

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ÚSTAV MATERIÁLOVÝCH VĚD A INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

## **ZKÁZA TITANIKU Z MATERIÁLOVÉHO HLEDISKA** **THE TITANIC DESTRUCTION OF THE MATERIAL TERMS**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**RADKA NEDBALOVÁ**

**VEDOUČÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**ING. KAREL NĚMEC, PH.D**

*BRNO 2012*

# ZKÁZA TITANIKU Z MATERIÁLOVÉHO HLEDISKA

---

# ZKÁZA TITANIKU Z MATERIÁLOVÉHO HLEDISKA

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav materiálových věd a inženýrství

Akademický rok: 2011/12

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Radka Nedbalová

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Zkáza Titaniku z materiálového hlediska**

v anglickém jazyce:

### **Titanic Destruction in Terms of Materials**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Analýzy příčin potopení Titaniku, popis role materiálu při této události. Porovnání materiálů použitých při stavbě Titaniku se současnými požadavky kladenými na tento typ materiálů.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Shrnutí poznatků o potopení Titaniku
- 2) Charakteristika materiálu trupu Titaniku
- 3) Porovnání tehdejšího materiálu se současnými materiály



# ZKÁZA TITANIKU Z MATERIÁLOVÉHO HLEDISKA

## Seznam odborné literatury:

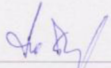
- 1) FOECKE, T. Metallurgy of the RMS Titanic. IR 6118, NIST, 1998.
- 2) FELKINS, K. The Royal Mail Ship Titanic: Did a Metallurgical Failure Cause a Night to Remember? JOM 50(1), 1998, p. 12-18.
- 3) Foecke T., Hooper-McCarty J. Quantitative Metallography And Microanalytical Analysis Of Particles In Iron Rivets Recovered From The Wreck Of The RMS Titanic. Microscopy and Microanalysis, 2009, 15 (Suppl. 2) , pp 524-525

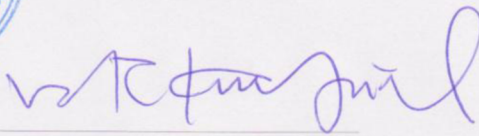
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Karel Němec, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 31.10.2011



  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Ivo Dlouhý, CSc.  
Ředitel ústavu

  
\_\_\_\_\_  
prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan



# ZKÁZA TITANIKU Z MATERIÁLOVÉHO HLEDISKA

---

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce pojednává o zkáze Titaniku, a to zejména z materiálového hlediska. Obsahuje shrnutí poznatků o plavbě a potopení, charakteristiku materiálu trupu Titaniku a porovnání tehdejšího materiálu s materiály současnými. Práce dále popisuje zkoušení materiálu Charpyho zkouškou rázem v ohybu, její historický vývoj a vyhodnocení této zkoušky na zkušebních vzorcích z trupu lodi Titanik. V neposlední řadě se zabývá také chybami v konstrukci lodi a důsledky celé katastrofy.

### ***Klíčová slova***

Titanik, rozbor oceli, zkouška rázem v ohybu dle Charpyho, chyby v konstrukci

## **ABSTRACT**

This bachelor work deals with the Titanic destruction especially of the material terms. It contains a summary of findings of the voyage and sinking, characteristics of the Titanic's hull material and the comparison then the material with current material. The work also describes material testing by Charpy impact tests and its historical development and evaluation of tests on specimens of the Titanic hull. Finally, also deals with design flaws of the ship's structure and results of all disaster.

### ***Key words***

Titanic, analysis of steel, Charpy impact tests, design flaws

# ZKÁZA TITANIKU Z MATERIÁLOVÉHO HLEDISKA

---

**BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

NEDBALOVÁ, RADKA. *Název: ZKÁZA TITANIKU Z MATERIÁLOVÉHO HLEDISKA.*  
Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta materiálových věd a inženýrství, 2012.  
30 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Karel Němec, Ph.D.

# ZKÁZA TITANIKU Z MATERIÁLOVÉHO HLEDISKA

---

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Zkáza Titaniku z materiálového hlediska vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum 25. 5. 2012

.....

Radka Nedbalová



# ZKÁZA TITANIKU Z MATERIÁLOVÉHO HLEDISKA

---

## **Poděkování**

Děkuji tímto Ing. Karlu Němcovi, Ph.D za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

# ZKÁZA TITANIKU Z MATERIÁLOVÉHO HLEDISKA

---

## Obsah

1 úvod.....	7
2 titanic.....	8
2.1 Konstrukce.....	8
2.2 Plavba .....	9
2.3 Příčiny rychlého potopení .....	10
3 rozbor oceli.....	11
3.1 Studie míry poškození trupu.....	11
3.2 Složení oceli.....	11
3.3 Metalografie.....	13
4 zkouška rázem v ohybu dle charpyho .....	14
4.1 Historický vývoj .....	14
4.2 Proč zjišťujeme houževnatost materiálu.....	16
4.3 Podstata zkoušky .....	17
4.4 Zkušební vzorky .....	19
4.5 Zkušební zařízení.....	20
4.6 Zkouška tahem .....	21
4.7 Zkouška rázem v ohybu dle Charpyho na zkušebním vzorku z lodi Titanik.....	22
4.8 Graf nárazové práce v závislosti na teplotě.....	23
4.9 Graf procenta tvárného lomu v závislosti na teplotě.....	24
5 chyby v konstrukci.....	25
5.1 Nýty.....	25
5.2 Vodotěsné komory .....	26
6 důsledky katastrofy .....	27
6.1 Design lodí.....	27
6.2 Bezpečnostní předpisy .....	28
7 Závěr .....	29
Seznam použitých zdrojů .....	30

# ZKÁZA TITANIKU Z MATERIÁLOVÉHO HLEDISKA

---



## 1 ÚVOD

Byl obrovský, luxusní a říkalo se o něm, že je nepotopitelný. Když Titanik vyplouval na svou první plavbu, byla na jeho palubě celá řada významných osobností i mnoho obyčejných lidí putujících za svým americkým snem. Až do osudné noci 14. dubna 1912 si nikdo na palubě Titaniku nepřipouštěl nebezpečí, jakému jejich loď mířila vstříc, a které v sobě ukrývaly hory plovoucího ledu. Tehdy pýcha lidstva narazila v Severním moři do ledovce, který Titanic neúprosně poslal ke dnu. Klidná plavba se změnila ve zběsilý a tragický boj o záchranu. Kolik jim zbývá? Hodina, možná dvě ...

Během jeho jediné nedokončené plavby se propojily zdánlivě nepodstatné okolnosti a jejich nesprávné zhodnocení v jeden jediný smrtelný řetězec. Varováním se nevěnovala patřičná pozornost, prolhuly se nedostatky v zajištění bezpečnosti a v navigaci. A ani materiál trupu nebyl bez viny. To vše nevyhnutelně vedlo k tragickému konci.

Hlavním cílem předložené práce je popis vlivu materiálu na potopení Titaniku.

## 2 TITANIC



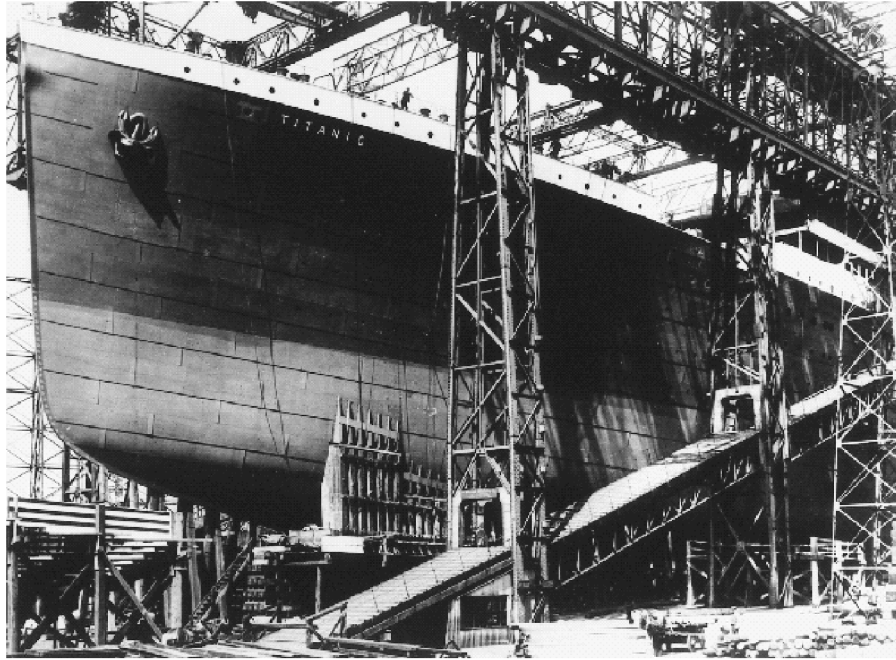
**Obr. 1** *Lod' Titanic* [9]

Na počátku minulého století byl jediným možným dopravním prostředkem mezi Evropou a Severní Amerikou, jak pro poštu, tak pro pasažéry, osobní parník. V této době se sešli zástupci dvou irských firem vyrábějící lodě, spolu známí pod jménem White Star Line, a dohodli se, že vyrobí tři nové obrovské parníky se službami pro cestující a poštovní zásilky mezi anglickým Southampton a New Yorkem. Vzniklo tak trio luxusních lodí. První z nich, dnes nazývána jako sestra Titaniku, byla Olympik, následoval Titanik a třetí, Britannik, vznikla nejpozději. Na žádné z těchto lodí nechyběly plavecké bazény, stacionární kola, která bychom dnes mohli přirovnat ke spinningu, squashové kurty [1], bylo možné si zahrát i stolní tenis, a to vše pod dohledem profesionálních trenérů. Pokoje pro pasažéry cestující první třídou byly obrovské, zařízeny elegantním dřevěným nábytkem a drahými koberci a každý apartmán první třídy byl zařízen v jiném stylu. Speciální charakteristikou lodi Titanik byla její skvostná kuchyně.

### 2.1 Konstrukce

Počátkem 20. století byly lodě konstruovány pomocí kovaných železných nýtů, díky kterým se plechy upevnily k sobě nebo se uchytily do ocelového rámu. Rámy držely pohromadě díky podobným nýtům. Díry byly raženy v příslušných místech v ocelovém rámu i v deskách pro vkládání nýtů. Každý nýt byl ohřát na teplotu oblasti austenitu, pak byl vložen do díry příslušných desek nebo rámu a hydraulicky smáčknut k vyplnění děr a vytvoření příslušné hlavy nýtu. Pro konstrukci Titaniku bylo použito 3 000 000 takových nýtů. [1]

V době konstrukce byl Titanik zatím největší lodí, která kdy byla postavena. Její délka činila necelých 270 m, šířka téměř 30 m, výška od dna lodě po vrch komínů byla 54 m a vážila neuvěřitelných 46 tun. Převrat v designu a technologii zahrnoval 16 vodotěsných částí ve spodní sekci lodi, které by v případě proražení trupu mohly být lehce uzavřeny, a tím byl Titanik považován za nepotopitelný. [2]



**Obr. 2** Konstrukce Titaniku [1]

## 2.2 Plavba

Parník začal svou první plavbu z Anglie do New Yorku těsně před polednem 10. dubna roku 1912. Na palubě bylo 2227 pasažérů, mezi kterými se nacházelo několik nejbohatších a nejprestižnějších lidí té doby, včetně posádky. Dva dny nato, ačkoli rádioví spojovatelé obdrželi několik varovných zpráv ohledně ledovců od okolních lodí, Titanik pokračoval v plavbě skrz temnotu na plné obrátky. V 23:35 grónského času si vyhlídky všimly obrovského ledovce vzdáleného méně než čtvrt míle od přídi lodi. Motory byly okamžitě převedeny do zpětného chodu a kormidlo otočeno prudce doleva, ale vzhledem k ohromné hmotnosti lodi a její poměrně vysoké rychlosti vyžadovala změna kurzu (zatočení) a vyhnutí se překážce delší vzdálenost, než byla k dispozici. V 23:40 Titanik sice změnil svůj směr, ale pravou stranou narazil do ledovce, který byl třikrát až šestkrát větší než jeho vlastní hmota a poškodil trup lodi tak, že bylo zepředu proraženo 6 vodotěsných komor. Když začala proudit voda dovnitř, loď se začala naklánět dopředu a mírně doprava. O půlnoci se voda v poškozených částech začala přelívat do dalších komor, protože byly vodotěsné pouze horizontálně a zdi sahaly jen několik stop nad čarou ponoru. [2]

Kolem druhé hodiny se příď lodi začala potápět a lodní šroub na zádi se zvedl nad hladinu oceánu, po dalších deseti minutách už lodní šroub vzhledem k hladině trčel pod úhlem 45°. Kvůli velké váze tohoto šroubu začal být uprostřed lodi velký tlak, to postupně vedlo k překročení meze pevnosti a loď se roztrhla. Ti, co přežili katastrofu, poté popsali, že slyšeli hlasitý zvuk, který zněl, jako rozbíjení porcelánu. Tento zvuk může být připsán k trhání a rozpadu konstrukce Titaniku. Během dalších dvou minut, kdy zád a příď lodi držely pohromadě pouze vnitřní částí konstrukce, se zád lodi vyhoupla vysoko nad hladinu a do příde se valila další voda. Ve chvíli, kdy dosáhla příď hmotnosti okolo 16 000 tun, se obě části oddělily úplně a zadní část lodi se dále potápěla téměř ve svislé poloze. V 2:20 druhá část Titaniku sklouzla pod hladinu.

### 2.3 Příčiny rychlého potopení

Tato katastrofa si vyžádala více než 1 500 obětí. V té době existovaly předpisy na požadovanou kapacitu záchranných člunů pouze na lodi s kapacitou přibližně 960 lidí. Titanic, i když měl mnohem větší kapacitu osob na lodi, vyplul na moře pouze s dvaceti záchrannými čluny, což znamenalo maximum 1178 cestujících, které mohly pojmout. Pouze 705 pasažérů bylo zachráněno. Aby mohli být evakuováni všichni, musel by Titanic mít na palubě 63 záchranných člunů. Rozsah tragédie podnítl spoustu lidí k přemýšlení, proč se loď vlastně potopila.



**Obr. 3** Potápění Titanicu [9]

73 let ležel vrak nedotčen na dně oceánu. Teprve 1. září 1985 objevila Titanik posádka oceánografů a v roce 1991 se na dno oceánu vypravil poprvé čistě vědecký tým, který byl díky speciálnímu vybavení schopen udělat fotografie vraku, a tak se pokusit odhalit nové důkazy a přijít na příčiny této tragédie.

Při této expedici vědci objevili kus železa ležící na dně oceánu, což byla část trupu Titaniku. Tento kus, velký asi jako frisbee, byl tlustý okolo 2,5 cm, měl tři otvory na nýty a pomohl výzkumu odhalit další stopy vedoucí k odhalení příčiny rychlého potopení Titaniku. Často byl citován domnělý problém s nekvalitní ocelí použitou při konstrukci lodi. Metalurgické analýzy ocelového trupu poskytly jasnější pohled na danou problematiku. [2]

### 3 ROZBOR OCELI

#### 3.1 Studie míry poškození trupu

V počátečních studiích se předpokládalo, že trhlina v trupu lodi, způsobená nárazem do ledovce, byla spojitá a měla délku 100 m. Novější studie ukázaly, že trhlina byla nespojitá. Konstruktor Edward Wilding na základě zpráv o potopení lodi odhadl, že srážka s ledovcem vytvořila v trupu Titaniku trhliny o celkové ploše ve výši 1 115 m<sup>2</sup>. Toto poškození bylo dostačující k tomu, aby se loď potopila. Pánové Hackett a Bedford provedli počítačové simulace na základě stejných informací, ovšem s tím rozdílem, že rozdělili části, které byly porušeny, do šesti oddílů. Výsledky můžeme vidět v Tab. 1. Celkový odhad poškození ve výši 1 171 m<sup>2</sup> je mírně vyšší, než odhadl Wilding. [1]

**Tab. 1** Shrnutí poškozených oblastí v prostoru trupu Titaniku\* [1]

Oblast	Počítačový výpočet [m <sup>2</sup> ]
Přední kolizní prostor	0,056
Nákladní prostor 1	0,139
Nákladní prostor 2	0,288
Nákladní prostor 3	0,307
Kotelna 6	0,260
Kotelna 5	0,121
Celková plocha	1,171
*Prostory jsou uvedeny od přídě směrem k zádi	

#### 3.2 Složení oceli

Z expedice k vraku lodi v Severním Atlantiku, která se konala 15. srpna 1996, vědci přivezli vzorky oceli z trupu Titaniku, které měly posloužit pro metalurgické analýzy. Po převzetí oceli Univerzitou vědy a techniky Missouri-Rolla, bylo prvním úkolem stanovit její chemické složení. Výsledky analýzy jsou vidět v Tab. 2. V první řadě je třeba zmínit, že byl zjištěn velmi nízký obsah dusíku, což naznačuje, že ocel nebyla vyrobena v Bessemerově konvertoru. To bylo první metalurgické zařízení pro velkovýrobu oceli ze surového železa. Při výrobě tímto způsobem by ocel obsahovala vyšší obsah dusíku, což by ji činilo křehkou, obzvláště při nižších teplotách. Použita tedy byla druhá, tehdy používaná, modernější, metoda pro výrobu konstrukční oceli, což byla Siemensova-Martinova pec.

Poměrně vysoké množství kyslíku značí, že ocel byla jen částečně dezoxidována. Nízký obsah křemíku ukazuje na zkujňovací proces, kterým se docílí snížení obsahu nežádoucích průměrových prvků. Obsah fosforu v oceli je o něco vyšší, než je obvyklé, a množství síry je poměrně vysoké, navíc doprovázené nízkým obsahem manganu, z čehož vyplývá poměr manganu ku síry na 6,8:1. Tento poměr je velmi malý v porovnání s moderními standardy. Přítomnost relativně vysokého množství fosforu, kyslíku a síry má pro ocel velmi negativní vliv právě na křehkost materiálu při nízkých teplotách.



## ZKÁZA TITANIKU Z MATERIÁLOVÉHO HLEDISKA

Vysoký obsah síry spolu s manganem tvoří v oceli sulfidy manganu, které jsou vyloučeny na hranicích zrn v řetízkovitých útvarech, které fungují jako "dálnice" pro šíření trhliny. Ačkoliv většina z ocelí používaných počátkem 20. století měla relativně vysoký obsah síry, podíl síry v oceli z Titaniku byl velmi vysoký i pro danou dobu. [2]

**Tab. 2** Složení oceli z lodi Titanic v porovnání s dalšími oceli [1]

	C	Mn	P	S	Si	Cu	O	N	Poměr Mn:S
Titanic	0,21	0,47	0,045	0,069	0,017	0,024	0,013	0,0035	6,8:1
Lock Gate*	0,25	0,52	0,01	0,03	0,02	-	0,018	0,0035	17,3:1
ASTM A36	0,20	0,55	0,012	0,037	0,007	0,01	0,079	0,0023	14,9:1

\*Ocel použitá v té době na konstrukci zámku Chittenden, které se nachází mezi Washingtonským Jezerem a Pugetským zálivem (Seattle, Washington).

Pan Davies ve svém spisu s názvem Historie metalurgie ukázal, že v době, kdy byl postaven Titanik, byly ve Velké Británii téměř dvě třetiny oceli vyráběné v Siemensově-Martinově peci s kyselou vyzdívkou. Proto je zde velká pravděpodobnost, že ocel, použitá pro konstrukci lodi Titanik, byla vyrobena právě v takové peci. Dokazuje to i velké množství fosforu a síry v oceli. [1]

Tabulka 2 zahrnuje také chemické složení dalších dvou ocelí, první z nich je ocel, která byla použita na konstrukci Chittendenského lodního kanálu, což je komplex plavebních komor nacházejících se na západním konci Lososového zálivu, který je součástí Washingtonského jezera. Tato zdymadla slouží pro zachování hladiny pitné vody jezera 20-22 metrů nad hladinou moře, k zabránění mísení slané a sladké vody nebo také například pro pohyb lodí z hladiny jezer na hladinu Pugetského zálivu a naopak. Zdymadla byla stavěna od roku 1912, což ocel, použitou na stavbu těchto plavebních komor, zařazuje do stejného období, jako ocel z lodi Titanik. [8]

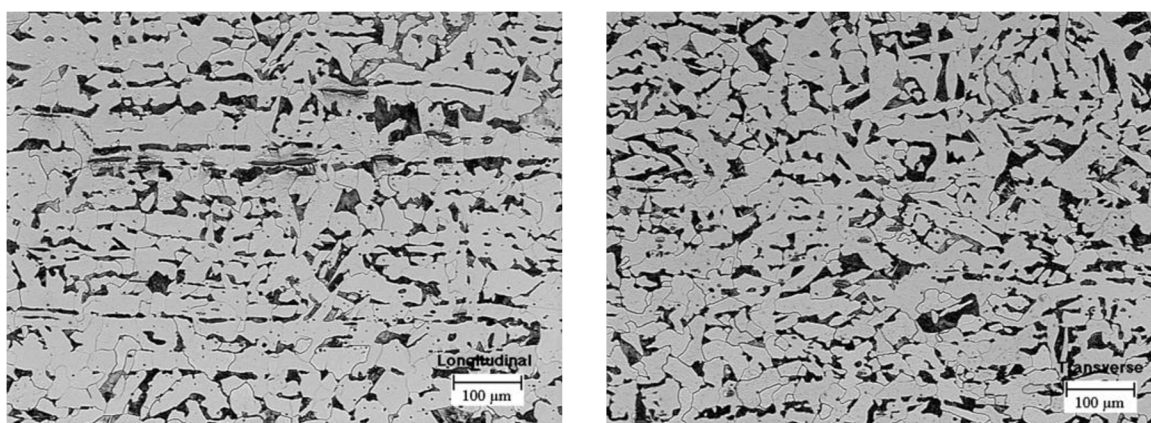
Třetí ocelí v tabulce 2 je moderní ocel ASTM A36, což je nízkouhlíková jakostní konstrukční ocel běžně používaná hlavně ve Spojených státech.



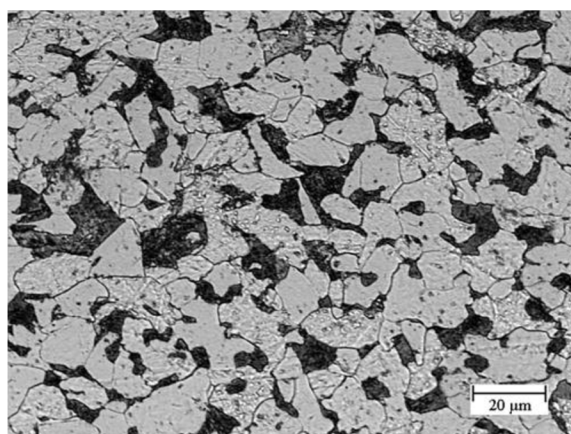
**Obr. 4** Letecký pohled na lodní zámky a lodní kanál Washingtonského Jezera [8]

## 3.3 Metalografie

K přípravě vzorků odebraných z trupu lodi Titanik byly použity standardní metalografické metody. Po broušení a leštění přišlo na řadu leptání, které bylo provedeno 2% nitalem (roztok alkoholu a kyseliny dusičné). Protože dřívější práce ukázaly na značnou texturu ve vzorcích oceli, byly řezy vzorkem provedeny jak v příčném, tak v podélném směru. Na obrázku 5 je feriticko-perlitická mikrostruktura zkoumané oceli vidět. U obou řezů je zřejmá textura po válcování, ovšem v podélném směru se vyskytuje v mnohem větším měřítku než ve směru příčném. Rovněž je zde možné pozorovat velké množství částic MnS protažených ve směru textury. Průměr zrn je 60,40  $\mu\text{m}$  u struktury podélného řezu a 41,92  $\mu\text{m}$  pro mikrostrukturu příčného řezu. Pro srovnání je uveden obrázek 5, na němž se nachází mikrostruktura oceli ASTM A36, která má průměr zrna 26,173  $\mu\text{m}$ . [1]

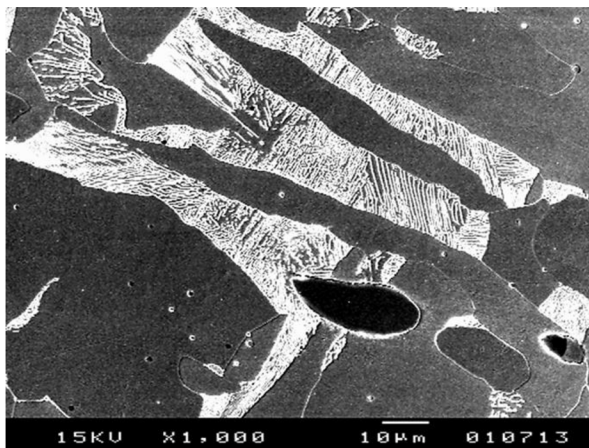


**Obr. 5** Mikrostruktura oceli z trupu Titaniku pro podélně obroběný vzorek (vlevo) a příčně obroběný vzorek (vpravo), leptadlem byl 2% Nital [1]



**Obr. 6** Mikrostruktura oceli ASTM A36, F+P, velikost zrn je 26,173  $\mu\text{m}$ , leptadlem byl 2% Nital [1]

Na obrázku 7 je vyobrazena mikrostruktura leštěného a leptaného povrchu oceli z Titaniku, pořízená pomocí rastrovací elektronové mikroskopie (REM). Je zde možné rozeznat perlit (světlé pruhované tvary). Ferit zde vystupuje ve formě tmavě šedých ploch a částice MnS zde mají velmi tmavou až černou barvu a eliptický tvar. Částice mají protáhlý tvar ve směru textury, což naznačuje, že plech byl válcován. Jsou zde také evidentní malé nekovové vměstky a vidět jsou i některé z hranic zrn feritu. [1]



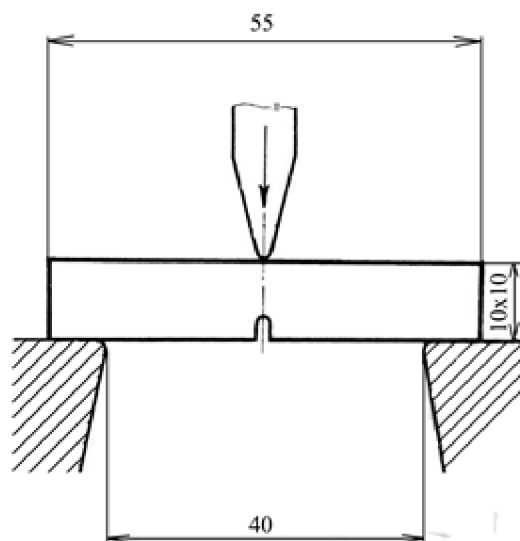
**Obr. 7** Kolonie perlitu, zrna feritu, prodloužené MnS částice a nekovové inkluze (REM), leptadlem byl 2% Nital [1]

## 4 ZKOUŠKA RÁZEM V OHYBU DLE CHARPYHO

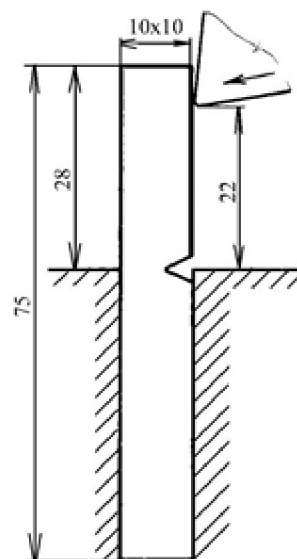
### 4.1 Historický vývoj

Historie laboratorního testování houževnatosti kovů se datuje od počátku minulého století. Francouz G. Charpy přednášel v Budapešti v roce 1901 o svých zkouškách zjišťování houževnatosti materiálu přerážením prismatických tyčí, které byly opatřeny vrubem. V roce 1906 v Bruselu referoval o svých zkušenostech se zkouškou ve Francii a předkládal dvě verze tyčí různého tvaru a dvě velikosti strojů, které mají sloužit ke zkoušení materiálu. Konečně v roce 1909 v Kodani bylo doporučeno normovat Charpyho zkoušku, která se následně ujala a rozšířila po celém evropském kontinentu.

Charpy pokládá zkušební tyč na dvě pevné podpory a vede ráz doprostřed proti vrubu, jak je vidět na obr. 8. Pan Izod naproti tomu v Anglii navrhuje vetknout tyč až ke vrubu do šaboty a na volný konec nechat působit ráz, jak ukazuje obr. 9. Hlavní rozdíl obou způsobů je v tom, že u Charpyho zkoušky kladivo narazí na zkoušenou tyč v rovině vrubu, kdežto u zkoušky Izodovy je ráz veden na místo od vrubu vzdálené. Izodova zkouška se začala používat v Anglii a částečně i v USA.



**Obr. 8** Princip rázové zkoušky dle Charpyho [3]



**Obr. 9** Princip rázové zkoušky dle Izoda [3]

Na kodaňském kongresu byly doporučeny dvě velikosti zkušebních tyčí – větší, která činila délku 160 mm a měla tvar čtverce s velikostmi 30x30 mm, a menší s rozměry čtverce 10x10 mm a délkou 100 mm.

Již v roce 1912 v New Yorku bylo konstatováno, že výsledky získané na větší a menší tyči nejsou navzájem srovnatelné, a že je zapotřebí zachovat obou tyčí jako dvou různých zkoušek. Za I. světové války se rozpadl Mezinárodní svaz pro technické zkoušení materiálu, který do této chvíle řešil záležitosti spojené také s Charpyho zkouškou, a poté nastal v metodice této zkoušky dokonalý chaos. Původní velká Charpyho tyč se ukázala jako prakticky nevhodná a byla v různých zemích změněna na průřez 20 x 20 nebo 20 x 15 mm. Postupem času však začala ztrácet na významu a dnes už není používána vůbec. U malé tyče byla původní délka zmenšena na 55 mm a vzdálenost podpor na 40 mm a ve tvarech vrubů vznikla mimořádná různorodost. Výsledky zkoušek na různých tyčích byly odlišné, nedaly se převádět a srovnávat a tím vznikly v obchodních stycích potíže. Ve dvacátých letech proto spousta lidí začala vrubovou zkoušku odsuzovat a některé hutě ji odmítaly uznat za zkoušku přejímací. Celý tento zmatek plynul z neznalosti základních procesů probíhajících v materiálu při zkoušce rázem v ohybu.

Po první světové válce se nejvíce rozšířila Mesnagerova tyč s vrubem o hloubce 2 mm a poloměru 1 mm, která byla postupně normována v řadě zemí, včetně naší (ČSN 1038 – 1930). Jinde se používaly tyče s vrubem stejného poloměru, ale s hloubkami 2,5 nebo 5 mm.

V Amsterdamu roku 1927 byl na kongresu ustaven nový mezinárodní svaz pro zkoušení materiálu. Protože zde bylo několik různých názorů ohledně vrubové zkoušky, bylo dohodnuto učinit tuto zkoušku předmětem zvláštního jednání na příštím kongresu, který se konal v roce 1931 v Curychu. Ani zde se však nepodařilo názory sjednotit a výsledky celého jednání lze shrnout několika větami:

Bylo konstatováno, že vrubová zkouška je prakticky velmi důležitá, ovšem je nezbytně nutné mezinárodně sjednotit zkušební tyč. Jako nejvhodnější byla určena dosud používaná velikost 10 x 10 x 55 mm, velká Charpyho tyč se již vůbec neuznávala.

Neustále se vedly diskuze ohledně tvaru vrubu, ovšem jednotnosti dosaženo nebylo. Mesnagerova tyč byla označena za nevhodné řešení a bylo doporučeno zvětšit hloubku vrubu na 3 mm, jako tomu navrhuje německá norma. Jednání se nakonec uzavřelo konstatováním, že normalizace zkušebních metod přísluší Mezinárodní normalizační asociaci (ISA). Bohužel ani v této organizaci před válkou nedošlo k určení stanovisek, neboť jednání komplikoval francouzský návrh prohloubení vrubu na 5 mm. Nakonec vyšel z užší komise předběžný návrh, který předkládal vruby hluboké 3 i 5 mm s poloměrem 1 mm. V souhlase s ním byly ve druhém vydání ČSN 1038 z roku 1942 zavedeny dva tvary vrubu.

Roku 1946 byla mezinárodní normalizační spolupráce obnovena pod názvem Mezinárodní standardizační organizace (ISO), z níž po dlouhém jednání roku 1959 vyšlo rozhodnutí R 83, které stanovuje používání jediného vrubu s hloubkou 5 mm. Socialistické země, mezi nimi i tehdejší Československo, nepřijaly tato doporučení a normalizovaly dosavadní dva vruby hluboké 2 a 3 mm. Další vydání normy ČSN 42 0381 z roku 1962 je v různých detailech upraveno podle mezinárodních doporučení, ale hloubky vrubů zůstávají nezměněny.

Další změna této normy proběhla v roce 1978, rovněž ale zůstávají tvary a rozměry vrubů a zkušebních tyčí nezměněny.

V roce 1998 došlo k výrazné změně. Česká Republika přejímá evropskou normu EN 10045-1, která nahrazuje normu 42 0381. Hloubka V-vrubu je stanovena na 2 mm, U-vrubu na 5 mm. V národní příloze této normy je uvedeno, že v České Republice se zkouška provádí též na zkušebních tyčích s U-vrubem s jinou hloubkou vrubu než 5 mm (např. 2 a 3 mm) a s jinou šířkou tyčí než 10 mm (např. 7,5 a 5 mm). Tato norma (tedy ČSN EN 10045-1 – Kovové materiály – Zkouška rázem v ohybu podle Charpyho – část 1: Zkušební metoda - V a U vruby) je platná dodnes. [3]

### 4.2 Proč zjišťujeme houževnatost materiálu

Jak je nám již známo, v době konstrukce lodi Titanic ještě nebyla zkouška rázem v ohybu dle Charpyho běžně používána, což je také jeden z důvodů, proč došlo, kromě Titaniku, počátkem 20. století k několika dalším katastrofám způsobeným nízkou houževnatostí materiálu.

Před druhou světovou válkou, kdy se ocelové konstrukce namísto nýtování postupně začali svářet, vzniklo v Evropě několik katastrofálních porušení mostů zhotovených z konstrukčních uhlíkových ocelí vyrobených ve vzduchových konvertorech. Mosty se porušily náhlým lomem při nižším provozním zatížení a po krátkém používání. Materiálová analýza ukázala, že jde o křehké lomy, které byly iniciovány z defektů ve svarech, a většina materiálů měla při provozní teplotě nízkou vrubovou houževnatost.



I přesto, že křehké lomy se vyskytovaly často, byly ocelové konstrukce ještě dlouho dimenzovány pouze podle hodnoty meze statické pevnosti v tahu. Důkladnější inženýrský přístup k řešení tohoto problému se dostavil až po velkém počtu havárií svařovaných lodí Liberty v průběhu 2. světové války a jejich následných analýzách.

Většina těchto lomů vycházela z konstrukčních vrubů a defektů ve svarech. Úpravami nosných dílů trupu lodi a vsazením zastavovačů trhlin v kritických místech se podstatně snížil výskyt křehkých lomů. Zkoušky materiálu lodí ukázaly, že kromě konstrukčních chyb byla jedním z primárních faktorů, které přispěly k porušení, i nízká kvalita používané oceli.

Všechny havárie a poškození lodí přinutily Americký úřad pro lodní dopravu v roce 1947 zavést určité normy pro chemické složení oceli používané na stavbu lodí. Přesto, že byly používány zastavovače trhlin a došlo ke konstrukčnímu zlepšení i k úpravě chemického složení ocelí, křehké lomy se v omezené míře vyskytovaly i nadále.

Přesto, že nastal velký pokrok ve výzkumu vlastností a v rozvoji nových zkušebních metod materiálu, problém zvyšování odolnosti materiálu proti mechanickému namáhání bude stále aktuální, protože podmínky při jeho namáhání jsou čím dál přísnější.

Cílem studia mechanických vlastností materiálů je jejich stálé zlepšování a možnost poskytnout konstruktérovi kvantitativní údaje o chování materiálů v různých podmínkách namáhání na takové úrovni, aby se v maximální míře zabránilo poruchám zařízení způsobených selháním materiálu. [4]

### 4.3 Podstata zkoušky

Kladivo o hmotnosti  $G$  se zvedne a upevní se v počáteční poloze  $h_1$ , čímž mu dodáme potenciální energii o velikosti  $W_{p1}$ . V nejnižším bodě dráhy se umístí zkušební vzorek. Po uvolnění pojistky začne kladivo padat dolů, což má za následek přeměnu potenciální energie na kinetickou. Část této kinetické energie se spotřebuje na přeražení vzorku, což nazýváme tzv. nárazovou prací  $KU$ , a zbytek energie je využit na překmitnutí kladiva do výšky  $h_2$ .

Nárazová práce je dána rozdílem potenciálních energií [5]:

$$W_{p1} = G * h_1 \quad \text{a} \quad W_{p2} = G * h_2 \\ K = W_{p1} - W_{p2} = G * (h_1 - h_2), \text{ kde}$$

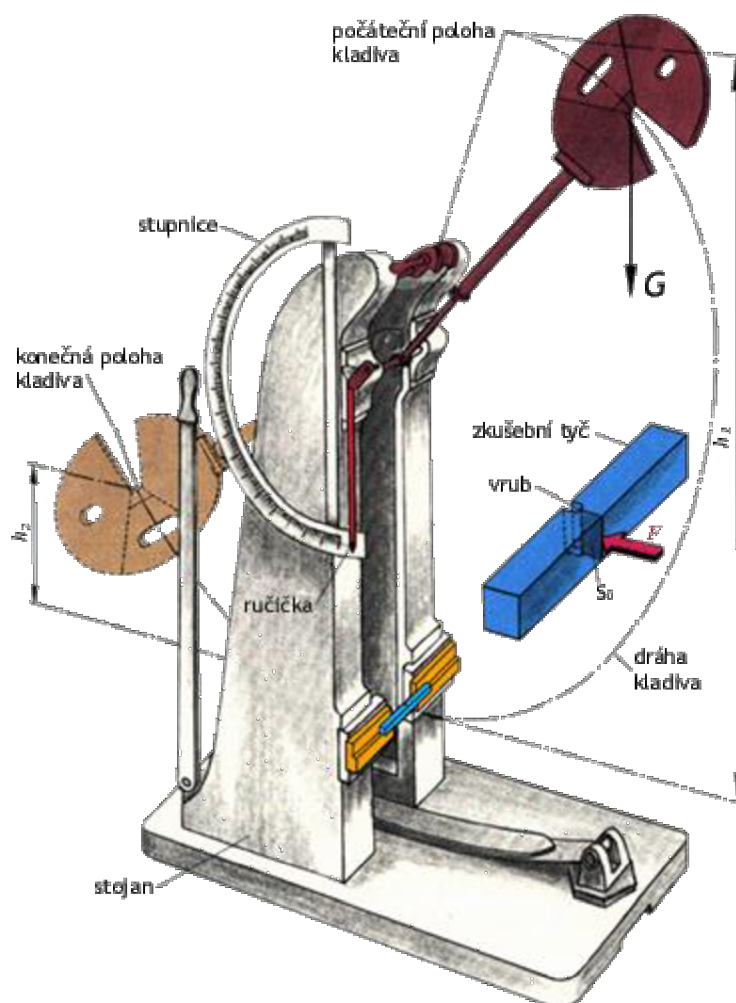
$G$  [N] ... tíha kladiva

$h_1$  [m] ... počáteční výška kladiva vzhledem ke zkušební tyči

$h_2$  [m] ... konečná výška kladiva vzhledem ke zkušební tyči

$W_p$  [J] ... potenciální energie

$K$  [J] ... nárazová práce



**Obr. 10** Charpyho kladivo v jeho výchozí a konečné poloze [10]

Hodnotu  $K$  lze jednoduše vyčíst pomocí ručičky na stupnici, s čímž se můžeme setkat u starších kladiv, popřípadě použít úhlového snímače, jak je tomu u novějších kladiv – ten pracuje na elektronickém snímání výchylky beranu, kterou ihned přepočítává na nárazovou práci, jejíž hodnotu ukazuje digitální formou na ukazateli.

Velikost nárazové práce závisí na mnoha faktorech, jako je koncentrace, rychlost deformace a charakter napětí ve zkušební tyči (tvar a velikost zkušební tělesa, tvar vrubu), struktura, teplota a stav vnitřních pnutí [5]. Proto jsou podmínky zkoušky za normální, zvýšené nebo snížené teploty stanoveny normami.

Základní zkušební podmínky musí odpovídat kyvadlovému kladivu s potenciální energií  $W_{p1} = 300 \pm 10$  J a použití zkušební tyče základních rozměrů. Při splnění těchto podmínek je nárazová práce označována symboly:

- KU ...zkušební tyč s U vrubem
- KV ...zkušební tyč s V vrubem

Také je dovoleno použít zkušební zařízení, které má jinou rázovou energii, ovšem v takovém případě je zapotřebí k symbolu KU nebo KV přidat index vyjadřující hodnotu energie, například KV 150 ...použitá energie kladiva je 150 J. [6]

Kromě nárazové práce můžeme ještě zjišťovat vrubovou houževnatost, která je dána vztahem:

$$KCU = \frac{KU}{S_0} \left[ \frac{J}{cm^2} \right], \text{ kde } KU [J] \dots \text{ nárazová práce}$$

$$S_0 [cm^2] \dots \text{ původní průřez součásti}$$

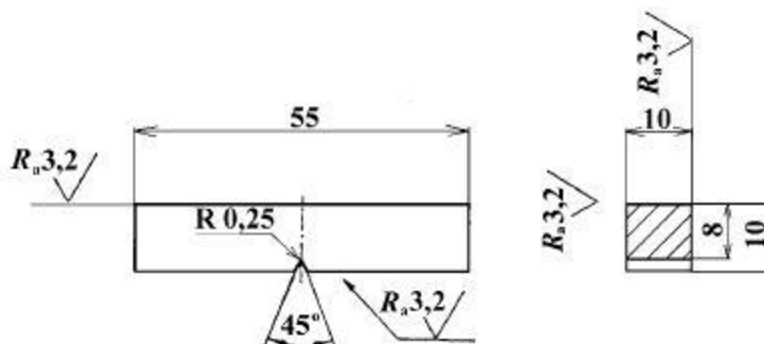
Vrbová houževnatost je závislá nejen na tvaru vrubu, ale také je výrazně ovlivněna teplotou. Zkouška se běžně provádí při teplotě 20°C a často se zjišťuje celý průběh závislosti vrubové houževnatosti na teplotě. [7]

## 4.4 Zkušební vzorky

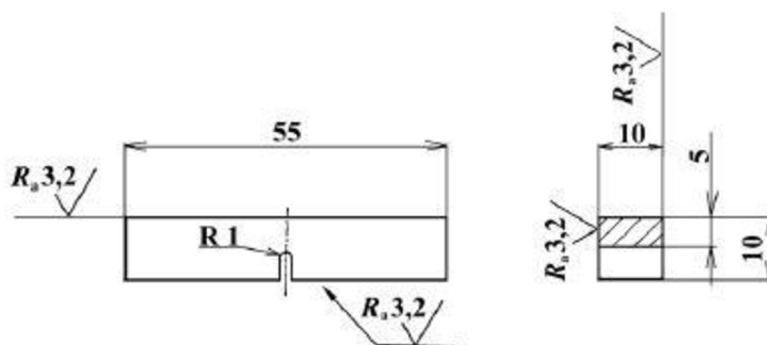
Základní zkušební tyč je dlouhá 55 mm a je čtvercového průřezu s délkou strany 10 mm. Uprostřed její délky je vrub. Jsou předepsány dva typy vrubů, V a U.

Hloubka vrubu ve tvaru V je 2 mm a jeho poloměr zaoblění činí 0,25 mm. Úhel, který svírají ramena má 45°. Pokud není možno ze zkoušeného materiálu zhotovit základní zkušební tyč, může být použita tyč menších rozměrů o šířce 7,5 mm nebo 5 mm a vrub se poté vyskytuje na jedné z užších ploch.

Hloubka vrubu ve tvaru U činí 5 mm a jeho poloměr zaoblění se rovná 1 mm. Oba typy vzorků jsou znázorněny na obr. 11a), 11b). [6]



Obr. 11a) Zkušební tyč s V vrubem [6]



Obr. 11b) Zkušební tyč s U vrubem [6]

Mezi další údaje o zkušebních vzorcích patří například mezní úchytky jednotlivých rozměrů, které jsou zobrazeny v Tab. 3.

## ZKÁZA TITANIKU Z MATERIÁLOVÉHO HLEDISKA

**Tab. 3** Rozměry zkušebních vzorků a jejich mezní úchytky [6]

Označení	Zkušební tyč s U-vrubem		Zkušební tyč s V vrubem	
	Jmenovitý rozměr	Mezní úchytky	Jmenovitý rozměr	Mezní úchytky
Délka	55 mm	± 0,60 mm	55 mm	± 0,60 mm
Výška	10 mm	± 0,11 mm	55 mm	± 0,60 mm
Šířka základní zkušební tyče	10 mm	± 0,11 mm	10 mm	± 0,11 mm
Šířka tyče menších rozměrů	-	-	7,5 mm	± 0,11 mm
Šířka tyče menších rozměrů	-	-	5 mm	± 0,06 mm
Úhel vrubu	-	-	45°	± 2°
Výška tyče v místě vrubu	5 mm	±0,09 mm	8 mm	± 0,06 mm
Poloměr zaoblení dna vrubu	1 mm	± 0,07 mm	0,25 mm	± 0,025 mm
Vzdálenost mezi rovinou Souměrnosti vrubu a konců zkušební tyče.*	27,5 mm	± 0,42 mm	27,5 mm	± 0,42 mm
Úhel mezi rovinou souměrnosti vrubu a podélnou osou zkušební tyče	90°	± 2°	90°	± 2°
Úhel mezi sousedními podélnými plochami zkušební tyče	90°	± 2°	90°	± 2°

\*Pro kyvadlová kladiva s automatickým uložením zkušební tyče se doporučuje použití mezní úchytky ± 0,165 mm místo úchytky ± 0,420 mm.

### 4.5 Zkušební zařízení

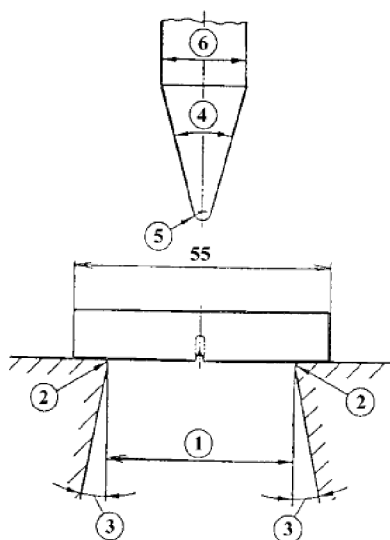
Zkušební zařízení je nutné konstruovat a instalovat tak, aby tvořilo tuhý celek, a bylo v souladu s evropskou normou EN – 10045-2. Nazývá se rázovým kladivem a vyrábí se v různých velikostech, což je z důvodu požadavku na vykonání různé velikosti nárazové práce. Nejčastěji vyráběná kladiva mají maximální hodnotou potenciální energie 150J, 300J a 400 J, popřípadě 50J. [6]

Zkušební zařízení pro zkoušky rázem v ohybu má dané rozměrové charakteristiky, které jsou uvedeny v Tab. 4. V prvním sloupci tabulky je uvedena pozice a na Obr. 12 jsou tyto pozice znázorněny.

**Tab. 4** Rozměrové charakteristiky zkušebního zařízení [6]

Pozice (Obr.11)	Označení	Hodnota
1	Vzdálenost mezi opěrami	$40_0^{0,2}$ mm
2	Poloměr zaoblení hrany opěr	$1_0^{0,5}$ mm
3	Úkos nepracovní plochy každé opěry	$11^\circ \pm 1^\circ$
4	Úhel břitu kladiva	$30^\circ \pm 1^\circ$
5	Poloměr zaoblení břitu kladiva	2 mm
6	Největší šířka kladiva	18 mm
-	Rychlost kladiva v okamžiku rázu*	5,0 m/s do 5,5 m/s
-	Úhel mezi podpěrou a opěrou	$90^\circ \pm 0,1^\circ$

\*Pro kyvadlová kladiva vyrobená před rokem 1983 je přípustná po dohodě rychlost od 4,5 m/s do 7 m/s.



**Obr. 12** Rozměrové charakteristiky zkušebního zařízení [6]

#### 4.6 Zkouška tahem

Ocelový plech z trupu lodi Titanic měl nominální tloušťku 1,875 cm, přičemž deska přepážky byla tlustá 1,25 cm. Korozí, která byla způsobena slanou vodou, se snížila tloušťka trupu desky tak, že nebylo možné z oceli vyrobit standardní vzorky pro tahovou zkoušku. Proto byl použit vzorek menších rozměrů, a to 0,625 x 2,5 cm.

Výsledky této zkoušky jsou ukázány v tabulce 5 a jsou srovnány s tahovou zkouškou oceli 1020, která má podobné složení. Ocel z Titaniku má menší mez kluzu, což je pravděpodobně způsobeno větší velikostí zrna a také větší prodloužení, opět kvůli větší velikosti zrna. [1]

**Tab. 5** Porovnání oceli z Titaniku s ocelí SAE 1020 při zkoušce tahem [1]

	Titanic	SAE 1020
Mez kluzu	193,1 MPa	206.9 MPa
Pevnost v tahu	417,1 MPa	379,2 MPa
Prodloužení	29 %	26 %
Redukce na plochu	57,1 %	50 %

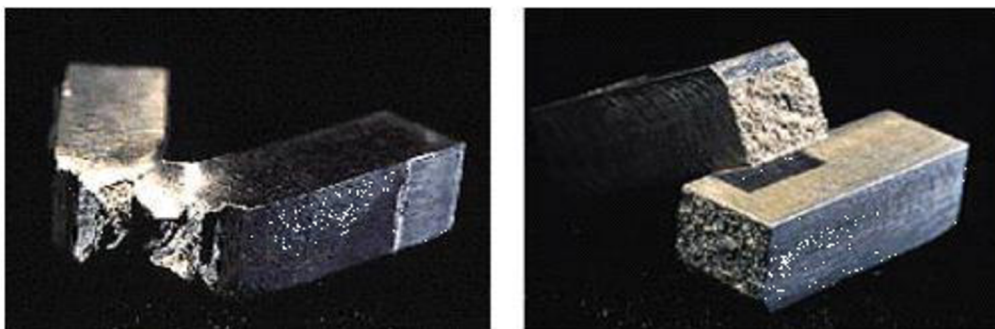
## 4.7 Zkouška rázem v ohybu dle Charpyho na zkušebním vzorku z lodi Titanik

Rázová zkouška byla prováděna v rozsahu teplot od  $-55^{\circ}\text{C}$  do  $179^{\circ}\text{C}$  na třech sériích standardních Charpyho vzorcích:

- Série vzorků obrobených rovnoběžně s podélným směrem trupu desky z Titaniku
- Série vzorků obrobených v příčném směru
- Série vzorků vyrobených z moderní oceli ASTM A36

K určení energie, kterou je nutno vynaložit k přeražení vzorku za určitých vybraných teplot, byl použit univerzální rázový přístroj. K přípravě vzorků pro testování za určitých teplot byla použita chladicí vana nebo cirkulující vzduch v laboratorní sušárně. Tam byly vzorky zavedeny alespoň na 20 minut při požadované teplotě. [1]

Po provedení zkoušky moderní oceli byl vzorek ohnutý do "V", což značí, že ocel je tvárná, zatímco když byl testován vzorec oceli z lodi Titanic, kyvadlo se sotva zpomalilo a pokračovalo ve své dráze jako na houpačce. Vzorek, rozdělený na dvě části, odletěl až na druhý konec místnosti. Fotografie obou vzorků jsou znázorněny na Obr. 13. Tento test nám potvrdil křehkost oceli z trupu Titaniku. Když loď narazila do ledovce, deska trupu parníku se vůbec nedeformovala, ale zlomila se. [2]

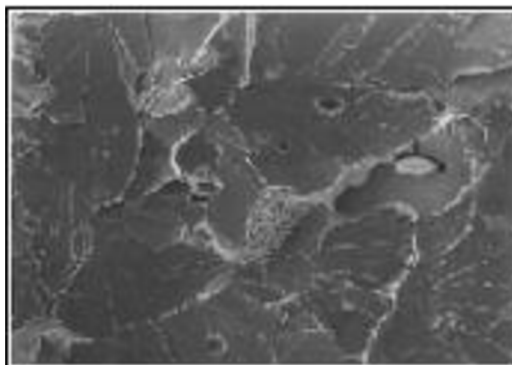


**Obr. 13** Výsledky Charpyho zkoušky pro moderní ocel (vlevo) a ocel z Titaniku [2]

Obrázek 14 představuje mikrofotografii čerstvě zlomeného vzorku, který byl obroben v podélném směru, a testován při teplotě  $0^{\circ}\text{C}$ . Na obrázku jsou také patrné štěpné roviny ve feritu, které se objevují v různých úrovních a jsou definovány přímkami. Tyto přímky jsou kroky spojující paralelní roviny stříhu.

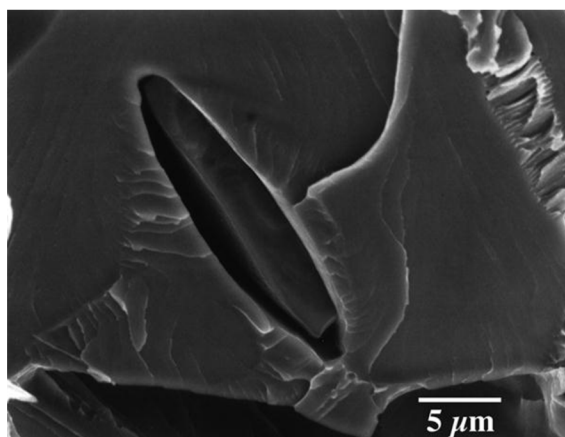
Mohou být pozorovány také částice MnS, některé z nich se ve struktuře vyskytují jako výčnělky z povrchu. Částice MnS, identifikované pomocí EDAX, lze rovněž pozorovat. Některé z těchto částic vyčnívají z povrchu lomové plochy

a zřetelná je rovněž perlitická kolonie ležící v lomové ploše s orientovanými deskami feritu a cementitu. [1]



Obr. 14 Charpy test při 0°C [1]

Obr. 15 zobrazuje rozlomenou MnS částici čočkovitého tvaru, která vyčnívá bočně z lomové plochy. Patrné jsou rovněž skluzové čáry rozbíhající se od částice MNS. [1]

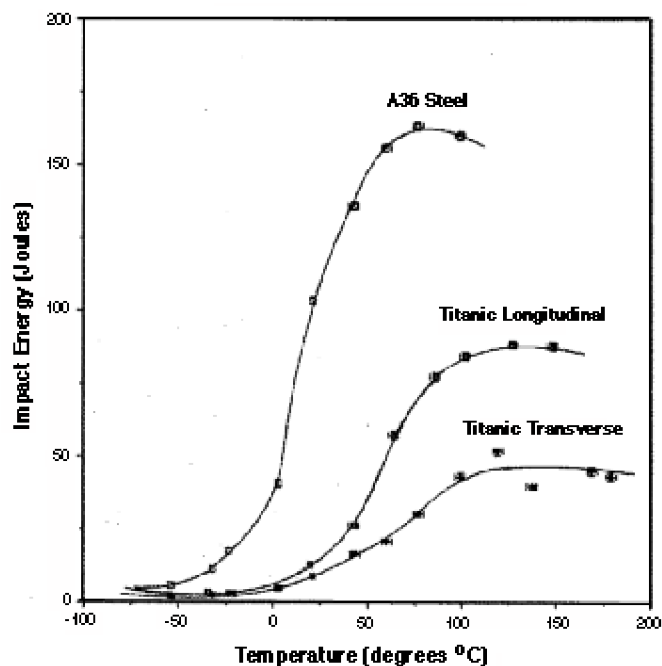


Obr. 15 MnS částice [1]

#### 4.8 Graf nárazové práce v závislosti na teplotě

Graf na obr. 16 ukazuje závislost nárazové práce na teplotě pro tři různé série vzorků. Můžeme vidět, že vzorky z trupu lodi Titanik, které byly odebrány v podélném směru, mají při vyšších teplotách výrazně lepší vlastnosti, než vzorky odebrané z příčného směru. Při velmi nízkých teplotách je energie potřebná k přeražení vzorku odebraného v příčném i v podélném směru téměř stejná. Vzorky vyrobené z ASTM A36 oceli mají prokazatelně vyšší houževnatost. Pro nárazovou práci 20 J byla stanovena teplota -27°C, kdežto pro vzorky z Titaniku v podélném směru vychází teplota na 32°C a pro vzorek z příčného směru dokonce 56°C. Z toho plyne, že ocel, použitá při konstrukci Titaniku, je silně anizotropní a není vhodná pro práci při nízkých teplotách. Teplota oceánu v době katastrofy činila -2°C.

Ze srovnání oceli z Titaniku a ASTM A36 oceli je zřejmé, že moderní ocel ASTM A36 má větší podíl manganu a menší podíl síry. Vyšší poměr MnS výrazně snížil přechodovou teplotu  $t_{27J}$ . [1]

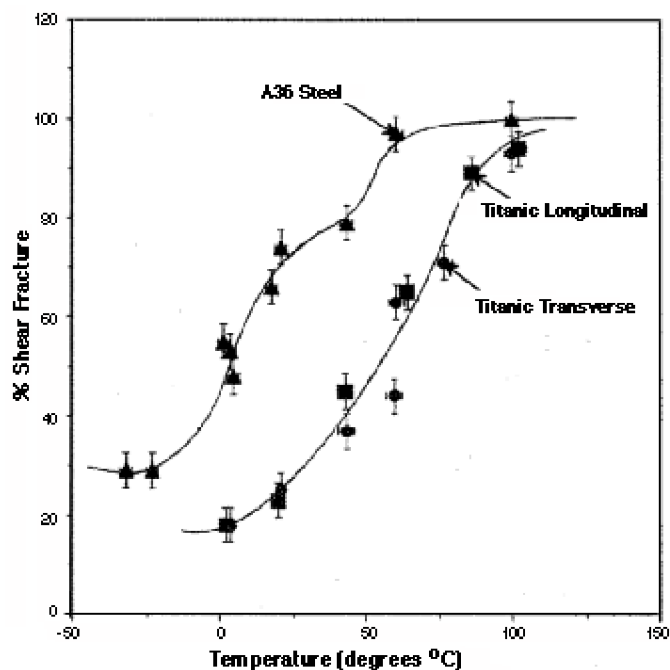


Obr. 16 Graf nárazové práce v závislosti na teplotě [1]

#### 4.9 Graf procenta tvárného lomu v závislosti na teplotě

Při nízkých teplotách, kde je energie potřebná k lomu menší, zaznamenáváme tvářený povrch štěpných rovin feritu, což naznačuje křehkému lomu. Naproti tomu je při zvýšených teplotách potřebná větší energie k lomu a poté na povrchu sledujeme tažnou zlomeninu. Obr. 17 je graf závislosti procenta tvárného lomu v závislosti na teplotě. Při srovnání obr. 16 a obr. 17 mezi nimi můžeme najít poměrně velkou podobnost, protože představují různé měření stejného jevu. Použitím 50% tvárného lomu jako referenčního bodu, získáme pro ocel ASTM A36 hodnotu  $-3^{\circ}\text{C}$ , zatímco pro ocel z Titaniku bude tato hodnota  $49^{\circ}\text{C}$  pro vzorek odebraný podélně a  $59^{\circ}\text{C}$  pro vzorek odebraný příčně. Hodnota energie potřebná k rázu je pro vzorky z Titaniku v podélném směru podstatně větší, než pro vzorky v příčném směru, jak ukazuje obr. 16. U procenta tvárného lomu je rozdíl mezi vzorkem z podélného směru a vzorkem z příčného směru mnohem menší. Z toho plyne, že tzv. pruhování má větší význam pro nárazovou práci ve srovnání s procentem tvárného lomu. [1]





Obr. 17 Graf procenta tvárného lomu v závislosti na teplotě [1]

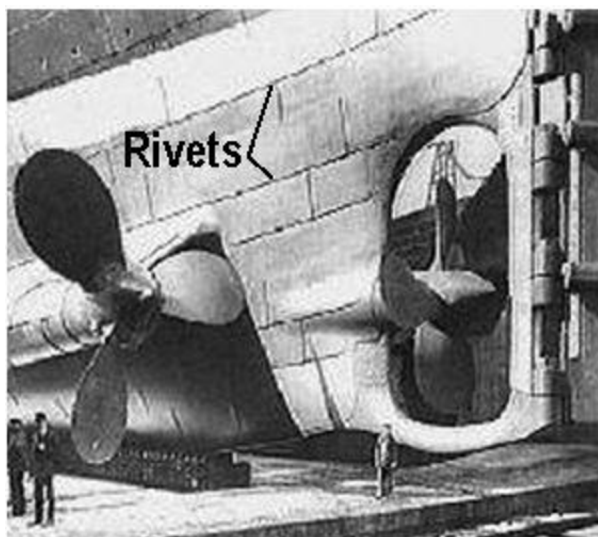
## 5 CHYBY V KONSTRUKCI

### 5.1 Nýty

Kvůli křehkému lomu, který byl způsoben vysokým zatížením při nárazu do ledovce, a nízké teplotě v době kolize selhaly také kované železné nýty, které byly použity pro spojování plechů trupu lodi Titanic. Loď v době katastrofy plula rychlostí kolem 40 km/hod a pravděpodobně to byl jeden z dalších faktorů, který způsobil selhání nýtů ve smyku nebo také v tahu. Při tření ledovce o trup Titaniku byly nýty stříhány, což mělo za následek destrukci nýtovaných spojů. Hlavy nýtů v oblasti styku odskakovaly pryč, z čehož vznikaly další defekty. Za normálních okolností by se nýty deformovaly jinak, ale kvůli teplotě vody, která byla pod bodem mrazu, se staly velmi křehkými.

Obr. 18 ukazuje Titanic během její výstavby, kde jde vidět záď lodi s trupem z nýtovaných plechů. Je vidět, že na všech stranách hlavní konstrukce lodi je umístěno tisíce nýtů.

Když ledovec roztrhl trup lodi, byly vytvořeny obrovské díry, kterými voda začala zaplavovat loď. Výsledkem bylo, že i nýty, které nebyly přímo v kontaktu s ledovcem, byly vystaveny obrovským vnějším silám. Voda, valící se přes okraje trhlin, působila na nýty podél švů jako obří páka. Nýty se vlivem tlaku buď plasticky deformovaly (protáhly), nebo praskly, což vodě uvolnilo další cestu. [2]

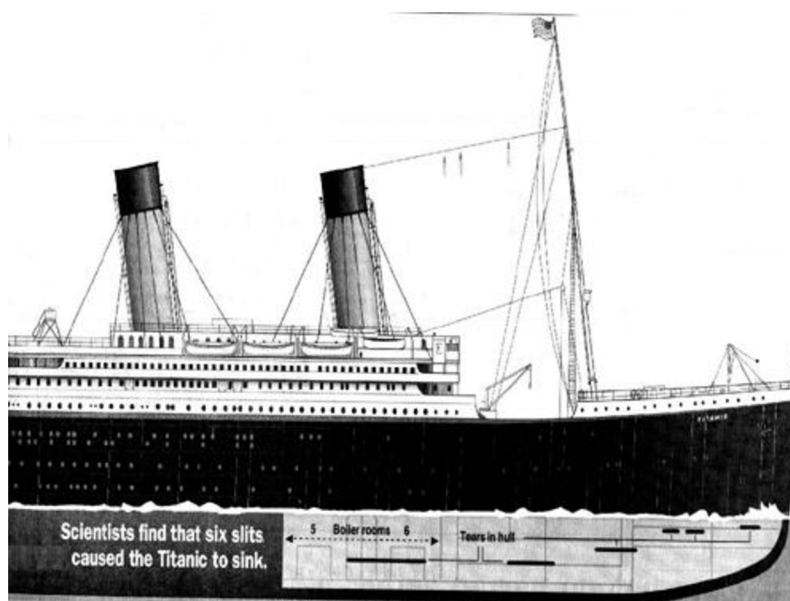


**Obr. 18** *Titanik v loděnici během její výstavby [2]*

### **5.2 Vodotěsné komory**

Dalším důležitým činitelem celé tragédie byla rovněž špatná konstrukce vodotěsných komor v dolní části Titaniku. Spodní část lodi byla rozdělena na 16 vodotěsných komor, každá z nich mohla být snadno uzavřena, pokud by byla část lodi proražena a začala se nabírat voda. Při tragédii ovšem bylo proraženo hned 6 těchto komor, což je vidět na obr. 19. Okamžitě po zjištění škody bylo zajištěno uzavření těchto komor, ovšem pod tíhou nabrané vody se loď začala naklánět dopředu a voda se v některých oddílech začala přelévat přes přepážky. I když byly komory nazývány vodotěsné, a tím byl Titanik považován za nepotopitelný, ve skutečnosti byly vodotěsné pouze horizontálně. Vrchní část stěny měly otevřenou a jejich výška sahala jen pár metrů nad čarou ponoru. Pokud by příčné přepážky, které byly umístěny po celé šířce lodi, byly jen o několik metrů vyšší, voda by byla lépe rozložena v poškozených částech oddělení. Tím pádem by se celý proces potopení zpomalil a bylo by více času na eventuální pomoc Titaniku od okolních lodí. Nicméně vzhledem k rozsáhlé záplavě přídě parníku a následnému zaplavení celé lodi byl Titanik postupně stáhnut pod čaru ponoru.

Vodotěsné prostory byly, v případě tak velké škody způsobené srážkou s ledovcem, spíše ke škodě než k užitku. Někteří z vědců, kteří studují celou katastrofu, dokonce tvrdí, že vodotěsné komory přispěly tragédii tím, že drží povodeň na přídě lodi. Pokud by zde nebyly žádné přepážky, Titanik by zůstal ve vodorovné poloze a loď by se postupně potopila až za dalších šest hodin před ztroskotáním. To by byla doba dostatečná k tomu, aby okolní lodě stihly dosáhnout místa, kde se Titanik nacházel a všichni cestující, včetně posádky, mohli být zachráněni. [2]



**Obr. 19** Uspořádání vodotěsných komor a poškozená část, tlusté černé linky pod čarou ponoru znázorňují přibližné umístění škody na trupu. [2]

## 6 DŮSLEDKY KATASTROFY

Ve snaze zabránit opakovaným chybám při konstrukci Titaniku se společnost White Star Line po katastrofě rozhodla upravit několik svých stávajících lodí. Změny byly provedeny především na základě konstrukčních nedostatků, u kterých se předpokládalo, že také přispěly k celé tragédii. Spolu s těmito konstrukčními změnami společnosti White Star Line a dalšími loďařskými institucemi byly v té době se souhlasem britské i americké vlády zavedeny nové bezpečnostní předpisy. Vývojem bezpečnostních předpisů pro lodě na moři se chtělo předejít nehodám podobným Titaniku. [2]

### 6.1 Design lodí

Následkem celé tragédie se společnost White Star Line rozhodla upravit konstrukci sester Titaniku dvěma způsoby: přepážky vodotěsných komor byly zvýšeny a dvojité dno na lodích bylo prodlouženo až po strany trupu. Dvojitě dno u parníků bylo konstruováno tak, že jsou od sebe odděleny pěti metry dvě vrstvy oceli, které pokrývají celou délku lodí. Když připlouvá loď na mělčinu nebo do něčeho narazí ve vodě, může se prorazit pouze spodní kryt trupu bez poškození horní desky. S dvojitým dnem je minimalizována šance proražení vodotěsných komor a následného zaplavení těchto komor vodou. Prodloužením dvojitého dna až po strany trupu můžeme předejít i proražení vodotěsných komor srážkou s ledovcem, jako tomu bylo u Titaniku. Zvýšením přepážek vodotěsných komor předejdeme přelévání vody do dalších komor a jejich konstrukcí přes celou šířku lodí docílíme toho, že voda bude vyplňovat trup přes celou šířku parníku a tím zamezíme jeho naklánění. [2]

## 6.2 Bezpečnostní předpisy

Spolu se změnami v designu lodí byly také stanoveny bezpečnostní předpisy pro osobní parníky plující po moři. Většina z těchto předpisů byla stanovena roku 1948 na konferenci s názvem Bezpečnost lidského života na moři. Mezi základní stanovené bezpečnostní předpisy patřilo používání bezdrátového vysílání (wireless), zvýšení kapacity záchranných člunů a realizace ledové hlídky. Wireless je prostředek komunikace pro lodě na moři, na konferenci se stanovilo, že lodě větší než 1600 tun musí být vybaveny tímto bezdrátovým zařízením. Je prospěšné především proto, že parníky jsou tímto způsobem schopny přijímat zprávy o počasí, kontrolovat svou pozici a v mimořádných událostech volat o pomoc. V osudovou noc, kdy se celá tragédie udála, byla posádka Titaniku několikrát varována okolními loděmi ohledně pozice Titaniku v ledovcovém území. Tato varování ovšem nebyla brána dostatečně vážně, a proto následovala srážka parníku s ledovcem.

Ačkoli bylo na palubě místo na dvojnásobný počet záchranných člunů, Titanik vyplul se záchranným člunem s kapacitou o něco málo vyšší, než byla polovina cestujících včetně posádky. Designér navrhl, aby na palubě byly dvě řady záchranných člunů, ovšem jedna řada byla ještě před začátkem plavby z estetických důvodů odstraněna. Nové bezpečnostní předpisy zvýšily požadovaný počet záchranných člunů na číslo, které by zaručilo záchranu všech cestujících včetně posádky.

Vláda Spojených Států začala hlídat polohy ledovců mezi Anglií a Spojenými Státy, tudíž začaly být všechny posádky informovány o vzdálenostech ledovců od daných lodí. [2]



**Obr. 20** Paluba Titaniku – na levé straně jsou vidět záchranné čluny, lidé se procházejí místy, které bylo navrženo pro další záchranné čluny. [2]

### 7 ZÁVĚR

Nelegovaná ocel, použitá pro konstrukci lodi Titanik, byla pravděpodobně nejlepší dostupnou variantou v období stavby lodi (1909 až 1911). Dnes, po letech rozsáhlého výzkumu materiálů a metod jejich zkoušení, které v té době ještě nebyly dostupné, ale již víme, že tato ocel není vhodná pro namáhané svařované konstrukce a zejména ne pro stavbu lodí. Otázka, jak by to vypadalo, kdyby byl parník vyroben z moderní oceli ASTM A36, je nasnadě. Ale jednoduchá odpověď, že by býval neutrpěl tolik škod, se zdá být poněkud problematická.

Jednou z příčin celé tragédie byl zajisté špatně zvolený materiál trupu lodi, ovšem vyskytlo se zde několik dalších chyb:

- Nesprávně zvolené spojování plechů – nekvalitní nýty
- Špatná konstrukce příčné přepážky vodotěsných komor – přelévání vody
- Varovné zprávy ohledně ledovců byly brány na lehkou váhu
- Malá kapacita záchranných člunů

V současnosti existují navigační systémy, které spatří ledovec na mnohem větší vzdálenosti, což umožňuje více času na úhybné manévry. Pokud by se Titanik nesrazil s ledovcem, mohl mít stejnou, ne-li delší, kariéru jako Olympik, což byla loď postavená z obdobné oceli, stejného typu a ve stejné loděnici. Sloužila více než 20 let. Jediným rozdílem těchto dvou parníků byl obrovský ledovec, který stál Titaniku v cestě.

### SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] FELKINS, Katherine; LEIGHLY, H.P., Jr.; JANKOVIC, A. The Royal Mail Ship Titanic: Did a Metallurgical Failure Cause a Night to Remember?. JOM 50(1). [online]. 1998 [cit. 2012-12-08]. p.12-18. Dostupné z: <<http://www.tms.org/pubs/journals/JOM/9801/Felkins-9801.html#ToC9>>.
- [2] BASSET, Vicki. Causes and Effects of the Rapid Sinking of the Titanic. Undergraduate engineering review. 11-1998 [cit. 2011-12-12]. Dostupné z: <<http://www.writing.eng.vt.edu/uer/bassett.html#authorinfo>>.
- [3] Jareš, V.: Základní zkoušky kovů a jejich teorie, Praha 1966
- [4] Veles, P.: Mechanické vlastnosti a zkoušení kovov. ALFA Bratislava 1995
- [5] Dorazil, E. a kol.: Nauka o materiálu I, Brno 1989
- [6] ČSN EN 10045-1 Kovové materiály – Zkouška rázem podle Charpyho – Část 1: Zkušební metoda (U a V vruby), (červen 1998)
- [7] SPŠ Zlín - Strojírenská technologie, Pracovní sešit pro 1.ročník
- [8] US Army Corps of Engineers [online]. The United States, 2007 [cit. 2012-04-10]. Dostupné z: <<http://www.nws.usace.army.mil/PublicMenu/Menu.cfm?sitename=lwsc&page=mainpage>>.
- [9] MARÁŠEK, Zdeněk. *TITANIC world* [online]. c1999-2011 [cit. 2012-04-11]. Dostupné z: <<http://www.titanicworld.cz/plavba/sobota.html>>.
- [10] MIKEL, Lukáš. Strojírenství engineering [online]. c2005-2007 [cit. 2012-04-12]. Dostupné z: <[http://www.strojirenstvi.wz.cz/stt/rocnik1/06a\\_pruznost\\_pevnost.php](http://www.strojirenstvi.wz.cz/stt/rocnik1/06a_pruznost_pevnost.php)>.