



1 2015
ročník 15

**Vysoká škola báňská -
Technická univerzita Ostrava**

SBORNÍK
vědeckých prací Vysoké školy báňské -
Technické univerzity Ostrava
Řada stavební

TRANSACTIONS
of the VŠB - Technical University
of Ostrava
Civil Engineering Series

ISSN 1213-1962

BALÁZS Ivan, MELCHER Jindřich

STABILITA TENKOSTĚNNÝCH NOSNÍKŮ S PŘÍČNÝM SPOJITÝM PODEPŘENÍM 1

KROPÁČEK Michal, ŠAFRATA Jiří

OBJEMOVÉ ZMĚNY CEMENTŮ Z RŮZNÝCH LOKALIT V ZÁVISLOSTI NA ČASE 11

LABUDKOVÁ Jana, ČAJKA Radim

ANALÝZA INTERAKCE ZÁKLAD-PODLOŽÍ S VYUŽITÍM NEHOMOGENNÍHO
POLOPROSTORU NA BÁZI MKP 21

RUDOLF Vlastimil, PEŘINKOVÁ Martina

OBNOVA PAMÁTKOVÝCH ZÓN – MOŽNOSTI A OBJEM FINANČNÍ PODPORY
KULTURNÍHO DĚDICTVÍ VE VYBRANÝCH OBDOBÍCH V ČESKÉ REPUBLICE
A V OLOMOUCKÉM KRAJI 31

SZELIGOVÁ Natálie, ENDEL Stanislav, FURDÍK Juraj

INVENTARIZACE A ANALÝZA BROWNFIELDS NA ÚZEMÍ MĚSTA KARVINÁ 41

ŠEVČÍK Pavel, ŠEVČÍKOVÁ Hana

BUDOUCÍ POTŘEBA BYTŮ V ČR DO ROKU 2020 49

VONDRA Milan

EKONOMICKÉ A CELOSPOLEČENSKÉ HODNOCENÍ ASPEKTU VÝSTAVBY
DOMŮ SPLŇUJÍCÍCH POŽADAVKY NA UDRŽITELNÝ ROZVOJ 57

BZÓWKA Joanna, JUZWA Anna, WANIK Konrad, WANIK Lidia, ŽYREK Tomasz

DISCUSSION ON THE INFLUENCE OF VARIOUS TECHNOLOGICAL
PARAMETERS ON JET GROUTING COLUMNS GEOMETRY 69

JAŠEK Marek, KUBENKOVÁ Kateřina, RUDIŠIN Róbert, KAMENSKÝ Martin

EKONOMICKÁ NÁROČNOST ZALOŽENÍ ZDĚNÉHO PASIVNÍHO DOMU NA
GRANULÁTU Z PĚNOVÉHO SKLA 75

KOTEK Peter, KOVÁČ Matúš

VPLYV TEXTÚRY POVRCHU VOZOVKY A TYPU MERACEJ PNEUMATIKY
NA HODNOTY SÚČINITELĽA TREŇIA 83

KOVÁČ Matúš, KOTEK Peter, DECKÝ Martin

KONVENČNÉ A NEKONVENČNÉ ZARIADENIA NA MERANIE MAKROTEXTÚRY
POVRCHU VOZOVKY 91

Ivan BALÁZS¹, Jindřich MELCHER²

STABILITA TENKOSTĚNNÝCH NOSNÍKŮ S PŘÍČNÝM SPOJITÝM PODEPŘENÍM

STABILITY OF THIN-WALLED BEAMS WITH LATERAL CONTINUOUS RESTRAINT

Abstrakt

Kovové tenkostěnné nosníky jsou běžně používány jako součásti nosných konstrukcí. Jejich odolnost je zpravidla limitována vyčerpáním vzpěrné únosnosti v důsledku stabilitních problémů. Může být zvýšena v případě, kdy je tenkostěnný průřez příčně podepřen např. pomocí prvků opláštění nebo stropní konstrukce. Příspěvek se zabývá možnostmi výpočtu kritického zatížení potřebného pro stanovení vzpěrné únosnosti ohýbaných tenkostěnných nosníků s příčným spojitým podepřením.

Klíčová slova

Klopení, kritické zatížení, metoda sítí, numerická analýza, stabilita, tenkostěnný nosník.

Abstract

Metal beams of thin-walled cross-sections have been widely used in building industry as members of load-bearing structures. Their resistance is usually limited by lateral torsional buckling. It can be increased in case a beam is laterally supported by members of cladding or ceiling construction. The paper deals with possibilities of determination of critical load of thin-walled beams with lateral continuous restraint which is crucial for beam buckling resistance assessment.

Keywords

Critical load, finite difference method, lateral torsional buckling, numerical analysis, stability, thin-walled beam.

1 ÚVOD

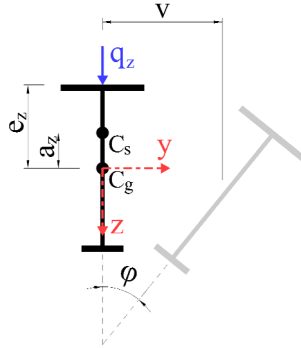
Odolnost štíhlých kovových ohýbaných nosníků tenkostěnného průřezu, které nejsou po délce příčně podepřeny, je zpravidla limitována ztrátou příčné a torzní stability. V případě, že jsou tyto nosníky použity např. jako vaznice nebo paždíky, mohou k nim být připojeny plošné prvky střešního nebo stěnového opláštění, které pro průřez tvoří příčnou vazbu. Toto příčné podepření brání přetvoření příčného řezu nosníku a přispívá tak ke zvýšení jeho vzpěrné únosnosti. Správné započítání vlivu příčného podepření může vést k hospodárnějšímu návrhu průřezu nosníku. Příspěvek se zaměřuje na možnosti stanovení kritického zatížení tenkostěnných kovových nosníků s příčným spojitým podepřením. Je popsána numerická metoda výpočtu kritického zatížení spojitě příčně podepřeného nosníku a výsledky jsou porovnány s hodnotami získanými pomocí programového systému na bázi metody konečných prvků.

¹ Ing. Ivan Balázs, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně, Veveří 331/95, 602 00 Brno, tel.: (+420) 541 147 329, e-mail: balazs.i@fce.vutbr.cz.

² Prof. Ing. Jindřich Melcher, DrSc., Ústav kovových a dřevěných konstrukcí, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně, Veveří 331/95, 602 00 Brno, tel.: (+420) 541 147 300, e-mail: melcher.j@fce.vutbr.cz.

2 ZTRÁTA PŘÍČNÉ A TORZNÍ STABILITY IDEÁLNÍHO NOSNÍKU BEZ PŘÍČNÉHO PODEPŘENÍ

Jev ztráty příčné a torzní stability ideálního samostatného nosníku bez příčného podepření je charakterizován celkovým nadměrným prostorovým přetvořením prutu z roviny ohybu [1]. Celková prostorová deformace má dvě složky – příčné posunutí průřezu v a jeho natočení φ . Ilustrace tohoto jevu na příkladu příčného řezu jednoose symetrického průřezu je znázorněna na Obr. 1, kde q_z je svislé zatížení (v rovině XZ), C_g označuje těžiště průřezu, C_s střed smyku, kóta a_z je vzdálenost těžiště od středu smyku a kóta e_z označuje vzdálenost působíště zatížení od těžiště průřezu. Tlačená část průřezu má snahu vybočit z roviny ohybu.



Obr. 1: Ztráta příčné a torzní stability ideálního nosníku

Na křivce zatížení – deformace potom existuje určitý bod, kdy ideální nosník ztratí stabilitu (bifurkace rovnováhy). Tomuto bodu přísluší určitá hodnota kritického zatížení, resp. kritického momentu M_{cr} . Hledání kritického zatížení ideálního nosníku řešil Vlasov, který odvodil diferenciální rovnice stability libovolného tenkostěnného prutu otevřeného průřezu namáhaného současně ohybem a osovou silou [2]. Po úpravě pro prut namáhaný pouze ohybem je problém definovaný pomocí dvou homogenních diferenciálních rovnic čtvrtého řádu (1) a (2) a příslušných okrajových podmínek. Zde jsou uvedeny okrajové podmínky pro prut prostě uložený v ohybu i v kroucení (3) a pro prut vetknutý v ohybu i kroucení (4) [1]:

$$EI_z v^{IV} + (M_y \varphi)'' = 0, \quad (1)$$

$$EI_\omega \varphi^{IV} - GI_t \varphi'' - 2b_z (M_y \varphi)' + q_z (e_z - a_z) \varphi + M_y v'' = 0, \quad (2)$$

$$v(0) = v(L) = 0, v''(0) = v''(L) = 0, \varphi(0) = \varphi(L) = 0, \varphi''(0) = \varphi''(L) = 0, \quad (3)$$

$$v(0) = v(L) = 0, v'(0) = v'(L) = 0, \varphi(0) = \varphi(L) = 0, \varphi'(0) = \varphi'(L) = 0, \quad (4)$$

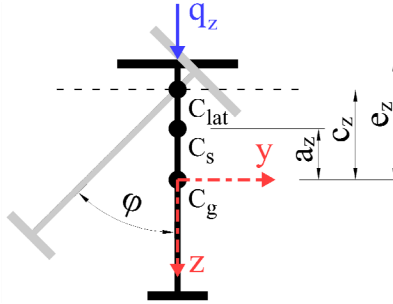
kde E je modul pružnosti v tahu a tlaku, G modul pružnosti ve smyku, I_z moment setrvačnosti k ose z , I_ω výsečový moment setrvačnosti, I_t moment setrvačnosti v prostém kroucení, q_z je svislé zatížení působící v rovině XZ, M_y ohybový moment v téže rovině, v a φ neznámé funkce přetvoření a b_z je tzv. charakteristická úsečka průřezu. Vztah pro její určení lze nalézt např. v [1]. Aktuálně platná norma [3] používá pro tuto hodnotu označení z_j .

Z matematického hlediska je kritické zatížení dáno řešením problému vlastní hodnoty diferenciálních rovnic (1) a (2) s příslušnými okrajovými podmínkami. Odvozený vztah pro kritický moment samostatného ohýbaného prutu alespoň jednoose symetrického průřezu zatíženého příčným zatížením procházejícím středem smyku je k dispozici např. v normě [3].

3 ZTRÁTA PŘÍČNÉ A TORZNÍ STABILITY IDEÁLNÍHO NOSNÍKU S PŘÍČNÝM SPOJITÝM PODEPŘENÍM

Předpokládejme, že ohýbaný nosník je ve vzdálenosti c_z od těžiště (v bodě C_{lat}) po délce spojitě příčně zajištěn podélným podepřením, které v tomto bodě brání příčnému posunutí průřezu.

V místě podepření je tak průřezu vnucena osa otáčení [1]. Situace je znázorněna na Obr. 2. Předpokládejme dále, že příčné podepření je dokonale tuhé a nosník má rozpětí L . Uvažujme ideální nosník, tedy nosník dokonale přímý, bez počátečních nahodilých odchylek.



Obr. 2: Ztráta příčné a torzní stability po délce spojitě podepřeného ideálního nosníku

3.1 Určení kritického zatížení

Vzhledem k tomu, že příčnému posunutí průřezu je zabráněno, jedinou neznámou funkcí přetvoření je úhel natočení (zkroucení) φ a diferenciální rovnice (1) a (2) doznají určitých úprav. Výsledkem je jedna homogenní diferenciální rovnice čtvrtého řádu (5) [1] (obecně s nekonstantními koeficienty) s okrajovými podmínkami (6) pro prosté uložení v kroucení a (7) pro vetknutí v kroucení:

$$\left[EI_{\omega} + EI_z (c_z - a_z)^2 \right] \varphi^{IV} - GI_t \varphi'' + 2(c_z - a_z - b_z)(M_y \varphi')' + q_z (e_z - c_z) \varphi = 0, \quad (5)$$

$$\varphi(0) = \varphi(L) = 0, \varphi''(0) = \varphi''(L) = 0, \quad (6)$$

$$\varphi(0) = \varphi(L) = 0, \varphi'(0) = \varphi'(L) = 0, \quad (7)$$

kde q_z je hledaná hodnota zatížení, při kterém nastane ztráta stability (kritické zatížení). Z matematického hlediska se jedná o problém vlastní hodnoty, zde konkrétně o tzv. Sturm-Liouvilleův problém vlastní hodnoty diferenciální rovnice čtvrtého řádu [4]. Funkce φ je derivována podle x . Řešení tohoto složitého problému je možné pomocí kombinace některých numerických metod, např. pomocí metody sítí (tzv. metody konečných diferencí) a inverzní mocninné metody, které lze snadno algoritmizovat.

Rovnici (5) nejprve upravme na tvar (8):

$$A \varphi^{IV} - B \varphi'' + C M_y' \varphi'' = q_z D \varphi, \quad (8)$$

kde

$$A = \left[EI_{\omega} + EI_z (c_z - a_z)^2 \right], \quad (9)$$

$$B = GI_t, \quad (10)$$

$$C = 2(c_z - a_z - b_z), \quad (11)$$

$$D = (c_z - e_z). \quad (12)$$

Rovnice (8) bude použita jako výchozí pro hledání vlastní hodnoty (tedy kritického zatížení). Interval $<0; L>$ (rozpětí nosníku) rozdělme s krokem h pomocí $N - 1$ ekvidistantních uzlů x_i na N subintervalů tak, že $0 = x_0 < x_1 < \dots < x_{N-1} < x_N = L$, kde $x_i = ih$ a $h = 1 / N$ (Obr. 3). Každému uzlu x_i odpovídá příslušná hodnota hledané funkce φ_i . Z okrajových podmínek (6) i (7) vyplývá, že $\varphi_0 = \varphi(0) = 0$ a $\varphi_N = \varphi(L) = 0$.

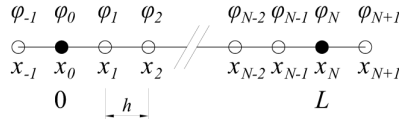
Zavedme první (13), druhou (14) a čtvrtou (15) centrální diferencí pro aproximaci první, druhé a čtvrté derivace:

$$f'_i = \frac{\varphi_{i+1} - \varphi_{i-1}}{2h}, \quad (13)$$

$$f''_i = \frac{\varphi_{i+1} - 2\varphi_i + \varphi_{i-1}}{h^2}, \quad (14)$$

$$f^{IV}_i = \frac{\varphi_{i+2} - 4\varphi_{i+1} + 6\varphi_i - 4\varphi_{i-1} + \varphi_{i-2}}{h^4}. \quad (15)$$

Aplikace centrálních diferencí na uzly x_0 a x_N vede k potřebě určení funkčních hodnot ve fiktivních uzlech $x_{-1} = -h$ a $x_{N+1} = L + h$. Tyto funkční hodnoty φ_{-1} a φ_{N+1} lze určit z okrajových podmínek. Pro prosté uložení při aplikaci okrajových podmínek (6) jsou určeny funkční hodnoty ve fiktivních uzlech jako $\varphi_{-1} = -\varphi_1$ a $\varphi_{N+1} = -\varphi_{N-1}$. Pro vetknutí při uplatnění okrajových podmínek (7) jsou získány funkční hodnoty $\varphi_{-1} = \varphi_1$ a $\varphi_{N+1} = \varphi_{N-1}$. Funkční hodnoty v uzlech x_1 až x_{N-1} jsou neznámé.



Obr. 3: Diferenční schéma

Pro každý z uzlů x_i , kde $i = 1, \dots, N-1$ sestavíme rovnici (16) dosazením centrálních diferencí (14) a (15) do rovnice (8) místo druhé a čtvrté derivace:

$$A\varphi_i^{IV} - B\varphi_i'' + CM'_{yi}\varphi_i' = q_z D\varphi_i. \quad (16)$$

Tato úprava vede na soustavu $N-1$ algebraických rovnic, maticově zapsanou výrazem (17):

$$\begin{vmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} & & & \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} & \dots & & \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} & \dots & \dots & \\ & K_{42} & K_{43} & \dots & \dots & \dots \\ & & K_{53} & \dots & \dots & \dots & K_{N-5,N-3} \\ & & & \dots & \dots & \dots & K_{N-4,N-3} & K_{N-4,N-2} \\ & & & & \dots & \dots & K_{N-3,N-3} & K_{N-3,N-2} & K_{N-3,N-1} \\ & & & & & \dots & K_{N-2,N-3} & K_{N-2,N-2} & K_{N-2,N-1} \\ & & & & & & K_{N-1,N-3} & K_{N-1,N-2} & K_{N-1,N-1} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \\ \dots \\ \dots \\ \varphi_{N-3} \\ \varphi_{N-2} \\ \varphi_{N-1} \end{vmatrix} = q_z D h^4 \begin{vmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \\ \dots \\ \dots \\ \varphi_{N-3} \\ \varphi_{N-2} \\ \varphi_{N-1} \end{vmatrix} \quad (17)$$

Jednotlivé prvky matice soustavy jsou dány následujícími vyjádřeními:

$$K_{i+2,i} = K_{i,i+2} = A \quad \text{pro } i = 1, \dots, N-3, \quad (18)$$

$$K_{i+1,i} = -4A + S_{i+1} \quad \text{pro } i = 1, \dots, N-2, \quad (19)$$

$$K_{i,i+1} = -4A + S_i \quad \text{pro } i = 1, \dots, N-2, \quad (20)$$

$$K_{i,i} = 6A - 2S_i \quad \text{pro } i = 2, \dots, N-2. \quad (21)$$

U prvků $K_{1,1}$ a $K_{N-1,N-1}$ se uplatní vliv okrajových podmínek (jedná se o koncové uzly řešeného intervalu, a sice $x_0 = 0$ a $x_N = L$). Pro prosté uložení platí výraz (22), pro vetknutí výraz (23).

$$K_{i,i} = 5A - 2S_i \quad \text{pro } i = \{1; N-1\}, \quad (22)$$

$$K_{i,i} = 7A - 2S_i \quad \text{pro } i = \{1; N-1\}. \quad (23)$$

Výraz S_i ve výše uvedených vztazích je dán vyjádřením (24):

$$S_i = h^2 (CM'_{yi} - B). \quad (24)$$

Výraz (17) lze zapsat takto (tučně vytištěné symboly značí vektory):

$$K \boldsymbol{\varphi} = q_z D h^4 \boldsymbol{\varphi}, \quad (25)$$

kde

$$\boldsymbol{\varphi} = [\varphi_1 \ \varphi_2 \ \varphi_3 \ \dots \ \varphi_{N-3} \ \varphi_{N-2} \ \varphi_{N-1}]^T, \quad (26)$$

a dále upravit na tvar (27):

$$G \boldsymbol{\varphi} = q_z \boldsymbol{\varphi}, \quad (27)$$

kde matice G je dána vztahem (28):

$$G = \frac{K}{Dh^4}. \quad (28)$$

Rovnice (27) je výchozí pro hledání vlastní hodnoty (kritického zatížení) q_z . Pro praktické posouzení je nejdůležitější nejnižší vlastní hodnota (nejnižší vlastní číslo) [5], tedy nejmenší zatížení, při kterém může nastat ztráta příčné a torzní stability ideálního nosníku.

Aproximaci nejmenšího vlastního čísla matice G a příslušného vlastního vektoru γ (z fyzikálního hlediska se jedná o tvar vybočení) lze určit např. iterační inverzní mocninnou metodou [6], tedy základní mocninnou metodu (dávající nejvyšší vlastní číslo matice) aplikovanou na matici G^{-1} . Popis algoritmu mocninné metody lze nalézt např. v [6]. Další z řady možností je použití iteračního QR algoritmu [7], který poskytuje všechna vlastní čísla (spolu s příslušnými vlastními vektory) dané matice G . Algoritmus je stručně popsán [7]:

$$G = G_0 = Q_0 R_0, \quad (29)$$

$$G_{k+1} = R_k Q_k, \ k > 0, \quad (30)$$

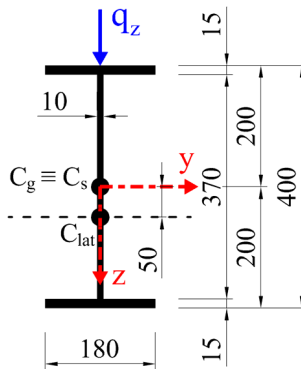
kde matice Q_k a R_k jsou dány tzv. QR rozkladem matice G_k . Matici G_k lze rozložit na matice Q_k a R_k např. pomocí Gramova-Schmidtova ortonormalizačního procesu [8]. Potom platí:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} G_k = D, \quad (31)$$

kde D je diagonální matice s vlastními čísly matice G na diagonále (ostatní prvky jsou nulové). Vlastní vektory jsou dány sloupci matice vzniklé násobením matice Q_{k+1} maticí Q_k (z předchozího kroku).

3.2 Příklad výpočtu kritického zatížení

Uvažujme ocelový nosník dvojose symetrického průřezu s rozměry dle Obr. 4, který je ve vzdálenosti $c_z = 50$ mm od těžiště zajištěn po celé své délce spojitým příčným podepřením.



Obr. 4: Průřez uvažovaného nosníku

Nosník má rozpětí $L = 5$ m a na horní pásnici je zatížen svislým rovnoměrným spojitým zatížením o velikosti 1 kN/m. Jsou uvažovány dvě varianty uložení v souladu s okrajovými podmínkami (6) a (7).

Aplikujme nyní postup vyložený v kapitole 3.1 s krokem $h = 0,10$ m (tedy počet subintervalů $N = 50$). Řešení vede na diferenciální rovnici (32) s okrajovými podmínkami (6) nebo (7):

$$121122,3\varphi^{IV} - 41848,8\varphi'' + 0,1M_y'\varphi'' = 0,25q_z\varphi, \quad (32)$$

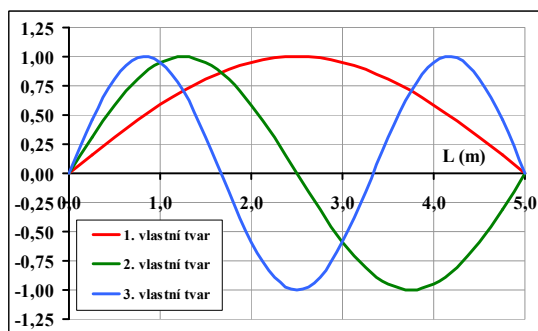
kteřá je pomocí metody konečných diferencí převedena na soustavu 49 algebraických rovnic a řešena inverzní mocninnou metodou. Nejnižší vlastní čísla určená tímto způsobem vycházejí pro tento případ 145520 (prosté uložení) a 472480 (vetknutí). Z fyzikálního hlediska se jedná o kritická zatížení (v N/m). Tomu odpovídají kritické momenty určené dle (33) pro prosté uložení a (34) pro vetknutí:

$$M_{cr} = \frac{1}{8}q_{cr}L^2, \quad (33)$$

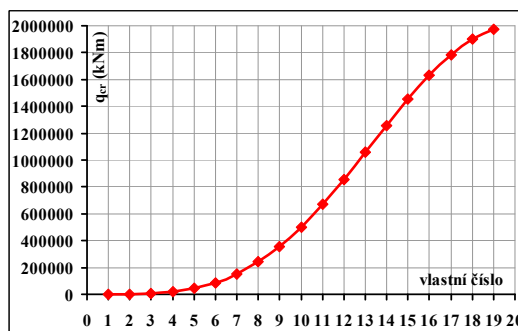
$$M_{cr} = \frac{1}{12}q_{cr}L^2. \quad (34)$$

Pro prosté uložení vychází kritický moment $M_{cr} = 454,8$ kNm a pro vetknutí $M_{cr} = 984,3$ kNm. Pro srovnání: kritický moment nosníku stejného průřezu, rozpětí a okrajových podmínek bez příčného ztužení určený standartním postupem dle [3] vychází $M_{cr} = 261,1$ kNm (prosté uložení) a $M_{cr} = 885,9$ kNm (vetknutí). Příčné podepření tedy v tomto případě způsobilo příznivé zvýšení kritického momentu o cca 74 % (pro prosté uložení) a o cca 11 % (pro vetknutí).

Řešením pomocí QR algoritmu vychází nejnižší vlastní číslo pro prostě uložený nosník 142660 a pro vetknutý nosník 462393. Tomu odpovídají kritické momenty dle (33) $M_{cr} = 445,8$ kNm (prosté uložení) a $M_{cr} = 963,3$ kNm (vetknutí). Na Obr. 5 jsou zobrazeny první tři normované vlastní tvary (tvary vybočení) získané řešením úplného problému vlastních čísel matice G pomocí QR algoritmu (vyšší vlastní tvary nejsou pro přehlednost vyobrazeny). Na Obr. 6 je graficky znázorněn průběh vlastních čísel matice G určený pomocí QR algoritmu.



Obr. 5: První tři normované vlastní tvary

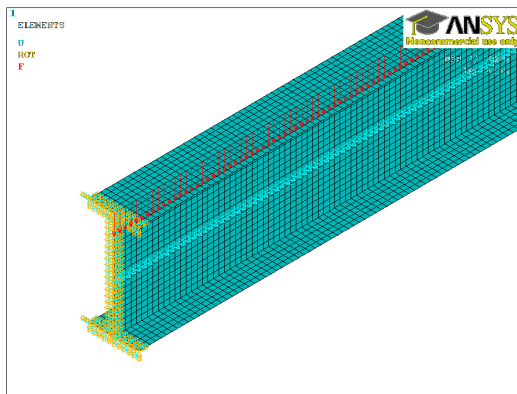


Obr. 6: Vlastní čísla matice G

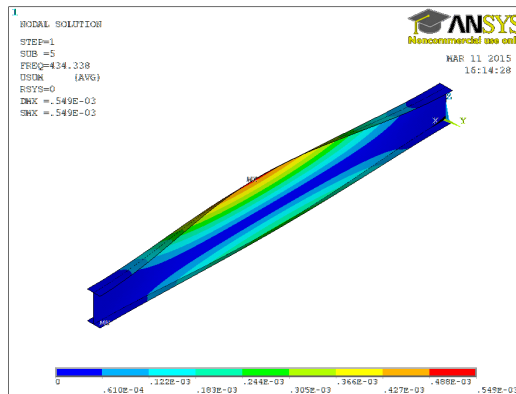
3.3 Řešení pomocí metody konečných prvků a vzájemné srovnání

Příklad řešený v části 3.2 je řešen v programovém systému ANSYS 14.0 [9], který je určen pro výpočty metodou konečných prvků. Uvažovaný průřez se skládá z částí, jejichž tloušťka je ve srovnání s ostatními rozměry malá. Pro tento typ konstrukčních prvků jsou vhodné deskostěnové prvky, pro analýzu je použit prvek SHELL181. Geometrie, poloha příčného podepření a zatížení je v souladu s příkladem uvedeným v části 3.2; jsou uvažovány dvě varianty uložení, a sice prosté uložení a vetknutí. Pro numerickou analýzu je zvolena délka hrany elementu 20 mm. Detail modelovaného průřezu včetně realizace příčného podepření je patrný na Obr. 7 (vetknutí v ohybu i kroucení; deplanaci průřezu v uložení je zabráněno). V případě varianty prostého uložení v ohybu i

kroucení se jedná o tzv. vidlicové uložení, které je dle [10] pro řešení příčné a torzní stability předpokládáno. Zabraňuje příčnému vybočení v podpoře, zatímco deplanace se může volně rozvinout. V programu byla provedena statická analýza podle teorie I. řádu a analýza vlastních tvarů (LBA analýza), která poskytuje vlastní čísla a tvary vybočení. Touto analýzou bylo získáno nejnižší vlastní číslo s hodnotou 146610 (pro prosté uložení) a 434338 (pro vetknutí). Tab. 1 shrnuje a srovnává aproximace kritických momentů získané metodou konečných diferencí s inverzní mocninnou metodou, QR algoritmem a řešením metodou konečných prvků v programu ANSYS 14.0. Na Obr. 8 je jeden z výsledků analýzy v programu ANSYS – první kladný vlastní tvar pro řešený průřez pro případ vetknutého nosníku.



Obr. 7: Model uvažovaného nosníku v programu ANSYS



Obr. 8: Výsledek analýzy metodou konečných prvků – první kladný vlastní tvar

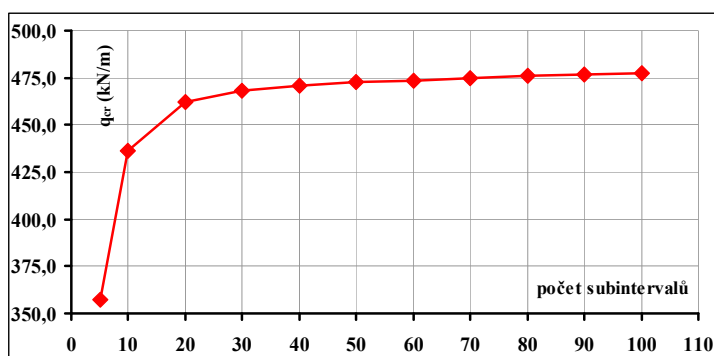
Tab. 1: Srovnání metod – aproximace kritických momentů (v kNm)

Metoda	Uložení	
	prosté	vetknutí
Metoda konečných diferencí + inverzní mocninná metoda	454,8	984,3
Metoda konečných diferencí + QR algoritmus	445,8	963,3
Metoda konečných prvků (ANSYS)	458,2	904,9

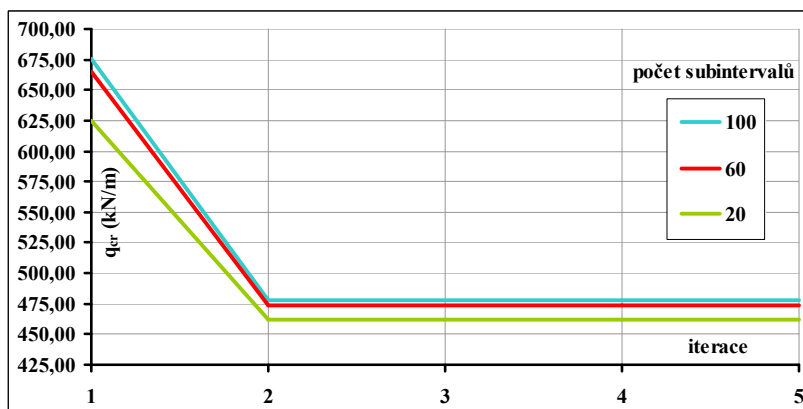
3.4 Algoritmizace numerických metod pro výpočet kritického zatížení a parametrické studie

Algoritmy metody konečných diferencí spolu s inverzní mocninnou metodou a QR algoritmem vyložené v kapitole 3.1 byly naprogramovány v jazyce VBA (programovací jazyk pro aplikaci MS Excel). Po zadání potřebných vstupních údajů (průřezové charakteristiky, rozpětí, poloha příčného podepření, poloha působíště zatížení, krok dělení intervalu daného rozpětím nosníku a požadovaná přesnost iteračního výpočtu) program rozdělí interval rozpětí nosníku na jednotlivé subintervaly (diskretizace problému), sestaví příslušné matice a vektory a iteračně vypočítá hledanou hodnotu kritického zatížení.

Některé výsledky poskytnuté tímto programem jsou prezentovány na následujících grafech: na Obr. 9 je závislost vypočítané hodnoty kritického zatížení na počtu subintervalů, na které je rozděleno rozpětí nosníku, na Obr. 10 je znázorněna konvergence iteračního výpočtu inverzní mocninné metody k prvnímu vlastnímu číslu pro různá dělení intervalu. Konvergence je velmi rychlá. Vstupní hodnoty jsou převzaty z příkladu v části 3.2 pro případ nosníku na obou koncích vetknutého.

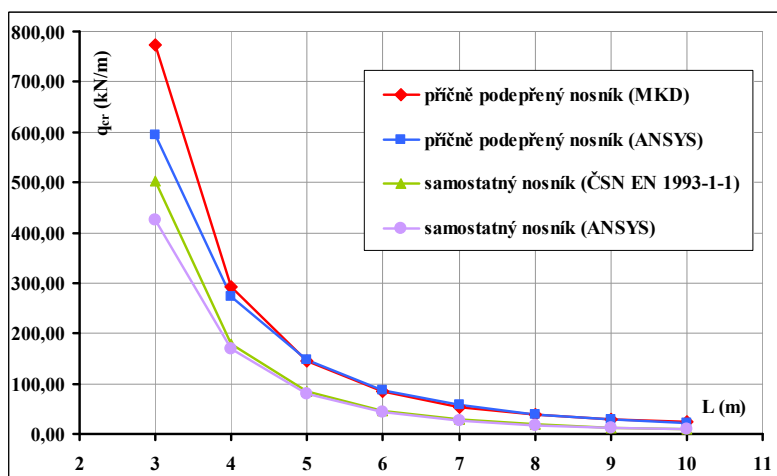


Obr. 9: Závislost kritického zatížení na dělení intervalu

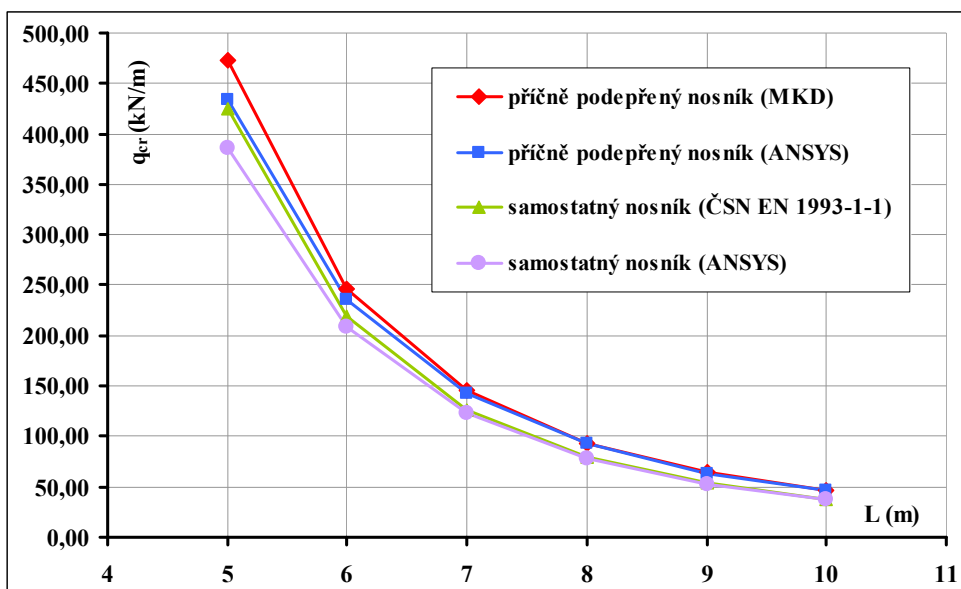


Obr. 10: Konvergence iteračního výpočtu k prvnímu vlastnímu číslu

Na Obr. 11 je graf znázorňující srovnání kritických zatížení samostatného prostě uloženého nosníku (výpočet dle [3] a programu ANSYS) a příčně podepřeného prostě uloženého nosníku (výpočet metodou konečných diferencí – MKD – a pomocí programu ANSYS). Na Obr. 12 je tatáž situace pro nosník vetknutý (pro přehlednost jsou zobrazena jen rozpětí od 5 do 10 m).



Obr. 11: Srovnání metod výpočtu kritického zatížení – prostě uložení



Obr. 12: Srovnání metod výpočtu kritického zatížení – vetknutí

Na výše uvedených grafech je patrný určitý rozdíl mezi získanými hodnotami kritických zatížení pro malá rozpětí (nízké štíhlosti) nosníků. Tento rozdíl lze vysvětlit skutečností, že u malých rozpětí nosníků tenkostěnných průřezů se při řešení metodou konečných prvků projevují lokální problémy stability štíhlých stěn průřezu, které výsledky nepříznivě ovlivňují, neboť působí současně s globálním problémem ztráty stability prutu jako celku. U větších rozpětí zcela převládá globální ztráta příčné a torzní stability a rozdíl mezi metodami je minimální. Vzhledem k tomu, že matice soustavy odvozená metodou konečných diferencí v tomto příspěvku byla odvozena z diferenciálních rovnic globální stability ohýbaného nosníku (za předpokladu neměnnosti příčného řezu), je přirozené, že uvedené lokální jevy nejsou zohledněny.

4 ZÁVĚR

Příspěvek se zabývá ztrátou příčné a torzní stability spojitě příčně podepřených nosníků tenkostěnného průřezu. Příčné podepření zvyšuje vzpěrnou odolnost průřezů; na konkrétním příkladu dvojose symetrického profilu byl porovnáním se samostatným nosníkem kvantifikován vliv spojitěho příčného podepření na velikost kritického momentu. Pro výpočty kritického zatížení byly použity vybrané numerické metody pro hledání vlastních čísel a v jazyce VBA byl vytvořen program pro automatizovaný výpočet. Z provedených parametrických studií vyplývá, že vliv příčného podepření na kritické zatížení je podstatný a jeho uvážení může vést k použití štíhlejších průřezů, což má příznivý vliv na spotřebu materiálu a na hmotnost nosné konstrukce. Konstrukční návrh tak může být efektivnější.

Získané aproximace kritických zatížení byly srovnány s hodnotami získanými numerickou analýzou v programovém systému na bázi metody konečných prvků. Určité rozdíly mezi výsledky použitých metod jsou patrné zejména pro nízké štíhlosti nosníků, kdy se při řešení pomocí programových systémů založených na metodě konečných prvků výrazněji projevují lokální problémy. Popsané numerické algoritmy (metoda konečných diferencí, mocnná metoda) jsou poměrně snadno algoritmovatelné a umožňují vytvoření vlastních aplikací pro řešení problémů kritického zatížení.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl realizován za finanční podpory projektu specifického výzkumu Vysokého učení technického v Brně č. FAST-J-14-2345 a Grantové agentury ČR v rámci projektu P105/12/0314.

LITERATURA

- [1] BŘEZINA, V. *Vzpěrná únosnost kovových prutů a nosníků*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962. 384 s.
- [2] VLASOV, V. Z. *Tenkostěnné pružné pruty*. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd, 1962. 572 s.
- [3] ČSN EN 1993-1-1. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006. 96 s.
- [4] RATTANA, A. & BÖCKMANN, C. Matrix methods for computing eigenvalues of Sturm-Liouville problems of order four. *Journal of Computational and Applied Mathematics* [online]. 2013, vol. 249, s. 144-156 (13 s). ISSN 0377-0427 (Online). DOI: 10.1016/j.cam.2013.02.024.
- [5] KINDMANN, R. & LAUMANN J. Ermittlung von Eigenwerten und Eigenformen für Stäbe und Stabwerke. *Stahlbau*. 2004, č. 1, s. 26-36. ISSN 0038-9145.
- [6] DALÍK, J. *Numerické metody*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1997. 145 s. ISBN 80-214-0646-1.
- [7] VONDRÁK, V. & POSPÍŠIL, V. *Numerické metody I* [online]. 2011. [cit. 2015-03-15]. Dostupné z: http://mi21.vsb.cz/sites/mi21.vsb.cz/files/unit/numericke_metody.pdf
- [8] BJORCK, A. Numerics of Gram-Schmidt orthogonalization. *Linear Algebra and its Applications* [online]. 1994, vol. 197-198, s. 297-316 (20 s). ISSN 0024-3795 (Online). DOI: 10.1016/0024-3795(94)90493-6.
- [9] ANSYS® Academic Research, Release 14.0.
- [10] SEDLACEK, G. & NAUMES, J. *Excerpt from the Background Document to EN 1993-1-1: Flexural buckling and lateral buckling on a common basis: Stability assessments according to Eurocode 3*. Aachen: Institut und Lehrstuhl für Stahlbau und Leichtmetallbau, 2008. 142 s.

Oponentní posudek vypracoval:

Prof. Ing. Josef Vičan, CSc., Katedra stavebních konstrukcí a mostov, Stavební fakulta, ŽU v Žiline.

Doc. Ing. Martin Psotný, PhD., Katedra stavebnej mechaniky, Stavební fakulta, STU v Bratislave.

Michal KROPÁČEK¹, Jiří ŠAFRATA²

OBJEMOVÉ ZMĚNY CEMENTŮ Z RŮZNÝCH LOKALIT V ZÁVISLOSTI NA ČASE

**VOLUME CHANGES OF CEMENTS FROM DIFFERENT LOCATIONS
DEPENDING ON TIME**

Abstrakt

Článek se zabývá objemovými změnami cementu CEM I 42,5 R, který byl po dobu několika měsíců odebírán ze všech cementáren na území České republiky. Měření se provádělo ve smršťovacím žlabu, který umožňuje zaznamenávat objemové změny v raných fázích tuhnutí směsi. Cílem práce bylo posoudit chování jednotlivých cementů v delším časovém úseku z hlediska objemových změn a porovnat je mezi sebou.

Klíčová slova

Cement, Objemové změny, Chemické smrštění, Smrštění vysycháním, Smršťovací žlab.

Abstract

This article is dealing with volume changes of cement CEM I 42,5 R, which was for several months taken from all of cement works in Czech Republic. Measurement was performed by shrinkage drain, which allows register volume changes in early age of curing of mixture. Purpose of this work was gauge behavior of each cement in longer period of time in terms of volume changes and compare these cements between themselves.

Keywords

Cement, Volume changes, Chemical shrinkage, Drying shrinkage, Shrinkage drain.

1 ÚVOD

Objemové změny cementů, cementových kompozitů a samozřejmě betonů na bázi cementového pojiva působí ve stavebnictví i v současnosti poměrně výrazné problémy. Objemové změny z největší míry způsobuje cement a jeho podíl v kompozitu. Během hydratace prochází výraznými chemickými procesy, kdy vznikají nové fáze a tento proces vyžaduje obezřetné chování při volbě složek, celkovém složení kompozitu a následném ošetřování. Pro objemové změny má kromě zvoleného cementu zásadní význam vodní součinitel a poměr pojiva a kameniva. Konečné složení kompozitu tak bývá klíčovým faktorem v následném chování v konstrukci. [3]

Trhliny způsobené objemovými změnami mohou dosahovat rozměrů, které překračují normové požadavky v závislosti na konkrétní konstrukci. Takto narušená struktura kompozitu je významný problém například u vodotěsných konstrukcí, které musí mít minimální průnik tlakové vody. Kromě toho také narušená struktura dovoluje pronikání škodlivých látek, které urychlují karbonataci, depasivaci výztuže a její následnou korozi. Pokud se tedy špatným složením,

¹ Ing. Michal Kropáček, Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 925, e-mail: michal.kropacek.st@vsb.cz.

² Ing. Jiří Šafrata, Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 958, e-mail: jiri.safrata@vsb.cz.

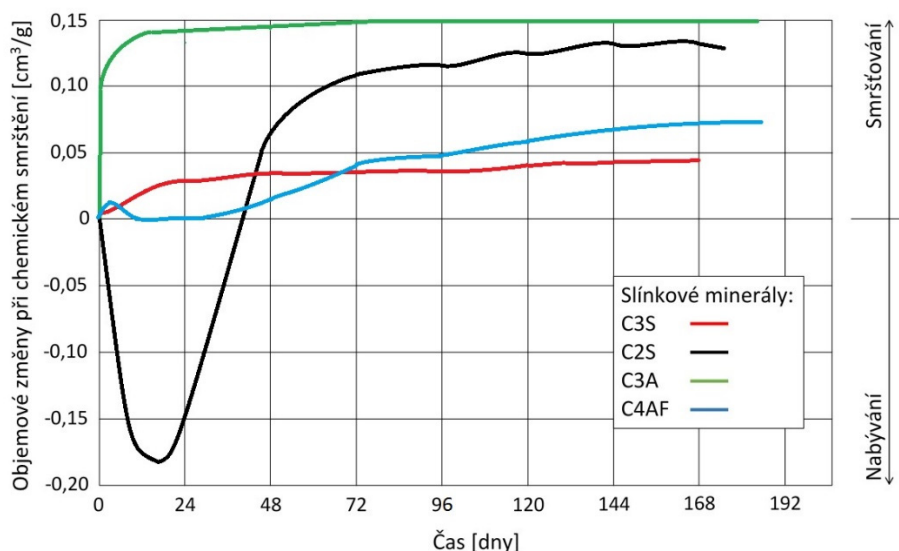
nedostatečným ošetřování nebo dokonce zcela chybně zvoleným ošetřováním docílí negativních změn, je to v přímém rozporu se současnou tendencí moderního stavitelství, která se snaží neustále zdokonalovat vlastnosti a přicházet s novými technologiemi nejen u betonu.

2 PROBLEMATIKA OBJEMOVÝCH ZMĚN

Z hlediska objemových změn je nutné se zaměřit na smrštění. Existuje několik typů smrštění, z nichž každé má specifické chování v kompozitu. Konkrétně se jedná o plastické smrštění, smrštění vysycháním, autogenní smrštění, chemické smrštění (autor si dovoluje oddělit chemické a autogenní smrštění, přestože je v literatuře občas spojováno do jednoho pojmu), teplotní smrštění a karbonatační smrštění [2]. Z podstaty této práce se lze vymežit na chemické smrštění a smrštění vysycháním. Případně také teplotní smrštění. Jelikož měla malta dle příslušného standardu [5] vodní součinitel 0,5 a byla uložena ve vlhkém prostředí 95 % lze zanedbat plastické smrštění. Autogenní smrštění nabývá na významu u kompozitu s vodním součinitelem nižším než 0,46, ačkoliv k němu dochází i u kompozitu s vyšším vodním součinitelem jeho význam je tak nízký, že lze také zanedbat. [3]

Chemické smrštění je nedílnou součástí hydratačních procesů. Během hydratace vznikají hydratační produkty, které mají nižší součet absolutních objemů (o 8 až 10 %) a uvnitř cementové pasty se objevují póry. V praxi pak nastávají dvě situace. Pokud probíhá hydratace na vzduchu, cementová pasta se smršťuje, ve vodě je ale tento trend opačný a dochází k nabývání. S dostatkem vody je tedy chemické smrštění neškodné. [2]

Během hydratace ale nedochází pouze ke smrštění. Slínek, jakožto dominantní podíl portlandského cementu (95 – 100 %), obsahuje slínkové minerály, jejichž chování je během hydratace velmi odlišné. Na obrázku číslo 1 lze vidět, že C_2S vykazuje oproti zbylým slínkovým minerálům významné nabývání. Naproti tomu C_3A , který velice rychle reaguje v řádu minut a hodin vykazuje výrazné smrštění. [6] Z obrázku je tak možné vyvozovat různé vysoké smrštění v závislosti na obsahu C_3A , které se u odebíraných cementů v závislosti na konkrétní cementárně poměrně výrazně liší [7].



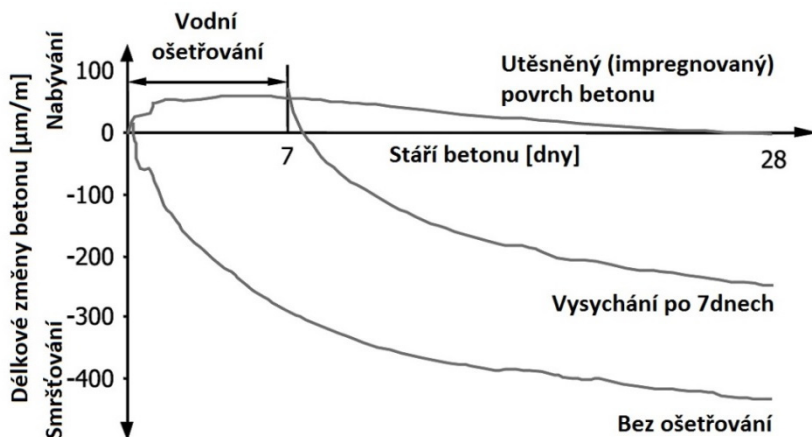
Obr. 1: Vliv slínkových minerálů na chemické smrštění [6]

V této souvislosti se lze opřít o dvě kritické hodnoty cementové pasty. Tou první je vodní součinitel 0,22, při kterém dochází k tvorbě hydratačních produktů. K dosažení úplné hydratace je však nutné mít v uzavřeném systému, tedy bez přísunu vnějšího zdroje vody, vodní součinitel alespoň

0,42. Tento fakt je způsoben vázáním části vody na nové vzniklé hydratační produkty (C-S-H gel) [2]. S přihlédnutím k článku lze použitou maltu považovat jako vyhovující.

Druhým významným jevem v této práci je smrštění vysycháním, kterému byly vzorky vystaveny po 7 dnech od míchání. Pokud se kompozit dostane do prostředí s relativní vlhkostí vzduchu nižší než 95 % a není chráněn před vysycháním, dochází k odpařování vody. To vede k tvorbě menisků v kapilárním systému a generuje se tahové napětí, které způsobuje smrštění. Collepardi [3] uvádí, že lze zanedbat toto smrštění, pokud je kompozit s vodním součinitelem alespoň 0,46 uložen v prostředí s relativní vlhkostí vzduchu vyšší než 94 %. V prvním týdnu byly z tohoto pohledu pro tuto práci opět vyhovující podmínky.

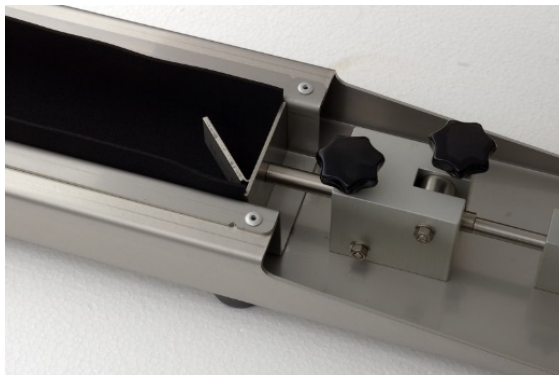
Experimentálně bylo zjištěno, že jakýkoliv beton se během ošetřování vodou nesmršťuje, naopak má tendenci nabývat. Na obrázku číslo 2 je zobrazeno chování betonu v závislosti na konkrétním prostředí. Āitcin dodává, že většina cementu je na povrchu betonu po 7 dnech již zhydratovaná a další ošetřování má tak malý význam na vývoj smrštění [1].



Obr. 2: Délkové změny betonu s $w/c = 0,35$ v závislosti na různých režimech ošetřování [1]

Objemové změny cementu respektive kompozitu jsou velmi rozsáhlé téma, které je ovlivněno mnoha vnějšími vlivy. Je nutné si také uvědomit, že objemové změny budou vždy nedílnou součástí hydratace cementu, do jisté míry vychází z jeho složení. Díky vývoji a pokroku ve výrobě lze určitým způsobem zabránit vzniku trhlin jako důsledku nedostatečného ošetřování nebo přímo nevhodného složení, ale objemové změny samy o sobě nikdy odstranit nepůjdou a je třeba k nim správným způsobem přistupovat. Dosud standardizované postupy nezachycují měření objemových změn bez mechanického zatížení cementu nebo cementového kompozitu od počátečního stádia až po dosažení kvazistabilního stavu. Výrobci cementu sice stanovují objemovou stálost, ale ta se zabývá spíše případnými nestandardními výkyvy ve složení a je tak poměrně stranou od této problematiky. Pro beton existuje norma ČSN 73 1320 + Z1 [4], která popisuje měření objemových změn na ztvrdlých trámcích, což je značně nedostatečné. Měření je možné zahájit až ve chvíli, kdy vzorky dosáhnou minimálních manipulačních pevností a obvykle tak chybí časový úsek 24 hodin, během kterého proběhlo mnoho změn. K objemovým změnám dochází záhy po uložení a je tak velmi výhodné mít možnost přesně a spolehlivě měřit i tato stádia ve stabilních teplotních a vlhkostních podmínkách.

Při testech se měření objemových změn malt provádělo pomocí zkušebních žlabů německé firmy Schleibinger, které mají posuvné čelo zachycující délkové změny, viz obrázek 3, kde je detail na pohyblivou část žlabu. S těmi již dříve pracovala fakulta stavební VUT v Brně a v rámci výzkumného záměru vypracovali ucelený operační postup [8], ze kterého bylo možné vycházet. Po několika dnech měření v korýtkách se dále k měření využíval příložený deformetr.



Obr. 3: Měření objemových změn ve smršťovacím žlabu

3 MĚŘENÍ OBJEMOVÝCH ZMĚN

Pro zkoušení byl použit portlandský cement CEM I 42,5 R, který byl odebrán ze všech cementáren na území České republiky od měsíce listopad 2013 po červen 2014.

Výrobci cementů jsou uvedeni v následujícím výčtu:

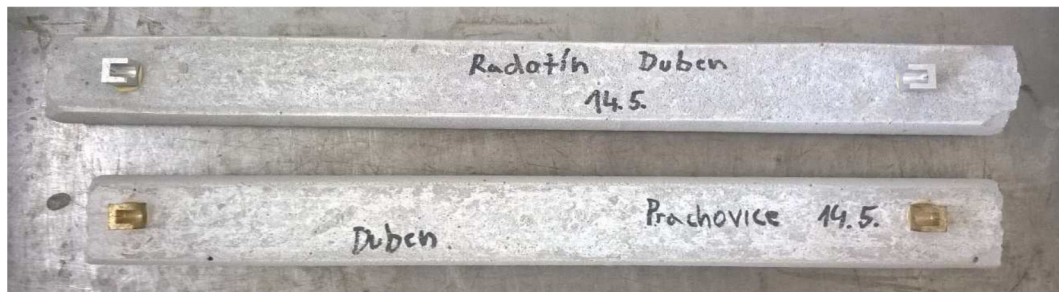
- LaFarge Cement Čížkovice, a.s.
- Buzzi Unicem Cement Hranice, a.s.
- HeidelbergCement Českomoravský cement Mokrý, a.s.
- Cemex Prachovice, a.s.
- HeidelbergCement Českomoravský cement Radotín, a.s.

Ke zkouškám se používala malta, jejíž složení bylo v souladu s normou ČSN EN 196-1 [5]. Jednotlivé složky byly uloženy v laboratoři minimálně 3 dny, než bylo zahájeno míchání. Tím byla zaručena stálá teplota vzorků i křemičitého písku na úrovni teploty v laboratoři. Teplota vody z vodovodního řádu byla 22 ± 2 °C. Malta se míchala v laboratoři BETOTECH, s.r.o. v Ostravě a při míchání se vycházelo ze stejné normy [5]. Z důvodu většího množství malty, byla použita mobilní míchačka Smartest, což mělo za následek drobné odchýlení od normou přesně daného postupu míchání. Laboratorní podmínky během výroby vzorků byly standardní s teplotou 22 ± 2 °C a relativní vlhkostí vzduchu 40 – 55 %. Teplota malty před uložením byla 22 ± 1 °C. Jak již bylo uvedeno výše, měření se provádělo nejprve automaticky pomocí smršťovacích žlabů Schleibinger, ty umožňují zhotovit zkušební tělesa o velikosti 60 x 40 x 1000 mm, viz obrázek 4. Měření bylo zahájeno po 15 minutách od uložení malty do žlabu, je to z toho důvodu, aby malta lehce zatuhla a bylo možné vyměnit opěru posuvného čela za čidlo posuvu. Teplota i vlhkost prostředí se sledovala čidlem, společnou ústřednou, tyto hodnoty byly automaticky snímány každých 15 minut. Žlaby byly uloženy 7 dní ve vlhkém prostředí, které zajistila komora s relativní vlhkostí vzduchu ≥ 95 % a teplotou 20 ± 2 °C.

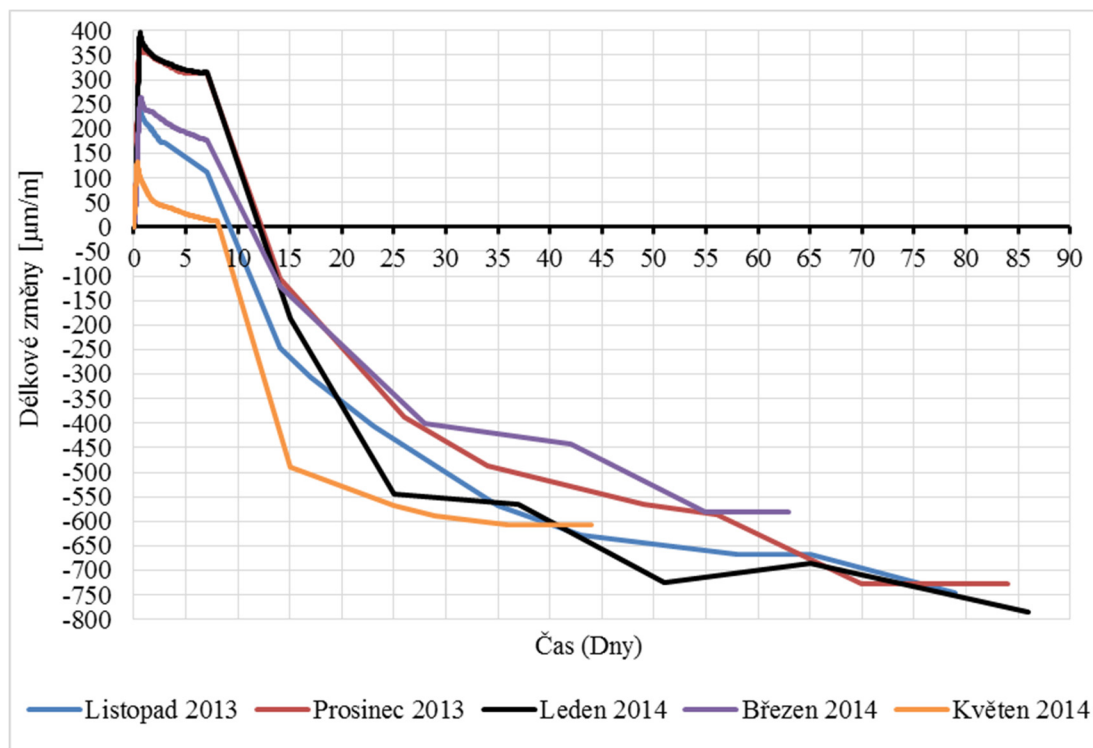


Obr. 4: Měření objemových změn ve smršťovacím žlabu

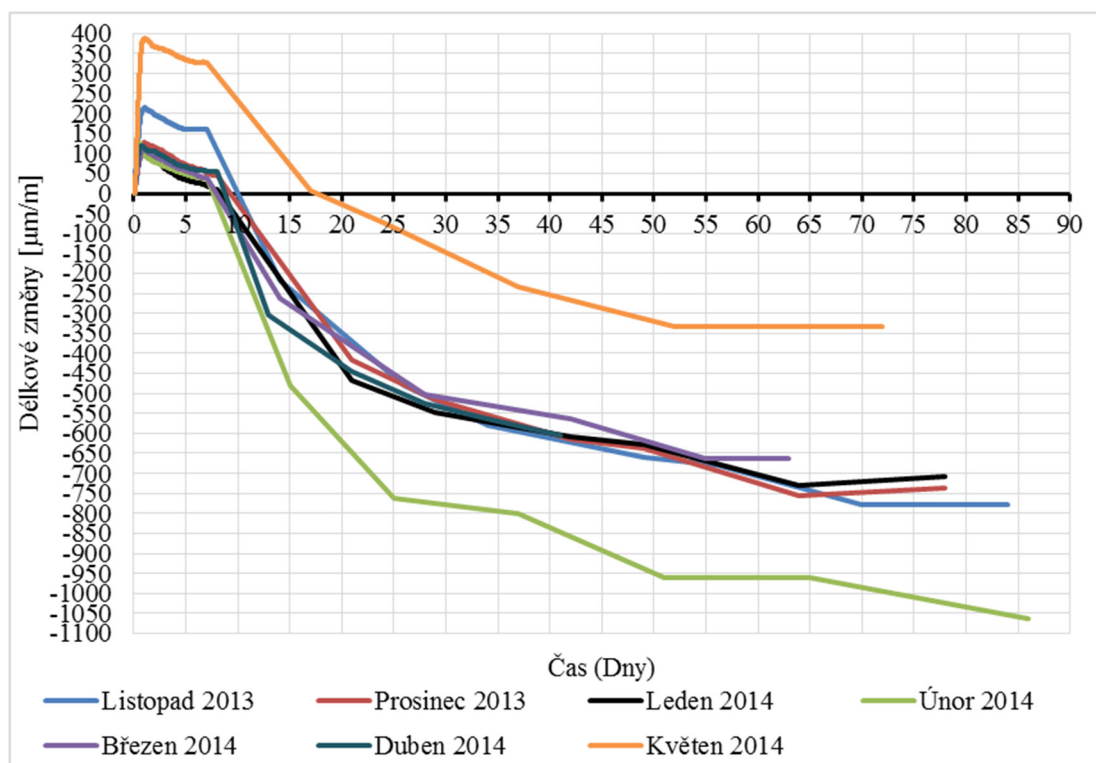
Po 7 dnech byly ztvrdlé vzorky vytaženy z vlhkého prostředí a pomocí nalepených terčíků se objemové změny měřily deformetrem. Příložený deformetr se před každým měřením nakalibroval pomocí etalonu. Měření probíhalo až do doby, než měly 2 naměřené hodnoty po sobě obdobné výsledky. Není možné naměřit shodné výsledky, v čase bude neustále docházet k minoritním objemovým změnám. Intervaly měření se pohybovaly v řádu dní s tím, že četnost měření se prodlužovala v souvislosti se stářím vzorků. V konečné fázi se jednalo obvykle o intervaly 14 dní.



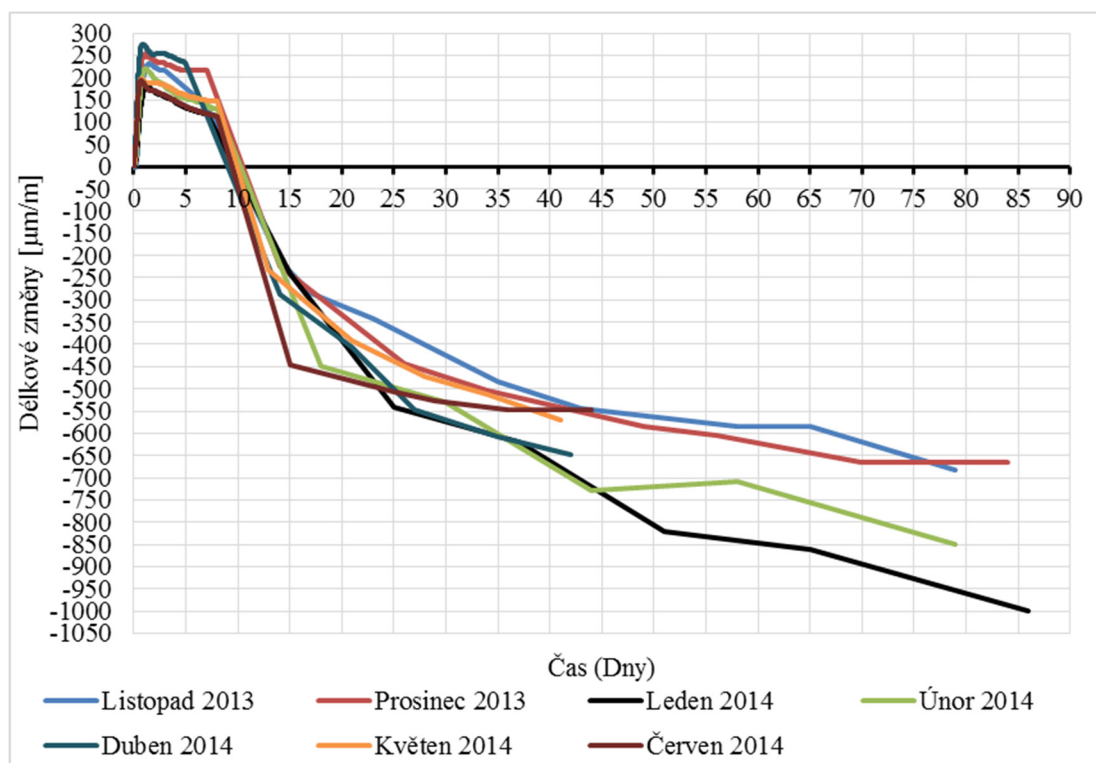
Obr. 5: Zkušební tělesa s přilepenými terčíky



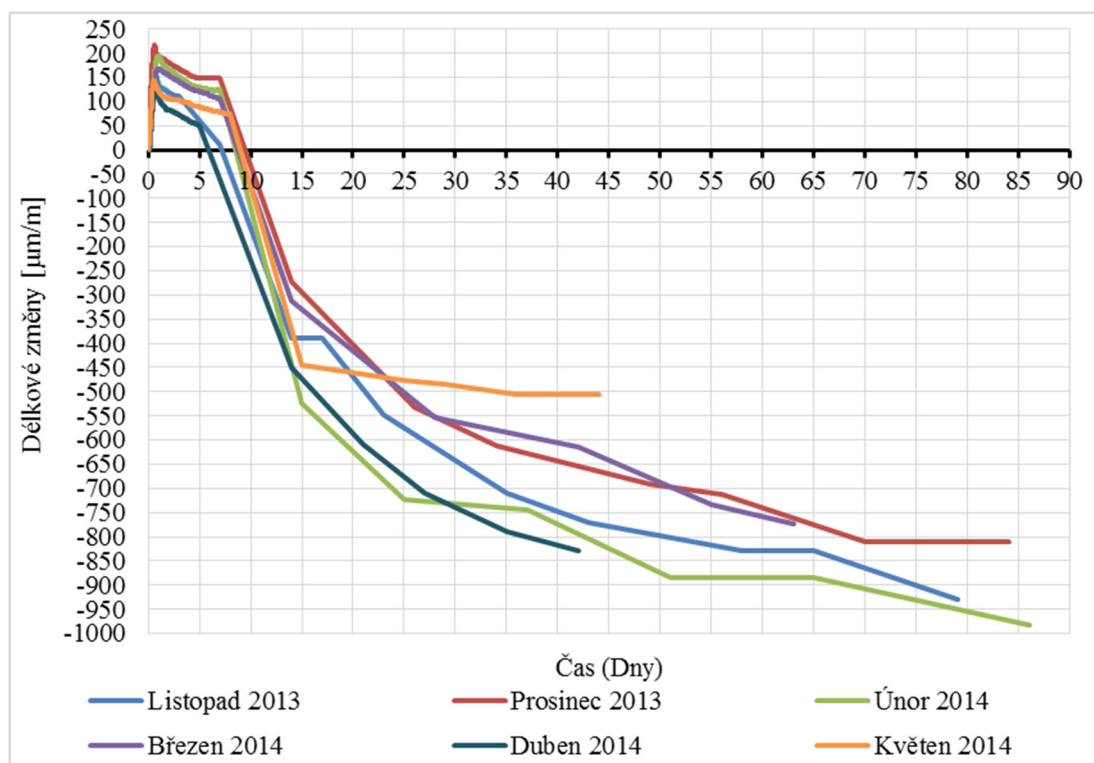
Obr. 6: Délkové změny těles – cement Čížkovice



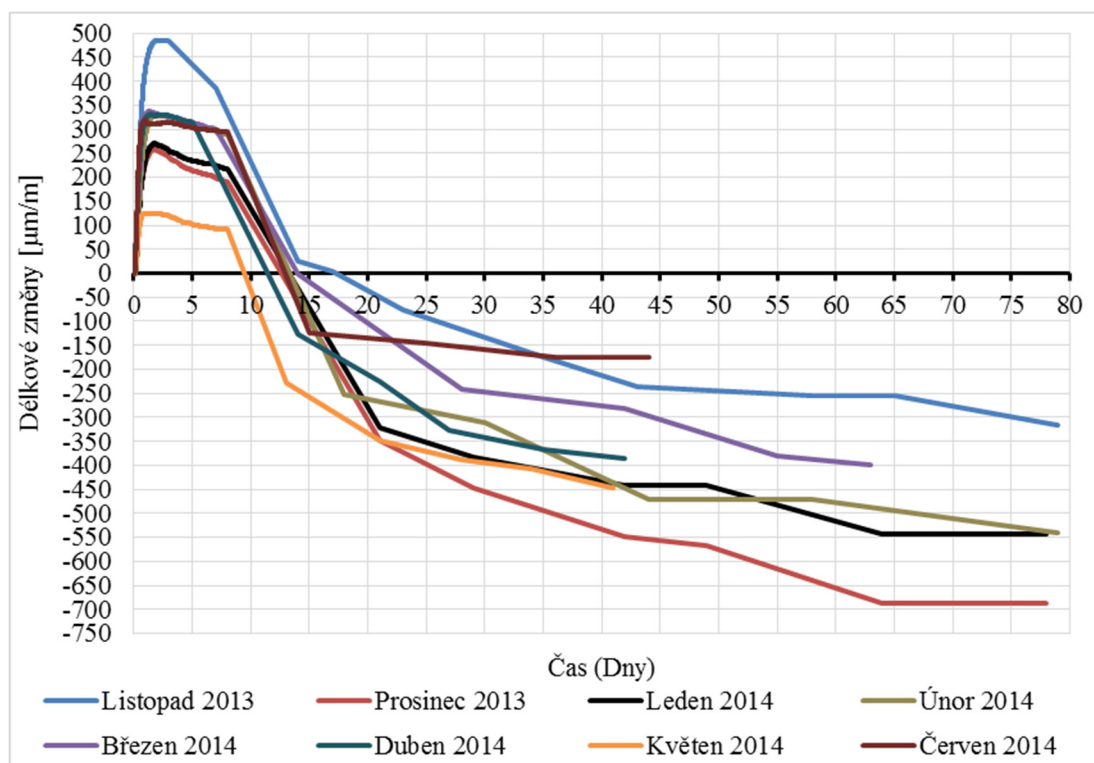
Obr. 7: Délkové změny těles – cement Hranice



Obr. 8: Délkové změny těles – cement Mokrý



Obr. 9: Délkové změny těles – cement Prachovice



Obr. 10: Délkové změny těles – cement Radotín

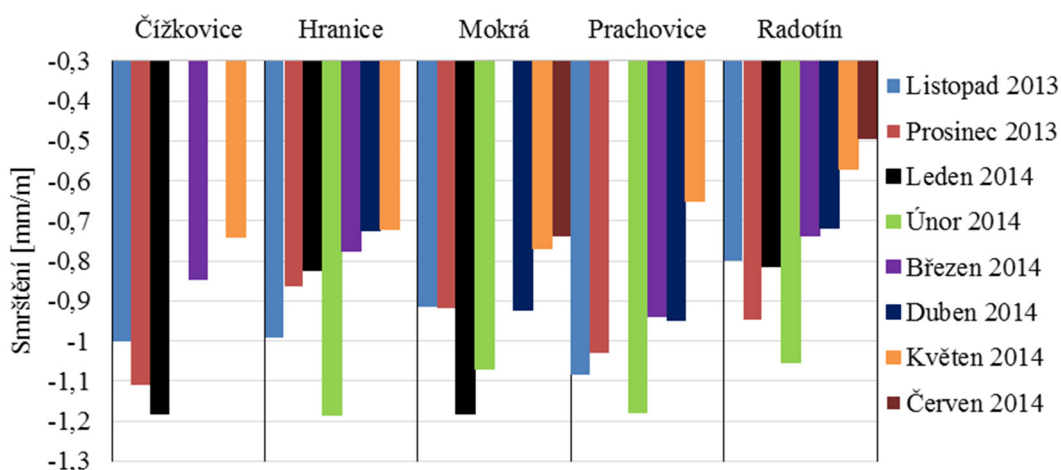
Ke grafům je důležité zmínit, že se jedná o souhrnný výsledek jednoho konkrétního cementu a nebylo možné přehledně přiřadit ke každému vzorku příslušnou vlhkost a teplotu. Nicméně byla snaha udržet v laboratorním prostředí co možná nejstálější podmínky. Přesné hodnoty lze najít v autorově diplomové práci [7].

4 VYHODNOCENÍ ZKOUŠKY

Z hlediska vyhodnocení si každý cement zaslouží samostatný rozbor, ale obecně lze říci, že u každého cementu dochází v raném stádiu tuhnutí a tvrdnutí k nabývání. To může být způsobeno několika jevy. Největším dílem se na nabývání budou podílet chemické reakce. K nabývání dochází z důvodu vzniku hydratačních produktů. Částečně se na nabývání mohou podílet minerály vykazující rychlý růst. Tento jev je spojen s ettringitem, nicméně podobné chování vykazuje také portlandit. Růst ettringitu probíhá v řádu několika minut až hodin. Vznik hydratačních produktů je spojen s vázáním vody, což je příklad C-S-H gelu a takové produkty pak generují nabývání. Nelze však opomenout také vliv teploty. V době nejvyšších hodnot nabývání také vrcholí křivka hydratačního tepla. To se může projevit v počátečním nabývání a v případě vysokého teplotního gradientu může docházet posléze ke smrštění. U drtivé většiny malt dochází k nabývání v prvních hodinách. Počátek smrštění se již výrazně liší. K nabývání docházelo v prostředí s relativní vlhkostí vzduchu přes 90 % a lze se tak domnívat, že pokud by byly vzorky uloženy ve vodě, bylo by nabývání ještě vyšší. Toto smrštění ale ve vlhkém prostředí neklesne do záporných hodnot (redukuje se nabývání), čímž nedochází ke vzniku smršťovacích trhlin a potvrzuje se tak nutnost precizního ošetřování v raných stádiích. Po 7 dnech byly vzorky vytaženy z vlhkého prostředí a byly ponechány v laboratorních podmínkách s teplotou 22 ± 2 °C a relativní vlhkostí vzduchu 50 ± 10 %. K chemickému smrštění se tak přidává smrštění vysycháním. Chemické smrštění probíhá až do úplné hydratace cementu, což je dlouhodobý proces, který závisí mimo jiné na jemnosti mletí. Smrštění vysycháním nastane vždy při přechodu z vlhkého prostředí do prostředí s relativní vlhkostí vzduchu nižší než 94 %, cílem je ale tento přechod oddálit do doby, kdy má kompozit takovou pevnost, že bude tímto smrštěním ovlivněn minimálně.

Z grafů a následného vyhodnocení lze zhodnotit několik jevů, které jsou pro většinu cementů společné. Počáteční nabývání bylo u všech cementů až na cement Mokrá značně proměnlivé. Tento fakt lze přisoudit jednak drobným odchylkám v chemickém složení a jemnosti mletí [7], ale také v rychlosti a průběhu hydratace. Obecně lze říci, že rozdílné chování může být způsobeno nevhodným nebo nedostatečným zabalením vzorků a při dopravě. Drobné rozdíly může způsobit také lidský faktor během míchání a plnění žlabů. Vyhodnocení nabývání bylo uvedeno v předchozím odstavci. U smrštění je vyhodnocení proměnlivých hodnot o to složitější, protože se k chemickému smrštění přidává také smrštění vysycháním, které je velmi závislé na daném prostředí. Vzhledem k tomu, že měření probíhalo dlouhodobě od zimy do léta lze přisoudit určitý vliv i tomuto faktoru. Důležitý jev, který může ovlivnit dobu smršťování je pevnost, čím je vyšší, tím výraznější schopnost má malta zachytávat tyto objemové změny. Tyto aspekty pak mohou způsobit, že některé vzorky se měřitelně smršťují 80 dní a jiné pouze 40.

Velmi výhodným vyhodnocením je také zpracování grafu zobrazujícího pouze smrštění, viz obrázek 11. Ten ukazuje, jaké je konečné smrštění neovlivněné počátečním nabýváním, které může být dosti zkrslující. Graf smrštění má počátek v místě, kde je kladné maximum (nabývání) a malta se začíná smršťovat. Znamená to především navýšení hodnoty smrštění. Z níže uvedeného grafu je tak patrné, že je velmi obtížné rozhodnout, který cement se chová nejstabilněji nebo má nejnižší smrštění. Z hlediska nejnižší hodnoty smrštění na tom je pravděpodobně nejlépe cement Radotín, který ač má vysokou proměnlivost, tak pouze jediný vzorek překročil hodnotu smrštění 1 mm/m. Velmi obdobně lze hodnotit také cement Hranice, hodnotu smrštění 1 mm/m překročil jeden vzorek a ten výrazně vybočuje oproti ostatním. Stabilita je u všech cementů velmi proměnlivá, pokud by se u hranického cementu opět vyloučil výrazně vybočující vzorek, jednalo by se o nejstabilnější cement, nízký rozsah má také cement Prachovice, ten má ale výrazně vyšší smrštění.



Obr. 11: Přehled smrštění všech cementů

Na obrázku číslo 11 lze pozorovat určitý trend kopírující roční období. Čím teplejší měsíc, tím nižší smrštění. Klimatické podmínky obvykle hrají významnou roli v objemových změnách, ale je nutné si uvědomit, že v akreditované laboratoři musí být celý rok stejné laboratorní podmínky a tak lze s jistotou říct, že během míchání a měření neměl tento faktor vliv na výsledky. Možný vliv lze tomuto faktoru přisoudit při výrobě cementu. Nicméně lze konstatovat, že složení je celoročně stabilní (kromě standardních odchylek) a vyzorovat výkyvy v závislosti na ročním období není možné. Potenciální vliv lze přisoudit také dopravě, ale vzorky byly v drtivé většině hermeticky uzavřené a doprava proběhla v co nejkratším možném termínu.

6 ZÁVĚR

Z hlediska praktických výsledků lze pozorovat proměnlivost nejen mezi jednotlivými cementy, ale také mezi vzorky stejného cementu. Určité rozdíly mezi jednotlivými cementy jsou pochopitelné a je nutné říct, že rozdíly nejsou nijak markantní, zejména u smrštění bylo velmi obtížné hodnotit stabilitu vlastností cementu v čase, stejně tak nejnižší smrštění. Proměnlivost vzorků stejného cementu je komplexní problém a je zcela určitě způsoben, kromě souhry drobných odchylek chemického složení a jemnosti mletí, také vnějšími vlivy, mezi které patří vliv uložení vzorku, drobné odlišnosti během měření a proměnlivé prostředí.

V souvislosti s prostředím je nutné zmínit také dobu uložení zkušebních těles v ideálních podmínkách, v této práci bylo zvoleno 7 dní a bylo by tak velice zajímavé porovnání s dobou uložení ve vlhkém/vodním prostředí po 3 dnech, nebo naopak například po 28 dnech. Smrštění by tak bylo zachyceno v různých intenzitách a kompozit by měl různě vysoké pevnosti. V souvislosti s betony lze s jistotou tvrdit, že hodnoty objemových změn stejných cementů by se s ohledem na kamenivo, množství cementu, vodní součinitel a další faktory výrazným způsobem snížily.

LITERATURA

- [1] AÏTCIN, Pierre-Claude. *Binders for durable and sustainable concrete*. New York: Taylor & Francis, 2008, xxviii, 500 p. ISBN 9780203940488-.
- [2] AÏTCIN, Pierre-Claude a Sidney MINDESS. *Sustainability of concrete*. New York: Spon Press, 2011, xxv, 301 p. Modern concrete technology, 17. ISBN 0203856635.

- [3] COLLEPARDI, Mario. *Moderní beton*. 1. vyd. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2009, 342 s. Betonové stavitelství. ISBN 978-80-87093-75-7.
- [4] ČSN 73 1320 + Z1. *Stanovení objemových změn betonu*. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [5] ČSN EN 196-1. *Metody zkoušení cementu - Část 1: Stanovení pevnosti*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [6] HOLT, Erika E. *Early age autogenous shrinkage of concrete*. Espoo: Technical Research Centre of Finland, 2001. ISBN 9513858707.
- [7] KROPÁČEK, Michal. *Stanovení objemových změn cementů z různých lokalit v závislosti na čase*. Ostrava, 2014. Diplomová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Fakulta stavební.
- [8] KUCHARCZYKOVÁ, Barbara, Tomáš VYMAZAL, Petr DANĚK, Petr MISÁK a Ondřej POSPÍCHAL. Standardní operační postup pro stanovení smršťování a nabývání betonu. [online]. 2009, č. 1, s. 8 [cit. 2014-11-30]. Dostupné z: http://www.szk.fce.vutbr.cz/metodiky/metodika%20smr%C5%A1t%C4%9Bn%C3%AD_01-09_1.pdf.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Kolísko Jiří, Ph.D., Oddělení experimentálních a měřicích metod, Kloknerův ústav, ČVUT v Praze.

Ing. Karel Dvořák, Ph.D., Ústav technologie stavebních hmot a dílců, Fakulta stavební, VUT v Brně.

Jana LABUDKOVÁ¹, Radim ČAJKA²

**ANALÝZA INTERAKCE ZÁKLAD-PODLOŽÍ S VYUŽITÍM NEHOMOGENNÍHO
POLOPROSTORU NA BÁZI MKP**

**ANALYSIS OF SUBSOIL-STRUCTURE INTERACTION WITH APPLICATION
OF INHOMOGENEOUS HALF-SPACE BASED OF FEM**

Abstrakt

S využitím metody konečných prvků byla provedena analýza vzájemné interakce betonové desky a podloží. Zemina je látka nestejnorodá. Pro analýzu byl využit nehomogenní poloprostor, ve kterém je koncentrace svislého napětí jiná než v poloprostoru homogenním, což umožňuje lepší vystižení napětově-deformačních vztahů zatěžované zeminy. V parametrické studii jsou vzájemně porovnávány výsledné deformace získané analýzou homogenního a nehomogenního poloprostoru.

Klíčová slova

3D konečné prvky MKP, interakční modely, interakce základ-podloží, základové konstrukce.

Abstract

Interaction of concrete slab and subsoil was performed by application of Finite element method. Subsoil is inhomogeneous. Inhomogeneous half-space was used for analysis. In inhomogeneous half-space the vertical stress concentration is different than in a homogeneous half-space. That allows better capturing of stress-strain relationships of the loaded subsoil. Parametric study provides comparison of deformations obtained by analysis of the homogeneous and inhomogeneous half-space.

Keywords

3D finite elements FEM, soil – structure interaction, interaction models, foundation structure.

1 ÚVOD

Základová konstrukce a podloží se vzájemně ovlivňují. Proto nelze zanedbat účinek základové půdy zatížené horní stavbou a je nutné při řešení zohlednit interakci základové konstrukce s podložím. Problematika této interakce a rozvoj výpočtových modelů jsou řešeny již desítky let, přičemž je hlavní snahou nalézt takový výpočtový model, který by reprezentoval skutečné základové poměry. Vzájemnou interakci základových konstrukcí s podložím se v minulosti zabývalo a i v současnosti zabývá mnoho českých autorů [1, 2, 3, 4, 5], i zahraničních autorů [6, 7, 8, 9, 10, 11]. Bylo zavedeno několik výpočtových modelů a metod, mezi které patří i numerické metody [12, 13, 14, 15, 16, 17] (např. metoda konečných prvků - MKP), jejichž využití je spojeno s rozvojem výpočetní techniky. Aplikací výpočtového modelu je snaha vystihnout interakci mezi základem a podložím tak, aby bylo možné stanovit co nejvýstižnější rozdělení napětí a přetvoření od kontaktního napětí v základové spáře. Toto kontaktní napětí má většinou obecný průběh a kromě

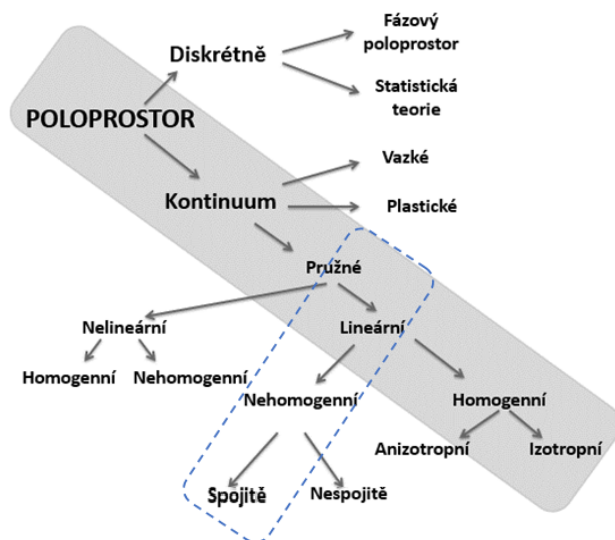
¹ Ing. Jana Labudková, Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 925, e-mail: jana.labudkova@vsb.cz.

² prof. Ing. Radim Čajka, CSc., Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 344, e-mail: radim.cajka@vsb.cz.

zatížení závisí také na tuhosti podloží, horní stavby i samotného základu. Složitost řešení vzájemné interakce základových konstrukcí a podloží spočívá hned v několika aspektech, které jsou při výpočtech rozhodující. Mezi tyto aspekty patří například např. volba výpočtového modelu a vliv fyzikálně-nelineárního chování konstrukce. Jednoznačnému řešení takové úlohy brání zatím nedostatečný teoretický základ zkoumané problematiky. Výsledky řešení se mohou lišit v závislosti na volbě modelu podloží. Nejistoty popisu chování půdního podloží jsou, mimo jiné, spojeny také se složitostí podrobně popsat geologický profil a zaručit jej v celé podzákladové oblasti.

2 KLASIFIKACE METOD VÝPOČTŮ NAPJATOSTI POLOPROSTORU

Podloží je možné modelovat jako plošný 2D model povrchu podloží nebo jako prostorový 3D model zemního masivu, kterým lze detailně sledovat děje uvnitř podloží. Model podloží ve 3D lze vytvořit jako poloprostor, tzn. těleso ohraničeno shora rovinou. Poloprostor lze modelovat diskrétně nebo jako kontinuum (obr. 1). Kontinuum lze modelovat jako vazké, plastické, pružné, lineární, nelineární atd (obr. 1). Na obr. 1 je zobrazena klasifikace a typy poloprostorů dle *Fedy* [4].



Obr. 1: Typy a klasifikace modelů poloprostoru [4]

Při tvorbě prostorového modelu lineárního homogenního izotropního poloprostoru s využitím 3D prvků je ovšem problematické zejména správně stanovit velikosti modelované oblasti představující podloží, zvolit okrajové podmínky a velikost konečno-prvkové sítě. Značná závislost na volbě zmíněných parametrů byla dokázána parametrickou studií [18, 19]. Vzhledem k tomu, že zemina je látka nestejnorodá a její vlastnosti se liší od idealizace lineárně pružné izotropní a homogenní látky, vypočtené hodnoty sedání nekorespondují s hodnotami skutečnými, naměřenými u konkrétních staveb, nebo během experimentů. Nesoulad vypočtených a naměřených hodnot sedání je popsán v [18, 19].

2.1 Nehomogenní pružné kontinuum

V nehomogenním poloprostoru je jiná koncentrace svislého napětí v ose základu než v poloprostoru homogenním. Modul přetvárnosti se mění plynule s hloubkou. Podle Frölichova [20] je navržen vztah vycházející z podmínky minima deformační práce, ve kterém modul pružnosti s hloubkou roste dle [20]:

$$E_{def} = E_0 z^m \quad (1)$$

$$m = \frac{1}{\mu} - 2 \quad (2)$$

kde

E_0 – modul pružnosti na povrchu modelu ($E_0 = E$ pro $z = 1$),

z – z - ová souřadnice (hloubka),

m – koeficient závislý na Poissonově součiniteli μ .

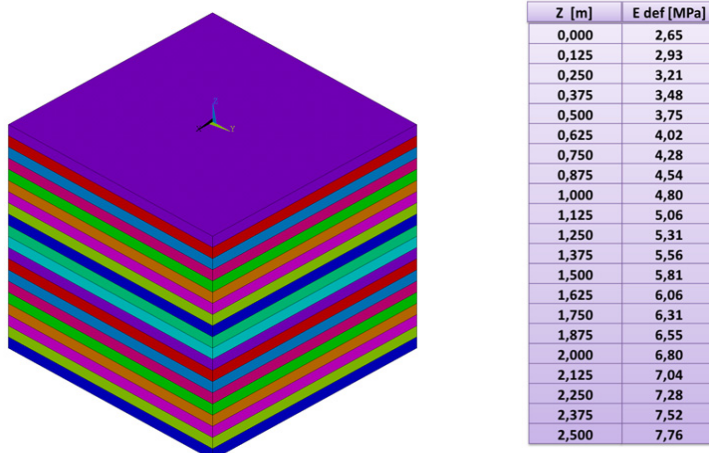
3 PROSTOROVÝ NUMERICKÝ MODEL

Interakce základové desky s podložím byla řešena s využitím numerického modelování v programovém systému ANSYS 15.0. Hodnoty řešeného příkladu byly převzaty z měření probíhajících během zatěžovací zkoušky prováděné na experimentálním zařízení popsaném v [21]. Další experimentální zatěžovací zkoušky a jejich výsledky jsou popsány také v [22, 23]. Zkušební vzorkem řešeného příkladu, u kterého byla sledována vzájemná interakce základu s podložím, byla prefabrikovaná betonová dlaždice. Betonová dlaždice byla zvolena pro jednoduchost při provádění experimentu zaměřeného zejména na ověření zkušebních metod a zařízení. Rozměry této betonové dlaždice byly 500x500x48 mm. Beton byl zatříděn na základě krychelné i válcové zkoušky betonu v prostém tlaku. Po vyhodnocení zkoušek odpovídala pevnost betonu třídy betonu C45/55.

Horní vrstva podloží je tvořena sprašovými hlinami s konzistencí třídy F4-CS (tzn. jíl písčitý) a její mocnost je cca 5 m. Betonová deska byla uprostřed zatěžována tlakem vyvozeným hydraulickým lisem. Rozměry zatěžované plochy byly 100x100 mm a v době porušení mělo zatížení hodnotu 18,640 kN. Na zatěžované ploše tedy působil tlak $\sigma = F/A = 18,64/0,01 = 1864$ kPa. Při numerické analýze byla zanedbána vlastní tíha desky i podloží. Modul přetvárnosti podloží pod zatěžovanou deskou měl hodnotu $E_{def} = 2,65$ MPa. Tato hodnota odpovídá měkké konzistenci soudržné zeminy (F4-CS). Taková zemina je v praxi pro plošné zakládání nevhodná. Při zakládání reálné stavební konstrukce by byla taková zemina vyměněna, nebo by bylo zvoleno hlubinné založení objektu. Prováděný experiment byl zaměřen zejména na ověření zkušebních metod a zařízení. Výměna zeminy byla provedena až při dalších experimentálních zatěžovacích zkouškách [24]. Zatěžovací zkoušky modelů základových desek v interakci s podložím jsou prováděny také v zahraničí [25, 26, 27, 28].

3.1 3D numerický model nehomogenního pružného kontinua

Výpočtový model byl tvořen s využitím prvku SHELL 181 (2D) pro desku z prostého betonu a prvku SOLID 45 (3D) pro model podloží. Plošnému prvku SHELL 181 byla navíc definována tloušťka desky, která byla 48 mm. Materiálem číslo 1 byl označen beton s modulem pružnosti $E=36,3$ GPa a Poissonovým součinitelem $\mu=0,2$. V podloží rozděleném na 21 vrstev byla pomocí narůstajícího E_{def} zohledněna nehomogenita prostředí. Zemina byla označena jako materiál číslo 2–22 a její Poissonův součinitel měl hodnotu $\mu=0,35$.



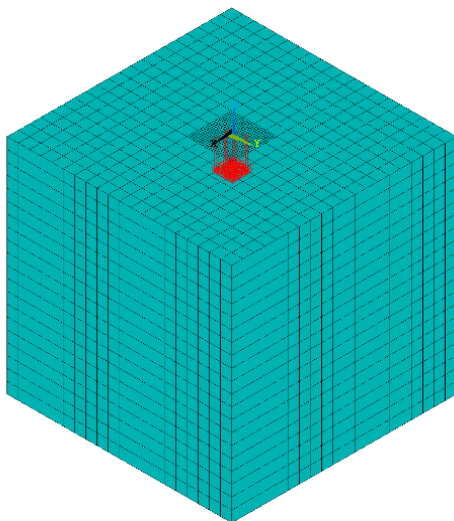
Obr. 2: Nehomogenní model podloží

Při řešení úlohy byla zanedbávána vlastní tíha zemního masivu i betonové desky. Model byl vytvořen jako krychle o rozměrech 2,5x2,5x2,5 m. Mocnost jedné vrstvy modelu podloží byla 0,125 m. Hodnota modulu přetvárnosti začíná na povrchu modelu $E_{def}=2,65$ MPa, a postupně po vrstvách jeho hodnota narůstá (obr. 2) dle vzorce:

$$E_{def} = E_0 z^m \quad \text{viz. Obr. 2} \quad (3)$$

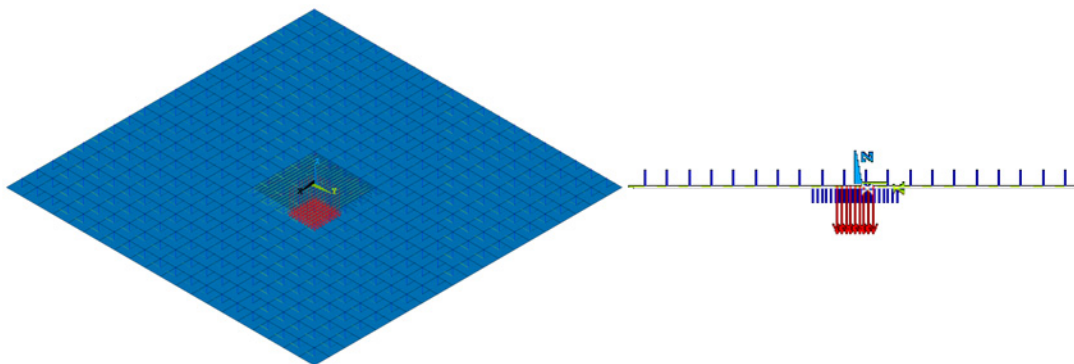
$$m = \frac{1}{\mu} - 2 = \frac{1}{0,35} - 2 = \underline{\underline{0,857}} \quad (4)$$

Pro desku byly vytvořeny 4 klíčové body a pro vytvoření všech vrstev modelu podloží bylo využito 88 klíčových bodů. Klíčové body byly spojeny liniemi, ze kterých byly vytvořeny plochy a následně objemy. Objemy jednotlivých vrstev měly různé vlastnosti dle tabulky na obr. 2. 3D prvky tvořící konečno-prvkovou síť měly rozměr 0,125x0,125x0,125 m (obr. 3). Zatížení bylo rozpočítáno do uzlů vytvářejících zatěžovanou plochu, jejíž velikost byla 100x100 mm. V době porušení vzorku mělo zatížení hodnotu 18,640 kN. Ta byla také použita při tvorbě numerického modelu (obr. 3).



Obr. 3: Vytvoření konečno-prvkové sítě a zatížení modelu

Pro vytvoření kontaktu lze v programu ANSYS využít tzv. průvodce kontaktní úlohou, který umožňuje definovat, zobrazit a upravovat kontaktní páry. Na kontaktní ploše je zanedbán vliv tření mezi deskou a podložím. Součinitel tření je tedy nulový. Po vytvoření kontaktu je nutné ověřit, zda normály obou styčných ploch směřují proti sobě, případně je otočit tak, aby tomu tak bylo (obr. 4).



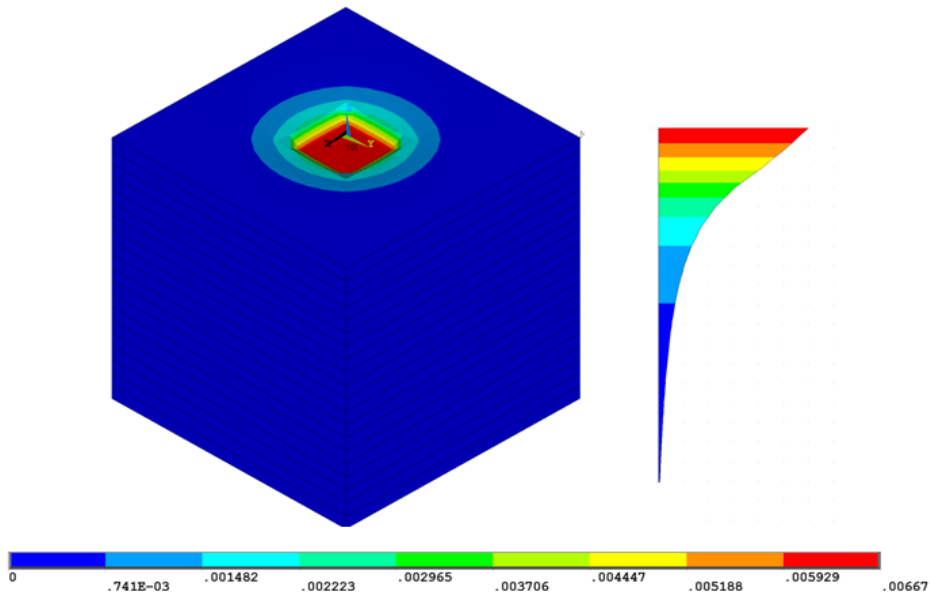
Obr. 4: Vytvoření kontaktní plochy; normály

Okrajové podmínky byly použity ve třech různých variantách (obr. 9), aby mohl být sledován jejich vliv na vypočtené svislé deformace.

Analýza interakce základů a podloží vyžaduje iterační řešení. Chování systému je závislé na tom, zda jsou tělesa v kontaktu, či nikoli.

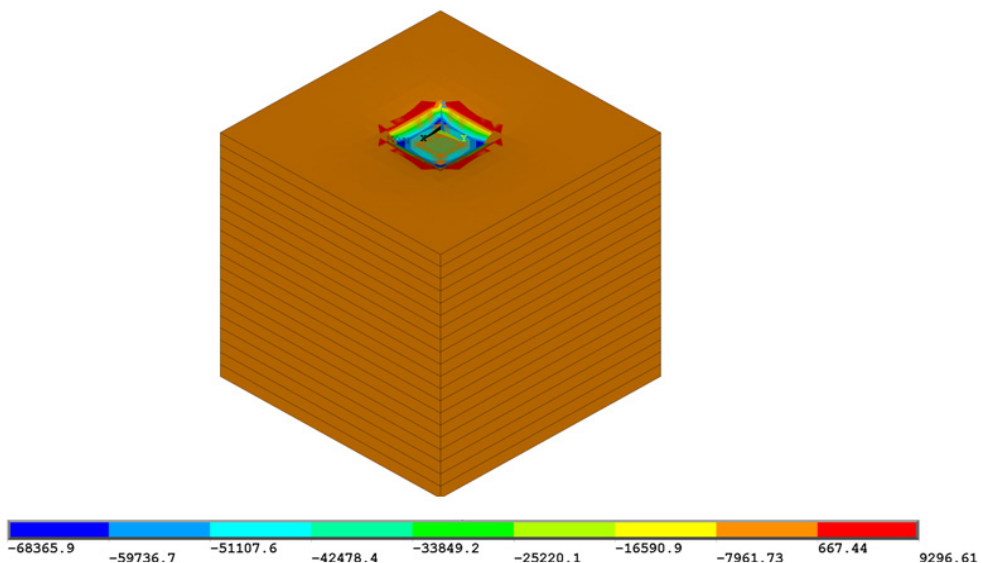
3.2 Interpretace výsledků

Na Obr. 5 jsou vykresleny celkové deformace, ze kterých je patrný vliv okrajových podmínek. Okrajovými podmínkami bylo bráněno horizontálním i vertikálním posunům uzlů vnějších stěn modelu podloží dolní podstavy modelu podloží. Žádnými okrajovými podmínkami nebylo bráněno posunům uzlů v úrovni horní podstavy modelu podloží, která reprezentovala terén.



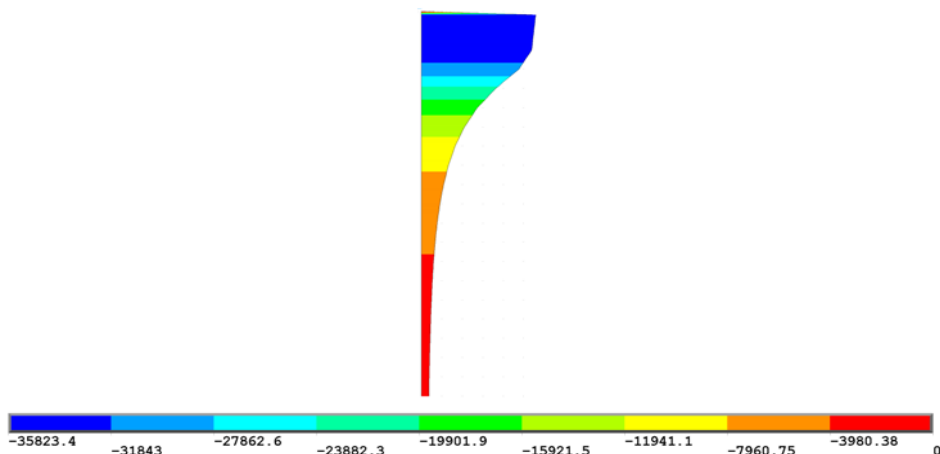
Obr. 5: Celkové deformace, vertikální řez podložím [m]

Svislá složka napětí σ_z v podloží je vykreslena na obr. 6. Červeně zbarvené oblasti znázorňují tahová napětí zeminy v místě poklesové kotliny.



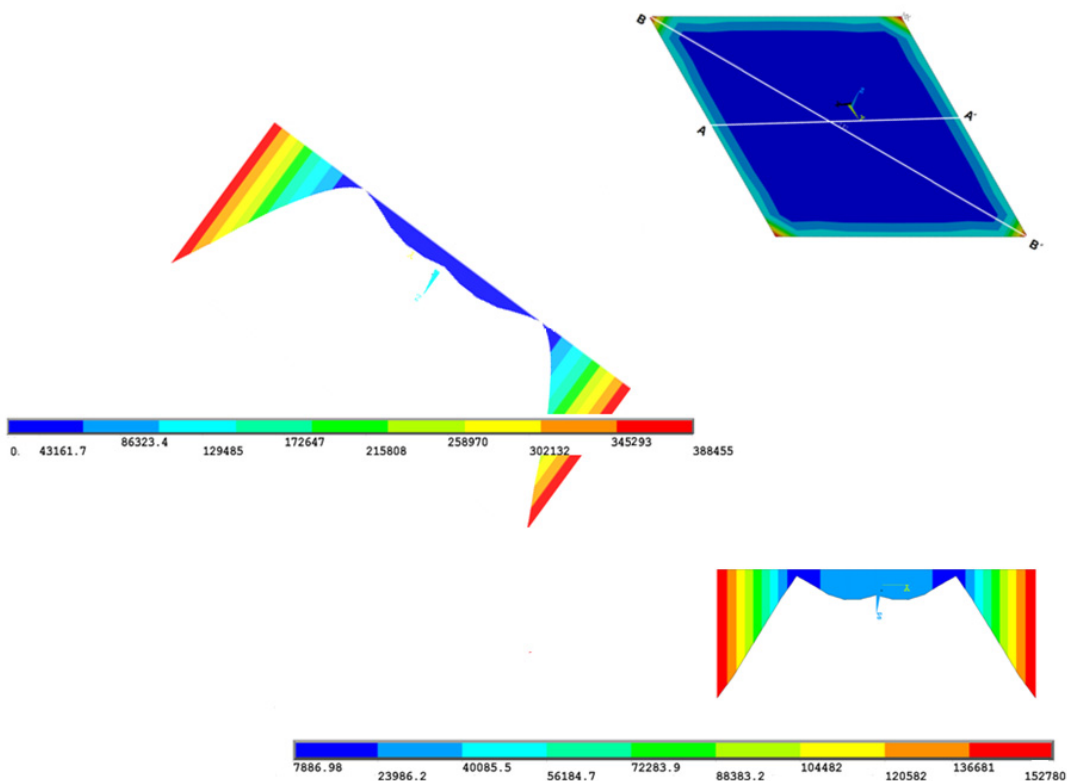
Obr. 6: Průběh složky napětí σ_z [Pa]

Průběh σ_z v závislosti na rostoucí hloubce je znázorněn ve vertikálním řezu vedeným středem podloží od horního povrchu k dolnímu (obr. 7).



Obr. 7: Průběh složky napětí σ_z – vertikální řez [Pa]

Rozdělení kontaktního napětí je zaznamenáno na obr. 8. Podle předpokladu dochází ke koncentraci kontaktního napětí po obvodu betonové desky a v jejich rozích, kde napětí prudce narůstá. To je možné sledovat také v příčném a šikmém řezu betonovou deskou. Špičky představující rostoucí kontaktní napětí lze v programu ANSYS omezit.



Obr. 8: Kontaktní napětí v příčném a šikmém řezu deskou [Pa]

4 SROVNÁNÍ HOMOGENNÍHO A NEHOMOGENNÍHO KONTINUA

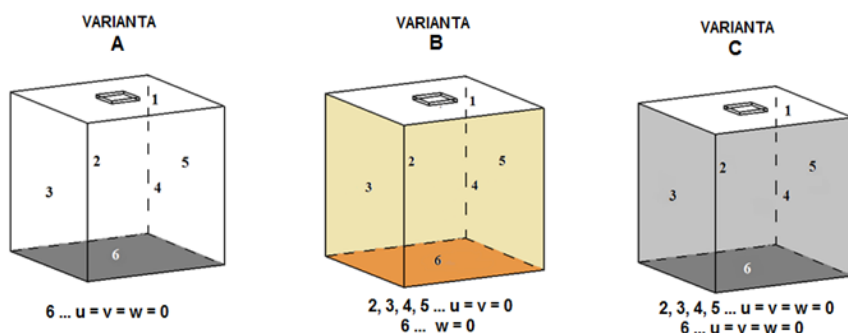
V programu ANSYS vzniklo celkem 168 modelů [18, 19] zkušebního vzorku betonové desky z prostého betonu uložené na podloží, ve kterých bylo modelováno podloží jako lineární homogenní izotropní kontinuum. Tyto modely se lišily okrajovými podmínkami, velikostí řešené oblasti a velikostí konečno-prvkové sítě, což jsou parametry, které mají významný vliv na výslednou deformaci, vnitřní síly i kontaktní napětí. Pro vyhodnocení závislosti deformací na zmíněných parametrech byla provedena parametrická studie [18, 19], která dokázala převládající vliv hloubky modelu podloží na výsledné deformace. Pro lineární homogenní izotropní kontinuum platí, že zvětšuje-li se hloubka namodelovaného podloží, zvětšují se i deformace. Čím je větší hloubka modelu podloží, tím je větší rozdíl mezi deformacemi vypočtenými pro jednotlivé varianty okrajových podmínek. S rostoucí hloubkou se tedy stává volba okrajových podmínek rozhodujícím kritériem ovlivňujícím výsledné svislé deformace [18, 19]. V takovýchto modelech není zohledněna strukturní pevnost zeminy.

Ve skutečnosti se vlastnosti zeminy mění s hloubkou, což je možné zohlednit využitím nehomogenního kontinua, ve kterém roste modul přetvárnosti zeminy s hloubkou. Byla sledována závislost výsledných svislých deformací na měnící se hloubce modelu podloží. Tato závislost byla sledována pro tři různé varianty okrajových podmínek (obr. 9).

Okrajovými podmínkami varianty A bylo bráněno vertikálním i horizontálním posunům v dolní podstavě modelu podloží (na obr. 9 označeno č. 6). Žádnými okrajovými podmínkami nebylo bráněno posunům uzlů obvodových stěn modelu podloží (na obr. 9 jsou tyto stěny označeny č. 2, 3, 4, 5) ani posunům uzlů v úrovni horní podstavy modelu podloží, která reprezentovala terén (na obr. 9 označeno č. 1).

Okrajovými podmínkami varianty B bylo bráněno horizontálním posunům uzlů vnějších stěn modelu podloží (na obr. 9 označeno č. 2, 3, 4, 5) a vertikálním posunům uzlů v dolní podstavě modelu podloží (na obr. 9 označeno č. 6). Žádnými okrajovými podmínkami nebylo bráněno posunům uzlů v úrovni horní podstavy modelu podloží, která reprezentovala terén (na obr. 9 označeno č. 1).

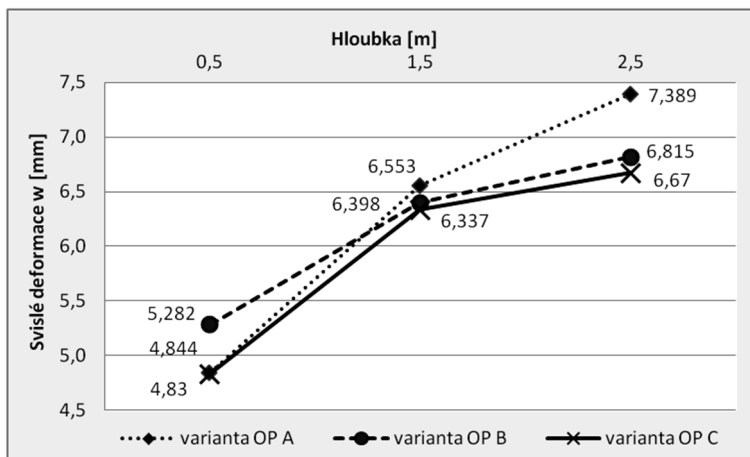
Okrajovými podmínkami varianty C bylo bráněno horizontálním i vertikálním posunům uzlů vnějších stěn modelu podloží dolní podstavy modelu podloží (na obr. 9 označeno č. 2, 3, 4, 5, 6). Žádnými okrajovými podmínkami nebylo bráněno posunům uzlů v úrovni horní podstavy modelu podloží, která reprezentovala terén (na obr. 9 označeno č. 1).



Obr. 9: Varianty okrajových podmínek

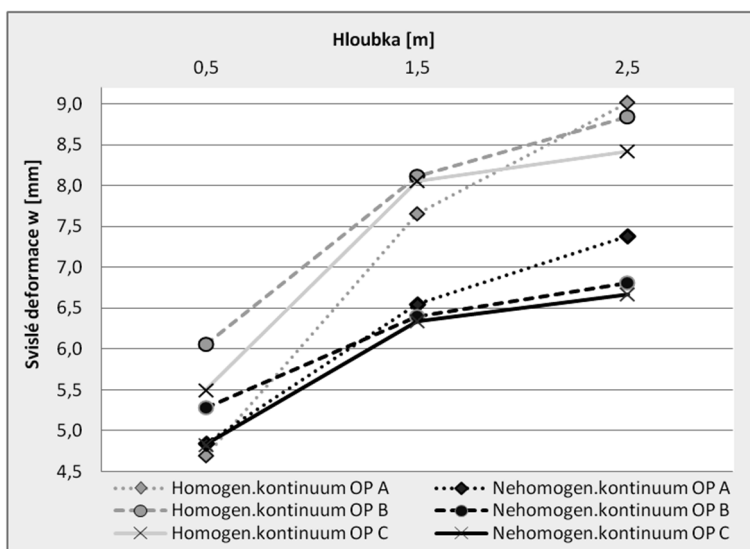
Všechny varianty okrajových podmínek byly použity v modelech homogenního poloprostoru i v modelech nehomogenního poloprostoru.

Na obr. 10 je znázorněna závislost deformací desky na proměnné hloubce namodelovaného nehomogenního podloží při zachování stejné půdorysné plochy podloží, která je 2,5x2,5 m. Hloubka narůstá vždy o 1,0 m (0,5 m; 1,5 m; 2,5 m).



Obr. 10: Závislost svislých deformací desky na proměnné hloubce nehomogenního podloží

Na obr. 11 je znázorněno srovnání deformací desky v závislosti na proměnné hloubce namodelovaného homogenního (šedě) a nehomogenního (černě) lineárního kontinua pro všechny varianty okrajových podmínek.



Obr. 11: Srovnání homogenního a nehomogenního podloží

5 ZÁVĚR

Z grafu na obr. 11 je zřejmé, že model nehomogenního kontinua poskytuje menší svislé deformace než model homogenního kontinua. To je důsledkem rostoucího modulu přetvárnosti s hloubkou. Z grafu je také patrné, že ve srovnání s modelem homogenního kontinua není model nehomogenního kontinua tak silně závislý na náhodně volených geometrických parametrech modelu podloží, kterým byla pro tento případ rostoucí hloubka. Jako hlavní měnící se parametr parametrické studie zaměřené na sledování vlivu velikosti nehomogenního modelu podloží na celkové svislé deformace byla zvolena hloubka modelu podloží, která byla parametrickou studií homogenního modelu podloží vyhodnocena jako parametr nejvýznamněji ovlivňující velikost svislých deformací. Rozdíl mezi nejmenší a největší výslednou svislou deformací ve středu desky na homogenním

modelu podloží je 4,3 mm, zatímco na nehomogenním modelu podloží je mezi maximální a minimální svislou deformací rozdíl pouze 2,6 mm, což je o 68% menší rozptyl hodnot geometricky shodných modelů lišících se pouze v homogenitě resp. nehomogenitě podloží. Z toho lze usoudit, že nehomogenní kontinuum poskytuje stabilnější výsledky méně ovlivněné volbou geometrie a rozměrů oblasti představující podloží.

PODĚKOVÁNÍ

Práce potřebné k vytvoření článku byly podporovány z prostředků Studentské grantové soutěže VŠB-TUO. Registrační číslo projektu je SP2015/108.

LITERATURA

- [1] WÜNSCH, J. Tuhý základ a pružný poloprostor. *Konstrukter* 25, Praha, 164 s., 1947.
- [2] TEPLÝ, B. & NĚMEC, I. & BUČEK, J. & RUSINA, R. & MÍČA, L. & NOVÁK, D. Řešení interakce plošných konstrukcí s podložím, *časopis Konstrukce*, ISSN 1803-8433, prosinec 2009.
- [3] KOLÁŘ, V. & NĚMEC, I. *Modelling of Soil Structure Interaction*. 2.ed. Praha, Academia, 336 s., 1989.
- [4] FEDA, J. *Napjatost podzákladí a metody výpočtů konečného sednutí*, Studie ČSAV č.5., 1.vyd. Academia, 152s, 1974.
- [5] CAJKA, R.: Analysis of Stress in Half-space using Jacobian of Transformation and Gauss Numerical Integration, *Advanced Materials Research*, Switzerland, 2013, p.178-186.
- [6] BOLTEUS, L. Soil-Structure Interaction. *Developments in Geotechnical Engineering*, Vol. 43, 1.ed. Amsterdam, Elsevier 1984. 378 p.
- [7] BOWLES, J. E. *Foundation Analysis and Design*. 4. ed. Singapore, McGRAW-HILL, 1008p. 1988.
- [8] GORBUNOV-POSADOV, M. I. *Výpočet konstrukcí na pružném podkladu*, Praha, SNTL, 476 s. 1957.
- [9] NOVOTNÝ, B & HANUŠKA, A. *Teória vrstevnatého polpriestoru*. Bratislava, VEDA, 260 s., 1983.
- [10] HRUŠTINEC, Ľ. *Analýza spolupôsobenia plošného základu s podložím*. Bratislava: STU, Zošit 12, 2003. 184 s. ISBN 80-227-1957-5.
- [11] LANGEN, H., *Numerical Analysis of Soil-Structure interaction*. Delft, University of Technology, 141 p. 1991.
- [12] MRÁZKOVÁ, M. Výpočet desek na pružném podkladu metodou konečných prvků, *Stavebnický časopis* 20 č. 7, VEDA Bratislava, s.534-545, 1972.
- [13] MATERNA, A. & TEPLÝ, B. Problémy statického řešení základových konstrukcí. Fyzikálně nelineární chování železobetonových základových konstrukcí, sborník příspěvků "Použití nelineární mechaniky v inženýrské praxi", Dům techniky ČVTS Ostrava, červen 1975, str.108-132, 1975.
- [14] BOSWELL, L.F. The Application of the Finite Element Method to some Soil Structure Interaction Problems. In: *Proc. of the Int. Symp. on Numerical Methods in Soil Mechanics and Rock Mechanics*, Karlsruhe, 1976, pp.125-134.
- [15] MIKOLÁŠEK, D. & BROŽOVSKÝ, J. Numerická analýza tuhosti podloží a jeho vlivu na přerozdělení reakcí na základovou patku, *Juniorstav 2012 : 14. odborná konference doktorského studia s mezinárodní účastí*, VUT Brno, FAST, 2012.
- [16] REITINGER, R. & ŠVEJDA, L. Výpočet vrstevnatého podloží metodou konečných prvků, *Stavitel*, 5/98, str. 32–33.

- [17] CAJKA, R. Numerical Solution of Temperature Field for Stress Analysis of Plate Structures (2013). *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 470 (2014), pp 177-187. Trans Tech Publications, Switzerland, ISSN: 16609336, ISBN: 978-3-03785-961-2, doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.470.177
- [18] CAJKA, R. & LABUDKOVA, J. Dependence of deformation of a plate on the subsoil in relation to the parameters of the 3D model. *International Journal of Mechanics*, Volume 8, Pages 208-215, 2014, ISSN: 1998-4448.
- [19] LABUDKOVA, J. & CAJKA, R., Porovnání experimentálně naměřené deformace desky na podloží a výsledků 3D numerického modelu. *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava, řada stavební*, číslo 1, rok 2014, ročník XIV.
- [20] FRÖHLICH, O. K. Druckverteilung im Baugrunde mit besonderer. *Berücksichtigung der plastischen Erscheinungen*. 183 s. Wien, Verlag Julius Springer, 1934.
- [21] CAJKA, R. & BURKOVIC, K. & BUCHTA, V. Foundation slab in interaction with subsoil. *Advanced Materials Research*. Volume 838-841, 2014, Pages 375-380, ISSN: 10226680 ISBN: 978-303785926-1, DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.838-841.375
- [22] CAJKA, R. & KRIVY, V. & SEKANINA, D. Design and Development of a Testing Device for Experimental Measurements of Foundation Slabs on the Subsoil. *Transactions of the VSB - Technical University of Ostrava, Construction Series*, Volume XI, Number 1/2011, VSB - TU Ostrava, Pages 1–5, ISSN (Online) 1804-4824, ISSN (Print) 1213-1962. DOI: 10.2478/v10160-011-0002-2, 2011.
- [23] JANULIKOVA, M. & MYNARCIK, P. Modern sliding joints in foundations of concrete and masonry structures. *International Journal of Mechanics*, Vol. 8, Issue 1, 2014, Pages 184-189.
- [24] BUCHTA, V. & MYNARCIK, P. Experimental testing of fiberconcrete foundation slab model, *Applied Mechanics and Materials*, Volume 501-504, 2014, Pages 291-294
- [25] HUANG, X. & LIANG, X. & LIANG, M. & DENG, M. & ZHU, A. & XU, Y. & WANG, X. & LI, Y. Experimental and theoretical studies on interaction of beam and slab for cast-in-situ reinforced concrete floor structure, *Journal of Building Structures / Jianzhu Jiegou Xuebao*, Vol. 34, No. 5, pp. 63-71, 2013.
- [26] ALANI, A. & ABOUTALEBI, M. Analysis of the subgrade stiffness effect on the behaviour of ground-supported concrete slabs, *Structural Concrete*, Issue 13, Volume 2, pages 102-108, DOI: 10.1002/suco.201100043, 2012.
- [27] ABOUTALEBI, M. & ALANI, A. & RIZZUTO, J. & BECKETT, D. Structural behaviour and deformation patterns in loaded plain concrete ground-supported slabs, *Structural Concrete*, Issue 15, Volume 1, pages 81-93. ISSN 1464-4177, DOI 10.1002/suco.201300043, 2014.
- [28] ALANI, A. & BECKETT, D. & KHOSROWSHAHI, F. Mechanical behaviour of a steel fibre reinforced concrete ground slab, *Magazine of Concrete Research*, Volume 64, Issue 7, July 2012, Pages 593-604, ISSN 00249831, DOI: 10.1680/macr.11.00077, 2012.

Oponentní posudek vypracoval:

Prof. Ing. Juraj Králik, PhD., Katedra stavebnej mechaniky, Stavebná fakulta, STU v Bratislave.

Doc. Ing. Ľuboš Hruštinec, PhD., Katedra geotechniky, Stavebná fakulta, STU v Bratislave.

Vlastimil RUDOLF¹, Martina PEŘINKOVÁ²

**OBNOVA PAMÁTKOVÝCH ZÓN – MOŽNOSTI A OBJEM FINANČNÍ PODPORY
KULTURNÍHO DĚDICTVÍ VE VYBRANÝCH OBDOBÍCH V ČESKÉ REPUBLICE A
V OLOMOUCKÉM KRAJI**

**RESTORATION OF HERITAGE PRESERVATIONS AND ZONES – AVAILABILITES AND
VOLUME OF FINANCIAL SUPPORT OF RESTORATION OF CULTURAL SIGHTS DURING
SPECIFIC PERIODS IN CZECH REPUBLIC AND OLOMOUC REGION.CONTRIBUTION**

Abstrakt

Článek zaměřuje svou pozornost na objem financí, které jsou vkládány do vybraných programů využitelných při stavební obnově našich historických sídel (resp. jednotlivých památkově chráněných objektů). Jeho cílem je upozornit na výrazné výkyvy množství alokovaných prostředků v jednotlivých vybraných letech a na potřebu jejich navýšení.

Klíčová slova

Památková péče, památkové rezervace, památkové zóny, finanční podpora, dotační programy, historická sídla.

Abstract

This article aims to the volume of money, which are being invested into selected programs applicable for building restoration of our historical seats. Its goal is to point out the significant deviations of amount of allocated resources in single years and to the necessity of their increasing.

Keywords

The Heritage Preservation, Conservation area, Heritage zones, financial support, subsidy programs.

1 ÚVOD

Naše městské památkové rezervace (MPR) a památkové zóny (MPZ) zahrnují v sobě množství stavebních objektů, prohlášených za nemovité kulturní památky a rovněž řadu cenných objektů, které za nemovité kulturní památky (dosud) prohlášeny nebyly. Pro obě skupiny nemovitostí pak platí, že jejich vlastníci jsou omezováni ve svých právech s nimi svobodně nakládat a jsou na ně kladeny nároky v podobě zvýšených výdajů na jejich údržbu. Za této situace má stát, ve smyslu našeho právního řádu, povinnost poskytovat jim určité náhradní plnění.³ To se zpravidla uskutečňuje prostřednictvím odborné organizace státní památkové péče (Národního památkového ústavu) a spočívá v poradenství ve věci údržby, zpracování stavebně-historických a operativních průzkumů (SHP, OP), návrhů barevnosti apod., a to vše za režijní materiálové náklady (např. cenu xero kopií

¹ Mgr. Vlastimil RUDOLF, Katedra architektury, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Poděště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 582 329 161, e-mail: vlastimil.rudolf@vsb.cz.

² Doc. Ing. Martina PEŘINKOVÁ, Ph.D., Katedra architektury, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Poděště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 351, e-mail: martina.perinkova@vsb.cz.

³ Srov. [1]

výsledků zjištění, elaborátů SHP atp.). Takovýchto služeb se může dostat všem, avšak z kapacitních důvodů jsou preferováni vlastníci památek.

Další kompenzací je možné přiznání příspěvku nebo dotace na zvýšené náklady, tedy například položení konkrétního druhu krytiny a dorovnání rozdílu ceny mezi krytinou obvyklou a požadovanou. Na příspěvky není právní nárok, zákon hovoří pouze o tom, že „může být přiznáno“.⁴

Pro podporu vlastníků nemovitostí dnes existuje široké spektrum titulů finanční podpory různých poskytovatelů, které lze za určitých okolností kombinovat.

2 CHARAKTERISTIKA JEDNOTLIVÝCH VYBRANÝCH DOTAČNÍCH TITULŮ

2.1 Program „Záchrana architektonického dědictví (PZAD)“

Pro jednotlivé architektonické památky, které se nalézají v obzvláště špatném stavu, byl v roce 1995 vyhlášen „Program záchrana architektonického dědictví“, administrovaný Ministerstvem kultury České republiky. Jedná se o dlouhodobý program, jehož výhodou je možnost i opakovaného přidělování peněz, a to až do doby, než pomine ohrožení stavebních objektů. Vše je realizováno za předpokladu uchování autenticity památek.⁵

Tab. 1: Objem finančních prostředků v PZAD ve vybraných letech a v tis. Kč

Rok	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Objem finančních prostředků v tis. Kč	383.660	365.369	278.937	196.296	211.495	130.808	103.720	150.000	150.000

Ze zjištěných údajů je patrné, že celkový objem distribuovaných finančních prostředků v PZAD je výrazně proměnlivý. Varující je skutečnost, že ve sledovaném období největší množství prostředků obdrželi vlastníci kulturních památek v roce 2007, a od té doby prochází výše podpory značnými propady a mírnými navýšeními (turbulencemi), případně stagnací, jak je dobře patrné zejména při porovnání údajů z roku 2007 a 2013, ze kterého plyne, že za dobu sedmi let došlo k poklesu o 279 940 000 Kč, tj. o 72,97 %. **Tyto propady mají bez pochyby význačný dopad na plánování stavebních prací při obnově kulturních památek.** Rok 2015 prezentuje předpoklad vkládaných prostředků a znamená stagnaci. Změny zachycuje následující tabulka:

⁴ [2] § 16.

⁵ K autenticitě památek zejména: [3], [4] a [5].

Tab. 2: "Turbulence" ve výši příspěvků v PZAD, v tis. Kč a % ⁶

Rok	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Úbytek financí v tis. Kč	-	-18.291	-104.723	-187.364	-172.165	-252 852	-279.940
Meziroční rozdíl v tis. Kč	-	-18.291	-86.432	-82.641	15.199	-80.687	-27.088
Úbytek financí v %	-	-4,77	-22, 53	-48,84	-44,87	-66, 91	-72,97
Hodnota příspěvku mezi roky 2007 - 2013, v %	100	95,245	72,700	51,195	55,125	34,113	27,034

Výchozí hodnotou pro výpočty je údaj z roku 2007, tj. 383.660 000 Kč.

Jaké výše dosáhla podpora ze sledovaného programu v Olomouckém kraji v časovém rozpětí 2009–2013? To nám zprostředkuje následující tabulka:

Tab. 3: Výše podpory v Olomouckém kraji

Rok	Celkem v tis. Kč	Z toho MPR + MPZ	Podíl Olomouckého kraje (v %,)	Podíl MPR + MPZ v %
2009	4.400	1.500	1,577	0,538
2010	4.750	4.315	2,420	2,198
2011	6.550	1.960	3,103	0,928
2012	3.220	840	3,159	0,830
2013	2.800	1.200	2,699	1,156

Výchozí hodnotou pro výpočty je celorepublikový objem alokovaných prostředků v programu v roce 2009, tj. 278 937 000 Kč.

Srovnáním údajů zjišťujeme, že celková výše finančních prostředků nebyla příliš vysoká. Relativně nízký objem příspěvků lze interpretovat tak, že stav zdejších kulturních památek byl, ve srovnání se situací v jiných krajích (např. Ústeckém, Plzeňském ad.), uspokojivější. Aplikace PZAD se dále velmi málo projevuje v městských památkových rezervacích a městských památkových zónách. Údaje v % jsou vztaženy k celorepublikovému objemu prostředků (proto např. pro rok 2009 dosahují hodnot 1, 577 a 0.538 %). Dva sloupce (podíl Olomouckého kraje a podíl MPR + MPZ) jsou dány tím, že PZAD je využíván pro ohrožené památky jak v MPR a MPZ, tak i mimo ně.

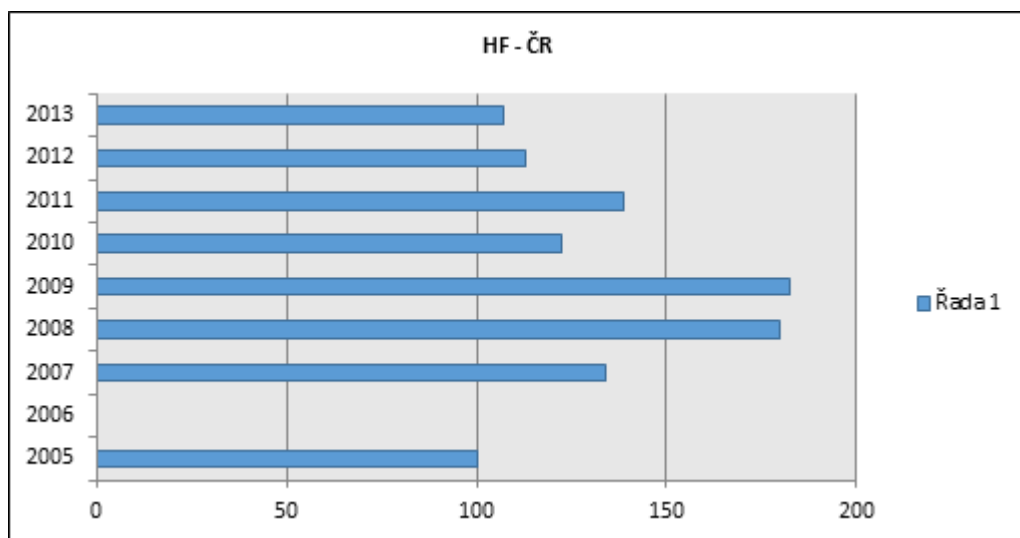
⁶ Výchozí hodnotou tabulky je údaj z roku 2007 (383 660 000 Kč) od něhož se odvíjí objem peněz vkládaných do programu v následujících letech (v tis. Kč). Druhý řádek pak uvádí pokles v jednotlivých letech oproti výchozí hodnotě, takže pokles mezi lety 2007-2008 činí 18 291 000 Kč, mezi lety 2008-2009 86 432 000 Kč atd. K úbytku docházelo prakticky ve všech letech, s výjimkou let 2010-2011, kdy byl zjištěn meziroční nárůst, který však sestupný trend snižování množství finančních prostředků v programu nezvrátil. Třetí řádek se váže k prvnímu a zachycuje meziroční změny v procentech, čtvrtý pak prezentuje celkový pokles oproti výchozímu stavu (taktéž v procentech).

2.2 Havarijní program (HF)

Dalším programem využitelným i v prostředí městských památkových rezervací a zón je „Havarijní program“. Prostředky zde shromážděné jsou určeny na záchranu nemovitých kulturních památek v havarijním technickém stavu, zejména na statické a celkové stavební zajištění, vč. restaurátorských prací, a na opravy krovů a střech (i s případným provedením klempířských a zámečnických prací, opravu komínů, korunní římsy objektu apod.).⁷ Žádosti jsou shromažďovány prostřednictvím jednotlivých územních odborných pracovišť Národního památkového ústavu.

Tab. 4: HF v celé ČR

Rok	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Částka v tis. Kč	55.000	61.711	73.820	98.839	100.371	67.394	76.300	61.994	58.932
Změny oproti výchozímu stavu (v %)	-	112,20	134,21	179,76	182,49	122,53	138,72	112,71	107,14
Meziroční rozdíl v %	-	12,20	22,01	45,55	2,73	-59,96	16,19	-26,01	-5,57
Částka, Olomoucký kraj (v tis. Kč)	x	x	x	5.792	7.286	3.582	4.400	2.780	2.780



Graf 1: Turbulence“ objemu financí v HF v % (celá ČR)

⁷ Výchozí hodnotou tabulky je údaj z roku 2005 (55 000 000 Kč) od něhož se odvíjí sledování objemu peněz vkládaných do programu (v tis. Kč). Druhý řádek tabulky přináší přehled o změnách oproti výchozímu stavu (v %). Třetí se váže k prvnímu a zachycuje meziroční změny (v %), čtvrtý prezentuje objem financí (a změny) v Olomouckém kraji (v tis. Kč).

Do roku 2009 se celkový objem finančních prostředků v HF (v celé ČR) zvyšoval.⁸ V roce 2010 došlo k výraznému propadu. Rok 2011 přinesl nadějný růst, ale již ten následující (2012) byl opět ve znamení výrazného propadu a rok 2013 na něj v tomto nepříznivém směru navázal tak, že jsme se vrátili téměř na stejné hodnoty, jako před devíti lety.⁹ Pokud sledujeme situaci v Olomouckém kraji, jsou finanční změny ještě více patrné, neboť pokles celkového objemu přidělené podpory při srovnání roku 2008 a 2013 činí 47,99 %, v případě roku 2009 a 2013 pak jen 38,15 % (tj. – 4.506 000 Kč).

Tab. 5: "Turbulence" objemu financí v HF (Olomoucký kraj)

Rok	2008	2009	2010	2011	2012	2013
v %	100	125,8	61,84	75,96	47,99	47,99

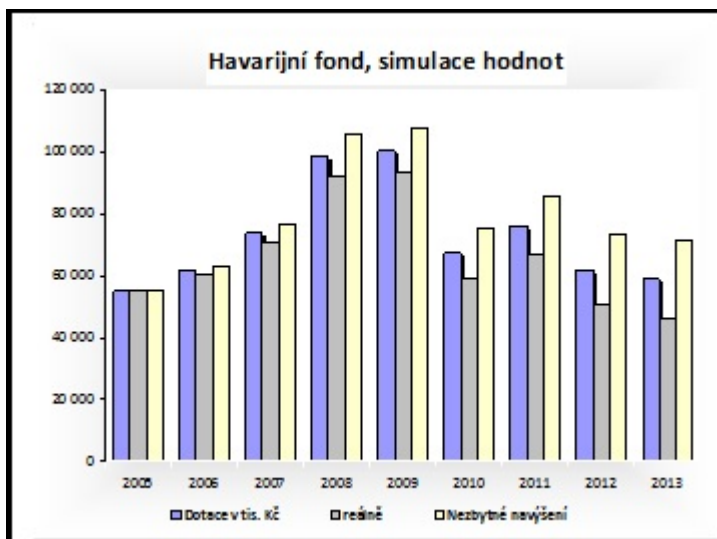
Tab. 6: Reálné propady hodnot financí v programu HF (celá ČR)

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
V tis. Kč	55.000	61.711	73.820	98.839	100.371	67.394	76.300	61.994	58.932
Dopady Inflace v tis. Kč	0	1.370	-2.954	-6.605	-7.221	-8.154	-9.354	-11.478	-12.408
Reálně, v tis. Kč	55.000	60.341	70.866	92.234	93.150	59.240	66.940	50.516	46.524
Nezbytné navýšení v tis. Kč	0	63.081	76.774	105.444	107.592	75.548	85.654	73.472	71.340
Minimální nezbytná hodnota v tis. Kč	0	56.954	57.954	61.605	62.221	63.154	64.354	66.478	67.408
Přírůstky, ztráty + -	0	5.341	15.866	37.234	38.150	4.244	11.946	-4.484	-8.476

V roce 2013 bylo v programu alokováno reálně o 8 476 000 Kč méně v porovnání s rokem 2005, takže abychom bývali v roce 2013 dosáhli v objemu peněz úrovně roku 2005, bývalo by muselo být alokováno 71 340 000 Kč. V množství vkládaných peněz registrujeme setrvalý pokles (v roce 2014 bylo do HF vloženo 55 443 375 Kč, v roce 2015 pak již pouze 52 880 000 Kč).

⁸ Zdroj: [6].

⁹ zdroj: [7]



Graf 2: HF, simulace hodnot

2.3 Program regenerace městských památkových rezervací a městských památkových zón (PRMPR a MPZ)¹⁰

Je nejdůležitějším a základním programem, z něhož lze čerpat příspěvky na obnovu památek, nalézajících se v městských památkových rezervacích a zónách. Tato plošná ochrana bývá zpravidla ještě posílena vymezením ochranných pásem konkrétních lokalit¹¹. Program je založen na bázi participace finančního podílu státu, měst a vlastníků památek podle předem stanoveného klíče a poměrů. Částky, poskytované z daného programu, dosáhly za dobu jeho trvání celkové výše, jež se možná jeví překvapující, avšak ve srovnání s jinými výdaji ze státního rozpočtu vysoká není:

Tab. 7: Objem financí v Programu regenerace MPR a MPZ 1993–2015

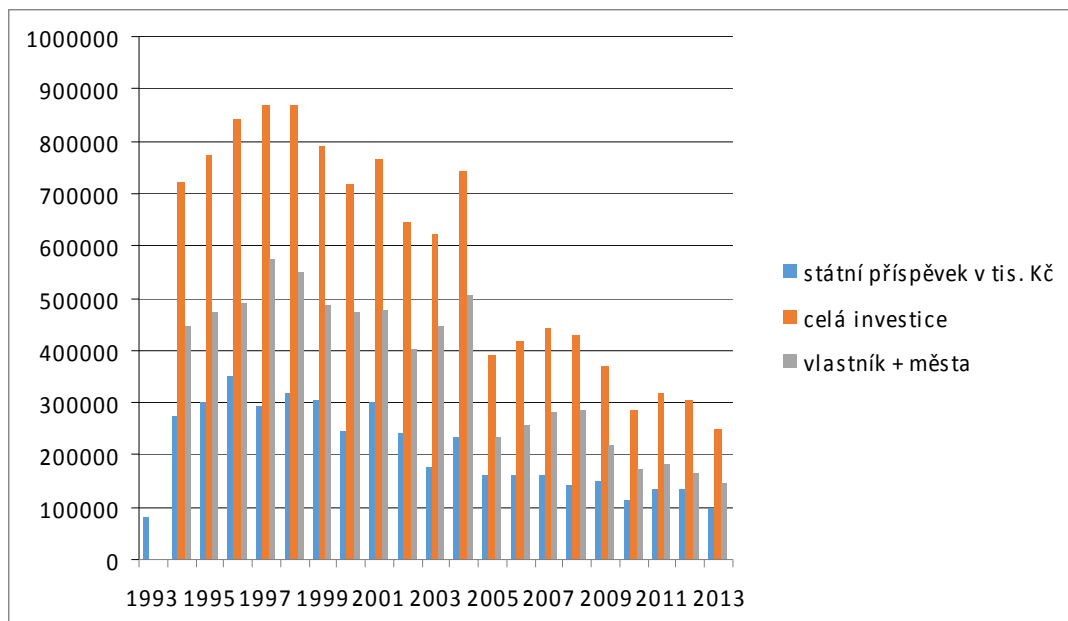
Plošná ochrana v letech 1993-2011 (v tis. Kč)	
MPR	1.631.057
MPZ	2.638.773
Celkem	4.267.820

V prvním roce fungování nového programu (1993) činila podpora 80 000 000 Kč. Následujícího roku došlo k optimistickému navýšení na 275 000 000 Kč. V roce 1996 se v programu nacházela nejvyšší částka, a to 350 000 000 Kč, poté procházelo vkládané množství peněz mírnějšími turbulentními až do roku 2005, kdy částka dosáhla výše jen 160 000 000 Kč a následně došlo ke stagnaci a pohybum, **aby v roce 2013 bylo alokováno pouze 100 000 000 Kč**. V dalším roce sice

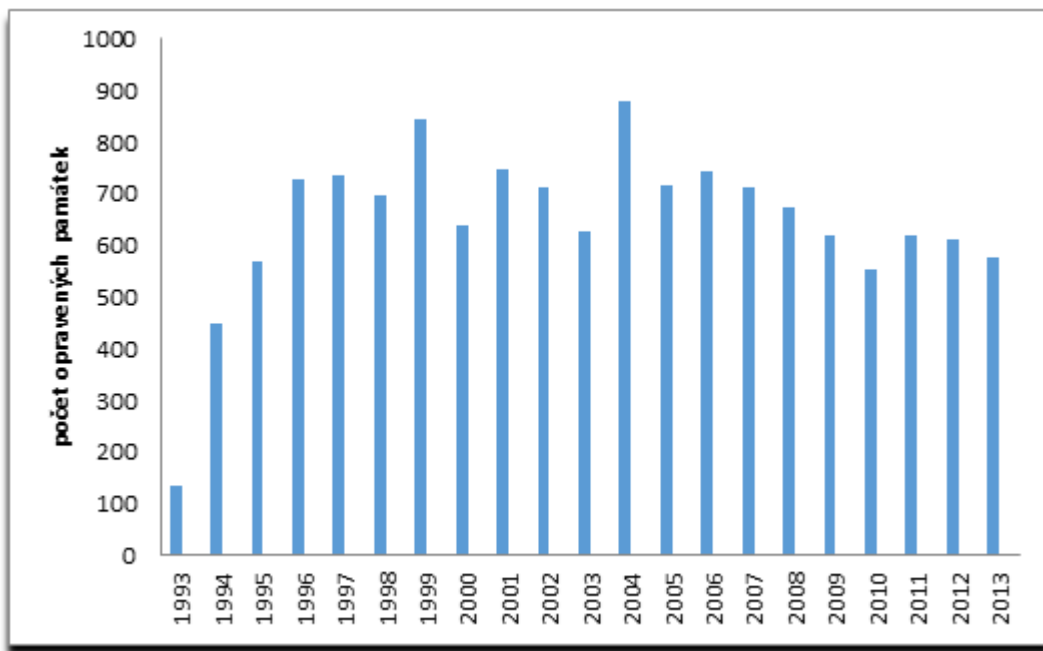
¹⁰ K rozvoji plošné památkové ochrany srov.[8]

¹¹ Srov. [9] [10] [11] [12]. Tam i další literatura.

došlo k navýšení na 140 000 000 Kč, avšak rok 2015 (při naplnění příslibu vložených peněz) přinese opět stagnaci. Znáznorněno graficky:

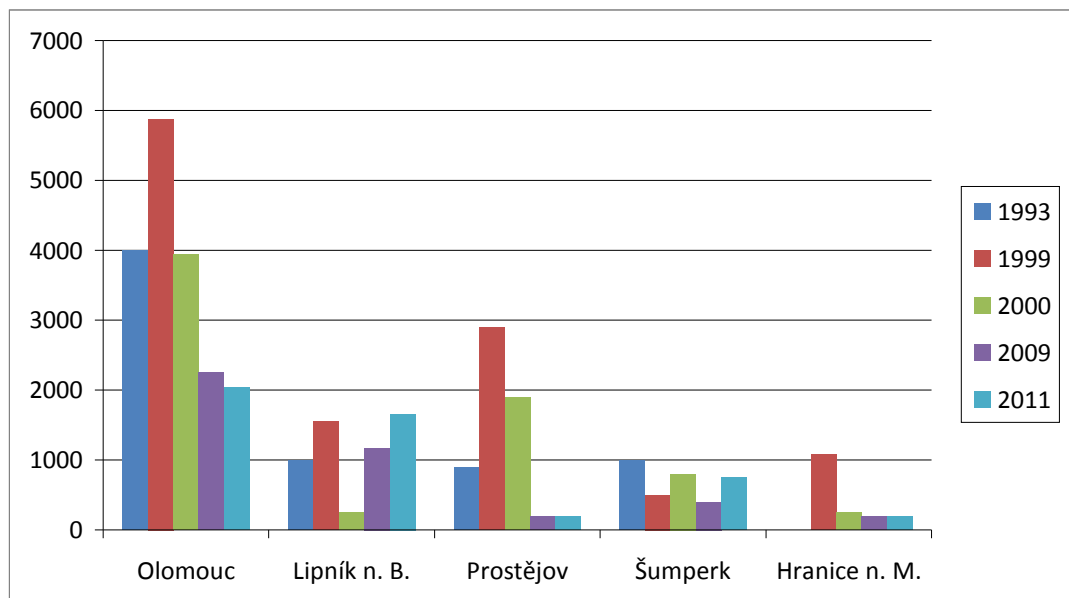


Graf 3: Vývoj výše podílů účastníků programu



Graf 4: Počty obnovených památek

Jak si vedl Olomoucký kraj při čerpání finančních prostředků z tohoto programu? Z dostupných údajů zjišťujeme, že městské památkové rezervace a památkové zóny v tomto kraji za sledované období vyčerpaly z programu 241 032 000 Kč, z toho 83 631 000 Kč MPR a 157 401 000 Kč MPZ.



Graf 5: Objem financí v Programu regenerace MPR a MPZ v Olomouckém kraji ve vybraných letech

Obě MPR Olomouckého kraje získaly z programu 83 631 000 Kč (Olomouc 63 145 000 Kč, Lipník nad Bečvou 20 486 000 Kč). Pokud jde o Olomouc, nabízí se otázka, zda v jejím případě uváděná částka odpovídá jejímu deklarovanému postavení v „hierarchii“ MPR, tj. druhé největší památkové rezervace u nás. Vycházíme-li z údajů (v Kč) vztahujících se k historicky i architektonicky cenným městům, jež jsou zároveň i velmi turisticky vyhledávaná, zjišťujeme, že: Brno čerpalo 82 000 000, Český Krumlov 79 908 000, Praha (1,2 a 5) 74 200 000, Tábor 73 340 000, Litomyšl 70 628 000, Kutná Hora 65 845 000, Olomouc 63 154 000, Lipník nad Bečvou pak 20 486 000. Ze shromážděných dat plyne, že objem vyčerpaných prostředků neodpovídá deklarovanému postavení Olomouce jako druhé největší MPR v republice, neboť ji předčila celá řada i menších měst. Nesoulad mezi podporou a deklarovaným postavením může být způsoben také tím, že požadavky vlastníků a objem prací byly v Olomouci menšího rozsahu než v jiných městech. Ověření této domněnky by si ovšem vyžádalo další podrobné zkoumání.¹²

2.4 Program pro restaurování movitých kulturních památek

Tento program je pro nás spíše marginální, neboť je ve stavebnictví využitelný jen ve značně omezené míře, a to např. při obnově některých fasád, jejichž součástí (sochařská výzdoba apod.) mohou být zapsány v Ústředním seznamu kulturních památek samostatně jako movité kulturní památky. Z výše uvedených důvodů nesledujeme prostředky v něm vložené.

¹² [13] s. 372

2.5 Další zdroje podpor

Na tomto místě nelze nevpomenout příspěvky na obnovu kulturních památek prostřednictvím bývalých Okresních úřadů: např. Okresní úřad v Prostějově za dobu svého provozu v devadesátých letech minulého století až do roku 2002 rozdělil 30 milionů Kč. Mimo to z kapitoly přednosty úřadu bylo v naléhavých případech (havarijní stav apod.) přiděleno dalších cca 20 milionů Kč.¹³ Po zrušení Okresních úřadů nastalo po delší dobu v tomto směru „finanční vakuum“, než se etablovaly programy podpory na krajských úřadech (po schválení krajskými zastupiteli). Další podporu také poskytovala aktivní města, zejména na obnovu fasád, obnovu střešní krajiny aj. V Olomouckém kraji byl tímto příkladným městem např. Šternberk.

Pro velmi rozsáhlé akce se také nabízí využití např. integrovaného operačního programu (IOP), tzv. norských fondů, „peněz z Evropské unie“ ad. Objem prostředků, jež lze získat z v rámci dotyčných programů, šplhá do stovek milionů korun českých. Avšak zároveň s lákavou možností získat prostředky se objevuje i hrozba nadměrných zásahů do autenticity památek.

3 ZÁVĚR

Z celé sledované problematiky podpory obnovy kulturních památek, potažmo našich historických sídel, lze vyvodit závěry uspokojivé i znepokojující. V obecné rovině můžeme být spokojeni s tím, že máme vytvořen systém podpory vlastníků nemovitých kulturních památek a nemovitostí za kulturní památky neprohlášených, avšak situovaných v území s plošnou památkovou ochranou, při jejich obnově. Zástupci měst a obcí se na semináři, jenž se uskutečnil 15. dubna 2014 v prostorách Poslanecké sněmovny České republiky¹⁴, vyjádřili k systému podpor v tom směru, že existuje vysoká efektivita státních dotací do obnovy památek: „Každá dotace do obnovy památek, vyvolá další spolufinancování ze strany měst a ostatních vlastníků památek. Vložená dotace se plně vrátí státu zpět formou DPH a odvodů sociálního a zdravotního pojištění a daně ze mzdy zaměstnanců firem provádějících obnovu památek.“ Zúčastnění zástupci dále požadovali zvýšení prostředků v Programu regenerace městských památkových rezervací a zón, ale i v ostatních programech Ministerstva kultury, neboť tím mj. dochází také k podpoře zaměstnanosti a růstu HDP a jedna koruna dotace do obnovy památek se projeví růstem HDP ve výši přibližně 2,50 Kč. Vyjádření zástupců historických sídel také podporuje zjištění, že objem vkládaných finančních prostředků soustavně klesá, případně stagnuje (to je znepokojující poznatek). Existují sice přísliby navyšování peněz pro kulturu až na 1% z ročního státního rozpočtu, jež pravidelně slýcháme již řadu let, změny ale nepřicházejí. Avšak i přes ne zrovna optimistický výhled je vhodné si připomínat, že budeme-li podporovat obnovu kulturního dědictví, zachováme si historickou paměť, podpoříme zaměstnanost (a prosperitu stavebnictví a dalších souvisejících oborů), a zabráníme tomu, aby se vracely zločiny proti městskosti tak, jak k tomu docházelo v době nedávné.¹⁵

LITERATURA

- [1] Judikatura ÚS 35/94, ze dne 23. 6. 1994 [on-line]. Dostupné z <http://kraken.slv.cz/I.US35/94>.
- [2] Zákon č. 20/1987 Sb., o státní památkové péči, ze dne 30.3.1987, v platném znění.
- [3] LÁSKA, V. *Hodnota, autenticita a integrita stavebního díla minulosti – teorie a praxe*. Praha: Památky středních Čech, časopis Památkového ústavu středních Čech v Praze, ročník 14, číslo 2, 2000. s. 1-25. ISSN 0862-1586.
- [4] KROUPA, P. *Čas a autenticita památky*. Zprávy památkové péče, ročník 64, č. 5, Praha. 2005. s. 431 – 439. ISSN 1210-5538.

¹³ [14]

¹⁴ Závěry semináře ze dne 15. dubna 2014, dostupné z [15]

¹⁵ Srov. např. [16].

- [5] ŠTULC, J. *Autenticita památky a problém její rekonstrukce*. (Několik poznámek k věčně aktuálnímu tématu památkové péče). Zprávy památkové péče, ročník 61, č. 8, Praha, 2001. s. 242-247. ISSN 1210-5538.
- [6] Dotace [databáze on-line]. Praha: Ministerstvo kultury ČR, 2015, dostupné z <http://www.mkcr.cz/scripts/detail.php?id=430>).
- [7] KOLEKTIV AUTORŮ. *Koncepce památkové péče v České republice na léta 2011 –2016*, [databáze on-line] Praha: Ministerstvo kultury ČR, 2015. dostupné z: <http://www.mkcr.cz/assets/zpravodajstvi/zpravy/Koncepce-pamatkove-pece-v-CR-na-2011-2016.pdf>.
- [8] KIBIC, K. -VOŠAHLÍK. A. *Památková ochrana a regenerace historických měst v České republice 1945 – 2010*, Praha: Národní památkový ústav, ústřední pracoviště. ISBN 978-80-87104-88-0.
- [9] RUDOLF V. – PEŘINKOVÁ, M. *Historic preservation and planar protection of Historical seats in Olomouc region*, In. PEŘINKOVÁ, M. – NEDVĚD M. (eds.). *Architecture in Perspective VI*, Pfaffikon: Trans Tech Publications, 2014. s. 122 – 125. ISBN – 13: 978-3-03835-323-2.
- [10] PEŠKOVÁ, Z. *The Revitalization of the Historic Centre of the Town Slany*, In. PEŘINKOVÁ, M. – NEDVĚD M. (eds.). *Architecture in Perspective VI*, Pfaffikon: Trans Tech Publications, 2014. s. 3 – 11. ISBN – 13: 978-3-03835-323-2
- [11] JANKOVEC, O. – BAROŠOVÁ, I. – VANÍČEK, J. *Tábor 1805-2003: proměny historického jádra města v 19. a 20. století*. Vyd. 1. Ostrava: Národní památkový ústav, územní odborné pracoviště v Ostravě, 2009. ISBN 978-80-85034-53-0.
- [12] VOŠAHLÍK. A. *Ještě k památkové ochraně vybraných sídel a krajiny*. In. Zprávy památkové péče. Ročník LVII, 1997, č. 2. s. 58-59. ISSN 1210-5538.
- [13] MATOUŠKOVÁ, K. *20 let programu regenerace městských památkových rezervací a městských památkových zón, 1992 -2012*. Praha: Sdružení historických sídel Čech, Moravy a Slezska, 2012. ISBN 978-80-905344-0-7.
- [14] Záznamy o finančních rozhodnutích pro památkovou péči Okresního úřadu v Prostějově. Příruční archiv Oddělení památkové péče SÚ Magistrátu města Prostějova, nesignováno.
- [15] Závěry, seminář v poslanecké sněmovně, 17.4.2014. [on-line], dostupné z <http://propamatky.info/cs/zpravodajstvi/cela-cr/pamatky-a-finance/v-poslanecke-snemovne-se-uskutecnil-seminar-pamatky-vydelavaji-/2038/>.
- [16] RUDOLF, V. *Kladno v padesátých až osmdesátých letech 20. století – žijící a umírající*. In. PEŘINKOVÁ, M.. *Architektura a urbanismus 2. poloviny 20. století*. Vyd. 1. Ostrava: Stavební fakulta, Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava v nakl. Gasset, 2012, s. 112-120. ISBN 978-80-87079-26-3.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Zdenka Lhotáková, CSc., Ústav stavitelství, Fakulta architektury, VUT v Brně.

PhDr. Ing. Jaromír Olšovský, Ph.D., Ústav historických věd, Filozoficko-přírodovědecká fakulta v Opavě, Slezská univerzita v Opavě.

Natálie SZELIGOVÁ¹, Stanislav ENDEL², Juraj FURDÍK³

INVENTARIZACE A ANALÝZA BROWNFIELDS NA ÚZEMÍ MĚSTA KARVINÁ

INVENTORY AND ANALYSIS OF BROWNFIELDS IN THE KARVINA CITY TERRITORY

Abstrakt

V současné době se setkáváme se stále aktuálnější problematikou ploch brownfields a s tím souvisejícím nadměrným zábořem zemědělského půdního fondu a intenzivní výstavbou na tzv. „zelené louce“. S ústupem těžby nerostných surovin, ukončením zastaralých provozů, stěhováním podniků na východ a prohlubováním sociálních rozdílů se jejich počet každoročně exponenciálně zvyšuje a způsobuje nejenom ekonomické, ekologické, ale i sociální problémy v území. Tento článek analyzuje situaci brownfields ve městě Karviná. Inventarizace popisuje základní charakteristiky jednotlivých brownfields a klade si za cíl informovat zejména odbornou veřejnost o jejich aktuálním počtu a stavu.

Klíčová slova

Brownfield, regenerace, inventarizace.

Abstract

We meet still more and more actual issue of brownfield regeneration nowadays. Excessive occupation of agricultural land and intensive development of free spaces are connected with this problem. Number of brownfields is still higher and higher, which is caused by attenuation of mineral resources extraction, termination of obsolete facilities, relocation of some companies to the eastern countries and the deepening of social differences. Economic, ecologic and also social problems accompany this situation. This article analyses the situation of brownfields in a Czech city called Karvina. The inventory describes basic characteristics of particular brownfields and it is aimed to inform a profession public about their current number and state mainly.

Keywords

Brownfield, regeneration, inventory.

1 ÚVOD

Ačkoliv je termín brownfield stále častěji používán v nejrůznějších periodikách, odborných časopisech či médiích, nelze si nevšimnout, že jeho význam je různými autory chápán odlišně, čemuž napomáhá i fakt, že doposud neexistuje žádná právně závazná definice ani legislativní předpisy, které by se zabývaly touto problematikou. Záleží především na úsudku tvůrců databází, zda konkrétní objekty nebo areály zařadí mezi brownfields či nikoliv [9]. Při tvorbě takovýchto databází je důležité

¹ Ing. Natálie Szeligová, Katedra městského inženýrství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 963, e-mail: natalie.szeligova.st@vsb.cz.

² Ing. Stanislav Endel, Katedra městského inženýrství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 930, e-mail: stanislav.endel@vsb.cz.

³ Ing. arch. Juraj Furdík, Ph.D., Kabinet počítačových a mm disciplín, Fakulta architektúry STU v Bratislave, Námetstie slobody 19, 812 45 Bratislava, SR, tel.: (+421) 02 / 572 763 36, e-mail: furdik@fa.stuba.sk.

si uvědomit, že charakter, druh a počet identifikovaných objektů je ovlivněn velkou měrou polohou a historií místa [7].

Obecně můžeme brownfields charakterizovat jako areály a objekty nejrůznějšího druhu a účelu, u nichž bylo ukončeno jejich původní využití a nové nebylo nalezeno anebo nevhodně zvoleno. Tyto areály bývají opuštěné, poškozené, chátrají a s postupem času se mohou stávat i nebezpečnými pro okolní obyvatele [8]. Často se jedná o rozsáhlé plochy, které se ve většině případů nacházejí v centrech měst anebo na místech, kde se mimo jiné podílejí na zhoršování image území a vyvolávají v obyvatelích a návštěvnicích negativní vjemy, a tudíž dochází ke zhoršování pověsti měst a s tím souvisejícímu odlivu obyvatel [11]. Pro mnohé potencionální investory je největší překážkou vysoká pravděpodobnost kontaminace a nevyhovující dopravní a technická infrastruktura [5,12]. Vzhledem k tomu, že se jedná zpravidla o areály nacházející se v zastavěném území, podílejí se na zhoršování image města a na vzniku mnoha patologických jevů jako je kriminalita, vandalismus, vznik ghett, squatů [4].

Podle původního využití lze brownfields dělit základně na průmyslové a neprůmyslové. Do kategorie neprůmyslových můžeme zařadit vojenská kasárna, vybydlené domy, drážní objekty, zemědělské objekty, sportovní areály, obchodní domy, hotely, skupiny opuštěných rodinných domů, atp. [12]

Regenerace těchto objektů je během na dlouhou trať. V mnoha případech je zapotřebí spolupráce veřejného a soukromého sektoru (samozřejmě, že se setkáváme i s takovými projekty, které lze realizovat za přispění pouze soukromého sektoru) [13]. Nejhorší situace nastává v okamžiku, kdy se jedná o brownfields, o které vlastník nejeví zájem, ekonomická náročnost projektu je vysoká, území je zatíženo určitou mírou kontaminace a ještě k tomu se jedná o památkově chráněný objekt. Řešení takového problému je v nedohlednu a takovéto brownfields se stávají trnem v oku nejenom místním obyvatelům, ale také představitelům města [14].

2 SITUACE NA ÚZEMÍ MĚSTA KARVINÁ

Statutární město Karviná je již po dvě staletí známé pro těžbu černého uhlí, která byla nejintenzivnější v období světových válek. V této době vzniklo velké množství staveb důležitých pro těžbu a zaměstnání obyvatel, tyto stavby však po ukončení těžby zůstaly opuštěné a dnes je můžeme zařadit do ploch označované jako brownfields. Intenzivní těžba také způsobila nevratné změny v reliéfu území města. Terénní změny lze nejlépe sledovat na kuriózním a současně fascinujícím kostele sv. Petra z Alkantary, který poklesl o 37m a současně se naklonil o 6,8° jižním směrem. Těžbě dokonce muselo ustoupit v padesátých letech minulého století i původní historické centrum města Karviná, které se přemístilo z městské části Karviná – Doly do městské části Fryštát. [3]

V Karvině souvisí vznik brownfields především s útlumem těžby černého uhlí a uzavíráním dolů. Zpravidla monofunkční objekty svým charakterem, vybavením, polohou, technickým stavem, rozlohou a vysokou pravděpodobností kontaminace jsou velice problematické a náročné na údržbu a regeneraci, která v určitých případech není možná. Dalším důvodem je nedostatečná údržba stávajících objektů, které začínají chátrat, to pak vede k tomu, že se často historicky významné objekty musí odstranit. S přihlédnutím k historickému vývoji se dá očekávat, že na území, jakým je město Karviná, se bude vyskytovat velké množství rozsáhlých brownfields, ale není tomu tak zcela, i když je pravda, že jsou zde městské části, jako Karviná – Doly, Darkov a Louky nad Olší, které jsou na plochy brownfields poměrně „bohaté“. Důsledkem důlní činnosti se z těchto městských částí staly opuštěné a zdevastované lokality s vysokou pravděpodobností existence ekologické zátěže a s výrazně pozměněným reliéfem a tvarem terénu.

Už od šedesátých let minulého století si společnost uvědomuje, že pro rozvoj území je důležité brownfields rozeznat, zaznamenat, navrhnout regeneraci a následně vytvořit vhodné podmínky pro potencionální investory, kteří by se mohli postarat o opětovné využití těchto ploch. Jedním z největších problémů je však pracnost a finanční náročnost regenerace. Nejistoty obyvatel a investorů vyplývající ze záboru další městské části pro účely zahájení nové těžby černého uhlí vedou

k odlivu obyvatelstva, ale také nových investorů a stávajících podniků, což značně komplikuje realizaci návrhů na nápravu nepříznivé situace, rekultivační zásahy a regeneraci brownfields.

SWOT analýza města přehledně znázorňuje problémy i příležitosti, se kterými se můžeme setkat na území města Karviná. Je nutné uvést, že se město potýká se stále zvyšujícím se poklesem počtu obyvatel, který se každoročně pohybuje v řádech několika stovek [1].

Tab. 1: SWOT analýza

Silné stránky (S)	Slabé stránky (W)
Strategická poloha města	Znečištění ovzduší
Atraktivní historie	Velké množství ploch určených k rekultivaci
Atraktivní území z hlediska turistického ruchu	Vysoký podíl nezaměstnanosti
Sílicí význam Lázní Darkov	Nedostatečné pokrytí služeb pro obyvatele
Univerzitní město	Vysoký podíl obyvatel se základním vzděláním
Kvalitní veřejná zeleň a parky	Vysoký podíl obyvatel bez domova a ve finanční tísní
Technická infrastruktura	Zvyšování intenzity dopravy (nákladní)
Dobrá dopravní dostupnost	Negativní pověst města
Příležitosti (O)	Hrozby (T)
Volné plochy vzniklé v důsledku těžební činnosti	Sociální problémy v území, kriminalita
Projekty na opravu sídlišť	Důlní otřesy procházející z okolních dolů
Záchrana zchátralých nemovitých kulturních památek	Nové těžební záměry
Příliv nových investorů	Území málo atraktivní pro větší investory
Vznik nových pracovních příležitostí	Ekologická zátěž v důsledku těžební činnosti
Vznik nových průmyslových zón	Změna tvaru reliéfu v důsledku důlní činnosti
Vznik nových sportovních areálů a staveb pro kulturu a osvětu	Silné povodňové vlny

V celé České republice je město Karviná známo jako místo s vysokou nezaměstnaností, kriminalitou a velkými sociálními problémy [3]. Vysoká nezaměstnanost je úzce spjata s ukončením těžby černého uhlí a s ukončením provozů velkých závodů. Velké procento obyvatel má pouze základní vzdělání, ti nemají zájem o zaměstnání odpovídající jejich vzdělání, a tak se raději uchylují ke kriminalitě. Všechny výše uvedené faktory se mimo jiné velkou měrou podílejí na tvorbě brownfields.

3 INVENTARIZACE BROWNFIELDS

V roce 2013 byla na základě požadavku a konzultací se zaměstnanci Magistrátu města Karviná provedena inventarizace brownfields. Tento požadavek vyplývá z faktu, že při kontrole existujícího seznamu městských brownfields v něm byly zjištěny závažné nedostatky.

Pro účely inventarizace bylo zapotřebí stanovit základní minimální plošné parametry a požadavky na míru využití objektů, které následně vstoupí do inventarizace. Tyto podmínky jsou uváděné v odborné literatuře a jsou odvozenovány od dřívějších a zahraničních zkušeností, a proto byly převzaty i pro účely této práce. Jedná se o výměru brownfield v rozsahu minimálně 0,1ha a maximálně 50% podíl využití území [15]. Tyto požadavky nemusejí splnit objekty, které jsou považované za historicky významné. Celkem bylo identifikováno 24 brownfields na území

statutárního města Karviná o celkové výměře 1 109,91 ha. Jejich přehled uvádí Tab. 2, grafické znázornění některých inventarizovaných charakteristik nabízejí Grafy 1,2,3 a 4.

Tab. 2: Přehled brownfields

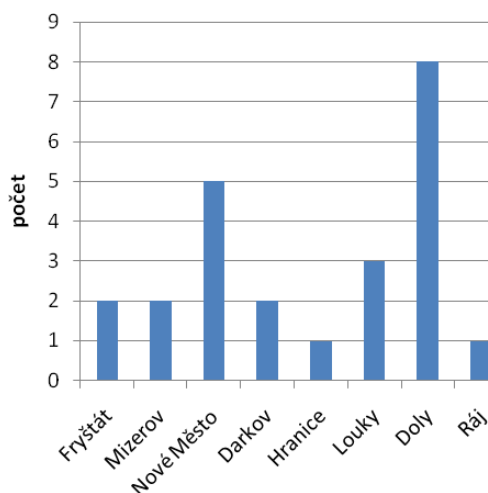
Název	Výměra [ha]	Stav	Ekologická zátěž	Ekonomické hledisko
<i>Městská část - Fryštát</i>				
Domy na Masarykově náměstí	1,255	Opuštěn	Ne	A
Larischovy konírny	2,898	Opuštěn	Ne	B
<i>Městská část – Nové Město</i>				
Sklad nápojů	2,518	Opuštěn	Střední	A
Střední škola	3,958	Opuštěn	Ne	A
Bytové domy	36,320	Demolice	Ne	B
Kovona	119,242	Využíván	Ano	B
Bývalý výrobní areál	42,870	Demolice	Ano	A
<i>Městská část – Darkov</i>				
Bývalý obecní úřad	0,905	Opuštěn	Střední	A
Střední odborná škola	2,217	Opuštěn	Střední	A
<i>Městská část – Doly</i>				
Kolonie Františka	30,837	Využíván	Ano	C
Kolonie Barbora	107,005	Částečně využíván	Ano	C
Důl Barbora	128,557	Částečně využíván	Ano	B
Sklady a dílny Kovona	93,249	Demolice	Ano	B
Koksovna ČSA	129,172	Opuštěn	Ano	C
Důl Mír	116,930	Opuštěn	Ano	C
Kaple Sv. Josefa	0,372	Opuštěn	Ano	C
Kaple a hřbitov	9,832	Částečně využíván	Ano	C
<i>Městská část – Mizerov</i>				
Bývalá kasárna v Černém lese	175,728	Demolice	Ne	B
Bývalá ZŠ Žižková	30,54	Opuštěn	Ne	A
<i>Městská část – Hranice</i>				
KAVOZ	33,191	Částečně využíván	Ano	B
<i>Městská část – Ráj</i>				
ZŠ na ulici Víta Nejedlého	23,11	Opuštěn	Ne	A
<i>Městská část – Louky</i>				
Statek – Kempy	9,487	Částečně využíván	Ano	A
Slovnaft Store čerpací stanice	7,965	Opuštěn	Ano	C
Kostel Sv. Barbory	1,750	Opuštěn	Ano	C

Pozn: kategorie A, B, C – ekonomické hledisko regenerace dle kategorizace CABERNET [2]

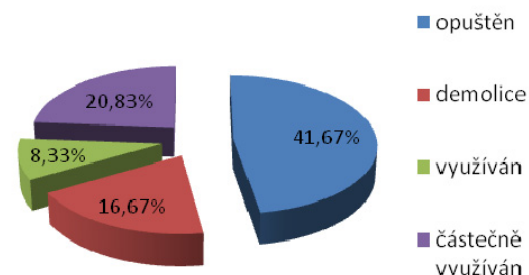
Pro účely vytvoření databáze byly u každého brownfieldu zjišťovány podrobné informace, které byly doplněné fotodokumentací, podrobnosti viz kap. 4. Byly zjišťovány následující informace:

- Základní údaje zahrnující vlastnické vztahy, výměru, počet objektů, atp.

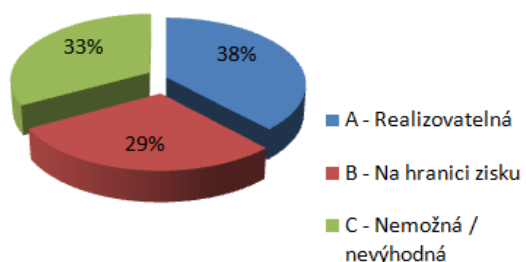
- Popis území a okolí zahrnující geologické složení půd, existenci ekologické zátěže, zda leží v záplavovém území, stáří objektu, typ konstrukce, popis technického stavu objektu, aj.
- Stav veřejné infrastruktury a dostupnost jednotlivých dopravních uzlů.
- Sociodemografické parametry.
- Stručný popis dle subjektivního názoru autora [6].



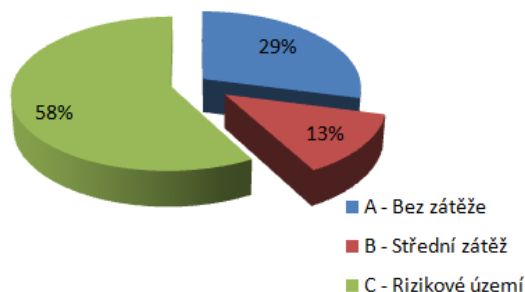
Graf 1: Rozmístění brownfields v jednotlivých městských částech, zdroj: autoři



Graf 2: Využití brownfields, zdroj: autoři



Graf 3: Rozdělení brownfields podle ekonomického hlediska regenerace, zdroj: autoři



Graf 4: Rozdělení brownfields dle ekologické zátěže, zdroj: autoři

Z uvedených grafů je patrné, že nejvíce brownfields se nachází v městských částech Doly, Nové město a Louky – viz Graf 1. U částí Doly a Louky je to způsobeno faktem, že obě části jsou velmi silně narušené těžbou uhlí a poddolováním. Do staveb v těchto částech je tak investováno pouze minimálně a v obou z nich už dnes najdeme převážně pouze pozůstatky bývalé zástavby.

Jako pozitivní se může jevit stav, že více než čtvrtina brownfields je alespoň částečně využívána (viz Graf 2). Ve většině případů je však toto využití pouze nouzové a pravděpodobně je jen otázkou času, kdy se i tyto plochy stanou „plnohodnotnými“ brownfieldy.

Jistou nadějí budoucímu stavu však dává procentuální poměr brownfields, jejichž regenerace je rentabilní, popř. na hranici ziskovosti (kategorie A a B v případě kategorizace dle CABERNETu)

[2]. Dvě třetiny brownfields v Karviné do těchto kategorií spadají (viz Graf. 3) a jsou tak potenciálně atraktivní pro soukromé investory, kteří by jejich regeneraci mohli spolufinancovat.

Jako velkou bariéru rozvoje je však potřeba vnímat ekologické zátěže, které jsou evidovány na téměř třech čtvrtinách inventarizovaných brownfields. Tato skutečnost může regeneraci některých ploch značně ztížit, ne-li zcela znemožnit. Předpoklad existence ekologické zátěže byl v některých případech odvozen na základě historie a původního využití území.

Pro lepší orientaci uvádí následující kapitola přehled zjištěných informací o jednom vzorovém brownfieldu města. Na základě uvedeného si lze udělat komplexní představu o postupu a metodách inventarizace, které vycházejí z doporučení odborné literatury [6, 15] a ověřují jejich komplexnost použitelnost v praxi.

4 VZOROVÝ BROWNFIELD KAVOZ – BÝVALÝ OPRAVÁRENSKÝ PODNIK



Obr. 1: Poloha areálu



Obr. 2: Fotografie administrativní budovy

STRUČNÝ POPIS:

Lokalitu můžeme nalézt v severní části města na hranici se sousední obcí Petrovice u Karviné (viz Obr. 1). Na první pohled nás zaujme původně administrativní budova, která chátrá a včasná rekonstrukce je jedinou záchranou (viz Obr. 2). Areál je přístupný přes vrátnici, která je střežená. Mnohé objekty jsou využívány drobnými podnikateli především jako skladovací prostory anebo sídlo společnosti. Velice atraktivní je poloha areálu vůči centru města a celková dopravní dostupnost.

ZÁKLADNÍ ÚDAJE:

- *Adresa:* Rudé Armády, Karviná – Nové Město, 735 06
- *Výměra:* 33 191 m²
- *Výměra zastavěných ploch:* 11 659 m²
- *Vlastník:* Soukromý
- *Stav:* Částečně využíván
- *Procentuální podíl využití území:* 25%
- *Věcné břemeno:* Není

POPIS ÚZEMÍ:

- *Geologické složení území:* Naváté sedimenty (spraš, sprašová hlína); Kvartérní sedimenty nezpevněné, vytěžené.
- *Ekologická zátěž:* Předpokládá se s přihlédnutím k druhu skladovaného materiálu a typu výroby.
- *Aktivní zóna záplavového území:* Ne
- *Nemovitá kulturní památka:* Ne
- *Stáří objektu:* Není známo

- *Počet objektů:* 12
- *Původní využití objektů:* Bývalý opravárenský podnik. Nyní skladovací prostory.
- *Typ konstrukce:* Zděná, železobetonová panelová a kovová konstrukce halová.
- *Popis technického stavu objektů:* Objekty sloužící jako sklady jsou ve velmi dobrém technickém stavu, který je podmíněn pravidelnou údržbou a péčí vlastníků. Naopak hlavní budova původně administrativní vzhledem ke své opuštěnosti chátrá, po vizuální a stavebně technické stránce je nevyhovující. Odpadávající části fasády mohou ohrozit návštěvníky a kolemjdoucí.
- *Využití území podle územního plánu:* Zóna výrobní.
- *Vhodné využití území:* Skladovací a výrobní plochy.

DOPRAVNÍ INFRASTRUKTURA:

- *Dopravní dostupnost:* Lokalita se nachází na strategickém místě z hlediska dopravní dostupnosti. Areál je lemován významnou silnicí druhé třídy II/475 - směr státní hranice (s Polskem) a Havířov.
- *Dostupnost MHD:* Městská hromadná doprava je zajištěná dvěma autobusovými linkami. Nejbližší autobusová zastávka je v docházkové vzdálenosti 100m.
- *Železniční doprava:* Vzdálenost hlavního nádraží je 3 km. V blízkosti areálu se nachází železniční vlečka.

TECHNICKÁ INFRASTRUKTURA:

- *Energetika:* VN 6kV kabelové vedení, VN 22kV vzdušné vedení.
- *Plyn:* Středotlaký DN 200
- *Kanalizace:* Jednotná DN 600
- *Vodovod:* Pitná voda DN 250

SOCIODEMOGRAFICKÉ PARAMETRY:

V této oblasti se setkáváme s velkými sociálními problémy, pramenící především ze soužití obyvatel různých národností. Kriminalita a s tím související problémy se také samozřejmě podílejí na snižování atraktivity území pro potencionální investory.

5 ZÁVĚR

S přihlédnutím k tomu, že neexistuje žádná právně závazná definice ani legislativní předpisy, které by přesně charakterizovaly termín brownfield, je nutné podotknout, že výše uvedená inventarizace je především ovlivněná subjektivním hodnocením autora, který se řídí všeobecně uznávanými definicemi, kategorizací brownfields a vlastními zkušenostmi.

Kvalita seznamů bývá zpravidla ovlivněna nedostatkem odborníků, kteří se problematikou brownfields zabývají [10]. Důležité je podobnou inventarizaci provést, průběžně ji aktualizovat a následně začlenit například do aktualizace územně analytických podkladů. Zveřejnění databáze doplněnou o bodovou mapu s vyznačenými zájmovými územími je nástrojem, jak u nejširší veřejnosti zajistit lepší povědomí o této problematice a také je to jedna z možností, díky níž lze zaujmout investory a podnikatele, kteří často nemají tušení o existenci takových nemovitostí.

Výsledky této inventarizace přispěly k doplnění nekompletních údajů o deprimovaných oblastech města. Zveřejněním kompletních údajů by umožnilo potencionálním investorům získat přehled o objektech vhodných pro jejich investiční záměr. Velkým kladem této práce je upřesnění polohy jednotlivých brownfields, což bylo jedním z největších nedostatků dřívější inventarizace.

Použité metody inventarizace a následné analýzy se ukázaly jako dostatečné, plně odpovídající požadovanému účelu.

Z výsledků provedené inventarizace a následné analýzy je patrné, že karvinské brownfields jsou stále podstatným problémem v celkovém rozvoji města, neboť zabírají značné plochy v jeho struktuře, jejich stav je povětšinou neuspokojivý a vyhlídky budoucí regenerace nejisté. Nicméně provedení důsledné inventarizace je vždy důležitým prvním krokem k nalezení cest, jak tuto situaci

změnit. Tyto informace jsou podstatné jednak pro odbornou veřejnost, která se touto problematikou zabývá, jednak mohou být zajímavé i pro běžné občany, kterým není lhostejný další vývoj Karvině.

PODĚKOVÁNÍ

Práce byly podporovány z prostředků Studentské grantové soutěže VŠB-TUO. Registrační číslo projektu je SP2015/161.

LITERATURA

- [1] Český statistický úřad. Oficiální stránky Českého statistického úřadu [online]. Dostupné na <<http://www.czso.cz/>>.
- [2] FERBER, U., a kol. *Sustainable Brownfield Regeneration: CABERNET Network Report*. Nottingham: University of Nottingham. 2006. 135 pp. ISBN 0-9547474-5-3.
- [3] HAJZLEROVÁ, I. & MATROSOVÁ, V. *Zmizelá Morava a Slezsko - Karviná*. 1st ed. Praha: nakladatelství Paseka, 2009. 64s. ISBN 978-80-7432-005-7.
- [4] HURNÍKOVÁ, J., Brownfieldy a územní rozvoj. *Urbanismus a územní plánování*, 2009, roč. XII, č. 6, s. 3-5.
- [5] JACKSON, J., B., a kol. *Brownfields snadno a rychle*. Praha: IURS, 2004.
- [6] JACKSON, J., B., VOTOČEK, J. *Metodika inventarizace brownfieldů v úrovni ORP* Magistrát města Ústí nad Labem. 2010. 32s.
- [7] KUDA, F., SMOLOVÁ, I., *Technické a geografické aspekty integrace neprůmyslových brownfieldů do území*. Ostrava: VŠB-TUO, 2007. ISBN 978-80-248-1371-4.
- [8] NIJKAMP, P., aj., Success factors for sustainable urban brownfield development. A comparative case study approach to polluted sites. *Ecological Economics*, 40. 2002. s. 235–252.
- [9] PETRÍKOVÁ, D., FINKA, M., *Trajektorie územného rozvoja*. Bratislava: ROAD, 2006. ISBN 978-80-88999-31-7.
- [10] PLETNICKÁ, J., VOJVODÍKOVÁ, B., Projekt celoživotního vzdělávání v oblasti brownfields. In *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada stavební*. Ostrava: VŠB – TUO, 1/2006. s. 43-48. ISBN 80-248-1248-7.
- [11] SCHALDER S., aj. Designing sustainable and economically attractive brownfield revitalization options using an integrated assessment model. *Journal of Environmental Management*, 92. 2011. s. 827-837.
- [12] STALMACHOVÁ, B., a kol. *Nejlepší praktiky v managementu brownfieldů - část B*. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2012. 179s. ISBN 978-80-248-2797-1.
- [13] VOTOČEK, J., *Řešení problematiky brownfields*. (Disertační práce) Ostrava: VŠB-TUO, 2011
- [14] VOTOČEK, J., *The Future lies on Brownfields*. Dessau: Federal Environmental Agency, 2005
- [15] VOTOČEK, J., VOJVODÍKOVÁ, B., Návrh struktury dat pro pasportizaci brownfields se zaměřením na malé obce. In *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada stavební*. Ostrava: VŠB – TUO, 1/2011. s. 83-88. ISSN 1213 1962.

Oponentní posudek vypracoval:

Prof. Ing. arch. Maroš Finka, PhD., Ústav manažmentu, STU v Bratislave.

Doc. Ing. arch. Ivan Vorel, CSc., Katedra urbanismu a územního plánování, Fakulta stavební, ČVUT v Praze.

Pavel ŠEVČÍK¹, Hana ŠEVČÍKOVÁ²

BUDOUCÍ POTŘEBA BYTŮ V ČR DO ROKU 2020

FUTURE NEED FOR HOUSING IN THE CZECH REPUBLIC BY 2020

Abstrakt

Bydlení je jednou ze základních potřeb člověka. Dostupnost a kvalita bydlení odpovídá společenskoekonomickým podmínkám a možnostem jednotlivců. Pro určité sociální skupiny a výjimečné životní události je role státu nezastupitelná. Na základě dostupných informací a výsledků statistických zjišťování je předmětem této práce formulace budoucí potřeby bytů v ČR do roku 2020.

Klíčová slova

Bydlení, sociální bydlení, statistické údaje, predikce vývoje.

Abstract

Housing is one of the basic needs of man. Availability and quality of housing corresponds to socio-conditions and capabilities of individuals. For certain social groups and unique life experience is irreplaceable role of the state. On the basis of available information and survey results is the subject of this paper the formulation of future housing needs in the Czech Republic by 2020.

Keywords

Housing, social housing, statistical data, prediction of development.

1 ÚVOD

Dostupnost a kvalita bydlení odpovídá společenskoekonomickým podmínkám a možnostem jednotlivců. Základním posláním státu je vytvářet stabilní prostředí posilující odpovědnost jeho občanů za sebe sama a zvyšovat jeho motivaci k zajištění si svých základních potřeb vlastními silami. V každé společnosti existují lidé, kteří si prostředky na své bydlení z objektivních důvodů nejsou schopni zajistit sami [1]. Z hlediska počtu dokončovaných bytů bylo v nedávné historii zaznamenáno období s významnými hodnotami, v posledním období 2010 – 2014 naopak počet dokončených bytů významně klesal.

2 BYTOVÁ VÝSTAVBA V ČR

Po významných objemech bytové výstavby v sedmdesátých a částečně i v osmdesátých letech 20. století klesl objem nové bytové výstavby na území ČR na jednu z nejnižších hodnot v roce 1995. V tomto roce bylo dokončeno pouze 12 998 bytů, což představovalo 1,26 bytů na 1 000 obyvatel. V dalších letech pak docházelo k postupnému zvyšování počtu dokončených bytů. Nárůst pokračoval s malými výjimkami až do roku 2007, kdy bylo dokončeno 41 649 bytů, což zároveň představovalo nejvyšší počet za posledních 20 let [2]. K rozmachu bytové výstavby v roce 2007 však z velké míry

¹ Ing. Pavel Ševčík, Ph.D., Svaz podnikatelů ve stavebnictví v ČR, Národní třída 10110 00 Praha 1, tel.: (+420) 224 951 406.

² Ing. Hana Ševčíková, Ph.D., Katedra pozemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 366, e-mail: hana.sevcikova@vsb.cz.

došlo díky přijetí zákona o zvýšení daně z přidané hodnoty od roku 2008, což podstatně urychlilo dokončovací práce ještě za příznivější cenu. V letech 2008 a 2009 bylo kolaudováno 38 380, resp. 38 473 bytů, zahájených ještě v době stavebního boomu, který trval do roku 2008. V dalších letech se již plně projevila ekonomická krize. V roce 2013 se dokončilo 25 246 bytů, tj. 60,6 % roku 2007. Od roku 1997 do roku 2013 bylo dokončeno na území České republiky ve všech formách výstavby celkem 500 665 bytů.

Tab. 1: Zahájené a dokončené byty, zdroj: Český statistický úřad

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
zahájené	29 502	28 986	33 606	36 496	39 037	40 361	43 747
dokončené	23 074	24 759	27 292	27 127	32 268	32 863	30 190
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
zahájené	43 796	43 531	37 319	28 135	27 535	23 353	22 108
dokončené	41 649	38 383	38 526	36 442	28 630	29 467	25 246

Z evropských statistik navíc vyplývá, že český bytový fond vykazuje relativně vysoké stáří, a to i přesto, že díky zvýšené poptávce z minulých let developeři reagovali novou výstavbou a dostupnost úvěru stimulovala vlastníky nemovitostí k zásadním rekonstrukcím.

V březnu 2011 se uskutečnilo sčítání lidu, domů a bytů. Bylo sečteno celkem 2 158,1 tis. domů určených k bydlení. Obydlených domů bylo 1 800,1 tis. a tvořily 83,4 % domovního fondu. Neobydlených domů bylo 16,6 %. Téměř dvě třetiny (65,1 %) jich bylo v obcích do 2000 obyvatel. Výraznou většinu domů tvořily rodinné domy (88,1 %). Bytových domů byla jen desetina z celkového domovního fondu.

Tab. 2: Domy podle obydlivosti a podle období výstavby nebo rekonstrukce, zdroj: Český statistický úřad

Domy celkem	z toho obydlivé domy								
	celkem	z toho podle období výstavby nebo rekonstrukce						Průměrné stáří domů v letech	
		1919 a dříve	1920-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2011	rodinné domy	bytové domy
2,158.119	1,800.075	230.908	623.757	269.255	213.648	196.874	219.379	49,3	52,4
-	-	12,80%	34,70%	15,00%	11,90%	10,90%	12,20%	-	-

V počtu bytů na počet obyvatel Česká republika stále mírně zaostává za většinou evropských států. Na základě ukazatele počtu bytů na 1000 obyvatel patří Česká republika v evropském srovnání k podprůměrným státům, jejíž bytový fond dosahuje 85 % průměru Evropské unie. Podle předpokladů jsou na tom lépe země západní Evropy.

Z uvedeného přehledu vyplývá, že téměř 13 % domů je starších 100 let a téměř 50% je starších 50 let. Průměrné stáří obydlených bytových domů bylo 52,4 let a rodinných domů 49,3 let. Podle výsledků sčítání v roce 2011 zahrnoval bytový fond ČR celkem 4 756 572 bytů, z toho bylo 4 104 635 obydlených bytů, z nichž 43,7 % v rodinných domech a 55 % v bytových domech [3, 5].

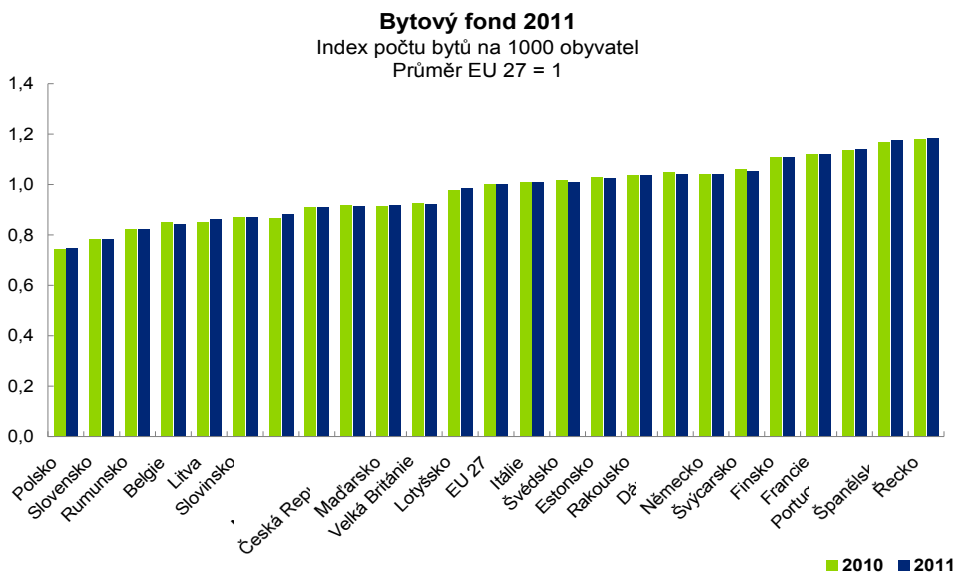
3 POROVNÁNÍ BYTOVÉ VÝSTAVBY ČLENSKÝCH STÁTŮ EU

V roce 2012 žilo 41,6 % obyvatel EU-28 v bytech, o něco více než jedna třetina (34,0 %) v samostatných rodinných domech a 23,7 % v části dvojdomku. Největší podíl osob žijících v bytech z členských států EU má Estonsko (65,1 %), Španělsko (65,0 %) a Lotyšsko (64,4 %). Největší podíl osob žijících v rodinných domech má Chorvatsko (73,0 %), Slovinsko (66,6 %), Maďarsko (63,9 %), Rumunsko (60,5 %) a Dánsko (57,1 %).

V roce 2012 bydlela více než polovina obyvatel v každém členském státě EU ve vlastní nemovitosti. Naproti tomu v pronajaté nemovitosti s tržním nájemným žily téměř dvě pětiny obyvatel Německa, více než třetina obyvatel Dánska, více než čtvrtina obyvatel Nizozemska, Švédska a Rakouska a více než pětina Lucemburčanů. Ve Švýcarsku byl podíl těchto osob ještě vyšší, a to 51,6 %. Ve všech členských státech EU dohromady činil podíl osob žijících v nemovitosti se sníženým nájemným či bezplatně méně než 20,0 %.

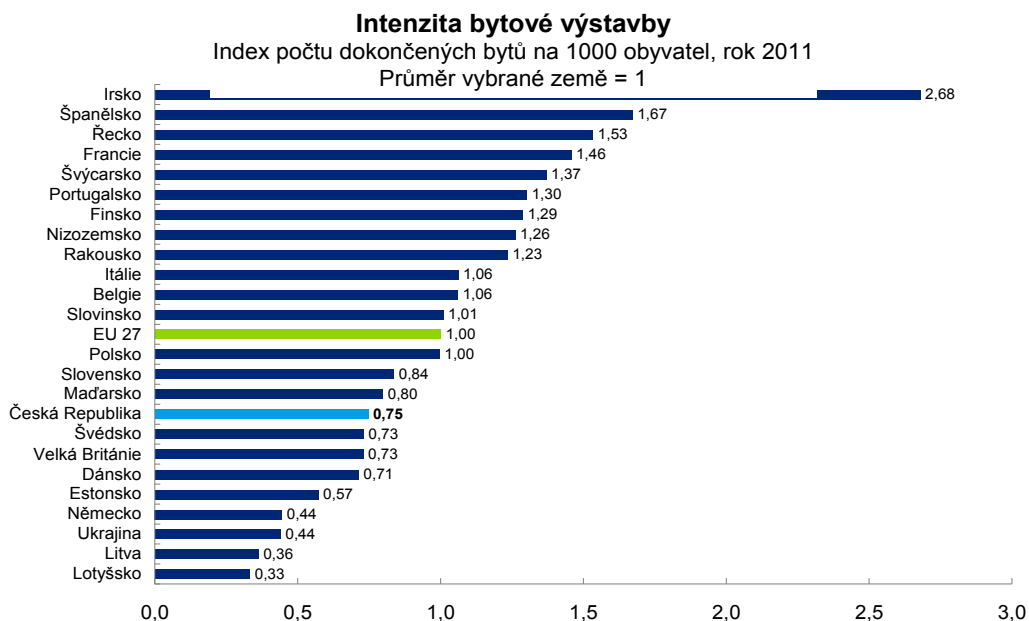
V České republice je ve srovnání se zbytkem Evropské unie nejnižší podíl bytů v osobním vlastnictví na 1000 obyvatel. I přesto, že v posledních 15 letech se výrazně zvýšil podíl bytů v osobním vlastnictví, podíl vlastněných bytů na celkovém bytovém fondu v České republice je například o 15 % nižší než v Rakousku a o 25 % nižší než v Nizozemí.

Nicméně Česká republika má jedno specifikum, kterým je družstevní bydlení, které se v ostatních zemích EU (vyjma Velké Británie a Rakouska) nevyskytuje v tak rozsáhlém měřítku. Na 1000 obyvatel připadá v ČR téměř 102 domácností bydlicích v družstevním bytě [4].



Graf 1: Bytový fond 2011, zdroj: Eurostat

Zajímavým ukazatelem ilustrujícím vývoj v rezidenčním developementu v jednotlivých zemích je počet bytů dokončených na 1000 obyvatel. ČR je pod průměrem EU, v roce 2011 byla intenzita 75%. (v roce 2008 byla 80% - projevil se pokles dokončených bytů).



Graf 2: Intenzita bytové výstavby, zdroj: Eurostat

V porovnání evropských zemí byla Česká republika v tomto významném ukazateli vývoje rezidenčního trhu v roce 2011 na sestupu (v roce 2008 byla hodnota 90% průměru EU). V období 2011 – 2013 došlo k dalšímu poklesu dokončených bytů o 13%.

Podle údajů umožňujících evropské srovnání se v České republice nachází 393 trvale obydlených bytů na 1000 obyvatel, celkový počet všech bytových jednotek činí dle údajů České národní banky (zdroj ČNB) na 456 bytů na 1000 obyvatel. Je 92% průměru EU. (Nejvíce Řecko 550 bytů, Španělsko 544, Portugalsko 535, nejméně Rumunsko 387, Slovensko 345, Polsko 325 bytů.)

Jak je patrné, prostor pro novou bytovou výstavbu v České republice stále existuje.

Další kvalitativní ukazatele:

- na 1 obydlený byt připadalo v průměru 2,47 obvykle bydlících osob
- průměrná obytná plocha bytu v roce 2011 dosáhla 65,3 m²
- průměrná celková plocha obydleného bytu činila 86,7 m²
- průměrný počet obytných místností bytu vzrostl na 3,7

4 VÝVOJ POČTU OBYVATEL ČR

V roce 2013 zpracoval ČSÚ novou projekci obyvatelstva a v roce 2014 na ni navázal projekcí za jednotlivé kraje. K tomu je třeba říci, že projekce ČSÚ vždy mechanicky prodlužují vývoj několika málo předchozích let. Vzhledem k tomu, že nejnovější projekce zohledňují prudký boom počtu obyvatel 2007-2008 a následující pokles, lze předpokládat, že jsou spíše pesimistické z hlediska budoucí migrace. Protože však předpoklad nižší migrace v následujících letech je velmi reálný, je možno tuto projekci přijmout jako základ prognózy budoucího vývoje počtu obyvatel.

Tabulka ukazuje skutečný vývoj podle krajů. Počet obyvatel 2011 podle obvyklého pobytu, vybočuje ze skutečných počtů 1961-2014, na které navazuje projekce do roku 2020.

Tab. 3: Vývoj počtu obyvatel, zdroj Český statistický úřad

Kraj	Počet obyvatel (tis.)								
	1961	1970	1980	1991	2001	2011 trv.	2011 obv.	2014	2020
Hl. m. Praha	1 133,1	1 140,8	1 182,2	1 214,2	1 169,1	1 236,0	1 268,8	1 243,2	1 248,0
Střech.	1 142,2	1 129,5	1 151,3	1 112,9	1 122,5	1 268,9	1 289,2	1 302,30	1 362,0
Jihoč.	573,7	577,5	613,2	622,9	625,3	635,8	628,3	636,7	638
Plzeň.	549,9	550,5	567,9	558,3	550,7	571,4	570,4	573,5	577
Karlov.	278,9	298,1	312	301	304,3	303,6	295,6	300,3	292,5
Ústec.	782,8	796,8	832,5	824,5	820,2	828,5	809	825,1	815,5
Liber.	381,7	381,6	411,2	425,1	428,2	437,9	432,4	438,6	439
Králov.	540,8	540,3	561,4	552,8	550,7	554,2	547,9	551 9	547,5
Pardub.	483,3	488,8	512,6	508,7	508,3	516,1	511,6	516	514
Vysoč.	481	486,6	508,9	513,7	512,1	512	505,6	510 2	504,5
Jihmor.	1 062,2	1 084,5	1 141,0	1 144,2	1 134,8	1 164,0	1 163,5	1 170 1	1 171,0
Olom.	600,4	615,4	648,4	647,3	643,8	638,9	628,4	636 4	627,5
Zlínský	532,7	550,5	591,3	596,9	595	589,8	579,9	586 3	576,5
Mvslez	1 028,8	1 166,8	1 257,1	1 278,7	1 265,0	1 233,6	1 205,8	1 221,8	1 189,0
Česká repub.	9 571,5	9 807,7	10 291,9	10 302,2	10 230,1	10 490,1	10 436,6	10 512,4	10 502,0

Byly provedeny analýzy (Česká společnost pro rozvoj bydlení, ÚRS Praha), které popisují trendy vývoje počtu a průměrné velikosti domácnosti a jejich soužití v bytech. Průměrná velikost domácnosti se dlouhodobě snižuje. Je to dáno menším počtem dětí v rodinách, zvyšováním podílu neúplných rodin a zejména zvyšováním podílu domácnosti jednotlivců, ke kterému dochází na obou koncích věkové škály. Mnoho mladých lidí si pořizuje vlastní byt a snižuje se podíl prarodičů, kteří žijí se svými dětmi.

5 ZÁVĚR - POTŘEBA BYTOVÉ VÝSTAVBY

Tendence ve změnách velikosti domácností a jejich soužití se souhrnně promítají do průměrného počtu obyvatel na jeden byt. Nejjednodušší prognóza bytové potřeby tedy vyplývá z vývoje počtu obyvatel na byt, který ukazuje dlouhodobé pravidelné snižování.

Tab. 4: Vývoj počtu obyvatel na byt, zdroj: Český statistický úřad

Kraj	Počet obyvatel na byt							Počet bytů 2020	Přírůstek bytů 2011-20
	1961	1970	1980	1991	2001	2011	2020		
Hlavní město Praha	3,05	2,83	2,63	2,45	2,35	2,34	2,23	560 600	18 432
Středočeský	3,21	3,12	2,93	2,79	2,72	2,67	2,54	536 200	53 340
Jihočeský	3,46	3,22	2,97	2,82	2,70	2,54	2,42	264 000	16 392
Plzeňský	3,36	3,12	2,85	2,75	2,63	2,52	2,40	240 700	14 402
Karlovarský	3,48	3,23	3,00	2,74	2,63	2,48	2,36	124 000	4 597
Ústecký	3,35	3,11	2,88	2,66	2,55	2,44	2,32	351 300	20 319
Liberecký	3,20	3,09	2,86	2,74	2,65	2,52	2,40	183 100	11 772
Královéhradecký	3,16	3,07	2,88	2,79	2,69	2,55	2,43	225 700	10 423
Pardubický	3,46	3,30	3,03	2,90	2,78	2,61	2,48	207 000	10 712
Vysočina	3,67	3,45	3,18	3,02	2,89	2,69	2,56	197 100	8 909
Jihomoravský	3,55	3,34	3,05	2,88	2,79	2,62	2,49	469 800	26 442
Olomoucký	3,45	3,25	3,04	2,89	2,77	2,58	2,45	255 700	12 076
Zlínský	3,89	3,60	3,24	3,04	2,91	2,67	2,54	227 000	9 907
Moravskoslezský	3,39	3,20	3,02	2,83	2,70	2,51	2,39	497 900	17 742
Česká republika	3,36	3,18	2,94	2,78	2,67	2,54	2,42	4 340 100	235 465

Pro odvození potřeby bytů je ovšem třeba započítat odpad bytového fondu. Odpad má svoje vlastní zákonitosti, je vyšší v období vysoké výstavby bytů, nižší v období nižší výstavby.

Záporný odpad je nesoulad v údajích o změně celkového počtu bytů a údajích o bytech postavených za dané desetileté období. Pro období 2011-2020 je předpokládán odpad poloviční vůči období 1991-2001 (zdůvodnění viz výše), který je tak dosti podobný odpadu v období 2001-2011.

Potřeba bytů pro přírůstky obyvatel a změnu obložení bytů, zvýšená o náhradu za odpad dává celkovou potřebu bytů 2011-2020. Z toho je ovšem část období již realizována.

Tab. 5: Potřeba bytů pro přírůstky obyvatel, zdroj: Český statistický úřad

Kraj	Přírůstek bytů 2011-2020	Odpad byt. fondu 2011- 2020	Potřeba bytů 2011- 2020	Byt. výstavba 2011-2013		Byt. výstavba 2014-2020	
				celkem	ročně	celkem	ročně
Hlavní město Praha	18 432	18 400	36 832	11 348	3 783	25 484	3 641
Středočeský	53 340	15 000	68 340	17 571	5 857	50 769	7 253
Jihočeský	16 392	6 300	22 692	5 322	1 774	17 370	2 481
Plzeňský	14 402	6 700	21 102	4 346	1 449	16 756	2 394
Karlovarský	4 597	1 200	5 797	1 599	533	4 198	600
Ústecký	20 319	4 000	24 319	3 445	1 148	20 874	2 982
Liberecký	11 772	3 900	15 672	2 983	994	12 689	1 813
Královéhradecký	10 423	6 600	17 023	3 750	1 250	13 273	1 896
Pardubický	10 712	6 000	16 712	3 590	1 197	13 122	1 875
Vysočina	8 909	5 600	14 509	3 817	1 272	10 692	1 527
Jihomoravský	26 442	13 300	39 742	10 894	3 631	28 848	4 121
Olomoucký	12 076	6 900	18 976	4 026	1 342	14 950	2 136
Zlínský	9 907	5 800	15 707	3 019	1 006	12 688	1 813
Moravskoslezský	17 742	7 200	24 942	7 625	2 542	17 317	2 474
Česká republika	235 465	106 900	342 365	83 335	27 778	259 030	37 004

Aby byla vypočtená potřeba ročního průměrného počtu 37 000 bytů naplněna, muselo by dojít k postupnému meziročnímu nárůstu, který by se již od roku 2015 pohyboval v průměrné výši 11,5 %.

Tab. 6: Meziroční nárůst bytů, zdroj: Svaz podnikatelů ve stavebnictví

Rok	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	celkem	průměr
Počet bytů	26000	29000	32000	36000	40000	45000	50000	258000	36 600
Nárůst %	4,0	11,5	10,4	12,5	11,1	12,5	11,1		

V roce 2020 by se při každoročním zvyšování počtu dokončených bytů v rozmezí postupně 3 000 – 5 000 docílilo ročního počtu 50 000 bytů, který odpovídá prognóze Svaz podnikatelů ve stavebnictví z roku 2003. Doposud byl nejvyšší počet dokončených bytů 41 649 v roce 2007.

Ačkoli tento stav odpovídá požadované potřebě, není pravděpodobné, že by byl docílen v tak krátkém čase.

Hodnotu bytové výstavby a rekonstrukce bytového fondu je možné alespoň rámcově odvodit od prognózy počtu a skladby bytů. Z prognózy vyplývá, že v letech 2015 – 2020 by bylo potřebné dokončit výstavbu 260 tis. bytů.

Bytová výstavba představuje investiční příležitosti ve výši minimálně 630 mld. Kč.

LITERATURA

- [1] KVASNIČKA, M.: Regulace ceny bytu a její analýzy, <http://myop.wz.cz/pdf/byty.pdf>, 1999
- [2] POLÁKOVÁ, O.: Bydlení a bytová politika, Ekoexpress s.r.o., 2006
- [3] KUPKA, V.: Bydlení a jeho specifický trh <http://www.czso.cz/csu/csu.nsf/informace/ckta0303200808.doc>, 2007
- [4] HLAVÁČEK, M., KOMÁREK, V.: Determinanty cen nemovitostí pro jednotlivé regiony ČR, Zpráva o finanční stabilitě 2008/2009, str. 80-89, ČNB Praha, 2009
- [5] ŠEVČÍK, P., ŠEVČÍKOVÁ, H. Faktory ovlivňující trh s byty. In Sborník vědeckých prací VŠB – TUO, č.1, rok 2013, ročník XIII, řada stavební, pp 65 – 74, ISSN: 1213-1962

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Jana Korytářová, Ph.D., Ústav stavební ekonomiky a řízení, Fakulta stavební, VUT v Brně.

Doc. Ing. arch. Ivan Vorel, CSc., Katedra urbanismu a územního plánování, Fakulta stavební, ČVUT v Praze.

Milan VONDRA¹

**EKONOMICKÉ A CELOSPOLEČENSKÉ HODNOCENÍ ASPEKTU VÝSTAVBY DOMŮ
SPLNŮJÍCÍCH POŽADAVKY NA UDRŽITELNÝ ROZVOJ**

**ECONOMIC AND SOCIETY EVALUATION ASPECT OF CONSTRUCTION BUILDINGS
REQUIREMENTS FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT**

Abstrakt

Cílem této práce bylo zhodnotit ekonomické a celospolečenské aspekty výstavby domů splňujících požadavky na udržitelný rozvoj. Pro tyto účely bylo navrženo 7 typů konstrukcí (o různé materiálové základně) pro část stavby hrubá podlaha a nášlapná vrstva podlahy, obvodová stěna a střešní konstrukce. Jednotlivé navržené části staveb mají obdobný součinitel prostupu tepla, splňující danou normu. Vnitřní plocha staveb je jednotná, obestavěná plocha je různá podle tloušťky stěn jednotlivých konstrukcí. Takto sestavené modelové příklady byly následně posouzeny z hlediska stavebního, environmentálního a ekonomického. Výsledky byly dále zpracovávány a porovnávány jak co do absolutních hodnot, tak procentuálních hodnot a v neposlední řadě i z pohledu stanovených poměrových ukazatelů a trapezoidické analýzy. Konečný výsledek pak vedl, do velké míry, k potvrzení hlavní hypotézy, tedy že výstavba z materiálů, které potřebují minimum dodatečných energetických vkladů, je méně energeticky a finančně náročná. Ohledně produkce CO₂ je možné se také s touto částí hypotézy ztotožnit, jelikož náročnost na celkový svázaný spotřebovaný uhlík je u konstrukcí s dominantní materiálovou skladbou na bázi obnovitelných materiálů zpravidla nižší. Nutno podotknout, že tato analýza byla změřena na jednopodlažní budovy, určené k obývání.

Klíčová slova

Vázaná energie, svázaný uhlík, kalkulace, cihelné děrované tvárnice, pórobetonové tvárnice, sendvičová dřevostavba, srub, roubenka, panelová konstrukce z masivu, sláma.

Abstract

The aim of this work was to evaluate the economic and social aspects of the construction of a home meeting the requirements of sustainable development. For this purpose, it was proposed to 7 types of structures (different material base) for part of the construction of the subfloor and wear layer floors, perimeter wall and roof construction. Each of the constructs parts is similar to the proposed thermal insulation heat flow coefficient, which also meets the standard. The interior area is the single, enclosed area varies according to the thickness of the walls of the individual structures. As drawn up by the model examples were subsequently assessed from construction (total enclosed area), environmental (hardcover embodied energy and carbon) and economic (compiled model calculations of the construction). The results were further processed and compared both in absolute values and percentage values, and not least in view of the established financial ratios and trapezoid analysis. The final result then led, to a large extent, to confirm the main hypothesis, namely that the construction of the materials that they need a minimum of additional energy deposits, it is less energy and financially demanding. Regarding the CO₂ production is also possible with this part hypotheses identify, as the demands on the total carbon is consumed bound structures with the dominant material composition based on renewable materials are usually lower. It is, therefore, of the

¹ Ing. Mgr. Bc. Milan Vondra, Ústav lesnické a dřevařské ekonomiky a politiky, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 3, 613 00 Brno, tel: +420 774 027 115, e-mail: BLDi7@email.cz.

economic and social point of view preferable to carry out the construction of renewable materials and raw materials. Should be noted that this analysis was measured on buildings single storey, intended for occupancy.

Keywords

Embodied energy, embodied carbon, calculations, perforated bricks, porous concrete blocks, sandwich wooden house, log cabin, timber, the massive wooden panel construction, straw.

1 ÚVOD

Na výstavbu budov může být pohlíženo z různých hledisek. Jeden pohled může být na cenu stavby, jiní řeší ekologickou (ne)náročnost jak z pohledu výstavby (např. použité materiály), tak užívání (např. spotřebovaná energie), další pohledy mohou být zaměřeny na architekturu, problematiku lokalizace stavby apod. Zmiňované pohledy často nebývají provázány a do jisté míry pak nesplňují komplexnější pohled na problematiku výstavby. Tato práce této komplexnosti dosáhnout.

2 METODIKA

2.1 Metodika analýzy poměrovými ukazateli

Poměrové ukazatele jsou sestaveny pro poměr celkových nákladů na výstavbu (I a II) a celkové obestavěné plochy, celkového svázaného spotřebovaného uhlíku (I a II) a celkové vázané energie (I a II) a celkových nákladů na výstavbu (I a II). Obecně tedy tyto ukazatele mohou být vyjádřeny takto:

$$\Delta_{NCS} = \frac{NC}{S} [\text{Kč} \times \text{m}^{-2}] \quad (1)$$

kde:

- Δ_{NCS} – poměr celkových nákladů na výstavbu a celkové obestavěné plochy [$\text{Kč} \times \text{m}^{-2}$]
- NC – celkové náklady [Kč]
- S – celková obestavěná plocha [m^2]

$$\Delta_{NCC} = \frac{C}{NC} [\text{kg CO}_{2e} \times \text{Kč}^{-1}] \quad (2)$$

kde:

- Δ_{NCC} – poměr celkového svázaného spotřebovaného uhlíku a celkových nákladů na výstavbu [$\text{kg CO}_{2e} \times \text{Kč}^{-1}$]
- C – svázaný uhlík [kg CO_{2e}]
- NC – celkové náklady [Kč]

$$\Delta_{NCE} = \frac{E}{NC} [\text{MJ} \times \text{Kč}^{-1}] \quad (3)$$

kde:

- Δ_{NCE} – poměr celkové vázané energie a celkových nákladů na výstavbu (I a II) [$\text{MJ} \times \text{Kč}^{-1}$]
- E – vázaná energie [MJ]
- NC – celkové náklady [Kč]

Uvedení poměrové ukazatele jsou užity k základnímu posouzení a porovnání sedmi typů konstrukcí. První ukazatel představuje, jaké jsou náklady na m^2 obestavěné plochy. Další ukazatele představují kolik je spotřebováno svázaného uhlíku na korunu nákladů a poslední představuje to, kolik je spotřebováno vázané energie na korunu nákladů.

2.2 Metodika Trapezoidické analýzy

Pro účely porovnání jednotlivých dat byla navržena následující trapezoidická analýza. Analýza sestává z ukazatele: poměru celkových nákladů na výstavbu a celkové obestavěné plochy

($\Delta_{NCS} \times \mu_{50}$), poměru celkového svázaného spotřebovaného uhlíku a celkových nákladů na výstavbu (Δ_{NCC}), poměru celkové vázané energie a celkových nákladů na výstavbu (Δ_{NCE}), celkového součinitele prostupu tepla dané konstrukce (U_C).

Trapezoidický graf pak obsahuje čtyři osy, na které jsou nanášeny hodnoty jednotlivých ukazatelů. Plocha vzniknuvší mezi propojenými ukazateli na trapezoidickém grafu pak představuje trapezoidickou plochu. Jednotlivé ukazatele a trapezoidickou plochu je možné využít při porovnávání různých typů konstrukcí.

2.2.1 Poměr celkových nákladů na výstavbu a celkové obestavěné plochy

Poměr celkových nákladů na výstavbu a celkové obestavěné plochy představuje horní část svislé osy trapezoidické analýzy v grafickém zobrazení. Stanovení tohoto ukazatele vychází ze stanovení nákladů na výstavbu na obestavěnou plochu, které jsou obecným opravným koeficientem μ . Tento koeficient je volen z důvodů možnosti zobrazení daných ukazatelů v jednom rámci. Hodnota tohoto koeficientu se může lišit pro různé typy staveb, avšak pro případ komparace by měla zůstat konstantní. Celkové náklady jsou stanoveny jako součet kalkulací pro jednotlivé stavební části vzhledem k běžným cenám na výstavbu za danou jednotku a rozměrům stavby.

$$\Delta_{NCS} = \frac{NC}{S} = \frac{\Sigma PN(1-17)}{S} \quad (4)$$

kde:

- Δ_{NCS} – poměr celkových nákladů na výstavbu a celkové obestavěné plochy [$Kč \times m^{-2}$]
- NC – celkové náklady [$Kč$]
- S – celková obestavěná plocha [m^2]
- $\Sigma PN (1-17)$ – suma dílčích přímých nákladů [$Kč$] na práci, stroje a materiál

2.2.2 Poměr celkového svázaného spotřebovaného uhlíku a celkových nákladů na výstavbu

Poměr celkového svázaného spotřebovaného uhlíku a celkových nákladů na výstavbu představuje pravou horizontální osu. Tento ukazatel je stanoven na základě poměru svázaného uhlíku a celkových nákladů na výstavbu. Svázaný uhlík stavby vychází z rozměrů stavby a materiálového zastoupení. Celkové náklady na výstavbu jsou jako v předcházejícím případě stanoveny jako součet kalkulací pro jednotlivé stavební části vzhledem k běžným cenám na výstavbu za danou jednotku a rozměrům stavby.

$$\Delta_{NCC} = \frac{C}{NC} = \frac{\Sigma_{AS}^e c}{\Sigma PN(1-17)} \quad (5)$$

kde:

- Δ_{NCC} – poměr celkového svázaného spotřebovaného uhlíku a celkových nákladů na výstavbu [$kg CO_{2e} \times Kč^{-1}$]
- C – svázaný uhlík [$kg CO_{2e}$]
- NC – celkové náklady [$Kč$]
- $\Sigma PN (1-17)$ – suma dílčích přímých nákladů [$Kč$] na práci, stroje a materiál
- $\Sigma_{AS}^e c$ – suma dílčího svázaného uhlíku [$kg CO_{2e}$] pro jednotlivé materiály v konstrukci (1-7)
- C – svázaný uhlík [$kg CO_{2e}$] pro konstrukci (1-7)

2.2.3 Poměr celkové svázané energie a celkových nákladů na výstavbu

Ukazatel celkového svázaného spotřebovaného uhlíku a celkových nákladů na výstavbu představuje dolní vertikální osu. Logika stanovení tohoto ukazatele je obdobná jako v případě Δ_{NCC} s tím rozdílem, že je zaměřený na vázanou energii.

$$\Delta_{NCE} = \frac{E}{NC} = \frac{\Sigma_{AS}^e e}{\Sigma PN(1-17)} \quad (6)$$

kde:

- Δ_{NCE} – poměr celkové vázané energie a celkových nákladů na výstavbu (I a II) [MJ×Kč⁻¹]
- E – vázaná energie [MJ] pro konstrukci (1-7)
- NC – celkové náklady [Kč]
- ΣPN (1-17) – suma dílčích přímých nákladů [Kč] na práci, stroje a materiál
- $\Sigma_{As}^{ze} e$ – suma dílčí vázané energie [MJ] pro jednotlivé materiály v konstrukci (1-7)

2.2.4 Celkový součinitel prostupu tepla dané konstrukce

Celkový součinitel prostupu tepla konstrukce je dán jako součet součinitelů prostupu tepla konstrukcí střecha, obvodová stěna (plášť) a podlaha – terén. Užití ukazatele celkového součinitele prostupu tepla konstrukcí zajišťuje do určité míry srovnatelnost mezi jednotlivými domy. Samozřejmě celkovou spotřebu tepla na vytápění ovlivňuje řada faktorů (orientace budovy, umístění budovy v krajině, tvar a velikost budovy, pasivní zisky, typ vytápění, chování uživatele apod.). V rámci srovnatelnosti mezi budovami byl volen model celkového součinitele prostupu tepla.

$$U_c = \Sigma U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{Si} + R + R_{Se}} = \frac{1}{R_{Si} + \left(\Sigma \frac{d_j}{\lambda_j} \right) + R_{Se}} \quad (7)$$

kde:

- U_C – celkový součinitel prostupu tepla dané konstrukce (1-7)
- ΣU – suma součinitelů prostupu tepla [W/(m²×K)]
- R_T – odpor konstrukce při prostupu tepla [(m²×K)/W]
- R_{Si} – odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [(m²×K)/W]
- R_{Se} – odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [(m²×K)/W]
- R – tepelný odpor konstrukce [(m²×K)/W]
- R_j – tepelný odpor j-té vrstvy konstrukce [(m²×K)/W]
- $\Sigma \frac{d_j}{\lambda_j}$ – suma (tloušťky d_j , j-té vrstvy konstrukce [m] / návrhový součinitel tepelné vodivosti materiálu λ_j , j-té vrstvy konstrukce [W/(m×K)])

2.2.5 Trapezoidická analytická plocha

Trapezoidická analytická plocha představuje agregovanou veličinu, která je složena z výše uvedených ukazatelů ($\Delta_{NCS} \times \mu$, Δ_{NCC} , Δ_{NCE} , U_C). Tato plocha představuje celkový pohled na posuzovaný objekt. Dá se říct, že čím více se blíží k 0, tím dosahuje budova lepší parametrů. Je však vždy třeba pohlížet na analýzu jako na celek. V některých případech se trapezoidická analytická plocha blíží k 0, ovšem některý z ukazatelů se blíží například k 1. V takovém případě není možné označit takovou budovu za budovu s lepšími parametry. Matematická definice trapezoidické plochy je uvedena ve vzorci níže.

$$S_\tau = \frac{(\Delta_{NCS} \times \mu) \times U_C + (\Delta_{NCS} \times \mu) \times \Delta_{NCC} + \Delta_{NCC} \times \Delta_{NCE} + \Delta_{NCE} \times U_C}{2} \quad (8)$$

kde:

- S_τ – trapezoidická analytická plocha (ostatní proměnné viz výše)

3 VÝSLEDKY

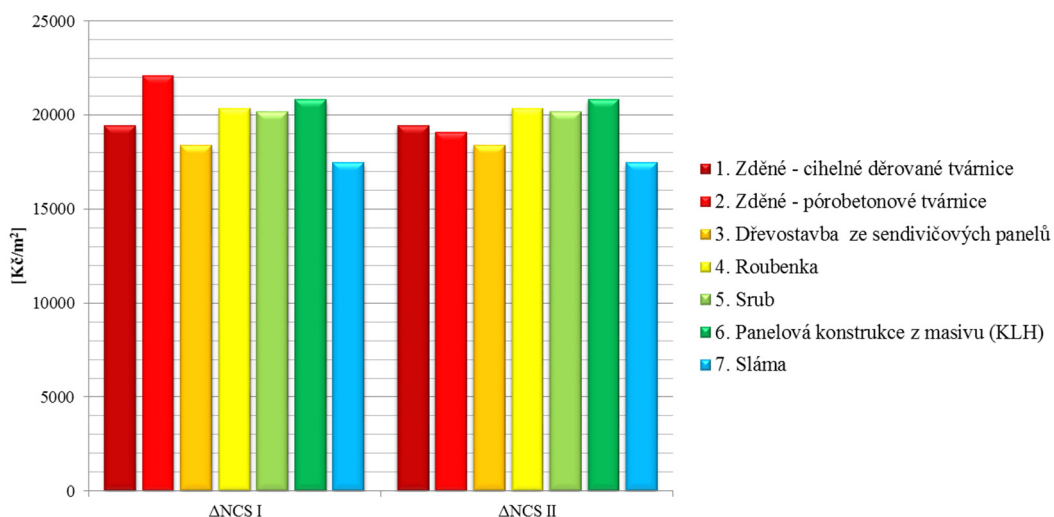
Pro přehlednost je sestavena následující tabulka. V této tabulce jsou uvedeny údaje o celkové obestavené ploše staveb, celkové ploše místností (vzhledem k metodice jsou identické), celkové tloušťce obvodové stěny, celkových nákladů na výstavbu (I a II), celkového spotřebovaného svázaného uhlíku (I a II) a celkové vázané spotřebované vázané energie (I a II). Dále jsou uvedeny poměrové ukazatele Δ_{NCS} I,II [Kč×m⁻²], Δ_{NCC} I,II [kg CO_{2e}×Kč⁻¹], Δ_{NCE} I,II [MJ×Kč⁻¹] a ukazatele trapezoidické analýzy.

Tab. 1: Celkové porovnání

Údaj	1. Zděné - cihelné děrované tvárnice	2. Zděné - pórobetonové tvárnice	3. Dřevostavba ze sendvičových panelů	4. Roubenka	5. Srub	6. Panelová konstrukce z masivu (KLH)	7. Sláma
Celk. obestavěná plocha S [m ²]	110,90	107,48	102,49	111,64	109,46	105,25	111,81
Celk. plocha místnosti [m ²]	85,20	85,20	85,20	85,20	85,20	85,20	85,20
Celk. tloušťka obvodové stěny [m]	0,485	0,402	0,2805	0,4925	0,4425	0,3455	0,504
NC I (s DPH) [Kč]	2151850	2370710	1882240	2271250	2205280	2190830	1950650
NC II (s DPH) [Kč]	= NC I	2050510	= NC I	= NC I	= NC I	= NC I	= NC I
C I [kg CO ₂ e]	1030287	855001	848109	839786	793751	774242	796135
C II [kg CO ₂ e]	= C I	1030287	= C I	= C I	= C I	= C I	= C I
E I [MJ]	1338325	1663624	795708	922232	868520	1077049	639170
E II [MJ]	= E I	1569313	= E I	= E I	= E I	= E I	= E I
Poměrové ukazatele							
$\Delta_{NCS I}$ [Kč×m ⁻²]	19403,52	22057,22	18365,11	20344,41	20146,90	20815,49	17446,11
$\Delta_{NCS II}$ [Kč×m ⁻²]	= $\Delta_{NCS I}$	19078,06	= $\Delta_{NCS I}$	= $\Delta_{NCS I}$	= $\Delta_{NCS I}$	= $\Delta_{NCS I}$	= $\Delta_{NCS I}$
$\Delta_{NCC I}$ [kg CO ₂ e×Kč ⁻¹]	0,48	0,36	0,45	0,37	0,36	0,35	0,41
$\Delta_{NCC II}$ [kg CO ₂ e×Kč ⁻¹]	= $\Delta_{NCC I}$	0,50	= $\Delta_{NCC I}$	= $\Delta_{NCC I}$	= $\Delta_{NCC I}$	= $\Delta_{NCC I}$	= $\Delta_{NCC I}$
$\Delta_{NCE I}$ [MJ×Kč ⁻¹]	0,62	0,70	0,42	0,41	0,39	0,49	0,33
$\Delta_{NCE II}$ [MJ×Kč ⁻¹]	= $\Delta_{NCE I}$	0,77	= $\Delta_{NCE I}$	= $\Delta_{NCE I}$	= $\Delta_{NCE I}$	= $\Delta_{NCE I}$	= $\Delta_{NCE I}$
Trapezoidická analýza							
$\Delta_{NCS I} \times \mu_{50}$	0,39	0,44	0,37	0,41	0,40	0,42	0,35
$\Delta_{NCS II} \times \mu_{50}$	= $\Delta_{NCS I} \times \mu_{50}$	0,38	= $\Delta_{NCS I} \times \mu_{50}$	= $\Delta_{NCS I} \times \mu_{50}$	= $\Delta_{NCS I} \times \mu_{50}$	= $\Delta_{NCS I} \times \mu_{50}$	= $\Delta_{NCS I} \times \mu_{50}$
$\Delta_{NCC I}$	0,48	0,36	0,45	0,37	0,36	0,35	0,41
$\Delta_{NCC II}$	= $\Delta_{NCC I}$	0,50	= $\Delta_{NCC I}$	= $\Delta_{NCC I}$	= $\Delta_{NCC I}$	= $\Delta_{NCC I}$	= $\Delta_{NCC I}$
$\Delta_{NCE I}$	0,62	0,70	0,42	0,41	0,39	0,49	0,33
$\Delta_{NCE II}$	= $\Delta_{NCE I}$	0,77	= $\Delta_{NCE I}$	= $\Delta_{NCE I}$	= $\Delta_{NCE I}$	= $\Delta_{NCE I}$	= $\Delta_{NCE I}$
U_C	0,57	0,61 (0,63) ²	0,54	0,58	0,60	0,63	0,52
$S\tau$	0,53	0,56 (0,64) ²	0,39	0,39	0,38	0,45	0,32

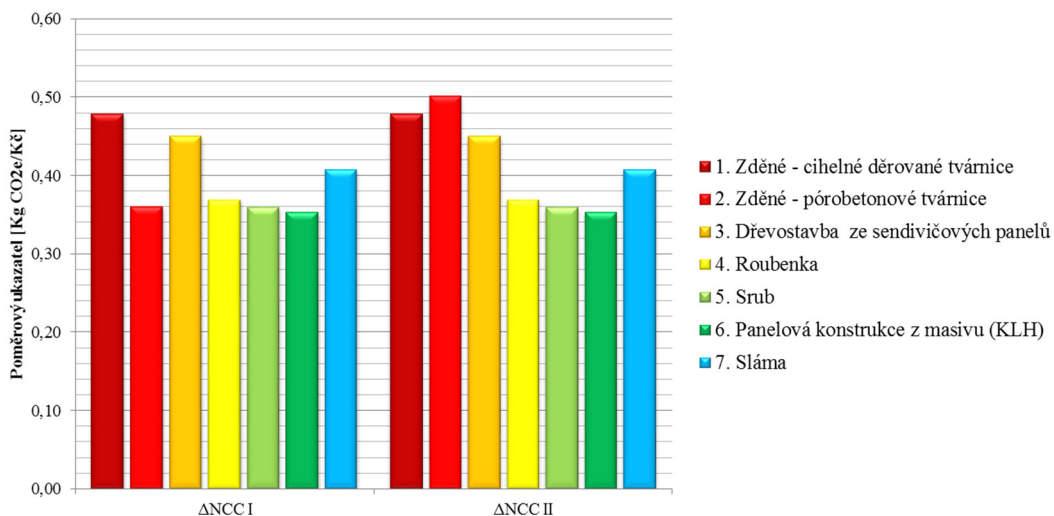
Výše uvedená tabulka je vizualizovaná v následujících grafech. V prvním grafu jsou zobrazeny celkové náklady na výstavbu I a II v porovnání s celkovou obestavěnou plochou. Jak je patrné, tak pro variantu I je nejvíce nákladově náročná konstrukce 2. Zděné – pórobetonová tvárnice, následuje konstrukce 6. Panelová konstrukce z masivu (KLH), 4. Roubenka, 5. Srub, 2. Zděné – pórobetonové tvárnice, 3. Dřevostavba ze sendvičových panelů a 7. Sláma. V případě varianty II je pořadí následující: 6. Panelová konstrukce z masivu (KLH), 4. Roubenka, 5. Srub, 2. Zděné – pórobetonové tvárnice, konstrukce 2. Zděné – pórobetonová tvárnice, 3. Dřevostavba ze sendvičových panelů a 7. Sláma. Tento rozdíl je daný hlavně tím, že konstrukce č. 2. nemá střešní konstrukci zhotovenou z komplexního konstrukčního systému na bázi pórobetonu. Nejvýhodnější je tedy z finančního hlediska konstrukce 7. Sláma.

² Varianta II.



Graf 1: Porovnání nákladů na výstavbu k obestavěné ploše [Kč×m⁻²]

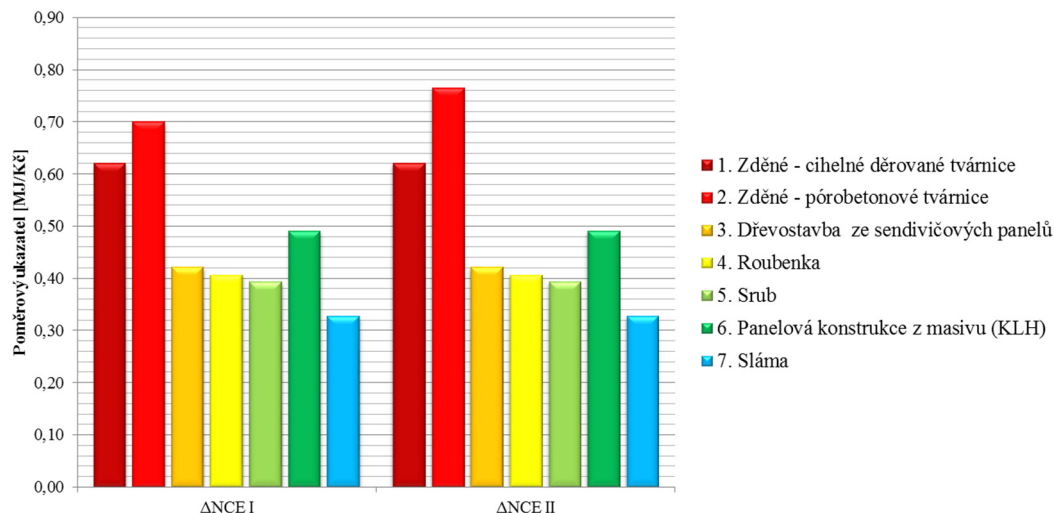
Následující graf zobrazuje porovnání svázaného uhlíku k nákladům na výstavbu. Opět je šetření zobrazeno ve variantě I a II. V případě varianty I dosahuje nejvyšší hodnoty tohoto koeficient konstrukce 1. Zděné – cihelné děrované tvárnice, 3. Dřevostavba ze sendvičových panelů, 7. Sláma, 3. Dřevostavba ze sendvičových panelů atd. V případě varianty II dosahuje nejvyšších hodnot konstrukce 2. Zděné – pórobetonové tvárnice, 1. Zděné – cihelné děrované tvárnice, 3. Dřevostavba ze sendvičových panelů, 7. Sláma atd. Tento poměrový ukazatel zobrazuje, kolik je spotřebováno svázaného uhlíku na jednu korunu nákladů. Nejvýhodnější je konstrukce 6. Panelová konstrukce z masivu (KLH).



Graf 2: Porovnání svázaného uhlíku k nákladům na výstavbu

V tabulce níže je zobrazen ve variantě I a II poměr celkové vázané spotřebované energie na korunu nákladů. V případě varianty I dosahuje nejvyšší hodnoty konstrukce 2. Zděné - pórobetonové tvárnice, následuje 1. Zděné – cihelné děrované tvárnice, 6. Panelová konstrukce z masivu (KLH),

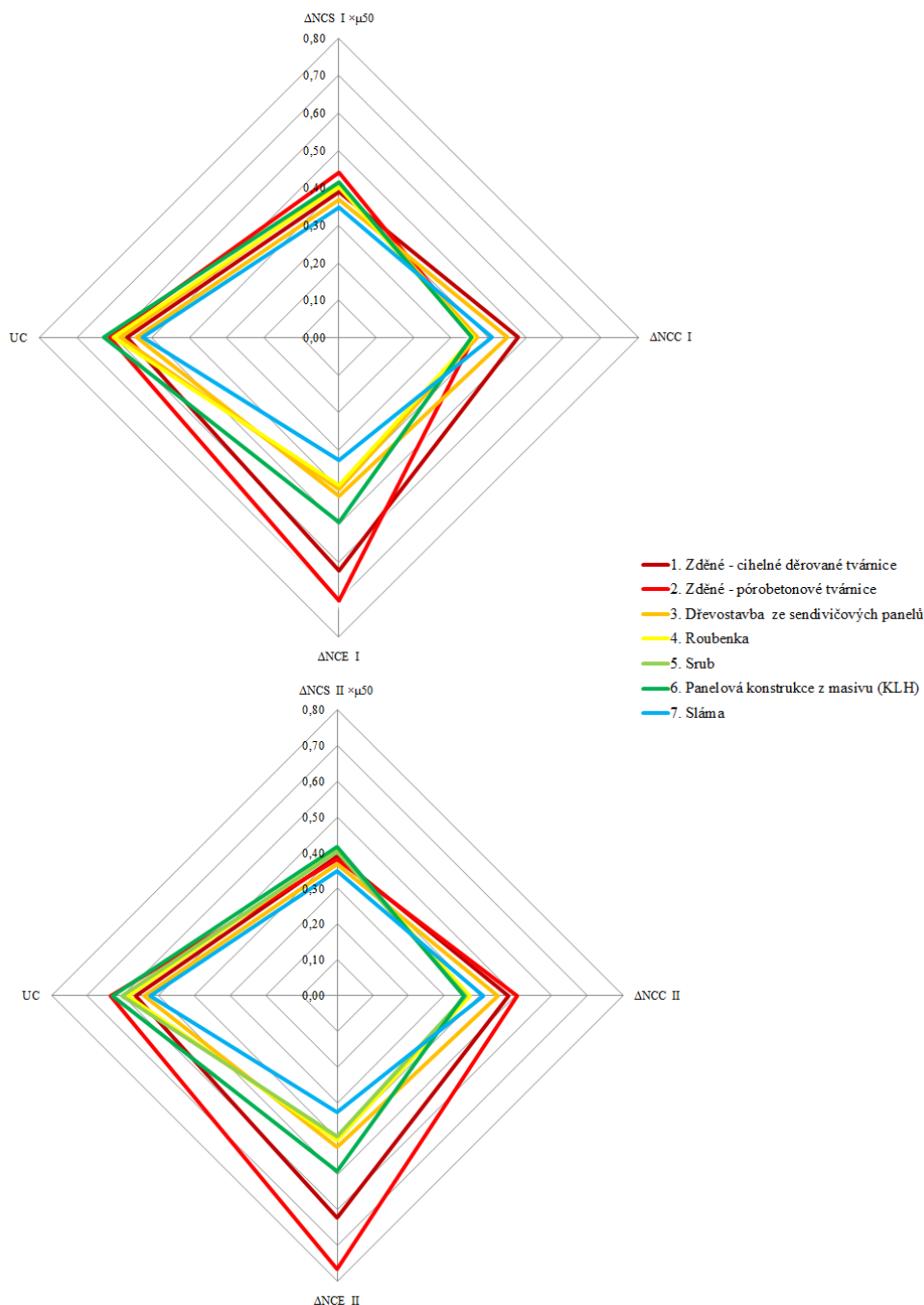
3. Dřevostavba ze sendvičových panelů, 4. Roubenka, 5. Srub a 7. Sláma. Stejně pořadí dosahuje i varianta II s tím rozdílem, že poměrový ukazatel je u konstrukce č. 2 výraznější. Nejvýhodnější konstrukce je konstrukce 7. Sláma.



Graf 3: Porovnání vázané energie k nákladům na výstavbu

Co se týče potenciální prospěšnosti, může být na tento aspekt nahlíženo z více pohledů. Z ekonomického hlediska je pro uživatele nejvýhodnější využít konstrukci 3. Dřevostavba ze sendvičových panelů. Pokud bude na problematiku nahlíženo z pohledu nejvýhodnější hladiny celkového spotřebovaného svázaného uhlíku je nejvhodnější konstrukce typu 6. Panelová konstrukce z masivu (KLH). Z pohledu celkové vázané spotřebované energie je nejvýhodnější konstrukce 7. Sláma. V momentě, kdy budou výše uvedená celková hlediska zpracována poměrovým způsobem, zdá se být z hlediska porovnání nákladů na výstavbu k obestavěné ploše nejvýhodnější konstrukce 7. Sláma. V případě porovnání svázaného uhlíku k nákladům na výstavbu je nejvýhodnější konstrukce 6. Panelová konstrukce z masivu (KLH). A v momentě, kdy bude porovnávána svázané energie k nákladům na výstavbu, je nejvýhodnější konstrukce 7. Sláma. Obecně je tedy možné říct, že při takto nastavené metodice a při obdobném součiniteli prostupu tepla konstrukce jako u dalších šesti konstrukcí je z ekonomického hlediska a hlediska trvale udržitelného rozvoje nejvyšší potenciální prospěšnost pro uživatele domů konstrukce 7. Sláma. Hlavní hypotéza byla tedy do velké míry potvrzena a při takto nastavené metodice je možné říct, že výstavba z materiálů, které potřebují minimum dodatečných energetických vkladů, je méně energeticky a finančně náročná. Ohledně produkce CO₂ je možné se také s touto částí hypotézy ztotožnit, jelikož náročnost na celkový svázaný spotřebovaný uhlík je u konstrukcí s dominantní materiálovou skladbou na bázi obnovitelných materiálů nižší. Trapezoidická analýza ukázala, že největší trapezoidické analytické plochy dosahuje konstrukce č. 2. Nejnižší hodnotu trapezoidické analytické plochy dosahuje konstrukce č. 7. Tento údaj je relativně důležitý k prvotnímu analytickému posouzení. Dále je třeba sledovat konkrétní hodnoty ukazatelů. Z analýzy je patrné, že největší rozdíly u staveb vykazuje ukazatel $\Delta_{NCE I}$. Ostatní ukazatele se liší relativně méně. Z globálního hlediska je tedy možné tvrdit, že největší rozdíl mezi navrženými konstrukcemi je v oblasti vázané spotřebované energie. Při volbě konstrukčního systému budovy je tedy vhodné pohlížet na skladbu materiálů použitou ve stavbě. Například stavba zděná z pórobetonových tvárnic a z cihelných děrovaných tvárnic z tohoto hlediska dosahují poměrně vysokou hodnotu uvedeného ukazatele. Obdobě dosahuje vyšších hodnot stavba panelová z masivu. Nejnižší hodnotu ukazatele $\Delta_{NCE I}$ dosahuje stavba s dominantním zastoupením slámy, srub, roubenka a dřevostavba ze sendvičových panelů. Obdobě pro Variantu II setrvává stanovisko, že největší

trapezoidické analytické plochy dosahuje konstrukce č. 2. Tato plocha oproti variantě I narostla nejen v ukazateli Δ_{NCE} , ale také narostla v ukazateli Δ_{NCC} . Při řešení materiálové skladby stavby je tedy nutné zohledňovat různé varianty skladeb konstrukcí. Uvedené je možné vizualizovat v následujících grafech.



Obr. 1: Grafické zobrazení trapezoidické analýzy pro konstrukce 1-7, varianta I nahoře, II dole

Prospěšnost na základě kvantitativní analýzy výpovědi respondentů ukázala, že je do značné míry podstatné, zda se respondenti o problematiku energetické šetrnosti, potažmo vázané spotřebované energie, resp. svázaného spotřebovaného uhlíku zajímají a jsou v takové situaci, kdy řeší bydlení. Prospěšnost také respondenti shledávají v případné podpoře státu.

Předložená analýza a metodologický návrh řešení komparace staveb je vhodné využívat při posuzování staveb. Sedm uvedených variant staveb je možné do určité míry brát za referenční a v případě dalšího vědeckého bádání v této oblasti mohou uvedené konstrukce být nápomocny s porovnáním adekvátních variant. Z praktického hlediska je pak možné případným zájemcům o projekt, resp. stavbu domu nabídnout varianty řešení, které mohou zohlednit konkrétní požadavky zákazníků. Například pro zájemce se silným ekologickým cítěním je možné nabídnout varianty jemu bližší a případně tyto varianty porovnat s dalšími možnostmi.

4 DISKUSE

Tématikou vázané energie a svázaného uhlíku se zabývá a publikuje například Abanda a kol.[1], který porovnával budovy z nepálených hliněných cihel (Mud-brick) a betonových tvárnic (Cement-block). Vzhledem k tomu, že absolutní hodnoty na stavbu jsou v důsledku rozdílnosti půdorysu a dalších parametrů logicky odlišné, může být posouzen rozdíl v procentech. Uvedení autoři došli k výsledkům 292326,81 MJ vázané spotřebované energie a 37829,19 kg CO₂ svázaného spotřebovaného uhlíku pro stavbu z betonových tvárnic. Pro stavbu z nepálených hliněných cihel došli k výsledkům 137934,91 MJ vázané spotřebované energie a 15665,56 kg CO₂ svázaného spotřebovaného uhlíku. Rozdíl je tedy cca 47 % v případě vázané energie a 41 % v případě svázaného spotřebovaného uhlíku. V této práci nebyly přímo tyto konkrétní materiály porovnávány, je však možné uvedených 7 konstrukcí rozdělit na konstrukce z cihelných děrovaných tvárnic a pórobetonu (1-2) a další konstrukce (3-7). Porovnáme-li tyto konstrukce mezi sebou co do průměrného procentuálního rozdílu, je rozdíl mezi konstrukcemi 1-2 a 3-7 pro svázaný spotřebovaný uhlík cca 13 % pro variantu I a 22 % pro variantu II. Obdobně v případě vázané spotřebované energie vychází průměrný procentní rozdíl pro konstrukce 1-2 a 3-7 pro variantu I 48 % a pro variantu II 45 %. V případě svázaného uhlíku vychází rozdíl menší než u výše uvedených autorů, ale je třeba opětovně zmínit, že autoři nepopisovali identické materiály, jaké jsou uvedeny v této práci. Ohledně vázané spotřebované energie jsou již procentuální rozdíly bližší výše uvedeným autorům. Obdobně autoři Hammond a Jones [3] uvádějí vázanou energii pro různé typy budov. Bohužel v jejich práci není konkrétní specifikace staveb (materiálová, konstrukční apod.). Ve svých výsledcích uvádějí, že v nově postaveném anglickém domě dosahuje vázaná energie lehce nad 5000 [MJ×m⁻²] a svázaný uhlík lehce nad 140 [kgCO₂×m⁻²]. V této práci dosahuje konstrukce 1-2 průměrně hodnotu vázané energie pro variantu I 8600 [MJ×m⁻²], pro variantu II 9400 [MJ×m⁻²]. Pro konstrukce 3-7 pak byla vypočtena hodnota 7500 [MJ×m⁻²]. Z takto zjištěných dat je tedy patrné, že výsledky výše uvedených autorů se blíží spíše konstrukcím 3-7, resp. je možné, že pokud se jedná o stavbu o velkém půdorysu, jedná se o budovu typu konstrukce 1-2. Autor Pullen [6] uvádí průměrné hodnoty vázané energie pro obytné budovy: 3600 [MJ×m⁻²] a Treloar [7] uvádí hodnotu 8760 [MJ×m⁻²]. Je patrná relativně velká variabilita, která může být způsobena metodologií, vstupními daty a dalšími okolnostmi. Autorka Milutienė [5] se ve svém článku zabývala vázanou energií budov a nulovým energetickým konceptem budov. Zaměřila se na budovy stavěné ze slámy. Z jejich výsledků je zřejmé, že vázaná spotřebovaná energie na stěny ze slámy dosahuje celkovou hodnotu přibližně 235 tisíc [MJ] a svázaný uhlík 17,2 tisíc [kgCO₂]. V této práci bylo zjištěno, že konstrukce 7. Sláma dosahuje hodnotu vázané energie 639 tisíc [MJ] a 79 tisíc [kgCO₂] svázaného uhlíku. Tento rozdíl je z největší pravděpodobností dán celkovou konstrukcí stavby. U této práce byly základy zhotoveny z betonu, byla vytvořena železobetonová deska. Další rozdíly mohly být ve vnitřních příčkách, konstrukci střechy apod. Z autorčiny studie je patrné, že stavby ze slámy mají perspektivu z hlediska snižování vázané spotřebované energie a svázaného spotřebovaného uhlíku. Autor McHendry [4] ve své případové studii zkoumal sendvičové dřevostavby. Zjistil, že pro variantu ECO dosahuje vázaná

energie hodnotu 783 [GJ]. Řešil také variantu INTENSIVE, jenž dosáhla hodnot 1458 [GJ] vázané energie. V autorově studii je uvedeno, že celková plocha podlah dosahovala 162,5 [m²]. Opět tato budova není identická ke konstrukcím zpracovaným v této práci, nicméně je možná určitá komparace. Přepočtem je možné získat vázanou energii na m². Výsledkem je tedy 4,8 [GJ×m⁻²] pro variantu ECO a 8,97 [GJ×m⁻²] pro variantu INTENSIVE. Získané údaje v této práci dosahují hodnot: konstrukce 1. Zděné – cihelné děrované tvárnice 6,69 [GJ×m⁻²]; 2. Zděné - pórobetonové tvárnice 14,60 [GJ×m⁻²] (15,48 varianta II); 3. Dřevostavba ze sendvičových panelů 7,76 [GJ/m²]; 4. Roubenka 8,26 [GJ×m⁻²]; 5. Srub 7,93 [GJ×m⁻²]; 6. Panelová konstrukce z masivu (KLH) 10,23 [GJ×m⁻²]; 7. Sláma 5,72 [GJ×m⁻²].

Ekonomickou část je třeba řešit z pohledu možností České republiky. Je pochopitelné, že náklady na výstavbu domů v jiných státech budou s největší pravděpodobností jiné. Problematikou porovnání pořizovacích cen dřevostavb (bez srubů a roubenek) a zděných domů (z cihelných děrovaných tvární a z pórobetonu) se zabýval Kalousek, Lenoš [10]. Z jejich údajů je zřejmé, že dřevostavby s obdobným obestavěným prostorem (cca 550 m³) mají nižší cenu než zděné stavby. V případě této práce je rozdíl³ mezi konstrukcí zděnou a konstrukcí dřevostavby obdobný, jak uvádějí autoři – cca 14 % u cihelných děrovaných tvární a 26 % u pórobetonové konstrukce. Grmela [2] se zabýval výstavbou domu ze slámy. V jeho práci dochází k výsledkům cca 9 tis. [Kč×m⁻²] užitá plocha, ovšem doplňuje, že takto nízká cena byla dána hlavně tím, že výstavba byla prováděna svépomocným způsobem. V této práci byla uvažována běžná průmyslová výstavba konstrukce 7. ze slámy a také možná z toho důvodu dosahuje nákladů na výstavbu hodnot cca 23 tis. [Kč×m⁻²] užitá plocha (ovšem i toto v porovnání s dalšími konstrukcemi je hodnota poměrně nízká). Další rozdíly mohou být dány specifikací stavby Grmelou a specifikací stavby v této práci. Je třeba také podotknout, že v této práci byly zpracovány modelové příklady. Ohledně cen srubů a roubenek byly získány údaje z webových stránek výrobců, např. společnosti Srubové domy s.r.o. [12], T.M.T. Srub s.r.o. [9], Roubenky a sruby Walter s.r.o. [11], Vaše roubenka CZ s.r.o.[8]. Na uvedených stránkách jsou však ve většině případů vedeny ceny za m² zastavěné plochy hrubé stavby. Celkově vychází průměrné ceny srubů kolem 9 tis. [Kč×m⁻²] zastavěné plochy a průměrné ceny roubenek se pohybují kolem 10 tis. [Kč×m⁻²]. V této práci byly zjištěny náklady cca 20 150 [Kč×m⁻²] obestavěné plochy v případě srubu a 20 340 [Kč×m⁻²] u roubenek. Opět je třeba zdůraznit, že kalkulace uvedené v této práci nejsou pro hrubou stavbu, nicméně drobný rozdíl mezi cenou (náklady) srubu a roubenky i zde existuje.

Nově navrženou metodologii pro posuzování staveb – trapezoidickou analýzu – nebylo možné aplikovat na již publikované práce (uvedené např. výše), neboť tyto práce reflektují jiné, resp. dílčí skutečnosti a v celku analýzy by tedy nedávaly smysl. Nicméně se dalším autorům nabízí možnost aplikovat navrženou metodologii v různých prostředích (např. EU) a tyto pak podrobit analýze a srovnání.

5 ZÁVĚR

Pro účely cíle této práce bylo navrženo sedm typů konstrukcí, které mají odrážet realitu z pohledů možnosti běžné výstavby na území ČR. Byly navrženy konstrukce: 1. Zděné - cihelné děrované tvárnice, 2. Zděné - pórobetonové tvárnice, 3. Dřevostavba ze sendvičových panelů, 4. Roubenka, 5. Srub, 6. Panelová konstrukce z masivu (KLH), 7. Sláma.

Tyto konstrukce byly dále členěny na část podlah, obvodových stěn a střešní konstrukce. Cílem bylo, aby jednotlivé typy konstrukcí měly v jednotlivých částech obdobné parametry, v tomto případě konkrétně součinitel prostupu tepla a zároveň tento součinitel splňoval požadavky dané

³ Nutno podotknout, že v této práci bylo pracováno s kalkulacemi nákladů, ne kalkulacemi ceny a s obestavěnou plochou (ekvivalent zastavěné plochy s tím, že pro objekty poloodkryté a objekty zastřešené bez obvodových svíslích konstrukcí je třeba zvolit individuální, upravený postup výpočtu), ne prostorem.

normou (ČSN 73 0540-2/2011). Následně byl vytvořen konstrukční návrh staveb. Vnitřní prostor staveb byl jednotný (85,20 m²) a vnější prostor se lišil podle tloušťek jednotlivých konstrukcí (konstrukce 1. = 110,90 m², 2. = 107,48 m², 3. = 102,49 m², 4. = 111,64 m², 5. = 109,46 m², 6. = 105,25 m², 7. = 111,81 m²). Takto sestavené modelové příklady byly následně posouzeny z hlediska stavebního, environmentálního (vázaná energie a svázaný uhlík) a ekonomického (sestavené modelové kalkulace výstavby). Výsledky byly dále zpracovávány a porovnávány jak co do absolutních hodnot, tak procentuálních hodnot a v neposlední řadě i z hlediska stanovených poměrových ukazatelů. Na základě zjištěných skutečností bylo dle poměrových ukazatelů vyjádřených v procentech⁴ zjištěno, že náklady na výstavbu k obestavěné ploše dosahují pro konstrukci 7. Sláma nejvýhodnější poměr = 95 %, následuje 100 % pro 3. Dřevostavbu ze sendvičových panelů, 106 % pro 1. Zděnou z cihelných děrovaných tvárnic, 110 % pro 5. Srub, 111 % pro 4. Roubenku a 120 % (104 % varianta II) pro 2. Zděnou z pórobetonových tvárnic. Svázaný uhlík k nákladům na výstavbu dosahuje 78 % pro 6. Panelovou konstrukci z masivu (KLH), 80 % pro 5. Srub a 2. Zděnou konstrukci z pórobetonových tvárnic (varianta II 111 %), 82 % pro 4. Roubenku, 91 % pro konstrukci 7. Ze slámy, 100 % pro 3. Dřevostavbu ze sendvičových panelů a 107 % pro 1. Zděnou konstrukci z cihelných děrovaných tvárnic. Vázaná energie k nákladům na výstavbu dosahuje 79 % pro konstrukci 7. Ze slámy, 93 % pro 5. Srub, 98 % pro 4. Roubenku, 100 % pro 3. Dřevostavbu ze sendvičových panelů, 117 % pro 6. Panelovou konstrukci z masivu (KLH), 148 % pro 1. Zděnou konstrukci z cihelných děrovaných tvárnic, 167 % (183 % pro variantu II) pro 2. Zděnou konstrukci z pórobetonových tvárnic. Konečný výsledek pak vedl, do velké míry, k potvrzení hlavní hypotézy, tedy že výstavba z materiálů, které potřebují minimum dodatečných energetických vkladů, je méně energeticky a finančně náročná. Ohledně produkce CO₂ je možné se také s touto částí hypotézy ztotožnit, jelikož náročnost na celkový svázaný spotřebovaný uhlík je u konstrukcí s dominantní materiálovou skladbou na bázi obnovitelných materiálů zpravidla nižší. Tato perspektiva se zdá být i z pohledu provozu a údržby, příp. likvidace jednotlivých staveb reálná. Nutno podotknout, že tato analýza byla změřena na budovy méně podlažní, určené k obývání.

Z pohledu trapezoidické analýzy je patrné, že největší trapezoidické analytické plochy dosahuje konstrukce č. 2 zděná s dominantním zastoupením pórobetonových tvárnic a to jak ve variantě I, tak ve variantě II. Následují konstrukce č. 1 zděná s dominantním zastoupením z cihelných děrovaných tvárnic a konstrukce č. 6. panelová konstrukce z masivu. Nejnižší hodnoty trapezoidické analytické plochy dosahuje konstrukce č. 7 s dominantním zastoupením slámy, následovaná č. 5 – srub, 4. roubenka a 3 dřevostavba ze sendvičových panelů. Pro potvrzení těchto výsledků byly také zkoumány jednotlivé ukazatele, ze kterých je patrné, že rozdílnost konstrukcí je dána hlavně ukazatelem energetickým, ovšem i ostatní ukazatele (hledisko svázaného uhlíku, ekonomické hledisko, součinitel prostupu tepla), již v menší míře, odlišují jednotlivé typy konstrukcí.

Prospěšnost na základě kvantitativní analýzy výpovědi respondentů ukázala, že je do značné míry podstatné, zda se respondenti o problematiku energetické šetrnosti, potažmo vázané spotřebované energie, resp. svázaného spotřebovaného uhlíku zajímají a jsou v takové situaci, kdy řeší bydlení. Prospěšnost také respondenti shledávají v případné podpoře státu.

Trapezoidická analýza pak otvírá další možnosti porovnávání staveb a to jak na trhu České republiky, tak na dalších trzích (např. EU). Uvedená metodika je navržena univerzálně tak, aby ji bylo možné snadno aplikovat i v jiných prostředích. Podstatné je však také celkové posouzení na konkrétním případě se zohledněním všech nuancí.

⁴ Konstrukce 3. Dřevostavba ze sendvičových panelů = 100 %.

LITERATURA

- [1] ABANDA, F.Henry, G.Elambo NKENG, Tah J.H.M, Ohandja E.N.FABRICE a Manjia M.BLANCHE. Embodied Energy and CO2 Analyses of Mud-brick and Cement-block Houses. AIMS's Energy. 2014, Volume 2, Issue 1, 18–40. DOI: 10.3934/energy.2014.1.18.
- [2] GRMELA, Daniel. Nízkorozpotový pasivní dům z přírodních a recyklovaných materiálů. In: JUNIORSTAV 2011: 8. Udržitelná výstavba budov a udržitelný rozvoj sídel. 2011, s. 1-14. Dostupné z: http://www.fce.vutbr.cz/veda/JUNIORSTAV2011/pdf/8/Grmela_Daniel_CL.pdf
- [3] HAMMOND, G. P. a C. I. JONES. Embodied energy and carbon in construction materials. Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Energy. 2008, č. 2. ISSN: 1751-4223. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1680/ener.2008.161.2.87>
- [4] MCHENDRY, Stuart a Paul TUOHY. The Embodied Energy and Carbon of Passive House. Glasgow: Department of Mechanical and Aerospace Engineering, 2013.
- [5] MILUTIENĖ, Edita. House Embodied Energy and Zero Energy Building Concept. Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba. 2010. ISSN: 2029-2139.
- [6] PULLEN, S. Estimating the embodied energy of timber building products, Journal of the Institute of Wood Science, 2000, Volume (15), s. 147-151.
- [7] TRELOAR, Graham John. A Comprehensive Embodied Energy Analysis Framework. Deakin University, Victoria, Australia, 1998.
- [8] Cena roubenky. VAŠE ROUBENKA CZ S.R.O. Vaše Roubenka.cz [online]. 2014 [cit. 2014-03-28]. Dostupné z: <http://www.vaseroubenka.cz/cena-roubenky/>
- [9] Fotogalerie a ceník: Sruby a roubenky. T.M.T. SRUB S.R.O. Srub.cz [online]. 2014 [cit. 2014-03-28]. Dostupné z: <http://www.srub.cz/fotogalerie-a-cenik/sruby-a-roubenky/>
- [10] KALOUSEK, František a Josef LENOCH. Porovnání pořizovacích cen dřevostaveb a zděných domů v ČR. Dřevo&Stavby [online]. 2009 [cit. 2014-03-27]. Dostupné z: <http://www.drevoastavby.cz/cs/casopis-drevo-a-stavby/dodatky-k-casopisu/584-o-cenach-drevostaveb-das-62009>
- [11] Nový katalog Studií. ROUBENKY A SRUBY WALTER S.R.O. Žijeme s přírodou: www.sruby-roubenky.cz [online]. 2014 [cit. 2014-03-28]. Dostupné z: <http://www.sruby-roubenky.cz/katalog-domu.html>
- [12] Sruby a roubenky katalog 2014. SRUBOVÉ DOMY S.R.O. *Haniš sruby a roubenky* [online]. 2014 [cit. 2014-03-28]. Dostupné z: <http://www.srubovedomy.cz/katalog>

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Jan Česelský, Ph.D., Katedra městského inženýrství, Fakulta stavební, VŠB-TU Ostrava.

Doc. Ing. Jana Korytářová, Ph.D., Ústav stavební ekonomiky a řízení, Fakulta stavební, VUT v Brně.

Joanna BZÓWKA¹, Anna JUZWA², Konrad WANIK³, Lidia WANIK⁴, Tomasz ŻYREK⁵

**DISCUSSION ON THE INFLUENCE OF VARIOUS TECHNOLOGICAL PARAMETERS
ON JET GROUTING COLUMNS GEOMETRY**

Abstract

One of the most popular elements created by using jet grouting technology are columns. During designing such columns, it is a problem of estimating their shape and dimensions. The main factors that influence on columns geometry are soil characteristic and technological parameters. At the frame of Authors scientific research, following technological factors were taken into account: system of jet grouting, injection pressure, dimension of nozzles and rotation speed during injection. In the paper some results of the field tests of jet grouting columns are presented.

Keywords

Jet grouting system, single fluid system, double fluid system, parameters of jet grouting.

1 INTRODUCTION

One of the main problem of designing jet grouting foundations is determining the real dimension of jet grouting columns and a compressive strength of cement grout material [2, 3, 9]. Analytical models which are available in literature estimate the approximate diameter of columns. However, they require a large amount of additional information that is not always known. Currently, the best way of determining the diameter of jet grouting columns in known water–soil conditions is making test columns, then excavating and making an inventory. Some results of the tests carried out for jet grouting columns are described in [1]–[6] and [8]–[10]. This paper presents the study of the diameter of jet grouting columns and the compressive strength of cement grout material performed by research team of Department of Geotechnics and Roads of the Silesian University of Technology.

In situ tests were carried out in Bojszowy Nowy in the trial field provided by the company Przedsiębiorstwo PPI Chrobok S.A. 16 jet grouting columns were performed, using single and double jet grouting systems. Each column was 4.0 m long. Before forming columns, geological surveys were

¹ DSc., PhD., CEng., Assoc. Prof. Joanna Bzówka, Department of Geotechnics and Roads, Faculty of Civil Engineering, The Silesian University of Technology, Akademicka 5 St., 44-100 Gliwice, Poland, phone: (+48) 237 28 73, e-mail: joanna.bzowka@polsl.pl.

² MSc., CEng Anna Juzwa, Department of Geotechnics and Roads, Faculty of Civil Engineering, The Silesian University of Technology, Akademicka 5 St., 44-100 Gliwice, Poland, phone: (+48) 237 28 73, e-mail: anna.juzwa@polsl.pl.

³ MSc., CEng Konrad Wanik, Department of Geotechnics and Roads, Faculty of Civil Engineering, The Silesian University of Technology, Akademicka 5 St., 44-100 Gliwice, Poland, phone: (+48) 237 28 73, e-mail: konrad.wanik@polsl.pl.

⁴ MSc., CEng Lidia Wanik, Department of Geotechnics and Roads, Faculty of Civil Engineering, The Silesian University of Technology, Akademicka 5 St., 44-100 Gliwice, Poland, phone: (+48) 237 28 73, e-mail: lidia.wanik@polsl.pl.

⁵ MSc., CEng Tomasz Żyrek, Department of Geotechnics and Roads, Faculty of Civil Engineering, The Silesian University of Technology, Akademicka 5 St., 44-100 Gliwice, Poland, phone: (+48) 237 28 73, e-mail: lidia.wanik@polsl.pl.

carried out. 2 drilling holes of 10 m length and 4 CPTU tests of 10 m length were performed [7]. The geological profile consists of (Fig. 1):

- layer I – uncontrolled embankment consists clay and sand,
- layer IIa – fine and medium sand, $I_D = 0.44$; $\Phi=31.93^\circ$; $c=0$; $M_0=25.08$ MPa,
- layer IIb – fine and medium sand, $I_D = 0.78$; $\Phi=36.46^\circ$; $c=0$; $M_0=98.44$ MPa,
- layer IIc – clay with organic part, $I_C = 0.62$, $\Phi=18.96^\circ$, $c=9.20$ kPa; $M_0=7.76$ MPa.

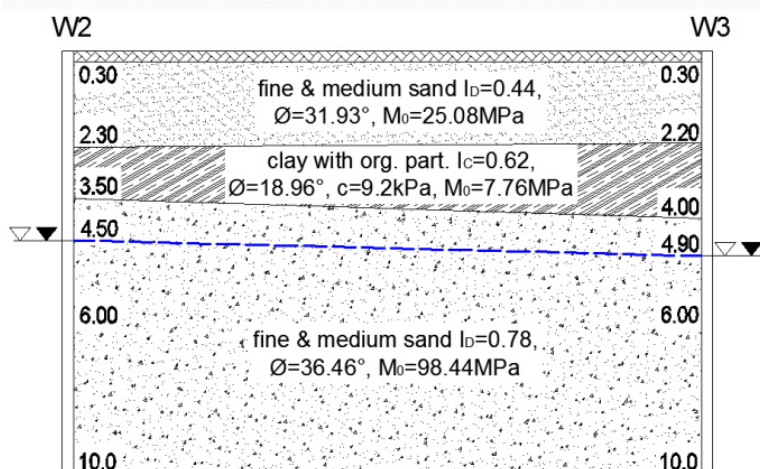


Fig.1: Geological profile [7]

The weakest part of the ground is layer IIc which has organic parts (muds and clay) from 2.2 to 4.0 m below the surface. Thickness of these deposits is around 1.2 m. The water is in sandy soil. The level of ground water table is from 4.5 to 4.9 below the surface.

2 IN SITU TESTS

At the trial field 8 single and 8 double jet grouting columns were performed. Following technological factors were taken into account: system of jet grouting, injection pressure, dimension of nozzles and rotation speed during injection. For the grout CEM II 32.5 was used ($w/c = 1.0$, density of cement grout 1.5 g/cm^3). Forming time for all columns was equal 120 s/m. The columns were formed using two different injection pressures: 18 or 36 MPa. Also two different nozzles diameters were used: 2.8 and 4.0 mm. Rotation speed of the monitor was equal 12 or 25 rot./min. Compressed air flow rate for double fluid system was equal $5 \text{ m}^3/\text{min}$. Spacing between single jet grouting columns was equal 2.0 m. Because of greater impact of cement grout with compressed air in soil, the spacing between double jet grouting columns was different: from 2.0 to 3.0 m.

Some months later, the jet grouting columns were excavated up to 2.5 m below the surface and measured (Fig. 2÷3).

Diameters of single jet grouting columns were at the range of 85÷115 cm and diameters of double jet grouting columns were at the range of 135÷190 cm. Making an inventory confirmed that using additional medium of compressed air causes creating bigger diameters of jet grouting columns.

a)



b)



Fig.2: Excavated jet grouting columns (own photos)

3 STRENGTH TESTS

At the beginning, samples of cement grout material from columns were taken during injection process. The samples had cubic shape with sides equal 15 cm (Fig. 4). Unconfined compressive strength tests were performed after 28 days of maturation in the laboratory of Faculty of Civil Engineering at the Silesian University of Technology.

The values of unconfined compressive strength for single jet grouting columns was at the range of 3.0÷7.0 MPa, and for double jet grouting columns at the range of 1.5÷3.0 MPa.

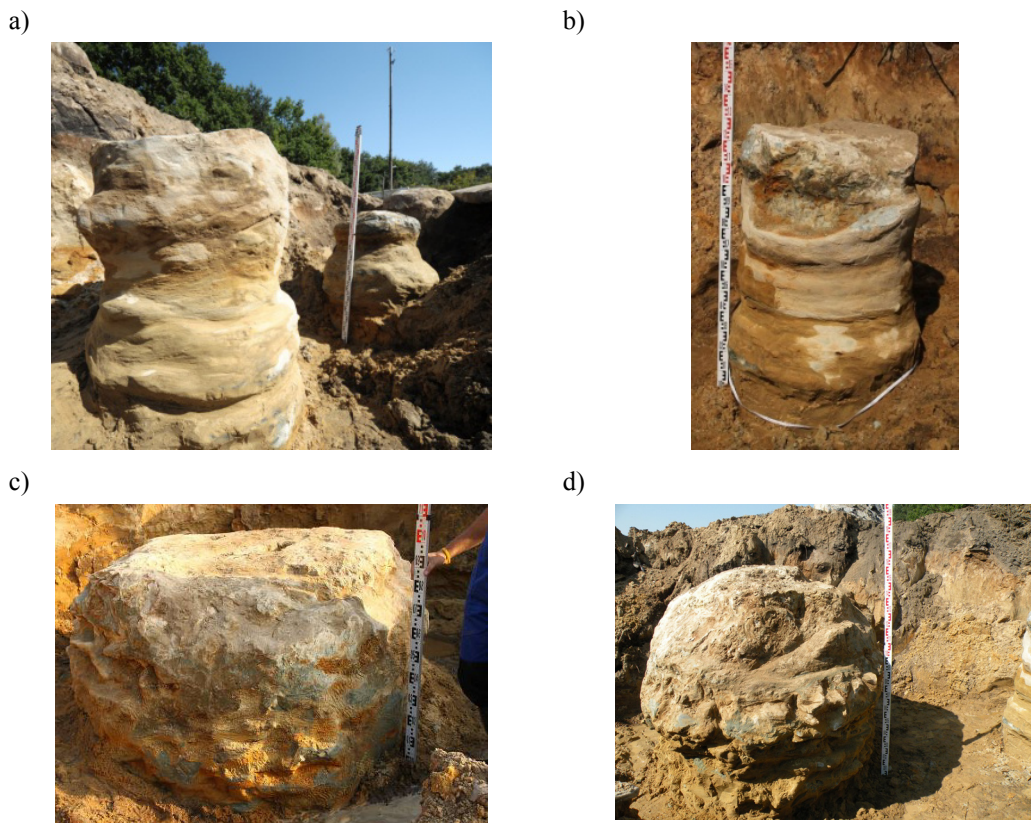


Fig.3: View of excavated jet grouting columns formed by:
a) & b) single fluid system; c) & d) double fluid system (own photos)



Fig.4: Samples of cement grout material taken from columns during injection process (own photo)

In order to determine the real unconfined compressive strength of cement grout materials core samples of jet grouting columns were drilled. Diamond coring system Hilti DD500 was used. Core drilling bit of 1500 mm length and 110 mm of diameter was used. As a result samples of 100 mm diameter from 4.0 m depth were taken (Fig. 5). Unconfined compressive strength tests were performed in the laboratory of Faculty of Civil Engineering at the Silesian University of Technology.

Cylindrical samples of cement grout material were prepared with following dimensions: 200 x 100 mm and 100 x 100 mm (Fig. 6).



Fig.5: Core samples taken from jet grouting columns (own photo)

Average value of unconfined compressive strength for single jet grouting columns was equal 9.5 MPa (from 4.0 to 35.0 MPa), while average value of unconfined compressive strength for double jet grouting columns was equal 2.0 MPa (from 1.0 to 4.5 MPa). It should be noted that in many cases the samples had damages, loss and flaking that had an effect on the lower value of unconfined compressive strength.

After studies, it was found that the greater impact on the value of the unconfined compressive strength of cement grout material have:

- type of injection,
- type of soil in which columns are formed,
- the amount of cement grout pumped which depends on injection pressure and nozzles diameter.

Research also shows that when the smaller value of rotation speed of the monitor and the larger columns diameters, the smaller value of unconfined compressive strength of cement grout material.

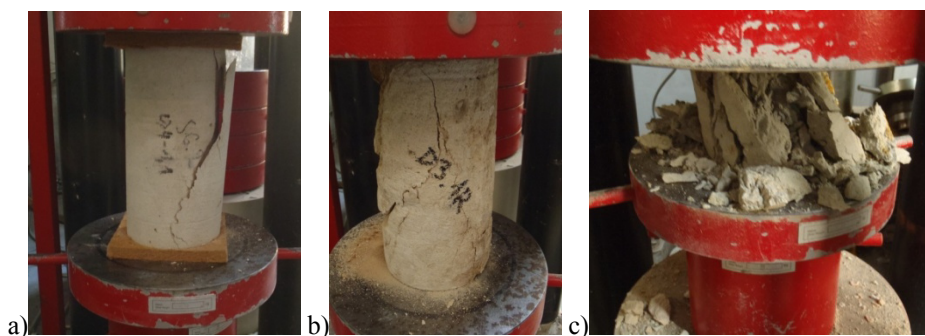


Fig.6: The unconfined compressive strength tests of cement grout material:

- a) sample of single jet grouting column,
- b) & c) samples of double jet grouting columns (own photos)

4 CONCLUSIONS

The scientific research confirms that greater diameter of jet grouting columns are provided by using double fluid jet grouting system. The higher value of unconfined compressive strength is obtained for single fluid jet grouting system.

ACKNOWLEDGEMENT

The co-authors: Anna Juzwa, Konrad Wanik, Lidia Wanik and Tomasz Żyrek – received a grant of the DoktorIS project – scholarship program for innovative Silesia region co-financed by the European Union of the European Social Fund.

REFERENCES

- [1] BZÓWKA J. *Interaction of jet grouting columns with subsoil*. Monograph ed. by The Silesian University of Technology, Gliwice 2009 (in Polish).
- [2] BZÓWKA J. & JUZWA A. & WANIK L. *Selected problems connected with the use of the jet grouting technique*. Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris 2013, pp. 2437-2440.
- [3] BZÓWKA J. & JUZWA A. & WANIK L. & ŻYREK T. *Innovative tests of jet grouting columns (Innowacyjne badania kolumn iniekcyjnych)*. Geoinżynieria drogi mosty tunele. 2014, No. 4, pp. 50-51 (in Polish).
- [4] BZÓWKA J. & WANIK L. & WANIK K. *Technological process of jet grouting technique*. Seminar on Reinforcement, Sealing and Anchoring of Rock Massif and Building Structures 2013, Ostrava 2013, pp. 100-105.
- [5] MODONI G. & BZÓWKA J. *Analysis of foundations reinforced with jet grouting*. ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. Vol. 138, No. 12, December 2012, pp. 1442-1454.
- [6] MODONI G. & WANIK L. & GIOVINCO G. & BZÓWKA J. & LEOPARDI A. *Numerical analysis of submerged flows for jet grouting*. Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Ground Improvement, paper 1400012; DOI: 10.1680/grim.14.00012; ISSN:1755-0750; E-ISSN: pp. 1755-0769.
- [7] P.P.B.&R.G. GEOSTANDARD Sp. z o.o. *Geotechnical documentation of recognizing soil–water conditions at the field test in Bojszowy Nowe (Dokumentacja geotechniczna określająca warunki gruntowo–wodne na polietku doświadczalnym w Bojszowach Nowych)*, Wrocław 2012 (in Polish).
- [8] WANIK K. *Selected design and technological conditions of jet grouting application*. Inżynieria i Budownictwo, No. 2, 2010, pp. 68-70 (in Polish).
- [9] WANIK L. & BZÓWKA J. *Influence of selected factors on jet grouting columns geometry*. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Budownictwo i Inżynieria Środowiska, z. 59 (3/12/IV), Rzeszów 2012, pp. 117-124 (in Polish).
- [10] WANIK L. & MODONI G. *Numerical analysis of the diffusion of submerged jets for jet grouting application*. IARG 2012 Incontro Annuale Ricercatori di Geotecnica, Padova (Italy), July 2012.

Reviewers:

Ing. Věra Glisníková, CSc., Institute of Geotechnics, Faculty of Civil Engineering, Brno University of Technology.

Prof. Ing. Jozef Hulla, DrSc., Department of Geotechnics, Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology in Bratislava.

Marek JAŠEK¹, Kateřina KUBENKOVÁ², Róbert RUDIŠIN³, Martin KAMENSKÝ⁴

**EKONOMICKÁ NÁROČNOST ZALOŽENÍ ZDĚNÉHO PASIVNÍHO DOMU
NA GRANULÁTU Z PĚNOVÉHO SKLA**

**THE ECONOMIC DEMANDS ON THE METHOD OF FOUNDING A PASSIVE BRICK HOUSE
ON FOAMED GLASS GRANULATE**

Abstrakt

Zkušenosti z výstavby pasivních domů ukazují, že náklady na pořízení pasivního domu jsou o trochu vyšší než u klasického domu. Správný návrh pasivního domu má spočívat nejen v tepelné ochraně a tepelné stabilitě stavby, ale musí také brát na zřetel cenovou náročnost jednotlivých navržených konstrukcí a řešení detailů [1, 2]. Příspěvek se zabývá finančním porovnáním tradičního varianty založení na základových pásech z prostého betonu a novodobé varianty založení pasivního rodinného domu postavený ze zděného konstrukčního systému [3] na základové železobetonové desce s hutněnou tepelně izolační vrstvou podzákladí ve formě granulátu z pěnového skla.

Klíčová slova

Pasivní dům, finanční porovnání, zakládání, granulát z pěnového skla.

Abstract

The cost of acquisition of a passive house is a little higher than that of a conventional house. Proper design of a passive house should include not only thermal protection and stability of the construction, but it must also take into account the price demands on each of the proposed structures and solution of details [1, 2]. The paper deals with the financial comparison of the traditional method of a foundation on the foundation strips of plain concrete and the modern method of founding a passive house as brick construction [3] on the reinforced concrete slab base with a compact subsoil layer of thermal insulation in the form of granules of foamed glass.

Keywords

Passive house, financial comparison, founding, granules of foamed glass.

1 ÚVOD

Finanční porovnání je provedeno na objektu rodinného domu s vnějšími rozměry 10,5 × 8,75 m (včetně zateplení) postaveného v pasivním standardu v Moravskoslezském kraji. Jedná se o dvoupodlažní rodinný dům s pultovou střechou o spádu 5°. Obvodové zdivo je navrženo

¹ Ing. Marek Jašek, Ph.D. Katedra pozemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 927, e-mail: marek.jasek@vsb.cz.

² Ing. Kateřina Kubenková. Katedra pozemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 912, e-mail: katerina.kubenkova@vsb.cz.

³ Ing. Robert Rudišin, PhD. Výskumné centrum Žilinskej univerzity v Žilíně, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, e-mail: robert.rudisin@rc.uniza.sk.

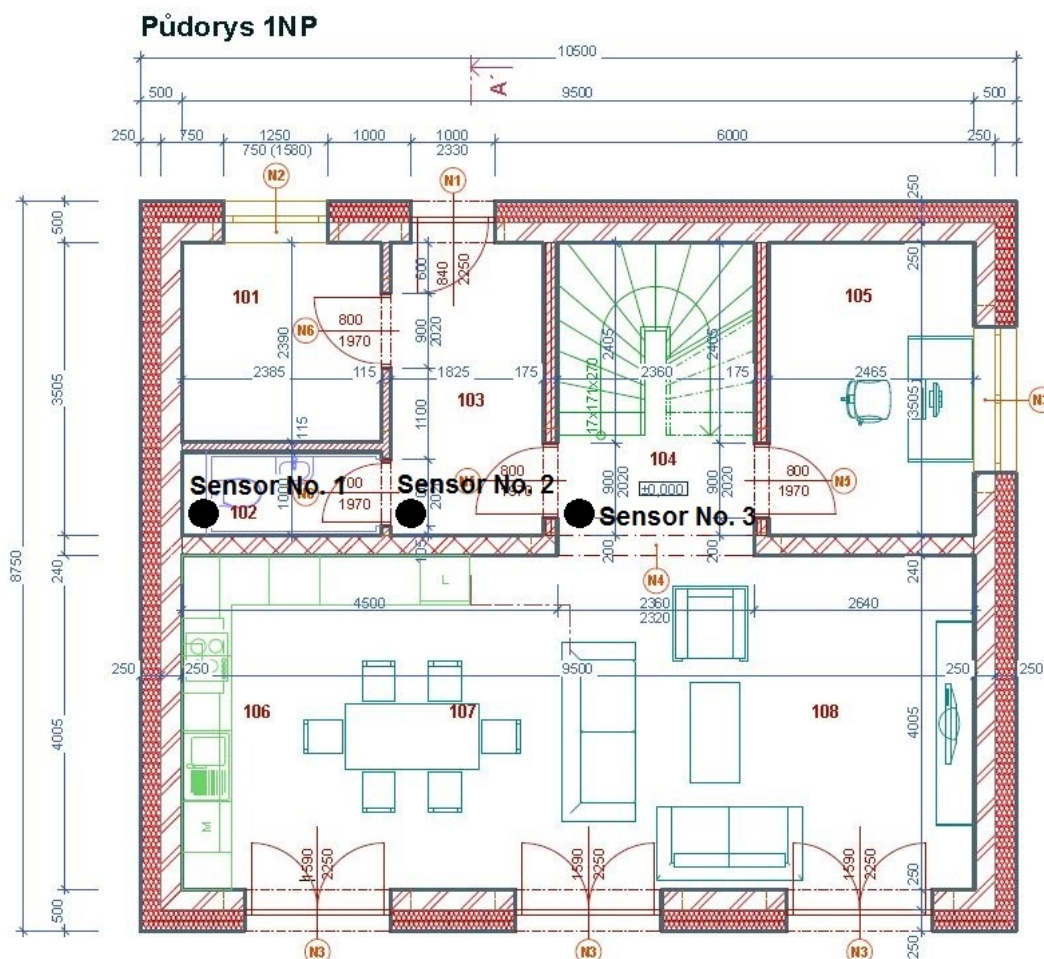
⁴ Ing. Martin Kamenský, PhD. Ústav pozemného staviteľstva, Technická univerzita v Košiciach, stavebná fakulta, Vysokoškolská 4, 042 00 Košice, e-mail: martin.kamensky@tuke.sk.

z keramických bloků o tloušťce 250 mm, vnitřní nosné zdivo tl. 240 mm. Obvodové zdivo je zatepleno tepelnou izolací ze šedého polystyrénu tl. 250 mm (součinitel prostupu tepla pro obvodové stěny $0,09 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$). Střešní plášť je zateplen tepelnou izolací z minerální vlny o tloušťce 400 mm (součinitel prostupu tepla střechy $0,10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$). Skladba podlahy P1 je uvedena na obr. 2 (součinitel prostupu tepla podlahy na terénu $0,12 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$). Okenní a balkonové otvory jsou plastové s izolačním trojsklem se součinitelem prostupu tepla okna $0,80 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Vstupní dveře také plastové se součinitelem prostupu tepla vstupních dveří $0,90 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ [4]. Vytápění objektu a primární ohřev teplé vody je navrženo pomocí tepelného čerpadla země-voda. Částečná potřeba elektrické energie pro ohřev teplé vody je zajištěna 8 kusy polykrystalických panelů o celkovém instalovaném výkonu 2 kWp [5]. Fotovoltaická elektrárna napájí fotovoltaický ohříváč pro kombinovaný ohřev vody pomocí AC a DC na střídavý a stejnosměrný proud [6]. Objekt je vytápěn teplovzdušnou rekuperační jednotkou [7, 8].



Obr. 1: Vizualizace objektu

Celková energeticky vztažná podlahová plocha je $183,75 \text{ m}^2$, celková podlahová plocha (z vnitřních rozměrů) $147,25 \text{ m}^2$. Celkový obestavěný objem vytápěných prostor je $662,42 \text{ m}^3$. Měrná roční potřeba tepla na vytápění pasivního domu EA vychází $14 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ [9, 10]. Pod touto budovou rodinného domu byly instalovány platinové snímače teploty zemního prostředí typu PT1000/tř. A, 4 vodič. Teplotní snímače zemního prostředí byly zabudovány ve 4 sondách v různých hloubkách a vzdálenostech od okraje železobetonové desky (jedna sonda byla umístěna mimo objekt, další tři sondy pak vně objektu viz obrázek 1). V rámci jedné sondy byly osazeny 4 teplotní snímače zemního prostředí: pod základovou železobetonovou deskou v hloubce 0,3 m pod upraveným terénem, pod vrstvou z pěnového skla v hloubce 0,7 m pod upraveným terénem, v hloubce 1,5 m pod upraveným terénem a v hloubce 3,0 m pod upraveným terénem viz obr. 2 [11]. Jeden teplotní snímač zemního prostředí byl osazen v místě soklu pro zdokumentování venkovní teploty a vlhkosti. Výstup kabelů teplotních snímačů zemního prostředí je situován v technické místnosti, kde jednotlivé snímače se připojí k měřicí ústředně MS6R. Výstavba objektu byla zahájena v červnu 2014, kolaudace proběhla koncem měsíce dubna 2015. Autoři projektu rodinného domu jsou autoři tohoto příspěvku.

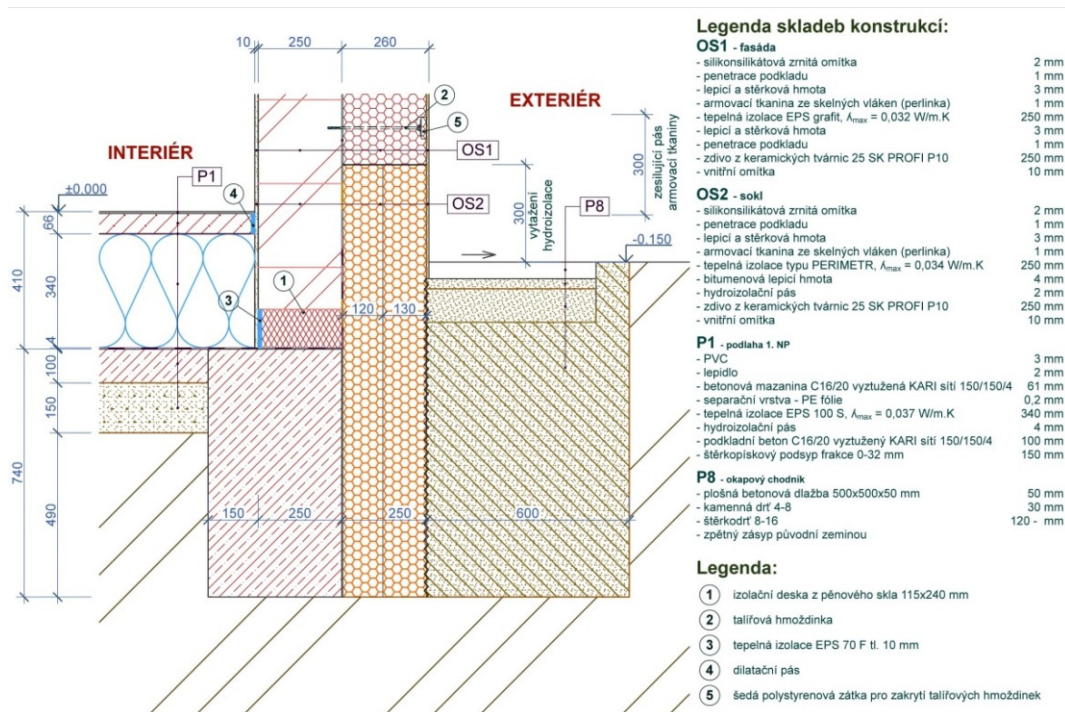


Obr. 2: Znáznornění umístění měřicích sond v půdorysu

Pro finanční zhodnocení jednotlivých variant založení objektu jsou použity směrné (orientační) ceny stavebních prací. Výpočet finančního hodnocení je zpracováno v softwaru BUILDpower S od firmy RTS, a.s., se sborníkem cen stavebních prací (datovou základnou) z prvního pololetí roku 2015 (RTS 15/1). Všechny ceny jsou uvedeny v korunách českých bez DPH. V ceně nejsou zahrnuty: NUS – náklady na umístění stavby, kompletační a inženýrská činnost a další doplňkové náklady [12].

2 ZALOŽENÍ RODINNÉHO DOMU NA ZÁKLADOVÝCH PÁSECH

Pro finanční porovnání byla navržena skladba založení objektu na základových pásech se stejným součinitelem prostupu tepla na terénu jako pro založení rodinného domu na základové desce. Z důvodu eliminace tepelného mostu v místě paty stěny je zdivo založeno na desce z pěnového skla o výšce 115 mm. Vnější základové pásy jsou založeny v nezámrzné hloubce a s rozšířením o velikosti 150 mm na vnitřní straně základu viz obr. 3. Vnitřní základový pás pod nosnou zdi má průřez $0,55 \times 0,6$ m. Z důvodu větší tloušťky podlahy se zvýšila konstrukční výška prvního nadzemního podlaží. Zvýšené množství materiálů oproti druhé variantě je započteno v položkách č. A13 až A20.



Obr. 3: Detail založení rodinného domu na základových pásech

V následné tabulce č. 1 jsou uvedeny ceny stavebních materiálů a prací pro založení rodinného domu na základových pásech.

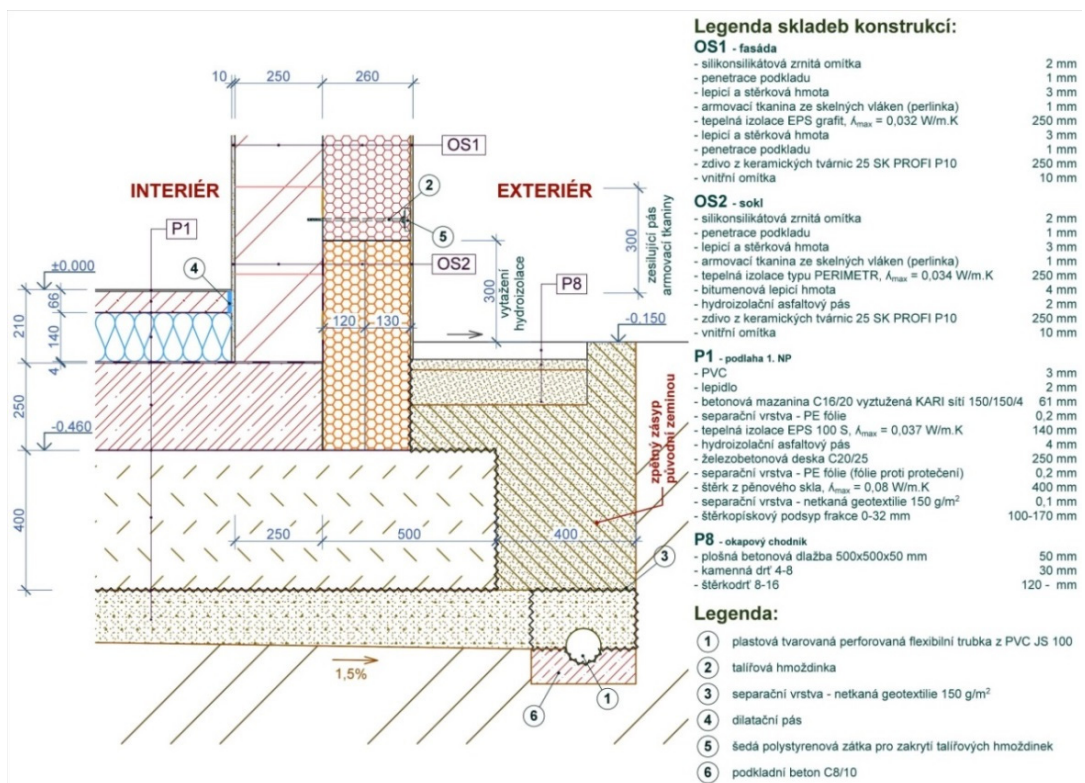
Tab. 1: Ceny stavebních materiálů a prací pro založení rodinného domu na základových pásech

Poř. č.	Popis	MJ	Množství	Cena/MJ Kč	Cena Kč
A1.	Sejmutí ornice	m ³	59,28	47,30	2804,30
A2.	Hloubení nezapažených jam	m ³	24,53	312,03	7656,64
A3.	Hloubení rýh do šířky 60 cm	m ³	2,98	428,68	1279,18
A4.	Hloubení rýh do šířky 200 cm	m ³	33,81	428,68	14496,19
A5.	Vodorovné přemístění výkopku do 1000 m	m ³	79,77	82,80	6604,99
A6.	Zásyp jam, rýh se zhutněním	m ³	30,73	92,90	2854,78
A7.	Štěrkokov frakce 0–32 mm	t	15,11	333,00	5034,06
A8.	Železobeton základových desek C 16/20	m ³	6,10	2315,00	14140,02
A9.	Výztuž základových desek ze svařovaných sítí	t	0,12	31690,00	3911,18
A10.	Beton základových pasů prostý C 16/20	m ³	14,80	2320,00	34350,85
A11.	Bednění stěn základových pasů – zřízení	m ²	45,55	388,50	17696,18
A12.	Bednění stěn základových pasů – odstranění	m ²	45,55	79,40	3616,67
A13.	Montáž geotextilie	m ²	36,57	15,90	581,54
A14.	Geotextilie 150 g·m ² š. 200 cm 100 % PP	m ²	39,50	16,10	635,97
A15.	Keramické tvárnice 17,5 Profí P10, tl. 175 mm	m ²	0,87	618,00	541,52
A16.	Keramické tvárnice 24 Profí P10, tl. 240 mm	m ²	0,89	672,11	599,86

A17.	Keramické tvárnice 25 SK Profi P10, tl. 250 mm	m ²	4,43	622,13	2760,70
A18.	Příčky 11,5 Profi, tl. 115 mm	m ²	0,73	479,00	353,50
A19.	Omítka vnitřní zdiva, MVC	m ²	18,60	193,00	3591,65
A20.	Zateplovací systém EPS grafit tl. 250 mm	m ²	1,54	1178,00	1814,12
A21.	Izolace tepelná podlah na sucho – montáž	m ²	70,02	39,40	2758,79
A22.	Deska EPS 100 S tl. 200 mm – dodávka	m ²	71,42	452,00	32282,02
A23.	Izolace tepelná lepením – montáž	m ²	39,66	94,30	3739,99
A24.	Deska EPS PERIMETR 120+130 mm – dodávka	m ²	27,48	725,00	19929,52
A25.	Deska sklo izolační pěnové 450×115×240 mm – dodávka	ks	87,00	483,50	42064,50
A26.	Deska sklo izolační pěnové 450×115×175 mm – dodávka	ks	17,00	415,00	7055,00
A27.	Deska sklo izolační pěnové 450×115×115 mm – dodávka	ks	15,00	317,00	4755,00
A28.	Přesun hmot	t	70,48	219,47	15470,88
Cena celkem bez DPH			zaokrouhleno na koruny		253601,39

3 ZALOŽENÍ RODINNÉHO DOMU NA ZÁKLADOVÉ DESCE

Pro založení objektu na základové desce s podsypem z granulátu pěnového skla o tloušťce 400 mm je nutné provést pod touto vrstvou drenážní vrstvu ze šterkopísku frakce 0–32 mm se spádem k drenážnímu potrubí. Při změně směru drenážního potrubí je nutno navrhnout drenážní šachtici.



Obr. 4: Detail založení rodinného domu na základové desce

Dle statického výpočtu je navržena železobetonová deska z betonu C25/30 vyztužená kari sítí 100/100/8 mm při dolním a horním povrchu. Vyztužení železobetonové desky vychází 100 kg/m³ betonu. Při návrhu bylo uvažováno s tepelnou izolací v podlaze z důvodu rozvodů vzduchotechnického vedení. Skladba podlahy včetně základních rozměrů je uvedena na obr. č. 4.



Obr. 5: Hutnění granulátu z pěnového skla

V následné tabulce č. 2 jsou uvedeny ceny stavebních materiálů a prací včetně množství pro založení rodinného domu na základové desce. V množství položky č. B6. je již uvažováno se zvětšeným objemem o 30 % spojeným s mezerovitostí materiálu a mírou jeho zpracování při hutnění.

Tab. 2: Ceny stavebních materiálů a prací pro založení rodinného domu na základové desce

Poř. č.	Popis	MJ	Množství	Cena/MJ Kč	Cena Kč
B1.	Sejmutí ornice	m ³	59,28	47,30	2804,30
B2.	Hloubení nezapažených jam	m ³	68,44	115,11	7878,19
B3.	Vodorovné přemístění výkopku do 1000 m	m ³	96,31	82,80	7974,64
B4.	Zásyp jam, rýh se zhutněním	m ³	75,09	92,90	6976,30
B5.	Štěrkopisek frakce 0–32 mm	t	33,26	333,00	11077,08
B6.	Granulát z pěnového skla izolační, zrnitost 30–60 mm	m ³	52,91	1612,00	85290,92
B7.	Železobeton základových desek C 25/30	m ³	23,12	2501,93	57857,13
B8.	Bednění stěn základových desek – zřízení	m ²	11,55	525,00	6063,75
B9.	Bednění stěn základových desek – odstranění	m ²	11,55	79,40	917,07
B10.	Výztuž základových desek	t	2,31	28660,00	66276,25
B11.	Montáž geotextilie	m ²	210,84	15,90	3352,36
B12.	Geotextilie 150 g·m ² š. 200 cm 100 % PP	m ²	227,70	16,10	3666,09
B13.	Lože drenáže z betonu prostého	m ³	1,27	2265,00	2887,88

B14.	Drenáž z drenážních trubek DN 10 cm bez lože, PVC	m	50,00	40,10	2005,00
B15.	Drenážní šachtice normální z PE	ks	4,00	2410,00	9640,00
B16.	Osazování poklopů	kg	8,00	49,60	396,80
B17.	Poklop do šachtové roury 315 mm/1,5 t PP	ks	4,00	380,50	1522,00
B18.	Položení izolační fólie, včetně dodávky fólie PE	m ²	91,87	30,20	2774,63
B19.	Přesun hmot	t	104,58	219,50	22956,28
Cena celkem bez DPH			zaokrouhлено na koruny		302316,67

4 ZÁVĚR

Při konečném finančním zhodnocení obou variant vychází jako levnější varianta založení na základových pásech s cenou 253601 Kč bez DPH, přičemž jen tepelná izolace ve formě desky z pěnového skla použité v patě stěny pro přerušení tepelného toku do základové konstrukce vychází na cca 54000 Kč bez DPH. Varianta založení objektu na základové desce s podsypem z granulátu z pěnového skla činí 302316 Kč bez DPH, což je o 20 % více než první varianta. Cena granulátu z pěnového skla vychází cca 85000 Kč bez DPH, přičemž jen samotná doprava materiálu (výrobná se nachází v severních Čechách) odpovídá šestině této částky (v současné době se již staví nová výrobná na střední Moravě, čímž se tato částka znatelně sníží).

Z hlediska celkové ceny rodinného domu (3,0 miliónů Kč bez DPH) vychází druhá varianta jen o 1,6 % vyšší než u první varianty. Varianta založení objektu pasivního standardu ale skrývá pozitiva v pohledu eliminace tepelných mostů (navázání nepřerušené tepelně izolační obálky objektu bez tepelných mostů), dále z hlediska časového (úspora času při realizaci spodní stavby) a technologického (pracnost). Další možnou variantou je vypuštění vrstvy podlahového polystyrénu (tepelnou pohodu bude zajišťovat jen vrstva z granulátu z pěnového skla), čímž se ušetří náklady a zvýší se akumulací schopnost rodinného domu.

Pro založení stavby byla zrealizována varianta č. 2 a v následujícím období bude prováděn výzkum průběhu teplotního pole pomocí teplotních čidel v zemině pod podlahou a porovnání s teoretickými výpočty.

LITERATURA

- [1] ŠTEFFEK, Lukáš, Petr JELÍNEK, Jiří KALÁNEK and Milan OSTRÝ. The Impact of the Choice of Computational Methods on the Results of Simulations of Specific Heat Consumption for Heating a Family House. In *International Conference on Buildings and Environment, EnviBUILD 2013*, Bratislava, Slovakia, 17. 10. 2013. Advanced Materials Research, Vol. 899, 2014, pp. 161-165. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.899.161
- [2] INGELI, Rastislav, Boris VAVROVIČ and Miroslav ČEKON. Thermal Bridges Minimizing through Typical Details in Low Energy Designing. In *International Conference on Buildings and Environment, EnviBUILD 2013*, Bratislava, Slovakia, 17. 10. 2013. Advanced Materials Research, Vol. 899, 2014, pp. 62-65. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.899.62
- [3] BAĐUROVÁ, Silvia and Radoslav PONECHAL. The comparative analysis of external walls in a passive house with respect to environment and energy. In *International Conference on Buildings and Environment, EnviBUILD 2012*, Brno, Czech Republic, 25. - 26. 10. 2012. Advanced Materials Research, Vol. 649, 2013, pp. 258-261.
- [4] ORAVEC Pavel. Windows in Buildings - Diagnostics of Selected Properties after Time of Using. In *International Conference on Buildings and Environment, EnviBUILD 2013*, Bratislava, Slovakia, 17. 10. 2013. Advanced Materials Research, Vol. 899, 2014, pp. 184-187. DOI: 10.4028/www.scientific.net.

- [5] Labudek Jiří and Pavel ORAVEC. *Energy Solar Wall in Low-Energy Apartment House*. In *International Conference on Buildings and Environment, EnviBUILD 2012*, Brno, Czech Republic, 25. - 26. 10. 2012. Advanced Materials Research, Vol. 649, 2013, pp. 155-158. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.649.155.
- [6] CHUCHMA, Lukáš and Miloš KALOUSEK. Electricity Storage in Passive House in Central Europe Region. In *International Conference on Buildings and Environment, EnviBUILD 2013*, Bratislava, Slovakia, 17. 10. 2013. Advanced Materials Research, Vol. 899, 2014, pp. 213-217. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.899.213.
- [7] HORÁK, Petr, Adam PAVEL and Iva AMBROŽOVÁ. A New Type of Heat Exchanger for Ventilation in Buildings with Nearly-Zero Energy Consumption. In *International Conference on Buildings and Environment, EnviBUILD 2013*, Bratislava, Slovakia, 17. 10. 2013. Advanced Materials Research, Vol. 899, 2014, pp. 231-234. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.899.231.
- [8] ŠEVČÍKOVÁ, Hana, Eva RYKALOVÁ and Radek FABIAN. Comparison of the Impact of the Ventilation Ducts on Thermal Properties of the Exterior Walls. In *International Conference on Buildings and Environment, EnviBUILD 2013*, Bratislava, Slovakia, 17. 10. 2013. Advanced Materials Research, Vol. 899, 2014, pp. 241-244. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.899.241.
- [9] KRAUS, Michal, Markéta ČERNÁ, Barbora HRUBÁ, Barbora SOUČKOVÁ and Darja KUBEČKOVÁ. Influence of Building Materials on Building Airtightness. In *2nd International Conference on Advanced Materials Design and Mechanics (ICAMDM2013)*, 17. - 18. 5. 2013, Kuala Lumpur, Malaysia. Applied Mechanics and Materials, Vol. 372, 2013, pp. 195-198. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.372.195
- [10] KUBENKOVÁ, Kateřina and Marek JAŠEK. The Issue of Including the Influence of Thermal Bonds in the Passive House. In *International Conference on Buildings and Environment, EnviBUILD 2014*, Brno, Czech Republic, 18. - 19. 9. 2014. Advanced Materials Research, Vol. 1041, 2014, p. 121-124. ISSN: 1022-6680. ISBN: 978-3-03835-280-8. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1041.121
- [11] KUBENKOVÁ, Kateřina, Marek JAŠEK and Vladan PANOVEC. Research of the Temperature Field Process in the Soil for a Home - Founded on a Foam Glass Granulate. In *International Conference on Buildings and Environment, EnviBUILD 2014*, Brno, Czech Republic, 18. - 19. 9. 2014. Advanced Materials Research, Vol. 1041, 2014, p. 257-260. ISSN: 1022- 6680. ISBN: 978-3-03835-280-8. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1041.257
- [12] JAŠEK, Marek. Finanční porovnání tradiční a novodobé metody pro zesilování zděných sloupů. Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada stavební, řada stavební, 2012, roč. 12, č. 1, s. 81-86. ISSN 1213-1962.

Oponentní posudek vypracoval:

Prof. Ing. Josef Chybík, CSc., Ústav stavitelství, Fakulta architektury, VUT v Brně.

Doc. Ing. Leonora Marková, Ph.D., Ústav stavební ekonomiky a řízení, Fakulta stavební, VUT v Brně.

Peter KOTEK¹, Matúš KOVÁČ²

**VPLYV TEXTÚRY POVRCHU VOZOVKY A TYPU MERACEJ PNEUMATIKY
NA HODNOTY SÚČINITEĽA TRENIA**

**THE INFLUENCE OF PAVEMENT SURFACE TEXTURE AND TYPE OF MEASURING TYRE
ON VALUES OF FRICTION COEFFICIENT**

Abstrakt

Príspevok sa venuje meraniu geometrických ako aj fyzikálnych charakteristík popisujúcich aktuálny stav drsnosti daného povrchu vozovky. Merania boli realizované na vybraných úsekoch cestnej siete s rozdielnym asfaltovým povrchom s cieľom o čo najväčšie možné zastúpenie používaných zmesí na Slovensku. Boli vykonané merania makrotextúry, mikrotextúry, ako aj samotné meranie súčiniteľa trenia. Merania súčiniteľa trenia boli realizované zariadením TWO (Traction Watcher One), ktoré je vo vlastníctve centra excelentnosti Žilinskej univerzity.

Kľúčové slová

Povrch vozovky, Makrotextúra, Mikrotextúra, Meracie zariadenie, Pneumatika.

Abstract

The article deals with the measurement of geometric and physical characteristics, which are used for describing of the current skid resistance value of the road pavement surface. The measurements were performed on selected road sections with different asphalt surface in order to examine the widest possible representation of asphalt mixtures used in Slovakia. There were performed measurements of macrotexture, microtexture and measurements of longitudinal friction coefficient. The measurements of friction coefficient were performed by means of device TWO (Traction Watcher One), which is the property of Centre of Excellence, University of Žilina.

Keywords

Pavement surface, Macrotexture, Microtexture, Measuring Equipment, Tyre.

1 ÚVOD

Drsnosť povrchov ciest je veľmi dôležitý parameter, ktorý je však veľmi ťažké správne merať a jeho kvantifikáciu následne objektívne vyhodnocovať. Bolo vyvinutých množstvo zariadení, ktoré ho určitým spôsobom popisujú. Niektorými zo zariadení, ktoré poskytujú informácie o trení medzi kolesom a vozovkou, sú kontinuálne pracujúce zariadenia na meranie súčiniteľa trenia. Tieto zariadenia sú však citlivé na určité špecifické podmienky, ktoré je príliš komplikované kontrolovať. Nie je prekvapujúce, že rozdiely medzi dvoma po sebe idúcimi meraniami pri použití rovnakého zariadenia môžu dosahovať až 5%. Pričom výsledky meraní viacerých zariadení na tom istom povrchu sa potom môžu značne líšiť. Preto sa už dlhodobo skúma spôsob merania súčiniteľa trenia viacerými rozdielnymi zariadeniami a stanovenie prevodových vzťahov medzi nimi s víziou

¹ Ing. Peter Koteck, Katedra cestného staviteľstva, Stavebná fakulta, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, tel.: +421 41 / 513 5930, e-mail: peter.kotek@fstav.uniza.sk.

² Doc. Ing. Matúš Kováč, PhD., Katedra cestného staviteľstva, Stavebná fakulta, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, tel.: +421 41 / 513 5910, e-mail: matus.kovac@fstav.uniza.sk.

zjednotenia výsledkov diagnostiky. Výsledky zo zariadení sú hlavne ovplyvnené rýchlosťou meracieho zariadenia, ako aj typom použitého kolesa, jeho zaťažením, dezénom a hustením. Ďalšie faktory, ktoré ovplyvňujú výsledky merania sú hrúbka vodného filmu, teplota povrchu vozovky a aktuálne kalibračné nastavenie zariadenia. Na veľkosť nameranej hodnoty súčiniteľa trenia by však mala mať najväčší a zásadný vplyv v prvom rade textúra daného povrchu vozovky. Ďalším dôležitým faktorom ovplyvňujúcim spolupôsobenie medzi kolesom a vozovkou je typ použitej pneumatiky. Z tohto dôvodu sa článok zameriava práve na tieto dva zásadné parametre.

2 SÚČINITEĽ TRENIA

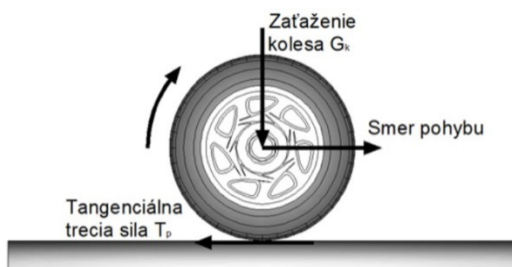
Drsnosť povrchu vozovky sa často vyjadruje použitím bezrozmerného súčiniteľa šmykového trenia, ktorý je definovaný ako pomer tangenciálnej trecej sily a normálovej sily medzi gumeným behúňom pneumatiky a povrchom vozovky [1]. Dá sa stanoviť pomocou rovnice.

$$f = T_p / G_k \quad [-].$$

kde: T_p – tangenciálna reakcia na povrchu vozovky na kontakte s pneumatikou [N],

G_k – zaťaženie kolesa [N].

Sily pôsobiace na rotujúce koleso sú znázornené na obr. 1.

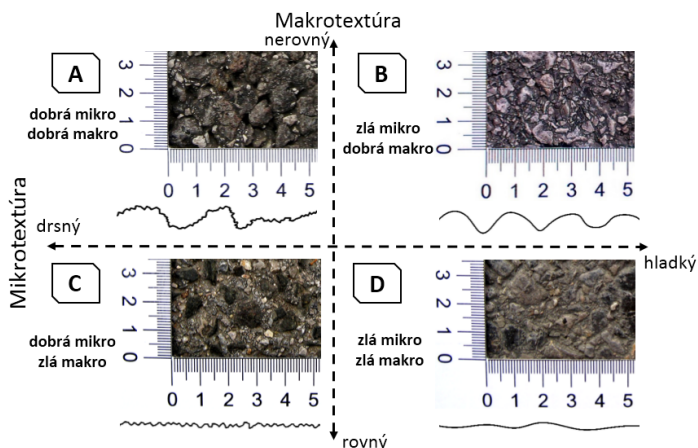


Obr. 1: Sily pôsobiace na rotujúce koleso

Na veľkosť súčiniteľa trenia má podstatný vplyv textúra povrchu, vyjadrená jeho mikrotextúrou a makrotextúrou. Obecne môže byť povrch vozovky podľa hodnôt mikro a makrotextúry rozdelený do štyroch kategórií:

- A. *Nerovný a drsný*, t. j. povrch má dobrú mikrotextúru aj makrotextúru;
- B. *Nerovný a vyhladený*, t. j. povrch má dobrú makrotextúru ale zlú mikrotextúru;
- C. *Rovný a drsný*, t. j. povrch má dobrú mikrotextúru ale zlú makrotextúru;
- D. *Rovný a vyhladený*, t. j. povrch má zlú mikro aj makrotextúru.

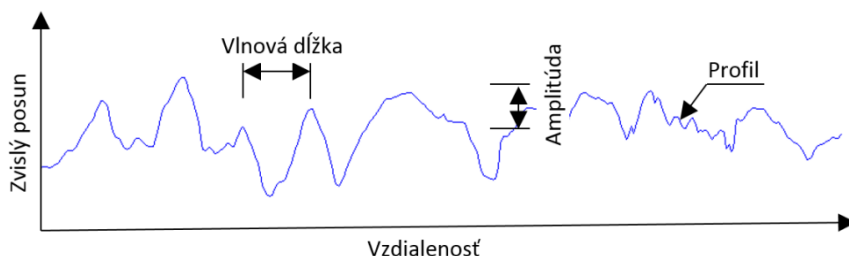
Znázornenie týchto kategórií s príkladmi konkrétnych povrchov je možné vidieť na obr. 2.



Obr. 2: Príklad povrchov vozoviek s rôznymi hodnotami mikro a makrotextúry

3 PARAMETRE OVPLYVŇUJÚCE HODNOTY SÚČiniteĽA TREŇIA

Textúra je definovaná morfológickým usporiadaním výstupkov materiálu tvoriaceho povrch vozovky. Vytvára ju kompletný materiál, ktorý sa nachádza pevne uchytený na povrchu vozovky. Tvorí základný prvok spolupôsobenia pneumatiky vozidla s vozovkou. Podľa rozsahov vlnových dĺžok a amplitúd jednotlivých výstupkov povrchu sa textúra rozdeľuje na mikro-, makro- a megatextúru. Ako vidieť z obr. 3., profil povrchu je vyjadrený pomocou dvoch súradníc, pričom jedna je pozdĺž roviny povrchu a nazýva sa vzdialenosť, druhá je kolmá na rovinu povrchu a nazýva sa zvislý posun, ktorý môže byť charakterizovaný amplitúdou resp. priemernou hĺbkou textúry. Vzdialenosť môže byť meraná v pozdĺžnom smere, t. j. v smere jazdy vozidiel, alebo v priečnom, t. j. kolmom na smer jazdy vozidiel. Nakoľko tvar profilu povrchu vozovky pripomína priebeh náhodného stacionárneho signálu, je možné na jeho popis použiť veličiny ako sú „vlnová dĺžka textúry (λ)“ s jednotkou (m), alebo jej inverzná hodnota, ktorá sa nazýva „priestorová frekvencia (f_{sp})“ s jednotkou (m^{-1}) [1].



Obr. 3: Zobrazenie základných charakteristík textúry vozovky

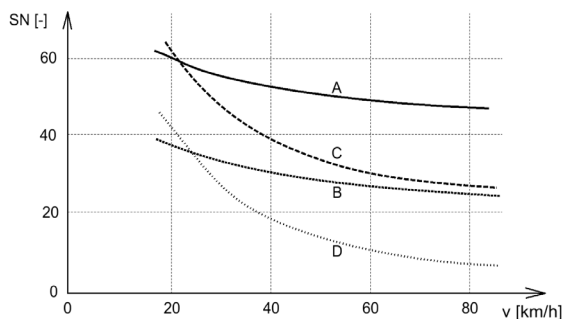
3.1 Mikrotextúra

Mikrotextúra je vyjadrená drobnými výstupkami na zrnách kameniva a hovorí o tom, ako sú zrná hladké alebo drsné a zásadne prispieva k treniu medzi pneumatikou a povrchom vozovky. Je charakterizovaná rozsahom vlnovej dĺžky 0,001 až 0,5 mm a amplitúdy 0,001 po 0,5 mm [2]. Svojim rozsahom vytvára dojem viac alebo menej drsného povrchu, ale je obvykle príliš jemná na to, aby ju bolo možné vizuálne zaznamenať. Mikrotextúra povrchu kameniva zabezpečuje základnú úroveň trenia. Jej význam taktiež spočíva v prerušení súvislého vodného filmu a vo vytvorení bezprostredného kontaktu pneumatiky vozidla s povrchom vozovky [2].

3.2 Makrotextúra

Makrotextúra zabezpečuje základnú drenážnu schopnosť povrchu vozovky. Vyjadruje súhrn výstupkov na povrchu vozovky a opisuje, ako sú jednotlivé zrná kameniva usporiadané na povrchu vozovky. Je charakterizovaná rozsahom vlnovej dĺžky 0,5 až 50 mm a amplitúdy s rozsahom 0,1 až 20 mm [2]. Je dôležitá na rýchle odvedenie vody z povrchu vozovky. Hlavnou príčinou je, že voda pôsobí ako lubrikant, čo sa výrazne prejavuje na vzájomnom trení medzi pneumatikou a vozovkou. Makrotextúra zohráva podstatnú úlohu pri vyšších rýchlostiach jazdy vozidiel nad 40 km/h [7, 8, 9].

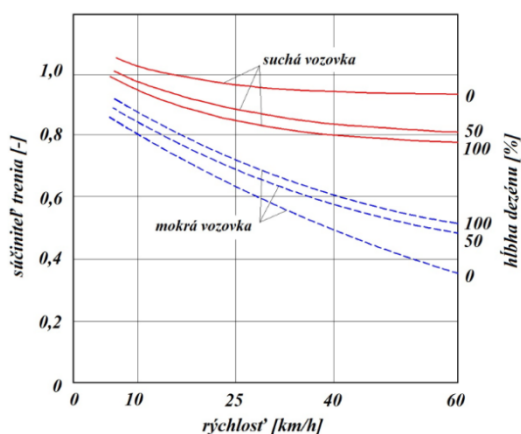
Ako textúra (mikro aj makro) ovplyvňuje protišmykové vlastnosti vlhkej vozovky pri rôznych rýchlostiach je naznačené na Obr. 4. Protišmykové vlastnosti vozovky sú tu vyjadrené pomocou koeficientu *SN* (*Skid Number*) - súčiniteľa trenia, ktorý je definovaný podľa [3], ako podiel sily potrebnej na pošmyknutie zablokovaného skúšobného kolesa na vlhkej vozovke vynásobenej 100 a efektívneho zaťaženia tohto kolesa, pri meraní rýchlosťou 40 km/h. Z obrázku je zrejmé, že pri nižších rýchlostiach má rozhodujúci vplyv mikrotextúra povrchu vozovky. Ďalej je zrejmé, že s nárastom rýchlosti sa odolnosť proti šmyku znižuje, ale tento pokles nie je taký výrazný kým má makrotextúra dostatočné hodnoty. Vyhovujúca mikrotextúra je vždy potrebná na zabezpečenie vysokých hodnôt trenia.



Obr. 4: Protišmykové vlastnosti charakterizované koeficientom SN ako funkcia rýchlosti pre rôzne typy vozovky (A. dobrá mikro aj makro, B. zlá mikro, dobrá makro, C. dobrá mikro, zlá makro, D. zlá mikro aj makrotextúra) [4]

3.3 Pneumatika

Pneumatiky vozidla tvoria spojovací článok medzi vozovkou a vozidlom. Prostredníctvom kolies sa na povrch vozovky prenáša hmotnosť vozidla, brzdné a hnacie momenty a bočné sily. Dôležitou požiadavkou kladenou na pneumatiky je dosahovanie optimálnych stykových síl medzi gumovou zložkou kolesa a povrchom vozovky. To sa dosahuje vhodne navrhnutým dezénom. Dezén pneumatiky sa spravidla používa na odvedenie vody z kontaktnej plochy pneumatiky. Dôležitý je predovšetkým na mokrých povrchoch vozoviek s uzavretou textúrou. Dezén pneumatiky má napomáhať rýchlemu odvedeniu vody z kontaktnej plochy s povrchom vozovky. Pneumatiky s vyhovujúcim dezénom majú až o 50 % vyšší súčiniteľ trenia ako hladké pneumatiky. Čím väčší je objem drážok, tým viac vody môže pneumatika za kratší čas odvieť zo stykovej plochy. Pri opotrebovaných pneumatikách dochádza na mokrej i suchej vozovke k výraznejším zníženiam súčiniteľa trenia a tieto hodnoty sa znižujú s narastajúcou rýchlosťou (obr. 5).



Obr. 5: Závislosť súčiniteľa trenia od rýchlosti a opotrebovania pneumatík [5]

4 MERACIE ZARIADENIE TWO (Traction Watcher One)

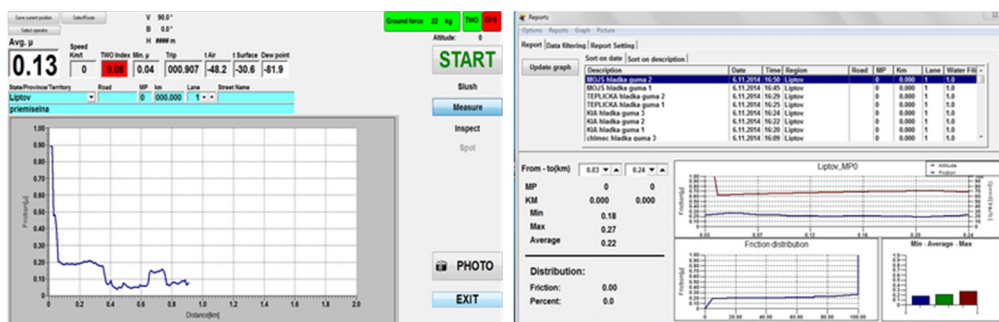
TWO je merací prístroj (obr. 6) vyvinutý nórskou firmou Pon-CAT, ktorý sa bežne používa v severských krajinách na merania protišmykových vlastností na cestách a letiskách s možnosťou použitia aj na zľadovatených povrchoch. Zariadenie je namontované priamo na vozidlo pomocou upevňovacieho nosníka. Samotný nosník je nasadený na ťažné zariadenie a následne uchytený o karosériu automobilu. Zariadenie pozostáva z radu dvoch kolies, referenčného a meracieho kolesa, navzájom spojených reťazovým prevodom. Počas prepravy sú kolesá zdvihnuté smerom hore, bez nutnosti zastavovania sa pri začatí merania automaticky spustia smerom k povrchu vozovky. Meracie koleso je počas merania brzdené fixným sklzom 17,8 %. Priamym výstupom zo zariadenia je

súčiniteľ pozdĺžneho trenia, ktorý je možné získavať pri rýchlostiach od 2 do 110 km/h, so zaťažením meracieho kolesa 60 kg. Merania je možné vykonávať aj na suchých, aj na mokrých povrchoch. Pri meraní namokro je možné pred druhé koleso prostredníctvom vodného čerpadla nanášať vodný film premenlivej hrúbky od 0,1 do 1 mm [6].



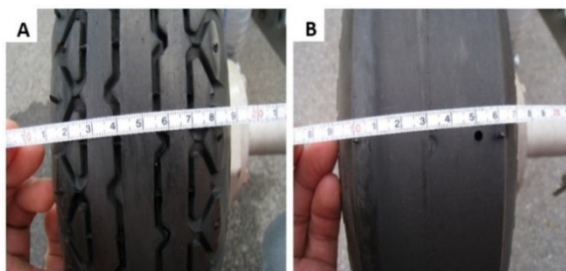
Obr. 6: Zariadenie TWO spolu s meracím vozidlom

Celý proces zaznamenávania a samotného merania je riadený prostredníctvom dodávaného softvéru TWO nainštalovaného na notebooku vo vozidle. Veľkou výhodou tohto zariadenia je, že je možné sledovanie nameraných hodnôt v reálnom čase na monitore a po skončení merania umožňuje okamžitý report hodnôt súčiniteľa trenia na celom úseku (obr. 7). Hodnoty súčiniteľa trenia dokáže zaznamenávať v závislosti od softvéru už s krokom od 0,5 m. Zariadenie je ďalej doplnené ďalšími senzormi, ktoré zaznamenávajú teplotu povrchu, teplotu vzduchu, vlhkosť vzduchu, ako aj polohu pomocou GPS. Počas merania umožňuje softvérové prostredie detekciu optimálnych, výstražných a varovných hodnôt graficky a aj zvukovým signálom v závislosti na ich nastavení.



Obr. 7: Softvér TWO meranie, report nameraných hodnôt

Meranie samotného súčiniteľa trenia bolo realizované dvoma typmi pneumatík, ako je znázornené na obr. 8. Pneumatikou s dezénom typu Trelleborg T49 s priemerom 420 mm, ktorá patrí medzi štandard pri meraní trenia v Európe a s hladkou pneumatikou typu ASTM E-1551 s priemerom 410 mm podľa štandardov ASTM E1844-96 (Standard Specification for A Size 10 x 4-5 Smooth-Tread Friction Test Tire). Všetky vykonané merania boli realizované z dôvodu zachovania bezpečnosti a dodržiavania predpisov cestnej premávky pri rýchlosti 60 km/h.



Obr. 8: Použité pneumatiky A) Trelleborg T49, B) ASTM TESTER TIRE E-1551

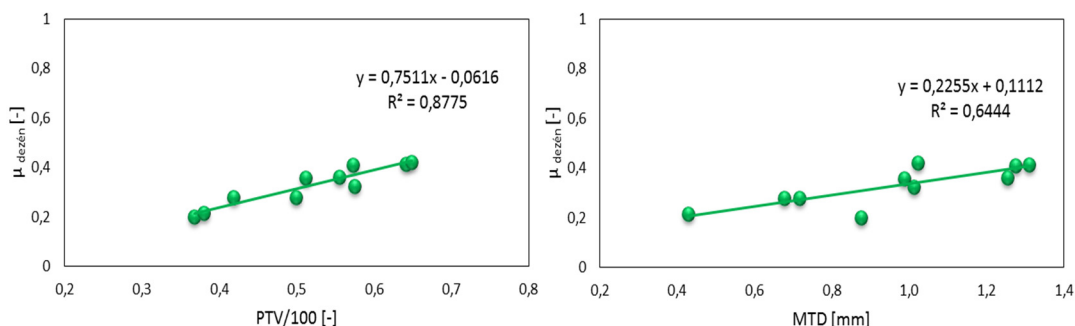
5 ANALÝZA VÝSLEDKOV

Merania boli realizované na desiatich rozdielnych vozovkách, s cieľom o čo najväčšie možné zachytenie používaných asfaltových povrchov na slovenskej cestnej sieti. Tieto povrchy sa od seba líšili zložením asfaltovej zmesi (druhom a množstvom spojiva, druhom kameniva, čiarou zrnitosti), vekom a intenzitou dopravy.

Hodnoty priemernej hĺbky makrotextúry boli na všetkých úsekoch vyjadrené parametrom *MTD* (Mean Texture Dept), ktorý je hodnotiacim výstupom odmernej metódy (STN EN 13036-1). Hodnoty priemernej hĺbky textúry sa pohybovali v rozmedzí od 0,43 mm (zlá makrotextúra) do 1,31 mm (dobrá makrotextúra). Na zachytenie stavu mikrotextúry na povrchu kameniva bol na jednotlivých úsekoch použitý British Pendulum Tester, ktorým sa hodnoty mikrotextúry kameniva získali na základe straty energie gumovej pätky po prejení po stanovenej dĺžke na povrchu vozovky (STN EN 13036-4). Hodnoty mikrotextúry sú vyjadrené bezrozmerným parametrom *PTV*, pričom sa na jednotlivých úsekoch pohybovali v rozmedzí od 37 (zlá mikrotextúra) do 65 jednotiek (dobrá mikrotextúra).

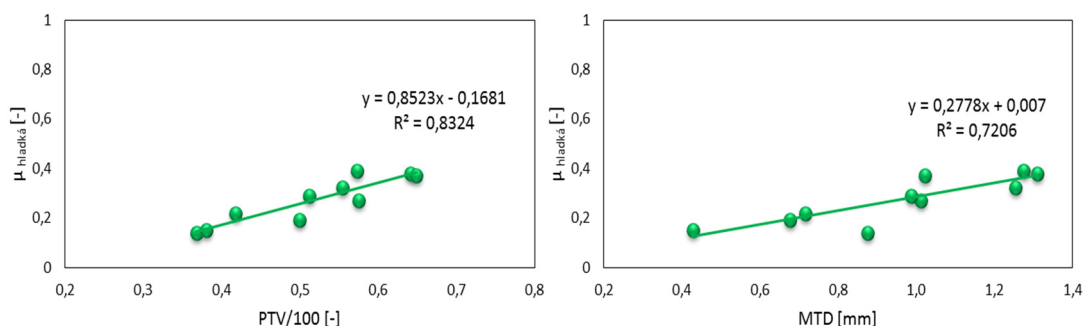
Z dosiahnutých výsledkov merania je možné stanoviť vplyv jednotlivých zložiek textúry na namerané hodnoty súčiniteľa, ktorý bol meraný zariadením TWO s rozdielnymi typmi pneumatík. Stanovený súčiniteľ trenia špecifikuje protišmykové vlastnosti daného povrchu.

Porovnaním súčiniteľa trenia (obr. 9) nameraného pneumatikou s dezénom s hodnotami textúry je vidieť, že hodnoty súčiniteľa trenia sú viac ovplyvnené hodnotami mikrotextúry kameniva (*PTV*) ako hodnotami makrotextúry (*MTD*). O tomto tvrdení hovorí dosiahnutý koeficient determinácie $R^2 = 0,877$ medzi $\mu_{\text{dezén}}$ a *PTV* pri porovnaní s koeficientom determinácie $R^2 = 0,644$ medzi $\mu_{\text{dezén}}$ a *MTD*. Jeho hodnota udáva, v akom rozsahu určuje variabilita jednej premennej variabilitu druhej premennej.



Obr. 9: Porovnanie súčiniteľa trenia meraného dezénovou pneumatikou s hodnotou mikrotextúry *PTV* a s hodnotou makrotextúry *MTD*

Komparáciou súčiniteľa trenia nameraného hladkou pneumatikou s hodnotami textúry (obr. 10) je vidieť, že hodnoty súčiniteľa trenia sú viac ovplyvnené hodnotami makrotextúry (*MTD*) ako to bolo v prípade merania s pneumatikou s dezénom. O tomto tvrdení hovorí dosiahnutý koeficient determinácie $R^2 = 0,721$ medzi $\mu_{\text{hladká}}$ a *MTD*, pričom však táto hodnota je stále nižšia ako pri korelácii $\mu_{\text{hladká}}$ a *PTV*. Ak uvažujeme s tým, že hodnoty trenia zistené skúškou kyvadlom aproximujú úroveň mikrotextúry, tak môžeme tvrdiť, že súčiniteľ trenia meraný pri rýchlosti 60 km/h so sklzom pneumatiky 17,8% je viac ovplyvňovaný mikrotextúrou povrchu vozovky.

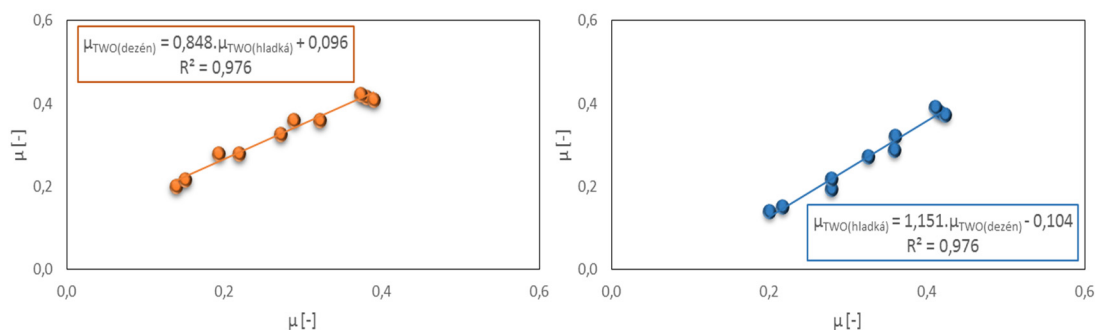


Obr. 10: Porovnanie súčiniteľa trenia meraného hladkou pneumatikou s hodnotou mikrotextúry *PTV* a s hodnotou makrotextúry *MTD*

Namerané menšie hodnoty súčiniteľa trenia pri hladkej pneumatike oproti hodnotám nameraných pri pneumatike s dezénom sú spôsobené nedostatočným vytlačením vody z kontaktnej plochy pneumatiky s vozovkou. Meranie súčiniteľa trenia s hladkou pneumatikou je insenzitívnejšie na hodnoty mikrotextúry kameniva a je viac ovplyvnené drenážnymi vlastnosťami makrotextúry povrchu vozovky ako pri meraní s pneumatikou s dezénom.

Z nameraných výsledkov hodnôt súčiniteľa trenia je možné vykonať vzájomné porovnanie týchto dvoch typov pneumatík. Z výsledkov je jednoznačné, že hodnoty namerané s hladkou pneumatikou sú nižšie ako hodnoty pri dezénovej pneumatike. Rozdiely v hodnotách sa pohybovali v rozmedzí od 6 do 27 % v závislosti od druhu povrchu vozovky. V priemere hodnoty namerané hladkou pneumatikou boli menšie o 17%.

Z komparácie nameraných hodnôt súčiniteľa trenia s dezénovou a hladkou pneumatikou je možné stanoviť prevodové vzťahy na určenie súčiniteľa trenia meraného s použitím týchto dvoch typov pneumatík (obr. 11).



Obr. 11: Porovnanie medzi dezénovou a hladkou pneumatikou

O výpovednej hodnote tohto prevodového vzťahu hovorí dosiahnutý koeficient determinácie medzi hladkou a dezénovou pneumatikou $R^2=0,976$ a fakt, že jednotlivé merania boli realizované na desiatich rozdielnych asfaltových povrchoch.

6 ZÁVER

Správne meranie a objektívne vyhodnotenie textúry povrchov ciest je veľmi dôležité a to ako z hľadiska hodnotenia drsnosti, tak aj z hľadiska sledovania produkcie a šírenia emisií [10], [11] v okolí cestnej komunikácie. Príspevok sa venoval problematike vplyvu textúry povrchu vozovky spolu s použitým typom meracej pneumatiky na namerané hodnoty súčiniteľa trenia na vybraných úsekoch cestnej siete. Z výsledkov je možné stanoviť, že hodnoty súčiniteľa trenia pri dezénovej pneumatike sú viac ovplyvnené veľkosťou mikrotextúry kameniva ako hodnoty súčiniteľa trenia dosiahnuté pri hladkej pneumatike, ktoré sú viac ovplyvnené drenážnymi vlastnosťami makrotextúry

povrchu vozovky. Na základe porovnania sklonu regresných priamok (smernice priamky) z obr. 9 a obr. 10 sa však dá predpokladať, že súčiniteľ trenia meraný pri rýchlosti 60 km/h so sklzom pneumatiky 17,8% je celkovo viac ovplyvnený mikrotextúrou povrchu vozovky.

POĎAKOVANIE

Tento príspevok bol vypracovaný ako súčasť riešenia grantovej úlohy VEGA 1/0804/12 Vplyv materiálového zloženia asfaltovej zmesi na charakteristiky textúry povrchu vozovky a produkciu emisií.

Tento príspevok bol vypracovaný ako súčasť riešenia grantovej úlohy VEGA 1/0557/14 Vplyv vybraných premenných parametrov na prevádzkovú spôsobilosť asfaltových vozoviek.

LITERATÚRA

- [1] KOVÁČ, M. a kol. 2012. Diagnostika parametrov prevádzkovej spôsobilosti vozoviek, Žilina: EDIS, 2012. 256 s. ISBN 978-80-554-0568-1
- [2] STN EN ISO 13473-5, Charakterizovanie textúry vozovky s použitím profilov povrchu. Časť 5: Stanovenie megatextúry (ISO 13474-5:2009)
- [3] ASTM E274, Standard Test Method for Skid Resistance of Paved Surfaces Using a Full-Scale Tire
- [4] „Road Surface Characteristics: Their Interaction and Their Optimization,“ OECD Scientific Technical Group, Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris, 1984
- [5] KASANICKÝ, G. – KOHÚT, P. – LUKÁŠIK, M.. 2011. Teória pohybu a rázu pri analýze a simulácie nehodového deja. Žilina: EDIS, 2011. 350 s. ISBN 80-7100-597-5
- [6] Operating manual: TWO friction meter (Traction Watcher One). Olsense Technology AS, VAT reg. No.: 991 206 604.
- [7] Kováč M, Kotek P.: The usability of different Skid resistance characteristics in Road Assessment. Civil and Environmental Engineering. Volume 10, Issue 2, Pages 80–87, ISSN (Online) 1336-5835, DOI: 10.2478/cee-2014-0015, December 2014.
- [8] KOTEK, P. – FLORKOVÁ, Z. 2014. Comparison of the skid resistance at different asphalt pavement surfaces over time. In: Procedia Engineering : XXIII R-S-P seminar : Theoretical foundation of civil engineering [online]. 2014. vol. 91.
- [9] SLABEJ, M., GRINČ, M.: 2014. 3D road surface model for monitoring of transverse unevenness and skid resistance. In: 2nd International Conference on Traffic and Transport Engineering (ICTTE). Assoc Italiana Ingn Traffico Trasporti Res Ctr, Belgrade, SERBIA, NOV 27-28, 2014, p. 616-624. Accession Number: WOS:000348569200076, ISBN:978-86-916153-2-1.
- [10] DECKÝ, M., MIKOLAJ, REMEK, Ľ., PEPUCHA, Ľ.: Air pollution as criterion in multi criteria analysis performed in HDM-4. In: Ecology, economics, education and legislation : 13th international multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2013 : conference proceedings : 16-22 June, 2013, Albena, Bulgaria. - Sofia: STEF92 Technology, 2013. - ISBN 978-619-7105-05-6. - S. 27-34
- [11] TROLLÉ, A., TERROIR, J., LAVANDIER, C., MARQUIS-FAVRE, C., LAVANDIER, M.: Impact of urban road traffic on sound unpleasantness: A comparison of traffic scenarios at crossroads. In: Applied Acoustics 94 (2015), p. 46-52, ISSN: 0003-682X

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Katarína Bačová, PhD., Katedra dopravných stavieb, Stavebná fakulta, STU v Bratislave.

Ing. Jiří Šmíd, Ph.D., Ředitelství silnic a dálnic ČR, Úsek kontroly kvality staveb, Praha.

Matúš KOVÁČ¹, Peter KOTEK², Martin DECKÝ³

**KONVENČNÉ A NEKONVENČNÉ ZARIADENIA NA MERANIE MAKROTEXTÚRY
POVRCHU VOZOVKY**

**CONVENTIONAL AND NON-CONVENTIONAL EQUIPMENT FOR PAVEMENT SURFACE
MACROTEXTURE MEASURING**

Abstrakt

Príspevok sa venuje meraniu makrotextúry vozovky na rozdielnych asfaltových povrchoch. Na merania textúry povrchu vozovky boli použité dve rozdielne pracujúce zariadenia. Profilograph GE predstavuje kontinuálne pracujúce zariadenie zo Slovenskej správy ciest a zariadenie ZScanner®800 je ručný laserový skener vo vlastníctve Žilinskej univerzity. Ako hodnotiaci parameter makrotextúry bol zvolený celosvetovo používaný parameter *MPD*.

Kľúčové slova

Povrch vozovky, Macrotextúra, Profil, 3D Skenovanie.

Abstract

The article deals with the surface macrotexture measurement on various asphalt pavements. For the macrotexture measurement were used two differently working devices. The Profilograph GE is a continually working device owned by Slovak road administration. The ZScanner® 800 is a hand-operated laser 3D scanner, which is the property of University of Zilina. As a characteristic for pavement texture evaluation was chosen the worldwide used parameter *MPD*.

Keywords

Pavement surface, Macrotexture, Profile, 3D Scanning.

1 ÚVOD

Textúra povrchu vozovky je daná usporiadaním jednotlivých výstupkov materiálu tvoriaceho povrch vozovky. Predstavuje kľúčovú zložku interakcie pneumatiky vozidla s vozovkou. Na základe stanovených dĺžok a amplitúd vlny na XVIII. cestnom svetovom kongrese v Bruseli [1] sa textúra člení na mikro-, makro- a megatextúru. Pričom všetky kategórie textúry pôsobia na kontaktnú plochu pneumatiky vozidla s povrchom vozovky. Jednotlivé rozsahy vlnových dĺžok spolu s amplitúdami sú zobrazené v tab. 1.

¹ Doc. Ing. Matúš Kováč, PhD., Katedra cestného staviteľstva, Stavebná fakulta, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, tel.: +42141/513 5910, e-mail: matus.kovac@fstav.uniza.sk.

² Ing. Peter Koteck, Katedra cestného staviteľstva, Stavebná fakulta, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, tel.: +42141/513 5930, e-mail: peter.kotek@fstav.uniza.sk.

³ Prof. Dr. Ing. Martin Decký, Katedra cestného staviteľstva, Stavebná fakulta, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, tel.: +42141/513 5907, e-mail: martin.decky@fstav.uniza.sk.

Tab. 1: Rozsahy hodnôt pre vybrané charakteristiky textúry

Textúra	Vlnová dĺžka	Amplitúda
Mikrotextúra	0,001 – 0,5	0,001 – 0,5
Makrotextúra	0,5 – 50	0,1 – 20
Megatextúra	50 – 500	0,1 - 50

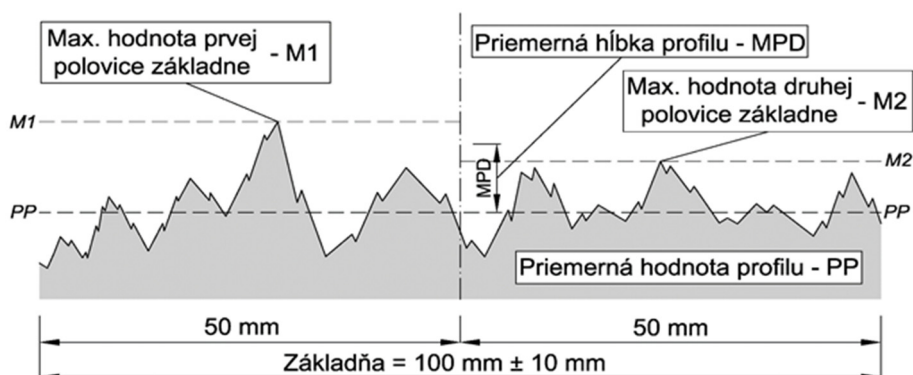
Príspevok je zameraný na meranie a hodnotenie makrotextúry povrchu vozovky. Makrotextúra povrchu vozovky napomáha rýchlemu odtoku vody z povrchu, je zodpovedná za úroveň hysterézneho zložky trenia a má, z hľadiska bezpečnosti premávky, dôležitú úlohu hlavne pri stredných a vyšších rýchlostiach jazdy vozidiel. Samotnú makrotextúru vytvára usporiadanie jednotlivých zŕn kameniva na povrchu vozovky a je podmienené vlastnosťami kostry asfaltovej zmesi, čiže zastúpením jednotlivých frakcií použitého kameniva.

Ako hodnotiaci parameter v príspevku bola zvolená priemerná hĺbka profilu *MPD* (Mean Profile Depth). Ide o celosvetovo používaný parameter uplatňovaný pri hodnotení makrotextúry povrchu vozovky.

1.1 Priemerná hĺbka profilu - *MPD*

Metóda je založená na meraní krivky profilu povrchu s rozsahom zaznamenávaných nerovností definovaných pre makrotextúru a následnom spracovaní dát, kde na základe predpísaného postupu, získavame hodnoty priemernej hĺbky profilu (*MPD*), ktoré sú ďalej pre meraný úsek počítané ako priemerné hodnoty za určitý, operátorom zvolený krok [1].

Princíp výpočtu spočíva v rozdelení profilu na základne s dĺžkou 100 ± 10 mm a ich ďalším rozdelením na dve rovnaké časti. Po zistení maximálnych hodnôt profilu z oboch polovíc základne sa nakoniec ešte určí priemerná hodnota profilu zo všetkých nameraných hodnôt profilu na celej dĺžke základne. Princíp výpočtu priemernej hĺbky profilu je zobrazený na obr.1.



Obr. 1: Princíp výpočtu priemernej hĺbky profilu - *MPD*

Priemerná hĺbka profilu *MPD* sa pre každý meraný profil vypočíta ako rozdiel aritmetického priemeru dvoch najvyšších hodnôt a priemernej hodnoty profilu [2].

$$MPD = \frac{M1 + M2}{2} - PP \quad [\text{mm}]$$

kde: M1 – maximálna hodnota prvej polovice základne [mm],
M2 – maximálna hodnota druhej polovice základne [mm],
PP – priemerná hodnota profilu [mm].

2 ZÁZNAMOVÉ ZARIADENIA

2.1 Profilograph GE

Profilograph GE (obr. 2) je zariadenie dánskeho výrobcu Greenwood Engineering A/S, ktoré primárne slúži na meranie nerovnosti vozoviek, ale umožňuje taktiež meranie makrotextúry povrchu vozovky. Zariadenie pozostáva z meracieho nosníka upevneného na automobil, opatreného pätnástimi laserovými snímačmi na meranie nerovnosti vozovky a jedného laserového snímača na meranie makrotextúry. Zabezpečenie ustálenej polohy nosníka počas merania zabezpečuje inerciálna jednotka vybavená dvomi gyroskopmi odstraňujúcimi húpanie a nakláňanie nosníka a tromi akcelerátormi zaznamenávajúcimi kmitanie nosníka v pozdĺžnom, priečnom a zvislom smere. Na meranie presnej vzdialenosti, ktorú vozidlo prejde slúži odometer umiestnený na ľavom zadnom kolese nosného vozidla. Vozidlo je tiež doplnené GPS modulom na určenie jeho presnej polohy. Technická špecifikácia laseru na meranie textúry je uvedená v tab. 2.



Obr. 2: Zariadenie Profilograph GE spolu so záznamovým počítačom

Meranie je možné vykonávať pri rýchlostiach od 20 do 110 km/h na čistom a suchom povrchu vozovky, pričom nemusí byť zabezpečená konštantná rýchlosť počas merania. Celé meranie a zaznamenávanie je realizované dodaným softvérom na zaznamenávanie dát v reálnom čase.

Tab. 2: Technická špecifikácia laseru na meranie textúry - LMI SELCOM typ 2207

<i>Vzorkovacia frekvencia:</i>	62,5 kHz
<i>Šírka pásma signálu:</i>	20 kHz
<i>Vzdialenosť od povrchu:</i>	260 mm
<i>Merací rozsah:</i>	155 mm

2.2 ZScanner®800

ZScanner je ďalšia vývojová rada skenerov firmy Z Corporation. Ide o ručný, laserový skener s vysokým rozlíšením, ktorý umožňuje vzájomný pohyb skenovaného povrchu objektu a skenera počas snímania (obr. 3). Skenovanie prebieha pomocou troch kamier, ktoré pri skenovaní snímajú laserový červený kríž. Veľkou výhodou tohto typu skenera je, že nepotrebuje žiadne externé mechanizmy fixácie, alebo nastavenia pozície, ktoré komplikujú skenovanie. Skenovaný povrch objektu sa okamžite zobrazuje na monitore počítača, čo umožňuje sledovať dôslednosť skenovania povrchu, a prípadne doskenovať miesta, ktoré nie sú až tak podrobne naskenované [3]. Skener je dodávaný so štandardným softwarovým vybavením „VXelements- 3D Digitizing Software“. Technická špecifikácia 3D skeneru je uvedená v tab. 3.



Obr. 3: 3D skener spolu so záznamovým softvérom

Zapamätanie si presnej pozície skenovaného povrchu je založené na prvotnom zoskenovaní pozície reflexných bodov. Systém si následne zapamätá ich pozíciu čo im umožňuje byť použité ako polohovací súradnicový systém. Celé snímanie je založené na princípe triangulácie. Ak tri kamery súčasne vidia minimálne 4 reflexné body, je systém schopný automaticky určiť polohu snímaného bodu. Každý bod má svoju jedinečnú súradnicu X, Y, Z. Výsledná sieť bodov je automaticky prepočítavaná na základe nasnímanej polohy jednotlivých bodov podľa zvoleného rozlíšenia. Pričom počas skenovania je možné zvyšovať presnosť skenovania zmenou rozlíšenia. Softvérové prostredie skeneru je schopné zaznamenávať všetky snímania povrchu a vďaka tomu je možné dáta neustále spresňovať a upravovať. Softvér umožňuje export skenovaného povrchu do viacerých dátových výstupov (.dae, .fbx, .ma, .obj, .ply, .stl, .txt, .wrl, .x3d, .x3dz, .zfp), s ktorými je možné následne pracovať.

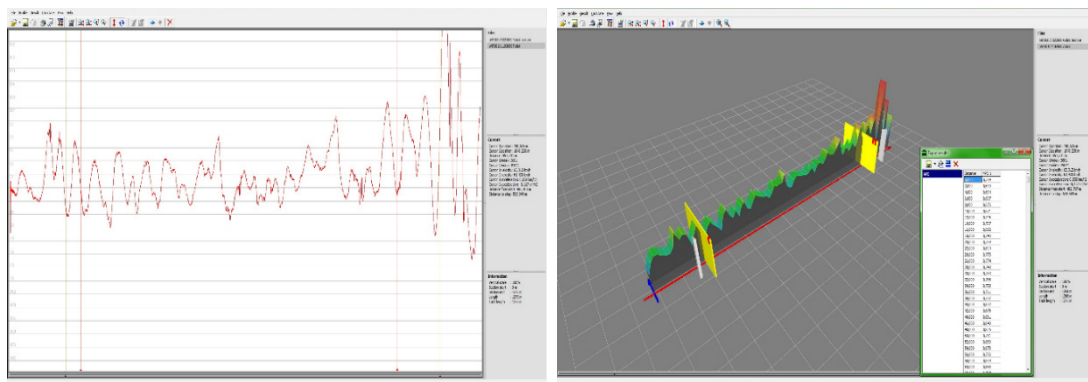
Tab. 3: Technická špecifikácia 3D skenera ZScanner 800®

Váha/ Rozmery:	1.25 kg/171 x 260 x 216 mm	Rozlíšenie :	do 50 mikrónov
Rýchlosť snímania:	25 000 meraní/s	Presnosť XY:	do 40 mikrónov
Trieda lasera:	II (bezpečný pre oči)	Dátový prenos:	FireWire
Počet kamier:	3	Hĺbka poľa:	30 cm

3 ANALÝZA A SPRACOVANIE VÝSLEDKOV

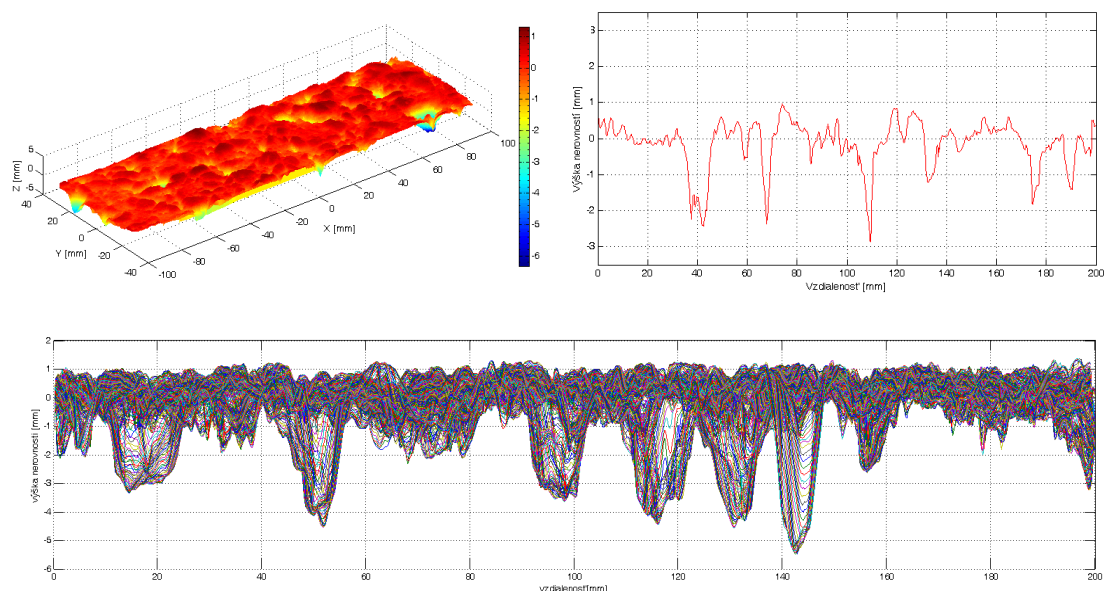
Merania boli realizované na piatich vybraných úsekoch ciest s rozdielnym asfaltovým povrchom. Vybrané úseky na meranie sa vyznačujú rovnakou dĺžkou, približne 100m. Táto dĺžka sa dá považovať za dostačujúcu pre získanie informácie o hodnote makrotextúry povrchu zo zariadenia Profilograph GE. Z 3D skenerom boli vykonané merania v 10 bodoch v rovnakej stope ako pri profilografе, čo sa dá pokladať tiež za dostačujúce pre získanie informácie o hodnote makrotextúry daného povrchu.

Vyhodnotenie nazbieraných dát z Profilograph GE o makrotextúre povrchu vozovky prebieha v dodávanom softvérovom prostredí programu Profilograph for Windows (obr. 4). Program posudzuje makrotextúru povrchu vozovky pomocou parametra priemernej hĺbky profilu *MPD* (na základe zvoleného hodnotiaceho intervalu. Hodnotiaci interval musí byť ale väčší ako 100 mm, čo vyplýva zo samotnej definície výpočtu parametra *MPD* uvedenej v kapitole 1.1.



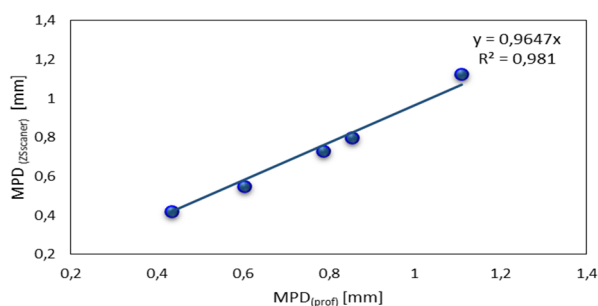
Obr. 4: Příklad profilu, z ktorého sa počíta *MPD* v programe Profilograph for Windows

Spracovanie nazbieraných dát 3D skenera prebiehalo v programovom prostredí MATLAB® [4]. Samotné programové prostredie je založené na práci z maticami a umožňuje okrem iného vedecko-technické výpočty, návrhy algoritmov, analýzu a prezentáciu dát [5]. Skenovanie povrchu prebiehalo pri rozlíšení 0,2 mm, pričom skenovaná plocha povrchu bola zvolená o rozmere 200x60 mm. Pri zvolenom rozlíšení 0,2 mm a šírke skenovanej plochy 60 mm to činí 300 profilov dĺžky 200 mm. Pričom výpočet *MPD* prebiehal na základni dlhej 100 mm, čo predstavuje 600 stanovených hodnôt priemernej hĺbky profilu na jednom meracom bode. Výstupy z prostredia MATLAB® sú vyobrazené na obr. 5.



Obr. 5: Výstupy z programu MATLAB®: a) skenovaný povrch , b) profil textúry, c) všetky profily

Po spracovaní získaných dát je možné vykonať porovnanie získaných výstupov z oboch zariadení. Na základe dosiahnutej hodnoty korelačného koeficientu (r) medzi hodnotami *MPD* z 3D skenera a profilografu $r = 0,993$ je možné konštatovať, že existuje veľmi vysoká miera korelácie. Umocnením korelačného koeficientu získame koeficient determinácie (R^2), ktorý reprezentuje proporciu spoločného rozptylu $R^2 = 0,981$ a hovorí o tom, ako zmena jednej premennej ovplyvní druhú. Po prenásobení 100 udáva zmenu v percentách. Zistená závislosť je zobrazená na obr. 6.



Obr. 6: Porovnanie priemernej hĺbky textúry medzi zariadeniami

4 ZÁVER

Príspevok sa venoval porovnaniu dvoch zariadení umožňujúcich laserové snímanie makrotextúry povrchu. Veľkou výhodou laserového skenovania textúry povrchu vozovky je, že namerané údaje nie sú zaťažené takým množstvom okrajových podmienok ako je to u iných metód merania textúry. Profilograph GE je súvisle pracujúce zariadenie slúžiace na získanie profilu textúry daného povrchu. Zatiaľ čo 3D skener umožňuje jednoduché trojrozmerné bodového meranie textúry povrchu vozovky, ktoré prináša lepšie vystihnutie stavu makrotextúry, čo zabezpečuje aj jej správnejšie vyhodnotenie. Dáta z merania 3D skenera je možné spracovať podľa rôznych požadovaných kritérií, ako napr. z hľadiska valivého odporu, produkcie emisií hluku a pod. Trojrozmerné skenovanie textúry povrchu vozovky môže pomôcť k objektívnejšiemu hodnoteniu kvality povrchov vozoviek. So súčasným rýchlym vývojom nových technológií bude hádam možné v budúcnosti využiť také laserové snímanie textúry, ktoré umožní nielen meranie makrotextúry povrchu vozovky, ale aj zachytenie mikrotextúry povrchu kameniva vozovky.

LITERATÚRA

- [1] STN EN 13473-1 (73 6177) Charakterizovanie textúry vozovky s použitím profilov povrchu. Časť 1: Stanovenie priemernej hĺbky profilu.
- [2] CHEN, De, Nima Roohi SEFIDMAZGI a Hussain BAHIA. Exploring the feasibility of evaluating asphalt pavement surface macro-texture using image-based texture analysis method. Road Materials and Pavement Design [online]. 2015, s. 1-16 [cit. 2015-04-09]. DOI: 10.1080/14680629.2015.1016547.
- [3] SLABEJ, M. – GRINČ, M. 2014. 3D Road Surface Model for Monitoring of Transfere Unevenness and Skid Resistance. In: ICTTE 2014: International Conference on Traffic and Transport Engineering Belgrade: City Net Scientific Research Center, 2014. ISBN 978-86-916153-1-4. p. 616-621.
- [4] REMIŠOVÁ, E. et al. 2014. The influence of the asphalt mixture composition on the pavement surface texture and noise emissions production. In: SGEM 2014 : 14th international multidisciplinary scientific geoconference : geoConference on energy and clean technologies : conference proceedings. Sofia: STEF92 Technology, 2014. ISBN 978-619-7105-16-2. p. 249-256.
- [5] MAHBOOB KANAFI, Mona, Antti KUOSMANEN, Terhi K PELLINEN a Ari Juhani TUONONEN. Macro- and micro-texture evolution of road pavements and correlation with friction. *International Journal of Pavement Engineering*. 2014-06-11, vol. 16, issue 2, s. 168-179. DOI:10.1080/10298436.2014.937715.

Oponentní posudek vypracoval:

Prof. Ing. Jan Kudrna, CSc., Ústav pozemních komunikací, Fakulta stavební, VUT v Brně.

Ing. Jiří Šmíd, Ph.D., Ředitelství silnic a dálnic ČR, Úsek kontroly kvality staveb, Praha.

Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava

řada stavební, ročník 15, číslo 1, rok 2015

Transactions of the VŠB – Technical University of Ostrava

Civil Engineering Series, Vol. 15, No. 1, 2015

Redakční rada / Editorial board:

Šéfredaktor / Editor in chief: doc. Ing. Martin Krejsa, Ph.D.,

VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební

Zástupce šéfredaktora / Deputy editor: doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D.,

VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební

Členové redakční rady / Members of the editorial board:

prof. Pierre-Claude Aïtcin, Université de Sherbrooke, Kanada

prof. Michael Beer, University of Liverpool, Spojené království
a Leibniz University Hannover, Německo

doc. Ing. Jiří Brožovský, Ph.D., VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební

prof. Ing. Radim Čajka, CSc., VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební

Dr. Peter Dusicka, Ph.D., P.E., Portland State University, USA

prof. Gagik Galstyan, Doctor of Technical Sciences, National University of Architecture
and Construction of Armenia, Arménie

Pratanu Ghosh, Ph.D., Assistant Professor, California State University, Fullerton, USA

prof. Dr. Ing. Peer Haller, Technische Universität Dresden, Německo

prof. David Hui, University of New Orleans, USA

prof. Chih Chen Chang, Ph.D., FHKIE,

Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong

prof. Qi Chengzhi, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Čína

doc. Ing. arch. Ján Ilkovič, CSc., Fakulta architektúry STU v Bratislave, Slovensko

prof. Gela Kipiani, Georgian Technical University, Tbilisi, Gruzie

Prof. dr. sc. Hrvoje Kozmar, University of Zagreb, Chorvatsko

prof. Ing. Alois Materna, CSc., MBA, VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební

prof. Ing. Jozef Melcer, DrSc., Žilinská univerzita v Žiline, Stavebná fakulta, Slovensko

prof. Suren Mkhitarian, Doctor of Sciences, Corresponding Member
of the National Academy of Sciences, Arménie

doc. Ing. Jaroslav Navrátil, CSc., VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební

Ing. arch. Hana Pačlová, Ph.D., VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební

prof. Luis Jose Andrade Pais, Universidade da Beira Interior, Portugalsko

Assoc. Prof. Doncho Partov, PhD. Eng., Higher School of Civil Engineering
"Lyuben Karavelov", Sofie, Bulharsko

Ing. Jindřich Pater, ČKAIT, oblastní kancelář Ostrava

prof. Dr. hab. inž. Jaroslav Rajczyk, Fakulta stavební, Polytechnika Czeszochowa, Polsko

doc. Ing. Miloslav Řezáč, Ph.D., VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební

doc. Ing. Vlastislav Salajka, CSc., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební

prof. Evgeny Borisovich Smirnov, D.Sc., Saint-Petersburg State University of
Architecture and Civil Engineering (SPSUACE), Rusko

doc. Ing. Jaroslav Solař, Ph.D., VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební

doc. Ing. Richard Šňupárek, CSc., Ústav geoniky AV ČR

prof. dr hab. inž. Jerzy Wyrwał, Fakulta stavební, Polytechnika Opole, Polsko

prof. Alphose Zingoni, PrEng, CEng, PhD, FSAAE, FIABSE, FISTructE,
University of Cape Town, Jihoafrická republika

Technický redaktor:

Ing. Markéta Maluchová, VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební

Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava

řada stavební, ročník 15, číslo 1, rok 2015

Transactions of the VŠB – Technical University of Ostrava

Civil Engineering Series, Vol. 15, No. 1, 2015

Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada stavební, je členem
Seznamu recenzovaných neimpaktovaných periodik vydávaných v České republice.
(seznam zřizuje Rada pro výzkum, vývoj a inovace, poradní orgán vlády České republiky)

Publikované články jsou recenzovány.
Za jazykovou správnost odpovídá autor.

Adresa redakce:

Ludvíka Podéště 1875/17
708 33 Ostrava - Poruba
Česká republika

Webové stránky časopisu:

<http://www.fast.vsb.cz/cs/veda-a-vyzkum/odborna-cinnost-fakulty/sbornik-vedeckych-praci/>

© V roce 2015 vydala Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Tisk a vazba: Metoda spol. s r.o., Hluboká 14, 639 00 Brno

Náklad: 100 ks

Neprodejné

ISSN 1213-1962