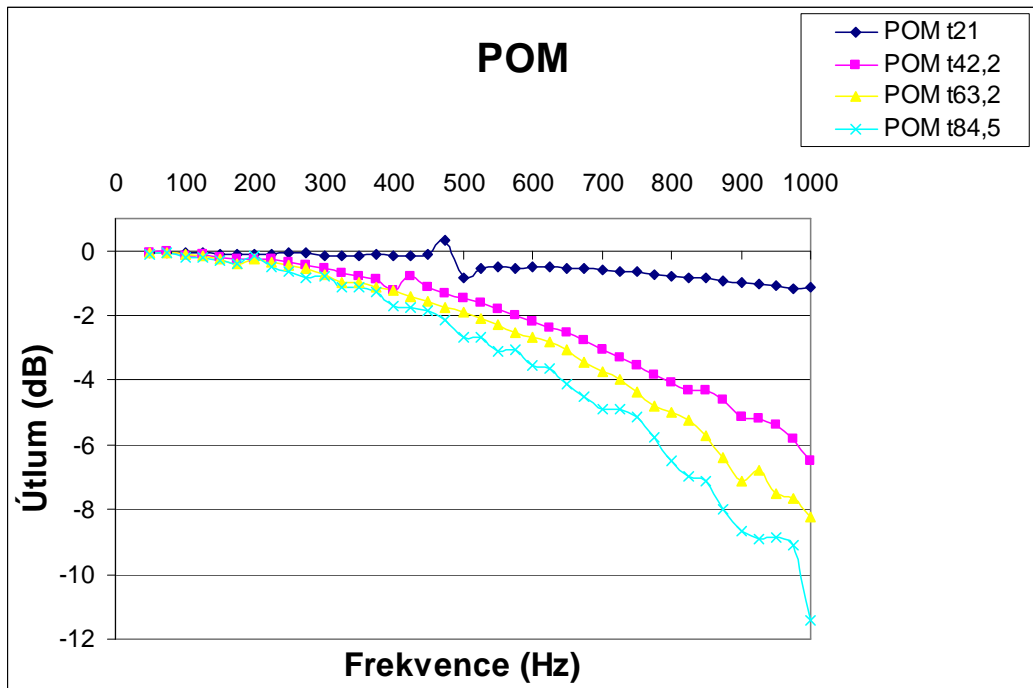
Obr. 28 porovnává POM a ostatní materiály (beton, pryž, lehčený polystyren, PUR pěnu). V oblasti do 500 Hz vychází nejmenší rezonance u POM. největší rezonance v této oblasti vykazují lehčený PS a pěna. Tyto materiály mají při vyšších frekvencích (nad 500 Hz) dobré tlumící vlastnosti. Pryž má největší rezonance okolo 800 Hz. Potom následuje mírné zlepšení, ale i přesto vykazuje v oblasti do 1000 Hz největší rezonance.

8.5 Vliv tloušťky

Zkoumání vlivu tloušťky materiálu na přenosový útlum bylo provedeno u POM, tvrzené pryže a šedé litiny.

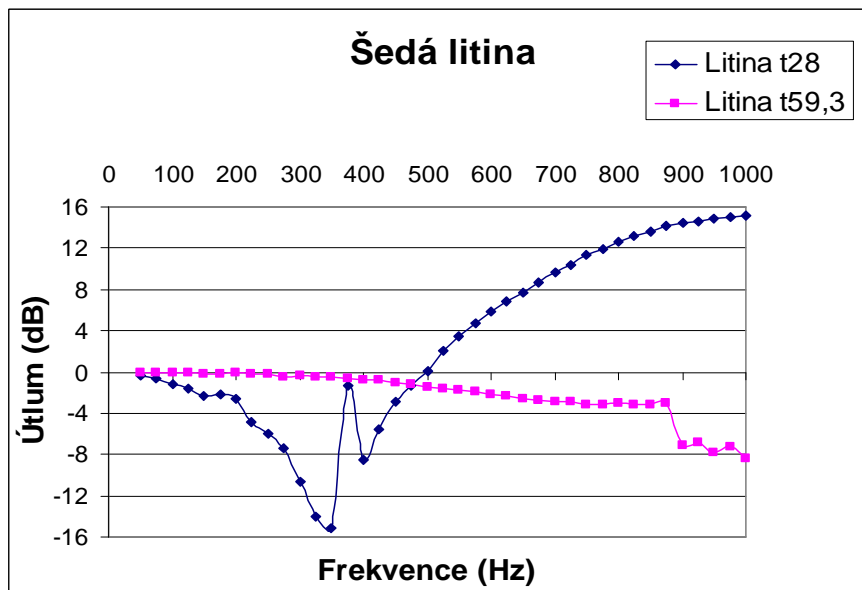
Obr. 29 porovnává různé tloušťky POM. Z grafu je patrné, že s rostoucí tloušťkou rostou i rezonance přenášené tímto materiálem. V oblasti nízkých frekvencí (do 300 Hz) jsou rozdíly rezonancí u jednotlivých tloušťek materiálu zanedbatelné.

Obr. 30 porovnává různé tloušťky šedé litiny. U menší tloušťky ($t = 28$ mm) se v oblasti do 500 Hz u litiny projeví velké rezonance, ale v oblasti nad 500 Hz má litina dobré tlumící vlastnosti. U větší tloušťky ($t = 59,3$ mm) se u litiny v oblasti do 500 Hz projevil výrazný pokles rezonancí, ale u frekvencí nad 500 Hz se tyto rezonance zvětšují. V oblasti do 500 Hz bych doporučil použití litiny větší tloušťky a v oblasti nad 500 Hz použití litiny menší tloušťky.

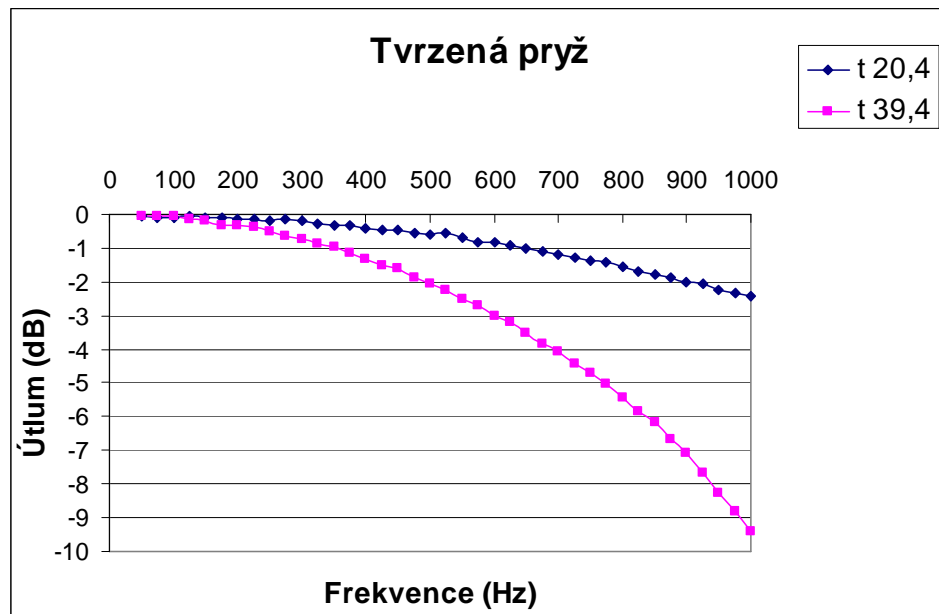


Obr. 29. Vliv tloušťky na přenosový útlum POM

Obr. 31 porovnává různé tloušťky tvrzené pryže. Tak jako u předchozích vzorků rezonance rostou s rostoucí tloušťkou.



Obr. 30. Vliv tloušťky na přenosový útlum litiny

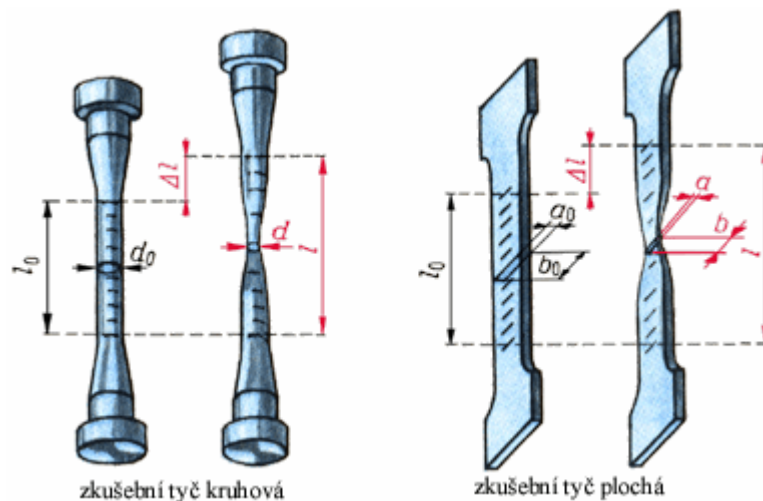


Obr. 31. Vliv tloušťky na přenosový útlum tvrzené pryže

9 ZKOUŠKA TAHEM

Zkouška tahem (ČSN 42 03 10) představuje nejužívanější statickou mechanickou zkoušku. Zkušební tělesa ve tvaru tyčí se upínají do čelistí zkušebního stroje tak, aby osa zkušební tyče byla totožná s osou upínacích čelistí. Zátěžná síla se postupně plynule zvětšuje až do přetržení tyče.

Ke zkoušce tahem se používají válcové tyče ($\varnothing > 3 \text{ mm}$) a ploché tyče (s tloušťkou nad 0,5 mm) se zkoušenou (pracovní) délkou l_c a měřenou délkou l_0 . Měřená délka l_0 je na střední části tyče o stálém průřezu vyznačena ryskami a slouží k měření prodloužení. Podle ČSN 42 03 11 se užívají zkušební tyče krátké a dlouhé (válcové i ploché). Pro úsporu materiálu se častěji používají krátké tyče [10].



Obr. 32. Zkušební tyčinky pro tahovou zkoušku

Trhací zkouškou zjišťujeme pevnost v tahu, poměrné prodloužení, tažnost a zúžení (kontrakci) zkoušeného materiálu. Při všech statických zkouškách vzniká v zatížené součásti napětí. Je to míra vnitřních sil, které vznikají v materiálu působením sil vnějších. Rozlišujeme **napětí normálové** σ a **napětí tečné** τ . Podíl síly a skutečné plochy průřezu v kterémkoli stadiu zkoušky nazýváme **skutečným napětím**. Běžně však používáme hodnoty **smluvních napětí**, protože neuvažujeme změnu průřezu tyče a zatížení vztahujeme na původní průřez S_0 .

Pevnost v tahu (mez pevnosti v tahu) σ_{Pt} je smluvní hodnota napětí daného podílem největší zatěžující síly F , kterou snese zkušební tyč, a původního průřezu tyče S_0 :

$$\sigma_{Pt} = \frac{F_{\max}}{S_0} \quad [\text{MPa}] \quad (8)$$

Byla-li původní délka zkušební tyče l_0 a délka zjištěná po přetržení l , je celkové prodloužení (změna délky):

$$\Delta l = l - l_0 \quad (9)$$

Poměrné prodloužení ε je dáno poměrem změny délky Δl k původní délce zkušební tyče l_0 :

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (10)$$

Tažnost A je poměrné prodloužení vyjádřené v procentech původní délky:

$$A = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (11)$$

Kontrakce (zúžení průřezu) Z je dána poměrem zúžení průřezu tyče po přetržení ($S_0 - S$) k původnímu průřezu tyče S_0 . Vyjadřujeme ji v procentech:

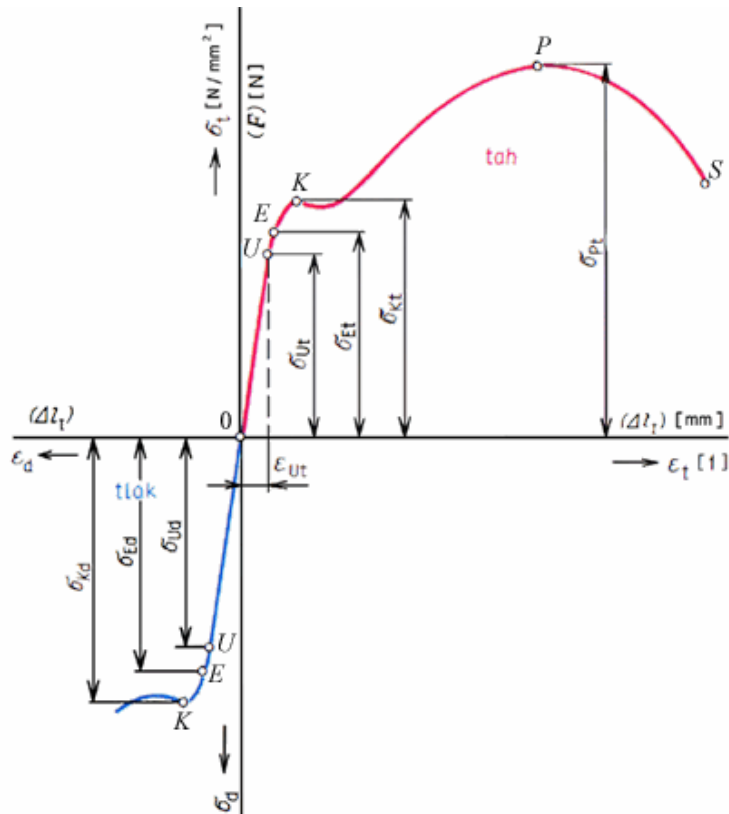
$$Z = \frac{S_0 - S}{S_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (12)$$

Pevnost v kluzu (mez kluzu v tahu) σ_{Kt} je napětí, při němž se zkušební tyč počne výrazně prodlužovat, aniž by stoupala zatěžující síla, nebo při němž nastává prodlužování doprovázené poklesem zatěžující síly. Stanovíme ji ze vztahu:

$$\sigma_{Kt} = \frac{F_K}{S_0} \quad [\text{MPa}] \quad (13)$$

Pracovní diagram (obr. 33), udává závislost poměrného prodloužení ε na napětí σ (nebo změny délky Δl na zatěžující síle F). V pružnosti a pevnosti má význam jen diagram $\varepsilon - \sigma$.

Z diagramu vidíme, že zpočátku je prodloužení tyče přímo úměrné vzrůstajícímu zatížení, a to až do bodu U .



Obr. 33. Diagram zkoušky tahem

Napětí σ_U , odpovídající bodu U , nazýváme **mez úměrnosti** a definujeme ji jako mezní napětí, při němž je prodloužení ještě přímo úměrné napětí (**Hookův zákon**).

V dalším průběhu zkoušky přestává být prodloužení přímo úměrné zatížení. Až po bod E je protažení pružné, tj. po odlehčení nabývá tyč původních rozměrů. Napětí σ_E odpovídající bodu E je **mez pružnosti** a definujeme ji jako mezní napětí, které po odtížení (úplném odlehčení) nevyvolává trvalé deformace.

Zvětšujeme-li zatížení dále, nastává přetváření plastické (trvalé) a tyč po odlehčení již nenabude původní délky. Napětí σ_{Kt} odpovídající bodu K označujeme jako **mez kluzu v tahu** a definujeme je jako nejmenší napětí, při němž nastávají podstatné deformace, které někdy dočasně pokračují, aniž se zároveň zvyšuje napětí.

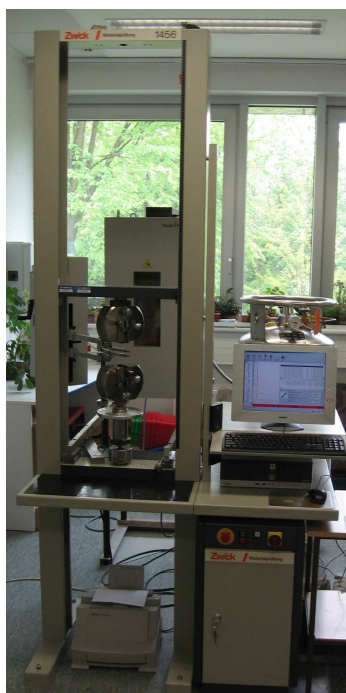
Od bodu K jde čára diagramu téměř vodorovně, kov jako by tekli, tj. tyč se prodlužuje, aniž vzrůstá zatížení. Někdy se objeví i malý pokles napětí. Při dalším zvětšování zatížení se tyč prodlužuje mnohem rychleji než vzrůstá zatížení. Bodu P na vrcholu křivky odpovídá největší napětí σ_{Pt} (**mez pevnosti v tahu** čili **pevnost v tahu**). Při napětí odpovídajícím bodu S se tyčka přetrhne (skutečné napětí při přetržení je menší než pevnost v tahu) [11].

9.1 Měřicí zařízení

Měření bylo provedeno na zkušebním stroji Zwick 145 665. Je to trhací stroj pro tahové, tlakové a ohybové zkoušky. Pro vyhodnocení zkoušky byl použit software TestXpert 7.11.

Technické parametry stroje:

- maximální zkušební síla 20 kN
- strojová výška 1284 mm
- celková výška 2012 mm
- celková šířka 630 mm
- šířka pracovního prostoru 420 mm
- hmotnost 150 kg



Obr. 34. Zkušební stroj
Zwick 145 665

9.2 Výsledky měření

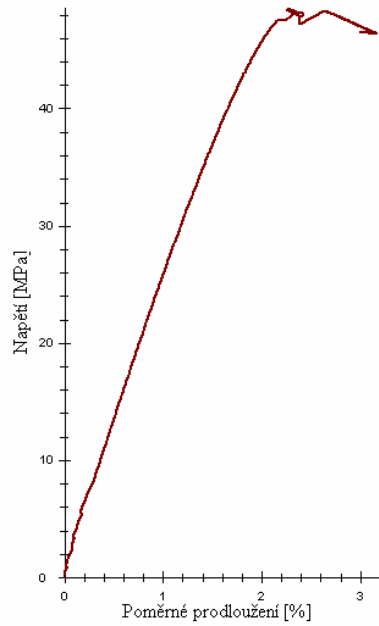
Legenda k tabulkám:

a0	tloušťka vzorku	[mm]
b0	šířka vzorku	[mm]
σ_P	napětí na mezi pevnosti	[MPa]
σ_B	napětí při přetržení	[MPa]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
Nominal strain	prodloužení na l_E (celém tělese)	[mm]
ε_P	poměrné prodloužení na mezi pevnosti	[%]
ε_B	poměrné prodloužení při přetržení	[%]
ε_P	prodloužení na mezi pevnosti	[mm]
ε_B	prodloužení při přetržení	[mm]
Fmax	síla na mezi pevnosti	[N]
n	počet vzorků v sérii	[ks]
x	aritmetický průměr	
s	směrodatná odchylka	
v	variační koeficient	

9.2.1 ABS

Tab. 6. Statistické hodnoty pro ABS

Sub-series #1	a0	b0	σ_P	σ_B	E	Nominal strain	ε_P	ε_B	ε_P	ε_B	Fmax
n = 5	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	mm	mm	N
x	3,95	9,95	48,27	46,14	2607,78	3,95	2,3	2,66	0,46	0,53	1897,03
s	0	0	0,49	0,98	60,84	0,14	0,09	0,48	0,02	0,09	19,44
v	0	0	1,02	2,12	2,33	3,49	4,13	17,94	3,69	17,71	1,02



Obr. 35. Průměrná tahová křivka pro ABS

9.2.2 PP

Tab. 7. Statistické hodnoty pro PP

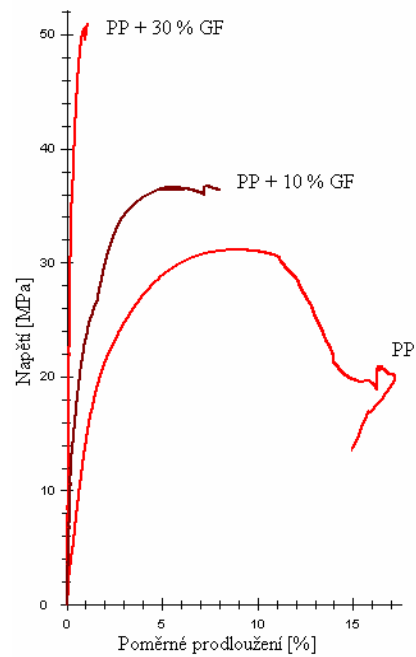
Sub-series #2	a0	b0	σ_P	σ_B	E	Nominal strain	ϵ_P	ϵ_B	ϵ_P	ϵ_B	Fmax
n = 5	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	mm	mm	N
x	3,95	9,82	31,14	13,08	1297,87	11,2	9,09	10,38	1,82	2,08	1207,91
s	0	0	0,27	7,1	22,86	0,08	0,36	2,03	0,07	0,41	10,62
v	0	0	0,88	54,26	1,76	0,7	3,93	19,57	3,91	19,58	0,88

Tab. 8. Statistické hodnoty pro PP + 10 % GF

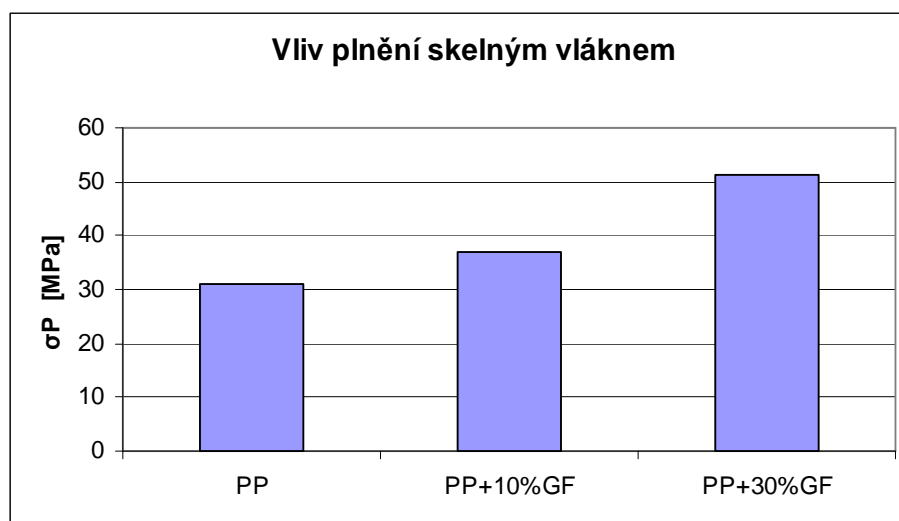
Sub-series #7	a0	b0	σ_P	σ_B	E	Nominal strain	ϵ_P	ϵ_B	ϵ_P	ϵ_B	Fmax
n = 5	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	mm	mm	N
x	3,85	10	36,86	35,55	2747,16	7,11	5,66	7,48	1,13	1,5	1422,13
s	0	0	0,33	0,8	123,27	0,11	0,37	1,49	0,07	0,3	12,78
v	0	0	0,9	2,25	4,49	1,49	6,63	19,97	6,56	19,92	0,9

Tab. 9. Statistické hodnoty pro PP + 30 % GF

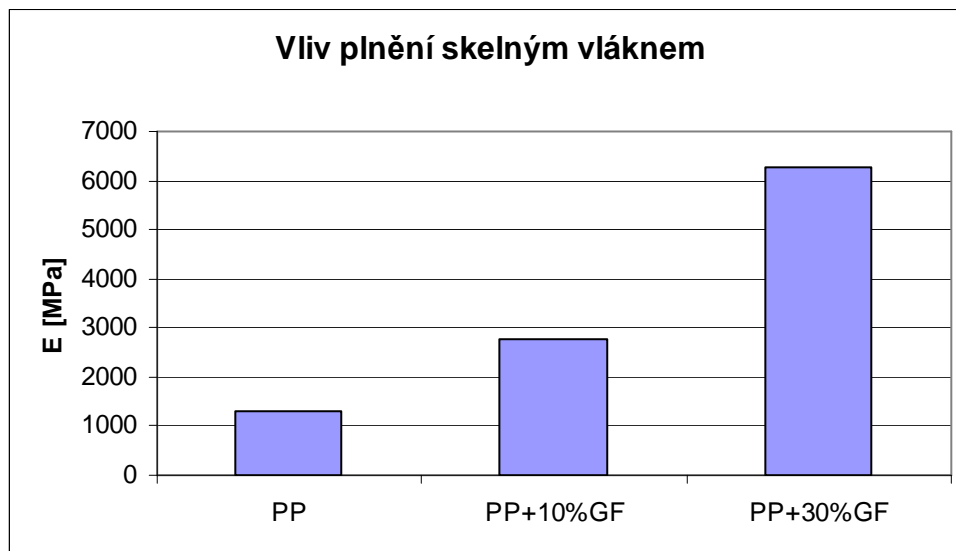
Sub-series #6	a0	b0	σ_P	σ_B	E	Nominal strain	ϵ_P	ϵ_B	ϵ_P	ϵ_B	Fmax
n = 5	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	mm	mm	N
x	3,88	10	51,31	50,58	6258,56	2,85	1,25	1,38	0,25	0,28	1990,91
s	0	0	0,64	0,59	230,92	0,04	0,05	0,08	0,01	0,02	25,01
v	0	0	1,26	1,17	3,69	1,41	4,37	6,07	3,63	5,66	1,26



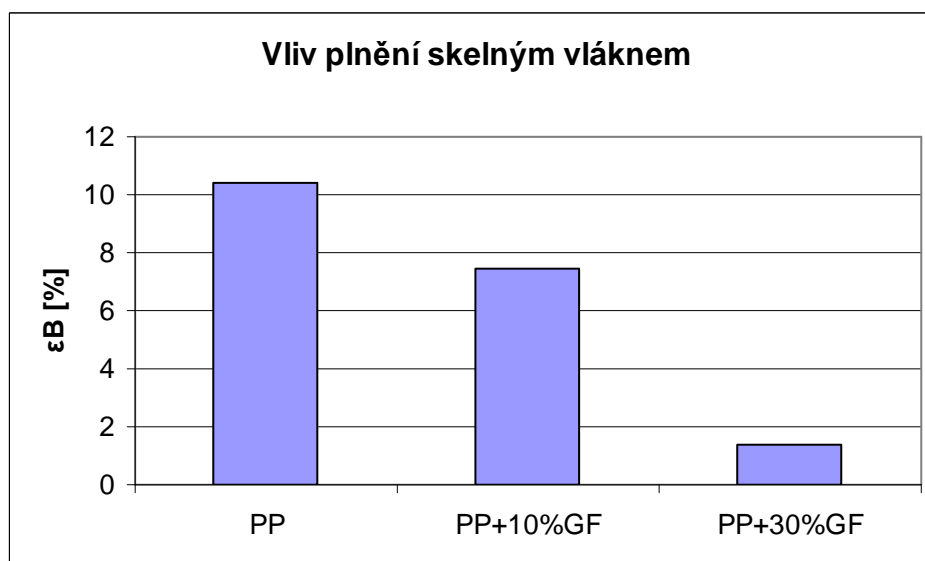
Obr. 36. Průměrné tahové křivky pro PP



Obr. 37. Vliv plnění skelným vláknem na napětí na mezi pevnosti



Obr. 38. Vliv plnění skelným vláknem na napětí na modul pružnosti



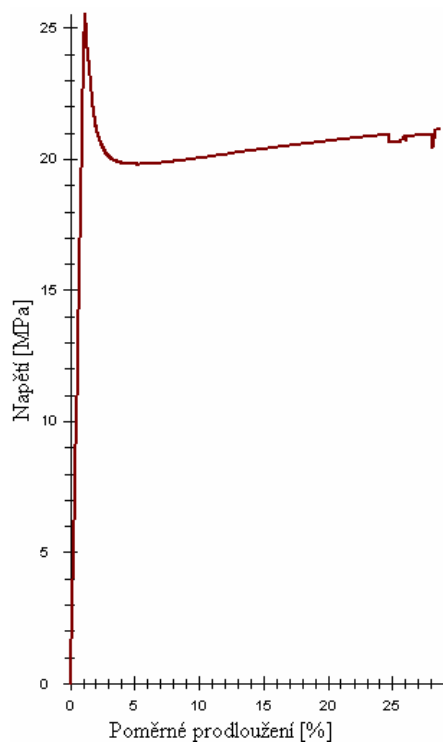
Obr. 39. Vliv plnění skelným vláknem na napětí na poměrné prodloužení při přetržení

Při plnění skelným vláknem se zvyšuje napětí na mezi pevnosti a modul pružnosti, poměrné prodloužení při přetržení klesá.

9.2.3 PS

Tab. 10. Statistické hodnoty pro PS

Sub-series #3	a0	b0	σ_P	σ_B	E	Nominal strain	ϵ_P	ϵ_B	ϵ_P	ϵ_B	Fmax
n = 5	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	mm	mm	N
x	3,99	9,96	26,84	20,74	2645,39	2,17	1,11	26,59	0,22	5,32	1066,45
s	0	0	2,03	0,85	91,3	0,17	0,07	1,72	0,01	0,34	80,84
v	0	0	7,58	4,1	3,45	7,76	6,55	6,48	6,21	6,47	7,58

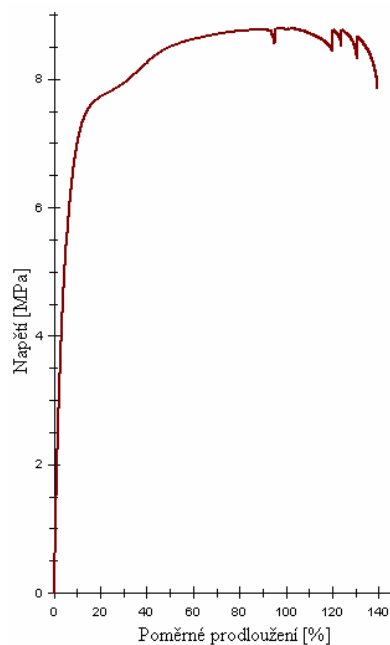


Obr. 40. Průměrná tahová křivka pro PS

9.2.4 LDPE

Tab. 11. Statistické hodnoty pro LDPE

Sub-series #4	a0	b0	σ_P	σ_B	E	Nominal strain	ϵ_P	ϵ_B	ϵ_P	ϵ_B	Fmax
n = 5	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	mm	mm	N
x	3,89	9,98	8,83	7,76	138,52	70,3	96,11	121,37	19,22	24,28	342,89
s	0	0	0,06	0,23	5,87	2,24	14,91	17,7	2,98	3,54	2,32
v	0	0	0,68	2,96	4,24	3,19	15,52	14,58	15,52	14,58	0,68

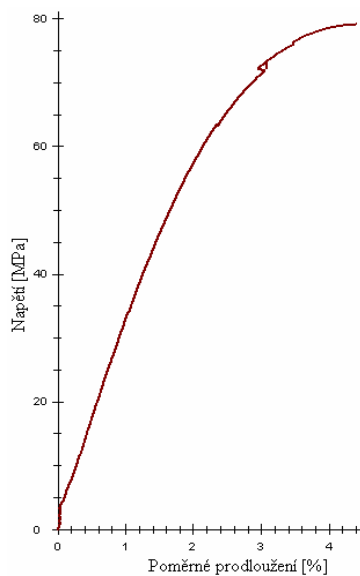


Obr. 41. Průměrná tahová křivka pro LDPE

9.2.5 PMMA

Tab. 12. Statistické hodnoty pro PMMA

Sub-series #5	a0	b0	σ_p	σ_B	E	Nominal strain	ϵ_p	ϵ_B	ϵ_p	ϵ_B	Fmax
n = 5	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	mm	mm	N
x	3,97	10,2	72,8	72,15	3230,2	4,96	3,37	3,37	0,67	0,67	2939,32
s	0	0	5,19	5,32	257,84	0,77	0,78	0,79	0,16	0,16	209,58
v	0	0	7,13	7,38	7,98	15,6	23,19	23,3	23,4	23,52	7,13

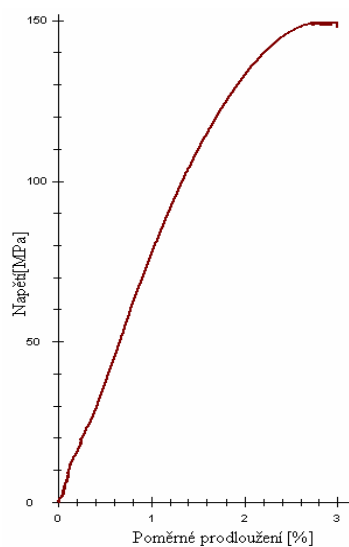


Obr. 42. Průměrná tahová křivka pro PMMA

9.2.6 PA 66

Tab. 13. Statistické hodnoty pro PA 66

Sub-series #8	a0	b0	σ_p	σ_B	E	Nominal strain	ϵ_p	ϵ_B	ϵ_p	ϵ_B	Fmax
n = 5	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	mm	mm	N
x	3,98	9,84	150,4	147,1	8713,23	5,47	2,71	3,02	0,54	0,6	5889,63
s	0	0	1,45	3,44	302,02	0,05	0,08	0,24	0,02	0,05	56,79
v	0	0	0,96	2,34	3,47	0,86	3,12	7,81	3,01	7,71	0,96

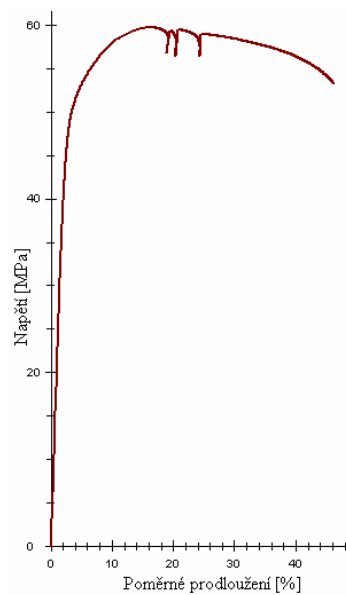


Obr. 43. Průměrná tahová křivka pro PA 66

9.2.7 PA 6

Tab. 14. Statistické hodnoty pro PA 6

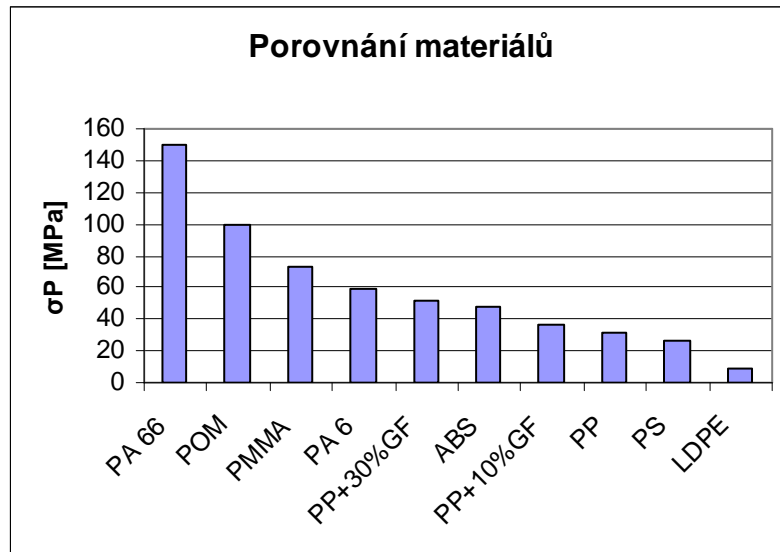
Sub-series #9	a0	b0	σ_P	σ_B	E	Nominal strain	ϵ_P	ϵ_B	ϵ_P	ϵ_B	Fmax
n = 5	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	mm	mm	N
x	3,99	9,83	59,8	53,13	2096,39	17,38	15,93	24,15	3,19	4,83	2345,59
s	0	0	0,8	3,81	139,54	2,98	3,93	13,4	0,79	2,68	31,32
v	0	0	1,34	7,17	6,66	17,14	24,67	55,49	24,68	55,49	1,34



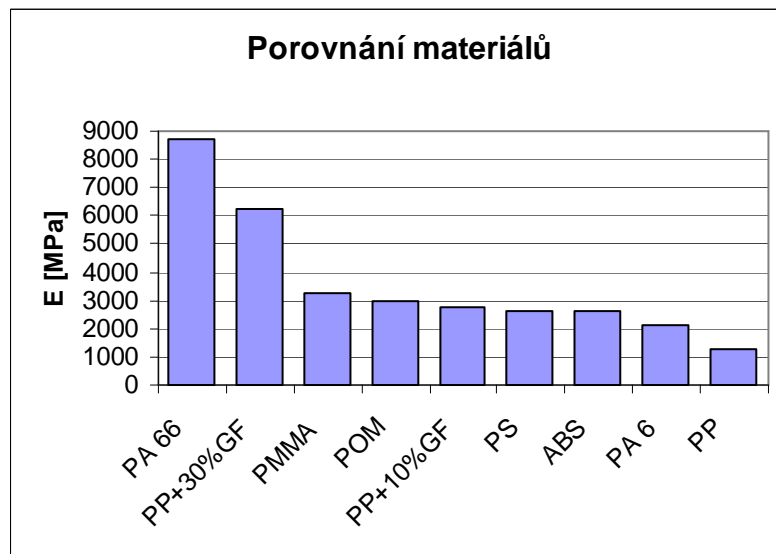
Obr. 44. Průměrná tahová křivka pro PA 6

9.2.8 Srovnání

Ze zkoušených materiálů má největší pevnost v tahu PA 66. POM nebyl při zkoušení k dispozici, proto na něm nebyla tahová zkouška provedena. Z hlediska tlumení vibrací vyšel POM nejlépe. Pevnost v tahu POM se pohybuje kolem 100 MPa, což je ze zkoumaných materiálů druhá nejvyšší hodnota pevnosti v tahu. Hodnoty pevnosti v tahu a modulu pružnosti POM jsou použity z literatury [12]. Je brána přibližně střední hodnota.



Obr. 45. Porovnání materiálů podle napětí na mezi pevnosti



Obr. 46. Porovnání materiálů podle modulu pružnosti

10 PŘÍNOS POUŽITÍ NOVÝCH MATERIÁLŮ

Každý druh materiálu vykazuje větší nebo menší vnitřní tlumení. Nevýhodou většiny klasických konstrukčních materiálů je jejich malý vnitřní útlum. Proto by mělo být snahou všech konstruktérů aplikovat ty konstrukční materiály, které vykazují velké vnitřní tlumení. Tyto požadavky splňují především plastické materiály. Z materiálů tradičních je to šedá litina. Proto jsou z ní odlévány základy přesných obráběcích strojů, které vyžadují potlačení chvění na minimum.

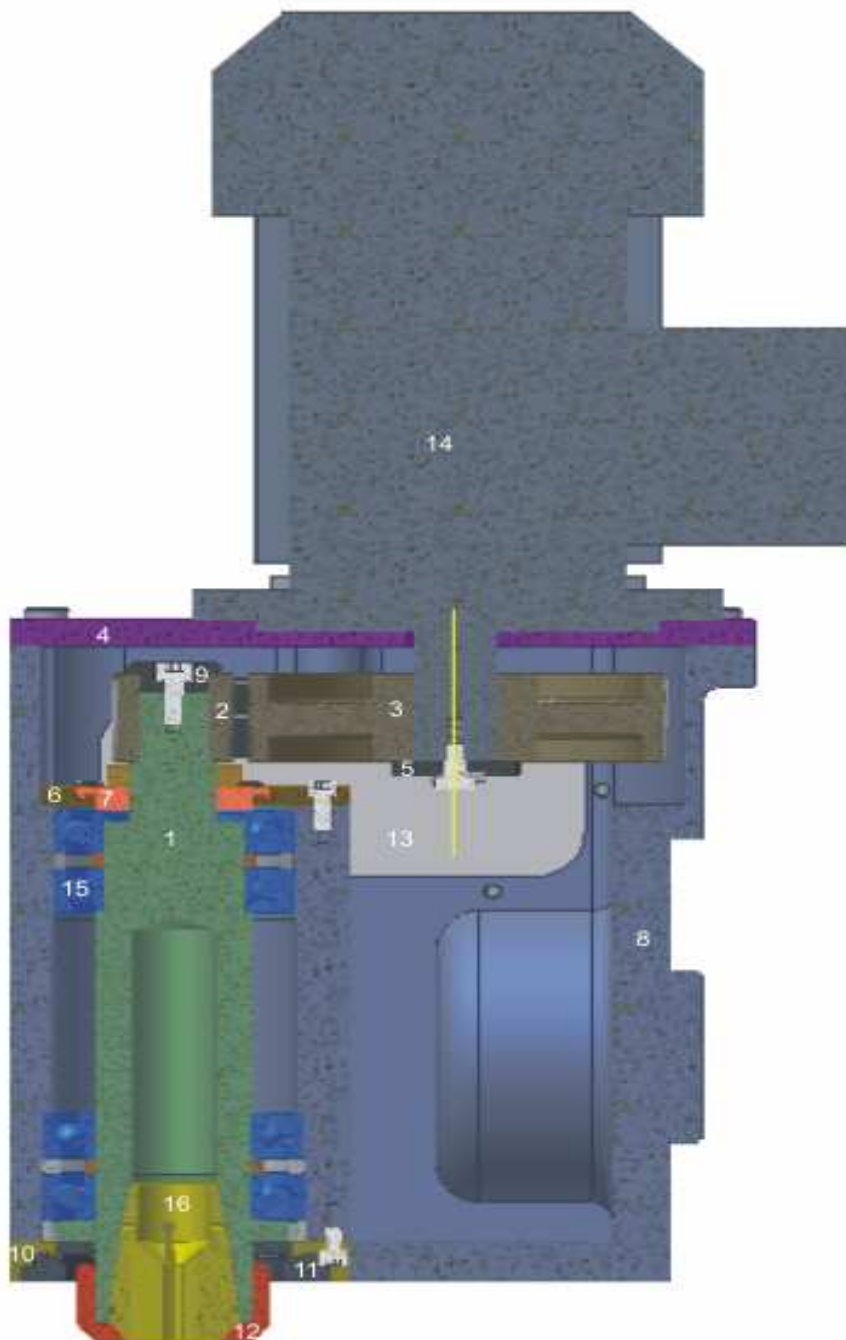
Z vlastností plastů lze ve strojírenství využít zejména jejich nízkého součinitele tření a otěruvzdornosti, houževnatosti v širším rozsahu teplot, elastického chování a schopnosti mechanického tlumení. Jiným důvodem použití mohou být chemická odolnost, případně elektro- nebo tepelně-izolační vlastnosti. V některých případech, zejména u konstrukcí, může hrát důležitou roli i nízká hmotnost plastů, u polymerních kompozitů pak příznivé hodnoty měrné pevnosti nebo měrného modulu, které dnes již konkurují klasickým kovovým materiálům.

Použití plastů se soustřeďuje do oblasti kluzných a otěruvzdorných aplikací, samonosných konstrukcí, především nádob a nádrží chemických zařízení, dynamicky namáhaných prvků a na součásti s elektroizolačními nároky.

Nejširší uplatnění nacházejí plasty při řešení tribologických problémů strojních dílů. Požadavek kluznosti, otěruvzdornosti, případně samomaznosti se týká především různých kluzných ložisek, pouzder a segmentů, ozubených kol a jiných součástí. Mezi nejvíce používané plasty s dobrými tribologickými vlastnostmi patří ultravysokomolekulární polyetylen, typy polyamidů, polyuretanové elastomery, polytetrafluoretylen a tvrzené vrstvené tkaniny na bázi fenolických pryskyřic.

Při navrhování rázově namáhaných a tlumících strojních prvků se pozornost soustřeďuje na polymerní elastomery. Jde o skupinu plastů s vynikajícími elastickými charakteristikami a útlumovými vlastnostmi. Významné postavení mají zejména elastomery na polyuretanové bázi, které díky možnosti přípravy odléváním, vytlačováním nebo vstřikováním v široké škále tvrdosti začínají stále více konkurovat dosud používaným pryžím. Jsou vysoce odolné proti únavovému namáhání a navíc i proti účinkům abraziv.

11 VŘETENÍK



Obr. 47. Vřeteník - řez

1 – vřeteno, 2 – malá řemenice, 3 – velká řemenice, 4 – příložka,
 5 – podložka, 6 – labyrint 4, 7 – labyrint 3, 8- skříň, 9 – nákrůžek,
 10 – labyrint 2, 11 – labyrint 1, 12 – převlečná matice, 13 – víko,
 14 – motor, 15 – ložisko, 16 - upínka

ZÁVĚR

V této diplomové práci jsem se zabýval vývojem vřeteníku obráběcího stroje z konstrukčních polymerů. Cílem diplomové práce bylo provést studium literatury z oblasti tlumení kmitů, navrhnout konstrukční polymer pro konstrukci vřetene na základě výsledků z měření tlumení vibrací a zkoušky tahem, provést konstrukci vřeteníku a vyhodnotit přínos použití nových materiálů. Všechny tyto cíle byly v diplomové práci splněny.

V první fázi jsem se zabýval měřením přenosového útlumu vybraných polymerních materiálů. Cílem měření bylo zjistit, který materiál má nejlepší tlumící vlastnosti. Měření přenosového útlumu bylo provedeno ve frekvenčním rozsahu $f = \langle 50, 1000 \rangle$ Hz s frekvenčním krokem $\Delta f = 25$ Hz při teplotě okolí 20 °C.

Pro naši práci je nejdůležitější oblast do 500 Hz. V této oblasti nejsou výrazné rozdíly mezi jednotlivými polymerními materiály. U všech materiálů se projevují nízké rezonance. S rostoucí frekvencí má nejnižší rezonance POM. Naopak největší rezonance se projevují u PVC. Tyto rezonance jsou asi 2x větší než u POM.

Ze zkoušených materiálů má největší pevnost v tahu PA 66. POM nebyl při zkoušení k dispozici, proto na něm nebyla tahová zkouška provedena. Z hlediska tlumení vibrací vyšel POM nejlépe. Pevnost v tahu POM se pohybuje kolem 100 MPa, což je ze zkoumaných materiálů druhá nejvyšší hodnota pevnosti v tahu. Hodnoty pevnosti v tahu a modulu pružnosti POM jsou použity z literatury [12]. Je brána přibližně střední hodnota.

Na základě výsledků měření byl zvolen pro konstrukci vřetene POM.

Veškerá výrobní dokumentace je vypracována v softwaru AutoCAD 2000. Výkresy jsou vtištěny pouze ve formátu A4 a v plné velikosti jsou přiloženy v elektronické podobě. Dále jsou nakresleny modely všech součástí v softwaru INVENTOR 6.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Forejt, M., Píška, M.: Teorie obrábění, tváření a nástroje. CERM Brno. 2006. ISBN 80-214-2374-9
- [2] Kocman, K., Prokop, J.: Technologie obrábění. CERM Brno. 2001. ISBN 80-214-1996-2
- [3] Buda, J., Békés, J.: Teoretické základy obrábania kovov. Alfa Bratislava, 1977,
- [4] Liemert, G., Drábek, F., Ondra, J., Vavřík, I.: Obrábění. SNTL. 1974.
- [5] Bruel & Kjaer: Měření chvění. Dostupný z WWW:
<http://www.spectris.cz/sv/download/literatura/Mereni_chveni.pdf>
- [6] Bruel & Kjaer: Vibrační zkoušení. Dostupný z WWW:
< http://www.spectris.cz/sv/download/literatura/Vibracni_zkouseni.pdf>
- [7] Nový, R.,: Hluk a chvění. Vydavatelství ČVUT Praha, 2000, ISBN 80-01-02246-3
- [8] Puškár, A.,: Vnútorne tlmenie materiálov. VSDS v Žilíně, 1995
- [9] Breník, P., Píč, J. a kol.: Obráběcí stroje: Konstrukce a výpočty. SNTL. 1982.
- [10] Lukovics, I., Sýkorová, L.: Části strojů. Vysoké učení technické v Čs. Redakci MON, 1991, ISBN 80-214-0255-5
- [11] Mechanické vlastnosti – zkoušky statické. Dostupný z WWW:
<http://mujweb.atlas.cz/www/pk80/pub/st/data/st1/zk3_1.htm>
- [12] Obadal, M.: Přednášky z předmětu Konstrukční polymery, UTB Zlín
- [13] Hluchý, M., Kolouch, J.: Strojírenská technologie 1: Nauka o materiálu. Scientia 1996. ISBN 80-7183-017-8
- [14] Lukovics, I.: Konstrukční materiály a technologie. Vysoké učení technické v Brně 1992. ISBN 80-214-0399-3
- [15] Bartoň, K.: Rekonstrukce frézky FC 16 CNC pro rychlostní obrábění. Diplomová práce. UTB Zlín. 2002

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

E	modul pružnosti	[MPa]
σ	napětí	[MPa]
η	činitel vnitřního tlumení	[-]
ε	poměrné prodloužení	[-]
I_q	část intenzity chvění přeměněné na teplo	[W/m ²]
I	celková intenzita chvění	[W/m ²]
E_{Im}	imaginární část modulu pružnosti	[W/m ²]
E_{Re}	reálná část modulu pružnosti	[W/m ²]
$\Delta_{a,b,c}$	nepřesnosti radiálního házení vřetena	
Δ_A	házení zadního ložiska	
Δ_B	házení předního ložiska	
Δ_1	házení redukované na přední konec vřetena	
a	délka vyloženého konce vřetena	[mm]
l	délka vřetena mezi ložisky	[mm]
ρ	hustota	[g/cm ³]
D	přenosový útlum	[dB]
$ v_1 $	amplituda rychlosti na výstupní straně vzorku	
$ v_2 $	amplituda rychlosti na vstupní straně vzorku	
$ a_1 $	amplituda zrychlení na výstupní straně vzorku	
$ a_2 $	amplituda zrychlení na vstupní straně vzorku	
f	frekvence	[Hz]
Δf	frekvenční krok	[Hz]
t	tloušťka vzorku pro měření útlumu	[mm]

a_0	tloušťka vzorku	[mm]
b_0	šířka vzorku	[mm]
σ_P	napětí na mezi pevnosti	[MPa]
σ_B	napětí při přetržení	[MPa]
ε_P	poměrné prodloužení na mezi pevnosti	[%]
ε_B	poměrné prodloužení při přetržení	[%]
ε_P	prodloužení na mezi pevnosti	[mm]
ε_B	prodloužení při přetržení	[mm]
F_{max}	síla na mezi pevnosti	[N]
n	počet vzorků v sérii	[ks]
\bar{x}	aritmetický průměr	
s	směrodatná odchylka	
v	variační koeficient	
S_0	původní průřez tyče	[mm ²]
S	průřez tyče po přetržení	[mm ²]
l_0	původní délka tyče	[mm]
l	délka tyče po přetržení	[mm]
Δl	změna délky	[mm]
A	tažnost	[%]
Z	kontrakce	[%]
σ_{Kt}	napětí na mezi kluzu	[MPa]
F_K	síla na mezi kluzu	[N]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1	Zjednodušený dynamický model obráběcího systému	11
Obr. 2	Tlumící pouzdro s olejem	15
Obr. 3	Tlumič Lanchester	16
Obr. 4	Hahnův tlumič vyvrtávací tyče, aplikace Lanchesterova tlumiče	16
Obr. 5	Tlumič s přestavitelnou tlumící hmotou	17
Obr. 6	Aktivní tlumič s automatickou regulací	17
Obr. 7	Radiální házení vřetena	32
Obr. 8	Vliv házení ložisek na radiální házení předního konce vřetene	33
Obr. 9	Axiální házení vřetena	34
Obr. 10	Jednoduché ložisko vřetena s bronzovou pánví	35
Obr. 11	Pánev s oválnou dírou	35
Obr. 12	Segmentové ložisko	36
Obr. 13	Dvouřadé válečkové ložisko s kuželovým vrtáním vnitřního kroužku	37
Obr. 14	Zatížení a reakce působící na kuželík kuželíkového ložiska	38
Obr. 15	Kuželíkové ložisko uložené v poddajném pouzdře umožňujícím radiální tepelnou dilataci	38
Obr. 16	Spárovaná radiální kuličková ložiska	39
Obr. 17	Jehlové ložisko Delta	40
Obr. 18	Axiální kuličkové ložisko kombinované s jednořadým radiálním kuličkovým ložiskem	41
Obr. 19	Blokové schéma měřícího zařízení	54
Obr. 20	Analyzátor Brüel & Kjær 2034	55
Obr. 21	Výkonový zesilovač Brüel & Kjær 2706.....	55
Obr. 22	Umístění vibrátoru Brüel & Kjær 4810	56
Obr. 23	Celkový pohled na zařízení	56

Obr. 24	Porovnání přenosových útlumů polymerních materiálů	57
Obr. 25	Porovnání přenosových útlumů kovových materiálů a POM	58
Obr. 26	Porovnání přenosových útlumů ocelí a POM	58
Obr. 27	Porovnání přenosových útlumů dřeva a POM	59
Obr. 28	Porovnání přenosových útlumů POM a ostatních materiálů	60
Obr. 29	Vliv tloušťky na přenosový útlum POM	61
Obr. 30	Vliv tloušťky na přenosový útlum litiny	61
Obr. 31	Vliv tloušťky na přenosový útlum tvrzené pryže	62
Obr. 32	Zkušební tyčinky pro tahovou zkoušku	63
Obr. 33	Diagram zkoušky tahem	65
Obr. 34	Zkušební stroj Zwick 145 665	66
Obr. 35	Průměrná tahová křivka pro ABS	68
Obr. 36	Průměrné tahové křivky pro PP	69
Obr. 37	Vliv plnění skelným vláknem na napětí na mezi pevnosti	69
Obr. 38	Vliv plnění skelným vláknem na modul pružnosti	70
Obr. 39	Vliv plnění skelným vláknem na poměrné prodloužení při přetržení	70
Obr. 40	Průměrná tahová křivka pro PS	71
Obr. 41	Průměrná tahová křivka pro LDPE	72
Obr. 42	Průměrná tahová křivka pro PMMA	73
Obr. 43	Průměrná tahová křivka pro PA 66	73
Obr. 44	Průměrná tahová křivka pro PA 6	74
Obr. 45	Porovnání materiálů podle napětí na mezi pevnosti	75
Obr. 46	Porovnání materiálů podle modulu pružnosti	75
Obr. 47	Vřeteník – řez	77

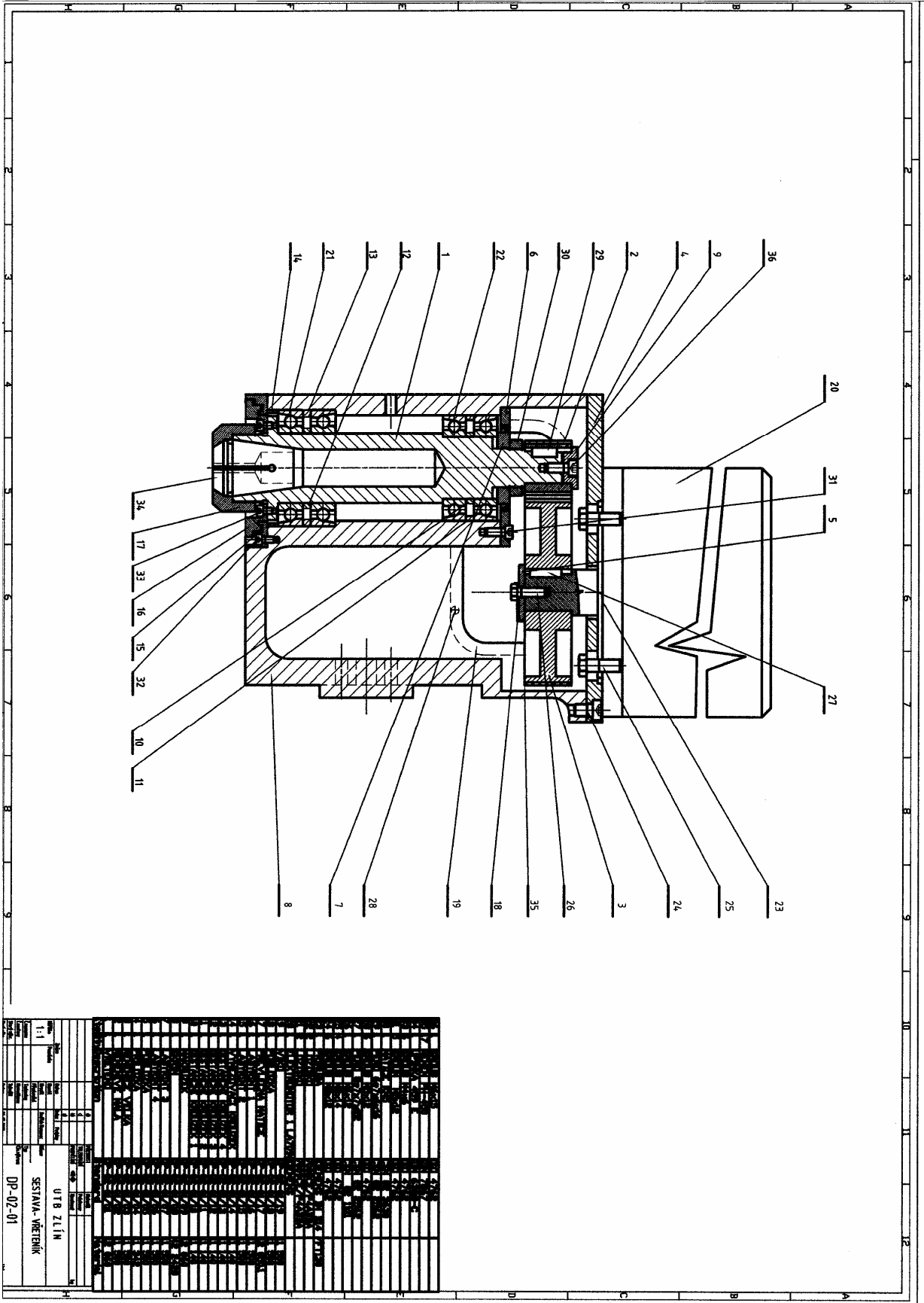
SEZNAM TABULEK

Tab. 1	Přehled polymerních materiálů	53
Tab. 2	Přehled kovových materiálů	53
Tab. 3	Přehled ocelí	53
Tab. 4	Přehled dřeva	53
Tab. 5	Ostatní použité materiály	54
Tab. 6	Statistické hodnoty pro ABS	67
Tab. 7	Statistické hodnoty pro PP	68
Tab. 8	Statistické hodnoty pro PP + 10 % GF	68
Tab. 9	Statistické hodnoty pro PP + 30 % GF	68
Tab. 10	Statistické hodnoty pro PS	71
Tab. 11	Statistické hodnoty pro LDPE	71
Tab. 12	Statistické hodnoty pro PMMA	72
Tab. 13	Statistické hodnoty pro PA 66	73
Tab. 14	Statistické hodnoty pro PA 6	74

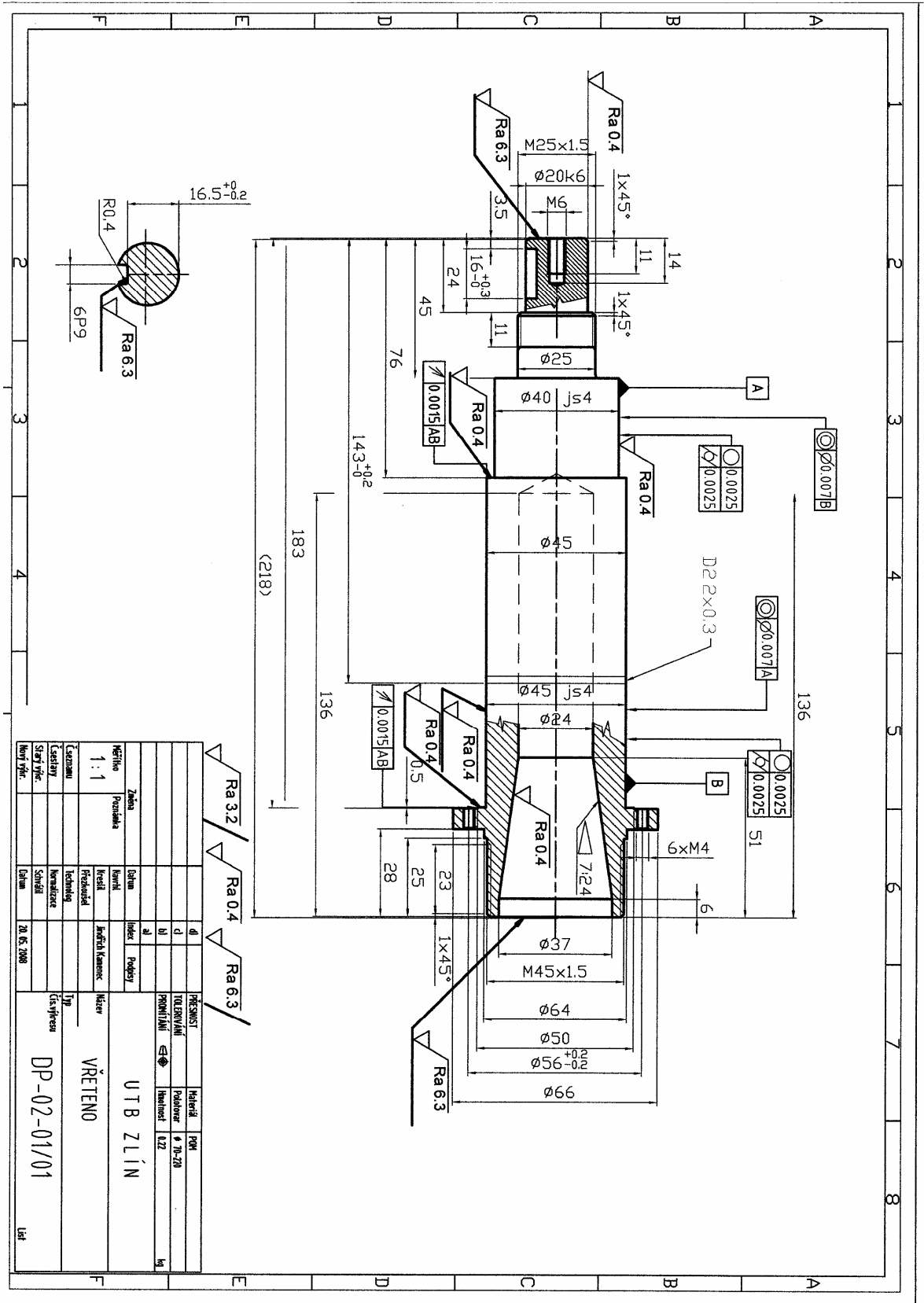
SEZNAM PŘÍLOH

P I	výkres sestava větvení
P II	výkres větveno
P III	výkres řemenice malá
P IV	výkres řemenice velká
P V	výkres příložka
P VI	výkres podložka
P VII	výkres labyrint 4
P VIII	výkres labyrint 3
P IX	výkres skříň
P X	výkres nákrůžek
P XI	výkres distanční kroužek 1
P XII	výkres distanční kroužek 2
P XIII	výkres distanční kroužek 3
P XIV	výkres distanční kroužek 4
P XV	výkres vymežovací kroužek
P XVI	výkres labyrint 2
P XVII	výkres labyrint 1
P XVIII	výkres převlečná matice
P XIX	výkres podložka
P XX	výkres víko
P XXI	CD

PŘÍLOHA P I: VÝKRES SESTAVA VŘETENÍK

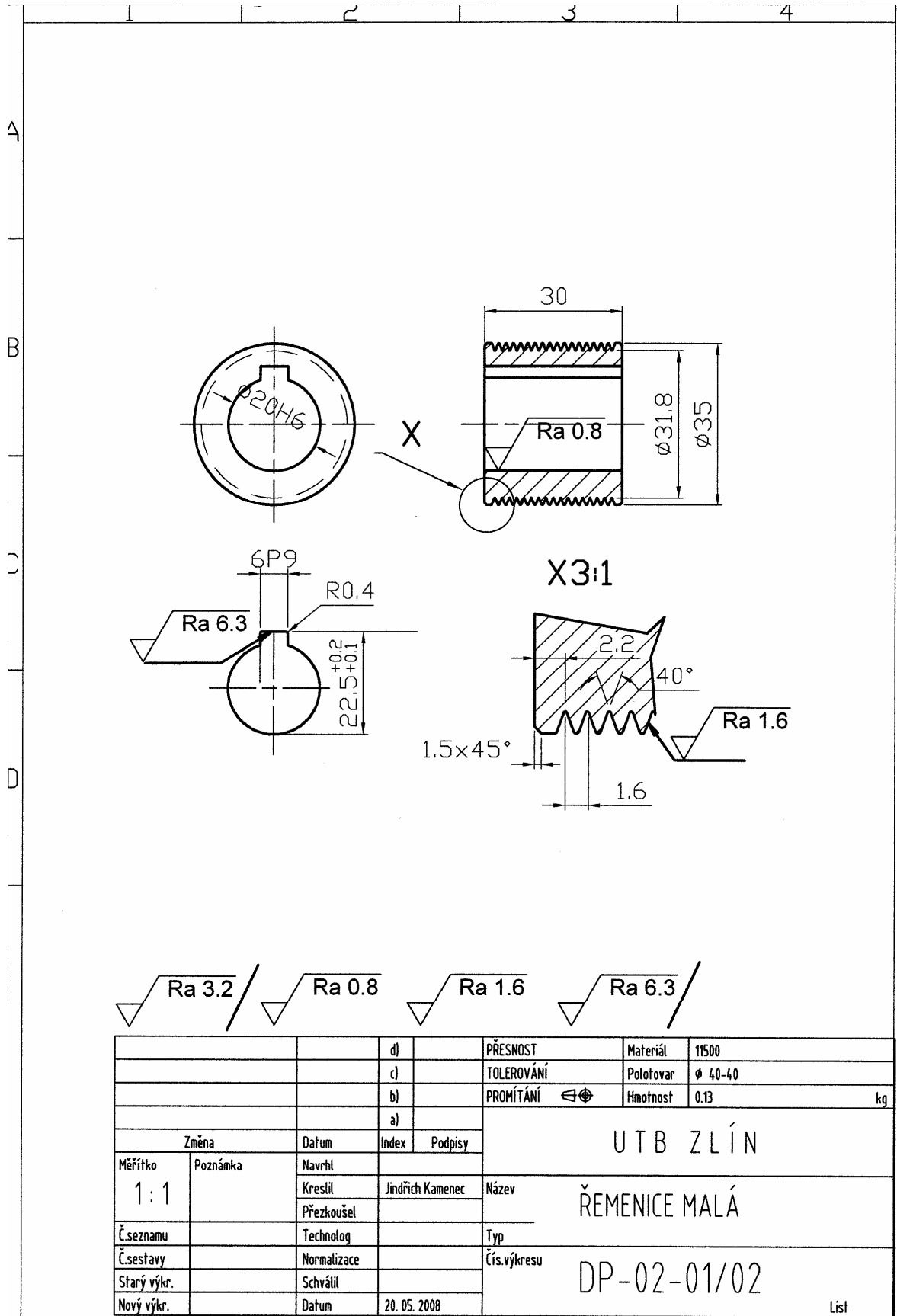


PŘÍLOHA P II: VÝKRES VŘETENO

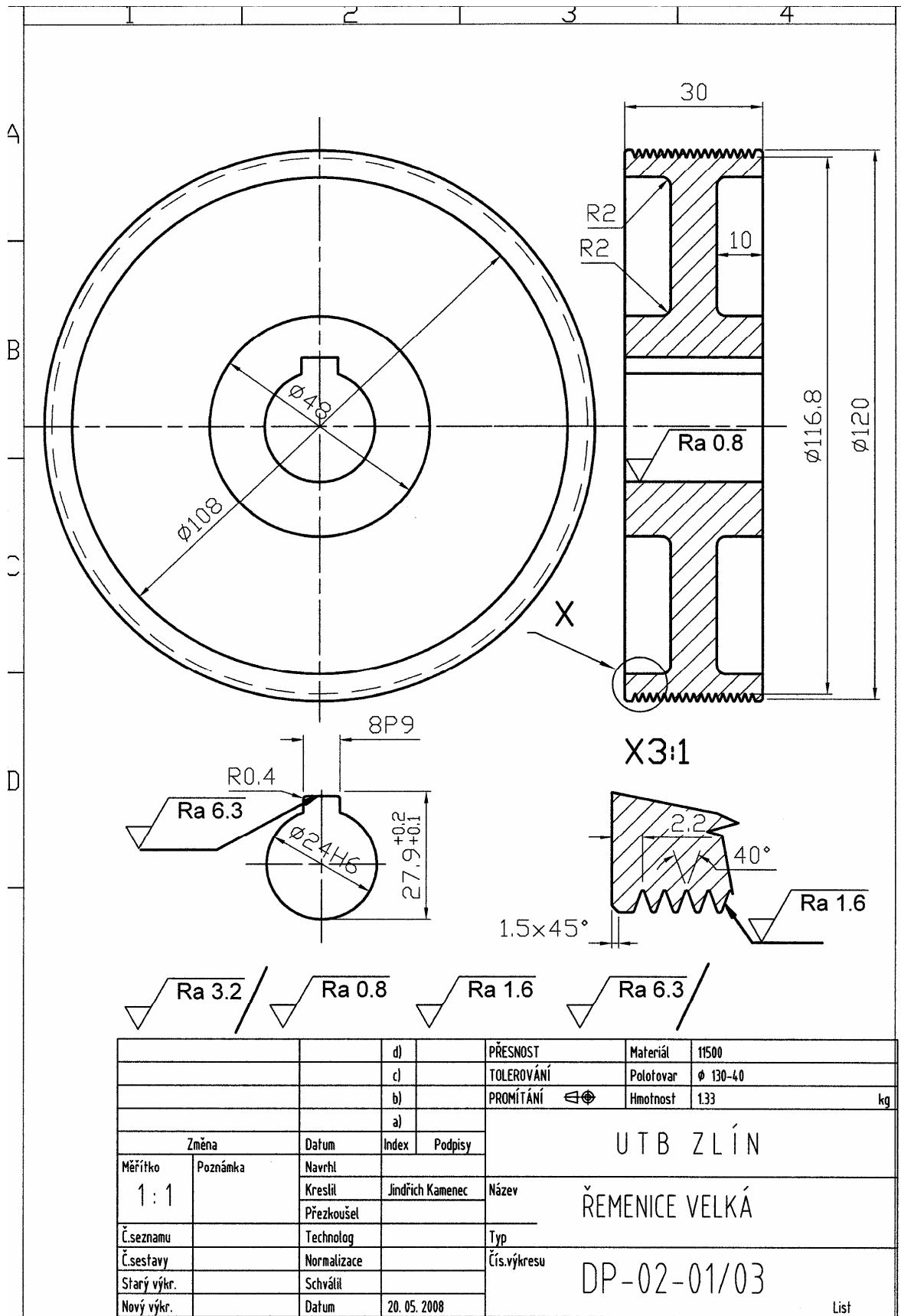


Základní informace		Technické údaje		Materiál	
Název	UTB ZLÍN	Číslo	DP-02-01/01	Legenda	
Objekt		Stupeň			
Projektant		Technická normalizace			
Číslo		Standard			
Stav		Číslo			
Typ					
Upraveno					
Upraveno					
Upraveno					

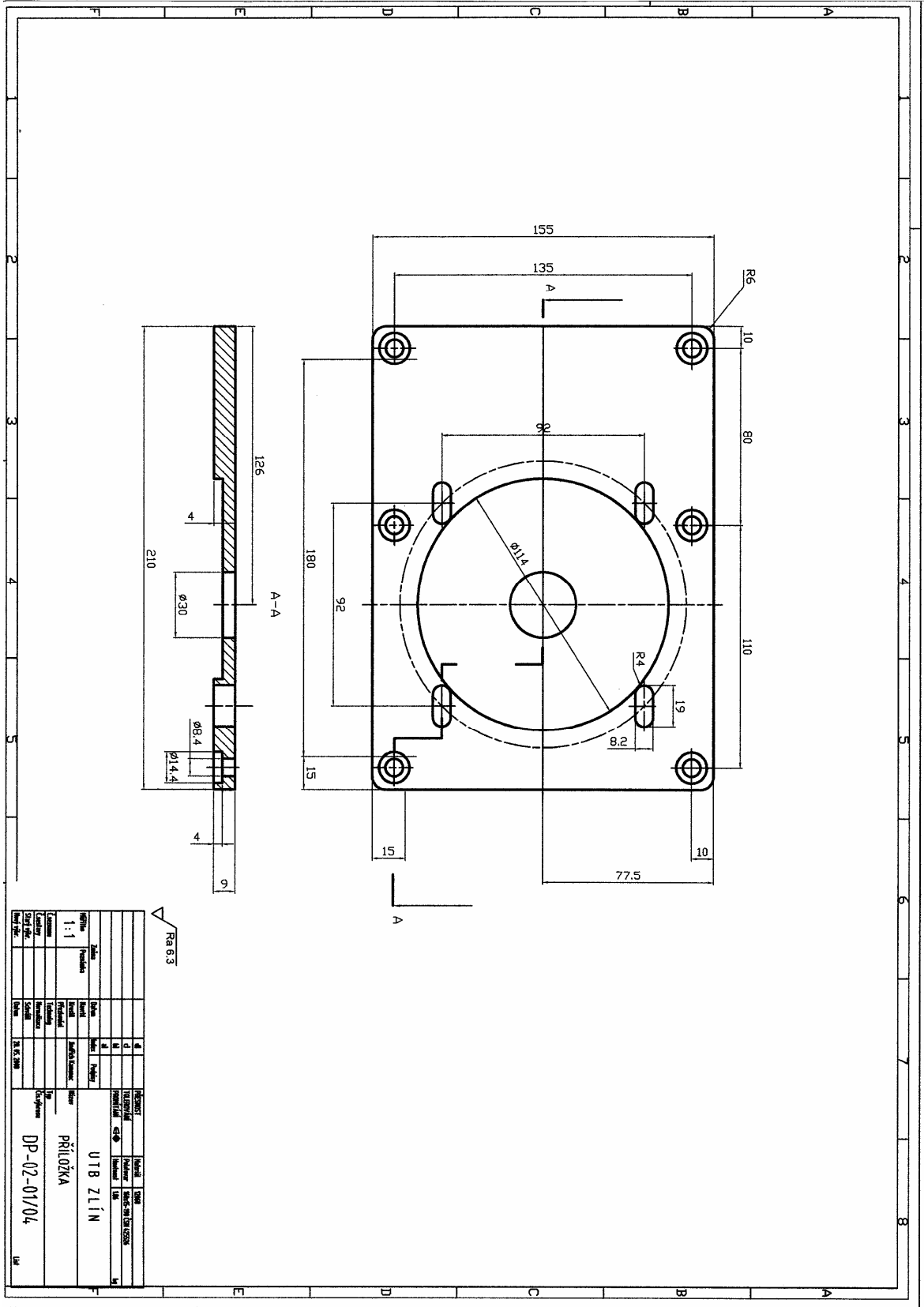
P III: VÝKRES ŘEMENICE MALÁ



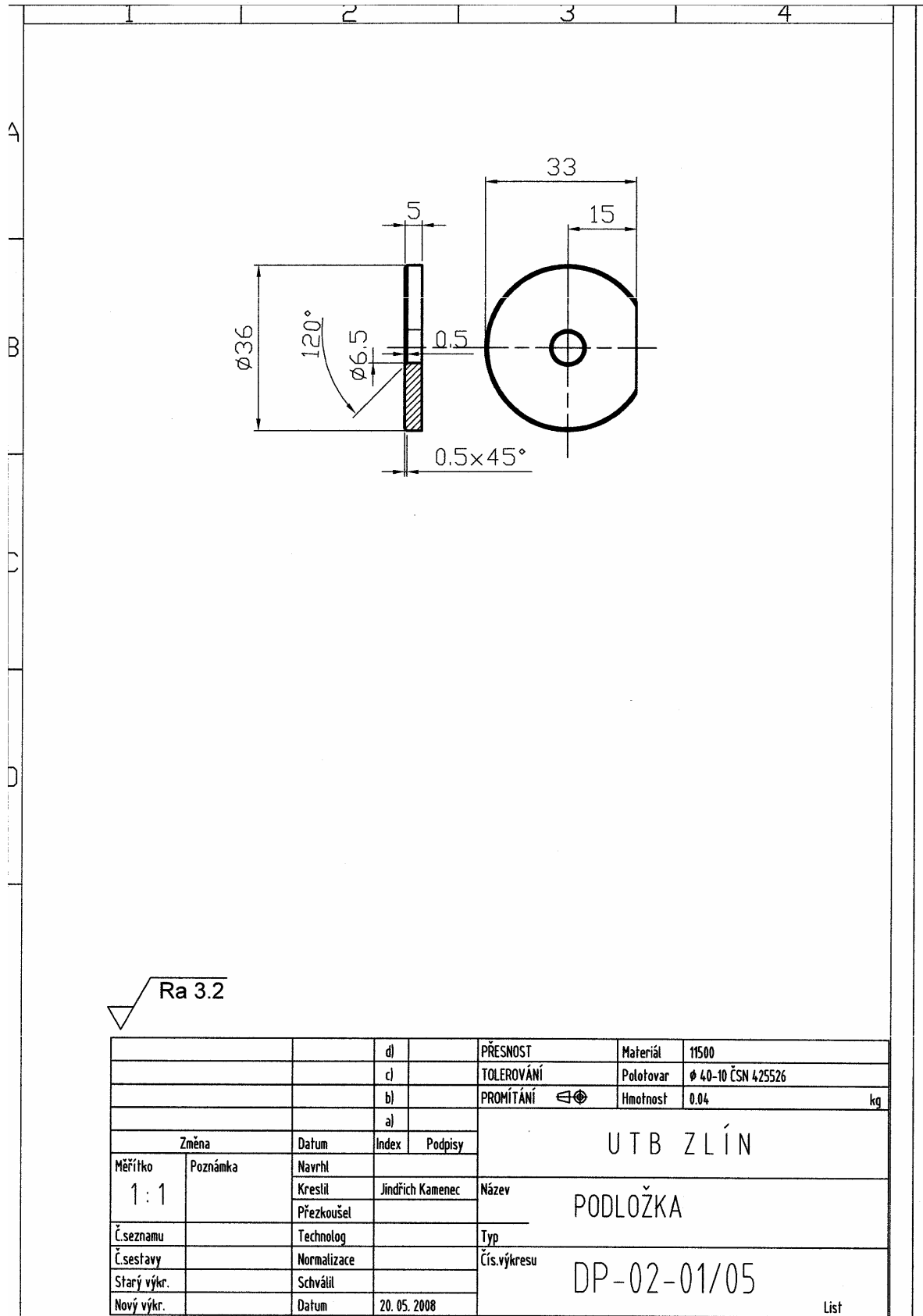
P IV: VÝKRES ŘEMENICE VELKÁ



P V: VÝKRES PŘÍLOŽKA



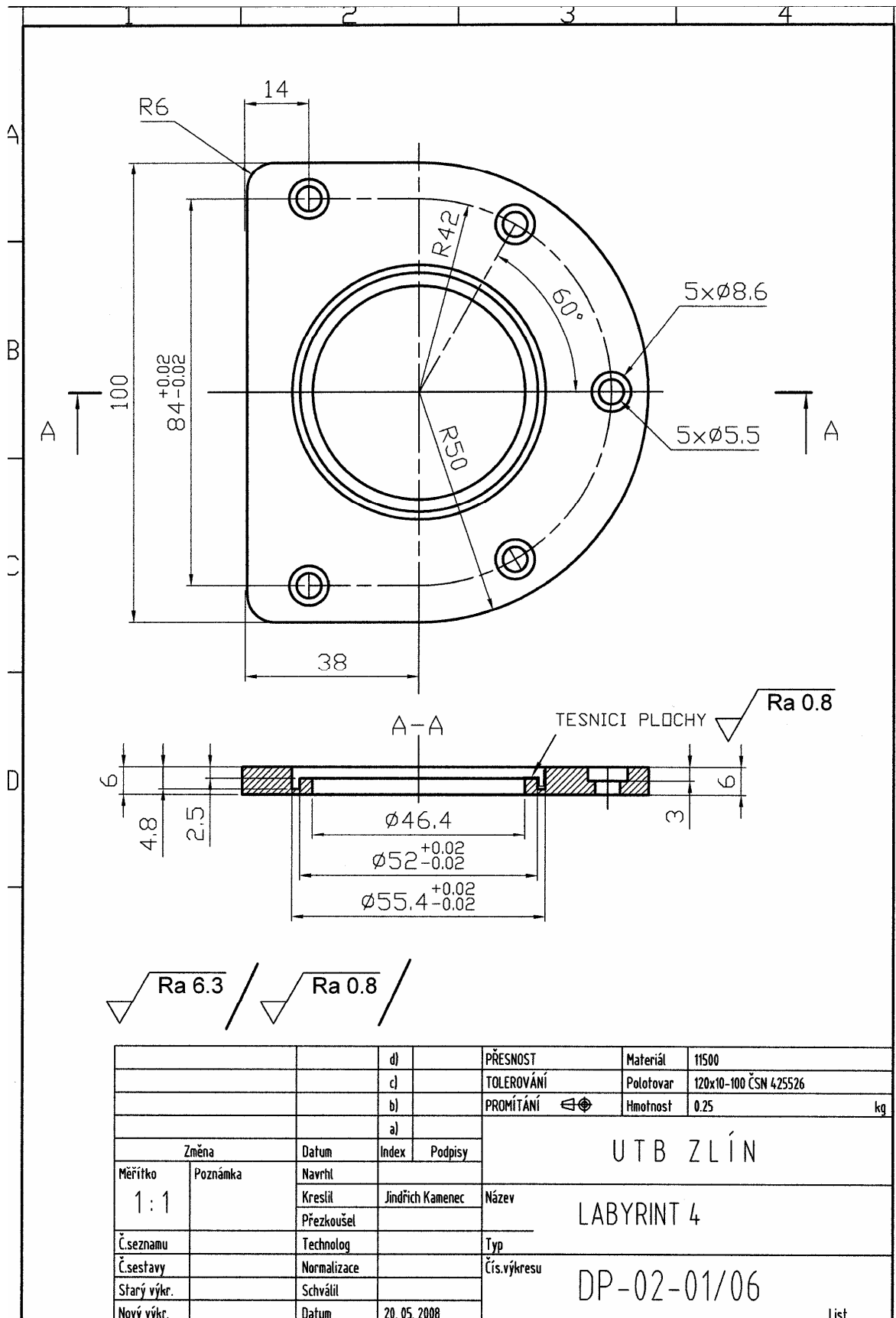
P VI: VÝKRES PODLOŽKA



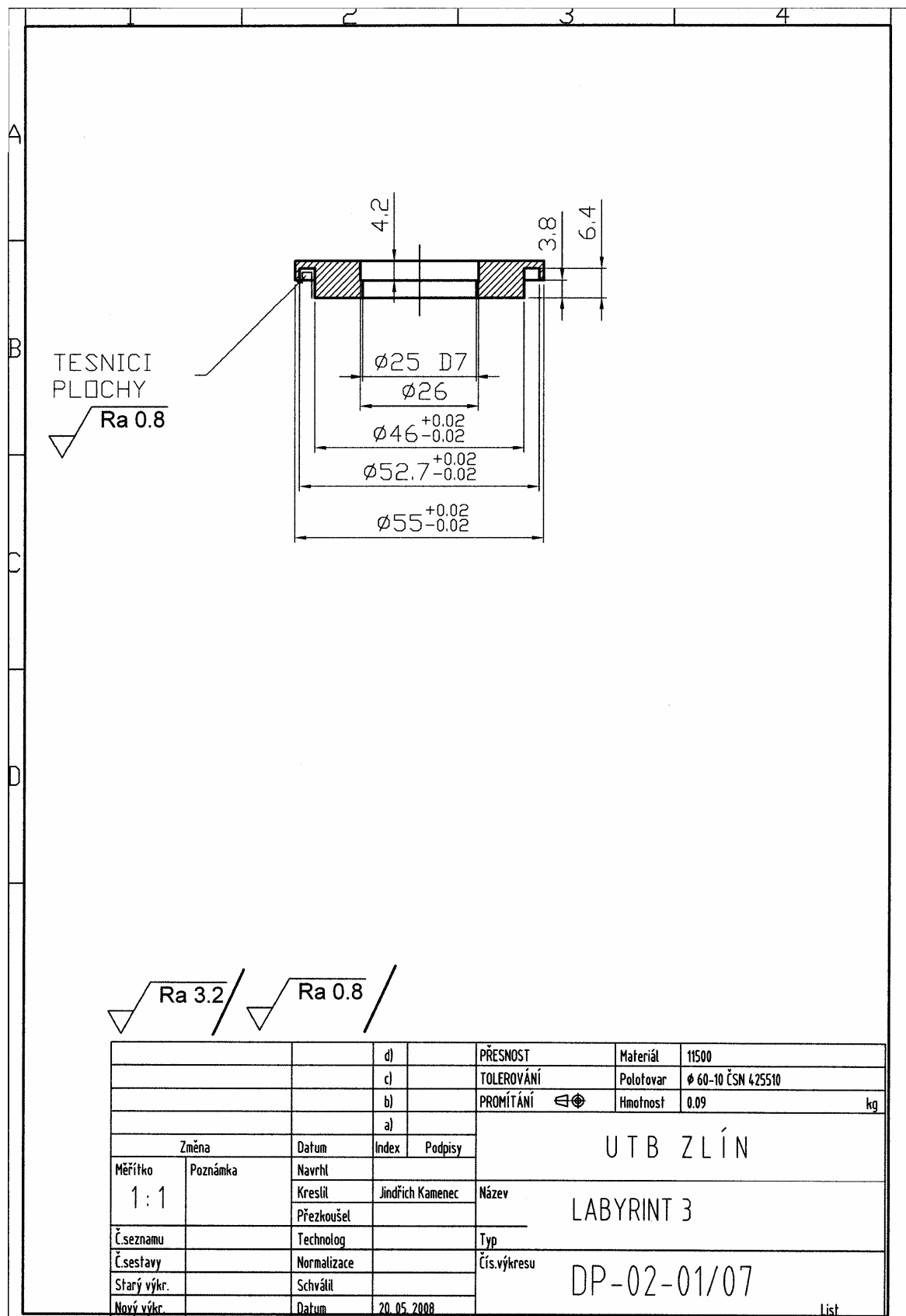
Ra 3.2

		d)		PŘESNOST	Materiál	T1500
		c)		TOLEROVÁNÍ	Polotovar	Ø 40-10 ČSN 425526
		b)		PROMÍTÁNÍ	Hmotnost	0.04 kg
		a)		UTB ZLÍN		
Změna	Datum	Index	Podpisy			
Měřítko	Poznámka	Navrhl	Kreslil	Jindřich Kameneč	Název	PODLOŽKA
		Přezkoušel				
Č.seznamu		Technolog			Typ	
Č.sestavy		Normalizace			Čís.výkresu	DP-02-01/05
Starý výkr.		Schválil				
Nový výkr.		Datum	20. 05. 2008			List

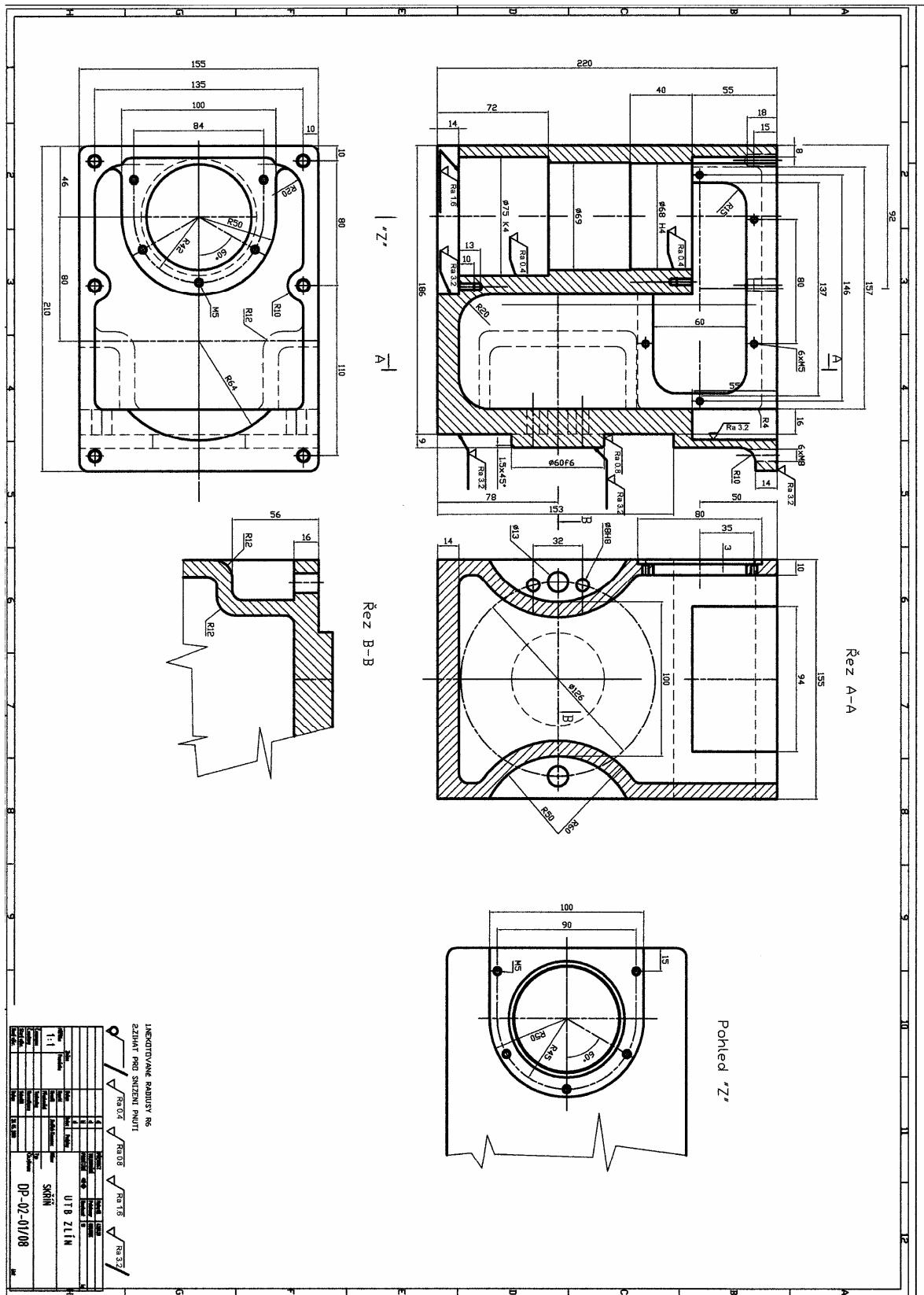
P VII: VÝKRES LABYRINT 4



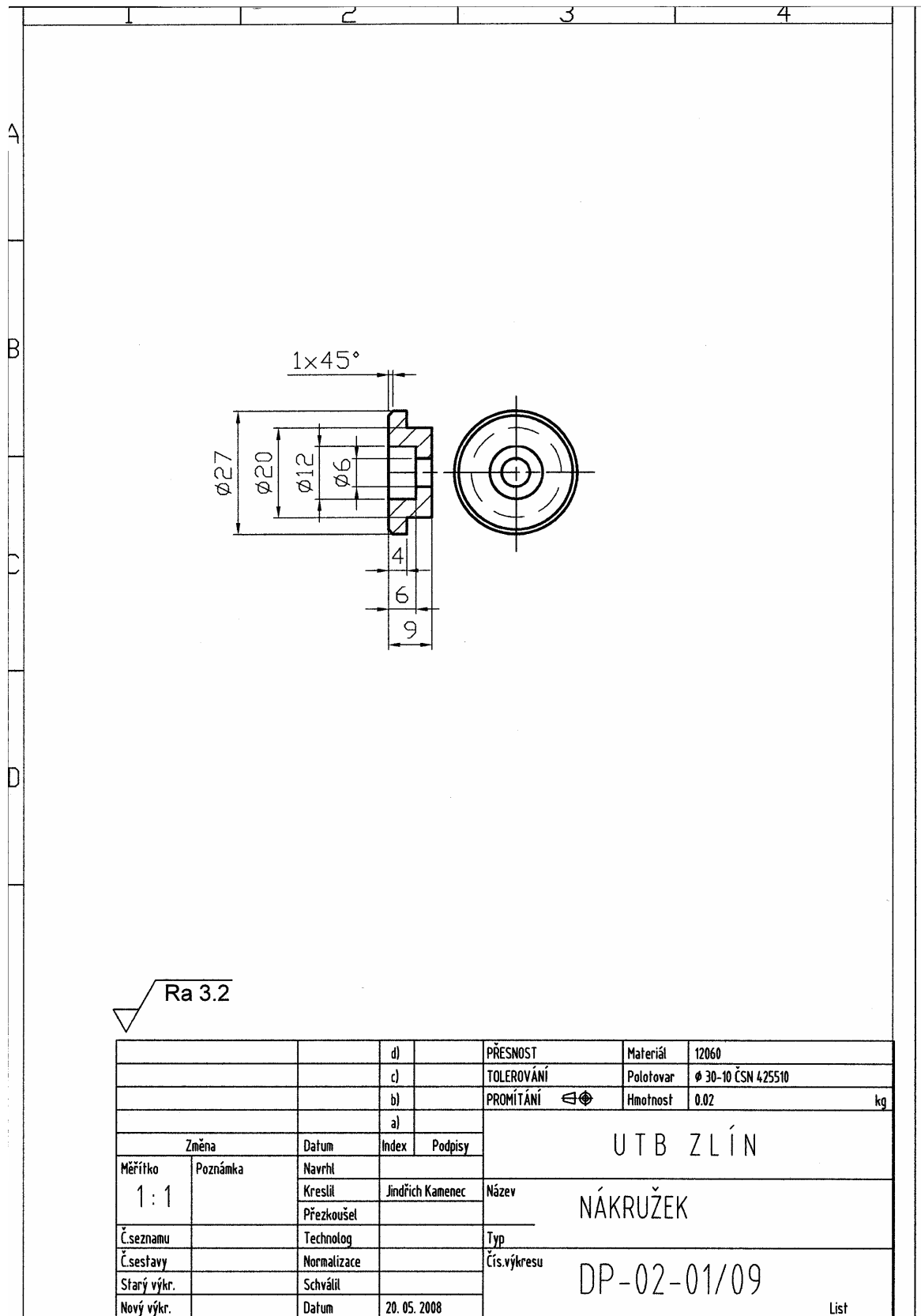
P VIII: VÝKRES LABYRINT 3



PIX: VÝKRES SKŘÍŇ



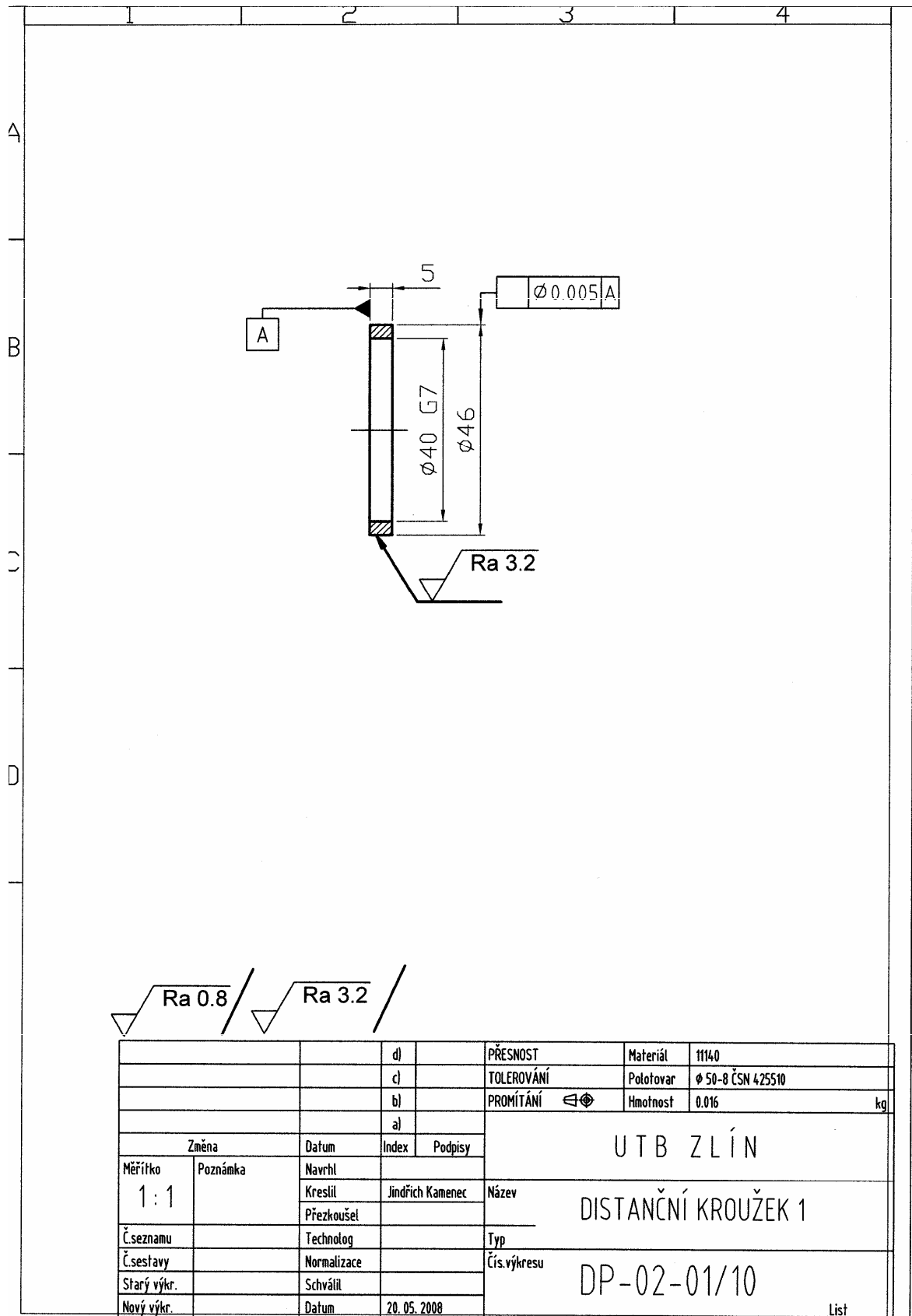
P X: VÝKRES NÁKRUŽEK



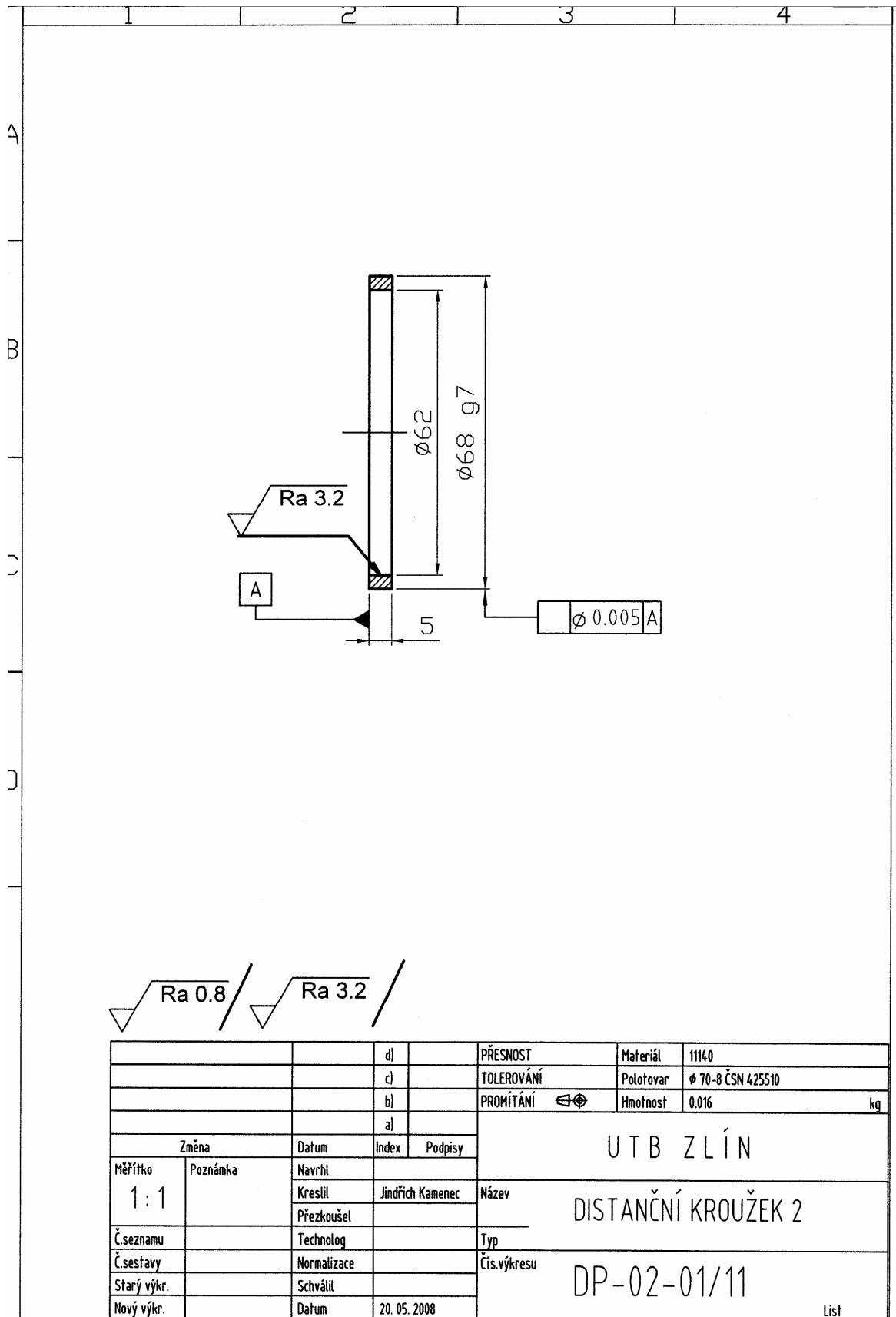
Ra 3.2

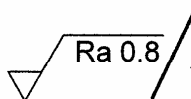
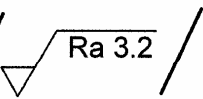
		d)		PŘESNOST	Materiál	12060
		c)		TOLEROVÁNÍ	Polotovar	Ø 30-10 ČSN 425510
		b)		PROMÍTÁNÍ	Hmotnost	0.02 kg
		a)		UTB ZLÍN		
Změna	Datum	Index	Podpisy			
Měřítko	Poznámka	Navrhl	Kreslil	Jindřich Kamenec	Název	NÁKRUŽEK
			Přezkoušel			
Č.seznamu		Technolog			Typ	
Č.sestavy		Normalizace			Čís.výkresu	DP-02-01/09
Starý výkr.		Schválil				
Nový výkr.		Datum	20. 05. 2008			List


P XI: VÝKRES DISTANČNÍ KROUŽEK 1



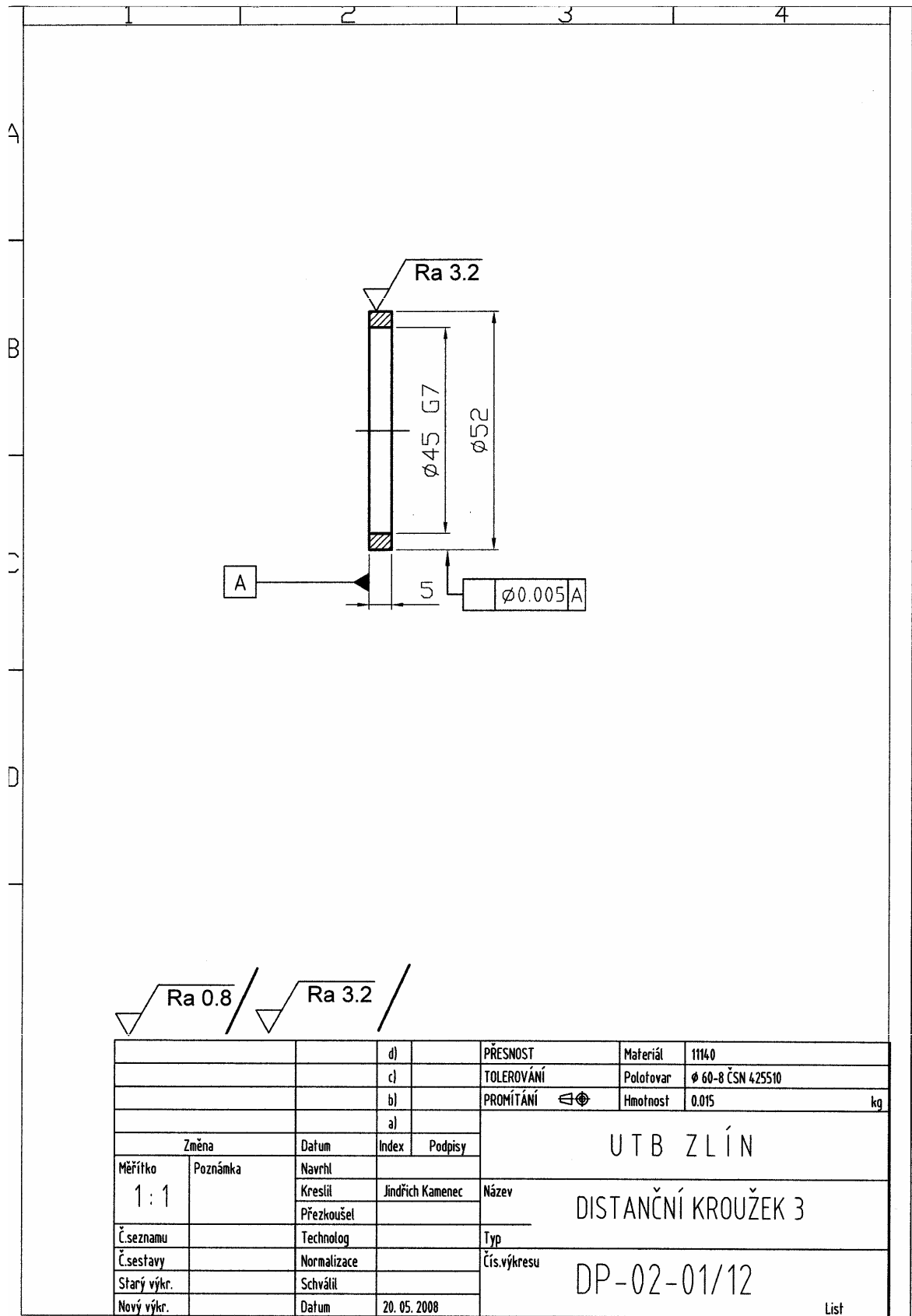
P XII: VÝKRES DISTANČNÍ KROUŽEK 2



 Ra 0.8 /
  Ra 3.2 /

		d)		PŘESNOST	Materiál	11140
		c)		TOLEROVÁNÍ	Polotovar	Ø 70-8 ČSN 425510
		b)		PROMÍTÁNÍ 	Hmotnost	0.016 kg
		a)		UTB ZLÍN		
Změna	Datum	Index	Podpisy			
Měřítko	Poznámka	Navrhl		Název	DISTANČNÍ KROUŽEK 2	
1:1		Kreslil	Jindřich Kameneč			
Č.seznamu		Přezkoušel		Typ	DP-02-01/11	
Č.sestavy		Technolog		Čís.výkresu		
Starý výkr.		Normalizace				
Nový výkr.		Schválil				
		Datum	20. 05. 2008			List

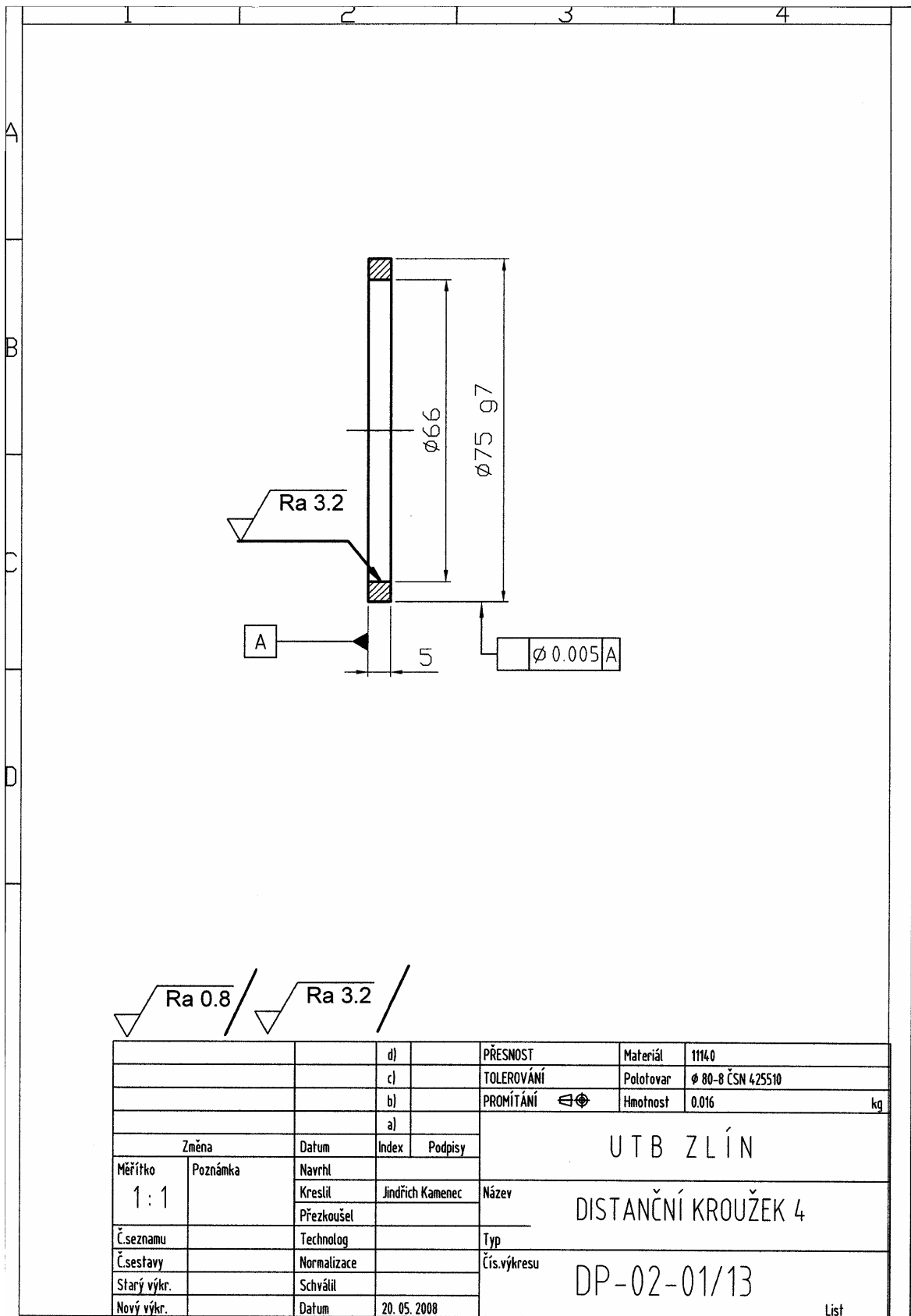
P XIII: VÝKRES DISTANČNÍ KROUŽEK 3



Ra 0.8 / Ra 3.2

		d)		PŘESNOST	1114.0	
		c)		TOLEROVÁNÍ	Polofovar	$\phi 60-8$ ČSN 425510
		b)		PROMÍTÁNÍ	⊕	Hmotnost 0.015 kg
		a)		UTB ZLÍN		
Změna		Datum	Index			
Měřítko	Poznámka	Navrhl		Název	DISTANČNÍ KROUŽEK 3	
1:1		Kreslil	Jindřich Kamenec			
Č.seznamu		Přezkoušel		Typ	DP-02-01/12	
Č.sestavy		Technolog		Čís.výkresu		
Starý výkr.		Normalizace				
Nový výkr.		Schválil				
		Datum	20. 05. 2008			List

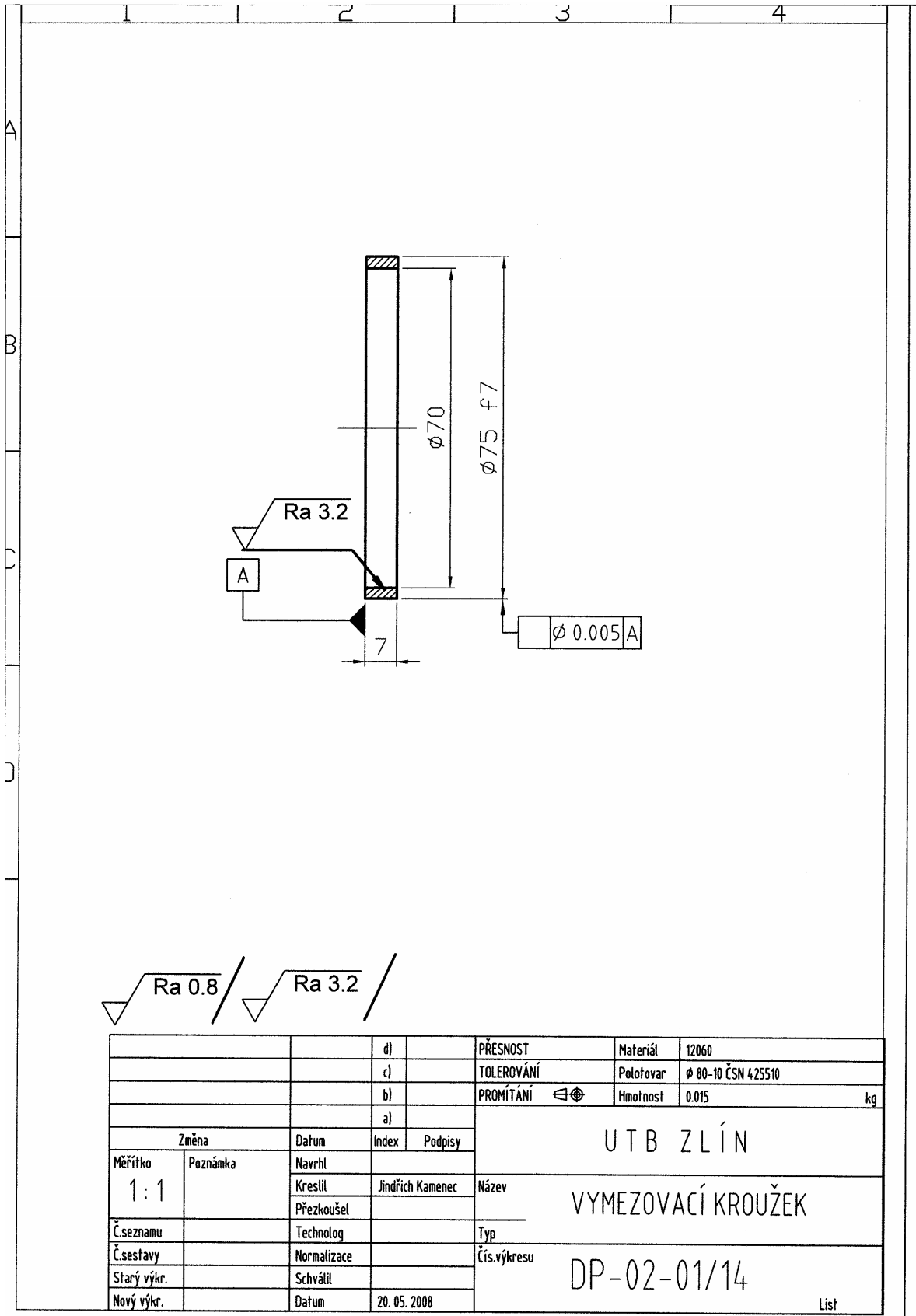
P XIV: VÝKRES DISTANČNÍ KROUŽEK 4



Ra 0.8 /
 Ra 3.2 /

		d)		PŘESNOST	Materiál	1114.0
		c)		TOLEROVÁNÍ	Potočovar	φ 80-8 ČSN 425510
		b)		PROMÍTÁNÍ		Hmotnost 0.016 kg
		a)		UTB ZLÍN		
	Změna	Datum	Index			
Měřítka	Poznámka	Navrhl		Název	DISTANČNÍ KROUŽEK 4	
1:1		Kreslil	Jindřich Kamenc			
Č.seznamu		Přezkoušel		Typ	DP-02-01/13	
Č.sestavy		Technolog		Čís.výkresu		
Starý výkr.		Normalizace				
Nový výkr.		Schválil				
		Datum	20. 05. 2008			List

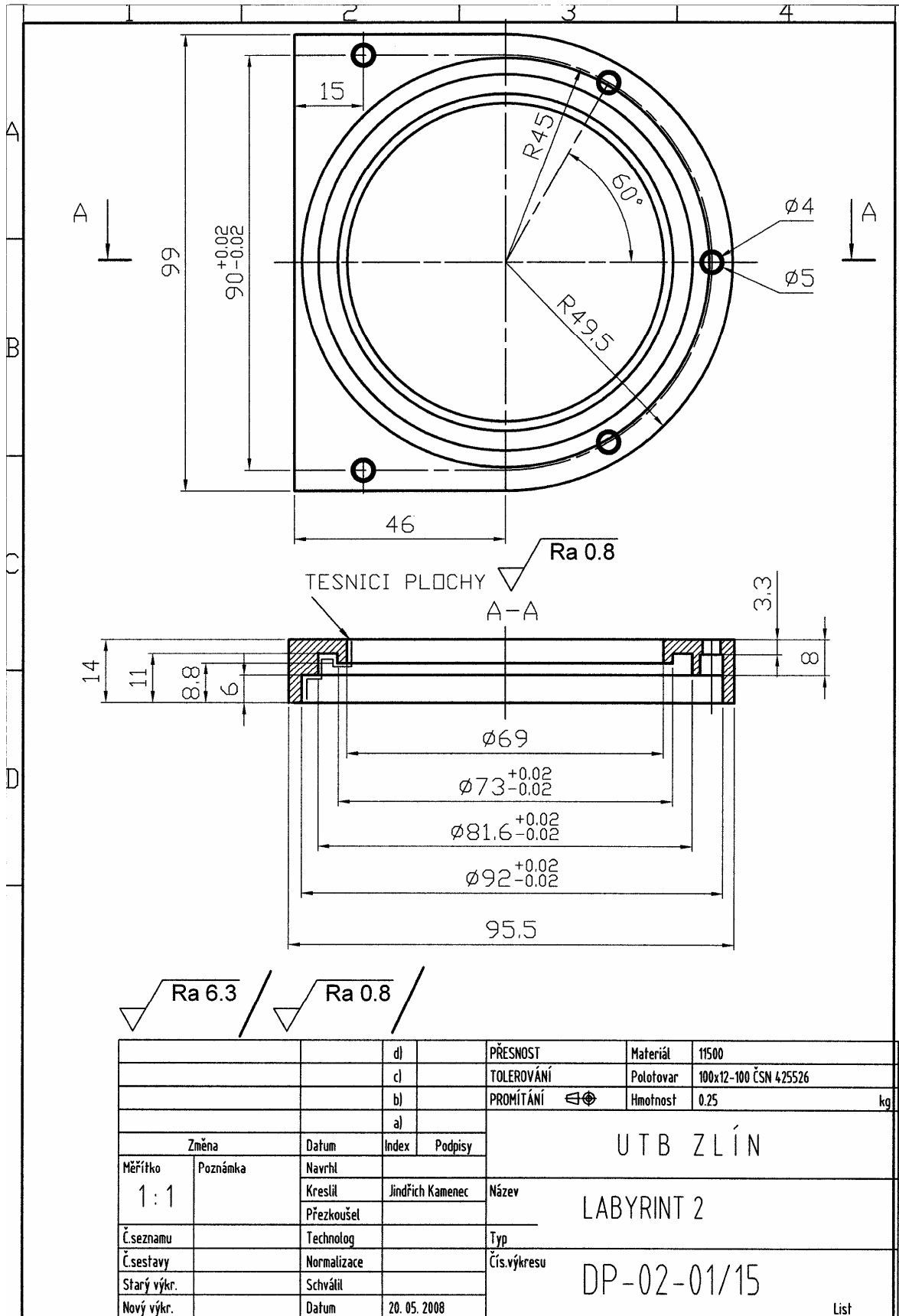
P XV: VÝKRES VYMEZOVACÍ KROUŽEK



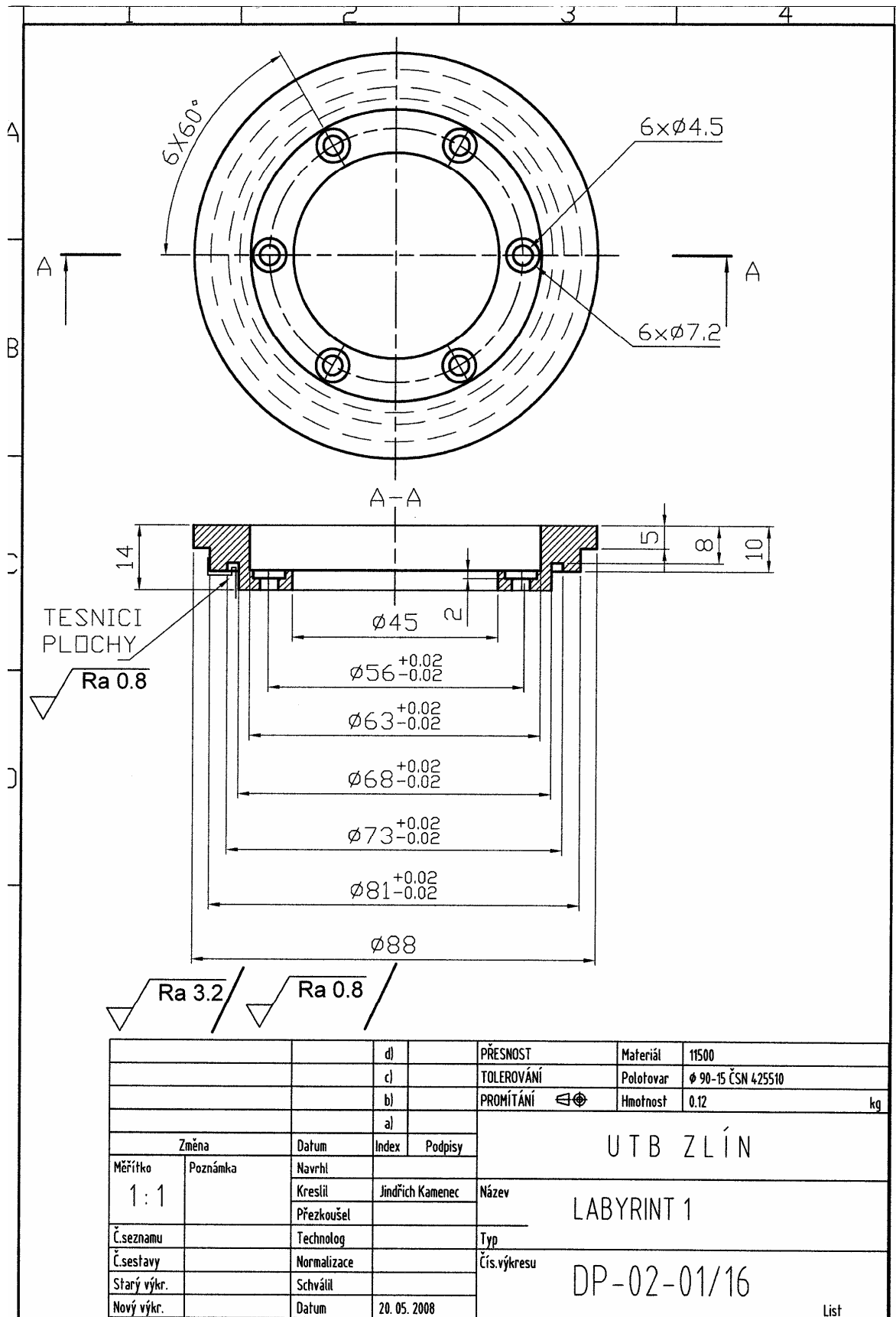
$\sqrt{Ra 0.8} / \sqrt{Ra 3.2}$

		d)		PŘESNOST	Materiál	12060
		c)		TOLEROVÁNÍ	Polotovar	$\phi 80-10$ ČSN 425510
		b)		PROMÍTÁNÍ	Hmotnost	0.015 kg
		a)		UTB ZLÍN		
Změna	Datum	Index	Podpisy			
Měřítko	Poznámka	Navrhl		Název	VYMEZOVACÍ KROUŽEK	
1:1		Kreslil	Jindřich Kamenec			
Č.seznamu		Přezkoušel		Typ	DP-02-01/14	
Č.sestavy		Technolog		Čís.výkresu		
Starý výkr.		Normalizace				
Nový výkr.		Schválil				
		Datum	20. 05. 2008			List

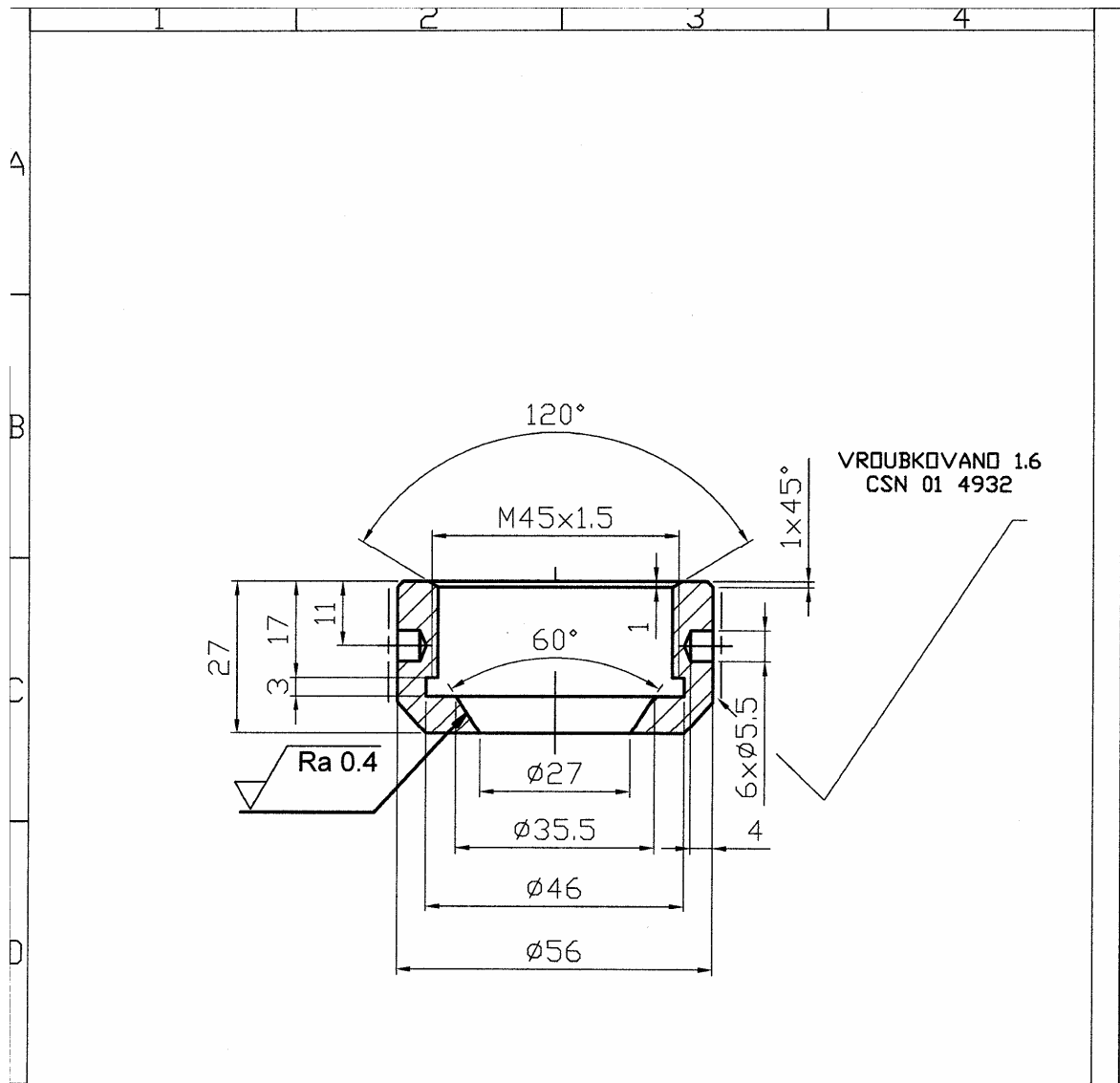
P XVI: VÝKRES LABYRINT 2



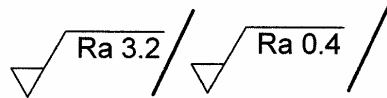
P XVII: VÝKRES LABYRINT 1



P XVIII: VÝKRES PŘEVLEČNÁ MATICE

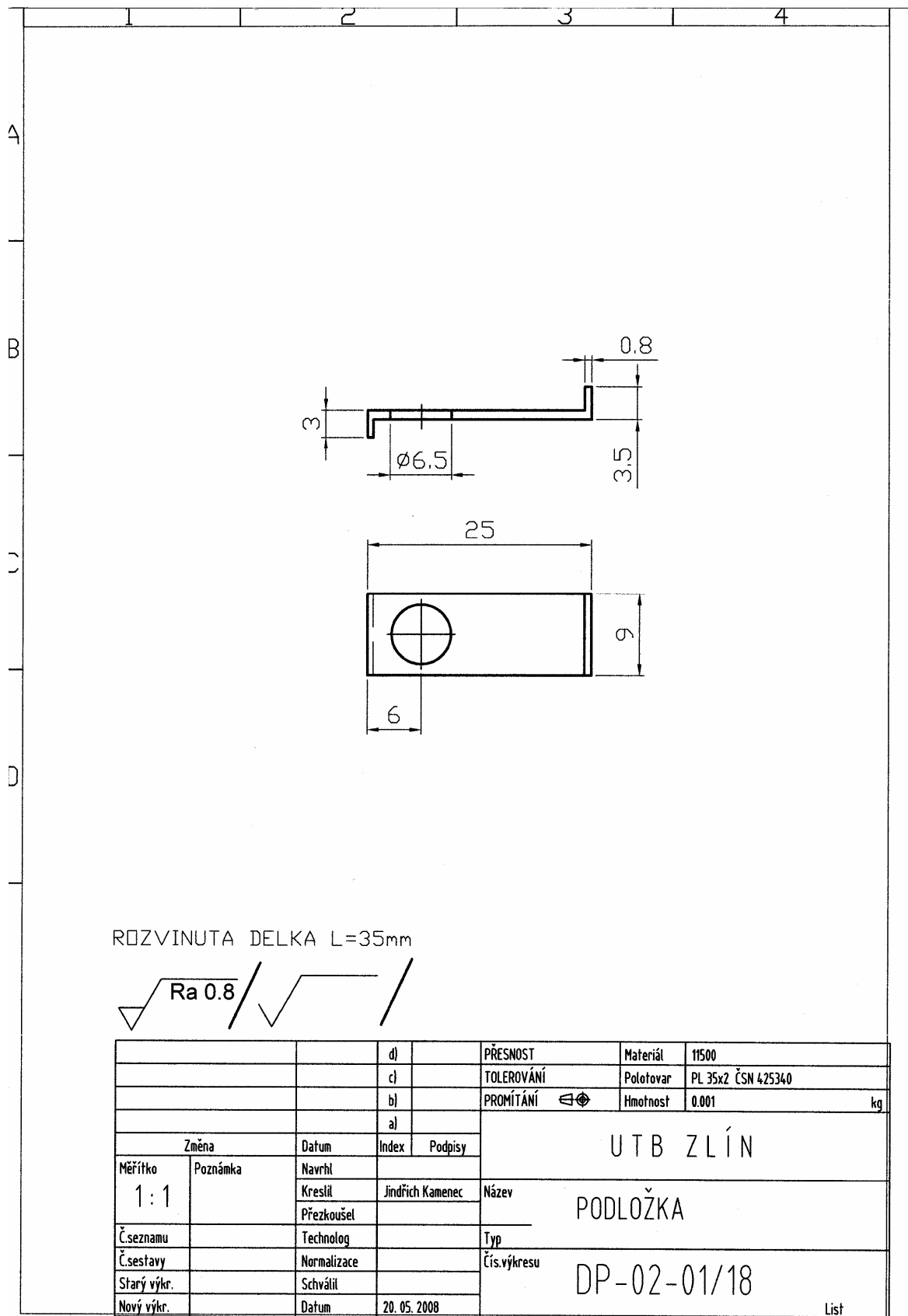


MAT. 12 050.1 ZUSLECHTEND NA 12 050.6

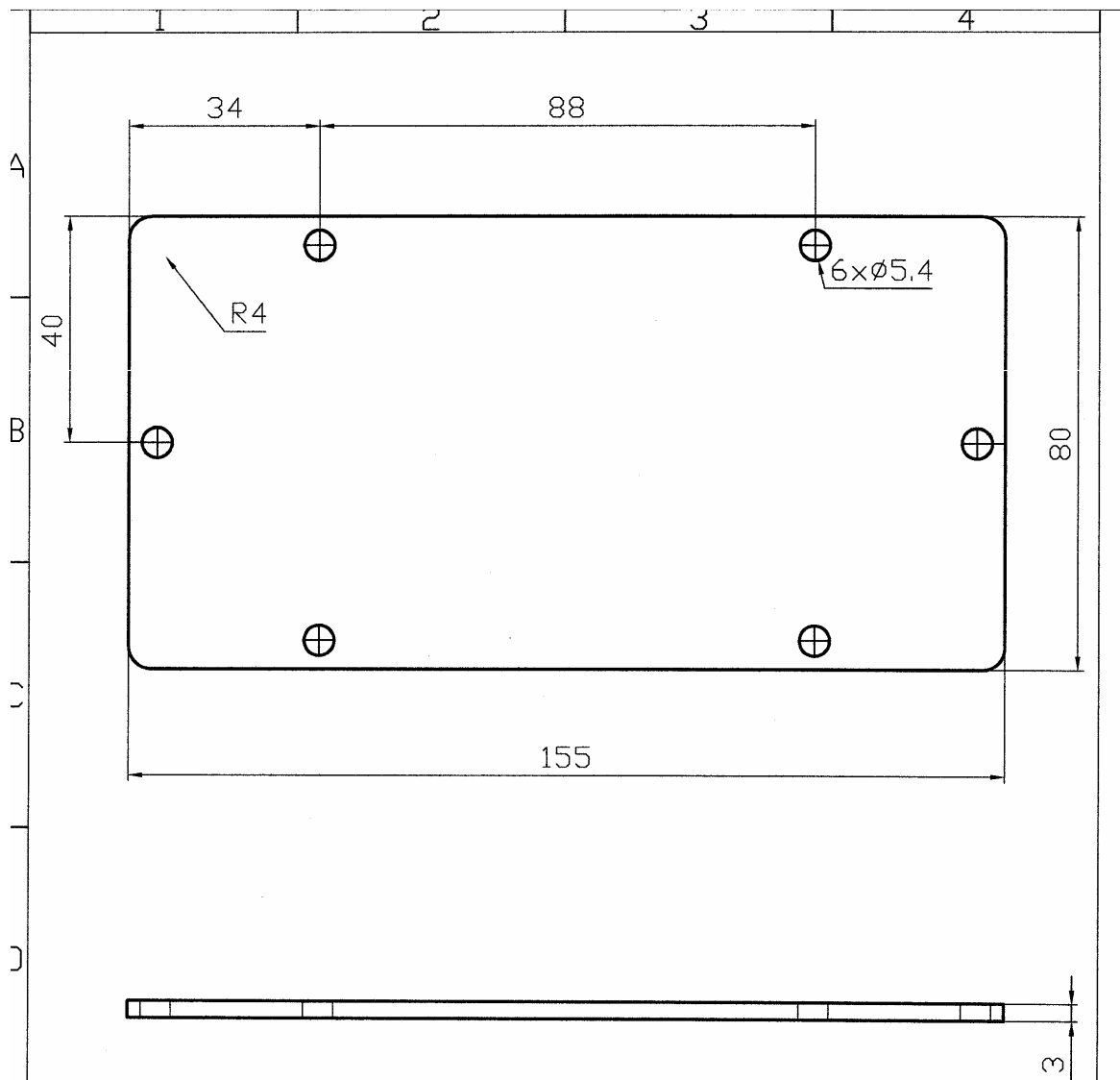


		d)		PŘESNOST	12050.1	12050.1
		c)		TOLEROVÁNÍ	Polotovar	ϕ 60-30 ČSN 425510
		b)		PROMÍTÁNÍ		Hmotnost 0.015 kg
		a)				
	Změna	Datum	Index	Podpisy	UTB ZLÍN	
Měřítko	Poznámka	Navrh	Kreslil	Jindřich Kamenec		
1:1		Přezkoušel			Typ	
Č.seznamu		Technolog			Čís.výkresu	DP-02-01/17
Č.sestavy		Normalizace				
Starý výkr.		Schválil				
Nový výkr.		Datum	20. 05. 2008			List

P XIX: VÝKRES PODLOŽKA



P XX: VÝKRES VÍKO



$\sqrt{\text{Ra 6.3}}$

		d)		PŘESNOST	12060	12060
		c)		TOLEROVÁNÍ	Polotovar	PL 3 80x155 ČSN 425526
		b)		PROMÍTÁNÍ	⊕	Hmotnost 0.03 kg
		a)		UTB ZLÍN		
Změna	Datum	Index	Podpisy			
Měřítko	Poznámka	Navrhl		Název	VÍKO	
1:1		Kreslil	Jindřich Kamenec			
Č.seznamu		Přezkoušel		Typ	DP-02-01/19	
Č.seřavy		Technolog				
Starý výkr.		Normalizace		Čís.výkresu		
Nový výkr.		Schválil				
		Datum	20. 05. 2008			List