

6 ZKOUŠENÍ KOVŮ A PLASTŮ

Kovy jsou krystalické látky, většinou slitiny základního kovu s dalšími chemickými prvky (kovy i nekovy). Ve stavebnictví mají kovy nezastupitelný význam. Nejvíce užívaným kovem jsou různé varianty oceli, běžně jsou užívány měď a hliník či slitiny jako mosaz, bronz a mnoho dalších. Speciální zastoupení má ve stavebnictví stále olovo, které je pro své specifické vlastnosti používáno jako stínící materiál např. v rentgenových pracovištích.

Mezi typické a využívané vlastnosti patří tvrdost, tažnost, kujnost, velká pružnost a pevnost, elektrická a tepelná vodivost, značná měrná hmotnost a vysoký bod tání.

Hlavním kovem užívaným ve stavebnictví je stavební ocel. Setkáváme se s ní převážně ve formě válcovaných profilů (plechy, trubky, nosné profily různých tvarů apod.) a výztuží používaných do betonu. Různé typy betonářské výztuže vyráběné v minulosti v podobě tyčí (prutů) se od sebe často výrazně liší svými mechanickými vlastnostmi (mez kluzu, pevnost v tahu atd.).

Plasty jsou polymery, u nichž vnější namáhání způsobuje deformace převážně nevratného (trvalého) charakteru. Za běžných podmínek jsou většinou tvrdé, často i křehké. Podle chování při zahřívání je dělíme dále na termoplasty a reaktoplasty. Vzorok, se kterými budeme ve cvičení pracovat, patří do skupiny termoplastů, které se vyznačují tím, že při zahřívání měknou (přechází do plastického stavu) a lze je tvářet. Typickými představiteli jsou polyethylen (PE), polyamid (PA), polypropylen (PP), polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC) apod.

Mechanické charakteristiky základních mechanických vlastností lze rozdělit podle různých hledisek na krátkodobé, dlouhodobé, statické nebo dynamické, tahové, tlakové, ohybové, smykové nebo ty, které jsou zjišťovány při namáhání v krutu.

Při namáhání zkušebních těles dochází k jejich deformaci. Tělesa mění tvar v důsledku působení vnější síly. V případě, že se těleso vrátí do původního tvaru, mluvíme o pružné (elastické) deformaci. V případě, že tvar tělesa se po odstranění působící síly již do původního stavu nevrátí, mluvíme o tzv. trvalé (plastické) deformaci. V praxi se vyskytují většinou oba druhy deformace současně. U plastů je deformační chování vzhledem k jejich struktuře složitější. Na vnější namáhání reagují tak, že deformace obsahují vždy složku pružnou i plastickou, a navíc ještě deformaci zpožděně elastickou (viskoelastickou). Tento průběh je možné jednoduše vyzkoušet u houževnatých polymerů. Pokud těleso z uvedeného materiálu podrobíme za standardní teploty stálému zatížení, pozorujeme jeho rostoucí deformaci, přičemž rychlost deformace s časem klesá. Říkáme, že dochází k tzv. tečení za studena. Odborně se této vlastnosti říká creep. Z tohoto jednoduchého testu je zřejmé, že celková deformace polymerů je časově závislá. Můžeme tedy říci, že při krátkodobém zatěžování se polymer chová jako tuhý a pevný materiál, zatímco při dlouhodobém zatěžování je jeho deformace větší a materiál je poddajný (tvárný, plastický).

6.1 STANOVENÍ HUSTOTY VYBRANÝCH KOVŮ

Jak je z předchozích cvičení tohoto předmětu zřejmé, je objemová hmotnost jedním ze základních fyzikálních parametrů stavebních materiálů, který přímo ovlivňuje jejich mechanické a další fyzikální parametry. Dále je objemová hmotnost stavebních materiálů důležitým parametrem z pohledu návrhu konstrukcí a technologického provádění stavebních prací a staveb – například výpočet vlastních hmotností konstrukcí, návrh přepravy a manipulace s materiálem, výpočet spotřeby materiálu atd. Existují materiály, které mají objemovou hmotnost téměř konstantní, s malým rozptylem, blížíci se teoretické hodnotě (typicky kovy, polymery), na druhou stranu ve stavebnictví existuje mnoho materiálů, jejichž objemová hmotnost se liší s ohledem na aktuální stav materiálu (objemová hmotnost se mění s měnící se vlhkostí – typické pro dřevo a beton), objemová hmotnost

se může také měnit na základě výrobní šarže (keramika, beton), nebo geografické polohy, kde byl materiál nebo základní suroviny pro výrobu získány (dřevo, kamenivo, přírodní kámen). Objemová hmotnost a hustota může být u řady stavebních materiálů odlišná veličina. **Objemová hmotnost** je definována jako podíl hmotnosti tělesa a jeho objemu včetně přítomných pórů a dutin materiálu. **Hustota** je definována také jako podíl hmotnosti a objemu tělesa, ale pouze jeho pevné fáze – bez póru a dutin. Obecně platí, že objemová hmotnost je nižší než hustota stejného materiálu. Výjimku mohou tvořit kovy, některé druhy plastů či sklo.

6.1.1 Podstata zkoušky

Na dodaných zkušebních válcích, vyrobených z různých kovů, se určí pomocí měření rozměrů jejich objem a pomocí vážení jejich hmotnost.

6.1.2 Zkušební zařízení a pomůcky

- Posuvné měřítko.
- Váha s přesností alespoň 0,1 g.

6.1.3 Měřené a stanovené veličiny

d průměr měřeného vzorku s přesností min. 0,1 mm.
L délka měřeného vzorku s přesností min. 0,1 mm.
m hmotnost měřeného vzorku s přesností min. 0,1 g.

6.1.4 Zkušební postup

Zkušební vzorek se změří posuvným měřítkem a následně se vypočte jeho objem. Dále se určí hmotnost vzorku a vypočte se jeho hustota dle rovnice:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

6.1.5 Vyhodnocení

Výsledek se zaokrouhlí na 10 kg/m³.

6.2 STANOVENÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI VYBRANÝCH VZORKŮ PLASTŮ

6.2.1 Podstata zkoušky

Podstatou zkoušky je určit objemovou hmotnost několika druhů technických polymerů v kg/m³.

6.2.2 Zkušební zařízení a pomůcky

- Posuvné měřítko.
- Váha s přesností alespoň 0,1 g.

6.2.3 Měřené a stanovené veličiny

a, b, c rozměry zkušebního vzorku v mm s přesností na 0,01 mm.
m hmotnost vzorku s přirozenou vlhkostí v kg s přesností na 0,01 g.

6.2.4 Zkušební postup

Objemová hmotnost se určí jako poměr hmotnosti daného množství vybraného vzorku k jeho objemu vyjádřený v kg/m^3 :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

6.2.5 Vyhodnocení

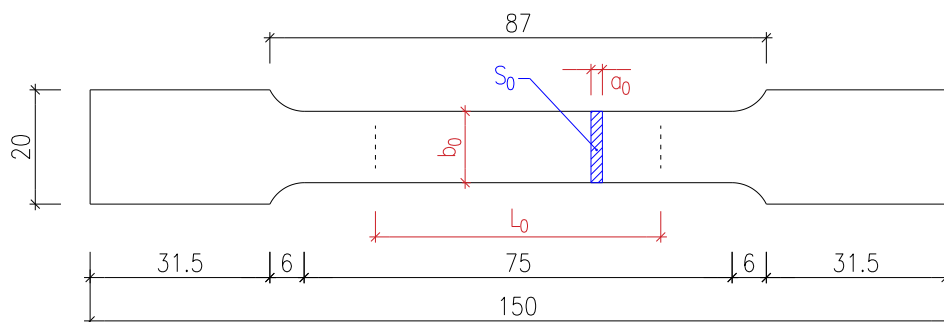
Objemová hmotnost se udává v kg/m^3 zaokrouhlená na 3 platné číslice.

6.3 ZKOUŠKA TAHEM OCELI ZA OKOLNÍ TEPLoty

Tahová zkouška je stěžejní zkouškou pro stanovení základních mechanických vlastností kovů. Vzhledem k tomu, že jak v případě běžné konstrukční oceli, tak i při použití betonářských výztuží v betonu je smyslem užití výztuže přenos tahových napětí, právě tahová zkouška umožňuje stanovení základních mezí v pracovním (deformačním) diagramu oceli, tedy zejména meze kluzu a meze pevnosti v tahu. Zkouškou se ověřuje dodržení výrobcem deklarovaných pevnostních charakteristik daného materiálu, popř. určení těchto vlastností na materiálu neznámé kvality. V rámci tahové zkoušky je zpracován pracovní či deformační diagram oceli, a stanoveny mez kluzu, mez pevnosti, tažnost a kontrakce.

6.3.1 Podstata zkoušky

Zkouška spočívá v deformaci zkušebního vzorku (obrobek, viz Obr. 1) tahovým zatížením v definované oblasti vzorku, obvykle do přetržení, pro stanovení jedné nebo více mechanických vlastností zavedených v normě. Obvykle se zkouší při okolní teplotě v rozmezí od $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $35\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Obr. 1: Obrobené zkušební těleso pravouhlého průřezu

6.3.2 Zkušební zařízení a pomůcky

- Mechanický lis s měřením deformací.
- Posuvné měřítko.

6.3.3 Měřené a stanovené veličiny

- b_0 šířka zkušebního vzorku stanovena měřením s přesností na 0,1 mm.
- a_0 tloušťka zkušebního vzorku stanovena měřením s přesností na 0,1 mm.
- L_0 počáteční měřená délka v mm.
- L_u měřená délka po přetržení v mm s přesností na 0,1 mm.

- F_{eL} zatížení na mezi kluzu v kN s přesností na 0,1 kN – v případě výrazné meze kluzu.
 F_p zatížení na mezi kluzu v kN s přesností na 0,1 kN – v případě smluvní meze kluzu.
 F_m největší zatížení v kN s přesností na 0,1 kN.

6.3.4 Zkušební postup

Nejdříve se stanoví průřezová plocha vzorku. Po určení počáteční měřené délky L_0 (ve cvičení bude zadáno) se zkušební vzorek upne do trhacího zařízení a provede se tahová zkouška až do porušení vzorku. Na záznamovém zařízení trhacího zařízení získáme průběh zkoušky ve formě **pracovního diagramu** (tj. závislost působící tahové síly F na protažení vzorku Δl).

Mez kluzu je napětí, při kterém dochází ke kluzovému jevu, tj. ke vzniku plastické deformace bez přírůstku zatížení. Dle způsobu vyhodnocení pracovního diagramu lze jednotlivé druhy oceli rozdělit do dvou základních rovin, a to:

- Ocel s výraznou mezí kluzu, mez kluzu s označením R_{eL} bude stanovena odečtem z hodnot získaných z provedené tahové zkoušky příslušného vzorku.
- Ocel se smluvní mezí kluzu, mez kluzu s označením R_p bude stanovena přibližně grafickou metodou z odečteného pracovního diagramu z provedené tahové zkoušky příslušného vzorku dle příslušného normového postupu.

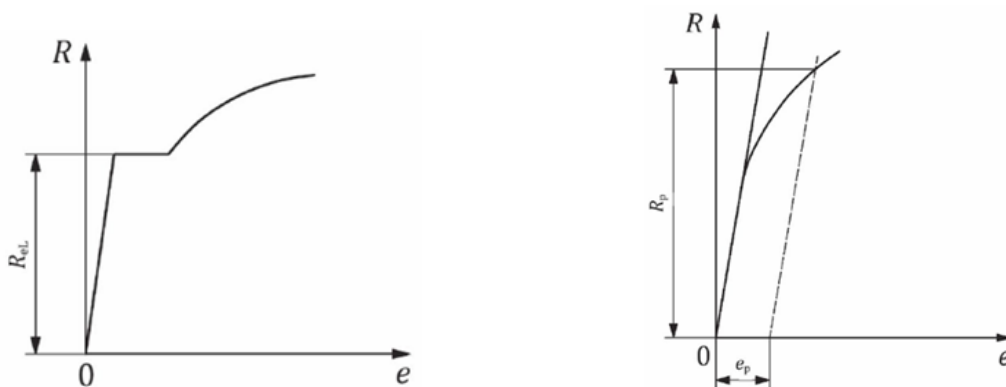
Rozdíl mezi výraznou a smluvní kluzu je ukázán pomocí **deformačních diagramů** (tj. závislost napětí v tahu σ na poměrné deformaci ϵ) na Obr. 2.

Výrazná mez kluzu je napětí, při kterém dochází ke kluzovému jevu, tj. ke vzniku plastické deformace bez přírůstku zatížení. V rámci oceli s výraznou mezí kluzu určujeme její horní a spodní úroveň. V rámci cvičení vyhodnotíme z provedené tahové zkoušky pouze dolní mez kluzu R_{eL} :

$$R_{eL} = \frac{F_{eL}}{S_0}$$

Smluvní mez kluzu R_p určíme z křivky pracovního diagramu vynesemím rovnoběžky s osou zatížení (lineární oblast zatěžování do meze úměrnosti) ve vzdálenosti odpovídající hodnotě 0,2 % z celkového plastického prodloužení vzorku v úrovni jeho přetržení:

$$R_p = \frac{F_p}{S_0}$$



Obr. 2: Zjednodušené schéma oblasti dolní meze kluzu u oceli s výraznou mezí kluzu (vlevo) a zjednodušené schéma konstrukce meze kluzu při plastickém prodloužení měřené průtahoměrem u oceli se smluvní mezí kluzu (vpravo)

Pevnost v tahu je napětí odpovídající maximální síle F_m dosažené při trhací zkoušce zkušebního vzorku. Pevnost v tahu se vypočte ze vztahu:

$$R_m = \frac{F_m}{S_0}$$

Tažnost je trvalé prodloužení měřené délky po přetržení vyjádřené v % počáteční měřené délky. Zjišťujeme ji v místě přetržení, do kterého přeneseme měřenou délku. Tažnost A v % vypočteme ze vzorce:

$$A = \frac{L_U - L_0}{L_0} \cdot 100$$

6.3.5 Vyhodnocení

Veškeré vypočtené vlastnosti se zaokrouhlí na 3 platné číslice. Poté se výsledky porovnají s tabulkovými hodnotami, viz Tab. 1.

Tab. 1: Tabulkové hodnoty vlastností vybraných ocelí pro tahovou zkoušku

Druh oceli		Mez kluzu [MPa]	Pevnost v tahu [MPa]	Tažnost [%]
Ocel S235JR (válcovaná za tepla)		min. 235	360 - 510	24
Ocel DC01 (tvářená za studena)	C290	200 - 380	280 - 380	18
	C340	min. 250	340 - 490	
	C390	min. 310	390 - 540	
	C440	min. 360	440 - 590	
	C490	min. 420	490 - 640	
	C590	min. 520	590 - 740	
	C690	min. 630	min. 690	

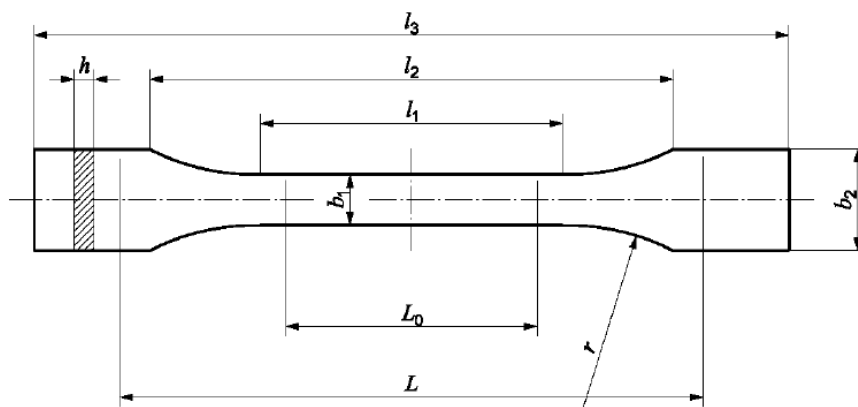
6.4 TAHOVÁ ZKOUŠKA PLASTŮ

6.4.1 Podstata zkoušky

Zkušební těleso (viz Obr. 3) je popotahováno ve směru své hlavní podélné osy konstantní zkušební rychlostí do jeho porušení nebo do okamžiku, kdy napětí (zatížení) nebo deformace (přetvoření) dosáhnou předem zvolené hodnoty. Během zkoušky měříme zatěžovací sílu a prodloužení.

6.4.2 Zkušební zařízení a pomůcky

- Posuvné měřítko.
- Mechanický lis s měřením deformací.



Obr. 3: Zkušební těleso typu 1A a 1B

6.4.3 Měřené a stanovené veličiny

b_1, h příčné rozměry vzorku v mm s přesností 0,01 mm.

F odpovídající síla při přetržení zkušební vzorku s přesností 1 N.

L_U délka zkušební tělesa po provedené zkoušce s přesností min. 1 mm.

L_0 počáteční délka zkušební tělesa s přesností min. 1 mm.

6.4.4 Zkušební postup

Na vybraných zkušebních vzorcích se stanoví jejich skutečné plochy příčného průřezu z měřených rozměrů vzorků. Poté budou vzorky postupně upnuty do trhacího zařízení a podrobeny tahové zkoušce. Zkouška je ukončena v momentě přetržení zkoušeného vzorku. Je zaznamenána maximální síla při přetržení vzorku a odpovídající protažení.

Zaznamená se síla F_{max} při přetržení. Výsledná **pevnost v tahu** R_A v N/mm^2 zkušební vzorku se vypočte ze vztahu:

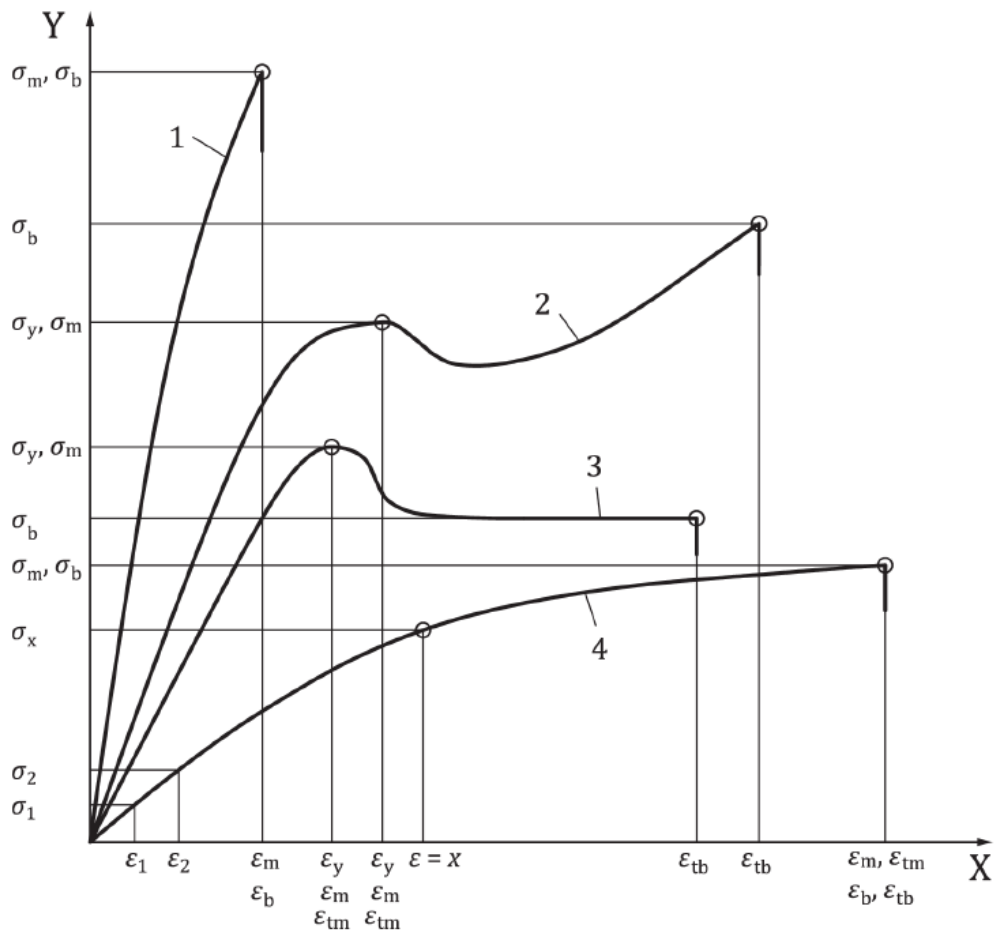
$$R_A = \frac{F_{max}}{A}$$

Tažnost A každého zkušební tělesa se v % vypočítá ze vztahu:

$$A = \frac{L_U - L_0}{L_0} \cdot 100 = \frac{\Delta L}{L_0} \cdot 100$$

6.4.5 Vyhodnocení

Výsledná pevnost v tahu se zaokrouhlí na **3 platné číslice**. Výsledná tažnost se vyjádří v procentech se zaokrouhlením na **3 platné číslice**. Dle chování zkoušených plastů se určí jejich typ podle grafu na Obr. 4.



Obr. 4: Typické křivky deformačních diagramů u technických plastů

6.5 PROTOKOL

6.5.1 Hustota kovů

Proveďte stanovení hustoty vybraných kovů. Výsledek se zaokrouhlí na **10 kg/m³**. Výsledky porovnejte s běžnými (tabulkovými) hodnotami hustoty.

Vzorek	objem [cm ³]	hmotnost []	hustota [kg/m³]	tabulková hustota [kg/m ³]
Ocel	100			7400–8000 (7850)
Hliník	100			2600–2800
Měď	100			8920
Mosaz	100			8400–8750
Bronz	100			≈8800
Olovo	100			11340

6.5.2 Objemová hmotnost plastů

Proveďte stanovení objemové hmotnosti na třech připravených vzorcích plastů. Výsledek zaokrouhlete **na 3 platné číslice**.

Popis vzorku	m []	rozměry vzorku []			ρ [kg/m ³]

6.5.3 Tahová zkouška zkušebních vzorků oceli

Provedte dvojici tahových zkoušek oceli. Vyhodnoťte mez kluzu, pevnost v tahu a tažnost obou zkušebních vzorků oceli. Výsledky porovnejte s tabulkovými hodnotami. Veškeré výsledné hodnoty zaokrouhlete **na 3 platné číslice**.

Vzorek:		
b_0 []		
a_0 []		
S_0 []		
F_{eL} / F_p []		
Výpočet meze kluzu:		
R_{eL} / R_p [N/mm²]		
Tabulková hodnota R_{eL} / R_p [N/mm ²]		
F_m []		
Výpočet pevnosti v tahu:		
R_m [N/mm²]		
Tabulková hodnota R_m [N/mm ²]		
L_0 []		
L_U []		
Výpočet tažnosti:		
A [%]		
Tabulková hodnota A [%]		
Zhodnocení:		

6.5.4 Stanovení tahových vlastností vybraných technických plastů

Provedte zkoušku tahem na třech vzorcích plastů a určete jejich pevnost v tahu a tažnost. Výslednou pevnost v tahu i výslednou tažnost zaokrouhlete na **3 platné číslice**. Určete typ zkoušených plastů dle jejich chování (viz deformační diagramy na Obr. 4).

Vzorek	šířka b_1 []	tloušťka h []	síla na mezi pevnosti F []	pevnost v tahu R_A [MPa]	Typ
polyamid s 5 % skelných vláken (syntegum)					
polypropylen + kaučuk					
ethylen vinyl acetát (EVA)					

Vzorek	počáteční délka L_0 []	protažení ΔL []	tažnost A [%]
polyamid s 5 % skelných vláken (syntegum)			
polypropylen + kaučuk			
ethylen vinyl acetát (EVA)			

6.5.5 Závěr
