

Mechanické zkoušky na zkušebním zařízení PROMI – PC

Hiep Vu Minh

Bakalářská práce
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Hiep VU MINH**

Osobní číslo: **T09803**

Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Mechanické zkoušky na zkušebním zařízení
PROMI-PC**

Zásady pro vypracování:

1. Teoretická východiska mechanických zkoušek
2. Analýza současného stavu vyhodnocování zkoušek tahem tenkých drátů
3. Provedení experimentální zkoušky tahem na zařízení PROMI-PC
4. Vyhodnocení výsledků zkoušky

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. Ptáček,L. a kol.: Nauka o materiálu I. Brno, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002,392 s.
2. Ptáček,L. a kol.: Nauka o materiálu II. Brno, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002,505 s.
3. Norma ČSN EN 10002-1 Zkouška tahem. Praha, ČNI 1994, 28s.
4. Norma ČSN EN 10012 Systémy managementu měření-Požadavky na procesy měření a měřící vybavení. Praha, ČNI 2003,36 s.
5. Norma ČSN 01 0250 Statistické metody v průmyslové praxi. Praha, ÚNM. 1975, 114 s.

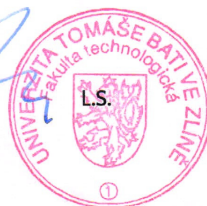
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Josef Hrdina**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **13. února 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **25. května 2012**

Ve Zlíně dne 8. února 2012


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




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

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně 21.5 2012

.....

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je návrh mechanické zkoušky kytarových strun pomocí zkušebního zařízení PROMI – PC. Myšlenkou navržené relaxační zkoušky je zatížení struny tahem a vyhodnocení úbytku napětí po časovém úseku.

Klíčová slova: tahová zkouška, pevnost drátu, relaxační zkouška,

ABSTRACT

The aim of the Bachelor thesis is to propose a mechanical test for guitar strings using test equipment PROMI-PC. The idea of the proposed relaxation test is to load the strings tension and an evaluation of the loss of stress after a time period.

Keywords: tensile test, wires strength, relaxation test

Děkuji vedoucímu Ing. Josefu Hrdinovi za pomoc poskytnutou při řešení této mé bakalářské práce.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 KYTARA	11
2 DRUHY KYTAR	12
2.1 AKUSTICKÁ KYTARA	13
2.2 ELEKROAKUSTICKÁ KYTARA.....	14
2.3 ELEKTRICKÁ KYTARA.....	15
3 DRUHY KYTAROVÝCH STRUN	17
4 STRUKTURA KYTAROVÝCH STRUN	18
4.1 TYPY VINUTÍ	19
5 TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ KOVŮ	21
5.1 VÁLCOVÁNÍ POLOTOVARŮ	21
5.1.1 Válcování drátů	22
5.1.2 Tažení drátů.....	22
5.1.3 Nástroje pro tažení	22
5.2 TECHNOLOGIE VÝROBY DRÁTU	23
6 MECHANICKÉ ZKOUŠKY MATERIÁLŮ	25
6.1 MECHANICKÉ ZKOUŠKY STATICKÉ	25
6.1.1 Zkouška tahem	26
6.1.2 Zkouška tlakem	29
6.1.3 Zkouška ohybem	30
7 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	32
II PRAKTICKÁ ČÁST	33
8 PARAMETRY PŘÍSTROJE PROMI - PC	34
8.1 TECHNICKÉ ÚDAJE.....	35
8.2 POSTUP MĚŘENÍ TAHOVÉ ZKOUŠKY	35
9 TYPY POUŽITÝCH STRUN	38
9.1 MĚŘENÍ PRŮMĚRU	41
9.2 VÝSLEDKY TAHOVÉ ZKOUŠKY	41
10 NÁVRH RELAXAČNÍ ZKOUŠKY	42
10.1 POSTUP MĚŘENÍ.....	42
10.2 VYHODNOCENÍ ZKOUŠKY	43
11 ZÁVĚR	45
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	46
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	48
SEZNAM OBRÁZKŮ	49
SEZNAM TABULEK	50

ÚVOD

Problematika vlastností kytarových strun ještě není příliš prozkoumána a záznamy z dřívější doby téměř není možné nalézt. Proto muselo být vynalezeno hodně experimentálních metod či testovacích přístrojů.

Dlouhou dobu se struny vyráběly z přírodních materiálů, zpravidla ze zvířecích střev nebo z hedvábí. Až kolem roku 1940 se na trhu objevil nylon, jehož výhody spočívají v delší stabilitě a dostupnosti. Specifický podíl mají struny, označené jako "mimotolerantní". Většina strun, používaných v mnoha dnes oblíbených žánrech (např. country, folk, rock apod.) bývá kovových. Objevily se na akustických kytarách kolem roku 1900. Na elektrických kytarách se používají výhradně. Jsou tvořeny kovovým jádrem, které je u silnějších strun (E, A, D, G při standardním ladění) ovinuto tenkým drátkem z různých slitin, podle typu struny, nejčastěji bronzovým nebo fosforbronzovým. Tenké struny bývají tvořeny pouze jádrem-drátem.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KYTARA

Kytara je drnkací strunný nástroj (chordofon) s hmatníkem. Tón vzniká rozechvěním struny napjaté mezi dvěma pevnými body – nultým pražcem a vložkou kobyly. Struny jsou rozechvívány drnkáním prsty nebo plektrem (lidově trsátko). Hmatník umožňuje získávat další tóny zkracováním chvějné délky struny přitlačením struny na pražec. Z hlediska akustického patří kytara mezi nástroje s doznívajícím tónem. Kytara je akordický nástroj – umožňuje jednohlasou i vícehlasou hru.[2]

2 DRUHY KYTAR

Kytary můžeme rozdělit podle způsobu tvorby a vzniku tónu (základní rozdělení), podle materiálu, ze kterého jsou vyrobeny, podle hudebního stylu, ve kterém mají největší využití, podle počtu strun nebo podle velikosti.[3]

Rozdělení kytar podle způsobu tvorby a vzniku tónu:

➤ **AKUSTICKÉ**

Po rozechvění struny vzniká tón, který je veden kobylkou a rezonančním otvorem do těla nástroje. Tam se pomocí přední desky, rozestavení žebek a tvaru těla nástroje zesiluje a získává potřebné kvality, jako např. barvu (témbr). Kvalita těchto kytar je tedy zcela závislá na správné konstrukci a materiálu, ze kterého jsou vyrobeny.

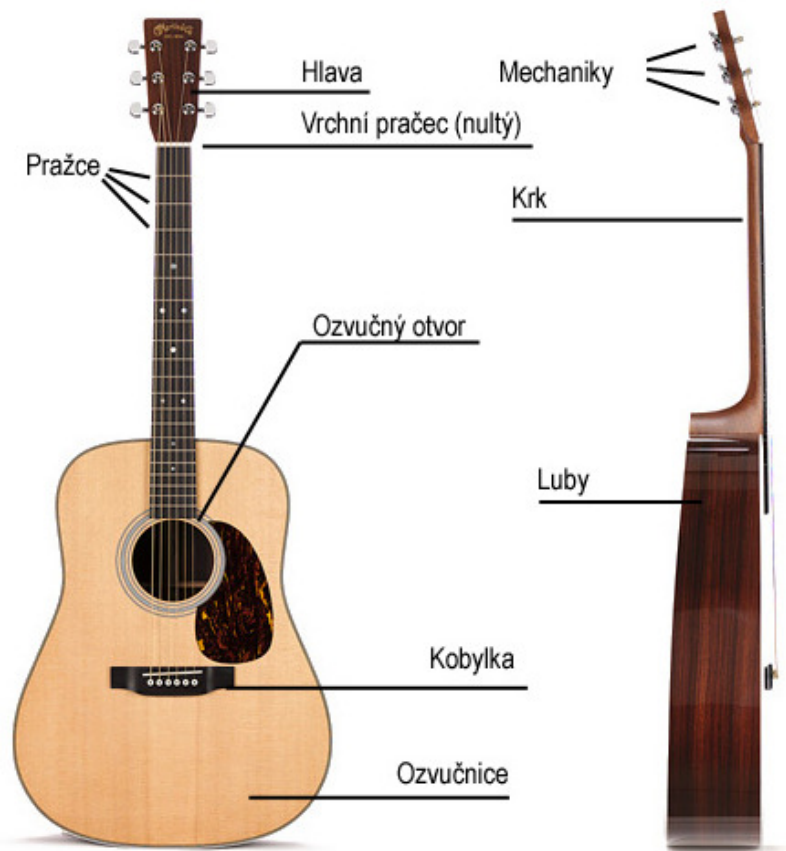
➤ **ELEKTROAKUSTICKÉ (POLOAKUSTICKÉ)**

Jsou obdobou akustické kytary, liší se pouze zabudovanou elektronikou pro snímání zvuku (snímač v kobylce, zabudovaný mikrofon, vstup pro konektor Jack 1/4, atp.).

➤ **ELEKTRICKÉ (ELEKTROFONICKÉ)**

Je druh kytary, ve které elektromagnetické snímače převádějí chvění strun s ocelovým jádrem na elektrický proud, který je veden z kytary do zesilovače. S elektrickou kytarou se často používají nejrůznější efekty k úpravě zvuku. Výsledný zvuk významně ovlivňuje i použitý zesilovač a reproduktor. Kytary bývají nejrůznějších tvarů.[3] [4]

2.1 Akustická kytara



Obr. 1. Popis akustické kytary [5]

Klasická kytara (obr. 1) má šest strun povětšinou laděných takto: e h g d a. Notuje se v houslovém klíči a zní o oktávu níže, než se píše. Rozsah kytary v případě ladění E A d g h e1 je E–H2. Často se také používají kytary 12strunné, kde je každá struna zdvojená. Dvojice strun h a e1 jsou laděny stejně, u strun E A d g je vždy druhá struna naladěna o oktávu výš. 12strunné kytary mají bohatší zvuk a používají se především v country hudbě. Méně časté, ale zvukově o to zajímavější, je též ladění do konkrétního akordu, např.: G, D, apod. Při ladění do G se struny E, A, e1 podladí o celý tón, tedy na D, G, d1, čemuž je přirozeně třeba přizpůsobit akordické hmaty. Využívá se mj. v blues a country.[2]

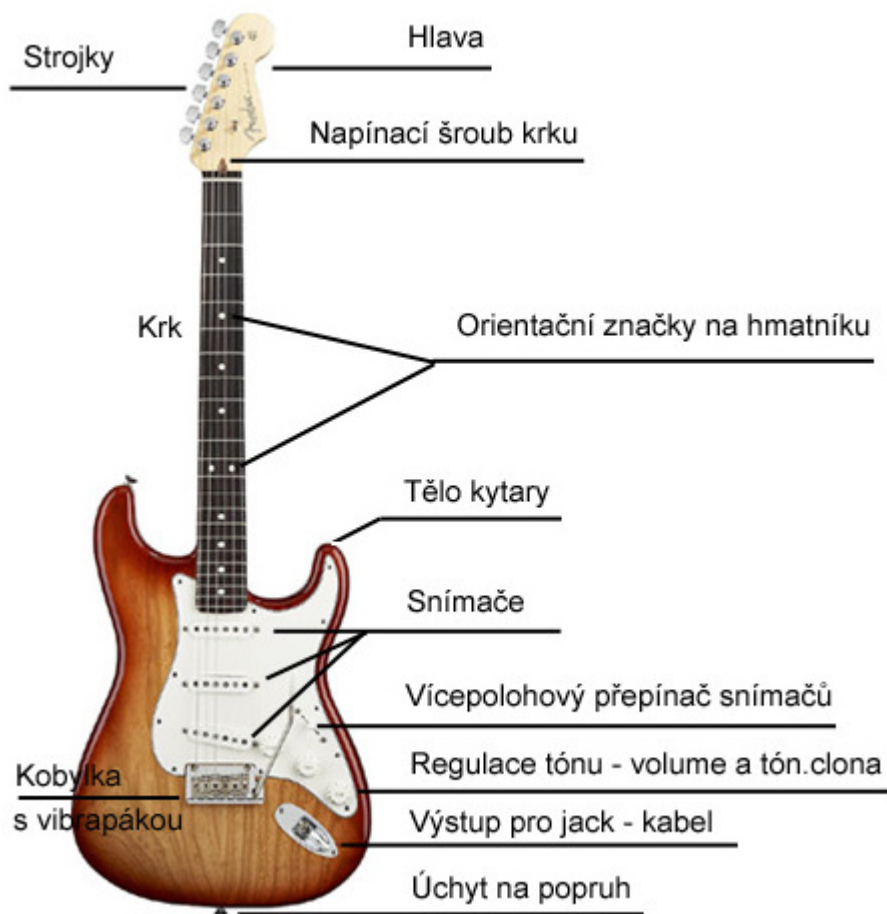
2.2 Elektroakustická kytara



Obr. 2. Popis elektroakustické kytary [6]

Elektroakustické kytary (obr. 2) konstrukčně vycházejí z akustické kytary, ale jsou opatřeny snímačem, umístěným nejčastěji v kobylyce. Mechanicko–elektrický převodník snímače bývá obvykle piezoelektrický a přeměňuje změny mechanického tlaku na elektrický signál, podobně jako mikrofon. Umožňuje to zesilovat elektronicky zvuk nástroje, ale zvuk si zachovává barvu klasické kytary, na rozdíl od elektrofonické kytary s elektromagnetickým snímáním. Pro dosažení ještě věrnějšího zvuku bývá piezoelektrický snímač někdy doplněn malým mikrofonem, umístěným uvnitř korpusu. V kytare bývá vestavěn předzesilovač s ekvalizérem.[2]

2.3 Elektrická kytara



Obr. 3. Popis elektrické kytary [5]

Kytara (obr. 3) se na počátku 20. století začala používat i ve velkých orchestrech, kde vznikl problém se silou zvuku – hlas kytary zanikal. Hledala se tedy cesta, jak zvuk kytary zesílit a byly zkoušeny různé principy a konstrukce snímačů. Nejlépe se osvědčil elektromagnetický snímač. Dnes jej tvoří malé cívky umístěné pod strunami, ve kterých se při pohybu kovových strun indukuje malé elektrické napětí, které je následně zesilováno zesilovačem. Cívka může být společná pro všechny struny nebo má svou vlastní cívku každá struna. Elektromagnetický snímač nesnímá vibrační desky ale chvění strun, elektrofonické kytary (obr. 3) tedy nepotřebují korpus. To se odrazilo na konstrukci – tělo se vyrábí z masivní desky dřeva, plastických hmot či jiných materiálů, případně může i chybět úplně. Postupně se vyvinuly další typické znaky. Ladicí kolíky se někdy umísťují v jedné řadě. Dalším vybavením může být páka, zvaná tremolo (hovorově, avšak nesprávně) nebo vibra-

to (vibrapáka), která umožňuje pohybovat při hře kobyolkou a měnit tak výšky znějících tónů. Někdy bývají v kytáře vestavěny elektrické obvody jako předzesilovač nebo aktivní korekce. [2]

3 DRUHY KYTAROVÝCH STRUN

Bronz 80/20 - je slitinou 80% mědi a 20% zinku (pro tuto slitinu je vhodnější označení mosaz, jako bronz bývá spíše vnímána slitina mědi a cínu). Struny z tohoto materiálu mívají zvonivé, průrazné výšky a mohutné burácivé basy. Patří k nejoblíbenějším a nejčastěji vyráběným.

Fosforová bronz (fosforbronz) - prvním výrobcem strun z tohoto materiálu byla pravděpodobně firma d'Addario a na trhu se objevují od roku 1974. Slitina obsahuje 92 % mědi, 8% cínu nebo zinku (92/8 Phosphor Bronze) a stopové množství fosforu. Fosforbronzové struny mají oproti strunám z bronzi 80/20 delší životnost. Jejich zvuk je teplý, jasný, a vyvážený.

Niklovaná ocel - ocelová struna, na jejímž povrchu je zpravidla 8% (váhových) čistého niklu. Používají se v posledních 50 letech téměř výhradně na elektrických kytarách, výhodou jsou magnetické vlastnosti oceli. Poniklovaný povrch nejen hezky vypadá, ale je i velmi odolný, proto mají niklované struny dlouhou životnost. Zvuk těchto strun je velmi jasný, až řezavý, proto jsou tyto struny nevhodné na akustickou kytaru.

Nerezová ocel - pro své magnetické vlastnosti je vyhledávaným materiálem pro struny, používané na elektrických kytarách. Vyniká dlouhou životností, struny nečernají a mají velmi průrazný, zvonivý zvuk. Z nerezů také bývají tenké struny (E a H) v mnoha sadách, určených pro akustické kytary. [1]

4 STRUKTURA KYTAROVÝCH STRUN



Obr. 4. Složení kytarové struny [1]

Kytarová struna (obr. 4) je tvořena jádrem, které může být vyrobeno buď ze syntetického materiálu (většinou nylon, který se používá u strun pro klasickou kytaru), nebo kovové (zpravidla ocelové, vhodné pro akustické i elektrické kytary) .

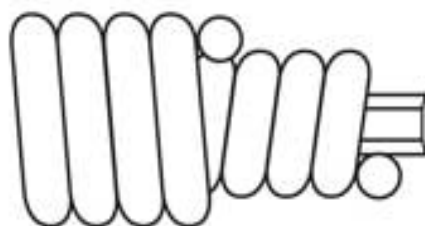
Pro struny, určené pro elektrické kytary, se u některých typů stále používá niklové jádro. Nikl se používal v začátcích elektrické kytary, protože niklová struna v kombinaci s cívkovými snímači (single i humbuckery) poskytovala vyšší výstupní napětí. Dnes se niklové struny používají v případech, kdy chceme dosáhnout "starého" (vintage), teplého tónu. Pozdější konstrukce snímačů již používaly cívky s feritovými jádry, která díky své permeabilitě umožnila dosáhnout značné indukčnosti cívky i při malém počtu závitů. Tím se snížil odpor vinutí i jeho vlastní kapacita, tedy parametry, negativně ovlivňující velikost výstupního napětí ze snímače. Použití feritových jader zároveň umožnilo i použití strun s ocelovým jádrem, které mají oproti niklu delší životnost. Na trhu proto dnes převládají struny s ocelovým jádrem.

Jádro mívá kruhový nebo šestihranný průřez. Někteří se domnívají, že šestihranné jádro vydrží déle a je vhodnější pro energickou hru. Nelze však prokázat, že by struna s šestihranným jádrem déle vydržela či byla vhodnější pro nějaký konkrétní styl hry. Šestihranné jádro se používá především z technologických důvodů, protože na něm lze vinutí struny snadněji a stabilněji usadit. Drát, kterým je jádro ovinuto, je zpravidla měkčí než jádro. Je-li navinut na šestihranné jádro (např. d'Addario), jeho hrany se do materiálu drátu "zakousnou", čímž vznikne velmi pevné spojení vinutí s jádrem. Struna má pak delší životnost a

déle drží intonaci. U některých strun, např. DR Sunbeam, se stále používá jádro kruhového průřezu. Výroba strun s kulatým jádrem je také pracnější a DR a někteří další výrobci stále vinou struny ručně. Šestihranné jádro mívají pouze vinuté struny, tenké struny (E a H, resp. B) mívají prakticky bez výjimky kruhový průřez. [1]

4.1 Typy vinutí

V běžných kovových sadách jsou vinuté jen některé struny, zpravidla nejsilnější 3, 4, 5, a 6 (tedy G, D, A a E). Tenké struny 1 a 2 (E a H, resp. B) bývají bez vinutí. Průměry strun a použité materiály se u jednotlivých výrobců liší podle toho, jak se výrobce snaží vyjít vstříc požadavkům hráčů. Vinutí struny ovlivňuje zejména dozvuk (sustain) a čistotu, jas a zřetelnost tónu. [1]



Obr. 5. Kulaté vinutí [1]

Nejběžnější je **kulaté** (Round Wound) vinutí (obr. 5), tj. jádro je ovinuto drátem kruhového průřezu. Taková struna má čistý, jasný a průrazný zvuk a to i oblasti středů a hloubek.



Obr. 6. Půlkulaté vinutí [1]

V polovině 70. let minulého století přišla firma d'Addario s **půlkulatým** (Half Round Wound) vinutím (obr. 6). Technologická náročnost výroby struny se tím zvýší (je třeba přesného broušení), ale struna má mnohem hladší povrch, čímž se omezí známé pazvuky při přejíždění z polohy do polohy. Struna je zároveň šetrnější k prstům a je méně náchylná

k usazování nečistot. Tyto struny, někdy též nazývané jako "hlazené", proto mají zpravidla delší životnost. d'Addario popisuje struny jako "částečně zachovávající zvuk strun s kulatým vinutím, které však získávají bohatší a teplejší zvuk, obvyklý u strun s plochým vinutím".[1]



Obr. 7. Ploché vinutí [1]

U strun s **plochým** vinutím (Flat Wound) – obr. 7 je jádro namísto obvyklého drátu ovinito páskem, který navíc bývá velmi často ještě leštěný. Struna získá bohatý, temnější zvuk a je velmi příjemná na dohmat. Proto je řada hráčů preferuje zejména na basových kytarách, je-li třeba dosáhnout zvuku "staré školy" z 50. a 60. let minulého století. Velmi oblíbené jsou i na akustických kytarách hráči country, blues, reggae, R&B, a jazzu.[1]

5 TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ KOVŮ

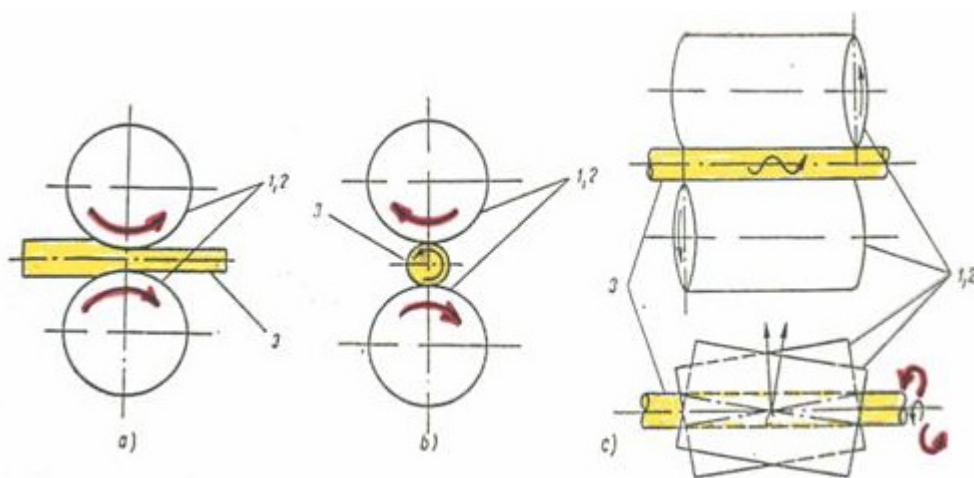
Tvářením kovů rozumíme technologický (výrobní) proces, při kterém dochází k požadované změně tvaru výrobku nebo polotovaru, příp. vlastností, v důsledku působení vnějších sil. Podstatou tváření je vznik plastických deformací, ke kterým dojde v okamžiku dosažení napětí na mezi kluzu pro daný materiál.

Pro výrobu polotovarů je výchozím polotovarem ingot, který je zpracováván postupným válcováním.

Ztuhlé ocelové ingoty, které jsou konečné výrobky oceláren se prohřejí v hlubinných pecích na stejnoměrnou teplotu tváření (asi 1100 °) a válcuje se na předvalky. Z těch se pak vyrábějí konečné výrobky tzv. "vývalky" válcoven: plechy, tyče, trubky atd. [7] [8]

5.1 Válcování polotovarů

Polotovary (plechy) se válcují ve válcovacích stolicích s hladkými válci z plochých předvalků (ploštin). Nejdříve se válcuje napříč, aby se dosáhlo potřebné šířky plechu. Potom se plech otočí o 90° a válcuje se na délku. Tím se dosáhne stejnoměrné tloušťky a rovnoměrnějších vlastností materiálu v podélném i příčném směru válcování - obr.8. Polotovary (plechy) tenké a tlusté (nad 4 mm). Pokud chceme získat hladký povrch, velkou rozměrovou přesnost a dobré mechanické vlastnosti jsou dokončovány válcováním za studena. Původním polotovarem jsou pásy válcované za tepla. [7]



Obr. 8. Princip podélného (vlevo), příčného (uprostřed) a kosého (vpravo)

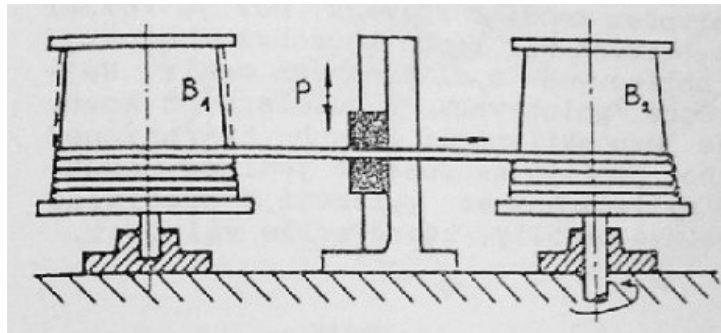
válcování (1,2 – válce, 3 – materiál) [9]

5.1.1 Válcování drátů

Drát do průměru 5 mm se válcuje na speciální válcovací stolici za tepla. Válcovací tratě jsou kontinuální (nepřetržitě). [7]

5.1.2 Tažení drátů

Tažení (obr. 9) je protahování polotovaru otvorem prův laku, při kterém se zmenšuje příčný průřez a zvětšuje délka. Dosahuje se přesných rozměrů a tvarů, zlepšuje se jakost povrchu a mechanické vlastnosti. Nástroj je nepohyblivý. Pokud je vyčerpána plasticita, musí se provést mezioperační žíhání.



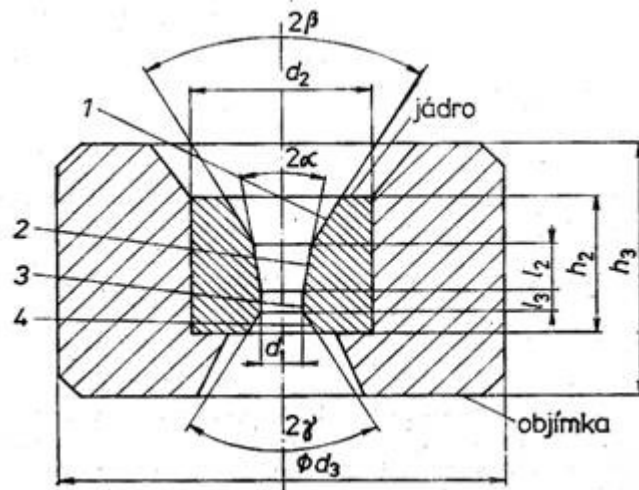
Obr. 9. Princip tažení drátu [7]

Nejdůležitější podmínkou pro tažení drátu je snížení vnitřního pnutí pomocí mazání. Mazivo musí snižovat součinitel tření, oddělovat polotovar a průvlak, odvádět teplo a zajišťovat hladký povrch. Jako výchozí polotovar se používají např. tyče válcované za tepla. Následně se očistí od okují, na jednom konci zašpičatí a za takto upravený konec se chytne polotovar kleštěmi a následuje proces tažení.

Tažení se používá pro výrobu drátu o průměru menším než je 5 mm a nepravidelných tvarů a průřezů.[10]

5.1.3 Nástroje pro tažení

Nástrojem u tažení jsou průvlaky, kalibry, které se nepohybují a jsou značně namáhané na otěr. Průvlaky z ocelí mají životnost zhruba 2000 kg drátu, z tvrdokovu zhruba 200krát větší, diamantové tažnice jsou téměř nezničitelné. Jakost prův laku má vliv na jakost povrchu konečného produktu. Tvar prův laku je ukázán na obrázku (obr. 10).

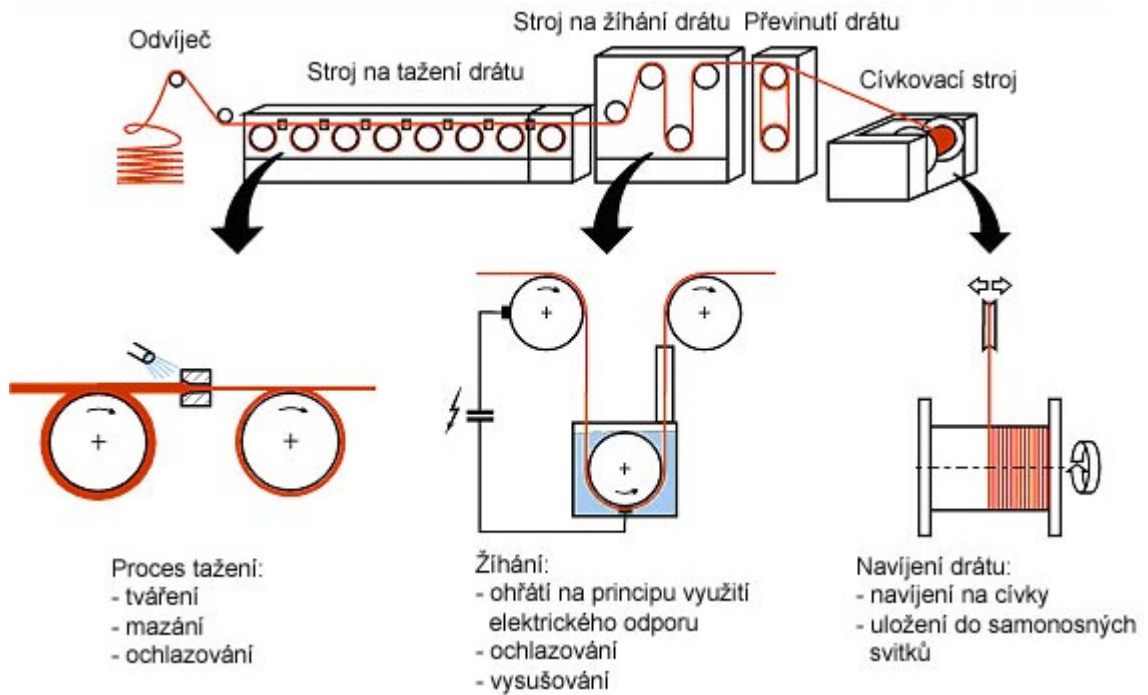


Obr. 10. Schéma průvlatku [10]

Průvlak sestává z většího počtu kuželů o různých vrcholových úhlech. Jejich funkce - (shora) - je následující: vstupní kužel (zaváděcí) – úhel otevření 45 až 60°, mazací – úhel stejný, tažný – tažný kužel s úhlem 10 až 12°, kalibrační a výstupní. Funkce jednotlivých částí průvlatku je dána jejich názvem. Mazací část umožňuje pravidelné rozestření maziva okolo polotovaru. Kalibrační část bývá válcová a zajišťuje hladký povrch. Výstupní část umožňuje odpružení deformovaného průřezu a výstup bez pasivních odporů, brání poškození průvlatku při přetržení drátu. Průvlaky se vyrábějí buď jednodílné nebo skládané. Jako mazivo se používá emulzí, fosfátů, boraxu, mýdlového prášku. [10]

5.2 Technologie výroby drátu

V moderních zařízeních na výrobu drátu (obr. 11) na sebe navazují procesy tažení drátu, žíhání a navíjení drátu (do samonosných svitků nebo cívky). V závislosti na typu požadovaného drátu a také na produktivitě jsou dimenzovány a vzájemně konfigurovány stroje k výrobě drátu: drátotahy, stroje na kontinuální žíhání drátu, navíječe a cívkovače. Kontinuální žíhání lze provádět jen u drátu o průměru větším než 0,05mm.



Obr. 11. Výrobní proces drátu[11]

K tažení drátu se používají tzv. tažné průvlaky (kamery pro tažení). Těmito průvlaky je drát silou tažen, čímž se snižuje po každém projití průvlakem průměr drátu. Tažný průvlak tedy plní funkci nástroje, působícího na materiál. Celková hmota, resp. objem drátu, jsou zachovány, jelikož se jedná o beztržkový tvářecí, nikoliv obráběcí proces, a tudíž se drát po průchodu průvlakem prodlužuje úměrně snížení průměru drátu. Kvůli prodloužení délky drátu je nutné, aby se zvýšila rychlost dalšího tažení. Drát je protahován postupně mnoha průvlakem (kamery), z nichž každý následující má menší a menší průřez a protahovaný drát probíhá těmito průvlakem stále vyšší rychlostí. Pro drát o průměru menším než je 0,5 mm se používají průvlaky (kamery) z přírodních diamantů, pro větší průměr drátu průvlaky vyrobené ze syntetických polykrystalických diamantů.

Během tažení se mění struktura krystalů drátu (dochází ke tváření za studena), drát tuhne a křehne. Proto se bezprostředně po tažení drát musí kontinuálně žíhat (tzn. ohřát a pomalu ochladit), čímž se odstraní nežádoucí deformace krystalů a jejich orientace. Následně je hotový drát navinut na cívku (cívka se točí), nebo se navíjí sám na cívku (cívka je nehybná), případně je v podobě svitku uložen v "sudu" navíjecího nástroje. [11]

6 MECHANICKÉ ZKOUŠKY MATERIÁLŮ

Materiály v elektrických strojích a přístrojích jsou kromě elektrického namáhání vystaveny také působení mechanických sil. Při konstruování těchto zařízení je tedy nutné znát také mechanické vlastnosti používaných materiálů. Zkoušení materiálů je v praxi nezbytnou součástí nejen vlastního výrobního postupu, ale i kontroly výrobků a polotovarů a je i důležitým prostředkem a základem vývojových a výzkumných prací. K posuzování mechanických vlastností materiálů slouží mechanické zkoušky.[12]

Z hlediska působení síly na zkušební těleso rozdělujeme mechanické zkoušky na [13]:

- **Statické zkoušky**, při nichž zatížení zvětšujeme poměrně zvolna. Působí obvykle minuty, při dlouhodobých zkouškách dny až roky.
- **Dynamické zkoušky rázové a cyklické**, při kterých působí síla nárazově po zlomek sekundy. Při cyklických zkouškách (zkoušky na únavu materiálu) se proměnné zatížení opakuje i mnoha cykly za sekundu až mnoha milionů jejich celkového počtu
- **Zvláštní technické zkoušky**, jejichž údaje je možné považovat za směrné, neboť výsledky zkoušek zde závisí na mnoha vedlejších činitelích. Z těchto zkoušek jsou nejdůležitější zkoušky tvrdosti.
- **Podle teplot**, při kterých zkoušky provádíme, je dělíme na zkoušky za normálních, vysokých a nízkých teplot.

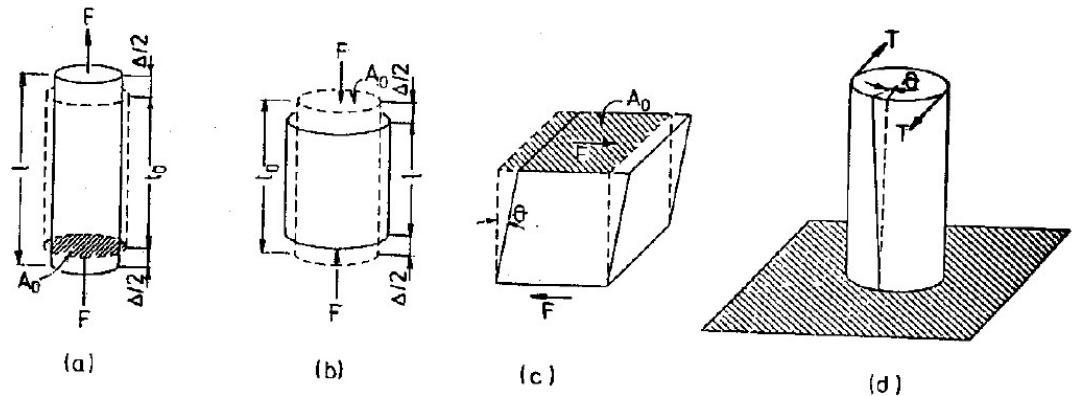
Mechanické zkoušky se většinou neprovádějí na součásti, ale na zvláštních vzorcích zhotovených buď přímo ze součásti, nebo z téhož materiálu.[13]

6.1 Mechanické zkoušky statické

Aby bylo možné vlastnosti materiálu reprodukovat a navzájem porovnávat, musí být zkušební postupy a zkušební podmínky jednotné a přesně definované. Proto je většina mechanických zkoušek normalizována a lze je klasifikovat podle rozličných kritérií:[14]

- podle způsobu zatěžování – na zkoušky tahem, tlakem, ohybem, krutem, stříhem
- podle stavu napjatosti – na zkoušky při jednoosé napjatosti (nejčastěji jednoosý tah)

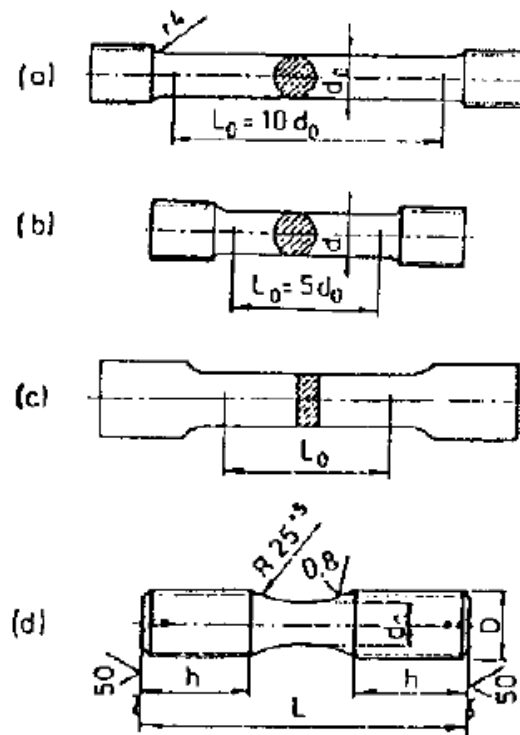
- podle časového průběhu zatěžovací síly – na zkoušky statické, charakterizované klidným zatížením a jeho pomalými změnami nebo na zkoušky dynamické s rychlými změnami zatížení a s velkou rychlostí deformace
- podle fyzikálních podmínek – na zkoušky při různých teplotách a různých prostředích.[14]



Obr. 12. Schéma různých způsobů zatěžování (a) tah, (b) tlak, (c) střih, (d) krut [14]

6.1.1 Zkouška tahem

Tato nejčastěji používaná zkouška spočívá v postupném zatěžování zkušební tyče většinou až do přetržení na dvě části, s cílem zjistit pevnostní a plastické vlastnosti materiálu. Zkušební tyče mají normovaný tvar a rozměry (obr. 13). Z provedené zkoušky se vyhodnocuje mez kluzu, mez pevnosti, tažnost a kontrakce. [14]



Obr. 13. Tvary zkušebních tyčí pro
zkoušku tahem [14]

Mez kluzu v tahu R_e je napětí, při němž se zkušební tyč počne výrazně prodlužovat, aniž by stoupala zatěžující síla, nebo při němž nastává prodlužování doprovázené poklesem zatěžující síly.[13]

$$R_e = \frac{F_e}{S_o} \quad [\text{MPa}] \quad (1)$$

Mez pevnosti v tahu R_m (σ_{pt}) je smluvní hodnota napětí daného podílem největší zatěžující síly F_m , kterou snese zkušební tyč a původního průřezu tyče S_o .

$$R_m = \frac{F_m}{S_o} \quad [\text{MPa}] \quad (2)$$

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

$$\Delta l = l_u - l_0 \quad [\text{mm}] \quad (3)$$

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

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_u - l_0}{l_0} \quad [-] \quad (4)$$

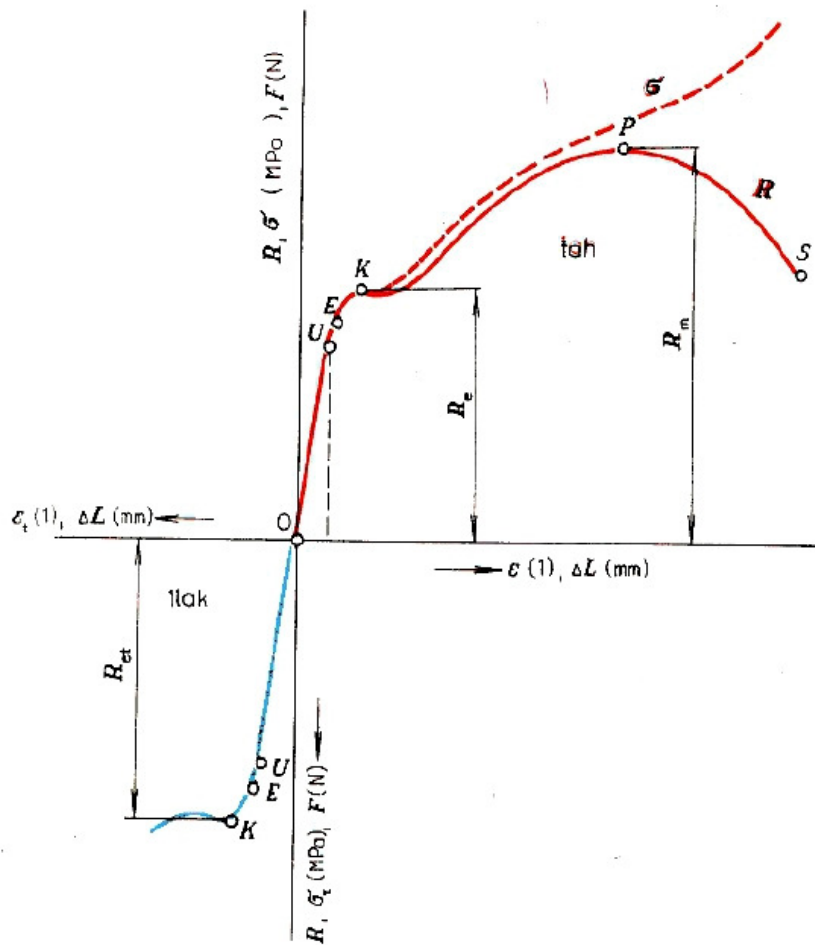
Tažnost A je poměrné prodloužení v procentech počáteční délky:

$$A = \varepsilon * 100 \quad [\%] \quad (5)$$

Uvádí se s indexem (A_5, A_{10}), zda byla získaná na krátké nebo dlouhé tyči.

Kontrakce Z je dána poměrem zúžení průřezu tyče po přetržení (S_0-S_u) k původnímu průřezu tyče S_0 , vyjádřený v procentech:

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} * 100 \quad [\%] \quad (6)$$

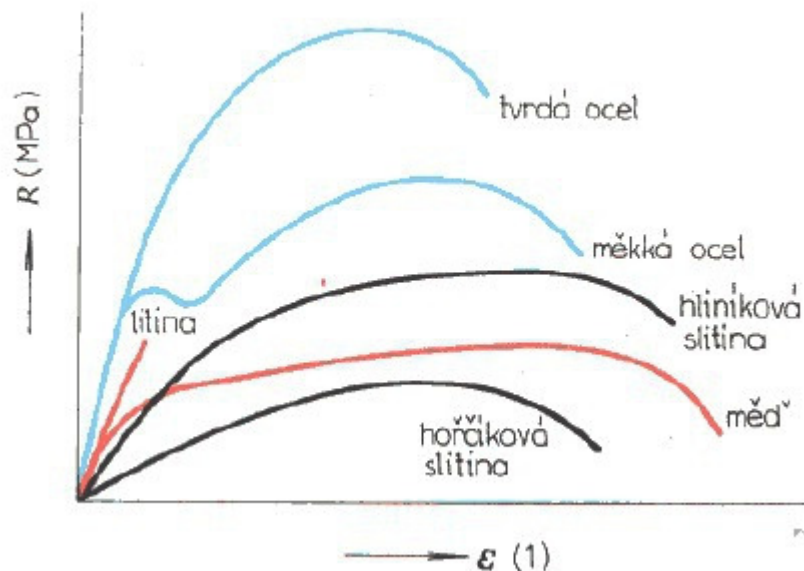


Obr. 14. Pracovní diagram zkoušky tahem a tlakem u měkké oceli [13]

V diagramu (obr. 14) je zpočátku závislost ϵ - σ přímková a to až do bodu U. Napětí odpovídající bodu U je definováno jako napětí, při němž je prodloužení ještě přímo úměrné napětí (Hookův zákon).

V dalším průběhu zkoušky přestává být prodloužení přímo úměrné zatížení. Až do bodu E je deformace pružná (elastická), tj. po úplném odlehčení nabývá zkušební tyč počáteční délky.

U některých materiálů prodleva nenastane a mez kluzu nelze zjistit. Proto jako běžnou smluvní hodnotu bereme napětí, které způsobí trvalé prodloužení 0,2%. Zjišťuje se graficky nebo průtahoměry. [13]

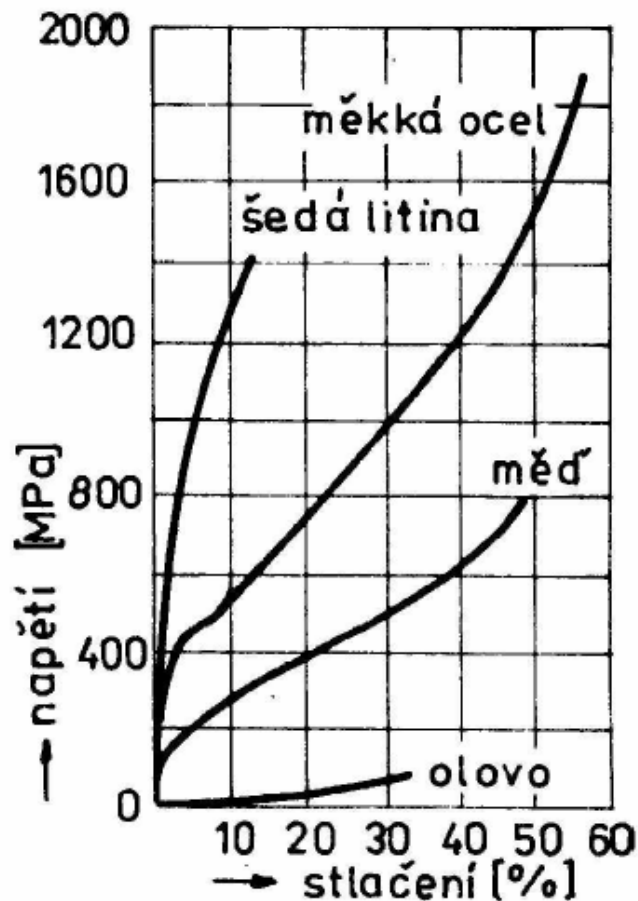


Obr. 15. Příklady pracovních diagramů
různých kovů a slitin [13]

6.1.2 Zkouška tlakem

Statická zkouška tlakem má význam zejména pro hodnocení materiálů křehkých a materiálů namáhaných v provozu tlakem (litina, ložiskové kovy, nekovové stavební hmoty aj.). Zkušební těleso ve tvaru válečku se postupně zatěžuje, až se rozdrtí nebo stlačí na stanovenou hodnotu. Mez pevnosti v tlaku lze určit jen u materiálu křehkých, u nichž dojde k rozdrčení. U houževnatých materiálů, které se při zkoušce neporuší (např. měkká ocel – obr. 16) je možné ze závislosti napětí stlačení stanovit mez kluzu v tlaku, příp. mez pruž-

nosti v tlaku, podobně jako u zkoušky tahem. Pro určitou deformaci je také možné stanovit poměrné zkrácení a příčné rozšíření. [15]



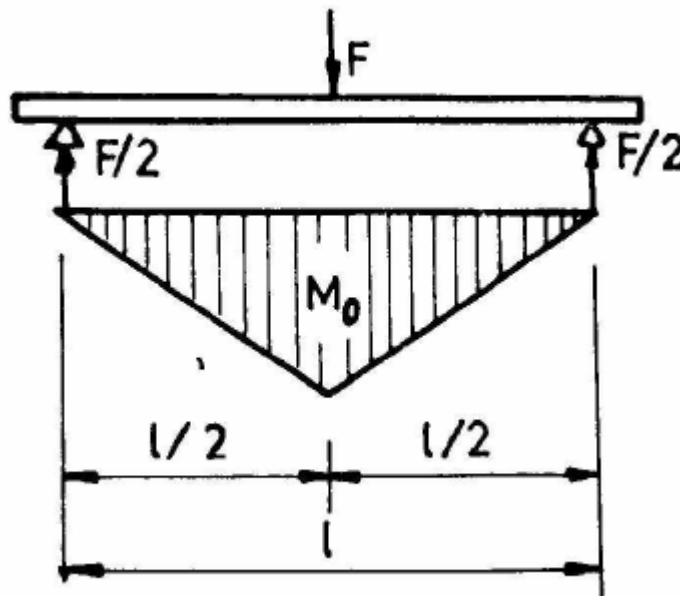
Obr. 16. Příklady diagramů zkoušky tlakem [15]

6.1.3 Zkouška ohybem

Statická zkouška ohybem je důležitá zejména u křehkých materiálů (např. u šedé litiny). Pro tvárné materiály má malý význam, neboť zkušební tyče se ohýbají ve velkém rozsahu a často se vůbec nezlomí. Při zkoušce ohybem je zkušební tyč (nejčastěji kruhového průřezu) uložena na dvou podporách a zatěžována osamělou silou, působící uprostřed mezi podporami (obr. 17). Určuje je pevnost v ohybu R_{mo} ze vztahu:

$$R_{m\sigma} = \frac{M_{\max}}{W_0} \text{ [MPa]} \quad (7)$$

kde W_0 je modul průřezu v ohybu a M_{\max} je největší ohybový moment v průřezu pod působící silou v okamžiku lomu a je roven $M_{\max} = F_{\max} \cdot l/4$ (F_{\max} – síla v okamžiku lomu; l – vzdálenost podpěr). U křehkých materiálů se zjišťuje kromě pevnosti v ohybu také průhyb tyče v okamžiku lomu, který lze považovat za míru deformační schopnosti zkoušeného materiálu. [15]



Obr. 17. Schéma zkoušky ohybem [15]

7 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Účelem této bakalářské práce je vyhodnotit výsledky tahových a relaxačních zkoušek kytarových strun provedených experimentálním měřením pomocí zkušebního zařízení Promi – PC. Upínání zkoušených strun bude uskutečněno pomocí kladek.

Na základě těchto výsledků budou testované struny hodnoceny a ověřovány pro své rozhodující vlastnosti.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

8 PARAMETRY PŘÍSTROJE PROMI - PC

Přístroj PROMI PC (obr. 18) je počítačem řízený univerzální zkušební systém určený pro zkoušky v tahu, tlaku, ohybu, pro testování pružin a další typy zkoušek. Systém se skládá ze zkušebního stojanu s digitalizovaným motorickým posuvem a z řídicí jednotky na bázi PC, který je dimenzován na maximální zatížení 3kN. Standardní pracovní zdvih je 450 mm a přístroj může být vyroben i pro jinou pracovní výšku. Posuv zkušebního stativu je vyvozen přesným kuličkovým šroubem a maticí pomocí digitálně řízené jednotky. Jednotka je ovládána PC s operačním prostředím Windows a nadstavbovým softwarem Promi-PC. Jeho výhodou je vysoká univerzálnost, systém lze provozovat i bez řídicího počítače, stativ můžeme samostatně naprogramovat přímo pomocí vestavěné klávesnice a displeje, kterým je stativ opatřen. Použitý software Promi-PC je navržen s ohledem na maximální přehlednost a jednoduchost. [16]



Obr. 18. Přístroj Promi – PC

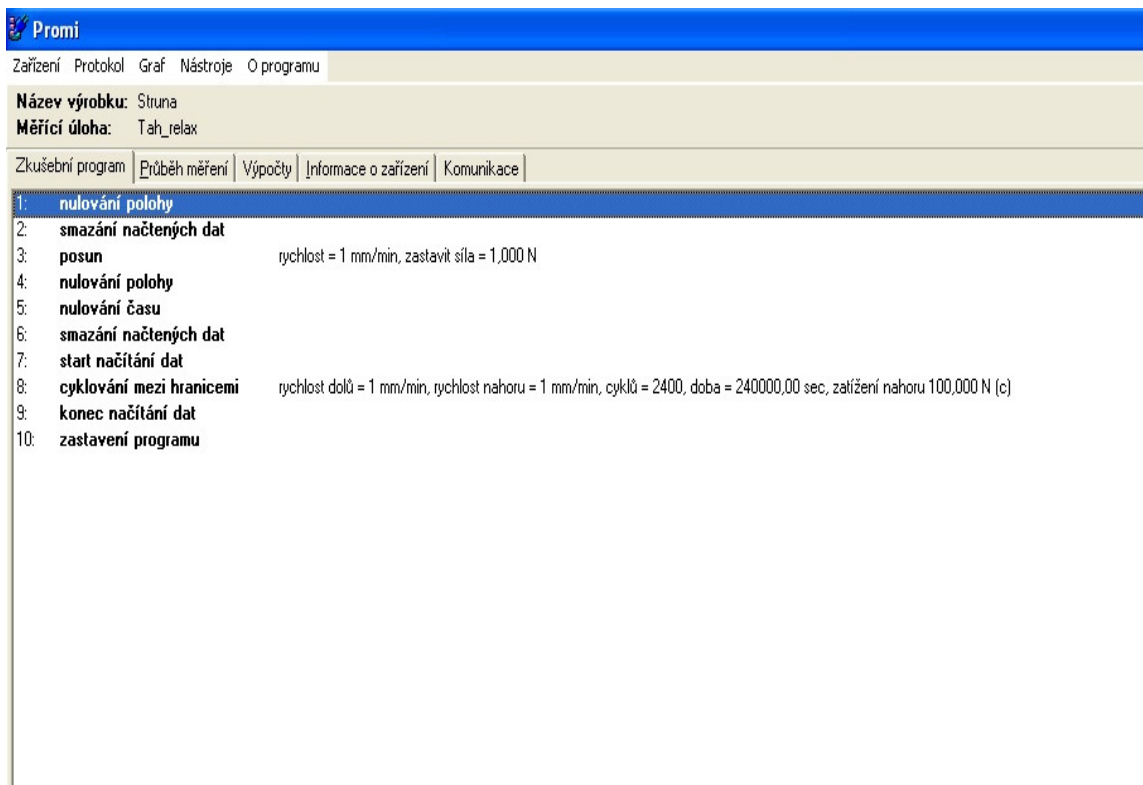
8.1 Technické údaje

Tab. 1 technické údaje

Pracovní zatížení	0 – 3000 N
Pracovní zdvih	0 – 450 mm
Rychlost posuvu	1 – 750 mm/min
Přenos dat	RS 232

8.2 Postup měření tahové zkoušky

Postup měření PROMI – PC. Zapneme počítač a přístroj. Na počítači si zvolíme program PROMI a vytvoříme nový příkaz. Zadáme požadované hodnoty (obr. 19). Rychlost zatížení 1 mm/min, pracovní zatížení, pokles síly, nastavení času při vyjmutí testovaného vzorku, nulování polohy atd.



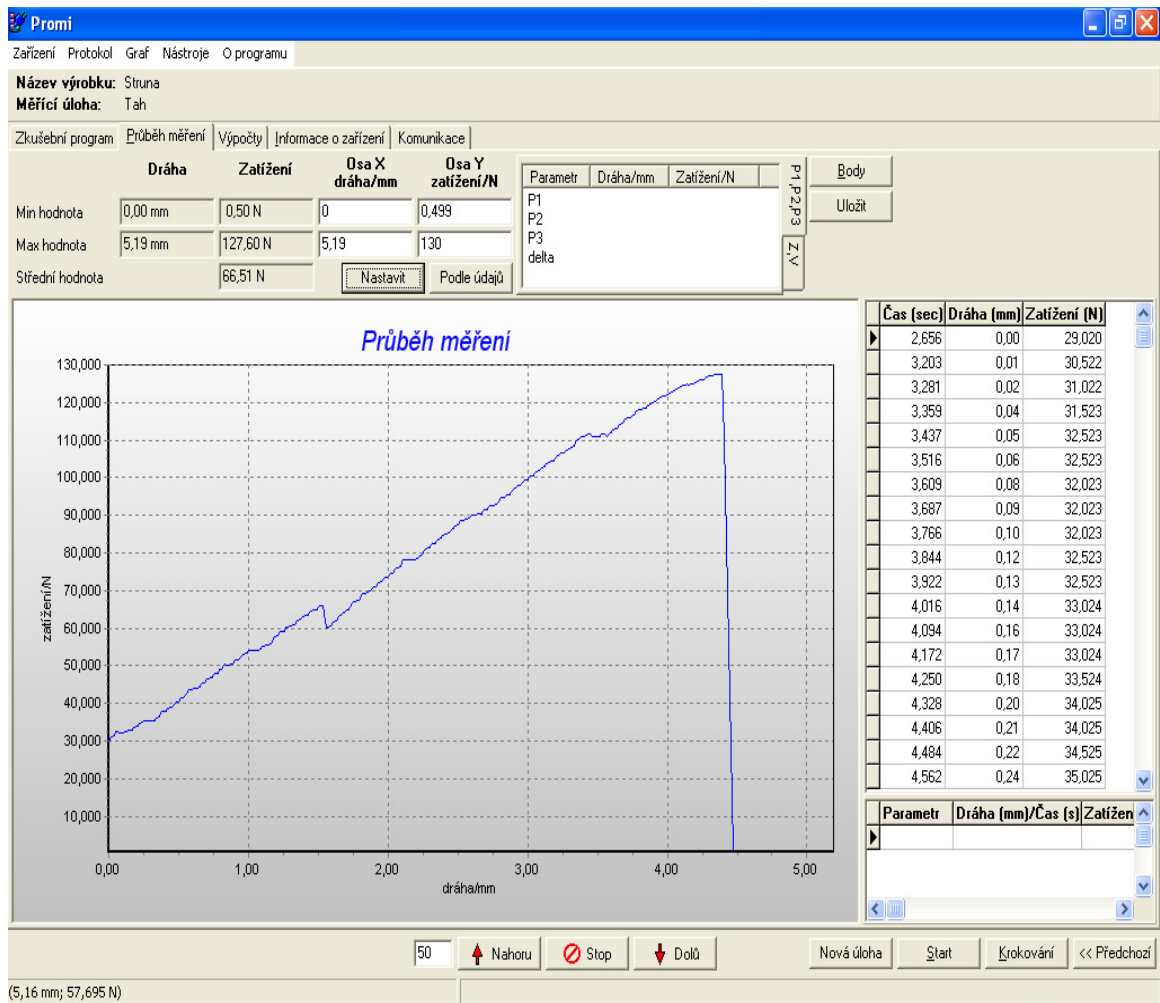
Obr.19. Ukázka sestavení programu zkoušky

Ručním posuvem mechanicky korigujeme patřičnou vzdálenost tak, abychom mohli bezpečně upnout strunu mezi dvěma kladkami (obr. 20), z nichž dolní je nepohyblivá a horní část se posouvá směrem nahoru.



Obr. 20. Upínání strun mezi kladky

Poté vypneme a zapneme počítač a přístroj, z důvodu odstranění zbytečných údajů, které by se mohly vyskytnout v paměti počítače. Dále jsme stiskli tlačítko Start přes patřičný program – Promi. Sledovali jsme průběh postupného napínání struny až do jejího přetržení. Souběžně byly tyto údaje monitorovány na počítači, který tento proces zpracoval graficky i početně obr. 21. Získané údaje jsme exportovali do programu Excel, který nám systémově poslouží pro další zpracování a vyhodnocení. Tento cyklus jsme několikrát opakovali.



Obr. 21. Ukázka z prostředí programu Promi - PC

9 TYPY POUŽITÝCH STRUN

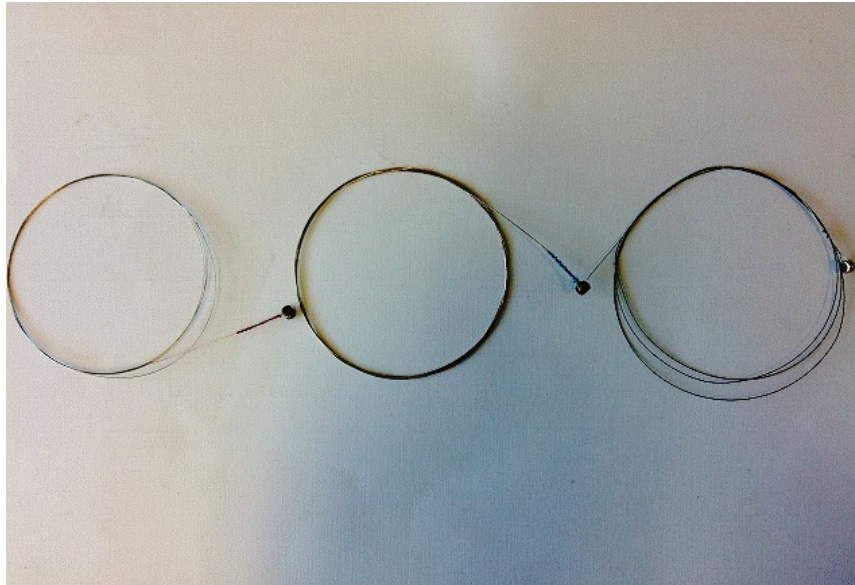
Pro vlastní zkoušení byly vybrány tři nepoužívanější a nejprodávanější struny bez vnutí E6 viz. (obr. 19, 20 a 21) (nejtenčí struna ladění). Průměr strun je na obalech tradičně vyznačen v palcích, ale někdy i v milimetrech. Materiál strun je vyroben ze speciální nerezové oceli Sandvik. V minulosti byl tento materiál použit u elektrických kytar a později i jako struny akustických kytar. Tyto ušlechtilé oceli budou velmi pravděpodobně v brzké budoucnosti znamenat velkou revoluci pro podnikání v oblasti výroby kytarových strun.

Nerezové oceli Sandvik jsou vhodné pro výrobu nejen kytarových strun, využívají se také v biomedicíně k výrobě nástrojů.

K jednotlivým značkám byly přiřazeny čísla vzorků viz. Tab. 2 a Obr. 21. Vlastnosti zkoušených strun a materiálové složení byly převzaty z údajů výrobce Sandvik.[17]

Tab. 2 Druhy vzorků

	Struny bez vnutí	Kód oceli	vlastnosti
Vzorek č.1	D Adario	1RK91	vysoká pevnost, korozivzdornost, dobrá svařitelnost
Vzoreč č.2	Elixir	SAF 2205 SH	vysoká pevnost, korozivzdornost, odolnost proti relaxaci
Vzorek č3	Ernie Ball	DIN 1.4301	Vysoká korozivzdornost a pevnost



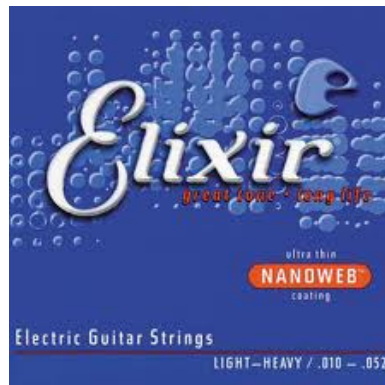
Obr. 22 Zkoušené struny



CHEMICAL COMPOSITION (NOMINAL) %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti	Al
max	max	max	max	max						
0.02	0.5	0.5	0.020	0.005	12	9	4	2.0	0.9	0.4

Obr. 23 Materiálové složení - vzorek 1 - D'Addario



CHEMICAL COMPOSITION (NOMINAL) %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N
max.	max.	max.	max.	max.				
0.030	0.5	0.9	0.030	0.015	22	5.0	3.2	0.18

Obr. 24 Materiálové složení - vzorek 2- Elixir



Material Description	Stainless Steel DIN 1.4301
DIN Specifications	DIN 1.4301, DIN 2463, DIN 17451
Specifications Equity	AISI 304, UNS S30400

Composition % per weight

Element	%	Notes
C	Max 0.08	
Cr	18 – 20	
Ni	8 – 10.5	
Fe	66.345 – 74	
Mn	Max 2	
P	Max 0.045	
S	Max 0.03	
Si	Max 1	

Obr. 25 Materiálové složení - vzorek 3- Ernie Ball

9.1 Měření průměru

Pro měření byl použit digitální mikrometr, který je dimenzován pro měření menších průměrů. Průměry zkoušených strun se měřily na několika místech, za účelem statistického vyhodnocení, jako je aritmetický průměr a směrodatná odchylka ρ . Naměřené hodnoty byly zapsány do tabulky (Tab. 3) a poté zpracovány v programu Excel.

Tab. 3 Naměřené hodnoty

Vzorek	Rozměr[mm]	1	2	3	4	5	Průměr	ρ
1	0,254	0,253	0,254	0,255	0,254	0,253	0,2538	0,0003
2	0,254	0,254	0,253	0,253	0,254	0,255	0,2538	0,0003
3	0,254	0,254	0,254	0,254	0,253	0,253	0,2536	0,0002

9.2 Výsledky tahové zkoušky

Z naměřených hodnot tahových zkoušek viz. tab. 4 lze vyčíst maximální síly po přetržení zkoušených strun, ze kterých se pak následně stanovuje velikost tak, aby zatěžující síly byly konstantní a nedocházelo k přetržení struny pro relaxační zkoušku.

Tab. 4 Hodnoty měření

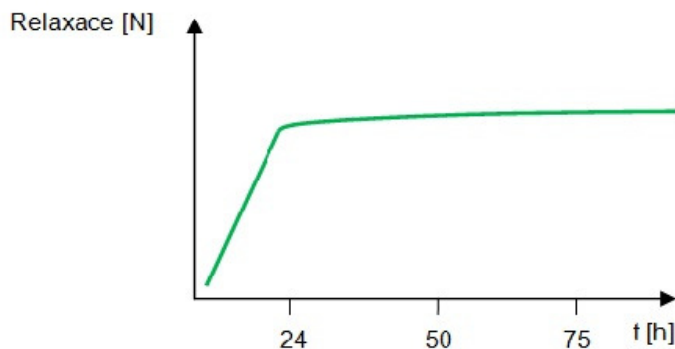
Vzorek	Průměr D [mm]	Průřez S [mm ²]	Síla [N]	R _m [MPa]
1	0,254	0,051	131	2568,6
2	0,254	0,051	126	2470,6
3	0,254	0,051	121	2372,5

10 NÁVRH RELAXAČNÍ ZKOUŠKY

Relaxace je v podstatě to, jak dobře struny kytary budou udržovat melodii. Základní myšlenkou pro relaxaci strun je, když je struna zatěžována po určitý časový úsek, původní zatěžovací síla s časem klesá. Tato ztráta zatížení nebo relaxace, jak se někdy uvádí, postupuje zpočátku rychle, ale pak se stává výrazně pomalejší.

Relaxační zkoušky se provádí hlavně na pružinách, tak jsem si navrhl novou metodu pro testování relaxaci na jednoduchém drátu.

Ukázka typického relaxačního diagramu (Obr. 26) jednoduchého drátu, kde je znázorněna relaxace v čase.



Obr. 26. Typický relaxační diagram jednoduchého drátu

Při stanovení velikosti zatěžující síly jsem vycházel z meze pevnosti struny. R_m [MPa] a maximální síly F_{max} . Velikost zatěžující síly jsem volil cca 65 % maximální síly, která odpovídá požadovanému ladění.

10.1 Postup měření

Relaxační zkouška byla provedena podobným způsobem jako tahová zkouška, lišila se pouze způsobem voleného režimu.

Nejdříve jsme upnuli zkoušené struny, které se obtočili mezi dvě kladky, z nichž jedna byla nepohyblivá a druhá vertikálně posouvající se. Postup se odlišoval tím, že byly nastaveny jiné parametry než v předešlé úloze na programu Promi: rychlost zatížení 1 mm/min, dobu zatížení a zatěžující síla 71,5 N, která zatěžovala strunu po dobu 24 hodin - jednoho dne. Poté jsme zapnuli přístroj Promi – PC a zatěžovali zkoušené struny konstantní taho-

vou silou, abychom zabránili protržení zkoušených strun, zadali jsme cca 65 % zatížení z maximálního zatížení získané při tahové zkoušce. Dále se současně vykresloval graf, a zapisovali se hodnoty do tabulky. Po skončení tohoto testu se automaticky přístroj zastavil, podle daného příkazu při dosažení maximální doby a tj. 86400 s. Získané hodnoty jsme pak převedli do programu Excel, v němž si vytvoříme graf obr. 27. Tento postup jsme několikrát opakovali.

10.2 Vyhodnocení zkoušky

Z grafu (obr. 27) lze vyčíst mírný úbytek napětí třech zkoušených strun, zatížené tahovou silou po dobu 24 h, jenž klesla o 0,96-1,78 N.

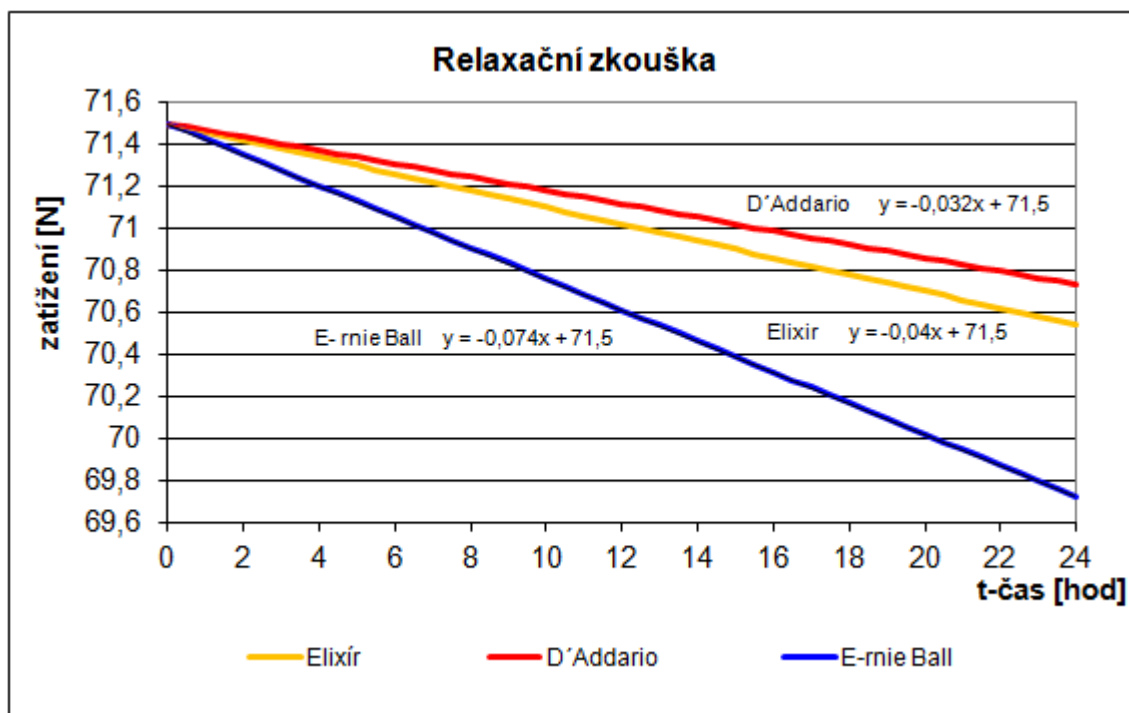
Čím menší rozdíl y zatížení (Tab. 5) na začátku a na konci zkoušky (menší spád lineární rovnice pro zkoušenou strunu), tím lepší je relaxační vlastnost.

Z porovnání zkoušených strun stejného ladění E6 – průměru 0,254 mm lze konstatovat:

- největší maximální napětí 131 [N] vykazala kytarová struna značky D´Addario
- nejvyšší modul pružnosti 2568,6 [Mpa] struna značky D´Addario
- nejmenší napětí 121 [N] měla kytarová struna značky Ernie Ball
- nejlepší relaxační vlastnost s minimálním úbytkem 0,768 [N] vykazala struna značky D´Addario
- nejhorší relaxační vlastnost s největším úbytkem 1,776 [N] měla struna značky Ernie Ball

Tab. 5 Úbytek napětí

	<i>Elixir</i>	<i>D´Addario</i>	<i>Ernie Ball</i>
Začátek zkoušky [N]	71,5	71,5	71,5
Konec zkoušky [N]	70,54	70,732	69,724
Rozdíl y [N]	0,96	0,768	1,776



Obr. 27 Grafické vyjádření relaxační zkoušky

11 ZÁVĚR

Výsledky prezentované v této bakalářské práci jsou podkladem pro každého, kdo chce poznat hlouběji problematiku kytarových strun.

Teoretická část práce popisuje druhy používaných kytar, druhy používaných kytarových strun včetně způsobu jejich výroby a používaných materiálů. Použitý materiál výrazně ovlivňuje mechanické vlastnosti strun a tím i jejich akustické vlastnosti.

Praktická část popisuje navrženou relaxační metodu zkoušení kytarových strun, což znamená, jak dobře bude kytarová struna držet melodii.

Byly testovány struny nejmenšího průměru E6 třech nejpoužívanějších značek. Tento princip zkoušky lze použít i pro ostatní rozměry kytarových strun. Dále lze ji využít pro hodnocení kytarových sad strun pro zákazníka.

Z výsledků provedených zkoušek vychází jako nejlepší struna výrobce D'Addario. Na základě výsledků získaných z provedených zkoušek lze dále konstatovat, že struny vyrobené z nerezové oceli Sandvik mají velmi dobré mechanické vlastnosti - mez pevnosti v tahu.

Při zkoušení tahové a relaxační zkoušky bylo ověřeno, že vytažená struna namáhána tahem při hraní je méně rozladována a tím má stabilnější tón než nová struna, která není vytažená a rozladuje se častěji.

Relaxační vlastnosti zkoušených strun vyhovují současným požadavkům na dráty pro hudební struny. Dále mají velmi dobré korozní vlastnosti, mnohem lepší než současné ostatní dráty používané pro výrobu strun. Někteří výrobci tvrdí, že jeho struny jsou nerezové, ale zjistili jsme, že některé struny byly potažené cínem. Cín sice zlepšuje korozní vlastnosti drátů z uhlíkové oceli. Žádný takový povlak ale není nutný pro nerezový drát.

Závěrem lze konstatovat, že navržená relaxační zkouška je schopná rozlišit kvalitu kytarových strun z hlediska doby výdrže naladění. Tuto zkoušku lze možno upravit použitím cyklického namáhání, abychom se přiblížili co nejvíce způsobu hraní na kytaru. Potom by bylo vhodné provést komplexnější analýzu kytarových strun, jako je zvuková zkouška a snímání povrchu jader ocelových strun pomocí mikroskopu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] *Co byste měli vědět o kytarových strunách* [online]. [19-2-2011] [cit. 3-10-2011]

Dostupné z WWW:

<http://kytara.totalh.com/co-byste-meli-vedet-o-kytarovych-strunach>

[2] *Kytara* [online]. c2010 [cit. 21-1-2012]

Dostupné z WWW:

<<http://cs.wikipedia.org/wiki/Kytara>>

[3] *Stránka o kytáře : Druhy kytar* [online] [5-4-2011] [3-10-2011]

Dostupné z WWW:

<<http://www.zdenekvetrovec.cz/stranka-o-kytare/druhy-kytar/>>?

[4] *Elektrická kytara* [online].c2010 [cit 21-1-2012]

Dostupné z WWW:

<http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%A1_kytara>

[5] *Popis kytary – Vše o kytáře* [online]. [2007] [cit. 21-1-2012]

Dostupné z WWW:

< <http://www.skytarou.cz/index.php?strana=popis-kytary>>

[6] *Elektroakustická kytara* [online]. [2006] [cit. 21-1-2012]

Dostupné z WWW:

<http://www.hudebninastrojeliberec.cz/cs/shop/465-ibanez-msc-380qm-elektroakusticka-kytara/>

[7] Dvořák, M., a kol. *Technologie II*, vyd. VUT v Brně, CERM s.r.o, 2004, 240s.

ISBN 80-214-2683-7

[8] Katedra tváření kovů a plastů – Skripta. *Katedra strojírenské technologie, FS, TU v Liberci* [online]. [2001] [cit. 21-1-2012]

Dostupné z WWW:

< http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm>

[9] Katedra tváření kovů a plastů – Skripta. *Katedra strojírenské technologie, FS, TU v Liberci* [online]. [2001] [cit. 21-1-2012]

Dostupné z WWW:

http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/02.htm

[10] Katedra tváření kovů a plastů – Skripta. *Katedra strojírenské technologie, FS, TU v Liberci* [online]. [2001] [cit. 21-1-2012]

Dostupné z WWW:

< http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/04.htm >

[11] *Technologie* [online]. [2011] [cit 11-4-2012]

Dostupné z WWW:

<<http://www.niehoff.cz/technologie.html>>

[12] *Mechanické zkoušky pevných materiálů* [online]. [2008] [cit. 21-1-2012]

Dostupné z WWW:

<<http://vyuka.fel.zcu.cz/ket/EMAP/Cviceni/2.%20cviceni/Mechanick%e9%20zkou%9aky%20pevn%fdch%20materi%e1%9.pdf/>>

[13] *4.Základní vlastnosti materiálu a jejich zkoušení* [online]. [2004] [cit. 21-1-2012]

Dostupné z WWW:

<http://chemikalie.upol.cz/skripta/mvm/zkousky_mat.pdf>

[14] Macek, K., Zuna, P., a kol. *Nauka o materiálu*. Praha: STNL, 1999. 209 s.

ISBN 80-1-01507-6

[15] Dorazil, E., a kol. *Nauka o materiálu I – přednášky*. ES VUT Brno, 1989.

ISBN 80-214-1028-0

[16] *Promi – PC: uživatelský manuál pro software*. Prominent, spol s.r.o.

[17] *Materials center* [online] [2005] [cit 2-3-2012]

Dostupné z WWW:

< <http://www.smt.sandvik.com/en/materials-center/> >

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

R_e	[MPa]	Mez kluzu v tahu
R_m	[MPa]	Mez pevnosti v tahu
F_e	[N]	Zatěžující síla
S_0	[mm ²]	Původní průřez
F_m	[N]	Největší zatěžující síla
Δl	[mm]	Rozdíl délek
l_u	[mm]	Délka po přetržení
l_0	[mm]	Původní délka
ε	[-]	Poměrné prodloužení
A	[%]	Tažnost
Z	[%]	Kontrakce
S_u	[mm ²]	Zúžený průřez po přetržení
R_{m0}	[MPa]	Pevnost v ohybu
M_{0max}	[Nmm]	Největší ohybový moment
F_{max}	[N]	maximální síla
t	[h]	čas
ρ	[mm]	směrodatná odchylka

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Popis akustické kytary [5]</i>	13
<i>Obr. 2. Popis elektroakustické kytary [6]</i>	14
<i>Obr. 3. Popis elektrické kytary [5]</i>	15
<i>Obr. 4. Složení kytarové struny [1]</i>	18
<i>Obr. 5. Kulaté vinutí [1]</i>	19
<i>Obr. 6. Půlkulaté vinutí [1]</i>	19
<i>Obr. 7. Ploché vinutí [1]</i>	20
<i>Obr. 8. Princip podélného (vlevo), příčného (uprostřed) a kosého (vpravo)</i>	21
<i>Obr. 9. Princip tažení drátu [7]</i>	22
<i>Obr. 10. Schéma průvlaku [10]</i>	23
<i>Obr. 11. Výrobní proces drátu [11]</i>	24
<i>Obr. 12. Schéma různých způsobů zatěžování (a) tah, (b) tlak, (c) stříh, (d) krut [14]</i>	26
<i>Obr. 13. Tvary zkušebních tyčí pro</i>	27
<i>Obr. 14. Pracovní diagram zkoušky tahem a tlakem</i>	28
<i>Obr. 15. Příklady pracovních diagramů</i>	29
<i>Obr. 16. Příklady diagramů zkoušky tlakem [15]</i>	30
<i>Obr. 17. Schéma zkoušky ohybem [15]</i>	31
<i>Obr. 18. Přístroj Promi – PC</i>	34
<i>Obr. 19. Ukázka sestavení programu zkoušky</i>	35
<i>Obr. 20. Upínání strun mezi kladky</i>	36
<i>Obr. 21. Ukázka z prostředí programu Promi - PC</i>	37
<i>Obr. 22 Zkoušené struny</i>	39
<i>Obr. 23 Materiálové složení - vzorek 1 - D´Addario</i>	39
<i>Obr. 24 Materiálové složení - vzorek 2- Elixir</i>	40
<i>Obr. 25 Materiálové složení - vzorek 3- Ernie Ball</i>	40
<i>Obr. 26. Typický relaxační diagram jednoduchého drátu</i>	42
<i>Obr. 27 Grafické vyjádření relaxační zkoušky</i>	44

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 technické údaje</i>	35
<i>Tab. 2 Druhy vzorků</i>	38
<i>Tab. 3 Naměřené hodnoty</i>	41
<i>Tab. 4 Hodnoty měření</i>	41
<i>Tab. 5 Úbytek napětí</i>	43