

## Posouzení stanovení pevnosti šedé litiny ze zkoušky mezi klíny

*Anotace: Možnosti aktivního přístupu zkušebnictví pro zlepšování spokojenosti zákazníka nabízením nových produktů zkoušením v podobě nových zkušebních metod, ale i rámcově efektivnějším využíváním metod stávajících*

*Autor: Chudobová Anežka*

*SKS Krnov, a. s.*

### Úvod

Zkušebnictví a řízení jakosti. Vazby mezi těmito oblastmi nejsou vždy jednoznačně a správně interpretovány. Jakost je definována jako „stupeň plnění požadavků souborem inherentních vztahů“, jde tedy o schopnost produktu plnit požadavky zákazníka a legislativy, které však musí být dány už před jejich výrobou. Zkušebnictví je soubor činností uskutečňovaných laboratořemi a zkušebnami, jejichž cílem je stanovení jednoho nebo více znaků podle určitého postupu.

Volba zkušební metody hraje jednu z důležitých rolí při zajišťování bezpečného provozu výrobku, ale může také značnou mírou přispět k výrobním úsporám.

Zrychlení, zjednodušení a ekonomické zefektivnění zkušební činnosti při současném zachování požadované úrovně presentovaných výsledků zkoušení patří mezi trvalé snahy managementu zkušebních laboratoří. Vhodná zkušební metoda musí mít na zřeteli řadu faktorů, které mají vliv na výsledky zkoušek a na jejich aplikaci při praktickém využití.

S rostoucí konkurencí rostou nároky na kvalitu výroby, a tím na samotnou výrobu. Je známo, že moderní přístup k zajištění jakosti výroby spočívá v prevenci, předcházení vadám a v řízení jakosti. A pro jeho objektivní hodnocení s cílem stanovit rozsah, v němž jsou splněna kritéria požadavků zákazníka, je třeba shromáždit a specifikovat dokládající údaje.

Význam vztahu zkušebnictví a řízení jakosti nabývá stále na důležitosti. Udržení konkurenceschopnosti posílí jedině každodenní aplikace neustálého procesu zlepšování procesu řízení jakosti výroby, která úzce souvisí s procesem zlepšování ve zkušebnictví. Na základě těchto principů bych chtěla poukázat na možnost aktivního přístupu zkušebnictví, vycházející z široké praxe a zkušeností svých pracovníků, v rámci zlepšování spokojenosti zákazníka, kterým je v převážné míře právě management jakosti firmy, nabídkou produktů zkoušením v podobě nejen nových zkušebních metod, ale i v rámcově efektivnějším využívání metod stávajících.

Následující příspěvek se věnuje posouzení zkoušení šedé litiny metodou stanovení pevnosti mezi klíny pro určení jakosti materiálu [3] a využití této zkoušky pro kontrolu výrobního procesu.

Hodnocení litiny s lupínkovým grafitem musí vycházet ze specifických vlastností tohoto materiálu a vhodnosti použití pro daný účel.

Litina s lupínkovým grafitem, dříve nazývaná jako šedá litina, představuje nejrozšířenější typ litiny. Šedá litina je vícesložkový materiál, obsahuje grafit ve tvaru prostorových lupínek. Vlastnosti LLG závisí na objemu vyloučeného grafitu, rozměrech a rozložení lupínek a na vlastnostech matrice. Záleží však především na rychlosti tuhnutí odlitku, která je dána tloušťkou stěny a rychlostí odvodu tepla formou, a na dodržení technologické kázně v celém procesu od přípravy taveniny po vyjmutí odlitku z formy.

Nejtvrdší je povrch odlitku -licí kůra, vzdálená místa od formy jsou nejměkčí a nejméně pevná.

U křehkého a vcelku nehomogenního materiálu, jakým je nelegovaná šedá litina, nastává porušení již na mezi kluzu, takže pevnost v tahu postihuje vlastně lomový stav při jednoosé deformaci.

## 2. Teoretický princip metod

Mechanické vlastnosti materiálů vyjadřují schopnost materiálu odolávat mechanickému namáhání. Základní mechanické vlastnosti vyjadřují obecné požadavky na kvalitu materiálu, jsou měřeny klasicky definovanými charakteristikami kvantitativní i kvalitativní stránky dané vlastnosti, které se určují na konvenčně definovaných vzorcích jednotných velikostí a tvarů[1].

Materiálovou jakost odlitku obvykle deklaruji mechanické hodnoty naměřené na zkušební tyči, tyto hodnoty jsou součástí technické dokumentace dodávané k odlitku.

Pro posouzení byly vybrány zkoušky pevnost v tahu a pevnost mezi klíny, jelikož existuje velmi blízký vztah mezi tlakovou pevností mezi klíny a pevností v tahu [4].

## 2.1 Pevnost v tahu za okolní teploty

Zkouška spočívá v deformaci zkušební tyče jednoosým tahovým zatížením obvykle do přetržení pro stanovení jedné nebo více napěťových a deformačních charakteristik, zavedených v normě

EN 10002 – 1. Zkouška se provádí za okolní teploty, rychlost zatěžování se pohybuje od 0,5 do 2,0 mm.min<sup>-1</sup>. [3]

**Pevnost v tahu  $R_m$  (MPa)** – je napětí odpovídající největšímu zatížení ( $F_m$ ), při němž se materiál rozdělí na dvě části, nebo dojde k plastickému kolapsu (u materiálů nevykazujících výraznou mez kluzu je  $F_m$  největší hodnota v průběhu zkoušky)

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \quad (\text{MPa})$$

kde  $F_{\max}$  = nejvyšší zatížení (N)

$S_0$  = počáteční průřez zkušební tělesa (mm<sup>2</sup>)

Při zkoušce tahem se určují další základní veličiny:

- **tažnost A (%)** – je trvalé prodloužení měřené délky po přetržení ( $L_u - L_0$ )
- **kontrakce Z (%)** – největší poměrné trvalé zúžení průřezu zkušební tyče, odměřené v místě lomu
- **modul pružnosti v tahu E** – vztah mezi napětím a elastickou deformací
- **mez pružnosti RE** – napětí, které odpovídá bodu E
- **smluvní mez kluzu  $R_p$  (MPa)** – je určena z trvalé deformace pod zatížením

## 2.2 Pevnost mezi klíny

Při této zkoušce jsou zkušební tělesa ve tvaru válcové tyče nebo plochého kotouče zatěžována vnikajícími protilehlými klíny až do lomu. Pevnost mezi klíny  $R_k$  se stanoví podle vztahu :

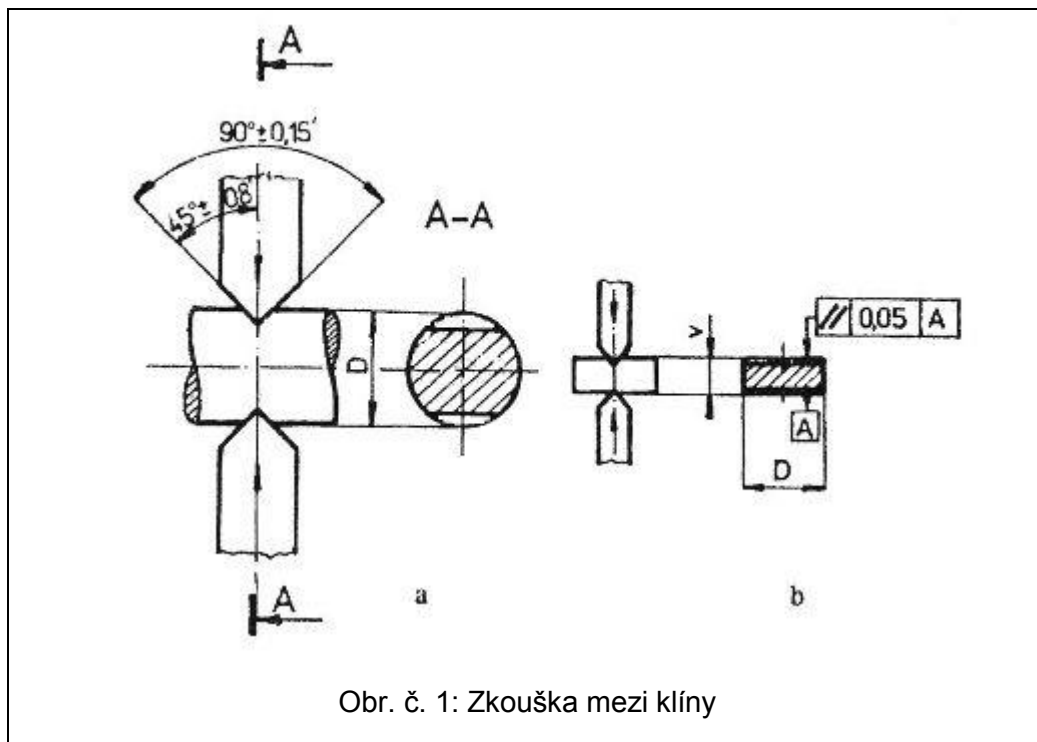
$$R_k = \frac{F_m}{S_0} \quad (\text{MPa}) \quad (4)$$

kde  $F_{\max}$  = nejvyšší zatížení (N),

$S_0$  = počáteční průřez zkušební tělesa (mm<sup>2</sup>)

Použití zkoušky mezi klíny je omezeno na materiály s nízkou tažností, u nelegovaných litin na značky s tvrdostí minimálně 160 HB. Zkouší se při teplotě  $20 \pm 10$  °C.

Na obr. č. 1 je schématicky znázorněn princip zkoušky mezi klíny.



Obr. č. 1: Zkouška mezi klíny

J  
a  
k  
  
j  
e  
  
p  
a  
t  
r  
n  
o  
  
z  
  
o  
b  
r  
.  
  
2  
.  
.  
  
z  
a  
t  
ě  
ž  
u

J  
í  
c  
í  
  
s  
í  
l  
a  
  
F  
  
s  
e  
  
r  
o  
z  
k  
l  
á  
d  
á  
  
n  
a  
  
d  
v  
ě  
  
s  
l  
o  
ž  
k  
y  
  
—  
  
s  
l  
o  
ž  
k  
u  
  
k  
t  
e  
r  
á  
,  
  
z  
p  
ů

s  
o  
b  
u  
j  
e  
  
t  
a  
h  
o  
v  
é  
  
p  
o  
r  
u  
š  
e  
n  
í  
  
t  
y  
č  
e  
  
(  
F  
r  
)  
,  
  
a  
  
s  
l  
o  
ž  
k  
u  
  
(  
F  
r  
)  
.  
  
J  
e  
s  
t  
l  
i  
ž  
e

s  
e

z  
k  
o  
u  
š  
e  
n  
ý

r  
a  
t  
e  
r  
i  
á  
l

p  
l  
a  
s  
t  
i  
c  
k  
ý

n  
e  
d  
e  
f  
o  
r  
m  
u  
j  
e  
,

p  
l  
a  
t  
í

r  
e  
z  
i

z

a  
t  
ě  
ž  
u  
j  
í  
c  
í  
  
s  
i  
l  
o  
u  
  
F  
  
a  
  
s  
i  
l  
o  
u  
  
F  
t  
  
v  
  
z  
á  
v  
i  
s  
l  
o  
s  
t  
i  
  
n  
a  
  
ú  
h  
l  
u  
  
h  
r  
a  
n  
y  
  
k

l  
í  
n  
u  
  
p  
ř  
e  
s  
n  
é  
  
n  
a  
t  
e  
r  
a  
t  
i  
c  
k  
é  
  
v  
z  
t  
a  
h  
y  
.  
  
V  
  
p  
ř  
í  
p  
a  
d  
ě  
,  
  
ž  
e  
  
b  
y  
  
s  
e  
  
s  
k  
u  
t  
e

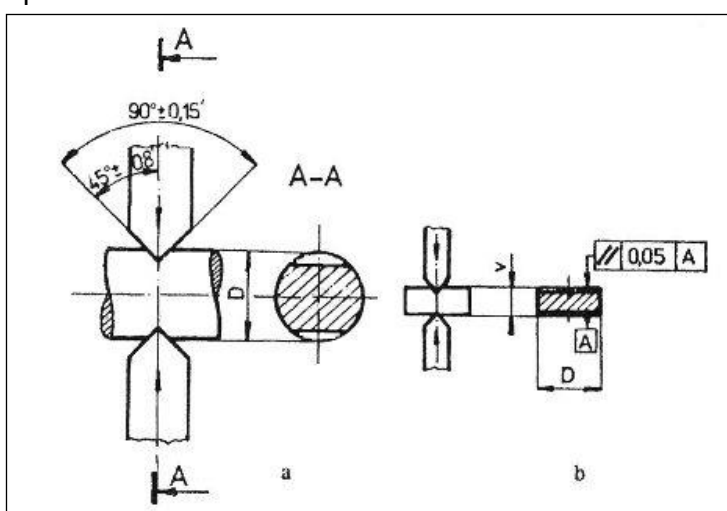


č  
n  
ý  
  
r  
a  
t  
e  
r  
i  
á  
l  
  
d  
e  
f  
o  
r  
m  
o  
v  
a  
l  
,  
  
u  
r  
č  
i  
t  
á  
  
s  
l  
o  
ž  
k  
a  
  
z  
a  
t  
ě  
ž  
u  
j  
í  
c  
í  
  
s  
í  
l  
y  
  
b  
y

s  
e  
  
s  
p  
o  
t  
ř  
e  
b  
o  
v  
a  
l  
a  
  
v  
  
n  
a  
t  
e  
r  
i  
á  
l  
u  
  
n  
a  
  
j  
e  
h  
o  
  
d  
e  
f  
o  
r  
n  
a  
c  
i  
.  
  
P  
r  
o  
t  
o  
  
j  
e

n  
o  
ž  
n  
o  
  
z  
k  
o  
u  
š  
k  
u  
  
n  
e  
z  
i  
  
k  
l  
í  
n  
y  
  
p  
o  
u  
ž  
í  
t  
  
j  
e  
n  
  
p  
r  
o  
  
k  
ř  
e  
h  
k  
é  
  
n  
a  
t  
e  
r  
i  
á  
l  
y

s  
n  
í  
z  
k  
o  
u  
t  
a  
ž  
n  
o  
s  
t  
í



C  
b  
r  
.  
1  
.  
S  
c  
h

e  
r  
a  
t  
i  
c  
k  
é

z  
n  
á  
z  
o  
r  
n  
ě  
n  
í

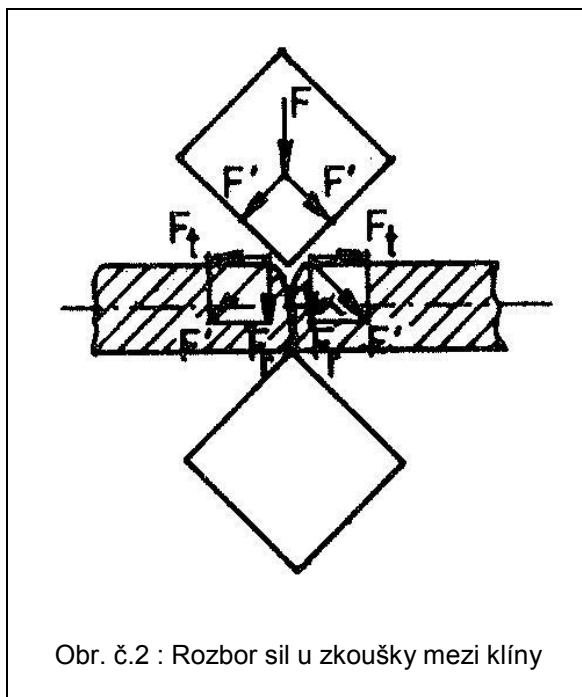
z  
k  
o  
u  
š  
k  
y

n  
e  
z  
i

k  
l  
í  
n  
y

Jak je patrné z obr. 2., zatěžující síla  $F$  se rozkládá na dvě složky – složku která, způsobuje tahové porušení tyče ( $F_t$ ), a složku ( $F_r$ ). Jestliže se zkoušený materiál plasticky nedeformuje, platí mezi zatěžující silou  $F$  a silou  $F_t$  v závislosti na úhlu hrany klínu přesné matematické vztahy. V případě, že by se skutečný materiál deformoval, určitá složka zatěžující síly by se spotřebovala v materiálu na jeho deformaci. Proto je možno zkoušku mezi klíny použít jen pro křehké materiály s nízkou tažností.

Na obr. č. 2 znázorněn rozbor sil u zkoušky mezi klíny



Legenda k obrázku:

$F$  – zatěžující síla (kN)  
 $F_t$  – tahová složka síly (kN)  
 $F_r$  – tlaková složka síly (kN)

platí

$F' = F \cos \alpha$  (kN)  
 $F_t = F' \sin \alpha$  (kN)  
 $F_r = F' \cos \alpha$  (kN)

### 3. Experimentální část

Postup pokusných prací a stanovení koeficientů pro zkoušení pevnosti mezi klíny v této části příspěvku je popsán pouze schématicky. Byla posuzována kvalita jednotlivých souborů zkoušek z hlediska posouzení možných chyb měření a stanovení vlivů na průběh zkoušení.

Rovněž byla diskutována možnost využití zkoušky pevnosti mezi klíny pro rychlé provozní posouzení jakosti materiálu (zkoušky tekutého kovu) a další možnosti využití zkoušky.

Cílem této práce není tedy shromáždit výsledky jednotlivých měření, ale na základě analýzy souborů předložit ucelený obraz výhod a nevýhod různých přístupů ke zkoušení materiálu.

Snahou bylo experimentálně zjistit mechanické vlastnosti na statisticky dostatečném počtu vzorků, a určit, zda je možno podchytit závislosti mezi jednotlivými zkouškami a porovnávat je navzájem.

Zkoušky byly prováděny v laboratořích a zkušebnách LaZ SKS Krnov, a. s., jež jsou členem SČZL. Jedna zkušební položka pro účel provedení zkoušky sestává ze 6 ks litých zkušebních tyčí, odlitých současně z materiálu běžné výroby LLG z jedné homogenní tavby. Materiál byl odléván z kupolových tavících pecí do forem z bentonitových směsí. U všech zkušebních vzorků byly současně sledovány základní metalurgické vlastnosti. V sestavených souborech bylo vybráno pro hodnocení několik základních kritérií a zároveň se sledovaly pomocné parametry, které by mohly mít vliv na zkoušení.

#### 3.1 Stanovení zdrojů nejistot

Nejprve se posoudily pro obě sledované zkoušky možné zdroje nejistot, které mohou mít vliv na srovnávací vyhodnocení: zkušební zařízení, zkušební postup, prostředí zkoušek a zkušební těleso.

Následně se zkoušky sestavovaly do souborů dle zadaných ukazatelů, kterými byly statisticky hodnoceny sledované parametry zkoušek.

##### 3.1.1 Zkušební zařízení

Zkušební trhací stroj ZD 40 je zkušebním zařízením, sloužícím pro zkoušení materiálů v tahu, v tlaku a v ohybu. Pro zkoušku mezi klíny je používán speciální přípravek, který je třeba před zkouškou připevnit k příčnicku zkušebního trhacího stroje.

Samotné zařízení se skládá z elektronické řídicí jednotky EDC 60, proporcionálního ventilu pro řízení tlaku, snímačů síly a dráhy, hydraulického agregátu BOSH, přidavného za-

řízení pro zkoušku mezi klíny, modulu, PC se softwarem M-Test 1.7. Maximální zatížení zařízení je 400 kN.

Přesnost měřicího rozsahu třídy 1 (dle DIN 51 221). Celou zkoušku lze řídit přes PC.

Zkušební stroj je pravidelně ověřován akreditovaným pracovištěm dle platné legislativy, které ověřuje správnost měřicí síly, deformace a opotřebení upínacích systémů, u přípravku pro zkoušku mezi klíny musí být kontrolováno správné umístění klínů, úhel vnikající hrany, zaoblení a tvrdost břitů.

Všechny zkoušky jsou prováděny na stejném zařízení, takže srovnání obou zkoušek nemůže ovlivňovat ani různá sousost či tuhost systému.

### 3.1.2 Zkušební prostředí

Zkoušky byly prováděny v mechanické zkušebně s řízeným vstupem. Odborná způsobilost pracovníků zkušeben vykazuje technickou úroveň znalostí a zkušeností v praxi. Okolní teplota při zkouškách byla mezi 16 °C–25°C, vlhkost vzduchu 40–60 %. Zkušební rychlost zařízení během zkoušení nesmí překročit 0,008 s<sup>-1</sup>.

### 3.1.3 Zkušební postupy

Zkušební postupy pro jednotlivé zkušební metody vycházejí z platných evropských norem:

ČSN EN 1002-1 Pevnost v tahu za okolní teploty a ČSN 42 0341 Zkouška mezi klíny, jsou zachovány standardní podmínky měření.

Pro mezioperační zkoušení tekutého kovu je však nutno dopracovat podrobné metodické pokyny pro odběr a přípravu zkušebních tyčí, aby se zabránilo ovlivnění zkoušení nesprávnou manipulací. Předpis musí upravovat nejen způsob ochlazování, ale i stanovit limitní teplotu pro zkoušku, která se musí pečlivě sledovat a zaznamenávat.

### 3.1.4 Zkušební těleso

Jako zkušební tělesa pro obě hodnocené zkoušky se používají lité zkušební tyče  $\varnothing$  30 mm, délka obvykle 300 nebo 600 mm.

Pro stanovení pevnosti v tahu za okolní teploty jsou použity poměrné zkušební tyče, připravené dle ČSN EN 1002-1.

Zkouška mezi klíny se prováděla na neobrobených otryskaných tyčích se standardní kvalitou povrchu. Povrch neobrobených tyčí se hodnotil z hlediska znehodnocení připečeninami a zadrobeninami od formovacího materiálu. Šechny poškozené tyče byly vyřazeny z hodnoceného souboru.

### Posouzení vlivu povrchu neopracovaných tyčí na spolehlivost zkoušek:

Byl zpracován soubor zkušebních položek, každá položka sestávala ze 2 neopracovaných zkušebních tyčí. Před zkouškou byl změřen zkoušený průměr s přesností na 0,1 mm.

Z naměřených hodnot vypočteny průměrné hodnoty  $R_m$  a  $R_k$ , hodnota  $\Delta R_m$ ,  $\Delta R_k$ , relativní odchylka, průměrná relativní odchylka a maximální odchylka. Pro statistické hodnocení souboru byly zvoleny parametry spolehlivost zkoušek, relativní odchylka, tj. rozdíl dvou po sobě jdoucích zkoušek vztážený na průměrnou hodnotu.

Z vyhodnocení je patrné, že rozdíl souběžných měření u pevností v tahu  $\Delta R_m$  dosahuje průměrné hodnoty 19,1 MPa – průměrná relativní odchylka 6,7 %, rozdíly měření u pevností mezi klíny  $\Delta R_k$  mají průměrnou hodnotu 4,6 MPa – průměrná relativní odchylka 2,7 %.

## 3.2 Korelace pevnosti v tahu a pevnosti mezi klíny

Pro stanovení korelačních koeficientů k přepočtu pevnosti mezi klíny na pevnost v tahu v podmínkách SKS Krnov byla provedena zkouška u souboru zkušebních položek, pro každé zkoušení byla provedena měření dle příslušných metodických postupů (ČSN EN 10002 – 1 a ČSN 42 0341). Zkouška mezi klíny byla provedena na neopracovaných tyčích.

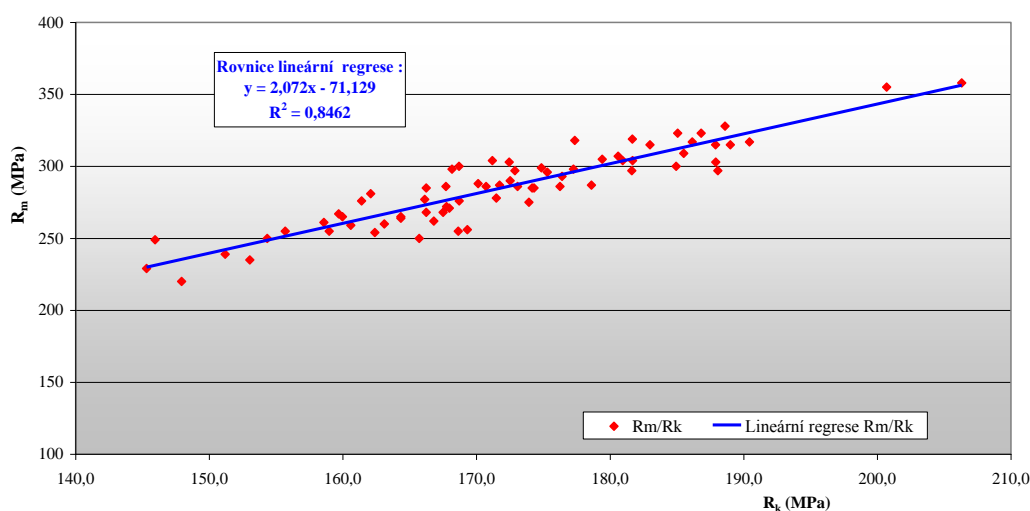
Koeficient - $R_k$ SKS Krnov	max.	min.
$(2,072 \cdot R_k - 71,13) \pm 10,2$	17,8	2,4

	ČSN 42 0341	VŠT Košice	SKS Krnov
Koeficient (R <sub>m</sub> , k)	(2,064·R <sub>k</sub> -34,61)±15,8	(1,920·R <sub>k</sub> -32,00)±32,0	(2,072·R <sub>k</sub> -71,13)±10,2
ΔR <sub>m</sub> -R <sub>m,k</sub> ∅	36,7	16,1	10,2
ΔR <sub>m</sub> -R <sub>m,k</sub> max.	68,2	45,7	33,1

Jak plyne z příslušné odborné literatury [5], je vhodné pro každou slévárnu odvodit „speciální“ koeficienty. Pro srovnání zkoušení materiálu v různých podmínkách sléváren bylo použito ještě korelačních hodnot ze zkoušek VŠT Košice.

Jak vyplývá z výpočtů, rozdíly nejsou velké, ale přesto poukazují na doporučené stanovení koeficientů pro každou jednotlivou slévárnu. Závislost R<sub>m</sub> na R<sub>k</sub> vykazuje lineární závislost, použita lineární regresní analýza – graf č. 1

Graf č. 1: Závislost pevnosti v tahu na pevnosti mezi klíny  
k určení koeficientů pro SKS Krnov - neobrobené tyče



Koeficientům SKS odpovídají nejmenší odchylky, hodnota koeficientu spolehlivosti byla  $R^2=0,8462$ .

Koeficienty byly vypočteny za pomoci programu Microsoft Excel.

#### 4. Diskuse výsledků

Při práci na hodnocení korelace vztahu pevnosti mezi klíny a pevnosti v tahu za okolní teploty vyplynuly některé další aspekty ze zkoušení pevnosti mezi klíny.

Tato problematika pak byla postupně zpracovávána tak, aby bylo možno posoudit vyčerpávajícím způsobem možnosti zkoušení litiny s lupínkovým grafitem zkouškou pevnosti mezi klíny.

##### 4.1 Hodnocení spolehlivosti zkoušení

V první fázi byla sledována spolehlivost zkoušky pevnosti mezi klíny. Tento parametr byl posuzován ve srovnání se zkouškou pevnosti v tahu.

Z naměřených hodnot byly vypočteny průměrné hodnoty R<sub>m</sub> a R<sub>k</sub>, hodnota Δ R<sub>m</sub>, Δ R<sub>k</sub>, relativní odchylka, průměrná relativní odchylka a maximální odchylka. Ze sledovaného statistického souboru vyřazeny odlehle hodnoty dle Grubbsova testu.

	R <sub>m</sub>	R <sub>k</sub>
Průměrná odchylka (MPa)	19,1	4,6
Maximální odchylka (MPa)	38,0	20,3
Průměrná relativní odchylka (%)	6,7	2,7



#### 4.1.1 Posouzení vlivu povrchu neopracovaných tyčí na spolehlivost zkoušek

Průměrná relativní odchylka dosahovala u tahové zkoušky 6,7 %, u zkoušek mezi klíny 2,7 %. Stanovené kritérium - max. relativní odchylka 5 % - splňovalo u tahové zkoušky 23 % z celkového počtu zkoušek, u zkoušky pevnosti mezi klíny odpovídalo 88 % zkoušek. Můžeme konstatovat, že obecně plyne vyšší spolehlivost pro zkoušku pevnosti mezi klíny. Mezi možné příčiny této skutečnosti patří jednak chyby měření, které mohou být u tahové zkoušky způsobeny nesprávným upnutím zkušební tyče do čelistí trhačického stroje. Tento faktor nejistoty měření nabývá na významu především u křehkých materiálů, jakým je litina s lupínkovým grafitem.

Dalším faktorem ovlivňujícím negativně především zkoušku v tahu, je proces tuhnutí litiny, kdy se ve středové části odlité zkušební tyče, tepelné ose, následkem poklesu teploty a segregace prvků soustředí nehomogenity materiálu, např. vměstky nebo nízkoteplotní fáze. Je třeba počítat s reálným vznikem vnitřní porosity s dislokačními mechanizmy v průběhu deformace.

Při zkoušce pevnosti mezi klíny je tento jev kompenzován licí kúrou, která není odstraněna. Licí kúra vykazuje obecně vyšší pevnostní charakteristiky, vycházející z procesu tuhnutí materiálu.

#### 4.1.2 Posouzení vlivu licí kúry na pevnostní charakteristiky zkoušení

Byl zhotoven soubor zkušebních položek. Každá položka byla tvořena 2 poměrnými obrobenými zkušebními tyčemi se zúžením pro pevnost v tahu a 2 obrobenými zkušebními tyčemi Ø 27 mm bez zúženého průřezu pro pevnost mezi klíny.

Z výsledků byly stanoveny prům. rel. odchylky 3,7 % u pevnosti mezi klíny, což vykazuje asi 1%-ní nárůst proti neobrobeným tyčím. To je však stále o téměř polovinu méně než u pevnosti v tahu.

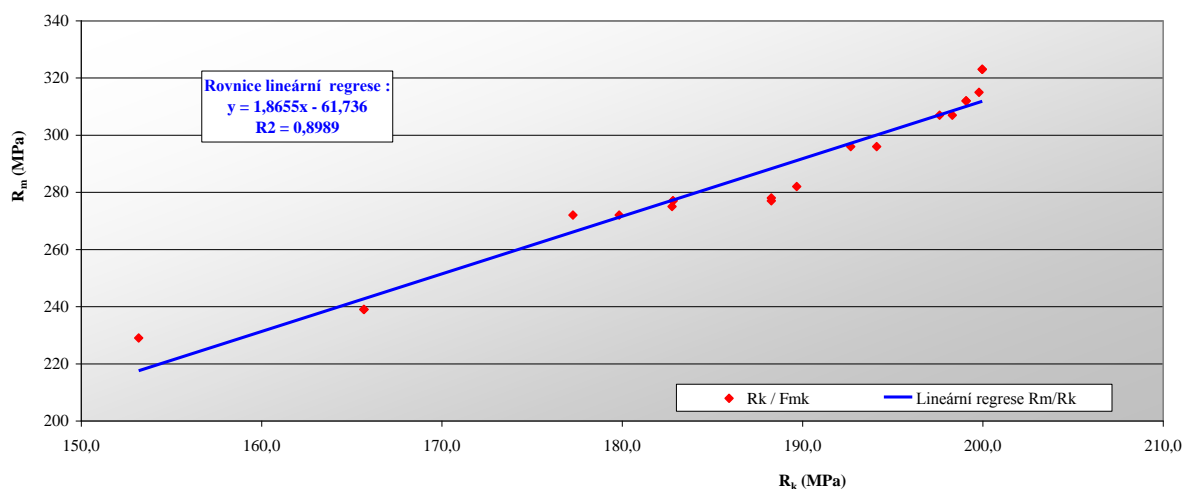
Bylo rovněž dosaženo vysoké hodnoty spolehlivosti  $R^2=0,8989$ , svědčící o vysoké spolehlivosti zkoušky pevnosti mezi klíny.

Šedá litina má odlišné elastické vlastnosti a hodnoty modulu pružnosti v tlaku a tahu, způsobené lupínky grafitu. Vyšší hodnota modulu pružnosti v tlaku způsobí, že při namáhání ohybem se osa s nulovou hodnotou napětí posune směrem ke tlakem namáhané straně a zvětší se průřez namáhaný tahem [6].

Vyloučením licí kúry bylo tedy v diskusi potvrzeno, že mechanismus zkoušení pevnosti mezi klíny nedosahuje vyšší spolehlivosti vlivem pevnostního charakteru licí kúry.

Byla využita regresní analýza – graf č. 2.

Graf č. 2 : Závislost pevnosti v tahu na pevnosti mezi klíny  
- obrobené tyče



## 4.2 Možnosti zkoušení pevnosti mezi klíny na odlitku

Požadavek širšího použití litiny na namáhané součásti přináší další problém a tím je bezpečná záruka předepsaných mechanických hodnot v kritických průřezech každého odlitku.

Pevnost litiny závisí na chemickém složení, ale zejména na rychlosti chladnutí, a je proto zákonitě různá při různé tloušťce stěny odlitku.

Pevnostní hodnoty u normovaných litin se většinou vztahují k údajům, získaných na zkušební tyči Ø 30 mm. Je proto vždy velmi důležitý vztah mezi hodnotami zkušební tyče a těch stěn odlitků, které jsou pro namáhání rozhodující. U jakostnějších druhů litin o vyšší pevnosti přistupuje ještě skutečnost, že s klesajícím stupněm eutektičnosti vzrůstá nebezpečí tvorby ředin a staženin.

Z těchto technologických hledisek vyvstává možnost využití relativně jednodušší a vysoce spolehlivé zkoušky pevnosti mezi klíny na odzkoušení pevnostních hodnot i velmi tenkých stěn.

## 4.3 Posouzení možnosti vícenásobných zkoušek z 1 tyče

Dále byla sledována možnost a spolehlivost vícenásobných zkoušek z 1 zkušební kusu. Klasickou neopracovanou litou zkušební tyč je možno použít pro 3 souběžná měření. Zkušební položkou byla v tomto případě zkušební tyč Ø 30 mm o délce 600 mm, takže válcové zkušební vzorky měly délku 200 mm. Tímto se maximálně vyloučí náhodná chyba výsledku -koeficient spolehlivosti  $R_2 = 0,9755$ .

Bylo experimentálně ověřeno, že násobné zkoušky na 1 zkušební tyči vykazují vysokou spolehlivost a přesnost s minimálním rozptylem. Relativní odchylky se pohybují v průměrném hodnocení pod 3 %.

Zkoušení pevnosti mezi klíny na válcových zkušebních vzorcích s délkou cca 200 mm vykazuje velmi malý rozptyl výsledků.

## 4.4 Hodnocení ekonomické stránky zkoušení

V rámci experimentu byla posuzována ekonomičnost přípravy a provádění zkoušek mezi klíny ve srovnání s tahovou zkouškou.

Tab.1. Náklady na zkoušku

Položka	Náklady – Rm	Náklady – Rk
Odlití a manipulace (Kč)	20	20
Opracování, amortizace nástrojů, energie (Kč)	150	0
Provedení zkoušky (Kč)	120	100
Celkem (Kč)	390	120

Při průměrném počtu 5 taveb je prováděno 10 zkoušek denně - pro nehomogenitu zkoušení je nutno provádět měření 2 tyčí pro jednu zkoušku - činí náklady včetně manipulace cca 3900 Kč/den, což činí cca 78000 Kč/měsíc, roční náklady na zkoušení tyčí dosahují již téměř 800 000 Kč.

Při stejném počtu 5 taveb – pro vyšší spolehlivost postačí provádět pouze 1 měření pro zkoušku – postačí 5 zkoušek, což denně činí náklady včetně manipulace cca 600 Kč/den, což činí cca 2.000 Kč/měsíc, roční náklady na zkoušení jsou pouze cca 25.000 Kč.

Z tohoto vyplývá nejen velká úspora při zkoušení, ale také skvělá příležitost zvýšení frekvence odběru zkoušek pro kontrolu materiálu, aniž bychom dosáhli sotva desetiny nákladů na zkoušení tahovou zkouškou.

Mnohem rychlejší a efektivnější provedení zkoušek mezi klíny umožňuje včasné zásahy při metalurgické kontrole jakosti výroby. Vyčíslení ekonomické stránky při včasné zjištění nevyhovující jakosti litiny, umožňující pozastavení dalších operací, zahrnujících opracování, apretaci, nátěr odlitků a jiných manipulací, dosahuje podstatných úspor ve výrobním procesu. Tato ekonomická rozvaha bude předmětem vašeho posouzení.

Jestliže lze mechanické vlastnosti predikovat a včas vyhodnotit v průběhu výrobní etapy, dojde ke zvýšení výrobní účinnosti, snížení nákladů a rovněž ke zlepšení kvality odlitků.

Zanedbatelná není ani možnost provedení opakovaného měření pevnosti mezi klíny na jedné zkušební tyči. Kromě toho, že se může dosáhnout maximální spolehlivosti zkoušení, tímto zároveň dosáhneme několika lomových ploch tyče, což může být důležitým pomocným ukazatelem hodnocení struktury pro metalurgické posouzení, jak bylo popsáno v teoretické části.

Opakovaným cílem je neustálé zlepšování při posouzení nové úrovně snižování nešod ve výrobě při efektivním využití všech funkcí a principů politiky jakosti.

Přezkoumání vhodnosti výběru zkušební metody pro posuzování ukazatelů řízení jakosti by pak mělo být společným závěrem diskuse mezi zkušebníky a představiteli řízení jakosti.

## 5. Shrnutí a závěr

Navzdory tomu, že zkoušky mechanických vlastností odlitků patří k nejvíce rozšířeným zkouškám a že jejich výsledky jsou podkladem práce konstruktérů, metalurgů a technologů, lze konstatovat, že jen část techniků si zcela jasně uvědomuje význam jednotlivých veličin, získaných těmito zkouškami a jejich souvislosti se složením, čistotou a způsobem tavení a též jejich souvislosti s vadami odlitků.

Cenným zdrojem informací o souvislostech mezi výrobní technologií a vlastnostmi odlitků z šedé litiny je také lom po přetržení zkušební tyče. Na makroreliefu a mikroreliefu lomové plochy po zkoušce se odráží vliv chemického složení, metalurgie, způsobu krystalizace i tepelného zpracování.

Může se stát nedílnou součástí kontroly jakosti výroby ve slévárnách, může významně usnadnit a zpřesnit identifikaci vad odlitků, vztahujícím se k chybám v metalurgii.

Z ekonomického hlediska vyplývá nejen nezanedbatelná úspora při přípravě zkušebních tyčí, ale hlavně mnohem rychlejší a efektivnější provedení zkoušek, což umožňuje včasnější zásahy při metalurgické kontrole jakosti výroby a zamezí tak dalším nákladným operacím v případě neshody.

Výsledky dosažené při zkouškách ukázaly, že je možno v podmínkách slévárny SKS Krnov aplikovat zkoušku pevnosti mezi klíny jako efektivní spolehlivou zkoušku pro kontrolu kvality tekutého kovu i pro vyhodnocení jakosti materiálu příslušného odlitku.

Hodnocení zkoušky pevnosti mezi klíny lze shrnout do následujících bodů:

- rychlé vyhotovení vzorků s nízkými náklady
- rychlá kontrola výroby v důsledku spolehlivého vztahu pevnosti mezi klíny a pevnosti v tahu
- možnost zvýšení počtu zkušebních vzorků z každé zkušební položky
- podstatně vyšší ekonomičnost celé zkoušky proti klasické tahové zkoušce
- dostupné početnější informace o defektech na lomové ploše
- vysoká spolehlivost zkoušky

Využití statistických metod ve slévárnách stále ještě nedosahují té úrovně, jakou bychom očekávali.

Jedinou praktickou možností pro kompenzaci krátkodobých změn ve vlastnostech materiálu je soubor statisticky zpracovaných údajů, vypovídajících o četnostech a druhu změn. Zavedení zkoušení pevnosti mezi klíny u šedé litiny jako vhodné a efektivní metody pro hodnocení jakosti materiálu v podmínkách slévárny umožňuje kvantifikování a účinnost všech projektů zlepšování řízení jakosti výroby odlitků z litiny s lupínkovým grafitem.

Stává se často, že odběratel požaduje u litiny s lupínkovým grafitem grafické vyobrazení křivky tahové zkoušky, přestože je zřejmé, že tento požadavek vyplývá zřetelně z neznalosti charakteristických vlastností šedé litiny, kdy křehký lom vzniká náhle bez předchozích příznaků, a tak graf průběhu zkoušky postrádá opodstatnění. Nelze však pominout, že výrobce respektuje požadavky zákazníka, který zpravidla požaduje hodnoty pevnosti v tahu. Zlepšování jakosti musí však vycházet z vlastní snahy systému řízení, nikoliv z tlaku zákazníka.

Hodnocení materiálů tahovou zkouškou reprezentuje charakteristiky vyšších úrovní mechanických vlastností, které se vyznačují pružností, tvárností, houževnatostí a vysokými pevnostmi.

Je však možné posoudit alternativní vyhodnocení pevnosti v tahu ze zkoušky mezi klíny ve smyslu pozitivního vlivu tohoto příspěvku pro hodnocení šedé litiny.

## 6. Použitá literatura

- [1] Jakob M.: Úplné hodnocení materiálů tahovou zkouškou, VŠB – TU Ostrava, 2005, 16s.
- [2] ČSN 42 0341. Zkoušení kovů – Zkouška mezi klíny. 1992.
- [3] ČSN 1561 – Litiny s lupínkovým grafitem. 1999
- [4] ČSN EN 10002 – 1. Kovové materiály – Zkoušení tahem. 2002
- [5] Vondrák V.- Gedeonová N.: Kontrola kvality odliatkov, VŠT Košice, 1983, 242 s.
- [5] Berounský P.: Přístupy k tvorbě norem základních mechanických a technologických zkoušek kovů, VŠB – TU Ostrava, 2005, 85 s.
- [6] Nenadál J.: Povaha a principy managementu jakosti, VŠB – TU Ostrava, 2005, 9s.