

Příklady ověřování spolehlivosti existujících konstrukcí

Karel Jung
Kloknerův ústav, ČVUT v Praze
Oddělení spolehlivosti konstrukcí

Stanovení materiálových vlastností litiny na příkladu altánu Šlechtovy restaurace.



Obsah

- Stanovení materiálových vlastností historické litiny na příkladu altánu Šlechtovy restaurace.
- Průzkum a stanovení návrhových charakteristik existujícího ocelového nosníku bočních balkonů Stavovského divadla.
- Hodnocení spolehlivosti postranních hal Svijanské arény.
- Hodnocení stropní konstrukce státního archivu Semily.

Úvod

- Ověření materiálových vlastností
- Ověření geometrie
- Porovnání destruktivních a nedestruktivní zkoušek



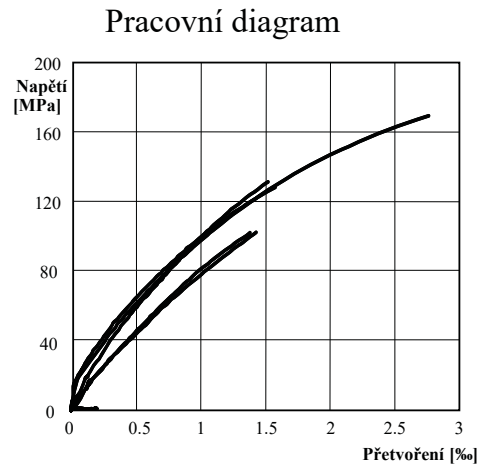
Pohled na litinové sloupy.



Poškozený kus.

Pevnost v tahu

- ČSN EN ISO 6892-1
Kovové materiály - Zkoušení tahem



Pevnost v tahu

- $f_{t,i} = \{132; 169; 102; 128; 101\}$ MPa
- Průměr $\mu_{ft} = 127$ MPa
- Variační součinitel $V_{ft} = 22 \%$
- Průměrná tažnost $\varepsilon_t = 1.7\%$
- Grubbsův test neodhalil odlehlá pozorování
- Modul pružnosti $\mu_E = 75$ GPa
- Variační součinitel pružnosti $V_E = 7.9 \%$

Charakteristická hodnota pevnosti v tahu

$$f_k = \exp(m_{\ln f} - k_n s_{\ln f}) \approx \exp(m_{\ln f} - k_n V_f)$$

ČSN 730038 tabulka 4 pro “neznámý V”

$$f_{tk} \approx \exp(m_{\ln ft} - k_5 V_{ft}) = \exp(4.824 - 2.33 \times 0.22) \approx \underline{74.5 \text{ MPa}}$$

Pevnost v tlaku

Šest vzorků o rozměrech 10×10×20 mm

$$f_{c,i} = \{785; 746; 633; 723; 675; 576\} \text{ in MPa}$$

Průměr $\mu_{fc} = 690$ MPa

Variační součinitel $V_{fc} = 9.9 \%$

Grubbsův test neodhalil odlehlá pozorování

$$\begin{aligned} f_{ck} &\approx \exp(m_{\ln fc} - k_6 V_{fc}) = \\ &= \exp(6.531 - 2.18 \times 0.099) \approx \underline{553 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

Pevnost v tlaku

$$R = f \times geo \times \zeta$$

$$V_R \approx \sqrt{(V_f^2 + V_{geo}^2 + V_\zeta^2)}$$

Symbol	Variační součinitel	Použitá hodnota	Zdůvodnění
V_{ft}	0.10 – 0.15	0.22	Hodnota stanovená z výsledků zkoušek
V_{fc}	0.10 – 0.15	0.099	Hodnota stanovená z výsledků zkoušek.
V_{geo}	0.05 – 0.10	0.05	Byly ověřeny skutečné rozměry.
V_ζ	0.05 – 0.10	0.15	S ohledem štíhlost ocelových sloupů.

Dílčí součinitelé mat. vlastnosti

$$\gamma_M = \exp(-1.645 V_f) / [\mu_\xi \exp(-\alpha_R \beta V_R)]$$

$$\gamma_{Mt} = \exp(-1.645 \times 0.22) / [1.2 \times \exp(-0.8 \times 3.8 \times 0.27)] = 1.32$$

$$\gamma_{Mc} = \exp(-1.645 \times 0.099) / [1.2 \times \exp(-0.8 \times 3.8 \times 0.20)] = 1.30$$

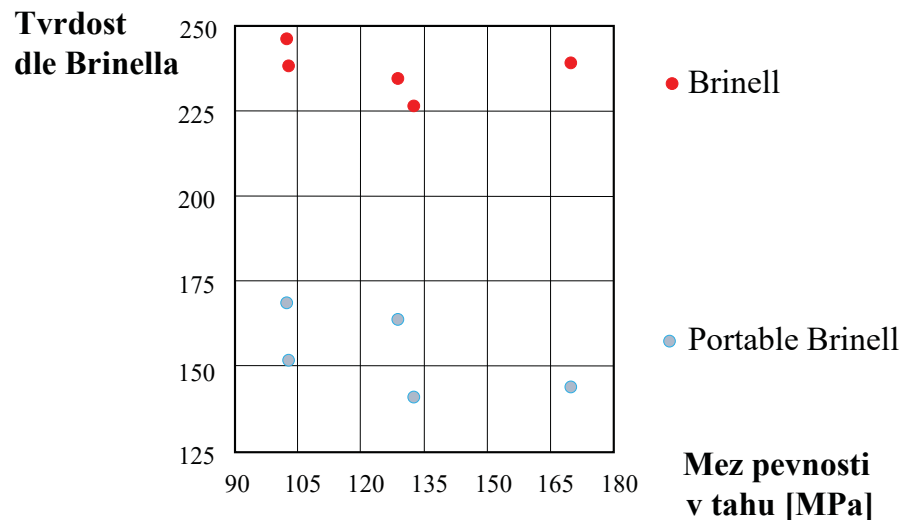
$$f_{td} = f_{tk} / \gamma_M = 74.5 / 1.32 = 56 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_M = 553 / 1.30 = 425 \text{ MPa}$$

Návrhové pevnosti litiny Tabulka 7.2 ČSN 73 0038

Prvky konstrukce	Infor. návrhové hodnoty pevnosti (MPa)	
	v tlaku	v tahu
Sloupy	100	45
Ostatní prvky	65	30

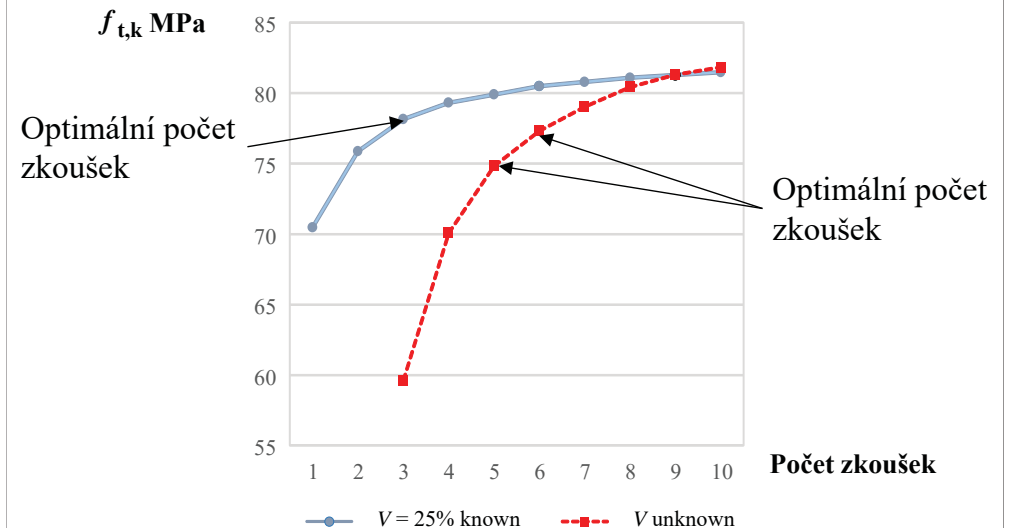
Závislost tvrdosti dle Brinella na pevnosti v tahu



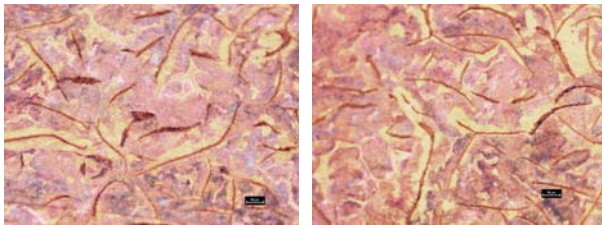
Nedestruktivní zkoušky

- Zkušební stroj (Brinell) WPM Leipzig HPO-250, $\mu_{ft} \approx 800 \text{ MPa}$ a variační součinitel $V_{ft} = 2.6 \%$.
- Přenosný tvrdoměr TH130
vhodný i pro zkoušení litiny, $\mu_{ft} \approx 820 \text{ MPa}$, variační součinitel $V_{ft} = 1.3 \%$.
- Tvrdoměr Leeb KT-C (ISO 16859) $\mu_{ft} \approx 420 \text{ MPa}$, variační součinitel $V_{ft} = 5.7 \%$.
- Vyhodnocení pevnosti dle ISO 18265
- NDT metody pro ověřování materiálových vlastností litin selhávají

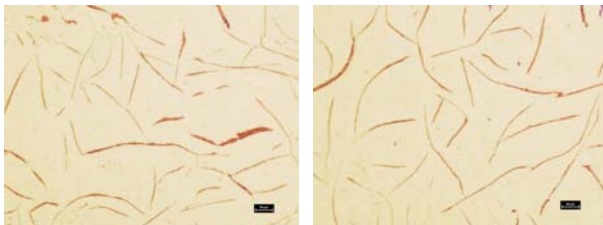
Závislost odhadu pevnosti na počtu zkoušek



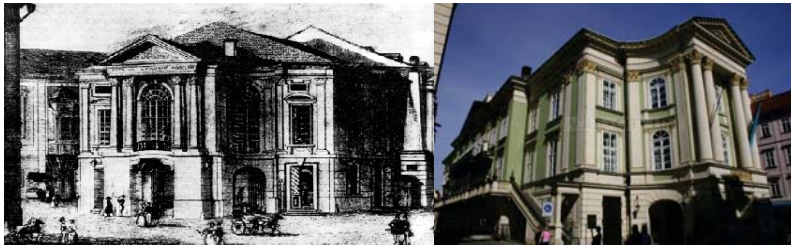
Mikroskopická struktura litiny



Feriticko-perlitická struktura. Větší podíl perlitu.



Jedná o litinu s lupínkovým grafitem. Rozložení je smíšené.



PRŮZKUM A STANOVENÍ NÁVRHOVÝCH CHARAKTERISTIK EXISTUJÍCÍHO OCELOVÉHO NOSNÍKU BOČNÍCH BALKONŮ STAVOVSKÉHO DIVADLA

Karel Jung, Jana Markova, Petr Pokorný and Miroslav Sykora

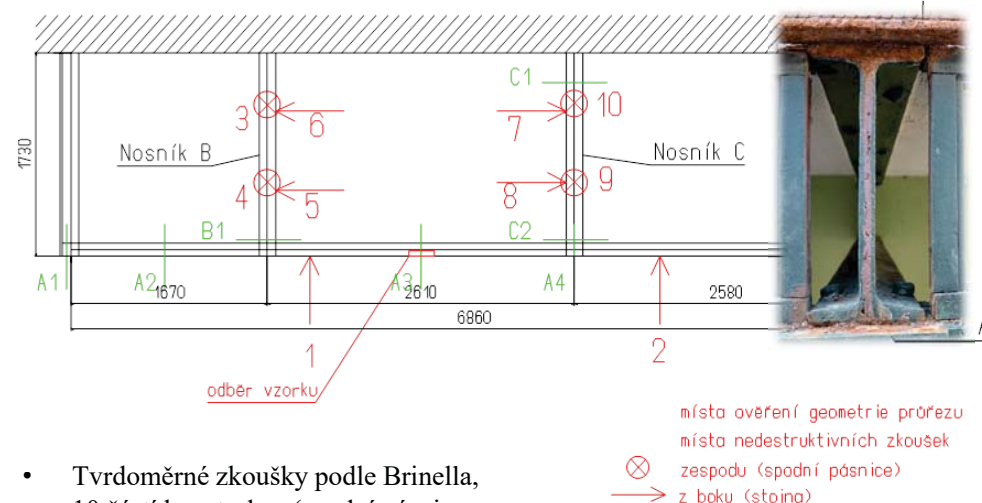
Závěry

- Hodnoty informativních materiálových vlastností v ČSN 730038 se zdají být konzervativní a je doporučeno stanovit materiálové vlastnosti na základě zkoušek.
- Nedestruktivní tvrdoměrné zkoušky selhávají v případě litinových konstrukcí.
- Nedestruktivní tvrdoměrné zkoušky musí být vždy doplněny destruktivní zkouškou.
- Tvrdoměrné zkoušky mohou být využity pro ověření homogenity materiálových vlastností.

Balkón Stavovského divadla



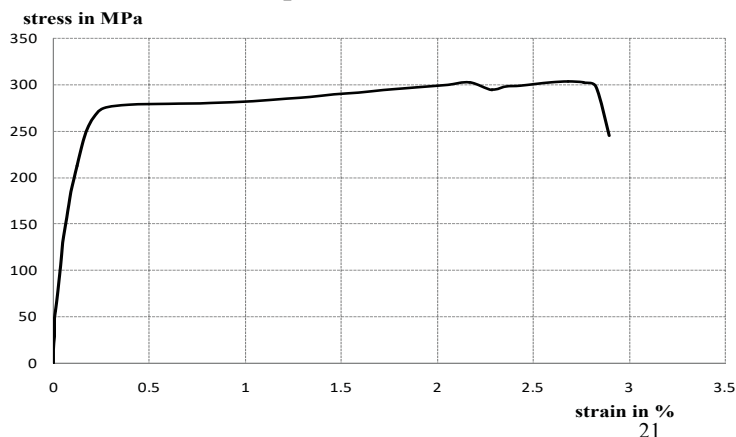
- Stanovení skutečných materiálových a ověření geometrických vlastností nosníku (svářkové železo)
 - mez kluzu
 - pevnost
- Materiálové vlastnosti pro hodnocení byly stanoveny na základě **jedné** tahové zkoušky podle ČSN EN ISO 6892-1
- Byly provedeny nedestruktivní zkoušky tvrdosti podle Brinella v souladu s ČSN EN ISO 6506-1
- Chemická a mikroskopická analýza



- Tvrdoměrné zkoušky podle Brinella, 10 částí konstrukce (spodní pásnice a stěny nosníků)

Tahová pevnost

- Mez kluzu: $f_y = 275$ MPa pro 0.2%
- Mez pevnosti: $f_u = 304$ MPa
- Tažnost $\epsilon_u = 5.1\%$
- Modul pružnosti $E = 127$ GPa



Charakteristická hodnota

Lognormální rozdělení

$$X_k = \exp(m_{\ln X} - k_n s_{\ln X}) \approx \exp(m_{\ln X} - k_n V_X)$$

Jedna zkouška ($n = 1$) a známý V_X v viz. ČSN 730038 nebo Příloze D Eurokódu EN 1990
 $k_n = 2,31$:

$$f_{yk} \approx \exp[\ln(275) - 2,31 \times 0,125] = \mathbf{206 \text{ MPa}}$$

$$f_{uk} \approx \exp[\ln(304) - 2,31 \times 0,125] = \mathbf{228 \text{ Mpa}}$$

$$f_{yd} \approx f_{yk} / \gamma_M = 206 / 1.26 = \mathbf{163 \text{ MPa}}$$

$$f_{ud} \approx f_{uk} / \gamma_M = 228 / 1.26 = \mathbf{181 \text{ MPa}}$$

Úprava dílčích součinitelů

Podle kapitoly 10.6.2 ČSN 73 0038 lze dílčí součinitel pro pevnost materiálu (odolnost konstrukce) vyjádřit vztahem:

$$\gamma_M = \exp(-1,645V_X) / \exp(-\alpha_R \beta V_R)$$

$$= \exp(-1,645 \times 0,125) / \exp(-0,8 \times 3,8 \times 0,144) = 1,26$$

- $\alpha_R = 0,8$ je součinitel citlivosti pro hlavní veličinu odolnosti podle ČSN EN 1990 a ČSN ISO 13822 ,
- $\beta = 3,8$ je směrná hodnota indexu spolehlivosti ,
- variační koeficient odolnosti V_R .

23

Návrhové hodnoty

Příloha D ČSN EN 1990 umožňuje stanovit návrhovou hodnotu vlastnosti přímo i na základě jednoho pozorování. Pro jedno pozorování a známý V_X uvádí tabulka D.2

$$k_n = 4,63:$$

$$f_{yd} \approx \exp[\ln(275) - 4,63 \times 0,125] = \mathbf{154 \text{ MPa}};$$

$$f_{ud} \approx \exp[\ln(304) - 4,63 \times 0,125] = \mathbf{170 \text{ MPa}}$$

K modelovým a geometrickým nejistotám lze přihlídnout použitím součinitele modelových a geometrických nejistot

$$\gamma_{Rd} \approx 1,05:$$

$$f_{yd} \approx 154 / 1,05 = \mathbf{147 \text{ MPa}};$$

$$f_{ud} \approx 170 / 1,05 = \mathbf{162 \text{ MPa}}$$

25

Variační součinitel V_R

$$R = \xi \times geo \times X$$

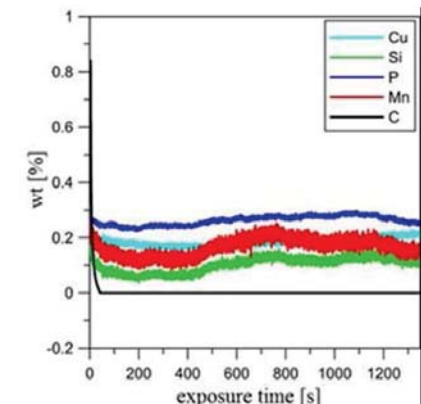
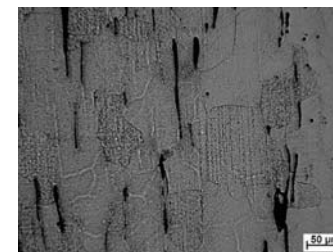
- geometrické veličině geo (plocha průřezu pro tlak a smyk, modul průřezu pro ohyb)
- modelových nejistotách ξ
- pevnosti X

$$V_R \approx \sqrt{(V_X^2 + V_{geo}^2 + V_\xi^2)} = \sqrt{(0,0156 + 0,025 + 0,025)} = 0,144$$

Sym bol	Rozsah podle ČSN 73 0038 [3]	Zvolená hodnota	Odůvodnění
V_X	0,10 - 0,15	0,125	Uvedený interval může poskytovat pro stavbu z homogenního materiálu a kvalitnějšího svařkového železa velmi konzervativní hodnoty [9]. Vzhledem k nedostatku průkazných tahových zkoušek se volí střední hodnota pro pevnost materiálu i mez kluzu.
V_{geo}	0,05 - 0,10	0,05	Byly ověřeny skutečné rozměry nosníku.
V_ξ	0,05 - 0,10	0,05	Volí se dolní mez intervalu, která odpovídá nejistotám při stanovení ohybové a smykové únosnosti ocelových nosníků [14]. Jedná se o konzervativní volbu vzhledem k systematickému podhodnocování únosnosti, pokud model odolnosti vychází z meze kluzu a spolehlivost není ovlivněna možnou ztrátou stability.

Chemická a mikroskopická analýza

- Mikrotrhliny v podélném směru
- Nulový obsah uhlíku



Prvek	Obsah (%)	Prvek	Obsah (%)	Prvek	Obsah (%)	Prvek	Obsah (%)
Mg	0.023	Mn	0.266	Si	0.414	Cu	0.157
Al	0.030	Fe	98.875	P	0.125	Zn	0.013
S	0.022	As	0.030	Ca	0.016		

Závěry

- Charakteristiky pro ověření spolehlivosti jsou:
 - odhad charakteristické hodnoty meze kluzu odpovídající protažení 0,2 % - $f_{yk} \approx 206$ MPa,
 - dílčí součinitel materiálu pro ověření únosnosti v ohybu, smyku a tlaku - $\gamma_M \approx 1,26$,
 - odhad návrhové hodnoty $f_{yd} \approx 163$ MPa,
 - sečný modul pružnosti - $E = 127$ GPa.
- Na základě ověření tvrdoměrnou metodou podle Brinella lze považovat materiál nosníků A, B a C za stejný a homogenní.
- Eurokód doporučuje minimálně 3 zkoušky.

28



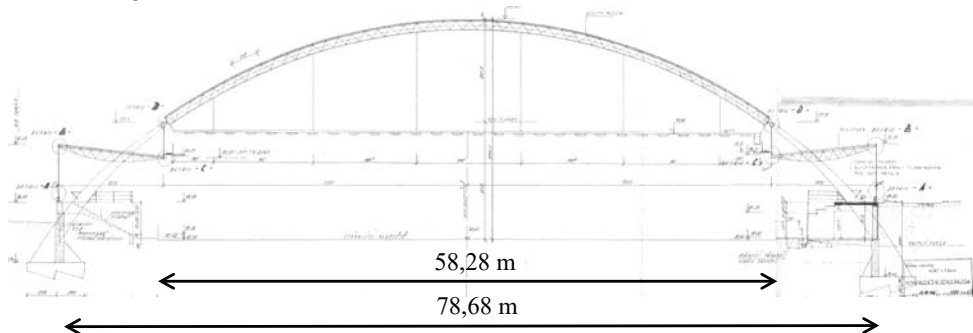
Hodnocení spolehlivosti postranních hal Svijanské arény

Karel Jung, Jana Marková a Bureš Vladislav

30

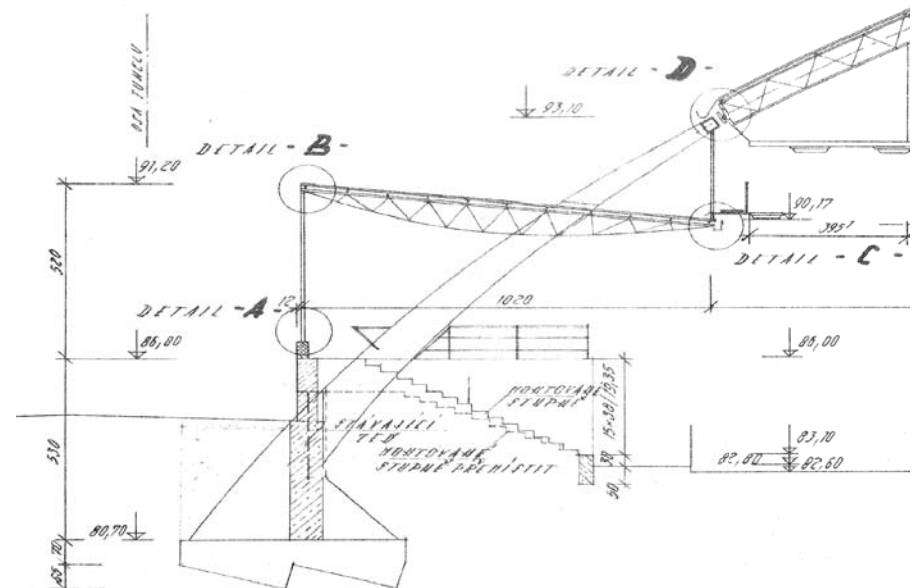
Úvod

- Zastřešení hlavní haly je řešeno ocelovou dvoukloubovou klenbou
- Klenba opřena v patkách do železobetonových opěr
- Klenba má teoretické rozpětí 58,28 m
- Projektováno a realizováno 1965



31

Zastřešení postranních hal



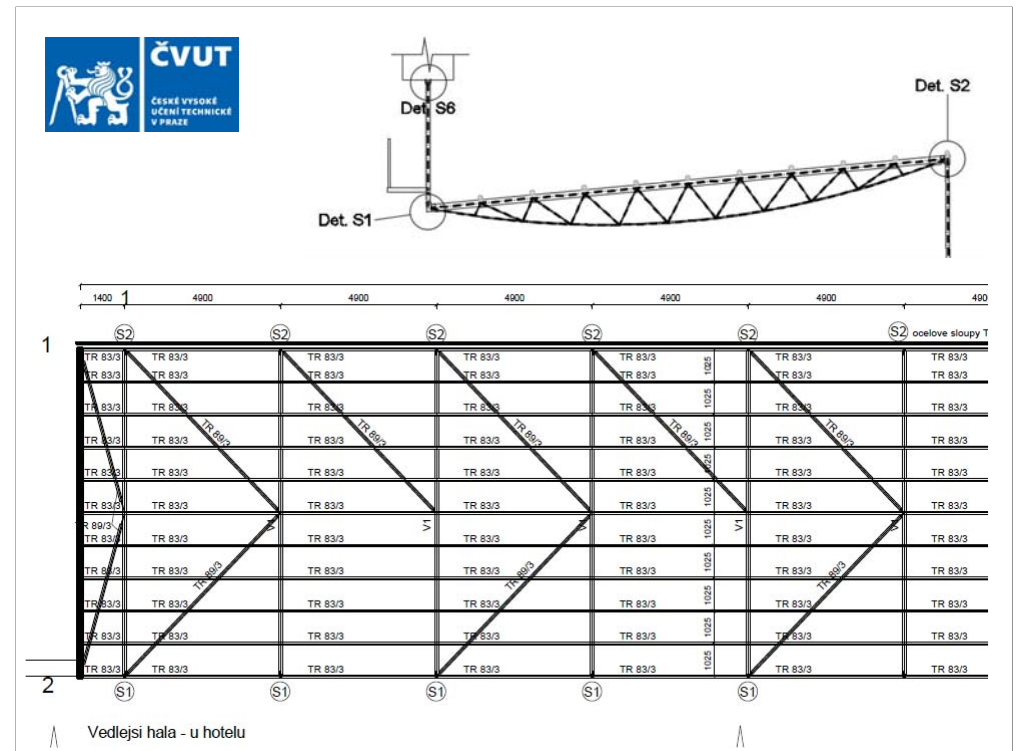
Provedené průzkumy

- Stavebně technický průzkum stavu nosných konstrukcí podle ISO 13822 a ČSN 73 0038
- Kontrola deformací, koroze a známek přetížení
- Nedestruktivní zkoušky tvrdosti podle Brinella pro ověření homogenity materiálu nosníků (ČSN EN ISO 6506-1) - $f_y = 270-280$ MPa, uvažovaná ocel S235
- Endoskopický průzkum trubek

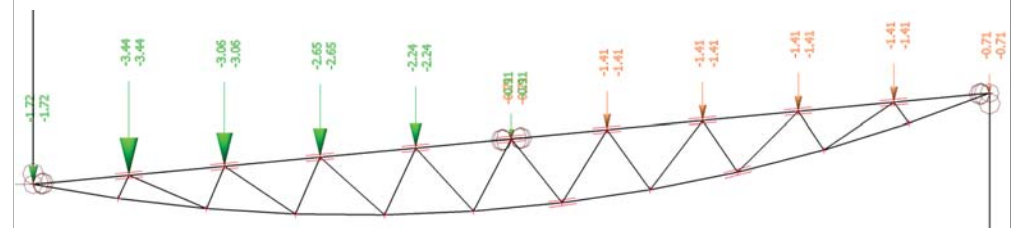


Zatížení sněhem a přetížení izolací

- Původní zatížení sněhem - ČSN 73 1310 Zatížení stavebních konstrukcí z roku 1958 - $0,75$ kN/m².
- Nové zatížení sněhem - ČSN EN 1991-1-3 Zatížení konstrukcí sněhem - $1,72$ kN/m².
- Hromadění sněhu na střechách postranních hal - součinitel $\mu = 2$ ($3,44$ kN/m²).
- Sjíždění sněhu z vyšší střechy se neuvažuje s ohledem na sněhové zachytávače.
- Tepelná izolace střechy významně přitížila konstrukci v důsledku zvýšené vlhkosti.

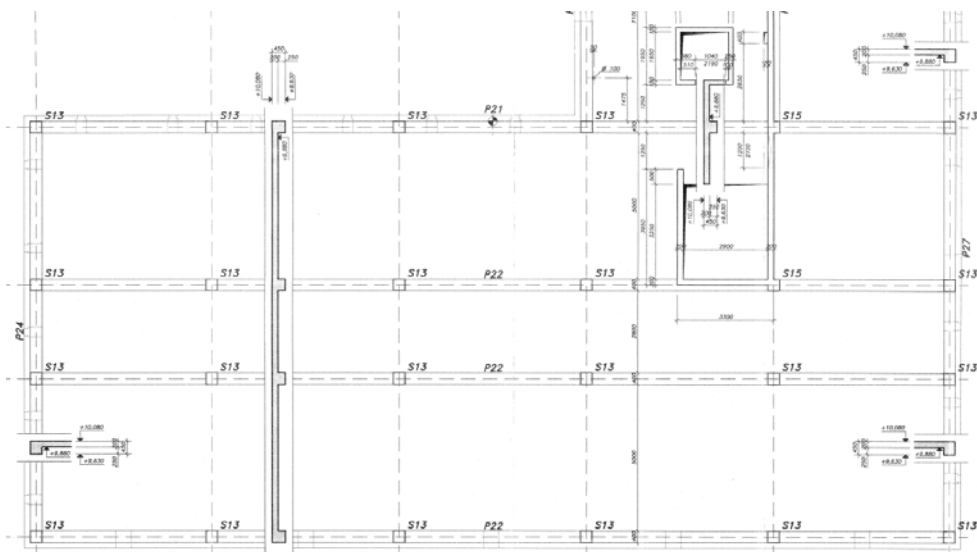
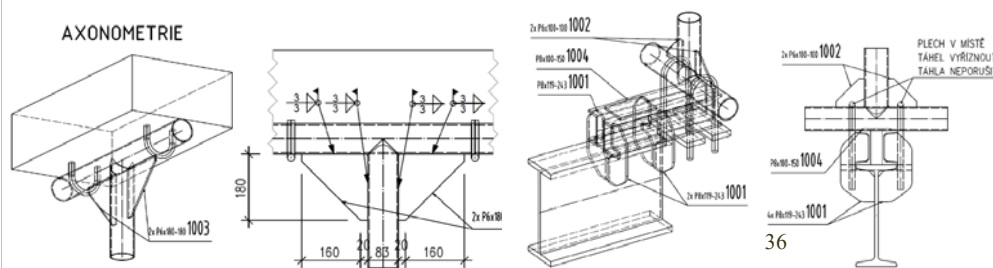


Využití hlavních prutů – zatížení sněhem dle aktuálně platné normy ($3,44$ kN/m²)



Horní pas vazníku	112 %	NEVYHOVUJE
Dolní pas vazníku	147 %	NEVYHOVUJE
Diagonála vazníku	200 %	NEVYHOVUJE
Vaznice	242 %	NEVYHOVUJE

- Konstrukce nevyhoví pro zatížení střechy sněhem podle současné platné nomy (3,44 kN/m²).
- Konstrukce vyhoví pro zatížení střechy sněhem do hodnoty 1,1 kN/m².
- Při výskytu většího zatížení sněhem je nutno sníh odklízet (uplatňuje se Provozně metodický pokyn pro odklizení sněhu ze střechy).
- Některé styčníky konstrukce bylo nutno zesílit.

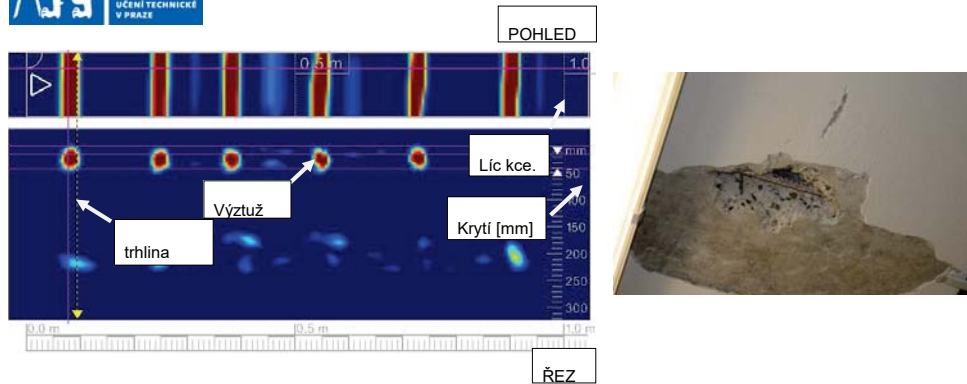


Ověřování stropní konstrukce státní archiv Semily



- Odběr jádrových vývrtů - zkoušky betonu
- Ověření skutečných vlastností výztuže
- Ověření polohy výztuže

Ověření polohy výztuže



- Přístroj HILTI PS 1000 pracuje na principu vysílání elektromagnetických pulzů do konstrukce.
- Přesnost indikace hloubky menší než 100mm je $\pm 10\text{mm}$. Při hloubce nad 100mm je přesnost $\pm 15\%$.
- Maximální detekční hloubkou 300 mm.

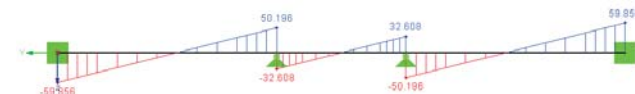
Závěry

- Stropní konstrukce v depotech archivu vyhoví pro zatížení odpovídající charakteristické hodnotě užitého zatížení do 10 kN/m^2 .
- Stropní desky nemají dostatečnou nosnou způsobilost na možnost využití vícekapacitních mobilních skladovacích regálů.
- Uspořádání a poloha výztuže nespĺňuje konstrukční požadavky – chybí roznášecí výztuž, vyšší krytí.
- Podlaha z betonové mazaniny není vyztužena, takže se nepodílí na roznášení těžkých lokálních zatížení od regálů v depotech.
- Doporučilo se a probíhá monitorování trhlin.

Posouzení



- Navržená výztuž $6 \text{ } \varnothing \text{ V12}$, tedy $A_{s2} = 678 \text{ mm}^2$, takže požadovaná plocha dolní výztuže $A_{s, \text{req}} = 511 \text{ mm}^2$ je splněna.



- Železobetonová deska splňuje podmínku spolehlivosti na smykovou odolnost betonu 90 kN .



www.klok.cvut.cz/projekt-naki/

Děkuji za pozornost!