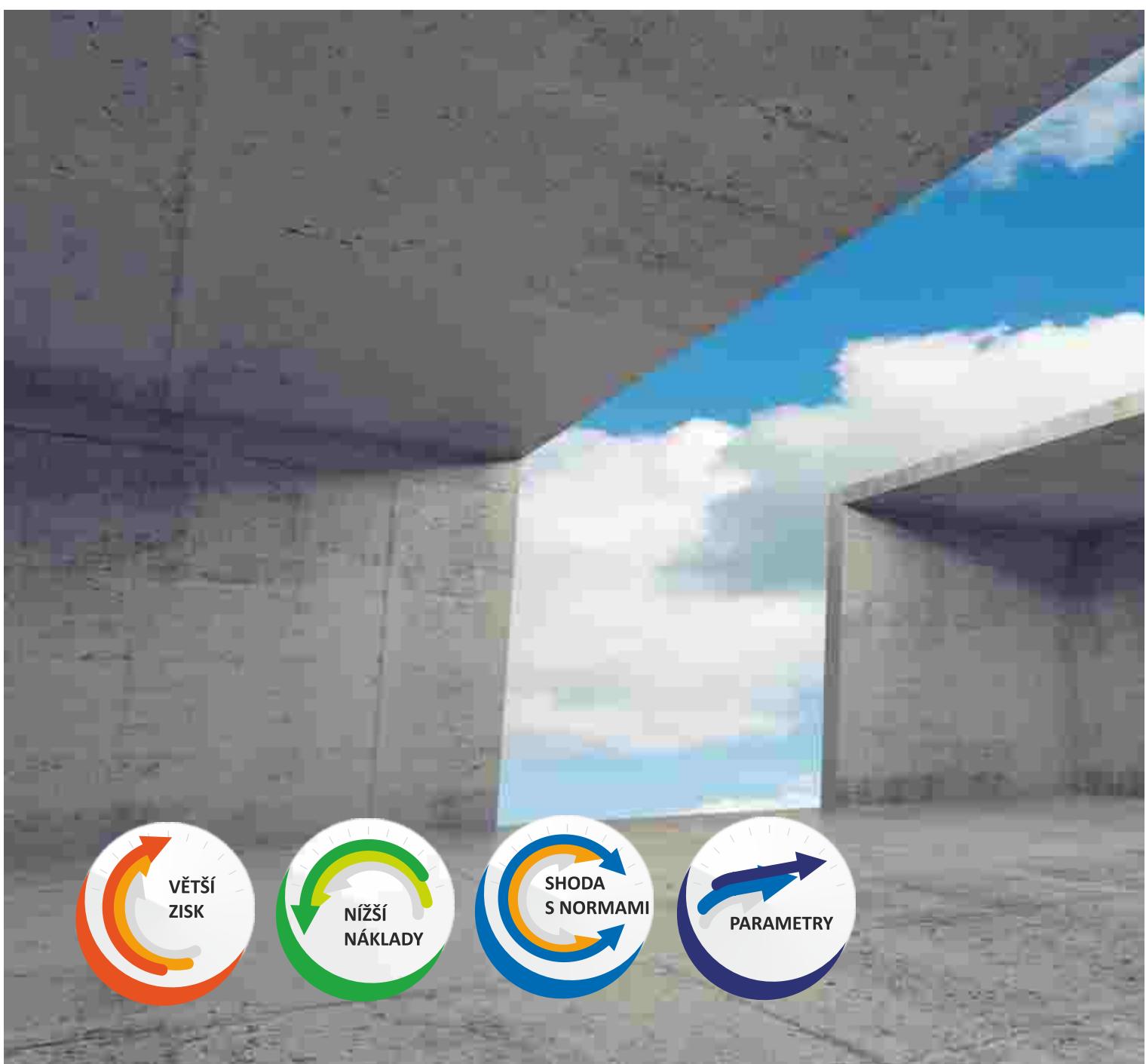


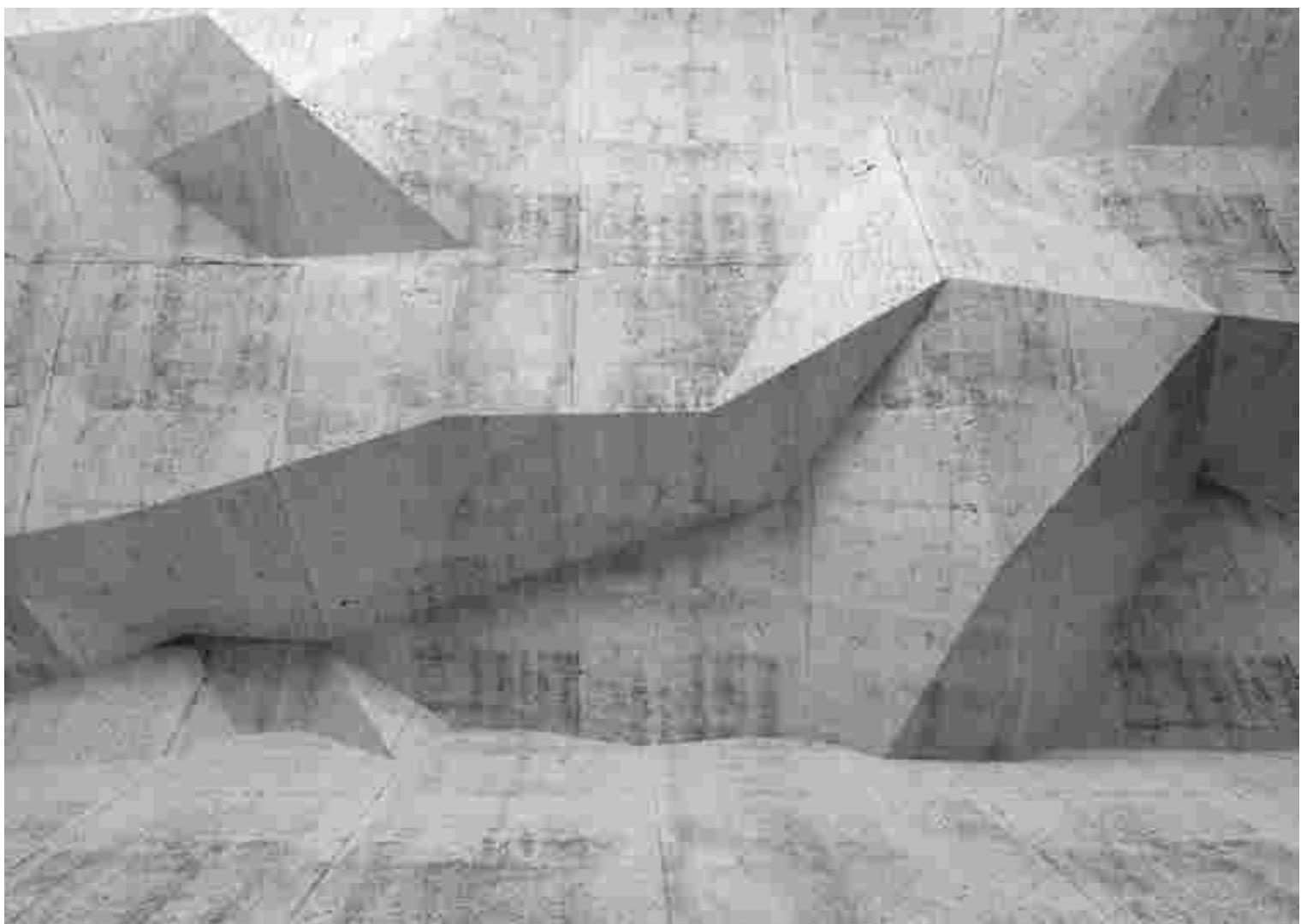
Popílek do betonu

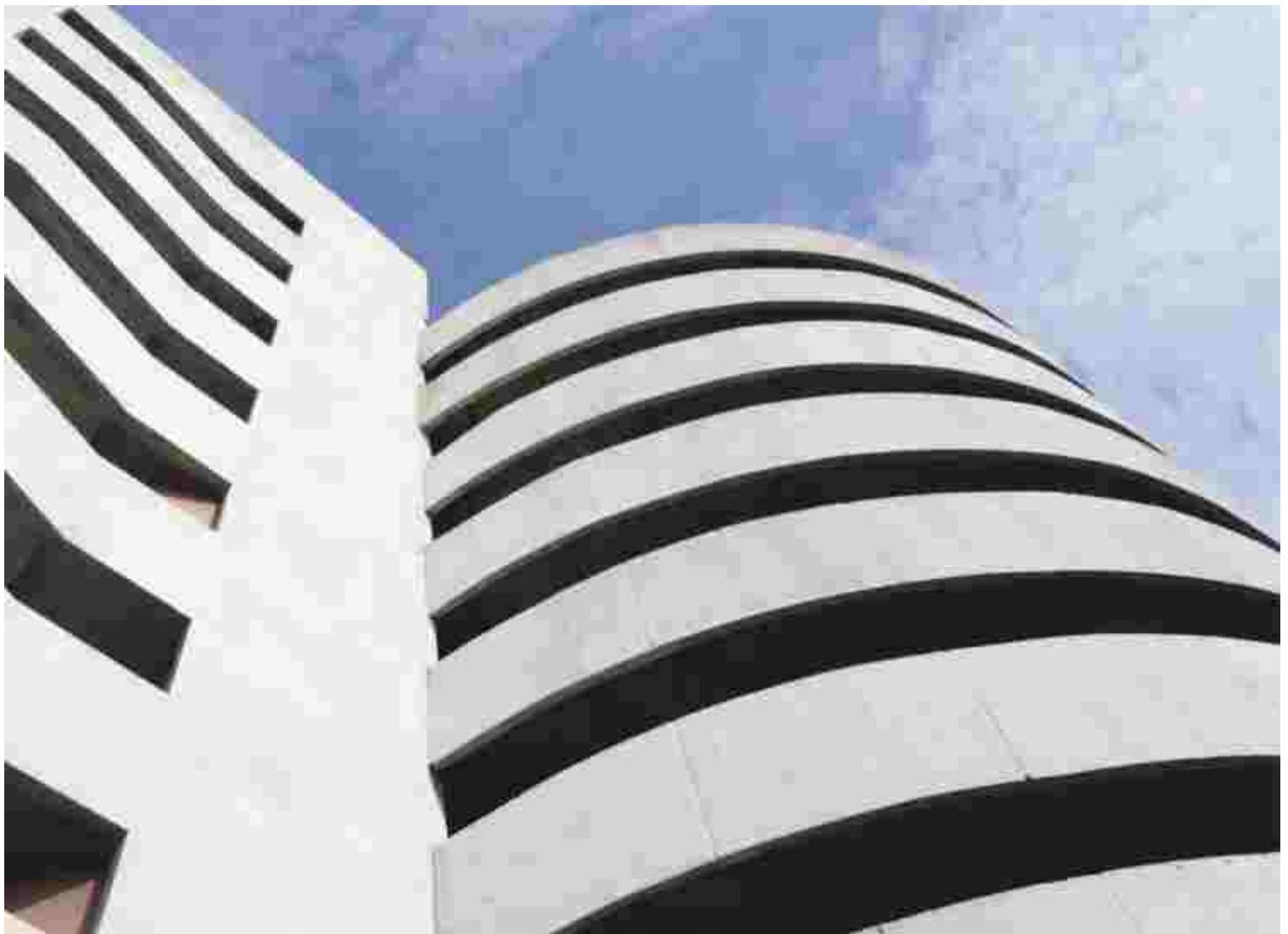
INFORMÁTOR 2020



Obsah

Úvod	3
1. Výhody použití popílku.....	4
2. Príklady receptúr výroby rôznych druhov betonu s pridáním popílku	6
3. Požadavky pre v/c, obsah cementu a triedu odolnosti pre betonovou směs.....	8
4. Normalizace popílku používaného ako prísada do betonu	10
4.1 Požadavky pre popílek do betonu.....	10
4.2 Kategórie popílkov	10
4.3 Indikátor aktivity popílku	11
4.4 Požadavky na odolnosť.....	12
5. Pravidla pre používanie popílku	13





ÚVOD

Informátor je určen pro výrobce betonu a betonových prefabrikátů, návrháře a technology betonu.

V roce 1996 byla zavedena norma DIN EN 450, která normalizovala použití popílku do betonu v Německu a zahájila normalizaci v celé Evropské unii.

V Polsku norma PN-EN 450: 1998 "Popílek do betonu - definice, požadavky a kontrola kvality" byla zavedena v roce 1998.

V roce 2004, byla provedena aktualizace výše uvedené normy ve dvou částech: PN-EN 450-1: 2004 Popílek do betonu definice, požadavky a kontrola kvality a PN-EN 450-2: 2004 Popílek do betonu - část 2: Hodnocení shody.

Po dalších aktualizacích, v den zveřejnění informátora, současné normy jsou PN-EN 450-2: 2006, PN-EN 450-1: 2012.

Obsažené v tomto informátoru údaje mají ukázat, že použití popílku umožňuje snížit množství použitého cementu a kameniva, což je ekonomicky a ekologicky výhodné. Uvedené zde výpočty a recepturny mají ilustrativní charakter.

Doufáme, že informátor bude přispívat k širšímu použití popílku při výrobě betonu jako cenné suroviny, v rámci ekologického jednání vedoucího k udržitelnému rozvoji.

Publikace byla připravena podle právních předpisů ve znění platném ke dni 31.1.2018.



Technické přínosy

Použití popílku jak v ztvrdlém betonu, tak v betonové směsi jsou:

zlepšení čerpatelnosti a zpracovatelnosti směsi

prodloužení počátku a konce
vazání betonové směsi

snížení kontrakce betonu

lepší údržba konzistence betonu

snížení teploty hydratace betonu

zlepšení těsnosti betonové konstrukce

účast na reakcích vazání cementu

snížení počtu "výkvětů" ve ztvrdlém betonu

zvýšení pevnosti betonu z dlouhodobého hlediska

výroba samozhutnitelných betonů (SCC)

výroba betonu
s vysokým obsahem popílku (HVFA)

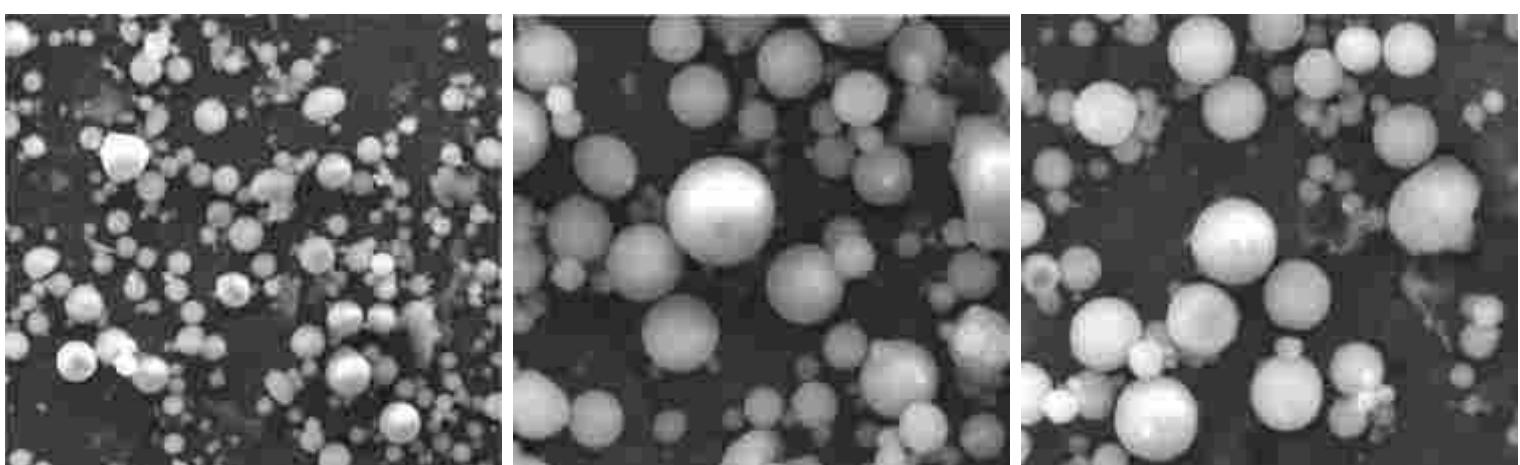
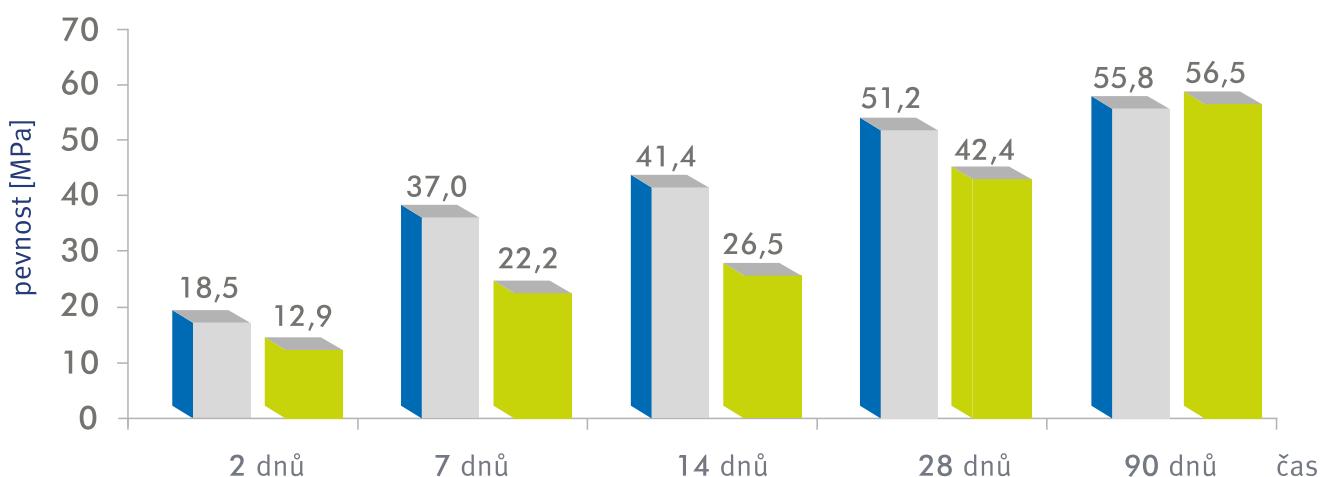
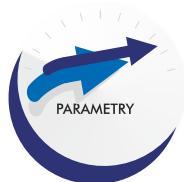
snížení negativních účinků
použití reaktivních kameniv

zvýšení odolnosti ztvrdlého
betonu vůči chemické agresi

vyhýbání se tepelným namáháním
a nežádoucím poškrábáním betonu

zlepšení granulace kameninové směsi

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



1. VÝHODY POUŽITÍ POPÍLKU



Široké použití

O širokém použití popílku do betonu rozhodují technické, environmentální a ekonomické aspekty. V současné době se popílek (křemičitý) široce používá k výrobě:

stavebního betonu

betonu pro masivní konstrukce

hydrotechnického betonu

betonu pro prefabrikaci



Shoda s normami a předpisy

Podle PN-EN 206 + A1: 2016-12 Beton - specifikace, vlastnosti, výroba a shoda:



popílek může být použit pro beton jako minerální přísada typu II

hmotnostní poměr popílek / cement $\leq 0,33$



Ekonomické přínosy

Jelikož, ve většině případů, cena betonu je pro zákazníka nejdůležitější, pro výrobce kličovým úkolem je snížení nákladů na výrobu betonové směsi. Ekonomické účinky získané díky použití popílku v betonu je možné analyzovat na příkladu výroby betonu C30/37 XA1 (Tab. 1).

Pro danou recepturu s použitím popílku do betonu:

při výrobě 1 m³ betonu bylo ušetřeno 6,9 PLN *

což znamená snížení nákladů o 4,5%



Ekologické přínosy

Z pohledu životního prostředí využívání popílku při výrobě betonu nejen zlepšuje jeho vlastnosti, ale také přímo ovlivňuje snížení emise CO₂ a je součástí oběhového hospodářství, tzv. circular economy. Použití popílku ve složení betonu odpovídá filozofii udržitelného rozvoje, to znamená:

snížuje množství použitého cementového slinku

snížuje znečištění životního prostředí a emisi oxidu uhličitého

šetří přírodní zdroje a fosilní paliva

snížuje množství kameniva použitého při výrobě betonu

Početné průzkumy a registrace v REACH potvrdily, že popílek používaný k výrobě betonu je ekologický, netoxický a není klasifikován jako nebezpečná látka.

*) Výše najdete ilustrativní příklad výpočtu, připravený na základě cen surovin platných v prvním čtvrtletí roku 2017. Pro získání správných výpočtů, měli byste pro vybrané území a čas provést vlastní výpočty.

Tab. 1
Příklady ekonomických přínosů

Lp.	WYMAGANIA NORM				Ilość m ³	SUROVINY						
	Třída betonu	Třída betonu	Max. w/c	Min. obsah CEM I s konceptem koeficientu k (kg/m ³)		Štrek 2/8		Štrek 8/16		Pisek 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	
1	C 30/37	XA1	0,55	300	1	630	33,39	630	34,65	630	9,45	
2	C 30/37	XA1	0,55	265	1	600	31,80	600	33,00	600	9,00	

2. PŘÍKLADY RECEPTUR VÝROBY RŮZNÝCH DRUHŮ BETONU S PŘIDÁNÍM POPÍLKU

Tab. 2
Příkladné receptury stavebního betonu.

Lp.						Množstvo m ³	RECEPTURY					
							SUROVINY					
	Třída betonu	Třída betonu	Max. w/c	Min. obsah CEM I s konceptem koeficientu k (kg/m ³)	Min. obsah certifikovaného popílku (kg/m ³)		Štrek 2/8		Štrek 8/16		Pisek 0/2	
							Počet kg na m ³ výrobku		Počet kg na m ³ výrobku		Počet kg na m ³ výrobku	
1	C 20/25 S3	XC1	0,65	230	76	1	613		613		613	
2	C 25/30 S3	XC2	0,60	247	82	1	604		604		604	
3	C 30/37 S3	XC3	0,55	247	82	1	612		612		612	
4	C35/45 S3	XC4	0,50	265	87	1					696	



SUROVINY								Náklad na vsázku (suroviny)	Ekonomický efekt				
Cement CEM I 42,5		Certifikovaný popílek		Voda		Chemická přísada							
Méně cementu													
	326,00 zł/t		80,00 zł/t		1,00 zł/m ³		4,00 zł/kg		w zł/m ³	Úspornosť v % nákladow na vstupy			
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					
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			

Výše najdete ilustrativní příklad výpočtu, připravený na základě cen surovin platných v prvním čtvrtletí roku 2020. Pro získání správných výpočtů, měli byste pro vybrané území a čas provést vlastní výpočty.



RECEPTÚRY								
SUROVINY								
Cement CEM I		Popílek		DRŽ 2/8	DRŽ 8/16	Voda	Chemická přísada	Hustota betonové směsi
Počet kg na m ³ výrobku			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. POŽADAVKY PRO W/C, OBSAH CEMENTU TŘÍDU ODOLNOSTI PRO BETONOVOU SMĚS.

Tabela 3.

Požadavky	TŘÍDY EXPOZICE										
	Žádná agrese	Karbonace					Chloridy				
		X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2
Max. V/C	Žádné požadavky	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,55
Min. třída	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	
Min. Obsah cementu [kg/m ³]	Žádné požadavky	260	280	280	300	300	320	340	300	300	
Min. Obsah CEM I s konceptem koeficientem K (kg/m ³)	Žádné požadavky	230	247	247	265	265	283	300	265	265	
Min. obsah příslušného popílku pro CEM I s konceptem K (kg/m ³)	Žádné požadavky	76	82	82	87	87	93	99	87	87	
Min. Obsah CEM II/A s konceptem koeficientem K (kg/m ³)	Žádné požadavky	236	255	255	273	273	291	309	273	273	
Min. Obsah příslušného popílku pro CEM II/A s konceptem koeficientem K (kg/m ³)	Žádné požadavky	59	64	64	68	68	73	77	68	68	
Maximální obsah vody	Žádné požadavky	169	168	154	150	150	144		165	165	
Min. Obsah vzduchu [%]	Žádné požadavky										
Ostatní	Žádné požadavky										



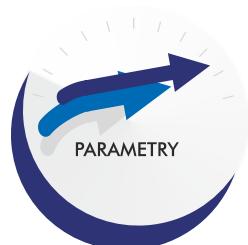
TŘÍDY EXPOZICE

	Zmrzavání / rozmrazování				Chemická agrese			Agrese způsobená opotřebením			
Ostatní chloridy	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3	XM1	XM2	XM3
0,45	0,45	0,55	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45	0,55	0,55	0,45
C35/45	C35/45	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45
320	320	300	300	320	340	300	320	360	300	300	320
283	283	265	265	283	300	265	283	318	265	265	283
93	93	87	87	93	99	87	93	105	87	87	93
291	291	273	273	291	309	273	291	327	273	273	291
73	73	68	68	73	77	68	73	82	68	68	73
144	144	165	165	160	153	160	160	162	165	165	144
Žádné požadavky	Žádné požadavky	4,0	4,0	4,0	Žádné požadavky	Žádné požadavky	Žádné požadavky	Žádné požadavky	Žádné požadavky	Žádné požadavky	Žádné požadavky
Žádné požadavky	Kamenivo s odpovídající mrazuvzdorností v souladu s PN-EN 12620+A1:2010	Žádné požadavky	PPro XA2 a XA3 by se měl použít cement odolný vůči sířanům SR nebo HSR	Žádné požadavky	Úprava povrchu betonu	Kamenivo s vysokou odolností proti opotřebení					

Údaje podla našich vlastních výpočtov, na základe normatívnych požiadaviek

Norma 206+A1 2016-12 pro jednotlivé třídy expozice Xo, XC, XD, XS, XF, XA, XM definuje následující požadavky:

- maximální poměr koeficientu voda / cement,
- minimální obsah cementu,
- minimální třídu odolnosti betonu proti stlačení,
- minimální obsah vzduchu.





4. NORMALIZACE POPÍLKU POUŽÍVANÉHO JAKO PŘÍSADA DO BETONU

4.1 Požadavky pro popílek do betonu

Popílek používaný k výrobě betonu musí odpovídat normě PN-EN 450-1: 2012. Popílek do betonu. Část 1: definice, specifikace a kritéria slučitelnosti.

Shoda popílku s PN-EN 450-1:2012 by měla být potvrzena certifikátem o shodě vydaným certifikačním orgánem a vhodným používáním značky shody výrobcem.

V souladu s přílohou ZA.2 normy PN - EN 450 -1: 2012 přísady typu II do betonu, malty a injektážní malty podléhají hodnocení shody v rámci systému 1+ (Směrnice 89/106/EHC).

Požadavky podle PN-EN 450 -1:2012 pro popílek do betonu:

Chemické požadavky	Fyzické požadavky
<ul style="list-style-type: none">Ztráta pražení (kategorie A – do 5%, kategorie B – do 7%, kategorie C – do 9%)Obsah chloridů S ≤ 0,1%Obsah anhydridu kyseliny sírové (SO_3) ≤ 3,0 %Obsah volného oxidu vápenatého ≤ 1,5%Obsah reaktivního oxidu křemičitého ≥ 25%Součet obsahů SiO_2, Al_2O_3 a Fe_2O_3 ≥ 70%Celkový obsah alkálií ≤ 5,0%Obsah oxidu hořečnatého ≤ 4,0%Obsah rozpustného fosfátu P_2O_5 ≤ 100 mg/kg	<ul style="list-style-type: none">Jemnost (reziduum na sítě 0,045 mm) 40% (kategorie N) nebo ≤ 12% (kategorie S)Ukazatel pucolánové aktivity po 28 dnech ≥ 75% a po 90 dnech ≥ 85%Stabilita objemu ≤ 10%Hustota zrna ± 200 kg/m³Začátek vázání by neměl být více než dvakrát delší od začátku vázání injektážní malty, připravené ze 100% srovnávacího cementu.Požadavek na vodu (pro kategorii S) < 95%Uvolňování nebezpečných látek a radioaktivita $f_1 \leq 1,2$; $f_2 \leq 240$ Bq/kg

4.2. Kategorie popílků

Norma PN-EN 450-1: 2012 stanoví tři kategorie popílků A, B, C, v závislosti na obsahu nespáleného uhlí:

Kategorie A	Kategorie B	Kategorie C
ne více než 5%	ne více než 7%	ne více než 9%

Tři kategorie ztrát pražení umožňují výběr popílku do betonu s příslušnou kategorií pro dané použití a třídu expozice.

Při výrobě speciálních betonů, v situaci, kdy ztráta pražení může ovlivnit účinnost chemické přísady (např. provzdušňovací), používané k výrobě mrazuvzdorného betonu, výrobce by měl k jeho výrobě vybrat popílek kategorie A, zatímco při výrobě stavebního betonu může být také úspěšně použit popílek kategorie B

4.3 Indikátor aktivity popílku

Křemičitý popílek získaný během spalování uhelného prachu z černého uhlí je složen hlavně z reaktivního oxidu křemičitého (SiO_2) a oxidu hlinitého (Al_2O_3) a sám nemá žádné vazebné vlastnosti.

Popílek křemičitý má vazebné vlastnosti v reakci s hydroxidem vápenatým $\langle \text{Ca} (\text{OH})_2 \rangle$ ve vodním prostředí při pokojové teplotě. Výsledkem chemické reakce tzv. pucolánové, hlavní složky obsažené v popílku, jako je oxid křemičitý (SiO_2) a oxid hlinitý (Al_2O_3), ve vodném prostředí tvoří s hydroxidem vápenatým $\langle \text{Ca} (\text{OH})_2 \rangle$ hydratované křemičitany a hlinitany vápenaté.

Během procesu hydratace cementu v betonu (spojování portlandského cementu s vodou), kromě tzv. fáze CSH, vzniká vždy určité množství hydroxidu vápenatého, což negativně ovlivňuje estetiku betonu a vytváří bílé vykvěty na betonových površích.

Použití popílku v betonu snižuje obsah hydroxidu vápenatého v betonu, což má za následek omezení výše zmíněných výkvětů a vzniklé hydratované křemičitany a hlinitany vápenaté vytváří kompaktnější konstrukci betonu se zvýšenou odolností a trvanlivostí.

Popílek jako minerální přísada s pucolánovou aktivitou má ve svém složení kromě oxidu křemičitého (SiO_2) a oxidu hlinitého (Al_2O_3) také nežádoucí složky, jako jsou:

- obsah nespáleného uhlíku,
- obsah sloučenin síry,
- obsah volného vápna,
- obsah sloučenin železa.

Vysoký obsah nespáleného uhlí ve formě popílku zvyšuje požadavky na vodu a snižuje odolnost betonu proti mrazu. Vysoký obsah volného vápna způsobuje změny objemu při vytvrzování betonu, což následně vede ke zničení betonu. Vysoký obsah železa nepříznivě ovlivňuje průběh pucolánové reakce.

Proto popílek před uvedením na trh je pečlivě prozkoumán z hlediska chemických a fyzických požadavků a podléhá certifikaci.

Norma PN-EN 450-1: 2012 stanoví nutnost provedení

kontroly pucolánové aktivity popílku do betonu prostřednictvím tzv. ukazatele pucolánové aktivity.

Požadavky na pucolánovou aktivity jsou následující:

- ukazatel pucolánové aktivity po 28 dnech > 75%,
- ukazatel pucolánové aktivity po 90 dnech > 85%.



4.4 Požadavky na odolnost

Parametry popílku by měly umožnit výrobu odolného betonu

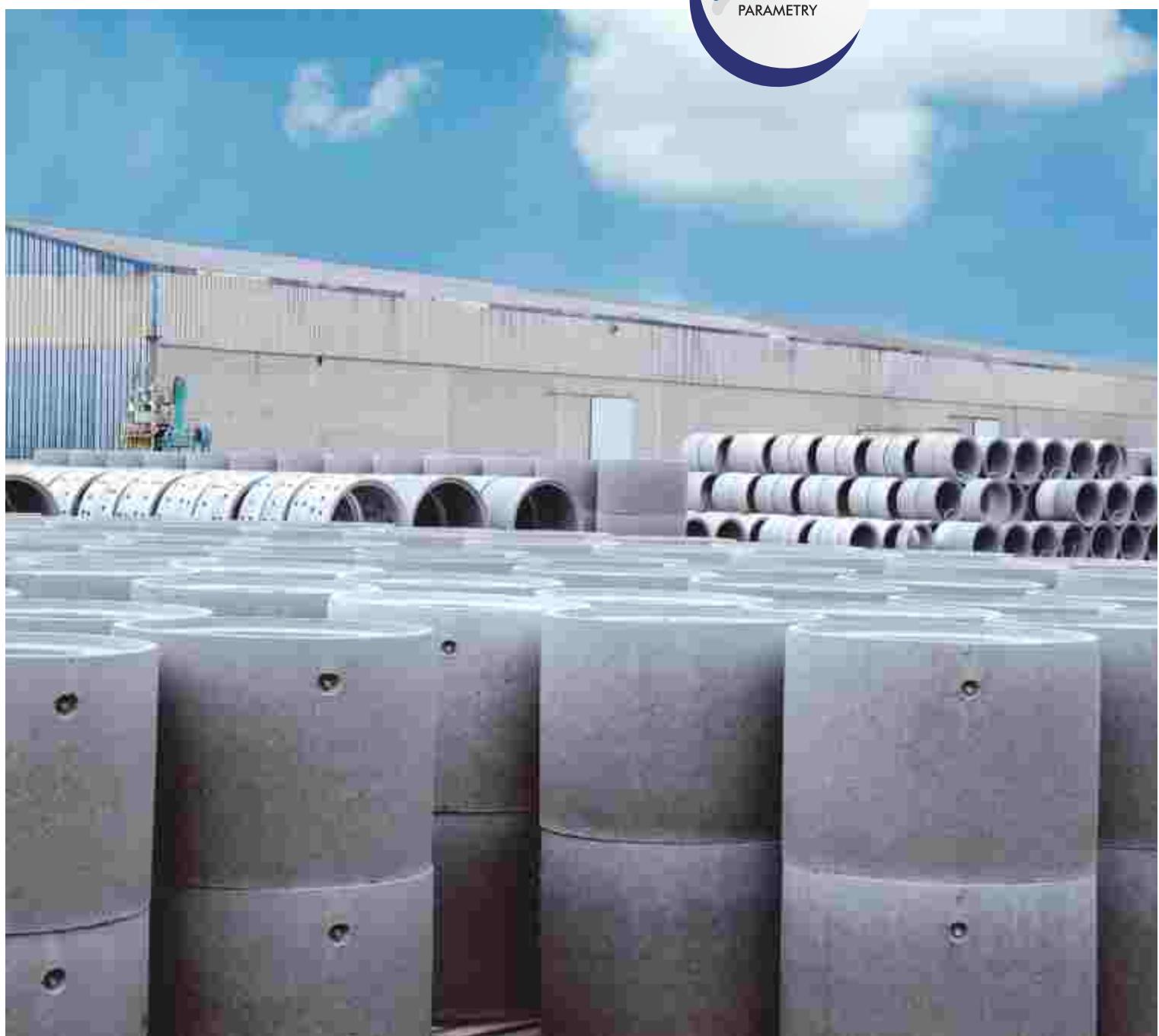
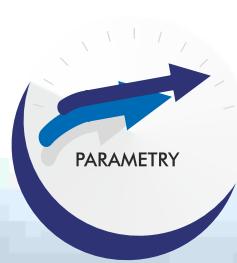
V souladu s bodem 5.4 normy PN-EN 450-1: 20121 popílek do betonu by měl být považován za splňující požadavky na odolnost betonu, pokud:

- je v souladu s definicí,
- splňuje chemické požadavky,
- splňuje fyzické požadavky.

Popílek podle definice normy PN-EN 450-1 je jemný, zrnitý prach, skládající se převážně z kulovitých, sklovitých zrn, získaných při spalování uhlíkového prachu, s účastí nebo bez účasti společně

spalovaných materiálů, wykazující pucolánové vlastnosti a obsahující především SiO_2 a Al_2O_3 a navíc:

- je získáván elektrostatickým nebo mechanickým oddělením částic z odpadních plynů z elektráren,
- může být zpracován, například pomocí segregace, třídění, prosévání, sušení, míchání, mletí nebo snížení obsahu uhlíku, nebo kombinací těchto procesů ve vhodných výrobních závodech.





5. .PRAVIDLA PRO POUŽÍVÁNÍ POPÍLKU.

Podle **PN-EN 206 +A1: 2016-12** Beton - požadavky, vlastnosti, výroba a shoda - popílek může být použitý pro beton jako **minerální přísada typu II**.

Minerální přísada ve smyslu normy PN-EN 206: 2014-04 je jemnozrnná anorganická složka používaná pro zlepšení určitých vlastností betonu nebo pro získání speciálních vlastností. K výše uvedeným vlastnostem patří mimo jiné:

- Zlepšení zpracovatelnosti a prodloužení doby vázání,
- zvýšení odolnosti proti chemické korozi,
- zvýšení odolnosti po dlouhé době vytvrzování,
- snížení hydratačního tepla - ochrana betonu proti „přehřátí“.

Přísady typu II mohou být zahrnuty do složení betonu při použití koeficientu "k". Toto je koncepce doporučená normou PN-EN 206 + A1: 2016-12, a je založená na porovnání odolnosti (nebo pevnosti) referenčního betonu (bez přísady typu II) a betonu, ve kterém byla část cementu nahrazena přísadou typu II.

Podle **PN-EN 206 + A1: 2016-12** se jedná o prokázání vhodnosti dané přísady k vytváření konkrétního betonu, tj. provádění zkoušek a výzkumů v systému FPC a prokázání, že zavedení přísady typu II nebude zhoršovat vlastnosti tohoto betonu

PRAVIDLA UPLATŇOVÁNÍ KONCEPCE KOEFICIENTU "K" VE VZTAHU K POPÍLKU

A. Určení koeficientu „k“

Ve smyslu normy PN-EN 206: 2014-04 se považuje koeficient $k = 0,4$ pro CEM I a CEM II / A, bez ohledu na třídu cementu.

B. Určení maximálního obsahu popílku

Přijaté množství popílku by mělo splňovat požadavek:

- pro CEM I hmotnostní poměr popílek/cement $\leq 0,33$
- pro CEM II / A hmotnostní poměr popílek/cement $\leq 0,33$

C. Nahrazení indikátora v/c novým ekvivalentním indikátorem v/c'

Indikátor: voda/cement se nahrazuje ekvivalentem Indikátor $v/c' = voda / (cement + k \times popílek)$
 $v/c = v/c'$,

D. Kontrola podmínky:

$(cement + k \times popílek) > minimální obsah cementu pro danou třídu expozice.$

Pokud splněna podmínka, podíl přísady typu II v betonu je správný, tj. v souladu s normou PN-EN 206: 2014-04.

5.1 Příklad použití koncepce koeficientu "k"

5.1.1 Máme výchozí recepturu na beton C25/30/S3/16 XC2 bez přísady typu II.

Pro přijatou třídu expozice a třídu betonu jsou následující požadavky:

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

Složení betonu:

• Cement CEM 142.5 N - Na.....	320
• Popílek.....	0
• Písek 0/2.....	631
• štěrk 2/8.....	631
• štěrk 8/16.....	631
• Voda	160
• Přísada (FM).....	2,50

Výpočty a kontroly výše uvedených receptur:

- $v/c = 0,50$
- objem pojiva v betonu $V = 320/3,1 = 103,20 \text{ dm}^3$
- množství a objem kameniva v betonu: 1893kg ($1893/2,65 = 714,34 \text{ dm}^3$)
- vypočtený objem 1 m³ směsi je správný a činí: $103,20$ (cement) + $714,34$ (kamenivo) + $162,5$ (Voda a příměsi) + 20 (provzdušňování směsi 2%) = 1000 m^3

5.1.2 Proces přepracování (koncept koeficientu „k“)

Za účelem zlepšení zpracovatelnosti směsi (směs bude čerpána na významnou vzdálenost) a zvýšení odolnosti proti chemické agresi ztvrdlého betonu (prvek je základ vystaven dlouhodobému kontaktu s vodou, voda momentálně nejeví příznaky chemické agrese - ale nevíme, jestli tak bude vždycky) navrhuje se vyměnit recepturu betonu obsahujícího portlandský cement CEM I 42.5 za beton obsahující ve svém složení maximální obsah popílku a splňující požadavky normy PN-EN 206:2014-04.

Určení koeficientu „k“

- V souladu s normou CEM I $k = 0,4$

Určení maximálního obsahu popílku:

- Pre CEM I hmotnostné percento popílek/cement < 0,33

Určení množství cementu

- Množství cementu se stanoví za předpokladu, že požadavek na vodu výchozí betonové směsi a přepracované směsi je stejný

$$v/c = v/c_{eq},$$

$$v/c = 0,50$$

$$v/c = \text{voda}/(\text{cement} + k \times \text{popílek})$$

$$0,50 = 160/(c + 0,4 \times 0,33 \times c)$$

$$c = 282$$

$$\text{Množství cementu} = 282 \text{ kg}$$

$$\text{Množství popílku} = 0,33 \times c = 93 \text{ kg}$$

Výpočet objemu pojiva (cement + popolček) v betonu:

- $V = 282/3,1 + 93/2,2 = 133,23 \text{ dm}^3$
Objem pojivové části směsi s přísadou popílku je větší než výchozí směs o **30,03 dm³**.

Korekce objemu betonové směsi

- Jediná složka ve směsi, kterou můžeme změnit, je kamenivo. Snižujeme množství kameniva v přepracovaném betonu o rozdíl v objemu pojivové části. Jednotlivé typy kameniva jsou vypočteny na základě jejich procentního podílu ve směsi.

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

Kontrola podmínky

- $(\text{cement} + k \times \text{popílek}) > \text{minimální obsah cementu pro danou třídu expozice}$
 $(282 + 0,4 \times 93) > 280$

Složení přepracovaného betonu

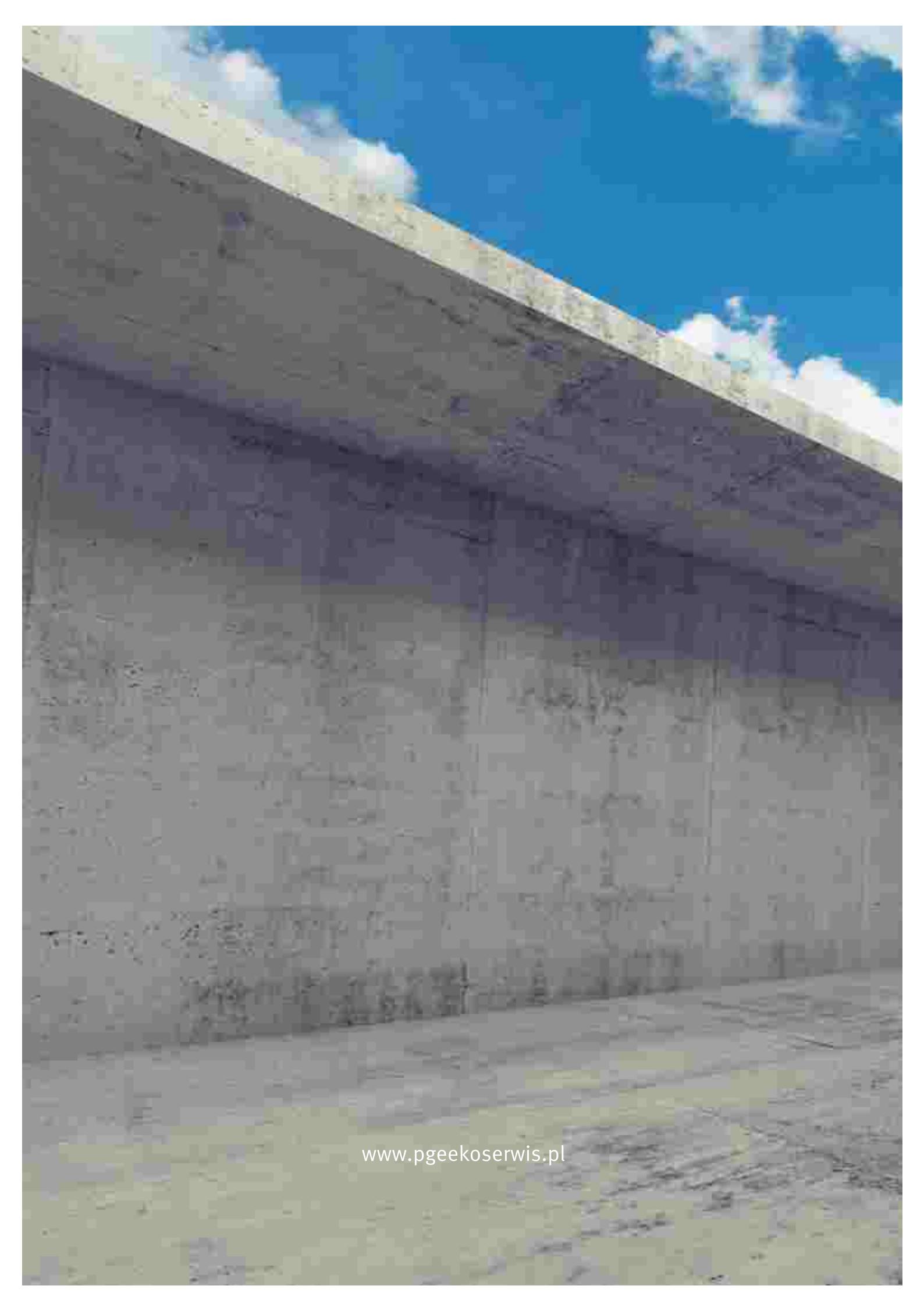
• Cement CEM 142.5 N-Na.....	82
• Popílek.....	93
• Písek 0/2.....	605
• Štěrk 2/8.....	604
• Štěrk 8/16.....	604
• Voda.....	160
• Přísada (FM).....	2,50

Výpočty a kontroly výše uvedených receptur:

- $w/c_{eq} = \text{voda}/(\text{cement} + k \times \text{popílek}) = 0,50$
- objem pojiva v betonu $V = 133,23 \text{ dm}^3$
- množství a objem kameniva v betóně: 1813 kg ($1813/2,65 = 684,15 \text{ dm}^3$)
- vypočtený objem 1 m³ směsi je správný a činí: $133,23$ (spojivo) + $684,15$ (kamenivo) + $162,5$ (voda a příměsy) + 20 (prevzdušnenie 2%) = 1000 dm^3

Receptura vyžaduje laboratorní kontrolu.





www.pgeekoserwis.pl