

# VIZUÁLNÍ ANALÝZA PROCESU MIGRACE DVOU VRSTEV BETONU BĚHEM HUTNĚNÍ

Tomáš Trtík, \*

Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební,  
České vysoké učení technické v Praze, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6, Česká republika.  
tomas.trtik@fsv.cvut.cz

## ABSTRAKT

Článek popisuje chování čerstvé betonové směsi vystavené účinkům vibrací. Experiment se zaměřil na schopnost jednotlivě ukládaných vrstev betonové směsi migrovat ve vzorku nebo konstrukci ve vertikálním i horizontálním směru. Pro vizuální hodnocení kvality hutnění jsou postupně ukládány vrstvy probarveného betonu o definované výšce. Vzorky byly vystaveny účinkům vibracím. Míra propojení jednotlivých vrstev je vyšetřována pomocí pravidelných řezů napříč vzorky, které umožní pozorovat rozdíly v pohybu a propojení vrstev pro různé konzistence betonové směsi. Sledovaným parametrem byl proces hutnění v závislosti na konzistenci betonu a frekvenci hutnění. Výsledky shrnuté v tomto článku prezentují nové výsledky kontinuálního výzkumu zaměřeného na detailnější popis chování čerstvé betonové směsi při vibrování, jelikož tento jev je v současně platných normách řešen relativně okrajově.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Konzistence • Frekvence • Hutnění • Beton

## ABSTRACT

The article describes the behavior of a fresh concrete mixture exposed to the effects of vibration. The experiment focused on the ability of individually deposited layers of concrete mix are able to migrate in the vertical and horizontal direction in the specimen or structure. To evaluate the visual quality of compaction, layers of colored concrete of a defined height are gradually deposited. The specimens were exposed to vibrations of variable frequency. The degree of interconnection between the layers is determined by using regular sections across the specimens to observe the differences in the movement and interconnection of the layers for different consistencies of the concrete mix. The monitored parameter was the compaction process depending on concrete consistency and compaction frequency. The results summarized in this paper present new results of continuous research aimed at a more detailed description of the vibration behaviour of fresh concrete mix, as this phenomenon is relatively marginally addressed in the current standards.

## KEYWORDS

Consistency • Frequency • Compaction • Concrete

## 1. ÚVOD

Obecné informace o zhutňování uvádí norma ČSN EN 13369 ed. 2., například v kapitole 4.2.1.2 Ukládání a hutnění betonu je definováno „Beton se musí ukládat a hutnit tak, aby nedocházelo k vytváření vzduchových dutin mimo plánované množství (např. k dosažení mrazuvzdornosti), předešlo se rozmísení a bylo zajištěno řádné zabudování výztuže“.

Norma ČSN EN 13670 definuje ukládání a zhutňování velmi okrajově. Kapitola 8.4 Ukládání a zhutňování definuje v odstavcích (1) „Zvláštní péče k zajištění správného zhutňování se požaduje ve změnách průřezu, v úzkých místech, u truhlíků pro vytvoření otvorů, v místech zhuštěné výztuže a u pracovních spár“ a (5) „Během ukládání a zhutňování se musí minimalizovat segregace betonu“, příloha F.8.4.1 Ukládání a zhutňování – běžně vibrováný beton uvádí v odstavci (1) „Zhutňování se má provádět vibrováním ponorným nebo příložným vibrátorem, pokud není stanoveno jinak“. Odstavec (3) téže přílohy poté uvádí „Vibrovat se má systematicky ponorným nebo povrchovým vibrátorem po uložení betonu, dokud prakticky neustane vytlačování zadrženého vzduchu. Má se vyhnout nadměrnému vibrování, které by mohlo nakypřit tenké povrchové vrstvy nebo způsobit segregaci betonu“. Důležitou informaci poté přináší odstavec (4), který mimo jiné říká „Vibrování má být systematické a má zahrnovat převibrování do předchozí vrstvy“ a (7) „Pokud se používají pouze povrchové vibrátory a pokud není prokázána zkušebními betonováním přípustnost větší tloušťky, nemá betonovaná vrstva po zhutnění v běžných případech přestoupit 100 mm“.

Podrobnější informace udává norma ČSN EN 12390-2, která v kapitole 4 odstavec 4.1.3 uvádí, že pro zhutňování betonu lze použít vibrační stůl. Informace jsou dále rozvedeny v kapitole 6.2.1 „Beton se musí hutnit ihned po vložení do formy tak, aby se dosáhlo náležitého zhutnění betonu a nedošlo k nadměrné segregaci ani k odlučování vody“. Kapitola 6.2.2.2 Zhutňování na vibračním stole udává „Vibrování se provádí jen po dobu nezbytnou k dosažení náležitého zhutnění betonu.“

---

\* Školitel: doc. Ing. Jitka Vašková, CSc.

Výhodnější je, aby forma byla uchycena ke stolu nebo pevně ke stolu přitlačována. Je nutno zabránit převibrování, které by mohlo způsobit ztrátu provzdušnění“.

ČSN EN 12350-1 v kapitole 4.1.8 Prostředky pro hutnění betonu definuje minimální frekvenci vibračního stolu a to 40 Hz (2400 kmitů za minutu).

Detailnější informace uvádí Příručka technologa – beton – suroviny, výroba, vlastnost, která doporučuje používat vibrační stůl jakožto hutnicí prostředek pro betony konzistence S1, S2, V0, V1, V2, C0, C1 a C2. Hutnění pomocí vibračního stolu lze považovat za vertikální spodní vibraci, kde jsou příručkou definované parametry, jako například frekvence v rozmezí 25-250 Hz, zrychlení 2-4 g (měřeno na naplněné formě) a doba vibrace 10-100 s.

## 2. EXPERIMENT

### 2.1. Popis experimentu

Experiment hutnění byl realizován na krychelných tělesech s hranou 100 mm. Betonáž probíhala současně pomocí dvou míchacích zařízení. V jednom míchacím zařízení byl vyráběn klasický šedý beton, zatímco v druhém míchacím zařízení byl využit probarvující pigment pro výrobu betonu červeného. Dvě míchací zařízení byla využita pro zajištění stejného stáří a zpracovatelnosti v době ukládání a vibrování. Před započítím výroby zkušebních těles byly provedeny verifikační zkoušky konzistence sednutím kužele používaných receptur (viz. Tab. 1).

Čerstvý beton byl ukládán do ocelových, nikoliv plastových forem, aby byla zajištěna stejná amplituda a frekvence pohybu desky vibračního stolu a ocelové formy. Této skutečnosti bylo dosaženo pomocí elektromagnetu na spodní straně desky vibračního stolu. Po zamíchání betonové směsi byla spodní polovina forem naplněna klasickým šedým betonem a horní polovina forem barevným betonem. Následně byla provedena vibrace o délce 30 sekund. Celý výše uvedený proces byl proveden pro konzistence S1, S3 a S5. Hutnicí frekvence 90 Hz byla určena na základě předchozího výzkumu (Trtík, 2021).

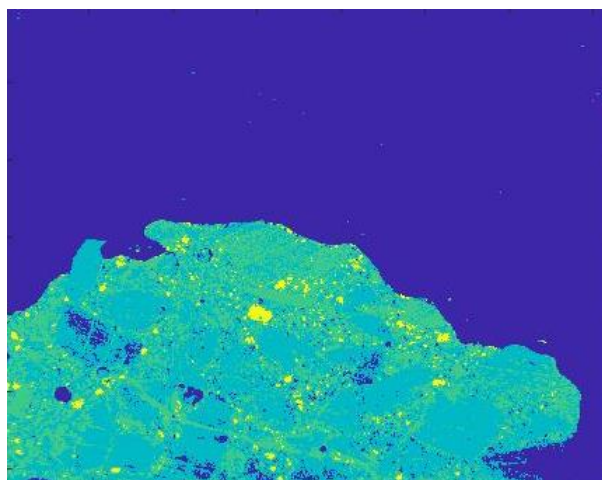
Tabulka 1: Receptury směsí.

	S1S	S3S	S5S
	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Cement (42,5R)	400	400	400
Voda	150	200	200
Kamenivo frakce 0 - 4 mm	620	620	620
Kamenivo frakce 4 - 8 mm	340	340	340
Kamenivo frakce 8 – 16 mm	840	840	840
Plastifikátor	0	0	4
Barvivo	20	20	20

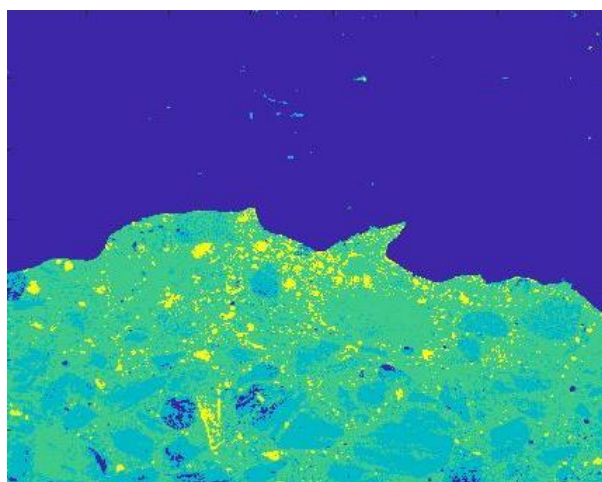
K vyhodnocení vnitřní struktury a promíchání vrstev byly všechny vzorky rozříznuty pomocí diamantového kotouče s tenkým a přesným řezem na 4 plátky stejné velikosti. Řezy tedy byly provedeny ve vzdálenosti 2,5 cm, 5 cm a 7,5 cm od definované výchozí strany zkušební tělesa.

### 2.2. Analýza obrazu

Pomocí algoritmu vytvořeného v prostředí MatlabR21a byly pořízené snímky vyhodnoceny. Vyhodnocení spočívalo v určení rozhraní jednotlivých vrstev a výpočtu probarvené plochy a následně objemu migrujícího betonu. Následující série obrázků pohledů a řezů (viz Obr. 1-3) prezentuje jeden grafický výstup pro vzorek S1S, serie (viz Obr. 4-6) prezentuje jeden grafický výstup pro vzorek S5S. Vyhodnocení proběhlo pro vzorky S1S, S3S a S5S s tím, že pro každou konzistenci byly vyhodnoceny dva vzorky. Každá vyhodnocovaná plocha byla doplněna příslušnou hloubkou pro výpočet objemu migrujícího betonu tak, aby celkový spočítaný objem odpovídal objemu tělesa.

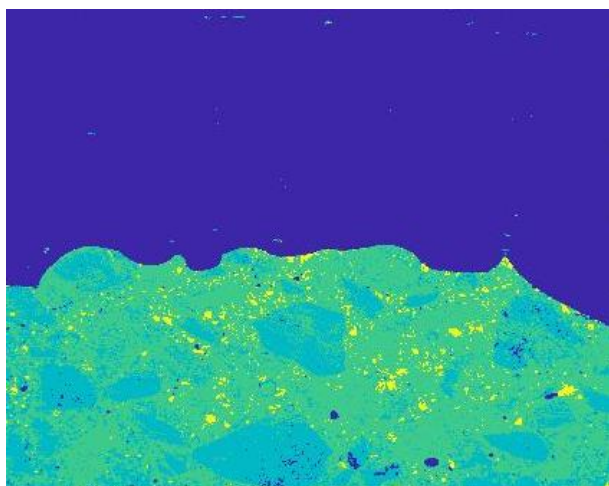


Obrázek 1: (S1S) Řez - 2,5 cm

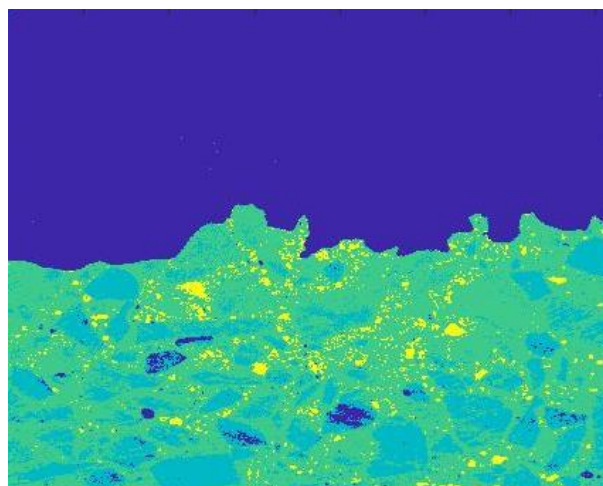


Obrázek 2: (S1S) Řez - 5 cm.

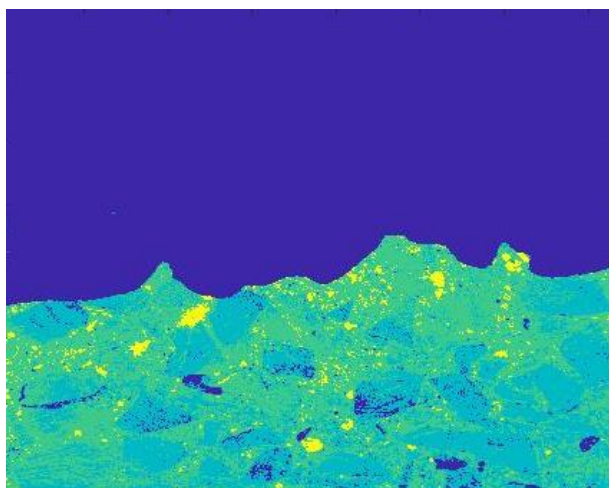
\* Školitel: doc. Ing. Jitka Vašková, CSc.



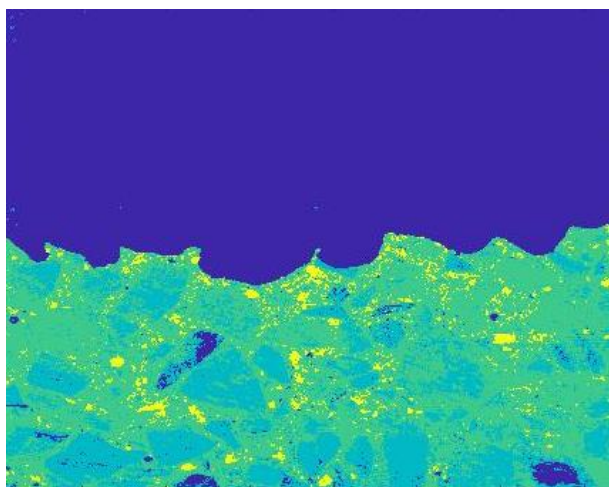
Obrázek 3: (SIS) Řez - 7,5 cm.



Obrázek 6: (S5S) Řez - 7,5 cm.



Obrázek 4: (S5S) Řez – 2,5 cm.



Obrázek 5: (S5S) Řez – 5 cm.

Níže uvedená tabulka (Tab. 2) prezentuje vypočítané objemy probarveného betonu, které migrovaly během vibrace.

Tabulka 2: *Objem migrujícího betonu.*

Označení vzorku	Vrstva/řez	Objem [l]	Objem [l]	Migrující objem [l]
S1S-1	2,5	0,155	0,488	0,063
	5	0,151		
	7,5	0,182		
S1S-2	2,5	0,172	0,469	0,044
	5	0,145		
	7,5	0,152		
S3S-1	2,5	0,164	0,510	0,010
	5	0,178		
	7,5	0,168		
S3S-2	2,5	0,165	0,496	0,004
	5	0,165		
	7,5	0,166		
S5S-1	2,5	0,186	0,521	0,021
	5	0,173		
	7,5	0,162		
S5S-2	2,5	0,194	0,528	0,028
	5	0,170		
	7,5	0,165		

### 3. ZÁVĚR

Z výše uvedeného numerického vyhodnocení v kombinaci s vizuálním vyhodnocením provedených řezů lze usuzovat následující závěry. V případě betonové směsi třídy konzistence S1 docházelo k zjevnému rotačnímu pohybu čerstvé betonové směsi po výšce vzorku. Čerstvý probarvený beton migroval podél stěn formy ke spodnímu povrchu, zatímco šedý beton z dolní poloviny vzorku vykazoval tendenci stoupat střední částí vzorku k hornímu povrchu. V případě směsi třídy S3 nebyla sledována migrace jako u konzistence S1, ale došlo jen k prolnutí jednotlivých vrstev. Tekutá směs konzistence S5 vykazovala obdobnou tendenci jako směs konzistence S3, tedy nebyl znatelný převládající směr pohybu/tečení, ale vzhledem k nižší viskozitě směsi třídy konzistence S5 docházelo k promísení cementového tmele. Při porovnání výsledků s výsledky dříve prováděného experimentu podobného zaměření lze navíc usuzovat, že značný vliv na migraci vrstev má rovněž maximální frakce použitého kameniva. Pro srovnatelné konzistence betonu došlo k umocnění pohybu vrstev u betonových směsí s menší maximální frakcí kameniva 4-8 mm oproti směsi a frakcí 8-16 mm. Třída konzistence plně nevyjadřuje schopnost pohybu směsi jakožto důležitý parametr během vibrace, ale je nutné při volbě ideálního hutnicího prostředku potažmo při volbě hutnicích parametrů zohlednit vliv maximální frakce kameniva. Rotační pohyb čerstvé betonové směsi napříč vzorkem může být při hutnění nežádoucí, jelikož hrozí riziko vstupu nadbytečného vzduchu do čerstvého betonu podél stěn formy a zejména pak v jejich rozích.

### ACKNOWLEDGEMENTS

Tento příspěvek vznikl za finanční podpory projektu SGS22/091/OHK1/2T/11 a SGS22/090/OHK1/2T/11.

### References

- ČSN EN 13670: Provádění betonových konstrukcí (2010). Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- ČSN EN 13369 ed. 2: Společná ustanovení pro betonové prefabrikáty (2019). Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- ČSN EN 12390-2: Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 2, Výroba a ošetřování zkušebních těles pro zkoušky pevnosti (2020). Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- ČSN EN 12350-1: Zkoušení čerstvého betonu - Část 1, Odběr vzorků a zkušební zařízení (2020). Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- ČSN EN 12350-2: Zkoušení čerstvého betonu - Část 2, Zkouška sednutím, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- Trtík, T. (2021), Vizuální analýza hutnění dvou vrstev betonu, 10th PhD Workshop of the Department of Concrete and Masonry Structures 2021.