



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní

Ústav materiálového inženýrství

Aplikace bezolovnatých materiálů v chladírenském průmyslu

Application of lead-free materials in the refrigeration industry

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Studijní program: Výroba a ekonomika ve strojírenství

Studijní obor: Technologie, materiály a ekonomika ve strojírenství

Vedoucí bakalářské práce: Doc. Ing. Jiří Cejp, CSc.

Konzultant bakalářské práce: Ing. Vladimír Mukařovský

Klára Mukařovská

Praha, 2015



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

pro: **Kláru MUKAŘOVSKOU**

program: Výroba a ekonomika ve strojírenství

obor: Technologie, materiály a ekonomika ve strojírenství

název česky: **Aplikace bezolovnatých materiálů v chladírenském průmyslu.**

název anglicky: Application of lead-free materials in the refrigeration industry.

Zásady pro vypracování:

Cíl:

Navrhnout alternativní bezolovnaté materiály na bázi mědi a hliníku k dosud používaným obrobitelným slitinám. Prokázat vhodnost aplikace těchto ekologických slitin při výrobě ventilů ve firmě EMERSON.

Postup:

1. Studijní a rešeršní činnost zaměřená na vliv olova v obrobitelných slitinách a možnosti jeho náhrady jinými prvky s podobným účinkem.
2. Seznámení s výrobním programem a vybavením firmy EMERSON.
3. Sestavení experimentálního programu a rozsahu zkoušek.
4. Vlastní experimentální program - tlakové zkoušky ventilů.
5. Zhodnocení naměřených hodnot, diskuse a závěry.

Rozsah průvodní zprávy: 30 – 40 stran

Rozsah grafických prací: dle potřeby

SEZNAM DOPORUČENÉ LITERATURY:

- [1] HISASHI,I.- SHUFENG,L.-ATSUMI,H.: Development of Lead-Free Machinable Brass with Bismuth and Graphite Particles by Powder Metallurgy Process. Materials transactions, Vol. 51, No. 5 (2010) pp. 855 to 859.
- [2] KLOCKE, F.- LUNG,D.- NOBEL,CH.: Obrábění bezolovnatých slitin mědi. MM 2013 / 5, Trendy , Obrábění.

Vedoucí bakalářské práce: Doc. Ing. Jiří Cejp, CSc.

Konzultant bakalářské práce: Ing. Vladimír Mukařovský, fa
EMERSON


Datum zadání bakalářské práce: 30. dubna 2015

Datum odevzdání bakalářské práce: 19.čevna 2015


Neodevzdá-li student bakalářskou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou práci podruhé.

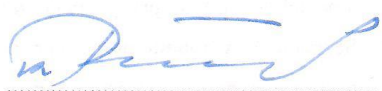
Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Zadání bakalářské práce převzal dne: 30.9.2015


.....
student




.....
Prof. RNDr. Petr Špatenka, CSc.
vedoucí ústavu


.....
Prof. Ing. Michael VALÁŠEK, DrSc.
děkan fakulty

V Praze dne 28. dubna 2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci zpracovala samostatně a souhlasím s tím, že výsledky této bakalářské práce mohou být využity podle uvážení vedoucího této práce Doc. Ing. Jiřího Cejpa, CSc. jako jejího spoluautora.

Datum.....

Podpis.....

Poděkování

Chtěla bych tímto poděkovat všem, co mi při realizaci této bakalářské práce pomáhali. Především bych chtěla poděkovat vedoucímu své bakalářské práce Doc. Ing. Jiřímu Cejnovi, CSc. za čas a informace, které mi věnoval. Dále bych chtěla poděkovat svým rodičům za podporu při tvoření této práce a Ing. Vladimíru Mukařovskému za poskytnuté konzultace.

Abstrakt

Bakalářská práce obsahuje informace o problematice používání olovnatých materiálů. V úvodu práce je uvedena norma, která omezuje používání olova kvůli jeho toxicitě. Dále jsou uvedeny alternativy, kterými můžeme olovnaté materiály nahradit a jsou zde popsány výhody a nevýhody těchto alternativních materiálů. Praktická část obsahuje kritéria, podle kterých lze hodnotit vhodnost materiálů pro výrobu ventilů do chladících zařízení. Je zde uvedeno ekonomické kritérium, hledisko teplotní objemové roztažnosti a výsledek destruktivní tlakové zkoušky.

Klíčová slova: olovo, toxicita, hliníkové slitiny, ekologické mosazi, ventil, destruktivní tlaková zkouška, objemová teplotní roztažnost, ekonomické kritérium

Abstract

Bachelor thesis contains information about the issue of the use of lead-based materials. At the beginning of this thesis is listed the norm which limits the use of lead due to its toxicity. The following are alternatives which we can replace lead materials and here are described the advantages and disadvantages of these alternative materials. The practical part contains the criteria by which we can evaluate the suitability of the materials for the production of valves for refrigeration equipment. It is guided by an economic criterion, thermal aspect of volumetric expansion and the result burst pressure test.

Keywords: lead, toxicity, aluminum alloys, eco-brass, valve, burst pressure test, volumetric thermal expansion, economic criterion

Obsah

Obsah.....	7
1. ÚVOD	10
2. CÍL PRÁCE.....	11
3. TEORETICKÁ ČÁST.....	12
3.1. UVEDENÍ DO PROBLEMATIKY BEZOLOVNATÝCH MATERIÁLŮ	12
3.1.1. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2011/65/EU	12
3.1.2. Problematika použití bezolovnatých materiálů	12
3.2. OLOVO A OLOVNATÉ MATERIÁLY	13
3.2.1. Olovo, jeho využití, výroba a zpracování.....	13
3.2.2. Toxicita olova.....	14
3.2.3. Mosazi	15
3.3. HLINÍK A JEHO SLITINY	16
3.3.1. Hliník, jeho vlastnosti a výroba.....	16
3.3.2. Slitiny hliníku a jejich použití	16
3.3.3. Slitiny hliníku bez obsahu olova	18
3.4. EKOLOGICKÉ BEZOLOVNATÉ MOSAZI.....	18
3.4.1. Vizmutové mosazi.....	18
3.5. KOROZIVZDORNÉ OCELI	19
3.5.1. Základní informace o korozivzdorných ocelích.....	19
3.5.2. Druhy nerezových ocelí a jejich použití.....	20
4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	22
4.1. KONCER EMERSON.....	22
4.1.1. Základní informace o firmě EMERSON.....	22
4.1.2. Původní výroba ventilů z olovnaté mosazi	23
4.2. POROVNÁNÍ OLOVNATÝCH MOSAZÍ S BEZOLOVNATÝMI SLITINAMI ..	24
4.2.1. Destruktivní tlaková zkouška	24

4.2.2.	Teplotní roztažnost	27
4.2.3.	Ekonomické hledisko	29
4.3.	VÝSLEDKY MĚŘENÍ A JEJICH DISKUZE	33
4.4.	ZÁVĚR.....	35

Seznam uvedených symbolů a zkratek

Symbol	Význam	Jednotka
RoHS	Omezení používání nebezpečných látek	[-]
PBB	polybromovaný bifenylyl	[-]
PBDE	polybromovaný difenyléter	[-]
α	Koeficient teplotní roztažnosti	[K ⁻¹]
ΔV	Objemová teplotní roztažnost	[cm ³]
HCFC	Hydrochlorofluorokarbonová chladiva	[-]
ρ	Hustota	[g/cm ³]
m	Hmotnost	[g]
V	Objem	[cm ³]
D _a	Vnější průměr trubky	[mm]
D _i	Vnitřní průměr trubky	[mm]
L	Délka trubky	[mm]
S	Obsah trubky	[mm ²]
R _m	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
S	Síla stěny	[mm]
s	Bezpečnostní faktor	[-]
v	Bezpečnostní faktor pro svařování	[-]
c ₁	Toleranční závislost	[mm]
c ₂	Korozní závislost	[mm]
p	Tlak	[Bar]

1. ÚVOD

V bakalářské práci představuji problematiku toxicity olova a uvádím zde možné alternativní slitiny, kterými lze olovnaté materiály nahradit.

V první části této práce se věnuji objasnění zákazu o používání olova, který stanovuje směrnice RoHS. Popisuji dopad olova a dalších nebezpečných látek na zdraví člověka a poté uvádím informace o olovu, jeho slitinách a způsobu použití. Ve druhém úseku teoretické části se zabírám hliníkovými slitinami, ekologickými mosazemi a nerezovými oceli. Uvedené materiály neobsahují Pb, mohou tedy olovnaté materiály nahradit. Tyto materiály by svými vlastnostmi měly být co nejvíce podobné olovnatým mosazím. Ty jsou totiž dosavadním materiálem používaným k výrobě ventilů.

Na začátku praktické části představuji firmu EMERSON a její produkty. V následující části jsou hliníkové slitiny a ekologické mosazi podrobeny určitým zkouškám a testům, kdy má být zjištěna jejich vhodnost pro použití při výrobě ventilů. V této práci jsou uvedeny tři kritéria, a to destruktivní tlaková zkouška, objemová teplotní roztažnost a ekonomické hledisko.

Ve výsledcích a závěrech porovnávám výsledky použitých kritérií a na základě těchto hledisek vybírám materiál, který je nevíce vhodný pro nahrazení olovnaté mosazi při výrobě ventilů.

2. CÍL PRÁCE

Při výrobě ventilů, stejně jako ve všech dalších výrobcích, je důležité udržovat vysokou kvalitu vyrobených kusů a zároveň je zde požadavek na ekonomickou výhodnost výrobního procesu a vysokou produktivitu výrobků.

Cílem této bakalářské práce je vybrat co nejvíce vhodnou alternativu k olovnatým mosazím, tak, aby výrobní proces nebyl drahý a byla zaručena spokojenost zákazníka i výrobce.

3. TEORETICKÁ ČÁST

3.1. UVEDENÍ DO PROBLEMATIKY BEZOLOVNATÝCH MATERIÁLŮ

3.1.1. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2011/65/EU

RoHS (Restriction of the use of Hazardous Substances) je směrnice z 8. června 2011, která omezuje používání šesti nebezpečných materiálů. Takto směrnice byla vydána jako reakce na zjištěnou míru toxicity z těchto sloučenin, která ohrožuje životní prostředí a zdraví člověka. Mezi šest nebezpečných materiálů patří olovo, rtuť, šestimocný chrom, kadmium, polybromovaný bifenyl (PBB) a polybromovaný difenyléter (PBDE). [8]

Všech šest uvedených sloučenin má dopad na lidské zdraví. Rtuť je jedovatá, jelikož může poškodit nebo zničit struktury bílkovin v buňkách. Toxicita šestimocného chromu je spojena se zvýšením výskytu rakoviny plic. Lidem, kteří s ním v dřívějších dobách přišli do styku v továrnách, způsoboval vznik vředů a děr v nosní přepážce. Kadmium je pro lidi karcinogenní. Předávkování má za následek selhání ledvin a rozklad červených krvinek. Látky PBB a PBDE rovněž zapříčiňují nádorové bujení. Toxicita olova je uvedena níže. [7, 9]

Omezení se vztahuje na tyto skupiny výrobků: elektronické a elektrické zařízení a zařízení k výrobě, měření a přenosu proudu, velké a malé spotřebiče pro domácnost, zařízení pro informační technologie a telekomunikační zařízení, zařízení pro spotřební elektroniku, osvětlovací zařízení, hračky a vybavení pro volný čas a sport, výdejní automaty, montážní a řídicí přístroje a jiná elektrozařízení.

Požadavky směrnice nesmí být překročeny v konečné výrobě (montáž). Olovo může být používáno jen ve stanovených výjimkách (např. na pájkách, při povrchových úpravách atd.). [7, 8]

3.1.2. Problematika použití bezolovnatých materiálů

Existují materiály, kterými můžeme slitiny s příměsí olova nahradit. Jsou mezi nimi hliník a jeho slitiny, ekologické nízko-olovnaté mosazi a nerezové oceli. Tato práce je zaměřena hlavně na hliníkové slitiny a ekologické mosazi, protože jsou součástí experimentální části. Nerezových ocelí jsou probrány pouze teoreticky.

Při použití bezolovnatých materiálů v praxi je největším úskalím cena, která je znatelně vyšší než u slitin s příměsí olova (kromě hliníkových slitin, jejichž cena tak vysoká není). Firmy se proto snaží najít nejekonomičtější řešení, jak olovené materiály nahradit, aby byly dodrženy požadavky RoHS. [7]

Olovo se do mosazí přidává jako legující prvek, protože zajišťuje dobrou obrobiteľnosť. Ta ale znatelně klesá již při malém snížení množství olova. Obsah olova v automatových mosazích se pohybuje od 1,6 % až do 3,5%. V případě, že jsou mosazinízkooolovnaté (obsah Pb okolo 1%), dochází u nich ke zhoršení kujnosti a obrobiteľnosti. Z tohoto důvodu není snížení obsahu olova v mosazích vyhovujícím řešením směrnice RoHS, ale musí se najít různé vyhovující alternativní způsoby jeho náhrady.[10]

3.2. OLOVO A OLOVNATÉ MATERIÁLY

3.2.1. Olovo, jeho využití, výroba azpracování

Olovo z hlediska materiálových vlastností patří do skupiny kovů s nízkými teplotami tání (jako zinek, cín, rtuť a bismut). Jednou z jeho charakteristik je inertnost vůči okolnímu prostředí, takže na vzduchu i ve vodě je stabilní. Olovo nepatří mezi alotropické prvky, takže se nemůže vyskytovat v různých strukturálních formách. K tavení dochází u jeho kubicky plošně středěné fáze při teplotě 327°C. Na pohled je to šedomodrý, měkký, těžký a tvárný kov s velmi dobrou korozivzdorností. Odolnost proti korozi je zajištěna vytvořením povrchové vrstvičky oxidu olovnatého. Olovo je odolné proti chladné kyselině sírové, fosforečné a fluorovodíkové. Jeho dalšími vlastnostmi jsou špatná elektrická a tepelná vodivost. Olovo je také známé svou dobrou slévateľností. [1, 2, 5, 11]

Olovo je značně využíváno v automobilovém průmyslu, kde se z něj vyrábí akumulátory. Pro výrobu akumulátorů se používají slitiny olova s vápníkem nebo s vápníkem a cínem. Uplatnění nachází olovo také při výrobě munice v chemickém průmyslu, kde se používá k vykládání komor, nádrží, výparníků, chladičů, čerpadel a pro výrobu nerozpustných anod. Z olova, které je čisté, se vyrábí pláště zemních kabelů a slouží jako ochrana proti rentgenovému a radioaktivnímu záření.[2, 5]

Slitiny olova a cínu jsou užívány pro výrobu měkkých pájek. Pájek obsahují slitiny od téměř čistého olova po téměř čistý cín. Čím je obsah cínu menší, tím jsou pájky levnější a jsou využívány pro klempířské práce a utěšňování nádob (chladičů...). Dražší pájky s vysokým

obsahem cínu se používají v potravinářství a v elektrotechnice (snaha o snížení kvůli toxicitě olova). Pokud se do olova přidá cín, zlepši se přilnavost olova. Slitiny olova s mědí (asi 0,5%) snižují rekrystalizaci olova a zvyšují odolnost proti kyselinám.[1, 2]

Surovinami pro výrobu olova jsou rudy a olovnaté průmyslové odpady. Olovnaté rudy se vyskytují v přírodě a rozdělujeme je podle nerostu, který je nositelem Pb. Dělí se na siřičkaté a kyslíkaté. U siřičkatých rud je hlavním nositelem tohoto prvku galenit neboli leštěnec olovnatý. Kyslíkaté rudy jsou charakteristické přítomností kyslíkatých sloučenin olova, jako je cerusit (PbCO_3) a anglesit (PbSO_4). Způsoby výroby olova jsou pražení redukční, pražení reakční a srážecí způsob. Pražení redukční lze rozdělit na tři úseky: pražení, aglomeraci a tavení v šachtové peci. Podstatou redukčního pražení je pražení siřičkatých olovnatých koncentrátů a jejich následným redukčním tavením. Pražení reakční je prováděno reakcí mezi siřičkem olovnatým a kyslíčkem se síranem. Srážením se olovo vyrábí přímým vytěsněním olova ze siřičku železem.[2]

Olovo je třeba legovat kvůli nízké tvrdosti. Hlavními legujícími prvky jsou antimon, cín a vápník. Tzv. tvrdým olovem jsou slitiny olova s antimonem, kterého mohou obsahovat až 25%. [1]

3.2.2. Toxicita olova

Olovo je toxické pro lidský organismus, protože neblaze ovlivňuje nervový a hematologický systém. Jsou známy i jeho další škodlivé účinky na lidské tělo, mezi které patří nežádoucí působení na činnost ledvin a dalších orgánů, poškození hormonálního systému, nádorová onemocnění a ohrožení schopnosti reprodukce živých organismů. Důsledkem toxicity olova jsou zpříšňovány normy, které omezují množství olova a dalších těžkých kovů ve vodě, potravinách a v životním prostředí. Ekologické tlaky na odstranění olovnatých slitin rostou a tím jsou výrobci nuceni, aby instalovali monitorovací zařízení. Tento přístroj je určen ke kontrole emisí. [9, 12]

Značným problémem je, že olovo v organismu zůstává a jeho působení narůstá. V roce 1975 se prováděly zkoušky pitné vody ve skandinávských zemích. Výsledky ukázaly, že pitná voda obsahuje značné množství olova. Znečištění pocházelo z měděných vodovodních trubek s příměsí olova, které se do vody uvolňovalo. Proto bylo v 90. letech zakázáno vyrábět vodovodní instalace s obsahem olova. [13]

3.2.3. Mosazi

Mosaz je slitina mědi, zinku a případně dalších prvků. Pro mosaz je charakteristická její typická barva, která se s rostoucím množstvím zinku mění z červené barvy na barvu žlutou. V mědi je zinek rozpustný do 38%. S kubickou plošně středěnou mřížkou tvoří zinek substituční tuhý roztok α . Mosazi dělíme na jednofázové a dvoufázové. Jednofázové (α) mosazi jsou mosazi určené pro tváření za studena a obsahují až 37 % zinku. Mají vlastnosti podobné jako měď, takže jsou atmosféricky korozivzdorné, jsou dobře tvařitelné za studena a leštitelné. Při tváření za tepla je důležité, aby byly dodrženy optimální podmínky. Různé příměsi, zejména olovo, síra, bismut, arsen a antimon, značně zhoršují schopnost tvárnosti za tepla. S rostoucím obsahem zinku v jednofázových mosazích se zvyšuje pevnost a zlepšuje se tažnost. Dvoufázové ($\alpha+\beta$) mosazi jsou slitiny, které vzniknou překročením mezní rozpustnosti zinku v tuhém roztoku. Tyto mosazi jsou vhodné pro tváření za tepla. S vyšším obsahem zinku se lépe tváří za tepla, ale dochází ke zhoršení tváření za studena. Dvoufázové mosazi nejsou tak citlivé na výskyt nečistot. [5, 6, 11]

Olovnaté mosazi jsou součástí mosazí dvoufázových. Jsou také známé pod názvem automatové mosazi a obsahují 37 až 42 % zinku a 1 až 4 % olova. Olovo v olovnatých mosazích je vyloučeno jako specifická fáze na hranicích zrn. Fáze má nízký bod tavení, což způsobí křehkost těchto druhů mosazí. Do tohoto materiálu se leguje olovem kvůli zlepšení obrábivosti. K té přispívá fáze β' , která je tvrdá a křehká. Jejich nevýhodou je, že jsou náchylné vůči korozi pod napětím a důsledkem toho praskají. Praskání lze zamezit žíháním ke snížení napětí (205-300°C po dobu 1 až 2 hodin). [5, 11]

Dříve se olovnaté mosazi používaly pro vodovodní potrubí. Byly pro toto použití vhodným materiálem pro svou korozivzdornost, cenovou dostupnost a dobře se obráběly a odlévaly. Až později se zjistilo, že se olovo uvolňuje z potrubí do vody a tím škodí lidskému zdraví. [13]

3.3. HLINÍK A JEHO SLITINY

3.3.1. Hliník, jeho vlastnosti a výroba

Hliník patří mezi lehké kovy, z čehož vyplývá, že má nízkou měrnou hmotnost ($2700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) a hustotu nižší než $5000 \text{ kg}/\text{m}^3$. Není alotropický a jeho teplota tání se pohybuje okolo 660°C . Je dobře elektricky a tepelně vodivý a má schopnost být vysoce čistý (od 99 do 99,999 % Al). Může ale obsahovat i různé příměsi jako Fe, Si, Cu, Zn, Mn a Ti, které snižují plasticitu, ale zvyšují pevnost hliníku. Tento kov je díky ochranné povrchové vrstvě oxidu hlinitého stabilní na vzduchu, ale neodolává hydroxidům a halovým kyselinám. Je dobře tvařitelný, obrobitelný a měkký díky kubické plošně středěné krystalické struktuře (K12). Není ale lehké Al slévat. Kvůli nízké pevnosti je nutné hliník legovat, jinak ho nelze použít jako konstrukční materiál. U slitin hliníku jsou hlavními legujícími prvky měď, hořčík, mangan, zinek, křemík a lithium.[1, 3, 5, 11]

V roce 1890 se započalo s průmyslovým vyráběním hliníku, jehož produkce byla 5700 t/rok. Dnes se vyrobí asi 40 mil. tun ročně a existuje asi okolo 120 druhů slitin hliníku. První slitina hliníku, která se dala využít ve strojírenství, byla slitina na bázi Al-Cu-Mg a byla vyvinuta v roce 1906. [3]

Důležitou surovinou při výrobě hliníku je oxid hlinitý (Al_2O_3). Tento oxid se získává z bauxitu. Výroba probíhá elektrolýzou roztavené směsi oxidu hlinitého a kryolitu a ve vzniklé tavenině pak dochází k disociaci oxidu hlinitého.[5]

3.3.2. Slitiny hliníku a jejich použití

Hliník se využívá na výrobu obalů, dopravních prostředků (kostry letounů, karosérie atd.), ve stavebnictví a elektrotechnice (zde se využívá čistý hliník), k výrobě folií, mléčných nádob a stropních panelů. [5]

Slitiny hliníku lze rozdělit na základě rovnovážného diagramu. Homogenní slitiny jsou vhodné pro tváření a slitiny s obsahem eutektika zase pro slévání. Slitiny, obsahující segregát při teplotě okolí, jsou vytvrditelné. Slitiny určené pro slévání obsahují více legujících prvků a jsou hojně zastoupeny v mikrostruktuře vedle tuhého roztoku hliníku. Oproti tomu slitiny určené k tváření mají obsah legujících prvků nižší.[1, 3, 4, 11]

Tvářené vytvrzované slitiny hliníku

Duraly Al-Cu, Al-Cu-Mg-(Ni) jsou slitiny hliníku, které jsou určeny k tváření. Jejich charakteristikou je dobrá tvárnost za tepla i za studena (pomocí žíhání lze změkčit). Obsahují 1-6% mědi a maximálně 2% manganu jako legujících prvků. Duraly dosahují po vytvrzení jedné z nejvyšších pevností, jaká je u hliníkových slitin možná (mez pevnosti v tahu až 450 MPa). Dural má ale oproti čistému hliníku špatnou korozivzdornost, proto jsou součástky plátovány čistým hliníkem. Tyto slitiny hliníku jsou využívány hlavně v leteckém průmyslu (konstrukce draků letounů), další využití je v automobilovém průmyslu, pro výrobu sportovního náčiní atd. Duraly s příměsí niklu se používají pro výrobu tvářených součástí motorů. [1, 5, 11]

Slitiny Al-Mg-Si (obsah Mg a Si maximální 1,5%) lze také vytvrzovat, ale nejsou tak pevné jako duraly. Mají však lepší korozivzdornost oproti duralům. Používají se hlavně ve stavebnictví, automobilovém průmyslu (výroba karosérií) a v přesné mechanice.

Slitiny Al-Zn-Mg-(Cu) (obsah 3-8% Zn, 1-3% Mg a maximálně 3% Cu) jsou vytvrditelné a dosahují nejvyšších pevností v případě, že obsahují měď. Nevýhodou je, že v tomto stavu jsou náchylné k mezikrystalové korozi a koroznímu praskání, aby se tomuto zamezili, tak se plátují hliníkem. Pokud neobsahují měď, udržují velkou teplotní stabilitu tuhého roztoku α a to ulehčuje vytvrzování při rozpouštěcím žíhání (440 až 500°C). Korozivzdornost se zajišťuje dvojitým umělým stárnutím. Využívají se v leteckém a automobilovém průmyslu na vysoce namáhané součástky.[1, 11]

Tvářené nevytvrzované slitiny hliníku

Tyto slitiny nejsou vytvrditelné kvůli své malé rozpustnosti Mn v α fázi a pokud obsahují místo Mn hořčík, tak mají stejně nízkou účinnost vytvrzování. Slitiny Al-Mn (Mn maximálně 1, 5%) se velmi dobře tváří za studena, mají výbornou korozivzdornost. Tyto slitiny se využívají na výrobu potrubí a nápojových plechovek. Slitiny Al-Mg (Mg max. 6%) mají velmi dobré pevnostní vlastnosti a odolnost proti korozi a používají se pro výrobu částí lodí a nápojových plechovek.[1, 11]

Slitiny hliníku na odlitky

Siluminy jsou jedny z nejdůležitějších slévárenských slitin, z nichž nejlepší slévárenské vlastnosti mají siluminy eutektické. Ty obsahují okolo 10 až 12 % křemíku. Siluminy jsou slitiny Al-Si (obsah Si je 5 až 12 %). Zaujímají po litinách druhé místo mezi slévárenskými slitinami. Pokud jsou siluminy znečištěny příměsí Fe, přidává se do nich Mn, aby byla příměs odstraněna. Jsou precipitačně vytvrzované nejen křemíkem, ale i dalšími legurami např. mědí, která zvýší mez únavy, ale zhorší korozivzdornost. Siluminy jsou důležité pro výrobu tvarově složitých součástek odléváním. Jsou dobře korozivzdorné, mají dobrou zabíhavost a malou smrštitivost. Široké využití mají hlavně v automobilovém průmyslu (bloky motorů, hlavy válců, litá kola, písty a tělesa klimatizací) a pro výrobu tenkostěnných odlitků. [1, 11]

Slitiny typu Al-Mg se používají na výrobu odlitků, které musí odolávat atmosférické korozi i mořské vodě. Obsahují 3 až 11 % Mg, který odstraňuje škodlivý vliv Fe. [1]

3.3.3. Slitiny hliníku bez obsahu olova

Požadavek na snížení obsahu olova se netýká pouze mosazi, ale podle nové směrnice ES není již od roku 2003 možno v zemích EU aplikovat do nových vozidel olovnaté obrobitelné tvářené slitiny hliníku. Dle směrnice Evropského parlamentu 200/53/EC “End of Life Vehicles Directive” je ve tvářených hliníkových slitinách povoleno maximální množství olova na 0,4 % hmotnosti. Tuto podmínku všechny tři druhy automatových olovnatých slitin hliníku porušují.

Obsah olova v obrobitelných hliníkových slitinách se pohybuje okolo 0,5 až 1,5%. Pokud se neleguje olovem, mají slitiny malou lámavost a špatnou jakost obrobeného povrchu. Jako bezolovnaté alternativy těchto slitin byly vyvinuty dvě hliníkové slitiny Al-Cu-Sn-Bi a Al-Mg-Si-Sn-Bi. [12]

3.4. EKOLOGICKÉ BEZOLOVNATÉ MOSAZI

3.4.1. Vizmutové mosazi

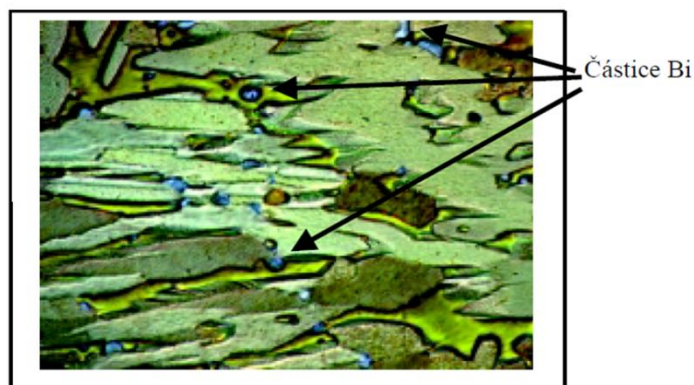
Protože olovnaté mosazi se kvůli obsahu olova přestávají používat, hledají se alternativní prvky, které olovo můžou nahradit. Jedním z prvků, které mohou tento problém vyřešit je Vizmut. Náhrada olova netoxickým nízko tavitelným vizmutem by měla zajistit

podobnou obrobiteľnosť, ako mala meď s olovom. Vizmutu sa do meďených slitín pridáva v množstve 1–2%. Slitina s vizmutom je v Európe označovaná ako CW617N a je používaná pre výrobky prichádzajúce do styku s vodou.

Olovnaté mosazi a mosazi s obsahom vizmutu sa odlišujú v mechanických vlastnostiach. To znamená, že olovnaté mosazi majú vyššiu ťažnosť než mosazi s vizmutom, a i pri nízkom množstve vizmutu, dochádza ke zníženiu plasticity meďi (pri obsahu Pb k tak výraznému zníženiu plasticity meďi nedochádza), pri vysokých teplotách jsou však plastické vlastnosti mosazí s vizmutom lepšie než u olovnatých mosazí.

Vizmutová mosaz je veľmi dobre tvárná za tepla a kujnosť je takmer shodná s olovnatou mosazí. Rovnako obrobiteľnosť mosazí s vizmutom je podobná ako obrobiteľnosť olovnatej mosazí.[7, 14]

Obrázek 1: častice bismutu v mosazi CuZn40Bi1,5[14]



3.5. KOROZIVZDORNÉ OCELI

3.5.1. Základní informace o korozivzdorných ocelích

Nerezové oceli majú, jak je z názvu patrné, vyššiu odolnosť proti korozii, a to predovšetkým proti elektrochemickej korozii, kde sa jejich povrch pasivuje. Nerezy sa delí podľa chemického zloženia na chromové a chromniklové, podľa fázevého zloženia na feritické, martenzitické a austenitické. Patrí mezivysokolegované oceli a jsou legované hlavne chromem.

Na povrchu nerezových ocelí je tzv. pasivní vrstva, která plní ochrannou funkci na povrchu ocelí. Vrstvička je velmi tenká a průběžně se obnovuje. Pasivitu vděčí za korozivzdornost i další kovy, např. hliník, titan a zinek. Ocel musí obsahovat minimálně 12% Cr, aby se pasivní vrstva přichytila rovnoměrně po celém povrchu. Nerezy obsahují i další legující prvky např. Mo pro lepší korozivzdornost a Ni zlepšující technologické vlastnosti.

Nerezové oceli mají podobné chemické složení jako oceli žáruvzdorné a žárovevné, které jsou odolné proti velmi vysokým teplotám. Korozivzdorné oceli se používají v chemické, farmaceutickém, potravinářském a zdravotnickém průmyslu a v energetice. [1, 11]

3.5.2. Druhy nerezových ocelí a jejich použití

Chromové korozivzdorné oceli jsou oceli s obsahem chromu nad 12 %, protože při tomto množství chromu v oceli se zvýší odolnost proti korozi. Chrom totiž pomáhá v lepším utváření ochranné povrchové vrstvy (oxid chromitý), která se vytváří na povrchu oceli, čímž je zajištěna korozivzdornost.

Feritické a poloferitické oceli jsou legovány 13 až 20 % chromu a mají nízký obsah uhlíku (0,15 %). Přidáním Ti nebo Nb se zabraňuje hrubnutí zrna při vyšších teplotách. Jen tvářením za studena a rekrystalizací můžeme ovlivňovat mechanické vlastnosti. Křehnou dlouhodobým ohřevem (700 °C), takže je nutné je poté krátkodobě žíhat a následně rychle zchladit. Nejsou náchylné ke koroznímu praskání.

Martensitické a ledeburitické oceli jsou oceli s obsahem 0,1 až 1% uhlíku a s 12 až 18% chromu. Jsou samokalitelné, ale běžně se kalí do oleje, a to z vysoké teploty. Používají se jako součásti parních turbín, kompresorů a čerpadel a pro výrobu měřidel a nástrojů.

Chromoniklové korozivzdorné oceli mají obsah chromu od 13 do 25%. Jsou legovány feritotvorným Ni, Mo, Nb a Ti a austenitotvorným Mn a Cu. Je zde důležité hlídat vyvážené množství legujících prvků, aby došlo k vytvoření požadovaného fázového složení matrice.

Austenitické oceli disponují nejlepší odolností proti korozi. S přidáním niklu dochází k změně nestabilního austenitu na stabilnější. Tyto oceli jsou nekalitelné, ale lze je podrobit rozpouštěcímu žíhání. Jsou využívány hlavně v chemickém, potravinářském (potrubí, nádrže, čerpadla atd.) a farmaceutickém průmyslu, ve stavebnictví, zdravotnictví (implantáty a

chirurgické nástroje), energetice a ve výrobě spotřebního zboží (nádobí a přístroje). Chrom-niklové austenitické oceli jsou nejvýznamnější nerez-oceli, využívané v chemickém, farmaceutickém a potravinářském průmyslu.

Austeniticko- martensitické a austeniticko-feritické oceli mají nízký obsah uhlíku i niklu, ale mají vysoký obsah chromu. Nacházejí uplatnění v energetice, chemickém a potravinářském průmyslu.[11]

4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4.1. KONCEREMERSON

4.1.1. Základní informace o firmě EMERSON

EMERSON je nadnárodní koncern, jehož divizí je EMERSONClimate Technologies. Divize EMERSON Climate Technologies se zabývá výrobou zařízení pro chlazení, vytápění, větrání a klimatizace. Cílem této firmy je vytvářet energeticky účinné klimatizační systémy, které jsou bezpečné a chrání životní prostředí. [14, 15]

Závod v Kolíně ALCO Controls patří pod skupinu EMERSON Climate Technologies. ALCO Controls se věnuje hlavně vývoji, výrobě, montáži a kontrole dílů pro řízení a jištění chladicího okruhu. V Čechách se také nachází závod v Mikulově na Moravě, kde se vyrábějí kompresory.[7, 15]

Společnost ALCO založil John L. Shore, a to v roce 1925 v St. Louis v Missouri. John L. Shore byl znalcem v oblasti chladicí techniky stal se prezidentem společnosti ALCO. Původně byla společnost ALCO orientovaná na výrobu chladičů, a to jak přírodních např. čpavek (NH_3) a oxid uhličitý (CO_2), tak později i na syntetická hydrochlorofluorokarbonová chladiva (HCFC). [15, 16]

V padesátých letech zažila společnost ALCO velký rozmach, a to díky vývoji několika druhů termostatických expanzních ventilů. Společnost ALCO začala dále nabízet součástky pro kompletní fungování a řízení průtoku chladiva v chladicích zařízeních nebo klimatizačních systémech (od elektromagnetických ventilů po díly sloužící k jištění a sledování chladicího okruhu).

V roce 1967 se ALCO stalo součástí koncernu EMERSON. Začaly se vyrábět nové výrobky jako uzavírací ventily, dále pak termostaty a tlakové spínače (presostaty), které byly zhotovovány v závodě v Aurichu (SRN). Výroba byla později z SRN přesunuta do pobočky v Kolíně, kde je dodnes.

Vývoj ALCO Controls se ubírá k elektronickým řídicím systémům. Společnost se zaměřuje na elektronické expanzní ventily a kompletní řídicí elektronické přístroje, které lze

monitorovat i přes internet. Ukázka ventilu, který ALCO Controls zhotovuje, je uveden pod textem.[15]

Obrázek 2: Termostatický expanzní ventil



Ventil je zařízení, které usměrňuje tok tekutin. ALCO Controls vyrábí několik druhů ventilů (např.: expanzní a elektromagnetické ventily). Nejpoužívanějším ventilem z nabídky firmy je expanzní ventil. Tento druh ventilu slouží v chladicím okruhu jako škrťací element, čímž rozděluje okruh na nízkotlakou a vysokotlakou část. Expanzní ventil vlastně usměrňuje výstupní přehřátí par chladiva, které odchází z výparníku a přivádí kapalné chladivo do výparníku ve chvíli, kdy je kapalné chladivo ve výparníku odpařeno. ALCO Controls vyrábí expanzní ventily ve dvou provedeních, a to tepelné expanzní ventily a elektronické expanzní ventily. Tepelné expanzní ventily regulují průtok chladiva autonomně, tj. bez přítomnosti další energie (např. elektrické). Jsou levné, jednoduché ale méně přesné (v porovnání s elektroexpanzivním ventilem). Elektronické expanzní ventily jsou univerzální (pro více druhů chladiv), velice přesné (důležité pro potravinářství a supermarkety), lze je používat i pro vysokotlaké aplikace (CO₂). Díky jejich přesnosti umožňují snížení nákladů a úspory energie. [14, 15, 16]

4.1.2. Původní výrobaventilů z olovnaté mosazi

Původním materiálem pro výrobu ventilů byla automatová mosaz, která obsahuje okolo 1,6 % až 3,5% olova. Nejčastěji se používají mosazi CuZn39Pb2, CuZn39Pb3 a CuZn40Pb2. Z těchto olovnatých mosazí se velice dobře vyrábějí složité tvary, snadno se odlévají i lisují. [7]

Mosaz CuZn39Pb2 se používá pro výrobu ventilů, protože může být kovaná i obráběná na složitější tvary. Mosaz CuZn40Pb2 je vhodná pro obrábění a tváření za tepla. Využívá se v elektrotechnice a u přesného a tvarově složitého slévání. Poslední uvedená mosaz CuZn39Pb3 vyniká dobrou tvářitelností a obrobitelností.[7, 17]

4.2. POROVNÁNÍ OLOVNATÝCH MOSAZÍ S BEZOLOVNATÝMI SLITINAMI

Pro tyto zkoušky a kritéria byly použity tyto druhy slitin, které jsou využívány při výrobě ventilů.[7]

Tabulka 1: Druhy slitin pro výrobu ventilů

Původní olovnatá mosaz	Vizmutová mosaz	Hliníková slitina
CuZn39Pb2/CW612N	CuZn39Bi1,5	AlMgSi/AW-6061

4.2.1. Destruktivní tlaková zkouška

Destruktivní tlaková zkouška (Burstpressure test) spočívá v tom, že se součásti, které jsou vyrobeny z různých materiálů, postupně tlakují olejem nebo jinou nestlačitelnou tekutinou až do jejich porušení. Na základě této zkoušky vyhodnotíme schopnost materiálu odolávat tlaku. Destruktivní tlak musí být z hlediska bezpečnosti roven minimálně trojnásobku, v některých případech (norma USA) i pětinasobku provozního tlaku. Současně se s destruktivní tlakovou zkouškou provádí i test na únavu (vzorek je opakovaně tlakově namáhán při nižším tlaku). [7]

Tlakové zkoušky jsou používány k určení reálného přetlaku na mezi kluzu a mezi pevnosti. Destruktivní tlak je zapříčiněn vysokým přetlakem kapaliny (voda, olej, brzdová kapalina). Během zkoušky je zaznamenávána hodnota přetlaku a přivedeného množství kapaliny. Výsledkem této zkoušky je poruchový přetlak, kdy součást tlak nevydrží a dojde k porušení materiálu.[7, 18]

Destruktivní zkouška byla zjištěna odolnost mosazi CuZn39Pb2 a hliníkové slitiny AlMgSi. Vizmutová mosaz má stejnou pevnost v tahu jako mosaz olovnatá, a proto na

ní zkouška nemusela být provedena. Tento test byl proveden na vzorku o tloušťce stěny 1,2 mm. [7]

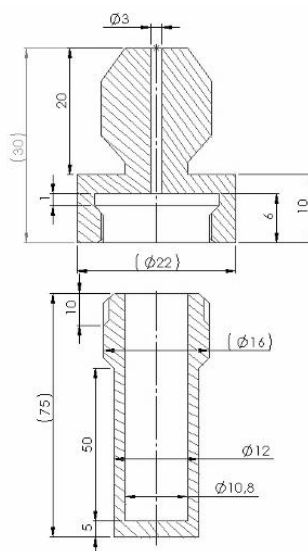
Obrázek 3: Hliníkový a mosazný vzorek určený pro destruktivní zkoušku



Tabulka 2: Výsledek destruktivní zkoušky

Použitý materiál	Destruktivní tlak [Bar]	Destruktivní tlak [MPa]
CuZn39Pb2	nad 400	nad 40
AlMgSi	340	34

Obrázek 4: Rozměry zkušebního vzorku pro destruktivní zkoušku



Maximální tlak zatížení zkušebního zařízení je 400 Bar. U vzorku nedošlo k porušení a nebylo tedy možné stanovit přesnou hodnotu maximálního tlaku pro destrukci vzorku z CuZn39Pb2.

Největší provozní přetlak se u ventilů pohybuje od 3,5 MPa (elektromagnetický ventil) do 4,5 MPa (termo-expanzní ventil). Vezmeme-li v úvahu termostatický expanzní ventil, tak je největší provozní přetlak více než devětkrát menší než destruktivní tlak u CuZn39Pb2 a přibližně osmkrát menší než destruktivní tlak u AlMgSi. Výsledky jsou přehledněji sepsány v následující tabulce.[7, 15]

Tabulka 3: Porovnání provozního a destruktivního tlaku

Použitý materiál	Síla stěny vzorku [mm]	Největší provozní přetlak [MPa]	Velikost destruktivního tlaku [MPa]	Kolikrát je provozní přetlak menší než destruktivní tlak
CuZn39Pb2	1, 2	4, 5	Nad 40	8, 89krát
AlMgSi	1, 2	4, 5	34	7, 56krát

Obrázek 5: Zapojení vzorků z AlMgSi a z CuZn39Pb2 do zkušebního stroje



Obrázek 6: Výsledek destruktivní zkoušky u hliníkového a mosazného vzorku



4.2.2. Teplotní roztažnost

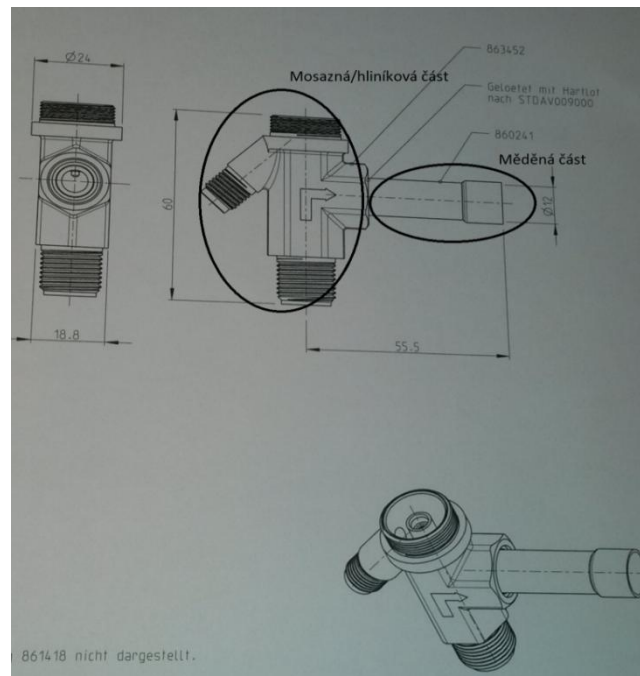
Jelikož jsou části ventilů do chladících zařízení vyráběné z více druhů materiálů, je důležité, aby tyto materiály měly podobnou teplotní roztažnost. Pro výrobu ventilů se používá kromě mosazi i měď. Provozní teploty, při kterých ventily pracují, se pohybují od -50°C do $+90^{\circ}\text{C}$. Na základě teplotní roztažnosti materiálů lze tedy stanovit, zda je více vhodné použít hliníkovou slitinu či mosaz. [7]

Tabulka 4: Koeficienty teplotní roztažnosti [20]

Druh materiálu	Koeficient teplotní roztažnosti α [K^{-1}]
MosazCuZn39Pb2 (platí i pro CuZn39Bi1,5)	$18 \cdot 10^{-6}$
Hliníková slitina AlMgSi	$24 \cdot 10^{-6}$
Měď	$17 \cdot 10^{-6}$

Pro část ventilu uvedenou na obrázku vypočteme objemovou teplotní roztažnost při pracovních teplotách $+90^{\circ}\text{C}$ a -50°C .

Obrázek 7: Mosazná/hliníková a měděná část ventilu



Objemovou teplotní roztažnost vypočteme ze vztahu: $\Delta V = V_0 * (1 + 3\alpha * \Delta t)$, kdy objemy částí ventilu jsou určeny podle vztahu $\rho = \frac{m}{V}$. Bereme v úvahu i to, že hliníkového materiálu musí být na příslušnou část použito o 31% více, než na část mosaznou. Tento výpočet je uveden u ekonomického hlediska.[7, 19]

Tabulka 5: Výpočet objemu mosazné, hliníkové a měděné části ventilu

Část ventilu	Hmotnost části [g]	Objem části [cm³]	Hustota [g/cm³]
Mosazná část	112, 35	13, 26	8, 47
Hliníková část	48, 46	17, 37	2, 79
Měděná část	14, 67	1, 64	8, 96

Tabulka 6: Výpočet objemové teplotní roztažnosti

Druh materiálu	Objem části při 20°C [cm³]	Objem části při 90°C [cm³]	Objem části při -50°C [cm³]
Mosazná část	13, 26	13, 31	13, 21
Hliníková část	17, 37	17, 46	17, 28
Měděná část	1, 64	1, 65	1, 63

Tabulka 7: Procentuální vyjádření roztažení a smrštění částí ventilu

Druh materiálu	Objem části [cm³]	Procentuálně roztažení při 90°C	Procentuálně smrštění při -50°C
Mosazná část	13, 26	0, 4%	0, 4%
Hliníková část	17, 37	0, 5%	0, 2%
Měděná část	1, 64	0, 6%	0,6%

4.2.3. Ekonomické hledisko

Z ekonomického hlediska je podstatné, že ekologická mosaz je dražší než hliníkové slitiny. Musíme vzít ale v úvahu, že je jí použito menší množství. Proto je nutné zjistit, která z těchto variant je pro podnik více výhodná.

Výpočtem jakou minimální tloušťku musí mít stěny výrobku při určitém zatížení, získáme údaje o tom, o kolik milimetrů musí být silnější stěna hliníkového vzorku, aby její odolnost odpovídala odolnosti u mosazného vzorku. Na základě tohoto výpočtu lze stanovit, který materiál je pro výrobu vzorků ekonomicky výhodnější.[7]

Zde jsou uvedeny rozměry zkušebního vzorku (trubky):

Tabulka 8: Naměřené hodnoty zkušebního vzorku

Vnější průměr trubky D_a	12 mm
Vnitřní průměr trubky D_i	10, 8 mm
Délka trubky L	50 mm
Obsah trubky	4580 mm ²

$$\text{Pevnostní výpočet pro sílu stěn: } s = \frac{D_a \cdot p}{20 \frac{R_m}{s} v + p} + c_1 + c_2 \text{ [mm]}$$

Tabulka 9: Zadané hodnoty pro výpočet síly stěn

Zadané hodnoty	Mosaz	Hliníková slitina
Vnější průměr trubky D_a [mm]	12	12
Mez pevnosti v tahu R_m [MPa]	359	240
Bezpečnostní faktor s [-]	3	3
Bezpečnostní faktor pro svařování v[-]	1	1
Toleranční závislost c_1 [mm]	0	0

Korozní závislost c_2 [mm]	0	0
Tlak p [Bar]	50, 100, 150, 200, 250, 300	

Jak již bylo řečeno u měření destruktivního tlaku, v praxi musí ventil, podle evropské normy, vydržet třikrát větší tlak než je tlak provozní (pětikrát větší tlak než je provozní tlak podle americké normy). Maximální provozní tlak termostatického expanzního ventilu je 4,5 MPa, ventil tedy musí vydržet 13,5 MPa. V následující tabulce tedy vybereme vhodnou hodnotu podle evropské normy, tedy tlak nejbližší 135 Barům, což znamená, že použijeme tlak 150 Barů a dostaneme tedy vhodné síly stěn ventilů podle evropských kritérií. [7]

Tabulka 10: Výpočet síly stěn při bezpečnostním faktoru $s = 3$, který je často používaný v praxi

Tlak p[Bar]	Síla stěn SAlMgSi [mm]	Síla stěn SCuZn39Bi1,5 [mm]
50	0, 364	0, 246
100	0, 706	0, 481
<u>150</u>	<u>1, 029</u>	<u>0, 708</u>
200	1, 333	0, 925
250	1, 622	1, 135
300	1, 895	1, 337

Porovnáním síly stěn lze tedy vypočítat, kolik materiálu spotřebujeme na jeden výrobek. A podle ceny mosazi a hliníku můžeme určit, který z těchto materiálů je ekonomičtěji výhodnější. V následující tabulce je spočítán objem materiálu (podle vzorce $= \frac{m}{V}$), který při příslušných tlacích potřebujeme, aby stěny trubky tento tlak vydržely.

Tabulka 11: Výpočet objemů stanovených ze síly stěny vzorku

Tlak p [Bar]	Objem materiálu použitý protrubku z AlMgSi	Objem materiálu použitý pro trubku z CuZn39Bi1,5
-------------------------------	---	---

	[mm ³]	[mm ³]
50	665, 315	454, 196
100	1252, 488	742, 917
<u>150</u>	<u>1773, 301</u>	<u>1255, 813</u>
200	2233, 536	1609, 186
250	2644, 143	1937, 074
300	3007, 917	2239, 398

Tabulka 12: Rozdíly objemů mezi hliníkovým a mosazným materiálem

Tlak p [Bar]	Rozdíl mezi objemy použitého materiálu [mm ²]	Procentuální rozdíl mezi objemy použitého materiálu [%]
50	211, 119	32 %
100	509, 571	41 %
<u>150</u>	<u>517, 488</u>	<u>29 %</u>
200	624, 35	29 %
250	707, 069	27 %
300	768, 519	26 %

Použitý objem materiálu pro zadaný vzorek je u slitiny AlMgSi průměrně o 31 % větší než objem použitého materiálu pro vzorek, který je vyrobený z mosazi CuZn39Bi1,5.

Tabulka 13: Ceny materiálů

Cena jednoho kg AlMgSi [Kč]	Cena jednoho kg CuZn39Pb2 [Kč]	Cena jednoho kg CuZn39Bi1,5 [Kč]
88	117	167

Nyní je zde uveden výpočet rozdílu mezi cenami materiálů při nákupu 1 kg materiálu. Tento rozdíl je vypočten pro nejmenší možnou tloušťku stěny, což je ta, která kvůli bezpečnosti musí vydržet tlak 150 Barů.

Tabulka 14: Výpočet ceny ventilu

Materiál	Objem materiálu	Hmotnost	Cena za 1	Cena
----------	-----------------	----------	-----------	------

	ventilu [cm³]	materiálu ventilu [g]	ksvýrobku [Kč]	1000ksvýrobků [Kč]
CuZn39Pb2	1,255813	10,6367	1,24	1 240
AlMgSi	1,773301	15,0199	1,32	1 320
CuZn39Bi1,5	1,255813	10,6367	1,78	1 780

4.3. VÝSLEDKY MĚŘENÍ A JEJICH DISKUZE

Destruktivní tlaková zkouška prokázala, že oba materiály vyhovují zadaným podmínkám (tabulka č.3). Z uvedené tabulky je patrné, že oba vzorky vydržely větší tlak než je tlak potřebný. Jak již bylo uvedeno, požadovaný tlak se měl rovnat trojnásobku provozního tlaku a toto kritérium splnily oba vzorky. A bezpečně splňují podmínku trojnásobku provozního tlaku.

Tabulka 15: Porovnání provozního a destruktivního tlaku

Použitý materiál	Síla stěny vzorku [mm]	Největší provozní přetlak [MPa]	Velikost destruktivního tlaku [MPa]	Kolikrát je provozní přetlak menší než destruktivní tlak
CuZn39Pb2	1, 2	4, 5	Nad 40	8, 89krát
AlMgSi	1, 2	4, 5	34	7, 56krát

Druhým hlediskem bylo stanovení teplotní objemové roztažnosti. Ta byla vypočtena jak pro hliníkové slitiny, tak i pro mosaz. Vzhledem k tomu, že část ventilu je vyrobená z mědi, na kterou je navařená hliníková/mosazná část, byla kontrolována teplotní objemová roztažnost. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 7 a z uvedených hodnot, že pro teplotu -50°C je výhodnější mosazný vzorek a naopak pro teploty 90°C je lepší zvolit hliníkovou slitinu.

Tabulka 16: Procentuální vyjádření roztažení a smrštění částí ventilu

Druh materiálu	Objem části [cm ³]	Procentuálně roztažení při 90°C	Procentuálně smrštění při -50°C
Mosazná část	13, 26	0, 4%	0, 4%
Hliníková část	17, 37	0, 5%	0, 2%
Měděná část	1, 64	0, 6%	0,6%

Poslední kritérium je ekonomické kritérium (tabulka č. 14), kdy bylo vypočteno, že hliníková slitina bude ekonomičtěji výhodnější než ekologická vizmutová mosaz. Slitina AlMgSi je levnější, i když je jí použito větší množství.

Tabulka 17: Výpočet ceny ventilu

Materiál	Objem materiálu ventilu [cm³]	Hmotnost materiálu ventilu [g]	Cena za 1 ks výrobku [Kč]	Cena 1000 ks výrobků [Kč]
CuZn39Pb2	1,255813	10,6367	1,24	1 240
AlMgSi	1,773301	15,0199	1,32	1 320
CuZn39Bi1,5	1,255813	10,6367	1,78	1 780

4.4. ZÁVĚR

Z výsledků tlakové zkoušky a provedených výpočtů vyplývá:

- a) Že lze nalézt vhodnou alternativu k běžně používaným olovnatým slitinám.
- b) S uvažovaných materiálů dle daných kritérií nejlépe vyhovuje slitina AlMgSi.
- c) V případě, že dominantním kritériem nebude ekonomické hledisko, perspektivním materiálem může být i vizmutová mosaz.

Seznam použitých zdrojů:

- [1] KRATOCHVÍL, Bohumil. ŠVORČÍK, Václav. VOJTĚCH, Dalibor. *Úvod do studia materiálů*. Vyd. 1. Praha: Nakladatelství VŠCHT, 2005, 190 s. ISBN 80-7080-568-4.
- [2] GAJDOŠ, Ján. *Antimón – měď – olovo*. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, 1961.
- [3] JANOVEC, Jiří. CEJP, Jiří. STEINDL, Josef. *Perspektivní materiály*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1995, 122 s. ISBN 80-01-01282-4.
- [4] JURSIK, František. *Anorganická chemie kovů*. Vyd. 1. Praha: Nakladatelství VŠCHT, 2002, 152 s. ISBN 80-7080-504-8.
- [5] SILBERNAGEL, Arnošt. HRUBÝ, Vojtěch. GREGER, Miroslav. NĚMEC, Jiří. *Struktura, vlastnosti, zkoušení a použití kovů*. 1. Vyd. Ostrava: Kovosil, 2011, 284 s. ISBN 978-80-903694-6-7.
- [6] PLUHAŘ, Jaroslav a kolektiv. *Nauka o materiálech*, Vyd. 1. Praha: Nakladatelství technické literatury Alfa, vydavatelstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1989, 552 s.
- [7] Materiály a podklady poskytnuté firmou EMERSON
- [8] *Restriction of the use of certain hazardous substances (RoHS)* [online]. [cit. 2015-06-16]. Dostupné z: http://ec.europa.eu/growth/single-market/european-standards/harmonised-standards/restriction-of-hazardous-substances/index_en.htm
- [9] *Rtuť, životní prostředí a zdraví. Chrom. Kadmium. Olovo*. [online]. [cit. 2015-06-16]. Dostupné z: <http://arnika.org/>
- [10] FALTUS, Jiří. SLÁMA, Peter. BALÍK, Jaroslav. MÁDL, Jan. KOUTNÝ, Václav. *Bezolovnatá alternativa mosazí pro vodovodní instalace.pdf*. 15. - 17. 5. 2001, Ostrava, Czech Republic.
- [11] MACEK, Karel. ZUNA, Petr a kolektiv. *Strojírenské materiály*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003, 204 s. ISBN 80-010-2798-8.
- [12] *Nové obrobiteľné slitiny hliníku bez olova*. MM Průmyslové spektrum. [online]. 11. 07. 2001. [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nove-obrobitelne-slitiny-hliniku-bez-olova.html>
- [13] *Bezolovnatá alternativa mosazí pro vodovodní instalace*. MM Průmyslové spektrum. [online]. 31. 01. 2001. [cit. 2015-04-22]. Dostupné z:

<http://www.mmspektrum.com/clanek/bezolovnata-alternativa-mosazi-pro-vodovodni-instalace.html>

[14] FALTUS, Jiří. BALÍK, Jaroslav. MÁDL, Jan. KOUTNÝ, Václav. EREMIÁŠ, Boleslav. BENDÍKOVÁ, Eva. *Vlastnosti ekologických nízkoolovnatých mosazí určených pro obrábění.pdf*. Hradec nad Moravicí.

[14] *EmersonClimate*. [online]. [cit. 2015-06-03]. Dostupné z: <http://www.emersonclimate.com/en-US/pages/default.aspx>

[15] *ALCO Controls*. [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://www.alfaco.cz/alco.html>

[16] *Chladivo*. [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://www.jdk.cz/cs/produkty/chladivo>

[17] *AurubisStolbergGmbH & Co. KG*. [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://www.aurubis-stolberg.com/englisch/index.php?c=firnenportrait>

[18] *Tlakové zkoušky na vzorcích ocelových trubek a únavové zkoušky*. [online]. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.ceps-as.cz/cs/produkty/zkousky-trub.html>

[19] *Tepelná roztažnost*. [online]. [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.priklady.eu/cs/Fyzika/Tepelna-roztaznost.alej>

[19]. *Součinitel teplotní délkové roztažnosti, měrná tepelná kapacita* [online]. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://kabinet.fyzika.net/studium/tabulky/tepelna-kapacita-roztaznost.php>

Seznam obrázků

Obrázek 1: částice bismutu v mosazi CuZn40Bi1,5 [14].....	19
Obrázek 2: Termostatický expanzní ventil.....	23
Obrázek 3: Hliníkový a mosazný vzorek určený pro destruktivní zkoušku.....	25
Obrázek 4: Rozměry zkušební vzorku pro destruktivní zkoušku	25
Obrázek 5: Zapojení vzorků z AlMgSi a z CuZn39Pb2 do zkušební stroje	26
Obrázek 6: Výsledek destruktivní zkoušky u hliníkového a mosazného vzorku.....	26
Obrázek 7: Mosazná/hliníková a měděná část ventilu	27

Seznam tabulek

Tabulka 1: Druhy slitin pro výrobu ventilů.....	24
Tabulka 2: Výsledek destruktivní zkoušky	25
Tabulka 3: Porovnání provozního a destruktivního tlaku	26
Tabulka 4: Koefficienty teplotní roztažnosti [20]	27
Tabulka 5: Výpočet objemu mosazné, hliníkové a měděné části ventilu	28
Tabulka 6: Výpočet objemové teplotní roztažnosti.....	28
Tabulka 7: Procentuální vyjádření roztažení a smrštění částí ventilu.....	28
Tabulka 8: Naměřené hodnoty zkušební vzorku.....	29
Tabulka 9: Zadané hodnoty pro výpočet síly stěn.....	29
Tabulka 10: Výpočet síly stěn při bezpečnostním faktoru $s = 3$, který je často používaný v praxi.....	30
Tabulka 11: Výpočet objemů stanovených ze síly stěny vzorku	30
Tabulka 12: Rozdíly objemů mezi hliníkovým a mosazným materiálem.....	31
Tabulka 13: Ceny materiálů	31
Tabulka 14: Výpočet ceny ventilu	31
Tabulka 3: Porovnání provozního a destruktivního tlaku	33
Tabulka 7: Procentuální vyjádření roztažení a smrštění částí ventilu.....	33
Tabulka 14: Výpočet ceny ventilu	34