



OCELOVÉ KONSTRUKCE

Studijní program: STAVEBNÍ INŽENÝRSTVÍ pro bakalářské studium
Kód předmětu: K134OK1
4 kredity (2 + 2), zápočet, zkouška

Prof. Ing. František Wald, CSc., místnost B 632

1



Sylabus přednášek

1. Úvod, historie ocelových konstrukcí, použití, významné stavby, výroba oceli
2. Vlastnosti oceli, zkoušky materiálu, značení oceli
3. Výroba konstrukcí
4. Spolehlivost konstrukcí, mezni stavy, normy pro navrhování, tah
5. Tlak, vzpěrný tlak
6. Klasifikace průřezů, ohyb, hospodárny návrh
7. Svařování, svařované spoje
8. Nýtování a šroubování, šroubované spoje
9. Skelety budov, prostorová tuhost
10. Skelety budov, spoje
11. Jednopodlažní haly
12. Haly velkých rozpětí
13. Mosty, názvosloví, lávky
14. Ochrana proti korozi a požáru



2



Obsah přednášky



Opakování

- Mechanické spojovací prostředky
- Návrh šroubového spoje
- Rozdělení sil mezi spojovací prostředky
- Shrnutí
- Aktualita – Nejvyšší budova Evropy
Slepé šroubování

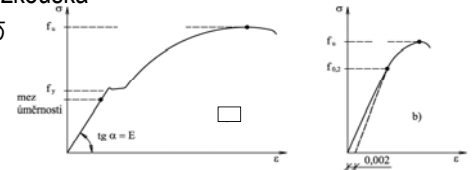
3



Zkoušky oceli

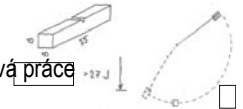
Tahová zkouška

- f_y, f_u, δ



Rázová zkouška v ohybu

- Vrubová houževnatost – nárazová práce



3



Značení oceli

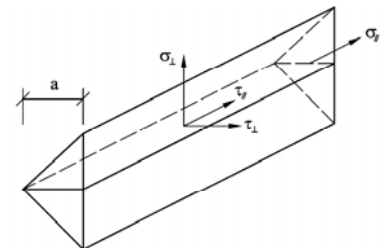
- S235JR (mez kluzu 235 MPa, KVC > 27 J při 20°C)
 - S275J2, S355K4, S420MJ4, S460NJR
 - Vysokopevnostní oceli S690, S960

5



Koutové svary

- a nebezpečný průřez koutového svaru
- σ_{\perp} normálové napětí kolmé k rovině nebezpečného průřezu,
 - σ_{\parallel} normálové napětí rovnoběžné s osou svaru (zanedbává se)
 - τ_{\perp} smykové napětí kolmé k ose svaru
 - τ_{\parallel} smykové napětí rovnoběžné s osou svaru

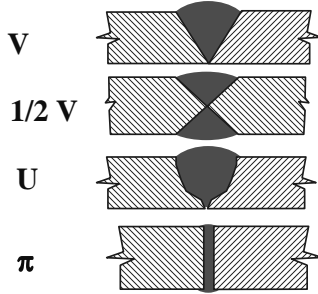


6



Tupé svary

- Únosnost jako průřez



7



Obsah přednášky



- Opakování
- ➔ Mechanické spojovací prostředky
 - Návrh šroubového spoje
 - Rozdělení sil mezi spojovací prostředky
 - Shrnutí
- Aktualita – Nejvyšší budova Evropy
Slepé šroubování

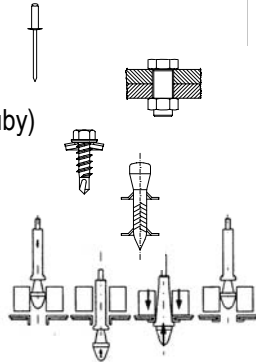
8



Mechanické spojovací prostředky

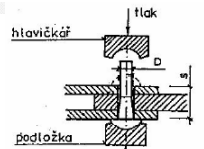
➔ Nýty

- Za tepla (historie)
- Za studena (slepé nýtování)
- Šrouby s maticí (běžné šrouby)
- Čepy
- Šrouby bez matice
- Nastřelovací hřebíky
- Roznýtování materiálu



Nýtování

- Montáž
 - Ohřátý do bílého žáru
 - Pneumatickým kladivem (svěrná délka nýtu max $s = 4,5 d$)
- Funkce (po zchlazení)
 - Dokonale vyplní díru
 - Před rozklepáním o 1 mm menší než průměr otvoru
 - Předepne spojované plechy
- Z oceli odpovídající spojovaným materiálům
 - Nýt z méně pevné oceli (při výměně lze odsekat)
- Hlava
 - půlkulová
 - zápustná



10



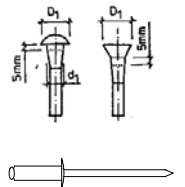
Nýtování je historie

- Výstava na třetím patře Eiffelovy věže
- Náhrada při rekonstrukci
 - Šrouby - třecím spojem, „retro hlavy šroubů“
 - Šrouby injektovanými epoxy



Nýty za studena

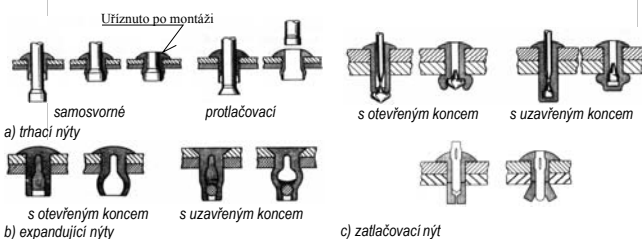
- Z tvarovatelných ocelí (kovů)
- Plné nýty
- ➔ Slepé nýty



12



Slepé nýtování



13

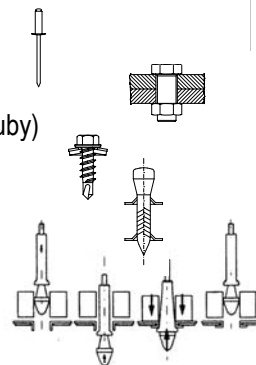


Mechanické spojovací prostředky

- Nýty
 - Za tepla (historie)
 - Za studena (slepé nýtování)

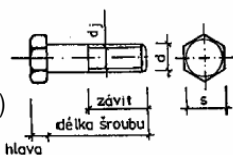
→ Šrouby s maticí (běžné šrouby)

- Čepy
- Šrouby bez matice
- Nastřelovací hřebý
- Roznýtování materiálu



Šrouby

- S šestihrannou hlavou a válcovým dřikem
- S metrickým závitem „M“
- Výroba
 - tvářeni (za studena nebo za tepla)
 - Zušlechťování



- Průměry šroubů pro OK $d = 12, 16, 20, 24, 27, 30$ mm
- Mechanické vlastnosti 4.6 až 10.9
 - 8.8 (800 MPa mez pevnosti, 80% smluvní mez kluzu)

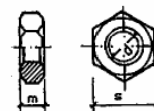
15



Matice

(podle výšky)

- Normální (výška přibližně 0,8 d)
- Vysoké (1,2 až 2d)
 - pro šrouby namáhané velkým tahem
- Nízké (0,4 d)
 - jako pojistné proti uvolňování šroubů

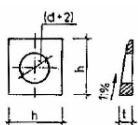
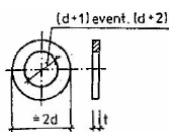


16



Podložky

- Pod část, kterou se otáčí při utahování
 - Rozdělit dosedací tlak matice na větší plochu
 - Zamezit odírání součástí při utahování šroubu
 - Zabránit pěchování okrajů díry
 - Zajistit šroub proti uvolňování (pojistné podložky)
- Pro OK
 - Průměr díry $(d+1)$ mm
 - Vnější průměr přibližně 2d
- Tvrdé pro třecí spoje
- Klínové pro válcované profily s šikmými pásnicemi



17

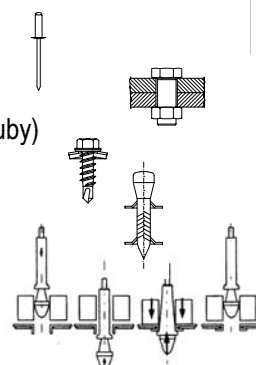


Mechanické spojovací prostředky

- Nýty
 - Za tepla (historie)
 - Za studena (slepé nýtování)

→ Čepy

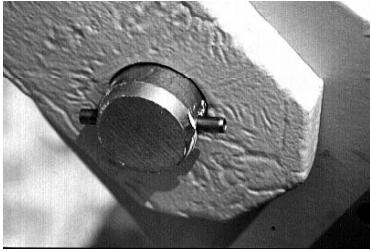
- Šrouby s maticí (běžné šrouby)
- Šrouby bez matice
- Nastřelovací hřebý
- Roznýtování materiálu





Čepy

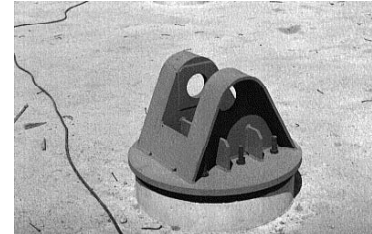
- Volné pootáčení spojených částí
- Drahé
- Jeden šroub žádný šroub (čep jeden)



19



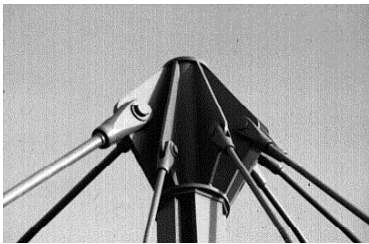
Čepy



20



Čepy

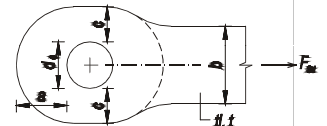


21



Čepy

- Též velkých průměrů
- Konzervujeme vazelínou
- Proti vysunutí z díry se zajišťují
 - Maticemi
 - Závlačkami
 - Zvláštními kryty
- Požadavky na geometrii čepového spoje
 - Daná tloušťka t
 - Dány rozměry a, b, c

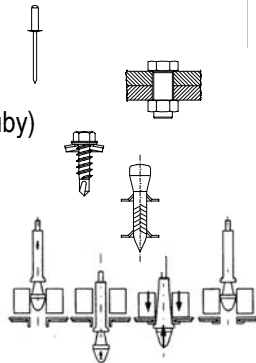


22



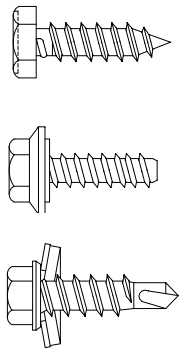
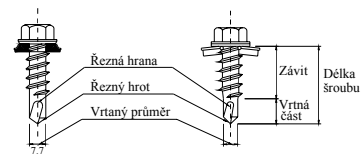
Mechanické spojovací prostředky

- Nýty
 - Za tepla (historie)
 - Za studena (slepé nýtování)
- Šrouby s maticí (běžné šrouby)
- Čepy
- ➔ Šrouby bez matice
- Nastřelovací hřebí
- Roznýtování materiálu



Šrouby bez matice (do plechu)

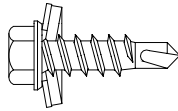
- Závitotvorné
 - s řezáním závitu
 - s formováním závitu
- Samovrtné





Šrouby bez matice

- Výrazně jiná spolehlivost

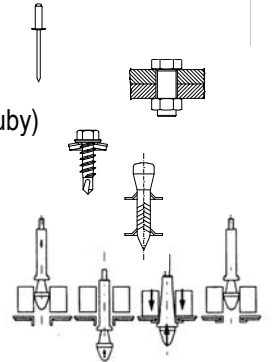


26



Mechanické spojovací prostředky

- Nýty
 - Za tepla (historie)
 - Za studena (slepé nýtování)
- Šrouby s maticí (běžné šrouby)
- Čepy
- Šrouby bez matice
- ➔ Nastřelovací hřeby
- ➔ Roznýtování materiálu



Nastřelovací hřeby

- Pro tenkostěnné konstrukce
- Vtlačeny do materiálu tlakem
 - vyvozeným výbuchem patrony
 - stlačeným vzduchem



a) Hřeby pro zatláčení výbuchem patrony

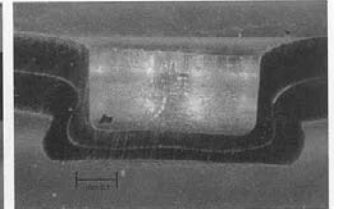
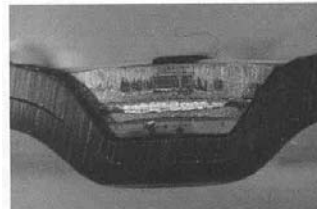
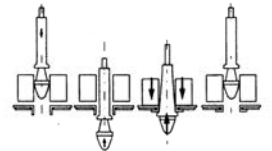
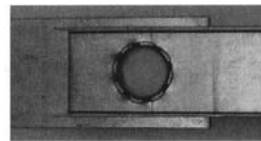


b) Hřeby pro zatláčení tlakem vzduchu

27



Spojování roznýtováním



Obsah přednášky

- Opakování
- Mechanické spojovací prostředky
- ➔ Návrh šroubového spoje
- Rozdělení sil mezi spojovací prostředky
- Shrnutí
- Aktualita – Nejvyšší budova Evropy
Slepé šroubování

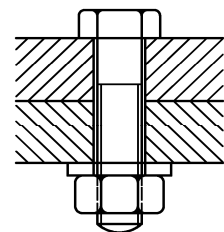


29



Šroubové spoje

- Spoje
 - nosné
 - spínací
 - těsnící



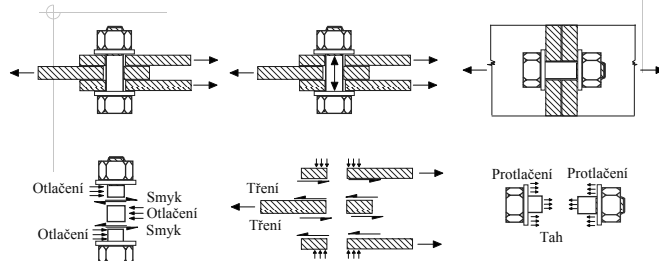
30



Nosné spoje

- **Spoje namáhané smykem**
 - Namáhané na stříh a na otláčení (kategorie A)
 - **Třecí spoje** (kategorie B, C)
 - S vysokopevnostními šrouby tříd 8.8 a 10.9
 - Se speciálně upravenými stykovými plochami
 - **Prokluz v mezním stavu použitelnosti** (kategorie B)
 - **Prokluz (a otláčení) v mezním stavu únosnosti** (kategorie C)
- **Spoje namáhané tahem**
 - **Bez kontrolovaného utažení** (kategorie D)
 - **S kontrolovaným utažením** (kategorie E)
 - s vysokopevnostními šrouby tříd 8.8 a 10.9

31

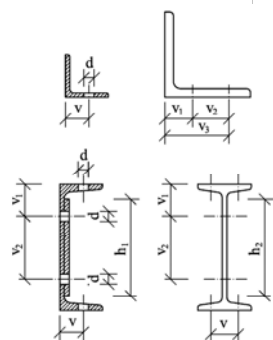


32



Rozteče šroubů

- **Důvody**
 - Statické působení
 - Velké
 - Běžné
 - Minimální
 - Montáž (nejméně 2 d; 2,5 d)
 - Ochrana proti korozi (mosty)
- **Roztečné čáry**
 - Porada kam dát jaké šrouby



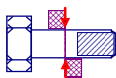
Otvory pro šrouby

- **Běžné** (prokluz není problém ale výhoda)
 - +1 mm pro M 12
 - +2 mm pro M 16 až M 24
 - +3 mm pro M 27 a větší
- **Nadměrné** (výhodné pro montáž)
 - s vůlí 3 mm (M12) až 8 mm (M27)
- **Prodloužené** (výhodné pro montáž)
 - S únosností šroubu ve směru dilatace se nepočítá
- **Přesné** - lícované šrouby (jen výjimečně)
 - pro šroub M20 musí být vůle $\Delta d < 0,3$ mm

34



Únosnost ve stříhu



Stříhová plocha prochází dřikem

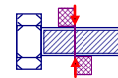
$$F_{v,Rd} = i \frac{0,6 A_s f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

- A_s plocha šroubu účinná v tahu
- f_{ub} mez pevnosti materiálu šroubu
- i počet střížných ploch
- $\gamma_{M2} = 1,25$

35



Únosnost ve stříhu



$$F_{v,Rd} = i \frac{0,5 A_s f_{ub}}{\gamma_{M2}} \quad \text{pro pevnostní třídy 4.8, 5.8, 10.9}$$

$$F_{v,Rd} = i \frac{0,6 A_s f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

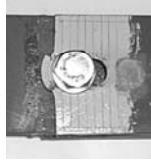
- A_s plocha jádra šroubu
- f_{ub} mez pevnosti materiálu šroubu
- i počet střížných ploch
- $\gamma_{M2} = 1,25$

36

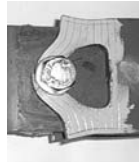


Otlačení plechů a šroubu

- Vnitřní šroub



- Krajní šroub



Všechna jiná porušení než smykem

37



Únosnost v otlačení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b d t f_u}{\gamma_{M2}}$$

Vliv roztečí šroubů

$$\alpha_b = \min \left(\frac{e_1}{3 d_0}; \frac{p_1}{3 d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right)$$

$$k_1 \leq 2,5$$

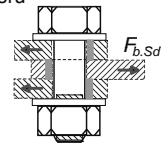
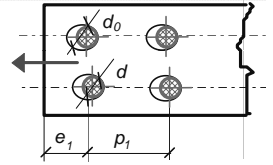
t nejmenší tloušťka plechu v jednom směru

d průměr šroubu

d_0 průměr díry

f_{ub} mez pevnosti šroubu

f_u mez pevnosti materiálu



38



Únosnost v tahu

$$F_{t,Rd} = (0,9 f_{ub} A_s) / \gamma_{M2}$$

A_s plocha šroubu účinná v tahu

γ_{M2} spočinitel spolehlivosti pro šroub

f_{ub} mez pevnosti šroubu

39



Utahování

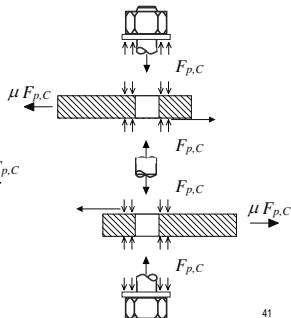
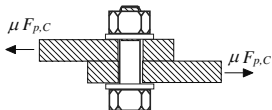
- Ruční
 - Obyčejné šrouby
 - Spoj bez předepnutí
- Kontrolované
 - Třecí spoj
 - S vysokopevnostními šrouby tříd 8.8 a 10.9

40



Třecí spoje

- Únosnost
 - Tření μ
 - Předpínací síla $F_{p,C}$
 - Velikost otvoru



41



Únosnost třecích šroubů

Únosnost proti prokluzu

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,C}$$

- předpínací síla

$$F_{p,C} = 0,7 A_s f_{ub}$$

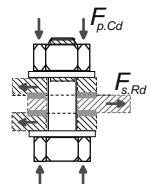
A_s plocha jádra šroubu

f_{ub} mez pevnosti materiálu šroubu

μ součinitel tření

n počet třecích ploch

$$\gamma_{M3} = 1,25$$



42



Obsah přednášky

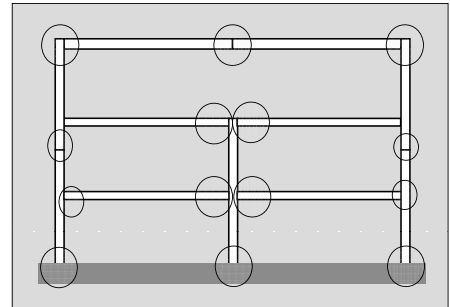
- Opakování
- Mechanické spojovací prostředky
- Návrh šroubového spoje
- ➔ Rozdělení sil mezi spojovací prostředky
- Shrnutí
- Aktualita – Nejvyšší budova Evropy
Slepé šroubování



43



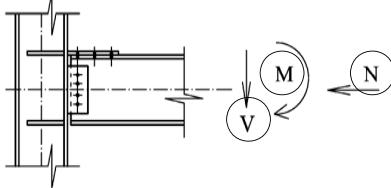
Spoje v konstrukci



44



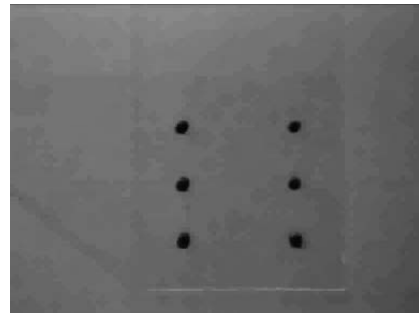
Působící vnitřní síly



45



Rozdělení sil mezi spojovacími prostředky

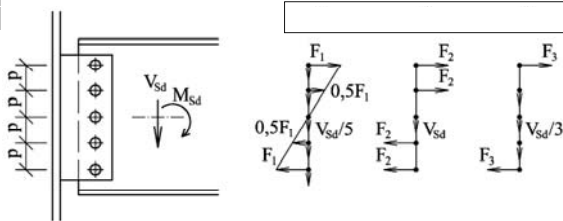


46



Rozdělení sil mezi spojovacími prostředky

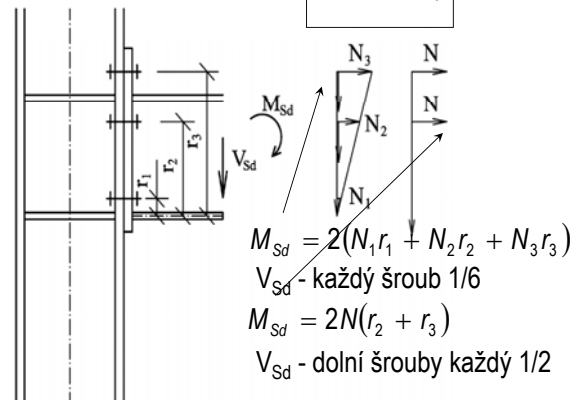
- Elastický výpočet
- Plastický výpočet
- Pružně plastický výpočet



47



Plastické rozdělení Více možných řešení



48



Obsah přednášky

- Opakování
- Mechanické spojovací prostředky
- Návrh šroubového spoje
- Rozdělení sil mezi spojovací prostředky
- ➔ Shrnutí
- Aktualita – Nejvyšší budova Evropy
Slepé šroubování

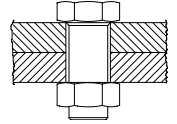


49



Mechanické spojovací prostředky

- Nýty
 - Za tepla (historie)
 - Za studena (slepé nýtování)
- ➔ Šrouby s maticí (běžné šrouby)
- Čepy
- Šrouby bez matice
- Nastřelovací hřebý
- Roznýtování materiálu



50

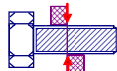


Únosnost ve stříhu

$$F_{v,Rd} = i \frac{0,5 A_s f_{ub}}{\gamma_{M2}} \quad \text{pro pevnostní třídy 4.8, 5.8, 10.9}$$

$$F_{v,Rd} = i \frac{0,6 A_s f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

- A_s plocha jádra šroubu
 f_{ub} mez pevnosti materiálu šroubu
 i počet střížných ploch
 $\gamma_{M2} = 1,25$



51



Šroubované nosné spoje

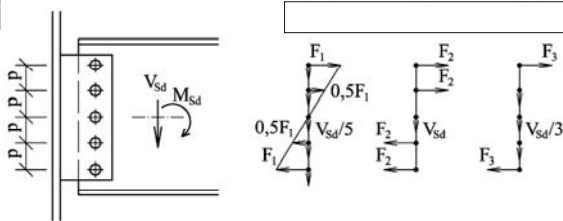
- Spoje namáhané smykem
- Třecí spoje
 - Prokluz v mezím stavu použitelnosti
 - Prokluz (a otláčení) v mezím stavu únosnosti
- Spoje namáhané tahem

52



Rozdělení sil mezi spojovací prostředky

- Elastický výpočet
- Plastický výpočet
- Pružně plastický výpočet



53



Obsah přednášky

- Opakování
- Mechanické spojovací prostředky
- Návrh šroubového spoje
- Rozdělení sil mezi spojovací prostředky
- Shrnutí



- ➔ Aktualita – Nejvyšší budova Evropy
Slepé šroubování

54



Sylabus přednášek

1. Úvod, historie ocelových konstrukcí, použití, významné stavby, výroba oceli
2. Vlastnosti oceli, zkoušky materiálu, značení oceli
3. Výroba konstrukcí
4. Spolehlivost konstrukcí, mezní stavy, normy pro navrhování, tah
5. Tlak, vzpěrný tlak
6. Klasifikace průřezů, ohyb, hospodárný návrh
7. Svařování, svařované spoje
8. Nýtování a šroubování, šroubované spoje
9. Skelety budov, prostorová tuhost
10. Skelety budov, spoje
11. Jednopodlažní haly
12. Haly velkých rozpětí
13. Mosty, názvosloví, lávky
14. Ochrana proti korozi a požáru



55

Děkuji za pozornost



56