

Pevnost v tlaku betonu s popílky podle DIN EN 450 – Příklad do betonu podle DIN 1045-2

1. Úvod

Zlepšeným konsistenčním působením a pucoánovou reaktivitou popílku jako přísady do betonu podle DIN 1045-2 může být obsah cementu v betonu významně snížen. Tím není ovlivněna ani pevnost ani trvanlivost betonu.

Je známo, že působení popílku mimo jiné v určitých mezích závisí také na použitém cementu. V literatuře bylo kromě toho několikrát poukázováno na zásadní rozdíl v působení černouhelných popílků z topenišť s tavící komorou a z granulačního topeniště [1, 2].

Systematické výzkumy k možnému rozsahu pevnosti v tlaku betonu za použití určitého cementu a černouhelných popílků z rozdílného spalování ještě nebyly k dispozici. Z tohoto důvodu byly na Institutu pro pevné konstrukce a technologie stavebních materiálů při Univerzitě Karlsruhe (Prof. Dr.-Ing. H. K. Hilsdorf) prováděny již od roku 1984 srovnávací výzkumy 9 černouhelných popílků se zkušebními (kontrolními) značkami [3]. Mezi zkoumanými popílky pocházely tři z topenišť s tavící komorou (S) a šest popílků z granulačního topeniště (T). Výsledky výzkumu byly uvedeny ve zprávě č. 52/82 852573 0450 [4].

2. Stanovení cílů

Mělo být srovnatelně zkoumáno, k jakému nárůstu pevnosti může dojít u různých druhů popílků v betonu o stáří mezi 2 a 56 dní a jak velké rozdíly v pevnosti mezi betony s těmito přísadami je možné stanovit.

3. Rozsah a provedení zkoušek

Popílky použité při výzkumech byly odebrány z běžné výroby jako namátkové vzorky.

Jako cement byl použit běžně prodejný portlandský cement PZ 35 F. Příkladou byl rýnský štěrkořísek a odpovídal předepsané čáře zrnitosti A 32/B 32 podle DIN 1045.

Vyrobeny a zkoušeny byly 2 srovnávané druhy betonu bez popílku s množstvím cementu 320 kg/m^3 s vodním součinitelem w/z (voda/cement) 0,50 a 0,65 (beton 1 a 2). U 9 sérií zkoušek s popílkem činil obsah cementu 240 kg/m^3 a obsah přísad do betonu 80 kg/m^3 . Obsah vody v betonu (s výjimkou betonu 2) byl na základě předběžných zkoušek nastaven tak, že byla dodržena hodnota rozlití betonové směsi podle DIN 1048; činila 40 až 42 cm. Beton 2 byl vyroben podle nejvyššího vodního součinitele w/z (voda/cement) u betonu s popílkem s hodnotou 0,65.

Směsi byly vyrobeny 150 l laboratorní míchačkou s nuceným pohybem. Doba mísení po přidání vody činila 2 minuty. U čerstvého betonu byla stanovena hodnota rozlití směsi, objemová hmotnost a obsah vzduchu podle DIN 1048.

Pro zkoušky pevnosti po 2, 7, 28 a 56 dnech bylo vyrobeno po 3 zkušebních kostkách o délce hrany 200 mm. Zkušební tělesa byla podle DIN 1048 po jednom dni vyjmuta, uložena ve vlhku do stáří 7 dnů při 20°C a poté v suchu v klimatizační komoře při 20°C a 65% relativní vlhkosti vzduchu.

4. Výsledky zkoušek

4.1 Vlastnosti čerstvého betonu

Hodnota rozlití betonové směsi, objemová hmotnost čerstvého betonu a měřený obsah vzduchu zkoušených betonů jsou uvedeny v tabulce 1. Betony mohly být všechny prakticky zcela ztuhlé. Požadovaná hodnota rozlití směsi byla u všech směsí dodržena. Obsah vody w byl u všech betonů s přísadami nižší než u srovnávaného betonu 1, který činil $w = 161 \text{ l/m}^3$. Obsah vody betonů s popílky ležel u střední hodnoty 150 l/m^3 mezi 143 l/m^3 a 158 l/m^3 .

Beton	Popílek	Druh topeniště	Obsah cementu kg/m ^{3 1)}	Obsah popílku kg/m ^{3 1)}	Vodní součinitel w/z	w/(z + f)	Objemová hmotnost čerstvého betonu kg/m ^{3 1)}	Obsah vzduchu % hmotnosti	Hodnota rozliti cm	Pevnost v tlaku ve stáří			
										N/mm ²			
										2d a	7d b	28d c	56d d
1	–	–	320	0	0,50	0,50	2390	1,4	42,0	16,6	29,6	41,3	46,8
2	–	–	320	0	0,65	0,65	2330	1,3	>70,0	7,6	14,1	23,7	28,4
3	A	T	240	80	0,60	0,45	2410	1,5	40,0	5,8	29,5	44,4	50,2
4	B	S	240	80	0,61	0,46	2390	1,2	41,0	17,1	30,6	42,9	48,4
5	C	T	240	80	0,60	0,45	2410	1,3	39,5	16,2	30,5	39,6	44,4
6	D	T	240	80	0,64	0,48	2400	1,2	40,0	14,3	25,7	37,7	41,3
7	E	S	240	80	0,59	0,44	2410	1,0	41,0	15,6	28,7	37,3	45,4
8	F	T	240	80	0,63	0,47	2410	1,5	40,0	14,8	25,5	36,8	42,6
9	G	T	240	80	0,64	0,48	2400	1,0	40,0	15,5	25,4	36,5	43,4
10	H	S	240	80	0,63	0,47	2410	1,0	42,0	13,6	25,0	35,9	42,1
11	I	T	240	80	0,65	0,49	2380	1,1	42,0	13,3	24,3	33,3	41,4

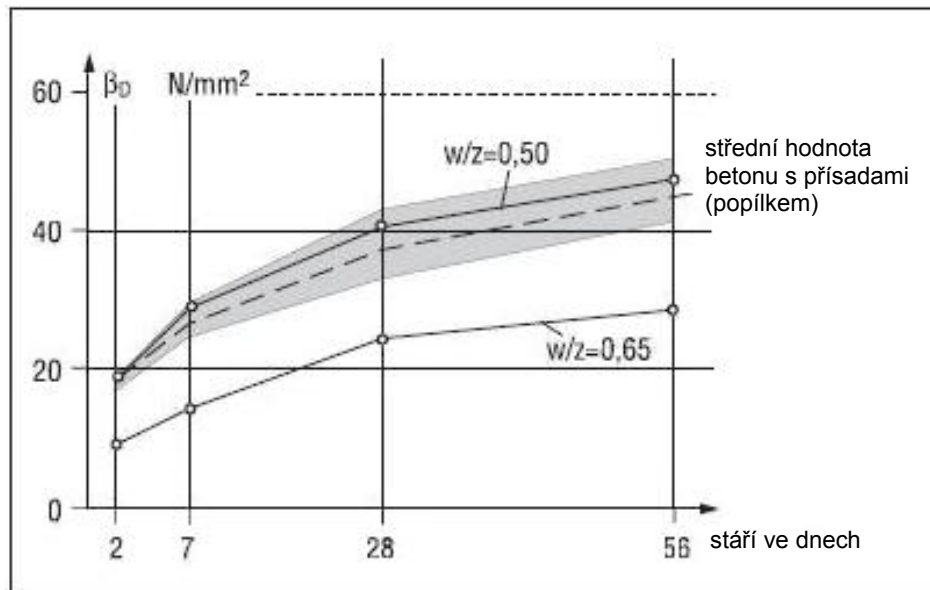
¹⁾ Požadované hodnoty

Tabulka 1 Výsledky zkoušek čerstvého a zatvrdlého betonu

4.2. Vlastnosti zatvrdlého betonu

Výsledky zkoušek pevnosti v tlaku po 2, 7, 28 a 56 dnech jsou uvedeny v tabulce 1.

Na obrázku 1 je znázorněn vývoj pevností zkoušených betonů bez a s popílkem. Kromě toho je zde zaznamenán průběh střední hodnoty pevnosti v tlaku betonu s popílkem. Díky tomuto grafu je zřetelné, že vývoj pevností betonů s popílkem odpovídá kontrolnímu betonu bez popílku.



Obrázek 1 –Vývoj pevnosti zkoumaného betonu

Sloupcové grafy na obrázcích 2a až 2d umožňují srovnání betonů s popílkem mezi sebou a s betony bez popílku. Betony s popílkem jsou seřazeny podle pevnosti v tlaku po 28 dnech. Rozpětí zkušebních hodnot převážně souvisí s opakovaným rozptylem zkoušky a jen v malé míře s vlivem popílku.

Z grafů je zřejmé, že:

- všechny betony s popílky dosáhly s jistotou pevnostní třídy B 25 (C 20/25)(obrázek 2c).
- po 56 dnech je u všech betonů s popílky s jistotou dosažena sériová pevnost pro beton pevnostní třídy B 35 (C 30/37) (obrázek 2d). U staveb, u kterých může být podle DIN 1045-2 smlouveno prokázání pevnostní třídy na pozdější dobu, se vyrábí podle toho beton s 240 kg/m³ cementu a 80 kg/m³ popílku v konsistenci KP(F2) se zkoušenými stavebními materiály s jistotou v pevnostní třídě B 35 (C 30/37).
- u zkoumaných popílků nebyl stanoven žádný systematický vliv druhu spalování. Nárůst pevnosti a hustoty popílků vyvstává z úspory vody (znatelný na malém vodním součiniteli $w/(z+f)$ [$(w/z)_{eq}$] betonu s popílky), působení fileru a pucolánové aktivity.

K ujasnění nárůstu pevnosti z působení fileru a pucolánové reakce jsou na obrázcích 3a až 3d znázorněny zjištěné pevnosti v tlaku u různého stáří vzorků v závislosti na hodnotě vodního součinitele (w/z). Výsledky nulové (slepé) zkoušky s vodním součinitelem $w/z = 0,50$ a $w/z = 0,65$ jsou navzájem spojeny přímkou. Je možné vycházet z toho, že tato přímka výstižně představuje v první přibližné hodnotě vztah mezi vodním součinitelem w/z a pevností v tlaku. Pevnosti betonů s popílky leží u všech stupňů stáří nad zakreslenou přímkou a jsou rozptýleny v určitém rozpětí kolem druhé přímky, která je znázorněna čárkovaně. Ta probíhá téměř paralelně k přímce pro nulovou (slepu) zkoušku. Vzdálenost přímek charakterizuje nárůst pevnosti pomocí popílku ve srovnání s betonem bez popílku se stejnou hodnotou vodního součinitele w/z .

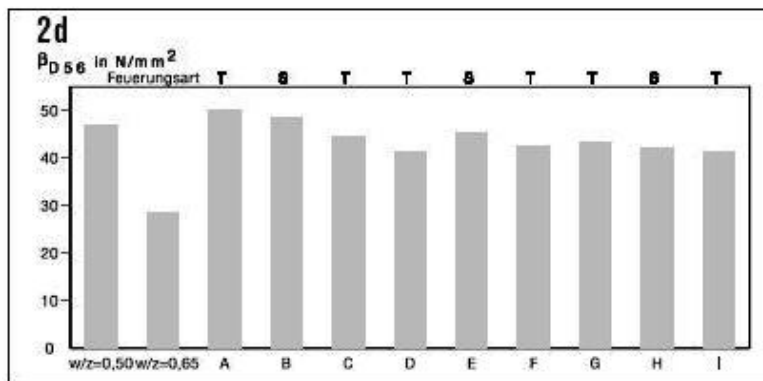
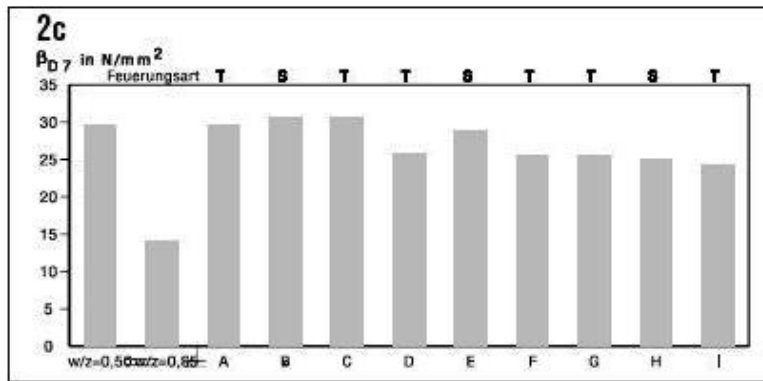
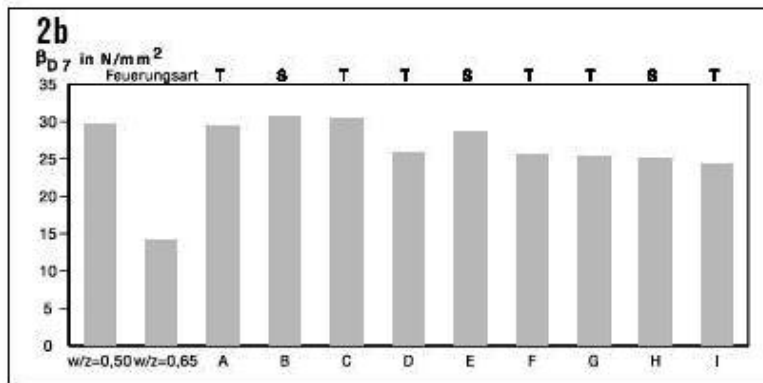
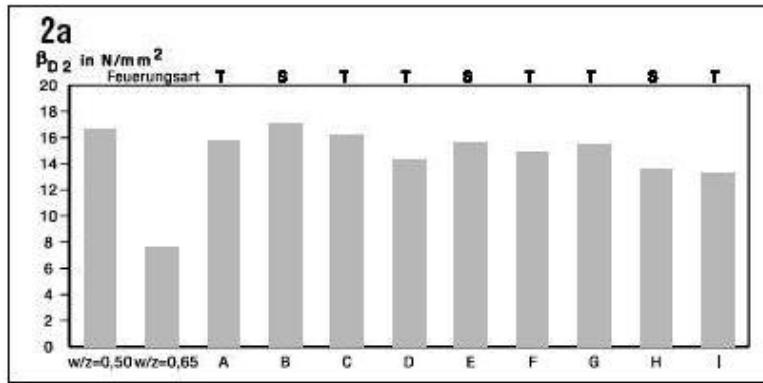
Nárůst pevnosti činil průměrně ve stáří 2 dnů přibližně 5,8 N/mm² a zvýšil se na 12,8 N/mm² po 56 dnech.

5. Závěry

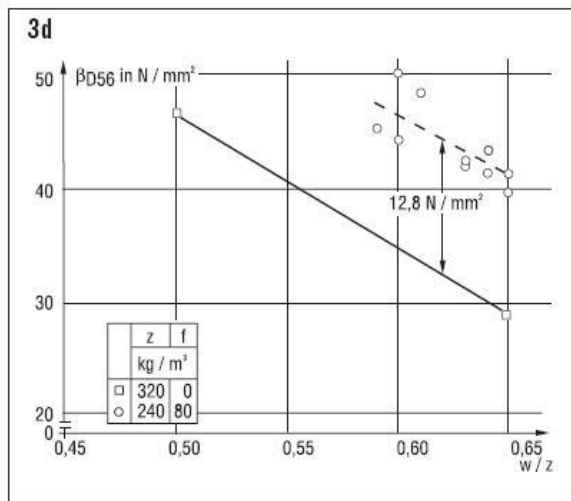
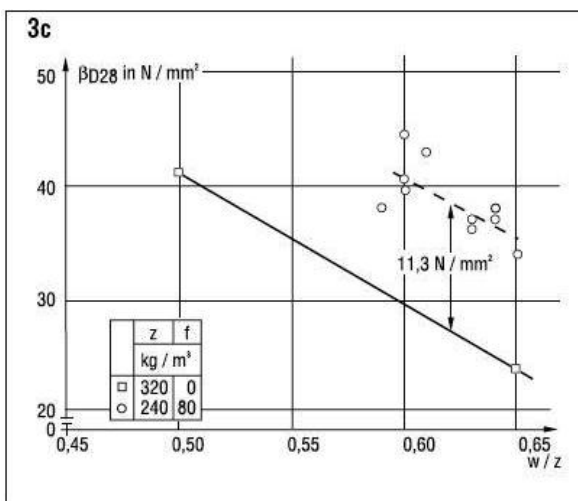
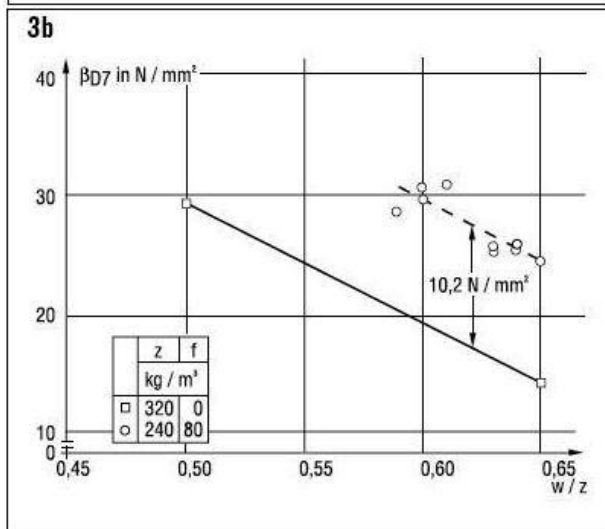
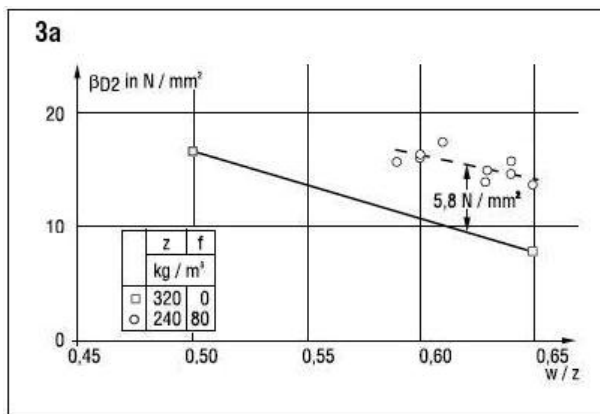
- Při použití určeného cementu nebyly zjištěny žádné zásadní rozdíly v účinnosti popílků z topenišť s tavící komorou a z granulačního topeniště.
- Nárůst pevnost 9 zkoumaných popílků je znatelný již po 2 dnech a narůstá zřetelně po 56 dnech. Veškeré betony s obsahem popílku dosáhly po 28 dnech s jistotou pevností třídy B 25 (C 20/ 25), po 56 dnech dokonce sériovou pevnost pevnostní třídy B 35 (C 30/37).
- Vývoj pevnosti betonu s popílky odpovídá vývoji pevností kontrolního betonu bez popílku.

Bibliografie

- [1] Schubert, P.,W. vom Berg: Flugasche mit Prüfzeichen als Betonzusatzstoff nach DIN 1045-2 Betonwerk- und Fertigteiltechnik 45 (1979) S. 602 – 609 und S. 692 – 696
Popílky se zkušebními značkami jako přísady do betonu podle DIN 1045-2 Betonářská a prefabrikovaná technika 45 (1979) str. 602 – 609 a str. 692 – 696
- [2] Scholz, H.: Deutsche Steinkohlen-Verbrennungsrückstände - Arten und Verwendung Betonwerk- und Fertigteiltechnik 45 (1979), S. 595-601
Německé černouhelné popílky a zbytky po spalování – Druhy a použití betonářské a prefabrikované techniky
- [3] Richtlinie für die Erteilung von Prüfzeichen für Flugasche nach DIN 1045-2, Fassung September 1979 Mitteilungen IfBt 11 (1980) S. 39-43
Směrnice pro udělení zkušebních značek pro popílky podle DIN 1045-2, znění září 1979, Sdělení Institutu pro stavební techniku 11 (1980) str. 39 – 43
- [4] Institut für Massivbau und Baustofftechnologie der Universität Karlsruhe Prüfungsbericht Nr. 52/82 852573 0450 vom 30. 10. 1984
Institut pro pevné konstrukce a technologie stavebních materiálů při Univerzitě Karlsruhe, č. 52/82 852573 0450 z 30. 10. 1984



Obrázky 2a – 2d – Pevnost v tlaku betonu s popílkiem a bez popílku po určité době stárnutí



Obrázky 3a – 3d – Pevnost v tlaku betonu po určité době stárnutí v závislosti na vodním součiniteli