

## Vliv pigmentů na vlastnosti betonu INFLUENCE OF PIGMENTS ON CONCRETE PROPERTIES

IVANA PEČUR, SANDRA JURADIN,  
MIROSLAV DUVNIAK,  
TOMISLAV LOVRIČ

*V současné době jsou barevné betony používány pro výstavbu nových budov i při rekonstrukcích a přestavbách stávajících objektů. Přidání pigmentu do směsi betonu má dopad na jeho barvu i mechanické vlastnosti. V článku jsou prezentovány výsledky experimentálního výzkumu vlivu typu a množství přidaného pigmentu na tlakovou pevnost betonu různého stáří a jeho modul pružnosti.*

*In the recent time, during reconstruction concrete structures, coloured concrete are using for building new and/or repair a part of construction. Pigment admixture amount has impact on concrete colour shade and mechanical characteristics. Results of experimental investigation of influence types and amount of pigment on compressive strength and modulus of elasticity in different age are shown in paper.*

Barevné betony patří do zvláštní skupiny dekorativních pohledových betonů. Zabarvení betonu se získává přidáním pigmentu do betonové směsi a zbarvení je trvalé. Pigment musí být schopen zbarvit beton jednoduše a kvalitně, to znamená stejnoměrně a spolehlivě. Pigmenty jsou dodávány v práškové nebo granulované formě. Granulované pigmenty jsou používány posledních patnáct let a pro svůj jednoduchý způsob aplikace a přesné dávkování

se staly nejžádanější formou užití pigmentů. Požadavky trhu a nové definice pigmentů vedou k „efektivním granulím“ pigmentové směsi, která ovlivňuje takové vlastnosti betonu, jako jsou plasticita, porozita, kompaktnost, tlaková pevnost, absorpce vody ad. Nehledě na zbarvení betonu, ovlivňují tedy vlastnosti, které mohou přispět k lepší kvalitě výsledného betonu. Např. snížení rizika výluhů na povrchu betonu je zvláště důležité.

Užívání barevných betonů v Chorvatsku je pod úrovní v současném světě běžnou, i když příležitost je dostatek. Důvody pro povzbuzení výroby a rozšíření barevných betonů jsou zejména ekonomické povahy. Kvalitní povrch pohledového betonu simuluje tak dobře některé přírodní materiály (kámen, keramiku), že je jen velmi obtížné je rozeznat. Může je tedy plně nahradit a šetřit tak přírodní materiálové zdroje.

Barevné betony si získaly velkou oblibu, jediným nedostatkem je obava o dostatečnou trvanlivost sytosti vybrané barvy a pevnost materiálu. Teoretické analýzy upozorňovaly na možnost poklesu tlakové pevnosti betonu při použití určitých typů pigmentů, ale pouze ve velkém (až nadbytečném) množství. V praxi jsou tato tvrzení diskutabilní, protože pokles tlakové pevnosti byl naměřen u dávkování pigmentu nad 5 % z množství cementu. Jako jsou tyto závěry relativní vzhledem k užívání různých kvalitních komerčně dostupných pigmentů, je obtížné popsat předem vliv určitého pigmentu na navrhovaný beton.

Většina výrobců připravuje a realizuje

zkoušky barevných betonů tak, že srovnává své vzorky s vzorky barevných betonů jiných výrobců za účelem ukázat, že jejich barevný beton je odolnější a trvanlivější než beton jiného výrobce. Velmi málo zkoušek bylo realizováno s cílem stanovit vliv pigmentů na mechanické vlastnosti betonu porovnáním výsledků identických zkoušek barevných betonů s různým obsahem pigmentů s betony bez přidání pigmentů. Předmětem tohoto článku je porovnat vliv obsahu pigmentů na tlakovou pevnost a modul pružnosti betonu.

### EXPERIMENTÁLNÍ VÝZKUM

#### Betonové směsi

Byly vyrobeny dvě série zkušebních vzorků.

Betonová směs pro první sérii obsahovala: cement CEM II/B-M (S-V) 42,5 N od Holcim Koromačno, přírodní těžené kamenivo  $D_{max} = 16$  mm (Ježdovec), černý práškový pigment (Elementis) [2] a superplastifikátor ViscoCrete-20HE (0,3 %).

Pro druhou sérii byl použit cement Strukto – CEM II/B-M (S-LL) 42,5 od Cemex-Dalmacijacement, drcené kamenivo  $D = 31,5$  mm z Klis-Kosa, žlutý a červený práškový pigment Sika Cim Color S [3] a superplastifikátor Glemium Sky 510 (1 %) (tab. 1).

#### Průběh zkoušek

První skupina vzorků byla vyrobena ze dvou záměsí stejného složení. Do směsi byl přidán černý pigment v množství 3 % obsahu cementu. Betonové vzorky z obou záměsí stáří 1, 3, 7 a 28 dnů byly podrobeny zkouškám k určení jejich pevnosti v tlaku a modulu pružnosti. Pevnost v tlaku byla zkoušena na krychlích o délce hrany  $a = 150$  mm a válcích o průměru/výšce  $\varnothing/h = 150/300$  mm podle chorvatské normy HRN EN 12390-3.

Hodnoty statického modulu pružnosti betonu byly určeny na základě výsledků zkoušek provedených na válcích o průměru/výšce  $\varnothing/h = 150/300$  mm dle normy HRN U.M1.025. Po určení modulu pružnosti byly stejné prvky podrobeny zkoušce pevnosti v tlaku.

Druhá skupina zkoušek zahrnovala

Tab. 1 Betonové směsi použité pro výrobu zkušebních vzorků

Tab. 1 Composition of tested concrete [4, 5]

Betonová směs	I série		II série			
	natur	black	natur	red I	red II	yellow
Cement [kg]	350	350	400	400	400	400
w/c	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Superplastifikátor	ViscoCrete 20 HE: 0,3%	ViscoCrete 20 HE: 0,3%	Glemium Sky 510 1%	Glemium Sky 510 1%	Glemium Sky 510 1%	Glemium Sky 510 1%
Kamenivo [kg]	1840	1814	1801,5	1801,5	1801,5	1801,5
0–4 mm	45 %	4 5%	40 %	40 %	40 %	40 %
4–8 mm	20 %	20 %	10 %	10 %	10 %	10 %
8–16 mm	35 %	35 %	20 %	20 %	20 %	20 %
16–31,5 mm	–	–	30 %	30 %	30 %	30 %
Pigment	–	Black 3 %	–	Red 1 dose	Red 2 dose	Yellow 1 dose

určení vlivu přidání pigmentu na tlakovou pevnost betonu.

Byly připraveny čtyři skupiny vzorků ze záměsí:

- 1 - referenční vzorky – beton bez přidání pigmentů
- 2 - vzorky z betonu stejného složení s přidáním maximálního doporučeného množství červeného pigmentu (dvě dávky)
- 3 - vzorky z betonu stejného složení s přidáním jedné dávky červeného pigmentu
- 4 - vzorky z betonu stejného složení s přidáním jedné dávky žlutého pigmentu

Jednotlivé dávky pigmentu obsahují doporučenou skladbu pigmentu dle vlastností pojiva. Pigment je obvykle balen tak, že na 50 kg pojiva se použije jedna až dvě dávky. Předmětem zkoušek vzorků červeného betonu obarveného oběma způsoby (jednou a dvěma dávkami pigmentu) bylo sledování vlivu množství přidaného pigmentu na tlakovou pevnost betonu.

Tlaková pevnost druhé série nebarvených a červených betonových vzorků byla zkoušena po 3, 7 a 28 dnech, zatímco vzorky ze žlutého betonu byly zkoušeny pouze po 28 dnech.

Všechny vzorky byly skladovány ve vlhké místnosti až do dne zkoušení.

## POPIS VÝSLEDKŮ ZKOUŠEK A DISKuze

### Tlaková pevnost

Výsledky zkoušek tlakové pevnosti vzorků v první sérii jsou uvedeny na obr. 1. Je zde vidět, že v prvních dnech mají vzorky vyrobené z černého betonu vyšší pevnost než vzorky z nebarveného betonu. Po 28 dnech je však tlaková pevnost černého betonu jen nevýrazně vyšší než tlaková pevnost nebarveného betonu.

Tlaková pevnost betonu byla stanovena i na válcích o průměru/výšce  $\varnothing/h = 150/300$  mm. Soubor vypočtených pevností na válcích a krychlich o hraně  $a = 150$  mm byl porovnán s hodnotami naměřených pevností (obr. 2).

$$f_{c,cube}^{15} = (1,2 f_{c,cyl}^{15/30}) / 0,95$$

Podle obr. 2 černé betonové krychle dosáhly mírně vyšší hodnoty pevnosti betonu v tlaku po 28 dnech než zkušební prvky z referenčního materiálu. Černé betonové zkušební válce vykazovaly pevnost v tlaku po 28 dnech

Obr. 1 Tlaková pevnost černého a nebarveného betonu zkoušená na krychlich různého stáří [4]

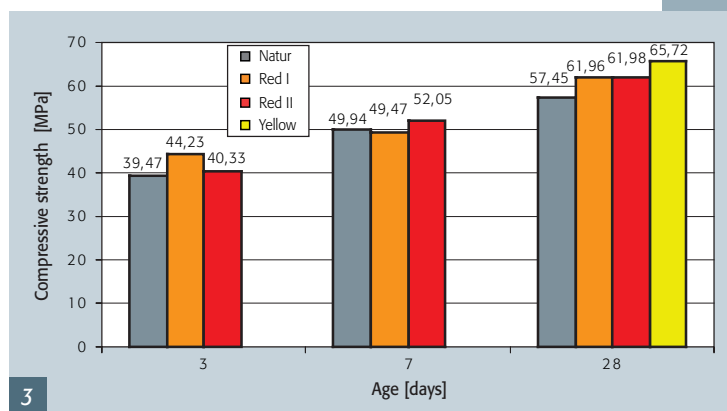
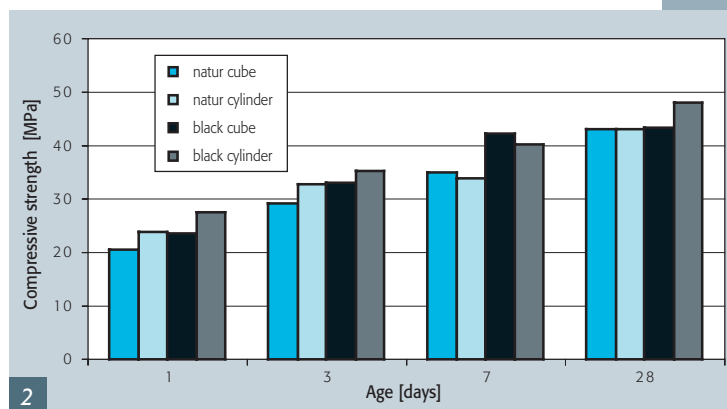
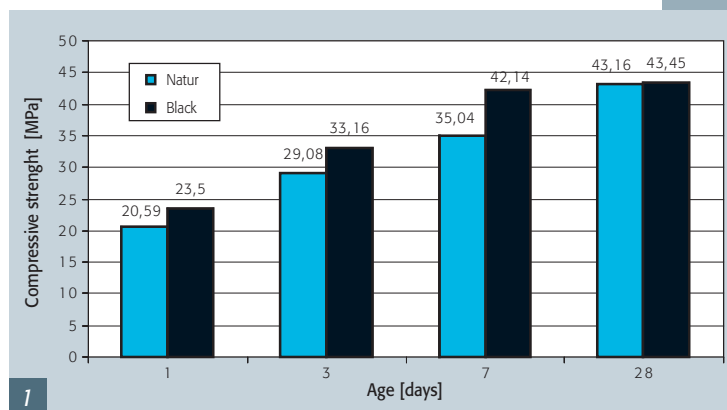
Fig. 1 Compressive strength of black and natural concrete tested on cubes, for different age [4]

Obr. 2 Srovnání tlakových pevností černého a nebarveného betonu měřených na krychlich a válcích [4]

Fig. 2 Comparison of compressive strength of black and natural concrete tested on cubes and cylinders [4]

Obr. 3 Pevnost betonu v tlaku měřená na krychlich z barevného a nebarveného betonu [5]

Fig. 3 Compressive strength of coloured and natural concrete tested on cubes, for different age [5]

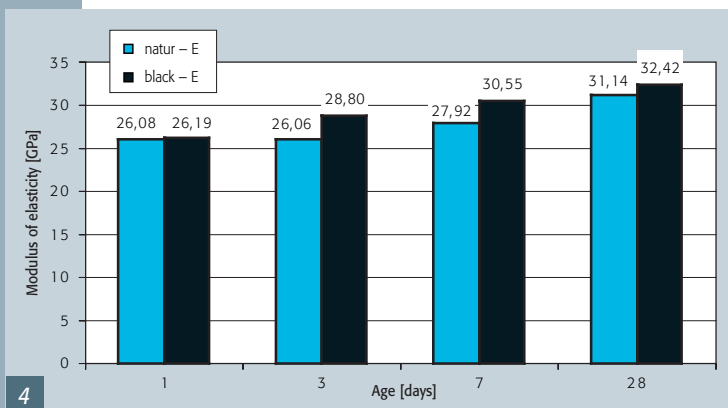


vyšší o 4 až 5 MPa než prvky připravené z nebarveného betonu. Tento vztah pevností může být vysvětlován hutnější konzistencí směsi černého betonu. Na základě porovnání výsledků můžeme konstatovat, že přidáním černého pigmentu do betonové směsi v množství 3 % z obsahu pojiva nedojde k ovlivnění tlakové pevnosti betonu.

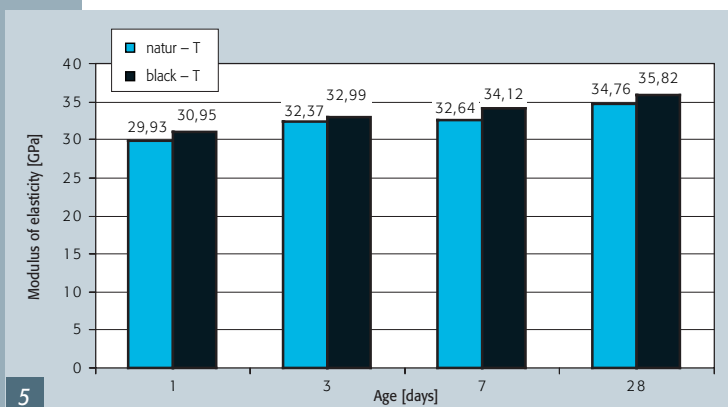
Výsledky zkoušek druhé série vzorků jsou zobrazeny na obr. 3. V první části grafu na obr. 3 jsou hodnoty měřené na betonových vzorcích ve stáří tři dny. Vzorky připravené z obou typů červeného betonu vykazovaly vyšší pevnost v tlaku než nebarvený beton. Dokonce

i beton s přidáním jedné dávky pigmentu měl vyšší hodnotu, avšak tlaková pevnost stejného betonu po sedmi dnech byla už o trochu nižší, méně než 0,5 MPa, než nebarveného betonu. Pevnost betonu obarveného dvojnásobnou dávkou pigmentu byla o 2 MPa vyšší.

Po 28 dnech byly pevnosti v tlaku všech barvených betonů o 4 až 8 MPa vyšší než pevnost referenčního nebarveného betonu. Největší rozdíl byl u žlutého betonu. Příčina tohoto jevu byla zřejmě v množství připravovaného betonu. Protože tohoto betonu bylo připravováno nejmenší množství, podmínky mísení se pravděpodobně lišily od mísení ostat-



4



5

ních směsí. Na základě získaných výsledků je možno konstatovat, že přidání barevných pigmentů do směsi čerstvého betonu nezpůsobí pokles jeho pevnosti v tlaku.

#### Statický modul pružnosti

Naměřené hodnoty statického modulu pružnosti černého a nebarveného betonu jsou vyneseny na obr. 4. Křivky ukazují, že modul pružnosti černého betonu je opět vyšší než modul pružnosti referenčního nebarveného betonu, zejména v ranném stádiu je rozdíl větší

rychlejším nárůstem sledované veličiny u černého betonu. Hodnota rozdílu klesá s narůstajícím stářím betonu a po 28 dnech jsou hodnoty modulu pružnosti černého a nebarveného betonu téměř totožné.

Statický modul pružnosti betonu lze teoreticky spočítat ze vztahu

$$E_{bs} = 9,25 \sqrt{f_{c,cube}^{15} + 10} \text{ [GPa]},$$

kde  $f_{c,cube}$  je pevnost betonu v tlaku měřená na krychlich o hraně  $a = 150$  mm.

Výsledky vypočítaných statických modulů pružnosti betonů zkušebních vzorků

jsou vyneseny na obr. 5. Konečný rozdíl mezi spočtenými moduly pružnosti černého a nebarveného betonu je téměř stejný jako u hodnot naměřených při zkouškách. Hodnoty spočtených modulů pružnosti jsou o 3 až 5 GPa vyšší než hodnoty získané měřením.

Na základě získaných výsledků je možno konstatovat, že pro černý beton vyrobený přidáním 3 % pigmentu z obsahu pojiva je možno vyloučit, že přidání pigmentu do směsi způsobí pokles hodnot statického modulu pružnosti a pevnosti betonu v tlaku.

#### Literatura:

- [1] Egger C. M.: Problems with coloured concrete, Betonwerk + Fertigteil – Technik, 7/05, str. 14–20
- [2] [www.elementispigments.com](http://www.elementispigments.com)
- [3] [www.sika-croatia.hr](http://www.sika-croatia.hr)
- [4] Duvnjak M.: Obojani beton, Diplomski rad, Građevinski fakultet Sveučilište u Zagrebu, str. 99, 2005
- [5] Lovrić T.: Utjecaj pigmenta na čvrstoću betona, Završni rad, Građevinsko – arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu, str. 39, 2008

Obr. 4 Hodnoty statického modulu pružnosti měřené na betonových vzorcích z černého a nebarveného betonu různého stáří [4]

Fig. 4 Static modulus of elasticity measured on natural and black concrete, for different age [4]

Obr. 5 Statické moduly pružnosti spočítané pro černý a nebarvený beton různého stáří [4]

Fig. 5 Static modulus of elasticity calculated on natural and black concrete, for different age [4]

Obr. 6 Beton s a) jednou a b) dvěma dávkami červeného pigmentu [5]

Fig. 6 a) 1 dose and b) 2 doses of red pigment in concrete [5]



6a



6b

### Vliv množství přidaného pigmentu

Výsledky zkoušek červeného betonu s jednou a dvojitou dávkou pigmentu ukázaly, že zbarvení betonu nemá žádný vliv na jeho pevnost v tlaku, tzn. pevnost se nesníží.

Na obr. 6 je vidět, že barevný rozdíl není příliš velký. Abychom získali realistický vzhled barevného odstínu, nechali jsme vzorky nějakou dobu uložené ve vnějším prostředí, kde mohlo dojít k jejich přirozenému stárnutí a mohl být sledován vliv množství pigmentu na trvanlivost barevného odstínu.

### ZÁVĚR

Běžný beton, do kterého jsou přidávány barevné pigmenty, se rychle stal nejpoužívanější dekorativním betonem díky jednoduchosti přípravy. Během posledních let se však objevily některé chyby a defekty týkající se trvanlivosti barevného odstínu a mechanických vlastností betonu. Uskutečněné zkoušky umožnily stanovit množství přidaného pigmentu, které ještě negativně neovlivní mechanické vlastnosti betonu. Tato omezení není možné brát dogmaticky, neboť je vždy celá řada parametrů, které určitou kombinací mohou způsobit pokles mechanických vlastností materiálu. Také otázka trvanlivosti a stálosti barevného odstínu betonu ještě není dořešena a není stanovena univerzální formulace, která by případným změnám zabránila.

V experimentální části projektu byly porovnány mechanické vlastnosti (pevnost betonu v tlaku a statický modul pružnosti) různě starých černých a nebarvených betonů, tlakové pevnosti červených a žlutých betonů byly porovnány s referenčními vzorky za účelem stanovení vlivu množství přidaného pigmentu na pevnost betonu v tlaku.

Po analýze získaných výsledků bylo možno učinit následující závěry:

- prvky barveného betonu měly v raném stádiu vyšší tlakovou pevnost než prvky z referenčního betonu,
- naměřená pevnost barevných betonů v tlaku byla stejná, příp. vyšší než u referenčních vzorků z nebarveného betonu, na základě toho je možno konstatovat, že přidání pigmentů v doporučeném množství nevytváří nebezpečí poklesu tlakové pevnosti betonu,
- prvky z černého betonu raného stádiu měly vyšší modul pružnosti než prvky vyrobené z referenčního betonové směsi,
- po 28 dnech byly moduly pružnosti přibližně stejné (přičemž moduly pružnosti černého betonu byly nevýznamně vyšší), takže je možno konstatovat, že zvýšení množství přidaného pigmentu nezpůsobí snížení hodnot mechanických vlastností betonu.

Byly zkoušeny dvě série vzorku s různým přidaným množstvím červeného pigmentu. Nebyla naměřena významnější

odchylka hodnot pevnosti v tlaku a prvky měly téměř stejný barevný odstín. Otázkou zůstává, jak se bude měnit během času sytost barevného odstínu a jaká bude jeho stálost, budou-li zkušební prvky ponechány na slunci.

*Příspěvek na toto téma zazněl na konferenci Sanace 2009 (pozn. redakce).*

*Prof. dr. sc. Ivana Banjad Pečur  
Fac. of CE, Univ. of Zagreb, Dept. of materials  
Kaciceva 26, 10000 Zagreb  
Croatia  
tel.: +385 146 391 62  
e-mail: banjadi@grad.hr  
www.grad.hr*

*Doc. dr. sc. Sandra Juradin  
Fac. of CE and Arch., Univ. of Split  
Dept. of Struct. materials  
Matice hrvatske 15, 21000 Split  
Croatia  
tel.: +385 213 033 39  
e-mail: sandra.juradin@gradst.hr  
www.gradst.hr*

*Miroslav Duvnjak, B. S. in Civil Engineering*

*Tomislav Lovrič, student of Graduate studies: CE*

# BETOSAN®

alternativa, kterou oceníte

DRŽITEL CERTIFIKÁTŮ ČSN EN ISO 9001 A 14001





**SPECIÁLNÍ MALTOVINY PŘÍSADE DO BETONU A MALT**

**PŘÍSADE DO BETONU**  
ochrana před mrazem **FROSTOP L (LQ)**  
potlačení objemových změn **ETRISAN**  
příprava PCC kompozic in-situ **DENSOCRETE PPE TH**  
PP mikrovýztuž **POLYFIX**

**RYCHLETUHNOUCÍ MALTOVINY**  
**MONOCRETE (TH) rapid**  
**MONOCRETE XP (TH) rapid**

**ZÁLIVKOVÉ ROZPÍNAVÉ KOMPOZICE**  
s krystalizační přísadou - **SUPERFIX XP, SUPERFIX XP TH**

**OBCHODNĚ-TECHNICKÁ KANCELÁŘ**  
**Na Dolinách 23 mobil: +420 602 121 617**  
**147 00 Praha 4 tel./fax: +420 241 431 212**  
**e-mail: praha@betosan.cz**

**INJEKTÁŽNÍ HYDROIZOLAČNÍ A ZPEVNŮJÍCÍ KOMPOZICE**  
na PC bázi s přísadou **XYPEX®**  
**INJEKTOSTOP 2003XPB**

**ZÁLIVKOVÉ ROZPÍNAVÉ VYSOKOPEVNOSTNÍ KOMPOZICE**  
na PCC bázi **SUPERFIX, SUPERFIX TH**

**ROZPÍNAVÉ VNITŘNĚ HYDROFIZOVANÉ KOMPOZICE**  
na PCC bázi s přísadami **WATERFIX RH**

**KOROZIVZDORNÉ VYSTÝLKY**  
na PCC bázi – **COROLIT**