

# UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

## 35 456

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:

**C04B 18/16** (2006.01)

(19)  
ČESKÁ  
REPUBLIKA



ÚŘAD  
PRŮMYSLOVÉHO  
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2021-38907**  
(22) Přihlášeno: **29.05.2020**  
(47) Zapsáno: **12.10.2021**

(73) Majitel:  
ERC-TECH a.s., Praha 2, Nové Město, CZ

(72) Původce:  
Ing. Jiří Fiala, Vedrovice, CZ  
Ing. Jan Čermák, Ph.D., Ivančice, Němčice, CZ  
Mgr. Pavel Gorecký, Brno, Staré Brno, CZ  
František Polák, Řícmanice, CZ

(74) Zástupce:  
Ing. Dobroslav Musil, patentová kancelář, Ing.  
Dobroslav Musil, patentový zástupce, Zábrdovická  
801/11, 615 00 Brno, Zábrdovice

(54) Název užitého vzoru:  
**Čerstvý beton a suchá směs pro přípravu  
čerstvého betonu pro technologii 3D tisku**

## Čerstvý beton a suchá směs pro přípravu čerstvého betonu pro technologii 3D tisku

### Oblast techniky

5

Technické řešení se týká čerstvého betonu a suché směsi pro přípravu čerstvého betonu pro technologii 3D tisku.

### Dosavadní stav techniky

10

Technologie 3D tisku betonových směsí je slibnou součástí stavebnictví. Jejím většímu rozšíření ale brání zejména dva faktory – stávající 3D tiskárny na beton jsou v podstatě imobilní, takže je nutné jednotlivé díly stavby obvykle vytvořit mimo staveniště, což není ekonomicky rentabilní, a současně nejsou k dispozici betony a betonové směsi vhodného složení, které by umožňovaly využít potenciálu této technologie, případně jsou tyto směsi díky specifickému složení (např. s přídavkem polymeru apod.) poměrně drahé a nedostupné.

15

Cílem technického řešení je eliminovat nevýhody stavu techniky návrhem vhodného a ekonomicky dostupného složení čerstvého betonu optimalizovaného pro technologii 3D tisku a suché směsi pro přípravu takového čerstvého betonu.

20

### Podstata technického řešení

25

Čerstvý beton pro technologii 3D tisku podle technického řešení obsahuje vodu, cement (případně v kombinaci s alespoň jedním substituentem), mikrosiliku nebo alespoň jeden její substituent, případně směs mikrosiliky a alespoň jednoho jejího substituentu, a kamenivo s horní frakcí do 8 mm, s výhodou do 4 mm, přičemž alespoň 80 % hmotn. kameniva je tvořeno recyklátem z inertního stavebně demoličního odpadu (tj. mletým nebo drceným inertním stavebně demoličním odpadem). Až 20 % hmotn. kameniva může být v případě potřeby tvořeno přírodním kamenivem a/nebo alespoň jednou známou zušlechťovací příměsí, která zlepšuje tepelné a/nebo zvukové a/nebo protipožární vlastnosti zatvrdělého betonu, a která se běžně používá u standardních betonů. Takovou zušlechťovací příměsí je např. lehké umělé kamenivo (jako je např. agloporit, keramzit, expandit, expandovaný perlit, pod.), škvára, struska, polystyren nebo alespoň jedno organické plnivo (jako jsou např. dřevěné piliny, hobliny, rýžové plevy, pazdeří apod.) atd.

30

35

Vzhledem k tomu, že inertní stavebně demoliční odpad je běžně dostupnou surovinou s velmi nízkou cenou a při použití specifického postupu míchání (viz např. patent CZ 307741 B6 nebo CZ PV 2018-141 A3) jím lze bez ovlivnění mechanických vlastností betonu nahradit až 100 % kameniva v betonu, snižuje jeho použití podstatným způsobem cenu čerstvého betonu. Kromě toho snižuje také ekologickou zátěž spojenou s jeho výrobou a umožňuje využít materiál, který je v současné době téměř bez využití a hromadí se na skládkách. Recyklát z inertního stavebně demoličního odpadu je tvořený drceným nebo mletým cihelným, keramickým, směsným nebo betonovým recyklátem (viz níže). Během míchání pak mikrosilika a/nebo alespoň jeden její substituent a pucolánový prach, který vzniká při tření zm. recyklátu v kamenivu během míchání, obalují zrna kameniva, zejména recyklátu, a vyplňují póry v nich. V důsledku toho dochází k přesunu části tranzitní zóny až do pórů zm. kameniva, zejména recyklátu v kamenivu, a tím k jejich zpevnění a zlepšení jejich mechanických vlastností. Současně nedochází ke shlukování jemných částic a výsledný beton má nižší pórovitost a po zatvrdnutí dosahuje mechanicko-fyzikálních parametrů srovnatelných se standardními betony. Cementový tmel vznikající zvlhčením cementu a případně i jeho substituentu/substituentů pak obaluje zrna kameniva, zejména recyklátu, již obalená směsí mikrosiliky a/nebo alespoň jednoho jejího substituentu a pucolánového prachu.

40

45

50

55

Pro zlepšení reologických vlastností čerstvého betonu, které jsou při 3D tisku klíčové může čerstvý beton obsahovat přídavek jemně mletého recyklátu z inertního stavebně demoličního odpadu (cihelného, keramického, směsného nebo betonového recyklátu-viz níže) s velikostí částic 5 až 250  $\mu\text{m}$ , s výhodou 5 až 125  $\mu\text{m}$  (s případným technologickým podílem větších částic), a s měrným povrchem 300 až 1500  $\text{m}^2/\text{kg}$ . Tento jemně mletý recyklát zajišťuje betonu podle technického řešení kompaktnost, požadovanou konzistenci a počáteční únosnost-beton zůstává po vynesení 3D tiskárnou beze změny tvaru a je dostatečně únosný pro pokládání dalších vrstev. Přitom současně obsahuje amorfni křemičité a hlinitanové složky, které reagují při styku s vodou a  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  za vzniku nových hydratačních C-S-H fází, které jsou téměř stejné jako u slínkových minerálů portlandského cementu. Během míchání betonu tento jemně mletý recyklát společně s mikrosilikou a/nebo alespoň jedním jejím substituentem a pucolánovým prachem vznikajícím při tření zrn recyklátu v kamenivu, obalují zrna kameniva, zejména recyklátu, a vyplňují póry v nich. I v tomto případě dochází k přesunu části tranzitní zóny až do pórů zrn kameniva, zejména recyklátu, a v důsledku toho k jejich zpevnění a zlepšení jejich mechanických vlastností. Současně nedochází ke shlukování jemných částic a výsledný beton má nižší pórovitost a po zatvrdnutí dosahuje mechanicko-fyzikálních parametrů srovnatelných se standardními betony. Cementový tmel vznikající zvlhčením cementu a případně i jeho substituentu/substituentů pak obaluje zrna kameniva již obalená směsí mikrosiliky a/nebo alespoň jednoho jejího substituentu, pucolánového prachu a jemně mletého recyklátu.

Pucolánový prach vznikající třením zrn recyklátu v kamenivu během míchání má nerovnoměrný měrný povrch, různou velikost částic a tím pádem i nižší pucolánovou aktivitu než jemně mletý recyklát z inertního stavebně demoličního odpadu. Pro dosažení vyšší pucolánové aktivity je totiž nutné, aby byly molekuly  $\text{SiO}_2$  více přístupné hydroxidu vápenatému, proto je vhodné, aby byl recyklát mletý na vyšší měrný povrch a většina jeho částic měla zhruba stejnou velikost.

V závislosti na typu použitého recyklátu z inertního stavebního odpadu v kamenivu a intenzitě míchání může být alespoň část pucolánového prachu, který vzniká při tření zrn recyklátu v kamenivu, shodná s jemně mletým recyklátem.

Při níže popsanych experimentech se jednoznačně prokázal pozitivní vliv tohoto uspořádání na přechodovou zónu mezi kamenivem, zejména recyklátem, a cementovým tmelem a tím i vyšším objemem C-S-H gelů než u běžných betonů.

Typické chemické složení recyklátu z inertního stavebně demoličního odpadu je uvedeno níže v tabulce 1.

Tabulka 1

| Složka                  | Obsah [%]  |
|-------------------------|------------|
| $\text{SiO}_2$          | 35 až 65   |
| $\text{CaO}$            | 5 až 35    |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$ | 5 až 45    |
| $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | 1 až 10    |
| $\text{MgO}$            | 1 až 10    |
| $\text{K}_2\text{O}$    | 0,5 až 2   |
| $\text{TiO}_2$          | 0,3 až 1   |
| $\text{SO}_3$           | 0,2 až 1,0 |
| $\text{K}_2\text{O}$    | 0,5 až 2,0 |

Případný přebytek jemně mletého recyklátu, s výhodou betonového, po obalení zrn kameniva, zejména recyklátu, a vyplnění jejich pórů, může v pozdějších fázích přípravy betonu, díky svým pucolánovým vlastnostem, sloužit jako náhrada části dávky nebo doplnění cementu a je zakomponován v tmelu, který vzniká zvlhčením cementu a případně i jeho

substituentu/substituentů (minimální množství jemně mletého recyklátu potřebného k obalení zrna kameniva, zejména recyklátu, a vyplnění jejich pórů je cca 10 kg/m<sup>3</sup> betonu).

Čerstvý beton pro technologii 3D tisku podle technického řešení obsahuje v 1 m<sup>3</sup> 160 až 500 kg vody, 160 až 580 kg cementu nebo 160 až 600 kg směsi cementu a alespoň jednoho jeho substituentu, 5 až 65 kg mikrosiliky nebo alespoň jednoho jejího substituentu nebo směsi mikrosiliky a alespoň jednoho jejího substituentu, a 1000 až 1650 kg kameniva s horní frakcí do 8 mm, s výhodou do 4 mm, z něhož je alespoň 80 % hmotn. tvořeno recyklátem z inertního stavebně demoličního odpadu. Jednotlivá zrna kameniva, zejména recyklátu, jsou obalena a jejich póry jsou vyplněny směsí mikrosiliky a/nebo alespoň jednoho jejího substituentu a pucolánového prachu, který vzniká při tření zrna recyklátu v kamenivu. V případě, kdy čerstvý beton obsahuje pro zlepšení reologických vlastností přísadkem jemně mletého recyklátu (a to v množství až 375 kg/m<sup>3</sup> čerstvého betonu) z inertního stavebně demoličního odpadu, jsou zrna kameniva, zejména recyklátu obalena a jejich póry vyplněny směsí tohoto jemně mletého recyklátu a mikrosiliky a/nebo alespoň jednoho jejího substituentu a jemného pucolánového prachu. Cementový tmel, který vzniká zvlhčením cementu a případně i jeho substituentu/substituentů pak obaluje takto upravená zrna kameniva.

Cihelným recyklátem se pro účely této přihlášky rozumí recyklát vytvořený drcením nebo mletím inertního stavebně demoličního odpadu (vč. zbytků ze stavby a/nebo odpadu z průmyslové výroby stavebních výrobků), který je zcela nebo alespoň z nadpoloviční většiny tvořený cihlami, s případnými příměsemi jiných stavebních materiálů a/nebo hmot (betonu, keramických stavebních a zařizovacích předmětů, zbytků malty, omítky, stavebního lepidla apod.). Cihelný recyklát je tak zcela nebo alespoň z nadpoloviční většiny tvořený cihelnou drtí, s případnou příměsí drti z jiných stavebních materiálů a/nebo hmot.

Keramickým recyklátem se pro účely této přihlášky rozumí recyklát vytvořený drcením nebo mletím inertního stavebně demoličního odpadu (vč. zbytků ze stavby a/nebo odpadu z průmyslové výroby stavebních výrobků), který je zcela nebo alespoň z nadpoloviční většiny tvořený keramickými stavebními a zařizovacími předměty, jako např. dlažbami, obklady, keramickými sanitárními výrobky, pálenými taškami apod., s případnými příměsemi jiných stavebních materiálů a/nebo hmot (betonu, cihel, zbytků malty, omítky, stavebního lepidla apod.). Keramický recyklát je tak zcela nebo alespoň z nadpoloviční většiny tvořený keramickou drtí, s případnou příměsí drti z jiných stavebních materiálů a/nebo hmot.

Betonovým recyklátem se pro účely této přihlášky rozumí recyklát vytvořený drcením nebo mletím inertního stavebně demoličního odpadu (vč. zbytků ze stavby a/nebo odpadu z průmyslové výroby stavebních výrobků), který je zcela nebo alespoň z nadpoloviční většiny tvořen betonem nebo jiným materiálem obsahujícím cement (např. betonovým potěrem, cementovou maltou apod.), s případnými příměsemi jiných stavebních materiálů nebo hmot (cihel, keramických stavebních a zařizovacích předmětů, zbytků malty, omítky, stavebního lepidla apod.). Betonový recyklát je tak zcela nebo alespoň z nadpoloviční většiny tvořený drtí z betonu nebo jiného materiálu obsahujícího cement, s případnou příměsí drti z jiných stavebních materiálů a/nebo hmot.

Směsným recyklátem se pro účely této přihlášky rozumí recyklát vytvořený drcením nebo mletím směsného inertního stavebně demoličního odpadu (vč. zbytků ze stavby a/nebo odpadu z průmyslové výroby stavebních výrobků), který je tvořen směsí různých stavebních materiálů a hmot, obvykle cihel, betonu a keramických stavebních a zařizovacích předmětů v různém poměru, s případnou příměsí zbytků malt, omítek, sádky, stavebního lepidla apod., nebo recyklát vytvořený smícháním dvou nebo více výše uvedených recyklátů (cihelného, keramického, betonového). Směsný recyklát je tak tvořen směsnou drtí ze stavebně demoličního odpadu.

Mikrosilikou se rozumí antikoroziní prášková přísada do betonů a malt na bázi amorfního SiO<sub>2</sub> s mikro-výplňovým, pucolánovým a reologickým účinkem. Obvyklá zrnitost mikrosiliky je 100 % <100 μm, její měrný povrch 20 až 22 m<sup>2</sup>/g. Mikrosiliku je možné doplnit nebo nahradit

alespoň jedním jejím známým substituentem, jako je např. metakaolín, lupek, mletá (vysokopeční) struska (ground-granulated blast-furnace slag-GGBS nebo GGBFS), popílek (fly ash), mikromletý vápenec apod. Ve výhodné variantě provedení lze použít ztuhnutou mikrosiliku, která má menší objem.

5

V případě potřeby může čerstvý beton podle technického řešení v kterékoliv variantě obsahovat alespoň jednu přísadu nebo kombinaci dvou nebo více přísad do betonu v dávce maximálně do 10 % hmotn. dávky cementu, resp. cementu a jeho substituentu. Takovou přísadou může být libovolná známá přísada, jako např. přísada pro vibrolisovaný beton a/nebo přísada dle EN 934-2.

10

Mezi tyto přísady patří dále zejména vodoredukující (plastifikační) a silně vodoredukující (superplastifikační) přísady pro zlepšení konzistence betonu, pro snížení dávky vody, zlepšení pevnosti a některých dalších vlastností čerstvého a ztvrdlého betonu, dále přísady stabilizační, provzdušňovací, urychlující tuhnutí a tvrdnutí betonu, zpomalující tuhnutí, těsnící apod. Tato/tyto přísada/přísady se přitom k ostatním složkám betonu přidává/přidávají rozpuštěná/rozpuštěná

15

v záměsové vodě, nebo samostatně, s výhodou až po přidání záměsové vody.

20

Celkové množství všech vodoredukujících přísad do betonu v něm je s výhodou do 10 kg/m<sup>3</sup> čerstvého betonu, celkové množství všech stabilizačních přísad do betonu v něm je s výhodou do 2 kg/m<sup>3</sup> čerstvého betonu, celkové množství všech urychlovacích přísad do betonu v něm je s výhodou do 50 kg/m<sup>3</sup> čerstvého betonu atd.

25

Pro dosažení požadovaných vlastností může čerstvý beton podle technického řešení dále obsahovat výztužná vlákna, která ztužují jeho strukturu a tím vylepšují některé jeho vlastnosti, např. pevnost v tahu a pevnost v tahu ohybem. Vhodnými výztužnými vlákny jsou např. polypropylenová (PP) vlákna, polyvinylalkoholová (PVA) vlákna, směs polypropylenových a polyetylenových vláken (PLV), celulózová vlákna, ocelová vlákna, skleněná vlákna, karbonová vlákna, kevlarová vlákna apod. Tato vlákna se do betonové směsi obvykle přidávají v množství cca do 2 kg/m<sup>3</sup> čerstvého betonu, u ocelových a podobných vláken až do 110 kg/m<sup>3</sup> čerstvého betonu.

30

Při výhodném způsobu přípravy čerstvého betonu podle technického řešení se v průmyslové míchačce 5 až 80, s výhodou 5 až 40 sekund, promíchává kamenivo tvořené alespoň z 80 % hmotn. recyklátem z inertního stavebně demoličního odpadu s mikrosilikou a/nebo alespoň jedním jejím substituentem. Při tření zrn recyklátu v kamenivu dochází k jejich intenzivnímu odírání a v důsledku toho ke zvětšení měrného povrchu tohoto recyklátu a k vytvoření jemného pucolánového prachu, přičemž směs mikrosiliky a/nebo alespoň jednoho jejího substituentu a tohoto pucolánového prachu obaluje částice kameniva, zejména recyklátu, a vyplňuje póry v nich. Po jejich promíchání se k takto vytvořené směsi za stálého míchání během 1 až 20 sekund, s výhodou 1 až 9,9 sekund, přidá cement nebo postupně v libovolném pořadí nebo současně cement a alespoň jeden jeho substituent a takto vytvořená směs se promíchává dalších 5 až 80 sekund, s výhodou 5 až 40 sekund. Poté se tato směs za stálého míchání 5 až 60 sekund, s výhodou 5 až 40 sekund skrápí celou dávkou záměsové vody, nebo se na ni během této doby celá dávka záměsové vody rozpráší, přičemž dochází k postupnému zvlhčování povrchu cementu a případně i jeho substituentu/substituentů a k postupnému nalepování vytvářeného cementového tmelu na částice kameniva již obalené směsí mikrosiliky a/nebo alespoň jednoho jejího substituentu a pucolánového prachu. Po dalších 5 až 160 sekundách promíchávání se připraví čerstvý beton.

45

50

V jiné variantě se v průmyslové míchačce nejprve 5 až 80 sekund, s výhodou 5 až 40 sekund promíchává samotné kamenivo a po jeho promíchání se k němu za stálého míchání během 1 až 15 sekund, s výhodou během 1 až 10 sekund, přidá mikrosilika a/nebo alespoň jeden její substituent, a takto vytvořená směs se promíchává dalších 5 až 80 sekund, s výhodou 5 až 40 sekund. Další postup odpovídá výše uvedenému.

55

Pokud beton současně obsahuje jemně mletý recyklát z interního stavebně demoličního odpadu, přidává se alespoň část dávky tohoto recyklátu do míchačky před cementem – např. společně s kamenivem (nebo některou jeho složkou) a/nebo mikrosilikou a/nebo jejím

substituentem/substituenty. V případě, kdy se jemně mletý recyklát z interního stavebně demoličního odpadu dodává do promíchávané směsi samostatně, přidává se do ní během 1 až 15 sekund, s výhodou během 1 až 10 sekund, a vytvořená směs se promíchává dalších 5 až 80 sekund, s výhodou 5 až 40 sekund.

5

Pro důkladné promísení jednotlivých složek a přípravu betonů (nebo suchých směsí) požadované struktury a vlastností se používá libovolná průmyslová míchačka, s výhodou pak míchačka s nuceným oběhem, např. míchačka s radiálním pohybem míchacích ramen, případně s dvojitým simultánním radiálním pohybem míchacích ramen (jako např. míchačka popsaná v IT 1244970 B nebo EP 0508962 A1), u které dochází ke stírání všech jejích vnitřních ploch. Kromě toho je možné použít libovolný jiný typ průmyslové míchačky, vč. kontinuálních míchaček (při použití předem připravené suché směsi). Přitom je však nutné dodržet pořadí přidávání jednotlivých složek betonu do míchačky tak, aby se cement, případně v kombinaci a alespoň jedním substituentem dodával až po promíchání (většiny) kameniva s mikrosilikou a/nebo jejím substituentem/substituenty (a případně jemně mletým recyklátem z inertního stavebně demoličního odpadu). Všechny složky se s výhodou dávkuje za chodu míchačky. Mícháním se pro účely této přihlášky rozumí i způsoby míchání, u kterých se běh míchačky po promísení již vložených složek, a před přidávkou následující složky dočasně zastaví, případně pokud se běh míchačky, pokud to dovoluje její konstrukce, pro vložení některé další složky a její promíchání s ostatními složkami obrátí. Tyto úpravy běhu míchačky však nemají žádný vliv na vlastnosti nebo konzistenci připravovaného čerstvého betonu (nebo suché směsi), ani na následně zatvrdlý beton a jeho vlastnosti.

Recyklát z inertního stavebně demoličního odpadu se před přípravou betonu pole technického řešení hygienizuje, a to např. vodní nebo parní lázní nebo jiným způsobem, čímž se sníží počet v něm obsažených (patogenních) organismů a mikroorganismů.

Ve všech variantách se používá cement třídy CEM I až CEM V s vazností 32,5 N, R, 42,5 N, R, 52,5 N, R. Část dávky cementu může být nahrazena některým ze známých substituentů cementu, jako např. mletou struskou (ground-granulated blast-furnace slag - GGBS nebo GGBFS) a/nebo popílkem (fly ash) a/nebo jemně mletým vápencem (ground calcium carbonate -GCC) apod., případně kombinací alespoň dvou takových substituentů, přičemž poměr cementu a substituentu/substituentů cementu v čerstvém betonu je 30:70 až 70:30. Souhrnné množství cementu a substituentu/substituentů cementu je pak stejné jako množství samotného cementu, tj. 160 až 580 kg/m<sup>3</sup> čerstvého betonu, případně až 600 kg/m<sup>3</sup> čerstvého betonu. Cement a substituent/substituenty cementu se přitom do směsi přidávají buď souběžně, každý zvlášť, nebo postupně v libovolném pořadí, (preferované, nikoliv však nezbytně nutné je nejprve přidat substituent/substituenty cementu a poté cement), nebo ve formě předem připravené směsi výše popsaného složení. Jako substituent cementu může díky svým výborným pucolánovým vlastnostem sloužit také přebytek jemně mletého recyklátu z inertního stavebně demoličního odpadu, zejména betonového.

Záměsová voda musí kvalitou odpovídat pitné vodě. V případě potřeby může obsahovat (rozpuštěnou nebo nerozpuštěnou) alespoň jednu známou standardní přísadu do betonu.

Analogickým postupem je možné připravit suchou směs pro přípravu takového čerstvého betonu, pouze bez přidavku záměsové vody, případně i bez přidavku cementu a jeho substituentu/substituentů. Tato suchá směs pak obsahuje v přepočtu na 1 m<sup>3</sup> čerstvého betonu 5 až 65 kg mikrosiliky nebo alespoň jednoho jejího substituentu nebo směsi mikrosiliky a alespoň jednoho jejího substituentu a 1000 až 1650 kg kameniva s horní frakcí do 8 mm, s výhodou do 4 mm, přičemž alespoň 80 % hmotn. tohoto kameniva je tvořeno recyklátem z inertního stavebně demoličního odpadu a zrna recyklátu v kamenivu jsou obalena a jejich póry jsou vyplněny směsí mikrosiliky a/nebo alespoň jednoho jejího substituentu a jemného pucolánového prachu, který vzniká při tření zrn recyklátu v kamenivu.

V další variantě může suchá směs pro přípravu čerstvého betonu podle technického řešení obsahovat až 375 kg jemně mletého recyklátu z inertního stavebně demoličního odpadu s velikostí částic 5 až 250  $\mu\text{m}$ , případně 5 až 125  $\mu\text{m}$ , a měrným povrchem 300 až 1500  $\text{m}^2/\text{kg}$ , přičemž zrna kameniva, zejména recyklátu, jsou obalena a jeho póry jsou vyplněny směsí tohoto jemně mletého recyklátu z inertního stavebně demoličního odpadu, jemného pucolánového prachu vznikajícího při promíchávání kameniva a mikrosiliky a/nebo alespoň jednoho jejího substituentu.

V kterékoliv variantě může suchá směs dále v přepočtu na 1  $\text{m}^3$  čerstvého betonu obsahovat 160 až 580 kg cementu, nebo současně cement a alespoň jeden jeho substituent v celkovém množství 160 až 580 kg, případně až 600 kg (přičemž poměr cementu a substituentu/substituentů cementu je 30:70 až 70:30).

Pro přípravu čerstvého betonu z této suché směsi lze použít libovolný známý typ míchačky, vč. kontinuální míchačky.

#### Příklady uskutečnění technického řešení

Níže jsou pro názornost popsány příkladné varianty přípravy čerstvého betonu podle technického řešení.

##### Příklad 1

Pro přípravu betonu podle technického řešení se v průmyslové míchačce s nuceným oběhem 5 až 40 sekund, s výhodou 5 až 20 sekund, promíchává cihelný, keramický, betonový nebo směsný recyklát z inertního stavebně demoličního odpadu s horní frakcí do 8 mm, případně dvoufrakční recyklát s frakcí 0 až 4 mm a s frakcí 4 až 8 mm. Po jeho promíchání se k němu za stálého míchání během 1 až 15 sekund, s výhodou během 1 až 10 sekund, přidá mikrosilika a/nebo alespoň jeden její substituent, a takto vytvořená směs se promíchává dalších 5 až 80 sekund, s výhodou 5 až 40 sekund. Poté se k ní za stálého míchání během 1 až 20 sekund, s výhodou během 1 až 10 sekund přidá cement, nebo se k němu během 1 až 15 sekund, s výhodou 1 až 10 sekund, přidá postupně v libovolném pořadí nebo současně cement a alespoň jeden jeho substituent, a takto vytvořená směs se promíchává dalších 5 až 80 sekund, s výhodou 5 až 40 sekund. Následně se tato směs za stálého míchání během 5 až 60 sekund, s výhodou 5 až 40 sekund, zropí celou dávkou záměsové vody (která v případě potřeby obsahuje alespoň jednu přísadu do betonu) nebo se na ni celá dávka záměsové vody během 5 až 60 sekund, s výhodou během 5 až 40 sekund, rozpráší. Po dalších 5 až 160 sekundách, s výhodou 5 až 80 sekundách, promíchávání se připraví čerstvý beton, u kterého je alespoň 80 % hmotn. kameniva tvořeno recyklátem z inertního stavebně demoličního odpadu, přičemž zrna tohoto kameniva, zejména recyklátu, jsou obalena a jeho póry jsou vyplněny směsí mikrosiliky a/nebo alespoň jednoho jejího substituentu a jemného pucolánového prachu, který vzniká při tření zrn recyklátu v kamenivu, a takto upravená zrna kameniva jsou dále obalena cementovým tmelem, který vzniká smáčením cementu (případně v kombinaci s alespoň jedním jeho substituentem).

Případný jemně mletý recyklát z inertního stavebně demoličního odpadu se do směsi přidává před přidáním cementu, s výhodou společně s mikrosilikou. V tomto případě jsou zrna kameniva, zejména recyklátu, obalena a jeho póry vyplněny směsí mikrosiliky a/nebo alespoň jednoho jejího substituentu, jemného pucolánového prachu, který vzniká při tření kameniva, a jemně mletého recyklátu z inertního stavebně demoličního odpadu, a takto upravená zrna kameniva jsou dále obalena cementovým tmelem, který vzniká smáčením cementu (případně v kombinaci s alespoň jedním jeho substituentem).

Tímto postupem se připravilo 9 vzorků čerstvého betonu podle technického řešení, přičemž složení 1  $\text{m}^3$  každého z nich je popsáno v Tabulce 2.

Takto připravené čerstvé betony se podrobily zkoušce konzistence způsobem dle EN 12350-2 a měření obsahu vzduchu způsobem dle EN 12350-7.

- 5 Z těchto čerstvých betonů se vytvořily krychle o hraně 150 mm pro zkoušku pevnosti v tlaku dle EN 12390-3, hranoly o rozměrech 100 mm x 100 mm x 400 mm pro zkoušku pevnosti v tahu ohybem dle EN 12390-5, pro měření objemových změn dle ČSN 73 1320, měření statického modulu pružnosti dle ISO 1920-10 a desky o rozměrech 200 mm x 200 mm x 50 mm pro zkoušku tepelné vodivosti. Po ztvrdnutí betonu se zkušební tělesa druhý den odformovala a pro příslušné zkoušky se uložila v klimatizované komoře při teplotě  $20 \pm 2$  °C a relativní vlhkosti nad 95 %.
- 10 Parametry naměřené při těchto zkouškách jsou uvedeny v tabulce 3.

- Čerstvé betony pro technologii 3D tisku se testovaly při vynášení na šestiosém robotu, který byl osazený tiskovou hlavou s tryskou o průměru 20 mm, do které se tyto čerstvé betony přiváděly pomocí šnekového čerpadla s nastavitelným výkonem, který byl postupně optimalizován s rychlostí robota. V rámci testování byly provedeny testy tvarové stálosti vytisknuté vrstvy po vytisknutí a po nanesení dalších vrstev, rychlosti tuhnutí betonové směsi, únosnosti vytisknuté stopy před a při tuhnutí, čerpatelnosti betonové směsi. Tvarová stálost byla kontrolována posuvným měřidlem po vytisknutí dané stopy a po jejím zatížení dalšími vrstvami, rychlost tuhnutí byla stanovena pomocí penetrační jehly na Vicatově přístroji, únosnost stopy byla ověřena pomocí posuvného měřidla, kdy stopa byla zatěžována dalšími vrstvami do doby, než se její průřez zdeformoval o  $2 \pm 1$  mm. Testy byly provedeny v laboratorním prostředí se stálou teplotou  $20 \pm 1$  °C a relativní vlhkostí  $60 \pm 5$  %. Ve všech variantách si nanesená vrstva uchovala svůj tvar, a přitom měla dostatečnou pevnost pro uložení další vrstvy.

25 Tabulka 2

| Vzorek                                                                         | ERC  | ERC  | ERC  | ERC  | ERC | ERC | ERC | ERC | ERC |
|--------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Složka                                                                         | 1/1  | 1/2  | 1/3  | 1/4  | 1/5 | 1/6 | 1/7 | 1/8 | 1/9 |
| Směsný recyklát z inertního stavebně demoličního odpadu, frakce 0 až 4 mm [kg] | 0    | 0    | 0    | 1219 | 730 | 300 | 0   | 0   | 0   |
| Cihlový recyklát, frakce 0 až 4 mm [kg]                                        | 0    | 0    | 1191 | 0    | 0   | 0   | 0   | 750 | 300 |
| Keramický recyklát, frakce 0 až 4 mm [kg]                                      | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 600 | 0   | 0   | 0   |
| Betonový recyklát, frakce 0 až 4 mm [kg]                                       | 1101 | 1247 | 0    | 0    | 0   | 0   | 740 | 0   | 0   |
| Přírodní kamenivo, frakce 0 až 4 mm [kg]                                       | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 260 |
| Směsný recyklát z inertního stavebně demoličního odpadu, frakce 4 až 8 mm [kg] | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0   | 740 | 420 | 0   |
| Cihlový recyklát, frakce 4 až 8 mm [kg]                                        | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 260 |



|                                                                                                                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Keramický recyklát,<br>frakce 4 až 8 mm<br>[kg]                                                                 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 332  | 0    | 0    | 0    |
| Betonový recyklát,<br>frakce 4 až 8 mm<br>[kg]                                                                  | 0    | 0    | 0    | 0    | 390  | 0    | 0    | 0    | 0    |
| Přírodní kamenivo,<br>frakce 4 až 8 mm<br>[kg]                                                                  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 200  |
| Mikrosilika/substitut<br>nt(y)<br>[kg]                                                                          | 50   | 50   | 45   | 40   | 30   | 20   | 15   | 5    | 31   |
| Jemně mletý recyklát<br>z inertního stavebně<br>demoličního odpadu<br>[kg]                                      | 0    | 0    | 0    | 0    | 160  | 230  | 320  | 0    | 100  |
| Cement<br>[kg]                                                                                                  | 520  | 320  | 330  | 300  | 430  | 250  | 180  | 200  | 360  |
| Příměs – substituent<br>cementu (popílek,<br>vysokopecní<br>granulovaná struska,<br>mikromletý vápenec)<br>[kg] | 0    | 200  | 180  | 220  | 0    | 0    | 190  | 340  | 0    |
| Plastifikační nebo<br>superplastifikační<br>přísada do betonu<br>[kg]                                           | 7    | 5    | 6,6  | 6,3  | 6,9  | 6    | 5,6  | 5    | 0    |
| Stabilizační přísada<br>do betonu<br>[kg]                                                                       | 0,8  | 0,5  | 0,6  | 1,1  | 1,3  | 0,3  | 0,7  | 0,1  | 0    |
| Urychlovací přísada<br>do betonu<br>[kg]                                                                        | 11,2 | 8,5  | 12,4 | 6,3  | 15   | 43   | 33   | 3    | 0    |
| Výztužná vlákna<br>[kg]                                                                                         | 0    | 0    | 1    | 23   | 30   | 55   | 100  | 6    | 6    |
| Voda<br>[kg]                                                                                                    | 335  | 255  | 350  | 296  | 286  | 400  | 298  | 450  | 460  |
| Objemová hmotnost<br>betonu stárí 7 dnů<br>[kg/m <sup>3</sup> ]                                                 | 2020 | 2074 | 1940 | 2010 | 2110 | 1920 | 2030 | 2050 | 2140 |
| Objemová hmotnost<br>betonu stárí 28 dnů<br>[kg/m <sup>3</sup> ]                                                | 2015 | 2050 | 1920 | 1990 | 2090 | 1900 | 2010 | 2020 | 2120 |

Tabulka 3

| Vzorek                                             | ERC  | ERC  | ERC  | ERC  | ERC  | ERC  | ERC  | ERC  | ERC  |
|----------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Parametr                                           | 1/1  | 1/2  | 1/3  | 1/4  | 1/5  | 1/6  | 1/7  | 1/8  | 1/9  |
| Konzistence čerstvého betonu – sednutí kužele [mm] | 90   | 130  | 120  | 80   | 140  | 70   | 150  | 100  | 110  |
| Obsah vzduchu v čerstvém betonu [%]                | 1,3  | 6,2  | 5,2  | 3,5  | 3,2  | 1,9  | 1,8  | 4,6  | 4,9  |
| Pevnost v tlaku [MPa]                              | 38   | 36   | 37   | 34   | 31   | 25   | 21   | 23,5 | 29   |
| - po 7 dnech                                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| - po 28 dnech                                      | 67,2 | 58,6 | 59,4 | 48,9 | 43,6 | 37,7 | 34,9 | 37,2 | 43,5 |
| Pevnost v tahu ohybem po 28 dnech [MPa]            | 6,3  | 5,9  | 5,5  | 5,2  | 4,8  | 4,5  | 4,4  | 5,1  | 5,2  |
| Hloubka průsaku tlakovou vodou [mm]                | 5    | 6    | 10   | 12   | 8    | 20   | 25   | 22   | -    |

- 5 Kromě toho se u těchto betonů výpočtem dle EN 196-2 a EN 1744-1 stanovil obsah chloridů, postupem dle Vyhlášky č. 307/2002 Sb. Státního úřadu pro jadernou bezpečnost o radiační ochraně, ve znění pozdějších předpisů obsah přírodních radionuklidů, a index hmotnostní aktivity, přičemž všechny tyto parametry odpovídají požadavkům těchto předpisů pro použití pro stavby s obytnými nebo pobytovými místnostmi (hmotnostní aktivita  $^{226}\text{Ra} \leq 150 \text{ Bq.kg}^{-1}$ , index hmotnostní aktivity  $I \leq 0,5$ ). Postupem dle EN 12457 a Vyhlášky Ministerstva životního prostředí
- 10 č. 294/2005 Sb. se určila jeho ekotoxicita jako vyhovující. Kritéria pro určení ekotoxicity jsou uvedena v Tabulce 4.

Tabulka 4

| Testovaný organizmus                             | Doba působení [hod] | I                         | II                        |
|--------------------------------------------------|---------------------|---------------------------|---------------------------|
| Na vodním členovci <i>Daphnia magna</i>          | 48                  | Max. imobilizace 30 %     | Max. imobilizace 30 %     |
| Na vodním obratlovcí <i>Poecillia reticulata</i> | 96                  | bez úhynu a změny chování | bez úhynu a změny chování |
| Na řase <i>Desmodesmus subspicatus</i>           | 72                  | Max. inhibice 30 %        | Max. změna růstu 30 %     |
| Na semenech rostliny <i>Sinapis alba</i>         | 72                  | Max. inhibice 30 %        | Max. změna růstu 30 %     |

15

V Tabulce 5 jsou pak uvedeny pevnostní třídy betonu do kterých dané betony díky svým mechanicko-fyzikálním parametrům spadají a klasifikační třídy specifikace využití těchto betonů dle ČSN EN 206 – viz tabulka 6.

Tabulka 5

| Vzorek                           | ERC<br>1/1 | ERC<br>1/2 | ERC<br>1/3 | ERC<br>1/4 | ERC<br>1/5 | ERC<br>1/6 | ERC<br>1/7 | ERC<br>1/8 | ERC<br>1/9 |
|----------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Třída<br>pevnosti<br>betonu      | C 50/60    | C 40/50    | C 45/55    | C 30/37    | C 30/37    | C25/30     | C25/30     | C25/30     | C30/37     |
| Specifikace<br>použití<br>betonu |            | X0         |            |            |            |            |            |            |            |
|                                  | X0         | XC1        | X0         | X0         | X0         |            |            |            | X0         |
|                                  | XC1        | XC2        | XC1        | XC1        | XC1        | X0         | X0         | X0         | XC1        |
|                                  | XC2        | XC3        | XC2        | XC2        | XC2        | XC1        | XC1        | XC1        | XC2        |
|                                  | XC3        | XC4        | XC3        | XC3        | XC3        | XC2        | XC2        | XC2        | XC3        |
|                                  | XC4        | XD1        | XC4        | XC4        | XC4        | XC3        | XC3        | XC3        | XC4        |
|                                  | XD1        | XD2        | XD1        | XD1        | XD1        | XC4        | XC4        | XC4        | XD1        |
|                                  | XD2        | XD3        | XD2        | XD2        | XD2        | XD1        | XD1        | XD1        | XD2        |
|                                  | XD3        | XF1        | XD3        | XD3        | XD3        | XD2        | XD2        | XD2        | XD3        |
|                                  | XF1        | XF2        | XF1        | XF1        | XF1        | XA1        | XA1        | XA1        | XF1        |
|                                  | XF3        |            |            |            |            |            |            |            |            |
|                                  | XA1        | XA1        | XA1        | XA1        | XA1        |            |            |            | XA1        |
|                                  |            | XF4        |            |            |            |            |            |            |            |
|                                  |            | XA1        |            |            |            |            |            |            |            |

Tabulka 6

5

| Klasifikační třída                               | Popis stupně vlivu prostředí                                                                                                                            | Příklad výskytu stupně vlivu prostředí                                              |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| pro beton bez nebezpečí koroze nebo narušení     |                                                                                                                                                         |                                                                                     |
| X0                                               | Pro beton bez výztuže nebo zabudovaných kovových vložek. Všechny vlivy s výjimkou zmrazování a rozmrazování, obrusu nebo chemicky agresivního prostředí | Beton uvnitř budov s velmi nízkou vlhkostí vzduchu                                  |
|                                                  | Pro beton s výztuží nebo se zabudovanými kovovými vložkami: Velmi suché                                                                                 |                                                                                     |
| pro beton s nebezpečím koroze vlivem karbonatace |                                                                                                                                                         |                                                                                     |
| XC1                                              | Suché nebo stále mokré.                                                                                                                                 | Beton uvnitř budov s nízkou vlhkostí vzduchu;<br><br>Beton trvale ponořený ve vodě. |
| XC2                                              | Mokré, občas suché.                                                                                                                                     | Povrch betonu vystavený dlouhodobému působení vody;<br><br>Většina základů.         |

| Klasifikační třída                                                                   | Popis stupně vlivu prostředí | Příklad výskytu stupně vlivu prostředí                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| XC3                                                                                  | Středně mokré, vlhké.        | Beton uvnitř budov se střední nebo velkou vlhkostí vzduchu;<br><br>Venkovní beton chráněný proti dešti. |
| XC4                                                                                  | Střídavě mokré a suché       | Povrchy betonu ve styku s vodou, které nejsou zahrnuty ve stupni vlivu prostředí XC2                    |
| <b>pro beton s nebezpečím koroze vlivem chloridů, ne však z mořské vody</b>          |                              |                                                                                                         |
| XD1                                                                                  | Středně mokré, vlhké.        | Povrchy betonů vystavené chloridům rozptýleným ve vzduchu.                                              |
| XD2                                                                                  | Mokré, občas suché.          | Plavecké bazény. Beton vystavený působení průmyslových vod obsahujících chloridy.                       |
| <b>pro beton vystavený mrazu a rozmrazování, bez chemických rozmrazovacích látek</b> |                              |                                                                                                         |

| Klasifikační třída                                                        | Popis stupně vlivu prostředí                                        | Příklad výskytu stupně vlivu prostředí                                                                                                         |
|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| XF1                                                                       | Mírně nasycen vodou bez rozmrazovacích prostředků.                  | Svislé betonové povrchy vystavené dešti a mrazu.                                                                                               |
| XF2                                                                       | Mírně nasycen vodou s rozmrazovacími prostředky                     | Svislé betonové povrchy silničních konstrukcí vystavené mrazu a rozmrazovacím prostředkům rozptýleným ve vzduchu                               |
| XF4                                                                       | Značně nasycen vodou s rozmrazovacími prostředky nebo mořskou vodou | Vozovky a mostovky vystavené rozmrazovacím prostředkům, betonové povrchy vystavené přímému ostříku, omývaná část staveb v moři vystavená mrazu |
| <b>pro beton vystaven chemickému působení rostlé země a podzemní vody</b> |                                                                     |                                                                                                                                                |
| XA1                                                                       | Slabě agresivní chemické prostředí                                  | Beton vystavený rostlé zemině a podzemní vodě                                                                                                  |

## Příklad 2 – suchá směs

- 5 Analogický postupem jako v příkladu 1 se připravilo 9 vzorků suché směsi pro přípravu betonu pro 3D technologii podle technického řešení. Složení každého vzorku pro přípravu 1 m<sup>3</sup> čerstvého betonu je uvedeno v Tabulce 7. Analogicky lze připravit podobné suché směsi bez cementu (a případně jeho substituentu/substituentů). Množství přísad v suché směsi je menší než u čerstvého betonu, neboť práškové přísady jsou účinnější než přísady tekuté. V tekutých přísadách je obsah sušiny mezi 25 a 50 %, proto jsou suché práškové přísady účinnější až cca 3x.
- 10

Tabulka 7

| Vzorek                                                                         | ERC  | ERC  | ERC  | ERC  | ERC  | ERC | ERC  | ERC | ERC |
|--------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|-----|------|-----|-----|
| Složka                                                                         | 2/1  | 2/2  | 2/3  | 2/4  | 2/5  | 2/6 | 2/7  | 2/8 | 2/9 |
| Směsný recyklát z inertního stavebně demoličního odpadu, frakce 0 až 4 mm [kg] | 0    | 0    | 0    | 1219 | 730  | 300 | 0    | 0   | 0   |
| Cihlový recyklát, frakce 0 až 4 mm [kg]                                        | 0    | 0    | 1191 | 0    | 0    | 0   | 0    | 750 | 300 |
| Keramický recyklát, frakce 0 až 4 mm [kg]                                      | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 600 | 0    | 0   | 0   |
| Betonový recyklát, frakce 0 až 4 mm [kg]                                       | 1101 | 1247 | 0    | 0    | 0    | 0   | 740  | 0   | 0   |
| Přírodní kamenivo, frakce 0 až 4 mm [kg]                                       | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0    | 0   | 260 |
| Směsný recyklát z inertního stavebně demoličního odpadu, frakce 4 až 8 mm [kg] | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 740  | 420 | 0   |
| Cihlový recyklát, frakce 4 až 8 mm [kg]                                        | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0    | 0   | 260 |
| Keramický recyklát, frakce 4 až 8 mm [kg]                                      | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 332 | 0    | 0   | 0   |
| Betonový recyklát, frakce 4 až 8 mm [kg]                                       | 0    | 0    | 0    | 0    | 390  | 0   | 0    | 0   | 0   |
| Přírodní kamenivo, frakce 4 až 8 mm [kg]                                       | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0    | 0   | 200 |
| Mikrosilika/substituent(y) [kg]                                                | 50   | 50   | 45   | 40   | 30   | 20  | 15   | 5   | 31  |
| Jemně mletý recyklát z inertního stavebně demoličního odpadu [kg]              | 0    | 0    | 0    | 0    | 160  | 230 | 320  | 0   | 100 |
| Cement [kg]                                                                    | 520  | 320  | 330  | 300  | 430  | 250 | 180  | 200 | 360 |
| Příměs (popílek, vysokopec. granul. struska, mikromletý vápenec) [kg]          | 0    | 200  | 180  | 220  | 0    | 0   | 190  | 340 | 0   |
| Plastifikační nebo superplastifikační přísada do betonu [kg]                   | 4,2  | 3    | 3,96 | 3,78 | 4,14 | 3,6 | 3,36 | 3   | 0   |

|                                           |      |      |      |      |      |      |      |      |   |
|-------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|
| Stabilizační přísada do<br>betonu<br>[kg] | 0,4  | 0,25 | 0,3  | 0,55 | 0,65 | 0,15 | 0,35 | 0,05 | 0 |
| Urychlovací přísada do<br>betonu<br>[kg]  | 6,72 | 5,1  | 7,44 | 3,78 | 9    | 25,8 | 19,8 | 1,8  | 0 |
| Výztužná vlákna<br>[kg]                   | 0    | 0    | 1    | 23   | 30   | 55   | 100  | 6    | 6 |

## NÁROKY NA OCHRANU

1. Čerstvý beton pro technologii 3D tisku, **vyznačující se tím**, že v 1 m<sup>3</sup> obsahuje 160 až 500 kg vody, 160 až 580 kg cementu nebo 160 až 600 kg směsi cementu a alespoň jednoho jeho substituentu, 5 až 65 kg mikrosiliky nebo alespoň jednoho jejího substituentu nebo směsi mikrosiliky a alespoň jednoho jejího substituentu, a 1.000 až 1.650 kg kameniva s horní frakcí do 8 mm, z něhož je alespoň 80 % hmotn. tvořeno recyklátem z inertního stavebně demoličního odpadu, přičemž zrna recyklátu v kamenivu jsou obalena a jeho póry jsou vyplněny směsí mikrosiliky a/nebo alespoň jednoho jejího substituentu a jemného pucolánového prachu, vzniklého při tření zrn recyklátu v kamenivu během míchání betonu.
2. Čerstvý beton podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že v 1 m<sup>3</sup> dále obsahuje až 375 kg jemně mletého recyklátu z inertního stavebně demoličního odpadu s velikostí částic 5 až 250 µm a měrným povrchem 300 až 1.500 m<sup>2</sup>/kg, přičemž zrna recyklátu v kamenivu jsou obalena a jeho póry jsou vyplněny směsí mikrosiliky a/nebo alespoň jednoho jejího substituentu, jemného pucolánového prachu, vzniklého při tření zrn recyklátu v kamenivu během míchání a jemně mletého recyklátu z inertního stavebně demoličního odpadu.
3. Čerstvý beton podle libovolného z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že dále obsahuje alespoň jednu vodoredukující přísadu do betonu, přičemž celkové množství všech vodoredukujících přísad do betonu v něm je do 10 kg/m<sup>3</sup> čerstvého betonu.
4. Čerstvý beton podle libovolného z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že dále obsahuje alespoň jednu stabilizační přísadu do betonu, přičemž celkové množství všech stabilizačních přísad do betonu v něm je do 2 kg/m<sup>3</sup> čerstvého betonu.
5. Čerstvý beton podle libovolného z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že dále obsahuje alespoň jednu urychlovací přísadu do betonu, přičemž celkové množství všech urychlovacích přísad do betonu v něm je do 50 kg/m<sup>3</sup> čerstvého betonu.
6. Čerstvý beton podle libovolného z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že dále obsahuje výztužná vlákna v množství až 110 kg/m<sup>3</sup> čerstvého betonu.
7. Čerstvý beton podle libovolného z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že až 20 % hmotn. kameniva je tvořeno přírodním kamenivem.
8. Čerstvý beton podle libovolného z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že až 20 % hmotn. kameniva je tvořeno lehkým umělým kamenivem a/nebo škvárou a/nebo struskou a/nebo polystyrenem a/nebo alespoň jedním organickým plnivem a/nebo jinou složkou pro zlepšení tepelných a/nebo zvukových a/nebo protipožárních vlastností zatvrdlého betonu.
9. Čerstvý beton podle nároku 1, 2, 7 nebo 8, **vyznačující se tím**, že horní frakce veškerého kameniva je 4 mm.
10. Čerstvý beton podle nároku 2, **vyznačující se tím**, že jemně mletý recyklát z inertního stavebně demoličního odpadu má velikost částic 5 až 125 µm.
11. Suchá směs pro přípravu čerstvého betonu pro technologii 3D tisku podle libovolného z nároků 1 až 10, **vyznačující se tím**, že v přepočtu na 1 m<sup>3</sup> čerstvého betonu obsahuje 5 až 65 kg mikrosiliky nebo alespoň jednoho jejího substituentu nebo směsi mikrosiliky a alespoň jednoho jejího substituentu, a 1.000 až 1.650 kg kameniva s horní frakcí do 8 mm, z něhož je alespoň 80 % hmotn. tvořeno recyklátem z inertního stavebně demoličního odpadu, přičemž zrna recyklátu v kamenivu jsou obalena a jeho póry jsou vyplněny směsí mikrosiliky a/nebo alespoň jednoho

jejího substituentu a jemného pucolánového prachu vzniklého při tření zm recyklátu v kamenivu během míchání.

5 12. Suchá směs podle nároku 11, **vyznačující se tím**, že dále obsahuje 160 až 580 kg cementu nebo 160 až 600 kg směsi cementu a alespoň jednoho jeho substituentu.

10 13. Suchá směs podle nároku 11 nebo 12, **vyznačující se tím**, že dále obsahuje až 375 kg jemně mletého recyklátu z inertního stavebně demoličního odpadu s velikostí částic 5 až 250  $\mu\text{m}$  a s měrných povrchem 300 až 1.500  $\text{m}^2/\text{kg}$ , přičemž zrna recyklátu v kamenivu jsou obalena a jeho póry jsou vyplněny směsí mikrosiliky a/nebo alespoň jednoho jejího substituentu, jemného pucolánového prachu vzniklého při tření zm recyklátu v kamenivu během míchání a jemně mletého recyklátu z inertního stavebně demoličního odpadu.

15 14. Suchá směs podle libovolného z nároků 11 až 13, **vyznačující se tím**, že dále obsahuje alespoň jednu vodoredukující přísadu do betonu, přičemž celkové množství všech vodoredukujících přísad do betonu v něm je do 5  $\text{kg}/\text{m}^3$  čerstvého betonu.

20 15. Suchá směs podle libovolného z nároků 11 až 14, **vyznačující se tím**, že dále obsahuje alespoň jednu stabilizační přísadu do betonu, přičemž celkové množství všech stabilizačních přísad do betonu v něm je do 1 kg v přepočtu na 1  $\text{m}^3$  čerstvého betonu.

25 16. Suchá směs podle libovolného z nároků 11 až 15, **vyznačující se tím**, že dále obsahuje alespoň jednu urychlovací přísadu do betonu, přičemž celkové množství všech urychlovacích přísad do betonu v něm je do 30 kg v přepočtu na 1  $\text{m}^3$  čerstvého betonu.

17. Suchá směs podle libovolného z nároků 11 až 16, **vyznačující se tím**, že dále obsahuje výztužná vlákna v množství až 110 kg v přepočtu na 1  $\text{m}^3$  čerstvého betonu.

30 18. Suchá směs podle libovolného z nároků 11 až 18, **vyznačující se tím**, že až 20 % hmotn. kameniva je tvořeno přírodním kamenivem.

35 19. Suchá směs podle libovolného z nároků 11 až 18, **vyznačující se tím**, že až 20 % hmotn. kameniva je tvořeno lehkým umělým kamenivem a/nebo škvárou a/nebo struskou a/nebo polystyrenem a/nebo alespoň jedním organickým plnivem a/nebo jinou složkou pro zlepšení tepelných a/nebo zvukových a/nebo protipožárních vlastností zatvrdlého betonu.

20. Suchá směs podle libovolného z nároků 11 až 19, **vyznačující se tím**, že horní frakce veškerého kameniva je 4 mm.

40 21. Suchá směs podle nároku 13, **vyznačující se tím**, že jemně mletý recyklát z inertního stavebně demoličního odpadu má velikost částic 5 až 125  $\mu\text{m}$ .