

Diagnostika poruch železobetonových sloupů pomocí ultrazvukové metody

Diagnostics of Failures in Reinforced Concrete Columns Using Ultrasoning Method

Kristýna Hrabová*, Sabina Hübllová, Petr Cikrle, Jaromír Láník

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

Abstrakt

Trvalá udržitelnost je velmi diskutovaným tématem po celém světě, souvisí nejen s množstvím odpadů a emisí spotřebovaných a vytvořených při výrobě stavebních materiálů, ale i s životností konstrukcí. Pro stavební konstrukce většinou platí, že pokud se podaří zachytit poruchu na počátku jejího vzniku, jsou náklady na její odstranění daleko nižší než po letech nekontrolované degradace. Lokalizovat poruchu včas, často znamená, detekovat ji dříve, než je viditelná pouhým okem. Klíčovým prostředkem ke zjištění skrytých defektů by mohly být metody nedestruktivního testování. Cílem příspěvku je tedy ověřit možnosti využití elektroakustických metod pro diagnostiku poruch železobetonu, a současně je cílem vyšetřování jádrových vývrťů odebraných z konstrukce dle nového vydání normy ČSN EN 13791.

Klíčová slova: Beton, udržitelnost, ultrazvuková metoda, defektoskopie, nedestruktivní zkoušení.

Abstract

Sustainability is a much discussed topic around the world, related not only to the amount of waste and emissions consumed and generated in the production of building materials, but also to the life of structures. For building structures, it is usually true that if a fault can be detected at the beginning of its occurrence, the cost of its removal is much lower than after years of uncontrolled degradation. Locating a fault in time often means detecting it before it is visible to the naked eye. Non-destructive testing methods could be a key means of detecting hidden defects. The aim of the paper is to verify the possibilities of using electroacoustic methods for diagnostics failures of reinforced concrete, and at the same time the goal is to investigate core boreholes taken from the structure according to the new edition of the ČSN EN 13791 standard.

Keywords: Concrete, sustainability, ultrasonic pulse method, defectoscopy, non-destructive testing.

1. ÚVOD

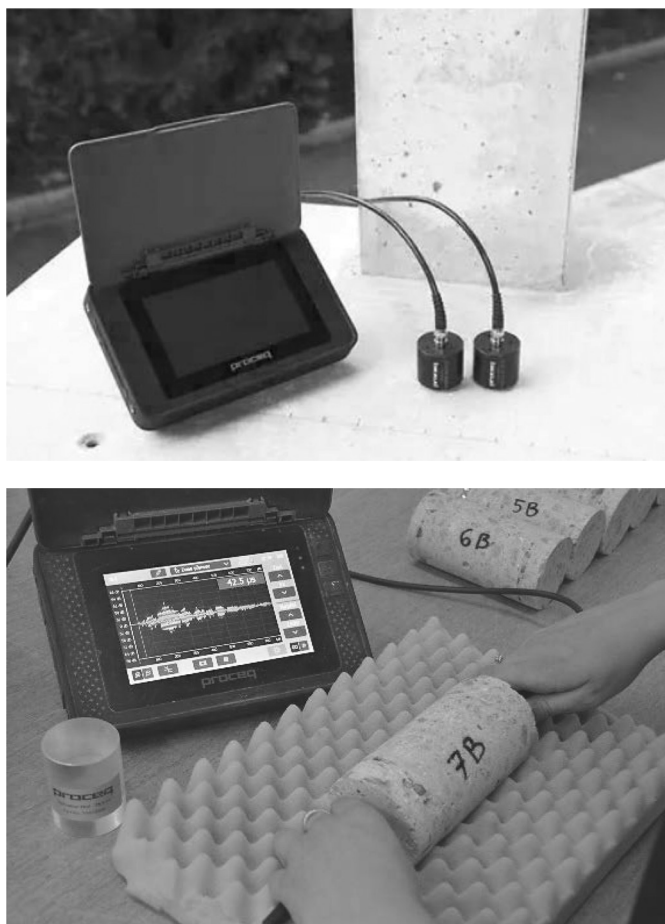
Diagnostika stavebních konstrukcí je nedílnou součástí stavebnictví. Její využití je vhodné pro zjištění objektivních materiálových, konstrukčních i geometrických parametrů stavebních objektů nebo jednotlivých konstrukcí. Nejen na principy trvalé udržitelnosti, ale i na zachování památkových staveb je ve stavebnictví v posledních letech kladen stále větší důraz. I z tohoto důvodu se použití nedestruktivních metod stává stále populárnější. K častějšímu využívání diagnostiky stavebních konstrukcí dochází i z důvodu úbytku stavebních parcel pro novostavby, s čímž souvisí rostoucí zájem o rekonstrukce, respektive nadstavby, přístavby a další stavební úpravy. Mezi další důvody můžeme zařadit snahy o prodloužení životnosti betonových konstrukcí.

Za nedestruktivní se označují takové diagnostické postupy, při kterých nedochází k trvalému poškození stavebních konstrukcí

a jejich dílčích prvků. Hlavní výhodou těchto postupů je možnost opakovaného měření ve stejném místě, a tedy i sledování změn v čase. Jednou ze základních nedestruktivních metod využívaných při diagnostice stavebních objektů je ultrazvuková impulsová metoda, která nachází využití jak při měření v laboratoři, tak v in situ. Následující článek je ukázkou využití ultrazvukové impulsové metody pro zjištění poruch konkrétního železobetonového sloupu, dále metodu rezonanční a je zaměřen i na vyšetřování konstrukcí s uplatněním postupů uvedených v novém vydání normy ČSN EN 13791 [1].

2. METODIKA ZKOUŠENÍ BETONOVÉHO SLOUPU

Nejen metodu ultrazvukovou impulsovou, ale i metodu rezonanční můžeme zařadit mezi nedestruktivní. Obě tyto metody jsou

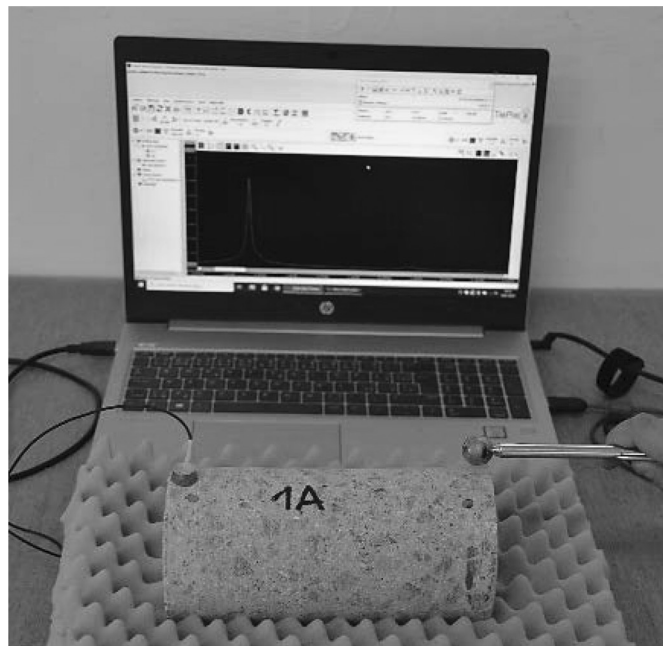


Obr. 1 Přístroj Pundit PL-200 a ultrazvuková impulsová metoda [4].
Fig. 1 Instrument PL-200 and ultrasonic pulse method [4].

využívány i pro hodnocení degradace stavebních materiálů, například pro zjišťování vnitřních vad a poruch v konstrukci. Ultrazvuková metoda umožňuje zjistit přítomnost vnitřních vad ve vnitřní struktuře materiálu, a to i ve velké hloubce pod povrchem. Ve stavebnictví jsou nejběžněji využívány frekvence v rozmezí 20–150 kHz, méně často až do 500 kHz. Pro zkoušení betonu jsou nejčastěji využívány právě frekvence 20–150 kHz. S vyšší frekvencí roste i rozlišovací schopnost ultrazvukového přístroje, což vede k přesnějšímu měření, ale zároveň dochází k výraznějšímu zeslabování při průchodu konstrukcí, a proto je potřeba volit kompromis s ohledem na tloušťku měřeného prvku. Princip ultrazvukové metody využívá skutečnosti, že pevné materiály (kovové i nekovové) jsou dobrými vodiči zvukových vln.

Ultrazvukové vlny vyslané do materiálu se odrážejí od každého rozhraní, a tedy i od výrazných vnitřních vad (nehomogenit). Pokud se ve struktuře betonu vyskytují spíše drobné poruchy (např. mikrotrhliny), dochází rovněž ke zpomalování a zeslabování ultrazvukových impulsů, což se projeví snížením rychlosti jejich šíření. Aplikace této metody je velmi rychlá a jednoduchá v případě, jedná-li se o konstrukci či prvek pravidelného tvaru, jako jsou, sloupy, pilíře, průvlaky a trámy.

Obě metody lze využít pro stanovení dynamického modulu pružnosti, ze kterého může být vypočten modul pružnosti statický. V případě ultrazvukové impulsové metody je dynamický modul zjištěn z rychlosti šířících se vln daným materiálem. V případě



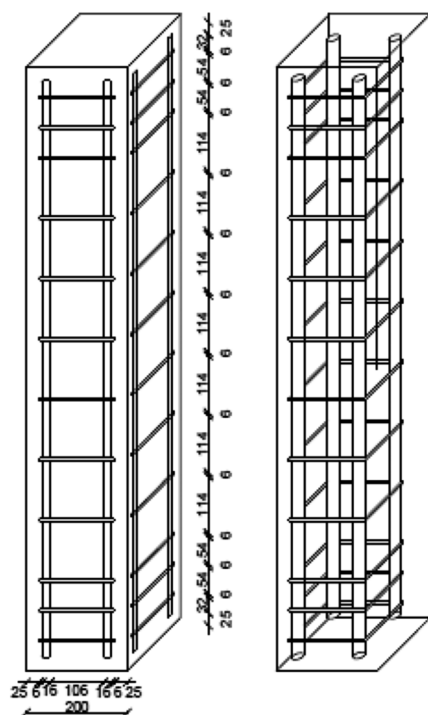
Obr. 2 Rezonanční metoda.
Fig. 2 Resonance method.

metody rezonanční lze vypočíst dynamické moduly z podélného, příčného a krouťového kmitání zkoušeného materiálu. Metoda rezonanční využívá vlastních frekvencí (kmitočtů) zkušebního tělesa. Každý předmět z tuhého materiálu se po mechanickém impulsu rozkmitá. Toto kmitání se může uskutečnit mnoha způsoby. K vyhodnocení dynamických materiálových charakteristik těles (pravidelných geometrických tvarů) používáme vlastní frekvence podélného kmitání f_L , příčného kmitání f_p a krouťového kmitání f_t , [5, 6, 7, 8]. K vybudování vlastních frekvencí zkoušeného tělesa je zapotřebí mechanického impulsu zpravidla pomocí kladívka. Těleso by mělo být umístěno na speciální podložce, která by měla zabránit ovlivnění výsledků pro stanovení vlastní příčné frekvence. Sondy jsou umístěny na těleso podle potřeby (podle toho, jaké frekvence je potřeba naměřit). K dobrému přilnutí sond ke zkoušenému tělesu je nutno použít vhodného akustického prostředku (např. plastelína). Aby bylo docíleno co nejpřesnějších výsledků, je dobré zkoušku opakovat alespoň třikrát.

Norma ČSN EN 13791 [1] pojednává o zjišťování pevnosti v tlaku betonu v konstrukcích pomocí přímých metod – jedná se o zkoušky jádrových vývrtů, a metod nepřímých – měření ultrazvukové rychlosti a odrazových tvrdoměrů. Ještě donedávna preferovala norma ČSN 73 2011 [2] pro stanovení pevnosti v tlaku ve stavebních konstrukcích právě použití nedestruktivních zkoušek, zatímco norma ČSN EN 13791 [1] vnímala nedestruktivní metody spíše jako podpůrné. V novém znění této normy však byla věnována značná pozornost také nedestruktivnímu zkoušení. Vydání této normy přináší také několik změn, ať už se jedná o rozměr jádrových vývrtů nebo jejich počet. V současnosti je jako jádrový vývrt kromě klasického válce s průměrem 150 mm a výšce 300 mm jako rovnocenný brán také válec o průměru minimálně 75 mm. Průměry jádrových těles mohou být tedy různé (nejméně však 75 mm), jejich poměr musí být 2:1, případně 1:1. Průměr vývrtu by měl být alespoň třikrát větší, než je největší velikost zrn kameniva. Tudíž je velmi důležité zvolit jádrový vývrt takového

3. POSTUP EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘENÍ

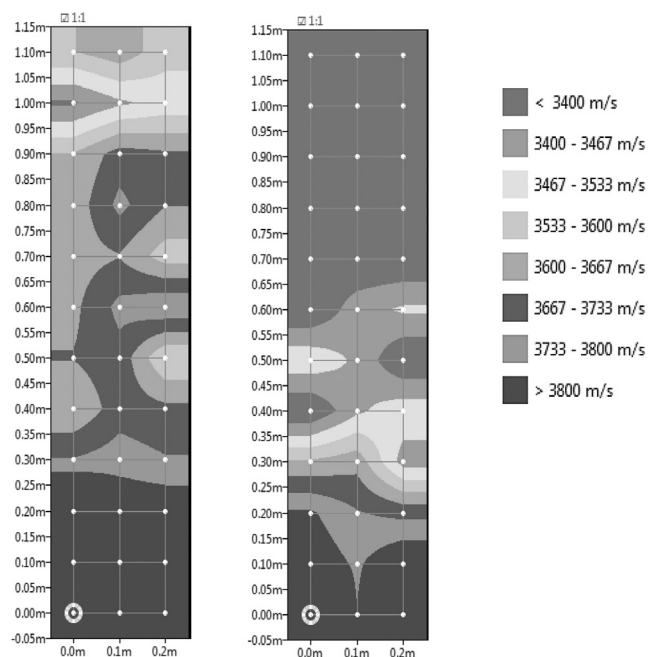
Z výsledků vyplývá, že k poruše dochází v horní části sloupu. A to z důvodu záměrně vytvořené umělé vady v průběhu betonáže železobetonového sloupu. K poruše tak dochází v nejslabším místě průřezu.



Obr. 3 Vyztužení sloupu.
Fig. 3 Column reinforcement.

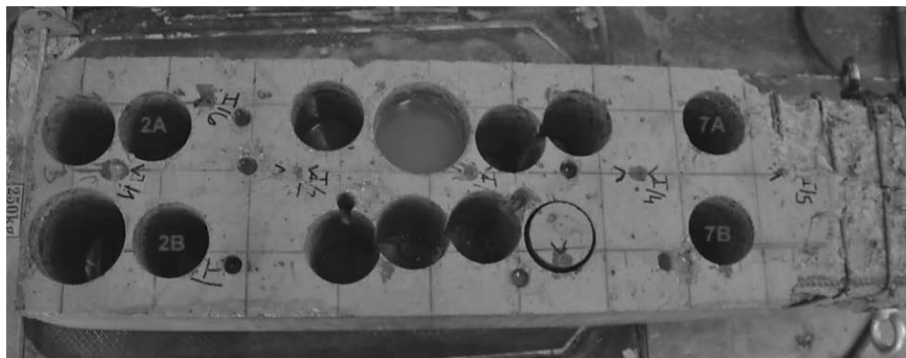


Obr. 4 Zatěžování sloupu.
Fig. 4 Loading of the concreted column.

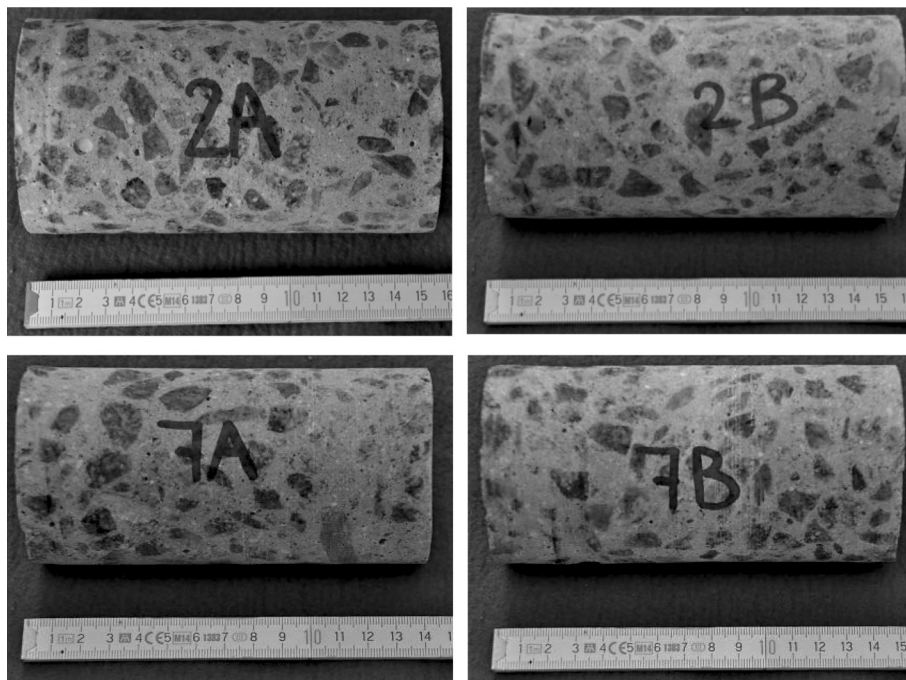


Obr. 5 Grafické znázornění výsledků ultrazvukového měření v cyklech 0 a 26.
Fig. 5 Graphical representation of the ultrasonic measurement results in cycles 0 and 26.

Obr. 6 Místa odběru jádrových vývrtů.
Fig. 6 Location of the cores.



Obr. 7 Jádrové vývrtky 2A, 2B, 7A a 7B
betonového sloupu.
Fig. 7 Core specimens taken 2A, 2B,
7A and 7B from the concrete column.



Tab. 1 Hodnoty dynamických modulů vypočtené z rychlosti šíření ultrazvukových vlnění.
Tab. 1 Values of the dynamic modulus calculated from the ultrasonic wave velocities.

Označení tělesa	Průměr	Výška	Hmotnost	Doba průchodu impulsů				Rychlost UZ impulsů	Dynamický modul pružnosti	
	d	h	m	UZ vln T_{uz} , μs				v	E_{dyn}	E_{dyn} průměrný
	mm	mm	g	„1“	„2“	„3“	Průměr	m/s	N/mm ²	N/mm ²
2A	74,8	153,8	1,5674	37,0	37,4	37,6	37,3	4119	35433	35836
2B	74,6	153,8	1,5674	37,1	36,5	37,4	37,0	4156	36239	
7A	74,9	139,1	1,5674	37,5	39,3	38,9	38,6	3607	29974	28957
7B	75,0	148,8	1,5674	40,4	40,9	42,5	41,3	3606	27940	

Tab. 2 Hodnoty dynamických modulů vypočtené z podélného, příčného a kroutivého kmitání.
Tab. 2 Dynamic modulus values calculated from the measured frequencies of longitudinal, transverse, and torsional oscillation.

Označení tělesa	Pod. kmitání	Př. kmitání	Kr. kmitání	Dyn. modul z pod. kmitání	Dyn. modul z př. kmitání	Dyn. modul z kr. kmitání
	f_L	f_f	f_t	E_{dynL}	E_{dynff}	G_{dynft}
	[kHz]	[kHz]	[kHz]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
2A	12,1	7,3	7,5	32344	33710	12205
2B	12,6	7,6	8,1	35100	36555	14592
7A	10,7	5,2	6,5	22886	14103	8308
7B	10,5	5,5	6,1	23172	17377	7869

Po zkoušce únosnosti byly ze sloupu odebrány jádrové vývrtky o jmenovitém průměru 100 mm a 75 mm a délce cca 150 mm. Jádrové vývrtky o rozměru 75 mm byly odebrány z důvodu hustého vyztužení. Odběr byl volen v místech, kde nedošlo k úplnému porušení sloupu. Tato místa byla rozčleněna na 7 částí, v každé této části byly odebrány právě dva jádrové vývrtky (A a B).

Pro tento článek byly vybrány jádrové vývrtky ze dvou částí sloupu. Vzorky byly dle odebrané lokality označeny – 2A, 2B, 7A a 7B, jak je znázorněno na obr. 6. Ke zkoušení jádrových vývrtků byl použit ultrazvukový přístroj Pundit PL-200 se dvěma sondami o vlastní frekvenci 150 kHz, které se používají pro měření krátkých základů. Měření proběhlo v souladu s ČSN 73 1371 [1].

Na každém z jednotlivých těles byly změřeny základní charakteristiky, jako jsou průměr, délka a hmotnost. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tab. 1. Taktéž bylo provedeno měření s použitím rezonanční kladívkové metody RT-1. Výhodnocení bylo provedeno v souladu s ČSN 73 1372 [6].

4. ZÁVĚR

Provedený experiment prokázal, že vzhledem k použitému druhu betonu a způsobu vyztužení sloupu lze ultrazvukovou impulsovou metodu spolehlivě použít, chceme-li odhalit porušení betonu v konstrukci. Výpočtová únosnost sloupu vzhledem k jeho pevnostní třídě C16/20 a způsobu vyztužení byla 15,0 MPa, což odpovídá stupni zatížení 900 kN. Při tomto zatížení byly zpozorovatelné pouze menší deformace a trhliny, které byly zaznamenány i pomocí tenzometrů. Se zvyšujícím se zatížením došlo při 17. cyklu (odpovídajícímu zatěžovacím stupni 1040 kN) k dosažení napětí 17,3 MPa, které odpovídá 115,6% výpočtové únosnosti sloupu. V tomto bodě došlo k výraznějšímu porušení sloupu, kdy beton začal odpadávat. Při zatěžování bylo dosaženo únosnosti 26,7 MPa (177,8% výpočtové únosnosti), kdy došlo ke kolapsu sloupu. Pro ověření výsledků ultrazvukového měření bylo provedeno měření i na jádrových vývrtech. Vyšší hodnoty modulu pružnosti i pevnosti v tlaku byly zjištěny u těles 2A a 2B. Tyto vzorky byly odebrány z téměř neporušené oblasti. Naopak vzorky 7A a 7B, jež byly odebrány z okolí míst, kde došlo

k největšímu tlakovému namáhání, vykazovaly nižší hodnoty dynamických modulů. Výrazně nižší hodnoty dynamických modulů pružnosti z příčného kmitání souvisí pravděpodobně s výskytem mikrotrhlin kolmých k podélné ose vývrtu. Výsledky potvrzují, že ultrazvuková impulzivní metoda byla v tomto případě vhodnou volbou k defektoskopii poruch železobetonových sloupů. A se zvyšujícím se množstvím experimentů a výsledků by tato metoda mohla v budoucnosti k tomuto účelu významně posloužit.

5. PODĚKOVÁNÍ

Príspevek vznikl za podpory standardního projektu specifického vysokoškolského výzkumu na VUT č. FAST-J-20-6425.

6. LITERATURA

- [1] ČSN EN 13791 Posuzování pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích a v prefabrikovaných betonových dílcích. Praha: ÚNMZ, 2020.
- [2] ČSN 73 2011 Nedestruktivní zkoušení betonových konstrukcí. Praha: ÚNMZ, 2012.
- [3] CIKRLE, P. a kol.: Zásadní změny v posuzování betonu v konstrukcích podle nového vydání ČSN EN 13791 standard. *Beton TKS*, 2020(3), s. 46–50. ISSN 1213–3116.
- [4] Ultrasonic NDT Inspection Device: Pundit PL-200 [online]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/proceq/ultrasonic-ndt-inspection-devices-7242-1354737.html>.
- [5] ČSN EN 12504-1. Zkoušení betonu v konstrukcích – Část 1: Vývrtky – Odběr, vyšetření a zkoušení v tlaku. Praha: ÚNMZ, 2019.
- [6] ČSN 73 1372 Nedestruktivní zkoušení betonu – Rezonanční metoda zkoušení betonu. Praha: ÚNMZ, 2012.
- [7] ČSN 73 1371. Nedestruktivní zkoušení betonu – Ultrazvuková impulsová metoda zkoušení betonu. Praha: ÚNMZ, 2011.
- [8] HASBULLAH, M., AMRAN, R. *et al.* Assessing the performance of concrete structure based on the width of the crack using UPV. *Journal of Engineering Science and Technology*, Volume 12, Special Issue, ISSC'16, April 2017.

Správná citace:

Hrabová, K., Hübllová, S., Cikrle, P., Láník, J. Diagnostika poruch železobetonových sloupů. *Soudní inženýrství*, 2020, 31(4), 23–27. DOI: <http://dx.doi.org/10.13164/SI.2020.4.23>. ISSN 1211-443X.