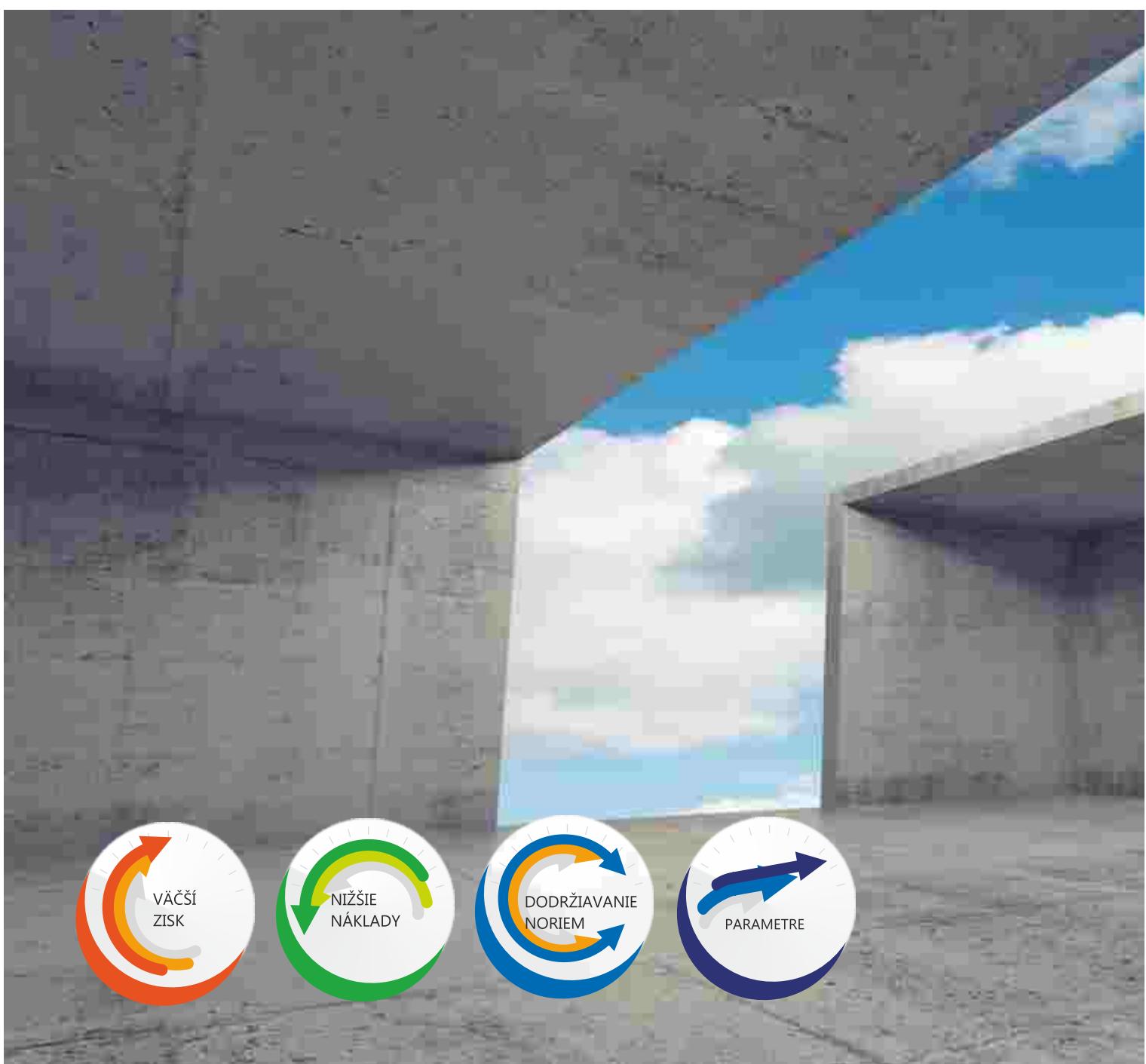


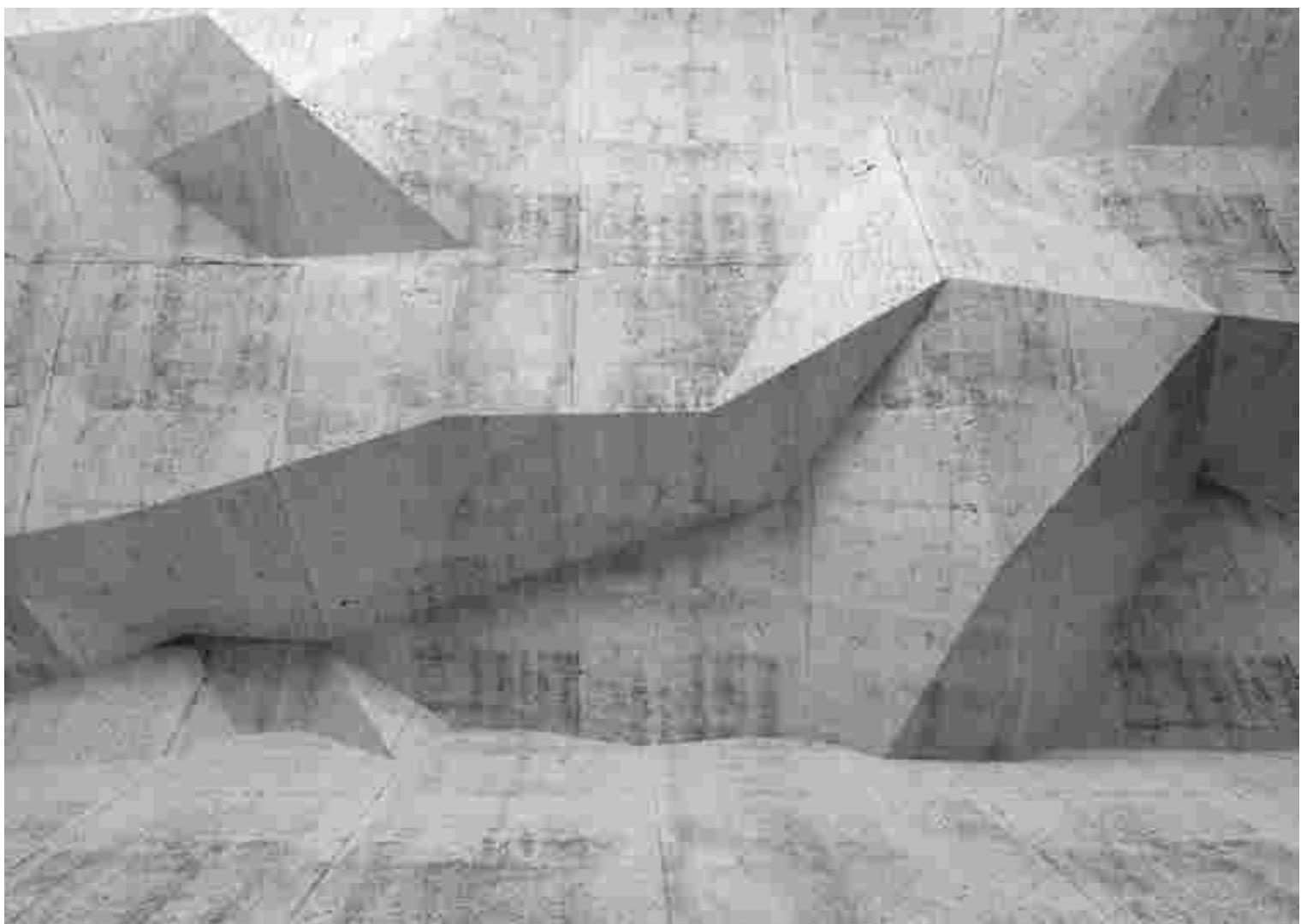
Popolček do betonu

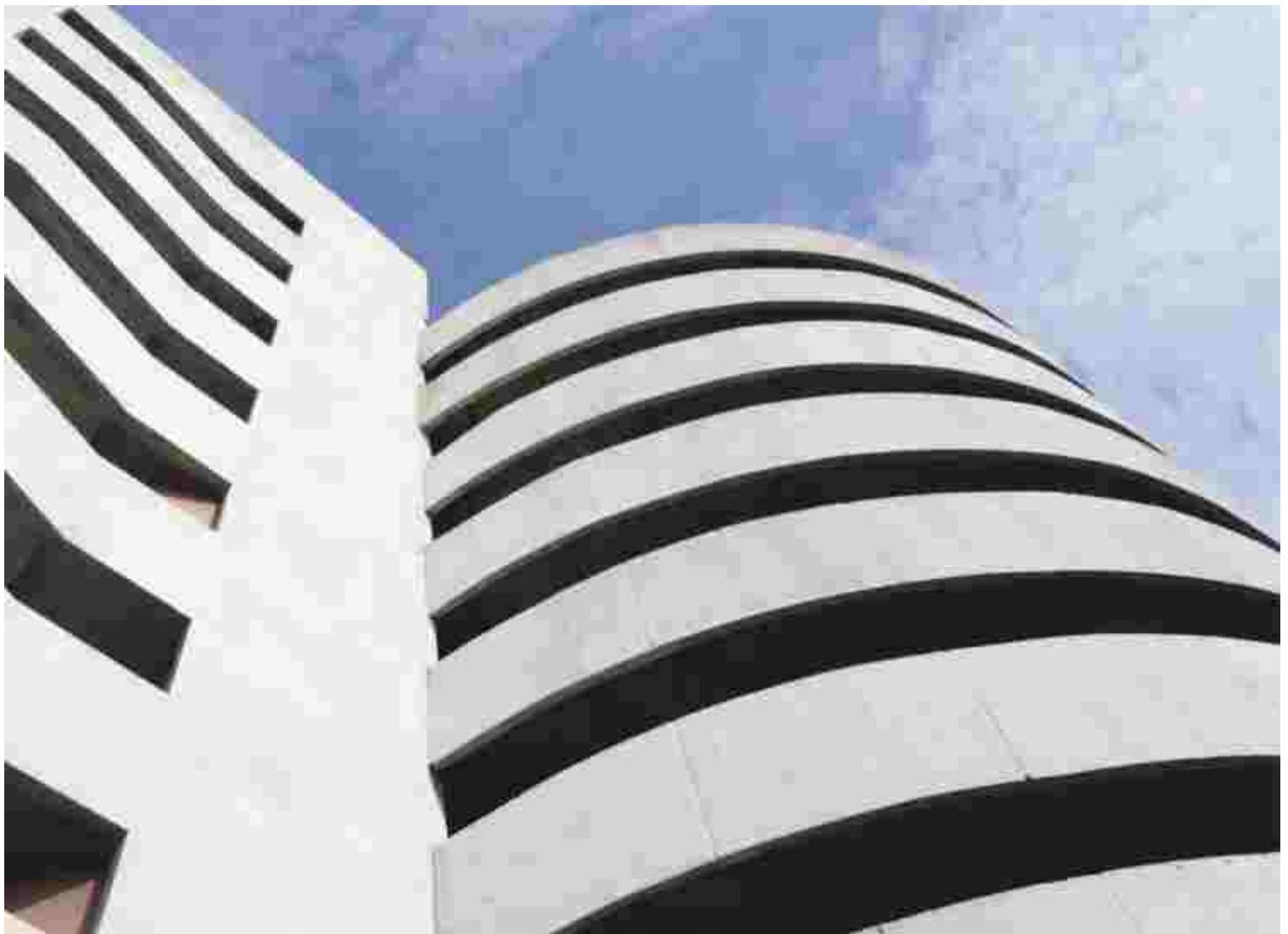
PRÍRUČKA 2020



ZOZNAM ČASTÍ

Úvod	3
1. Výhody používania popolčeka.....	4
2. Príklady receptúr hotového betónu s prímesou popolčeka	6
3. Požiadavky v rámci w/c, obsahu cementu a pevnostnej triedy pre betónovú zmes.....	8
4. Normalizácia popolčeka, využívaného ako prímes do betónu	10
4.1 Požiadavky pre popolček do betónu.....	10
4.2 Kategórie popolčekov.....	10
4.3 Ukazovateľ aktivity popolčeka	11
4.4 Požiadavky, týkajúce sa dlhej životnosti.....	12
5. Zásady pri používaní popolčeka	13





ÚVOD

Iríučka je určená producentom betónu a betónových prefabrikátov, projektantom a odborníkom na betón.

V roku 1996 vošla do platnosti norma DIN EN 450, ktorá upravuje normy pre používanie popolčeka do betónu v Nemecku a započala normalizáciu v celej Európskej únii. V Poľsku norma PN-EN 450:1998 „Popolček do betónu – definície, požiadavky a kontrola kvality“ začala platiť v roku 1998. V roku 2004 prebehla aktualizácia vyššie zmienenej normy v dvoch častiach:

- PN-EN 450-1:2004 Popolček do betónu – definície, požiadavky a kontrola kvality
- PN-EN 450-2:2004 Popolček do betónu – 2. časť posu-dzovanie zhody

Po ďalších aktualizáciách, v deň vydania príručky, sú aktuálnymi normami:

- PN-EN 450-2:2006
- PN-EN 450:1:2012

Údaje, ktoré sú umiestnené v príručke, majú cieľ poukázať na to, že využívanie popolčeka umožňuje znížiť množstvo použitého cementu a kamenív, čo je výhodné ekonomicky aj ekologicicky.

Výpočty a receptúry, ktoré sú v publikácii uvedené, majú ilustračný charakter.

Dúfame, že sa príručka pričiní o širšie využívanie popolčeka pri výrobe betónu ako cennej suroviny a tiež prispením proekologickými aktivitami, ktoré vedú k vyrovnanému rozvoju.

Publikácia je vypracovaná podľa právneho stavu ku dňu 31.1.2018

1. VÝHODY POUŽIVANIA POPOLČEKA



Širšie využitie

O širšom využití popolčeka do betónu rozhodujú aspekty technického, ekologického a technického rázu. Aktuálne sa popolček (kremíkový) využíva na produkciu:

hotového betónu z betonárne

betónu na masívne konštrukcie

hydrotechnického betónu

betónu na potreby prefabrikácie



Zhoda s normami a predpismi

Zhodne s normou PN-EN 206+A1:2016-12 Beton – Betón – požiadavky, vlastnosti, produkcia a zhoda:

popolček možno využívať do betónu ako minerálnu príasadu typu II

hmotnostné percento popolček/cement <=0,33



Ekonomické výhod

Pre konečného klienta je často najdôležitejším faktorom cena betónu, preto je pre klienta kľúčové znižovať náklady pri produkcií betónovej zmesi. Nadobudnutý ekonomický účinok z príčin využívania popolčeka v betóne je možné preanalyzovať na príklade produkcie betónu C30/37 XA1(Tab. 1). S použitou receptúrou s použitím popolčeka do betónu:

pri produkcií 1 m³ betónu bola nadobudnutá **úspornosť 6,9 zł***

čo stanovuje **zníženie nákladov o 4,5%**



Ekologicke výhody

V rámci aspektu s ohľadom na životné prostredie využívanie popolčeka pri vytváraní betónu nielen upravuje jeho vlastnosti, ale taktiež vplýva priamo na zníženie emisií CO₂ a je ekonomickým prvkom pri obehovom hospodárstve tzv. circular economy. Využívanie popolčeka v zložení betónu znamená tiež činnosti, ktoré zapadajú do filozofie rovnováhy rozvoja, čiže:

zmenšenie množstva použitého cementového slinku

obmedzenie znečistenia životného prostredia a emisií oxidu uhličitého

šetrenie prírodnými surovinami a fosílnymi palivami

zníženie množstva kamenív pri tvorbe betónu

Realizované početné výskumy a registrácia v REACH potvrdzujú, že popolček, ktorý sa využíva pri produkcií betónu je ohľaduplný voči životnému prostrediu, je netoxický a nie je klasifikovaný do kategórie nebezpečných látok.

*) Vyššie je uvedený vlastný výpočet ako ilustračný príklad, pripravený na základe cien surovín, aktuálnych v prvom kvartáli 2017. Aby sme disponovali správnymi výpočtami pre vybrané územie a čas, je potrebné vypracovať vlastné výpočty.



Technické výhody

Využitie popolčeka rovnako v stvrdnutom betóne ako aj v betónovej zmesi znamená:

zlepšenie čerpatel'nosti a spracovateľnosti zmesi

predĺženie začiatku a konca spájania betónovej zmesi

zníženie kontrakcie betónu

lepšia údržba konzistencie betónu

zníženie zmršťovania betónu

úprava zrnitosti štrkovej zmesi

účasť na reakciach viazania cementu

zníženie množstva „výkvetov“ v stvrdnutom betóne

zvýšenie pevnosti betónu na dlhšie obdobie

produkcia samozhutňujúceho betónu (SCC)

produkcia betónu s vysokým obsahom popolčeka (HVFA)

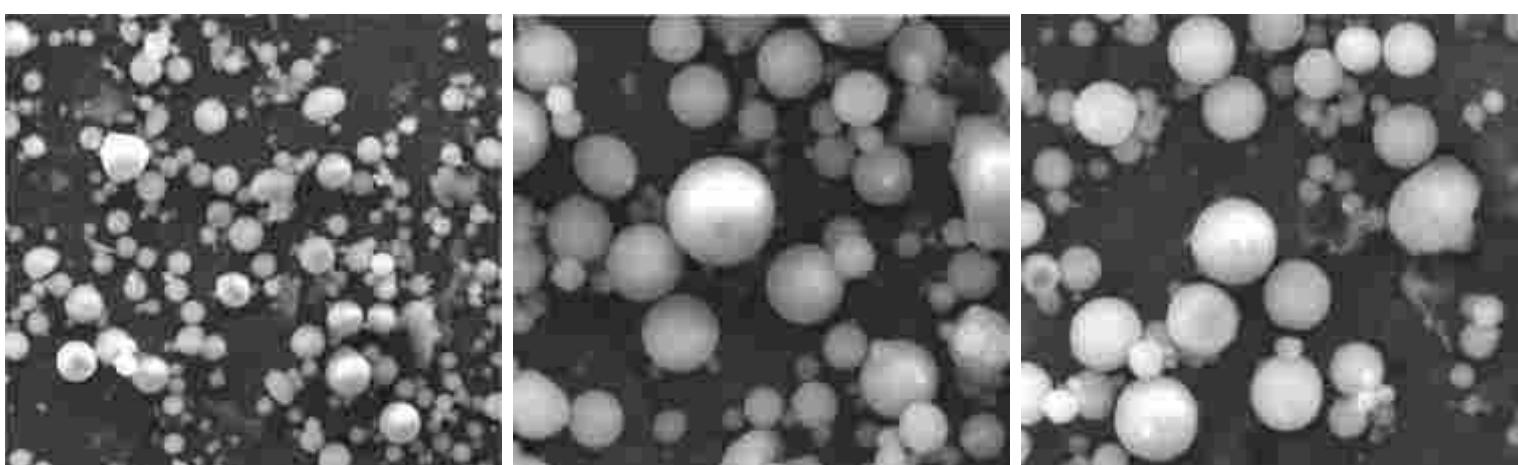
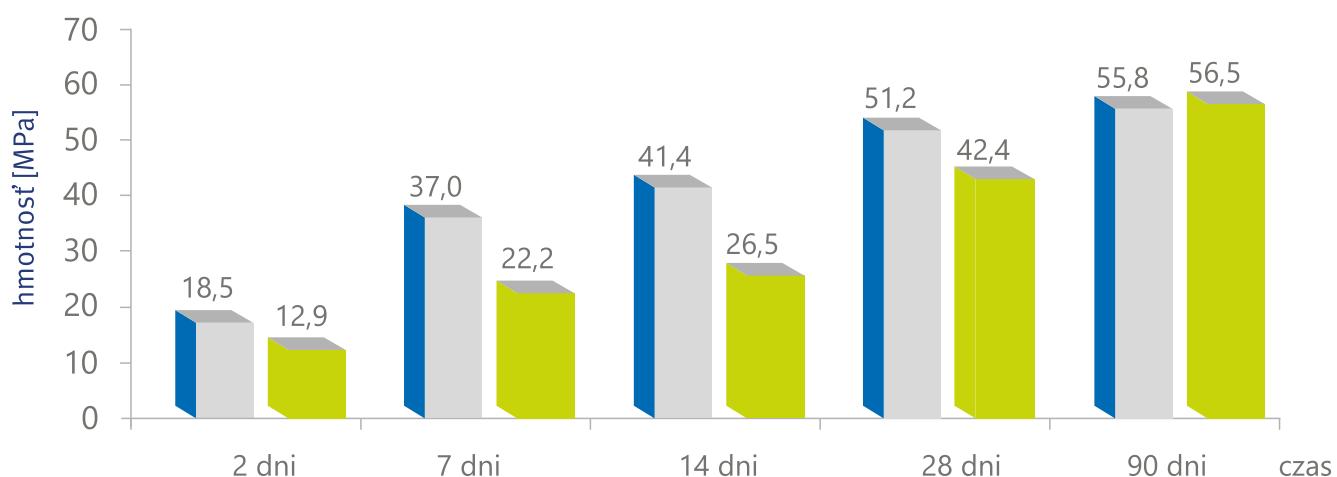
obmedzenie negatívnych činiteľov pri používaní reaktívneho kameniva

zvýšenie odolnosti vytvrdeného betónu voči chemickej korózie

vyhýbanie sa tepelným namáhaniam a zbytočnému betónu

zlepšenie zrnitosti agregátnej zmesi

- CEM I portlandský cement
- CEM II/B-V portlandský popolčekový cement



Tab. 1
Príklady ekonomických výhod.

Lp.	NORMATÍVNE POŽIADAVKY				Ilość m ³	SUROWCE					
	Trieda betónu	Trieda betónu	Max. v/c	Min. obsah CEM I pri koncepte koeficientu k (kg/m ³)		Štrk 2/8		Štrk 8/16		Piesok 0/2	
						53,00 zł/t		55,00 zł/t		15,00 zł/t	
						Počet kg na m ³ produktu	zł/m ³	Počet kg na m ³ produktu	zł/m ³	Počet kg na m ³ produktu	zł/m ³
2	C 30/37	XA1	0,55	300	1	630	33,39	630	34,65	630	9,45
3	C 30/37	XA1	0,55	265	1	600	31,80	600	33,00	600	9,00

2. PRÍKLADY RECEPTÚR HOTOVÉHO BETÓNU S PRÍMESOU POPOLČEKA

Tab. 2
Príklady receptúr hotového betónu.

Lp.	NORMATÍVNE POŽIADAVKY					Množstvo m ³	RECEPTÚRY			
	Trieda betónu	Trieda betónu	Max. v/c	Min. obsah CEM I pri koncepte koeficientu k (kg/m ³)	Min. obsah certifikovaného popolčeka (kg/m ³)		SUROVINY			
							Štrk 2/8	Štrk 8/16	Piesok 0/2	
							Počet kg na m ³ produktu	Počet kg na m ³ produktu	Počet kg na m ³ produktu	
1	C 20/25 S3	XC1	0,65	230	76	1	613	613	613	613
2	C 25/30 S3	XC2	0,60	247	82	1	604	604	604	604
3	C 30/37 S3	XC3	0,55	247	82	1	612	612	612	612
4	C35/45 S3	XC4	0,50	265	87	1				696



SUROVINY								Náklady na vstupy (suroviny)	Ekonomický efekt		
Cement CEM I 42,5		Certifikovaný popolček		Voda		Chemická prímes					
Menej cementu											
	326,00 zł/t		80,00 zł/t		1,00 zł/m ³		4,00 zł/kg				
Počet kg na m ³ produktu	zł/m ³	Počet kg na m ³ produktu	zł/m ³	Počet kg na m ³ produktu	zł/m ³	Počet kg na m ³ produktu	zł/m ³	zł/m ³	w zł/m ³	Úspornosť v % nákladov na vstupy	
300	97,80	0	0	165	0,17	3,00	12,00	187,46	0,00	0,00	
265	86,39	100	8,00	165	0,17	3,00	12,00	180,36	7,10	3,79	

Vyššie uvedené vlastné výpočty ako ilustračný príklad, boli pripravené na základe cien surovín, aktuálnych v prvom kvartáli 2020. Aby sme disponovali správnymi výpočtami pre vybrané územie a čas, je potrebné vypracovať vlastné výpočty.



RECEPTÚRY							
SUROVINY							
Cement CEM I		popolček	DRVENÝ KAMEŇ 2/8	DRVENÝ KAMEŇ 8/16	Voda	Chemická prímes	Hustota betónovej zmesi
Počet kg na m ³ produktu		Počet kg na m ³ produktu	kg/m ³				
230		80			169	2,00	2320
250		90			168	2,50	2323
250		100			154	3,00	2343
265		100	485	696	150	3,00	2395

3. POŽIADAVKY V RÁMCI W/C, OBSAHU CEMENTU A PEVNOSTNEJ TRIEDY PRE BETÓNOVÚ ZMES

Tabela 3.

Požiadavky	EXPOZÍCIE									
	Bez korózie	Karbonizácia					Chloridy			
		XC0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1
Max. V/C	Bez požiadaviek	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55
Min. trieda	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37
Min. obs. cementu [kg/m ³]	Bez požiadavie	260	280	280	300	300	320	340	300	300
Min. obs. CEM I pri koncepte koeficientu k [kg/m ³]	Bez požiadaviek	230	247	247	265	265	283	300	265	265
Min. obs. popolčeka pre CEM 1 pri koncepte koeficientu k [kg/m ³]	Bez požiadaviek	76	82	82	87	87	93	99	87	87
Min. obs. CEM II/A pri koncepte koeficientu k [kg/m ³]	Bez požiadaviek	236	255	255	273	273	291	309	273	273
Min. obs. prímes popolčeka pre CEM II/A pri koncepte koeficientu k [kg/m ³]	Bez požiadaviek	59	64	64	68	68	73	77	68	68
Max. obsah vody [kg/m ³]	Bez požiadaviek	169	168	154	150	150	144		165	165
Min. obs. prevzdušnenia [%]	Bez požiadaviek									
Iné	Bez požiadaviek									



EXPOZÍCIE

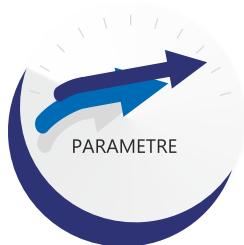
Iné chloridy	Zamŕzanie/odmŕzanie				Chemická korózia			Korózia vyvolaná drobením		
	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3			
XD3										
0,45	0,55	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45	0,55	0,55	0,45
C35/45	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45
320	300	300	320	340	300	320	360	300	300	320
283	265	265	283	300	265	283	318	265	265	283
93	87	87	93	99	87	93	105	87	87	93
291	273	273	291	309	273	291	327	273	273	291
73	68	68	73	77	68	73	82	68	68	73
144	165	165	160	153	160	160	162	165	165	144
Bez požiadaviek	Bez požiadaviek	4,0	4,0	4,0	Bez požiadaviek	Bez požiadaviek	Bez požiadaviek	Bez požiadaviek	Bez požiadaviek	Bez požiadaviek
Bez požiadaviek	Kamenivo s príslušnou odolnosťou voči mrazu v súlade s PN-EN 12620+A1:2010				Bez požiadaviek	Pre XA2 a XA3 je potrebné použiť cement odolný voči sulfátom SR či HSR		Bez požiadaviek	Opracovanie betónového povrchu	Kamenivo s vysokou odolnosťou voči drobeniu

Údaje podľa našich vlastných výpočtov, na základe normatívnych požiadaviek

Norma 206+A1 2016-12 pre jednotlivé xpozičné triedy:

Xo, XC, XS, XF, XA, XM určuje požiadavky v rámci

- maximálneho pomeru voda/cement,
- minimálneho obsahu cementu,
- minimálnej pevnostnej triedy betónu v tlaku,
- minimálneho obsahu vzduchu.





4. NORMALIZÁCIA POPOLČEKA VYUŽÍVANÉHO AKO PRÍMES DO BETÓNU

4.1 Požiadavky na popolček do betónu

Popolček používaný pri produkcií betónu musí byť v súlade s PN-EN 450-1:2012.
Popolček do betónu. Časť 1.: definície, špecifiká a kritéria pre zhodu.

Zhodu popolčeka s normou PN-EN 450-1:2012 je nutné potvrdiť certifikátom zhody, ktorý vydáva osvedčovacia jednotka a náležitým uplatnením zhodného znaku výrobcom.

V súlade s prílohou ZA.2 normy PN - EN 450 -1:2012 prímesy typu II do betónu, malty a zálievky podliehajú posudzovaniu zhody v rámci systému 1+ (Nariadenie 89/106/EEC).

Normatívne požiadavky podľa PN-EN 450:1:2012 pre popolček do betónu:

Chemické požiadavky	Fyzikálne požiadavky
<ul style="list-style-type: none">Strata žíhaním (kategória A – do 5%, kategória B – do 7%, kategória C – do 9%)Obsah chloridov $\leq 0,1\%$Obsah anhydridu kyseliny sírovej (SO_3) $3,0\%$Obsah voľného oxidu vápenatého $\leq 1,5\%$Obsah reaktívneho oxidu kremičitého $\geq 25\%$Celkové množstvo SiO_2, Al_2O_3 a $\text{Fe}_2\text{O}_3 \geq 70\%$Celkový obsah zásad $\leq 5,0\%$Obsah oxidu horečnatého $\leq 4,0\%$Obsah rozpustného fosforečnanu $\text{P}_2\text{O}_5 \leq 100 \text{ mg/kg}$	<ul style="list-style-type: none">Jemnosť (ostatok na site 0,045 mm) 40% (kategória N) alebo $\leq 12\%$ (kategória S)Ukazovateľ puzolábovej aktivity po 28 dňoch $\geq 75\%$ a po 90 dňoch $\geq 85\%$Stálosť objemu $\leq 10\%$Hustota zŕn $\pm 200 \text{ kg/m}^3$Začiatok spájania nie je nevyhnutný, aby trval viac než dva krát dlhšie od začiatku spájania hotovej zálievky, vyrobenej zo 100%-ného porovnateľného cementuAbsorpcia vody (pre kategóriu S) $< 95\%$Uvoľňovanie nebezpečných látok a rádioaktivita $f_1 \leq 1,2$; $f_2 \leq 240 \text{ Bq/kg}$

4.2. Kategórie popolčekov

Norma PN-EN 450:1:2012 stanovuje tri kategórie popolčeka A, B, C. v závislosti na obsahu nespáleného uhlia:

Kategoria A	Kategoria B	Kategoria C
nie viac než 5%	nie viac než 7%	nie viac než 9%

Pri produkcií špeciálnych betónov, v situácii, keď veľkosť strát žíhaním môže vplývať na efektívnosť činnosti chemických prímesí napr. na prevzdušnovacie, ktoré sú používané pri produkcií betónu s odolnosťou voči mrazu, výrobca betónu by si mal pri jeho tvorbe zvoliť popolček kategórie A. Naproti tomu, pri produkcií hotového betónu môže byť úspešne využitý popolček kategórie B.

4.3 Ukazovateľ aktivity popolčeka

Kremíkový popolček, získavaný pri spaľovaní uholného prachu z čierneho uhlia sa skladá hlavne z reaktívneho oxidu kremičitého (SiO_2) a oxidu hlinitého (Al_2O_3) a samostatne nemá väzbovú vlastnosť.

Kremíkový popolček vykazuje väzbové vlastnosti pri reakcii s hydroxidom vápenatým $\langle\text{Ca}(\text{OH})_2\rangle$ vo vodnom prostredí pri izbovej teplote.

Výsledkom chemickej reakcie, tzv. puzolánovej je, že hlavné zložky, ktoré sú obsiahnuté v popolčeku, také ako oxid kremičitý (SiO_2) a oxid hlinitý (Al_2O_3), vo vodnom prostredí vytvárajú spolu s hydroxidom vápenatým $\langle\text{Ca}(\text{OH})_2\rangle$ zmienený kremičitan vápenatý a hlinitan vápenatý.

Počas v betóne prebiehajúceho procesu hydratácie cementu (spájanie portlandského cementu s vodou) oproti tzv. fáze CSH, vždy vznikne isté množstvo hydroxidu vápenatého, ktorý nepriaznivo vplýva na betónovú estetiku, a to vytváraním bielym výkvetov na betónových povrchoch.

Využívanie popolčeka v betóne znižuje v betóne obsah hydroxidu vápenatého a prejavom toho je obmedzenie vyššie spomínaných výkvetov a ostatné zmienené kremičitany a hlinitany vápenaté vytvárajú betónovú štruktúru kompaktnejšiu o zvýšenú pevnosť a životnosť.

Popolček ako minerálna prísada s puzolánovou činnosťou má vo svojom zložení okrem oxidu kremičitého (SiO_2) a oxidu hlinitého (Al_2O_3) taktiež nežiadúce zložky, také ako:

- obsah nespáleného uhlia,
- obsah zlúčenín síry,
- obsah voľného vápna,
- obsah zlúčenín železa.

Vysoký obsah nespáleného uhlia v tvare koksu zvyšuje absorpciu vody popolčeka a znižuje odolnosť betónu voči mrazu.

Vysoký obsah voľného vápna spôsobuje zmeny objemu pri tvrdnutí betónu, čo následne viedie k zničeniu betónu.

Vysoký obsah železa negatívne vplýva na priebeh puzolánovej reakcie.

Preto sa popolček do betónu pred uvedením na trh dôkladne preskúma z uhla chemických a technických požiadaviek a vzťahuje sa naň certifikácia.

Norma PN-EN 450:1:2012 stanovuje overenie puzolá-novej aktivity popolčeka do betónu prostredníctvom tzv. ukazovateľa puzolánovej aktivity.

- ukazovateľ puzolánovej aktivity po 28 dňoch a $\geq 75\%$
- ukazovateľ puzolánovej aktivity po 90 dňoch a $\geq 85\%$.



4.4 Požiadavky, týkajúce sa dlhej životnosti

Parametre popolčeka musia umožňovať produkciu trváceho betónu.

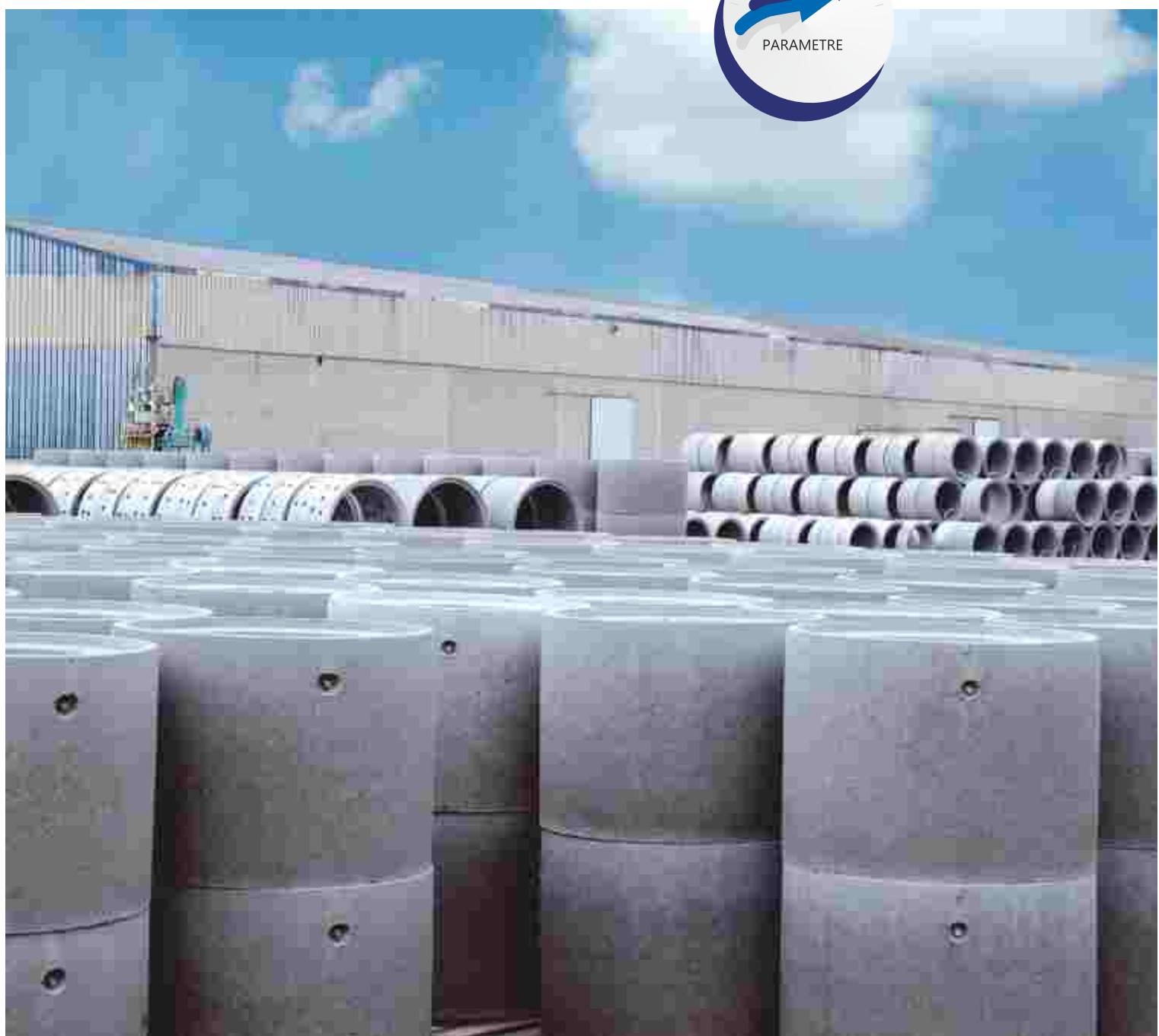
V súlade s bodom 5.4 normy PN-EN 450:1:2012, popolček do betónu je potrebné považovať za splňajúci požiadavky, týkajúce sa dlhej životnosti betónu, ak:

- je v súlade s touto definíciou,
- spĺňa chemické požiadavky,
- spĺňa fyzikálne požiadavky.

Popolček je podľa definície normy PN-EN 450:1:2012 jemnozrnný prach, ktorý sa skladá hlavne z guľatých, sklovitých zrn, a ktorý sa získava pri spaľovaní uholného prachu, v prítomnosti alebo

bez prítomnosti spoluspaľovaných materiálov, ktoré vykazujú puzolánové vlastnosti a obsahujú predovšetkým SiO_2 a Al_2O_3 , a:

- je získavaný elektrostatickým alebo mechanickým oddelením prachových čiastočiek z odpadového plynu z elektrárne,
- môže byť podrobnený opracovaniu, napríklad segregáciou, sortovaním, preosievaním, sušením, miešaním, melením alebo znížením obsahu uhlíka resp. kombináciou týchto procesov v príslušných výrobných fabrikách.





5. ZÁSADY PRI POUŽÍVANÍ POPOLČEKA

ZV súlade s PN-EN 206+A1:2016-12 Betón – požiadavky, vlastnosti, produkcia a zhoda – popolček je možné použiť do betónu ako minerálnu prísadu typu II.

Minerálna prísada sa v rámci normy PN-EN 206:2014-04 rozumie ako jemnozrnná neorganická zložka, používaná do betónu s cieľom úpravy istých vlastností alebo získania špeciálnych vlastností. Kvyšie spomenutým môžeme pripočítať o.i.:

- úpravu formovania a predĺženie času spájania,
- zvýšenie odolnosti voči chemickej korózii,
- zvýšenie pevnosti po dlhej dobe tvrdnutia,
- zníženie hydratačného tepla – ochrana betónu pred „prehriatím“

Prísady typu II môžu byť zohľadnené v zložení betónu pri uplatnení koeficientu „k“. Je to koncept, odporúčaný normou PN-EN 206+A1:2016-12, ktorý sa opiera o porovnanie životnosti (alebo pevnosti) referenčného betónu (bez prísady typu II) a betónu, ktorej časť cementu nahradza prísada typu II.

V súlade s PN-EN 206+A1: 2016-12 ide o preukáza-nie pridania danej prísady pri vytvorení konkrétneho betónu, čiže prevedenie skúšok a výskumov v systéme ZKP a preukázanie, že pridaním prísady typu II sa úžitkové vlastnosti tohto betónu nezhoršia.

ZÁSADY PRI UPLATNENÍ KONCEPTU KOEFICIENTU „K“ OHĽADOM POPOLČEKA

A. Stanovenie koeficientu „k“

Zhodne s normou PN-EN 206:2014-04 sa prijíma koeficient $k=0,4$ pre CEM I a CEM II/, nezávisle na triede cementu.

B. Stanovenie maximálneho obsahu popolčeka

Prijaté množstvo popolčeka musí spĺňať podmienku::

- pre CEM I hmotnostné percento popolček/cement $\leq 0,33$
- pre CEM II/A hmotnostné percento popolček/cement $\leq 0,25$

C. Náhrada ukazovateľa w/c novým ekvivalentným ukazovateľom w/c_{eq} :

Ukazovateľ: voda/cement nahradzujeme ekvivalentným Ukazovateľom v/c ,
 $voda/(cement+k \times popolček)$ $v/c = v/c^*$,

D. Overenie podmienky:

$(cement + k \times popolček) > \text{minimálny obsah cementu pre danú expozičnú triedu..}$

Ak je podmienka splnená, v tom prípade je prítomnosť prísady typu II v betóne náležitá, tzn. zhodná s normou PN-EN 206:2014-04

5.1 Príklad pri uplatnení H v koncepte koeficientu „k“

5.1.1 Máme východiskovú receptúru na betón C25/30 S3/16XC2 bez prítomnosti prísady

Na prijatie expozičnej triedy a triedy betónu sú nasledovné kritéria:

- Maximálne $v/c = 0,60$
- Maximálny obsah cementu: : **280 kg/m³** (dla XC2)

Zloženie betónu:

• Cement CEM 142.5 N - Na.....	320
• Popolček.....	0
• Piesok 0/2.....	631
• Štrk2/8.....	631
• Štrk8/16.....	631
• Voda	160
• Prímes (FM).....	2,50

Výpočty a overenie pre vyššie uvedené recepty:

- $v/c = 0,50$
- objem spojiva v betóne $V = 320/3,1 = 103,20 \text{ dm}^3$
- množstvo a objem kameniva v betóne 1893kg ($1893/2,65 = 714,34 \text{ dm}^3$)
- vypočítaný objem 1 m^3 zmesi je riadny a činí: $103,20$ (cement) + $714,34$ (kamenivo) + $162,5$ (Voda prímesy)+ 20 (prevzdušnenie zmesi 2%) = 1000 dm^3

5.1.2 Proces preprojektovania (koncept koeficientu „k“)

S cieľom úpravy formy zmesi (zmes sa bude dávkovať čerpadlom v značnej vzdialosti) a zvýšenia odolnosti na chemickú koróziu stvrdenutého betónu, (uskutoč-ňovaný prvok je základom, vystavený kontaktu s vodou, voda vo všeobecnosti nevykazuje známky chemickej korózie – avšak nevieme či to tak bude vždy) sa odporúča zmeniť receptúru z betónu, ktorý obsahuje portlandský cement CEM I 42,5 na betón, obsahujúci v svojom zložení maximálny obsah popolčeka a splňajúceho požiadavky normy PN-EN 206:2014-04.

- Stanovenie koeficientu „k“
V súlade s normou pre CEM I $k = 0,4$
- Stanovenie maximálneho obsahu popolčeka:
Pre CEM I hmotnostné percento
popolček/cement < 0,33
- Stanovenie množstva cementu
Množstvo cementu sa stanovuje pri predpoklade rovnakej absorpcii vody betónovej zmesi východiskovej a preprojektovanej
 $v/c = v/c_{eq}$,

- $v/c = 0,50$
 $v/c_{eq} = \text{voda}/(\text{cement} + k \times \text{popolček})$
 $0,50 = 160/(c + 0,4 \times 0,33 \times c)$
 $c = 282$
Množstvo cementu = 282 kg
Množstvo popolčeka = $0,33 \times c = 93$ kg

Výpočet objemu spojiva (cement + popolček) v betóne:

$$V = 282/3,1 + 93/2,2 = 133,23 \text{ dm}^3$$

Objem časti spojivovej zmesi s prímesou popolčeka je väčšia než východisková zmes o **30,03 dm³**.

Úprava v rámci objemu betónovej zmesi

Jedinú zložku zmesi, ktoré môžeme zmeniť, je kamenivo. Zmenšujeme množstvo kameniva v preprojektovanom betóne o rozdiel objemu spojivovej časti. Jednotlivé druhy kameniva počítame na základe ich percentuálneho podielu v zmesi.

$$(714,34 \text{ dm}^3 - 30,03 \text{ dm}^3) \times 2,65 = 1813 \text{ kg}$$

Overenie podmienky

(cement + k x popolček) > minimálny obsah cementu pre danú expozičnú triedu

$$(282 + 0,4 \times 93) > 280$$

Zloženie preprojektovaného betónu

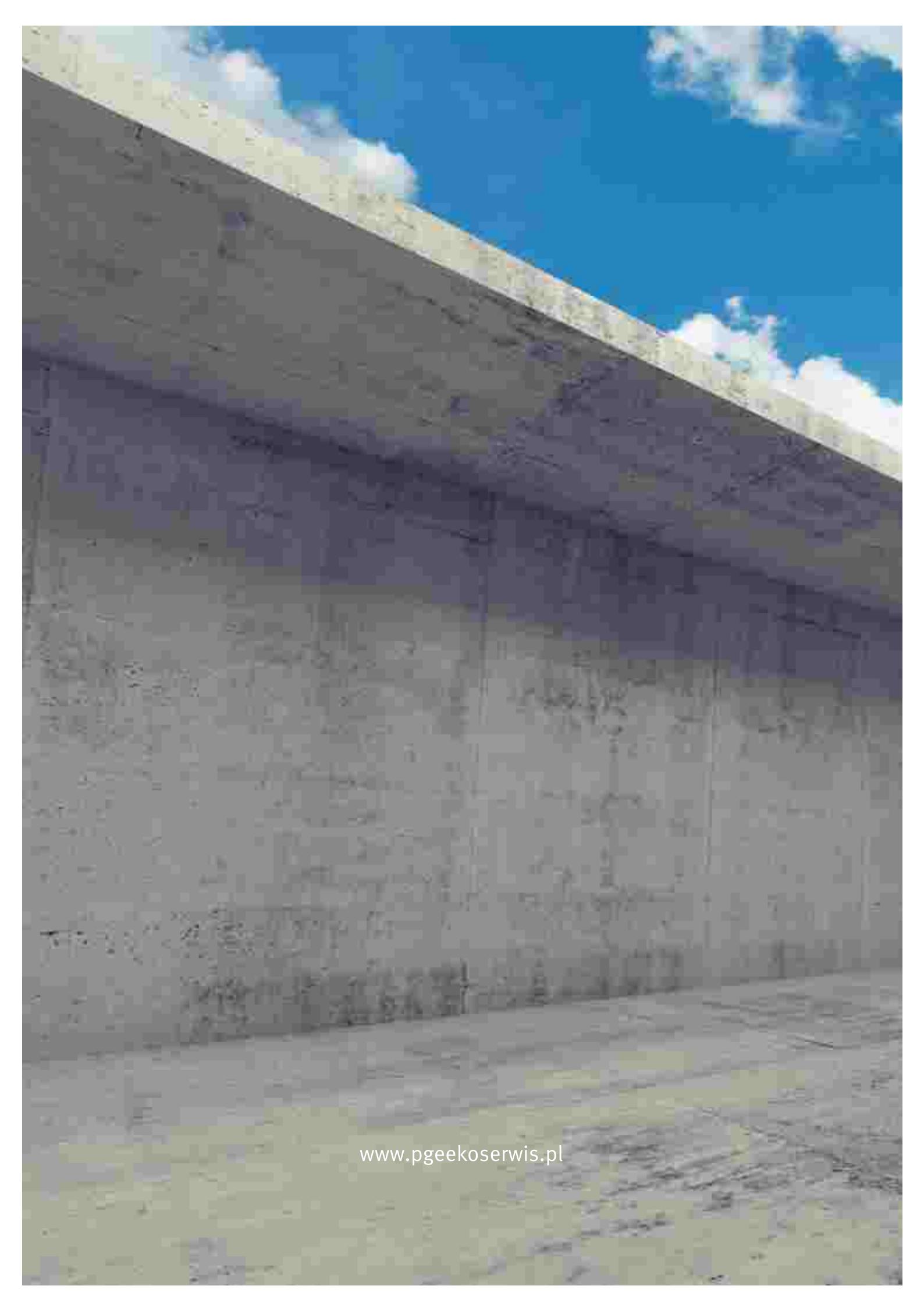
• Cement CEM 142.5 N-Na.....	82
• Popolček.....	93
• Piesok 0/2.....	605
• Štrk 2/8.....	604
• Štrk 8/16.....	604
• Voda.....	160
• Prímes (FM).....	2,50

Výpočty a overenie pre vyššie uvedené recepty:

- $v/c_{eq} = \text{voda}/(\text{cement} + k \times \text{popolček}) = 0,50$
- objem spojiva v betóne $V = 133,23 \text{ dm}^3$
- množstvo a objem kameniva v betóne: 1813 kg ($1813/2,65 = 684,15 \text{ dm}^3$)
- vypočítaný objem 1 m^3 zmesi je náležitý a činí: $133,23$ (spojivo) + $684,15$ (kamenivo) + $162,5$ (voda a prímesy) + 20 (prevzdušnenie 2%) = 1000 dm^3

Recept je potrebné laboratórne overiť.





www.pgeekoserwis.pl