

*C04B 18/08* (2006.01)  
*C04B 18/14* (2006.01)  
*C04B 28/26* (2006.01)  
*C04B 14/22* (2006.01)  
*C04B 14/10* (2006.01)

(19)  
ČESKÁ  
REPUBLIKA



ÚŘAD  
PRŮMYSLOVÉHO  
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2022-94**  
(22) Přihlášeno: **28.02.2022**  
(40) Zveřejněno: **14.12.2022**  
**(Věstník č. 50/2022)**  
(47) Uděleno: **02.11.2022**  
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: **14.12.2022**  
**(Věstník č. 50/2022)**

(56) Relevantní dokumenty:  
CZ 2002-1011 A3; CZ 2015-37 A3; CZ 2019-507 A3; CN 110255996 A.

(73) Majitel patentu:  
Technická univerzita v Liberci, Liberec, Liberec I-  
Staré Město, CZ  
(72) Původce:  
Ing. Ewa Katarzyna Buczkowska, Ph.D., Liberec,  
Liberec XXX-Vratislavice nad Nisou, CZ  
prof. Ing. Petr Louda, CSc., Dlouhý Most, CZ  
Piotr Los, Liberec, Liberec XXX-Vratislavice nad  
Nisou, CZ  
David Nefe, Praha 7, Holešovice, CZ  
(74) Zástupce:  
STRNAD Patentová a známková kancelář, Ing.  
Václav Strnad, patentový zástupce, Rychtářská  
375/31, 460 14 Liberec, Liberec XIV-Ruprechtice

sodného v práškové formě s následným promícháním po dobu 2 až 5 minut, přidávek dutých skleněných mikrokuliček do směsi a její míchání po dobu 1 až 3 minut a nakonec se přidá do kompozitu sádra v práškové formě a následně se promíchá po dobu 1 až 3 minut.

(54) Název vynálezu:  
**Odlehčený tepelně izolační geopolymerní kompozit pro speciální aplikace a způsob jeho výroby**

(57) Anotace:  
Odlehčený tepelně izolační geopolymerní kompozit pro speciální aplikace obsahuje cement složený z hlinitokřemičitého pojiva na bázi metakaolinu a/nebo mleté vysokopecní granulované strusky a/nebo odletového popílku ve zvoleném jednotkovém množství s dalšími příměsemi, kterými jsou alkalický aktivátor tvořený vodným roztokem křemičitanu sodného nebo draselného v množství tvořícím 65 až 112 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu a duté skleněné mikrokuličky vyrobené ze sodnovápenatého skla, borosilikátového skla či jejich směsi o velikosti mikrokuliček do 150 µm, přičemž obsah mikrokuliček je od 0,1 až do 20 % hmotnosti použitého množství geopolymerního cementu. Dalšími příměsemi kompozitu jsou buď jednotlivě nebo ve vzájemné kombinaci uhlíková mikrovlákna, mikrosilika, mikrocelulóza v práškové formě, disiřitan sodný v práškové formě a sádra v práškové formě. Způsob výroby geopolymerního kompozitu zahrnuje mísení geopolymerního cementu s alkalickým aktivátorem po dobu 2 až 5 minut, příměs uhlíkových mikrovláken s následným promícháním po dobu 4 až 8 minut, následuje přidání mikrosiliky a/nebo mikrocelulózy v práškové formě a/nebo disiřičitanu

## Odlehčený tepelně izolační geopolymerní kompozit pro speciální aplikace a způsob jeho výroby

### 5 Oblast techniky

Předkládaný vynález se týká kompozitního materiálu na bázi geopolymery upraveného pomocí příměsí, které vylepšují jeho mechanické vlastnosti. Vyztužený geopolymerní kompozit je určen k využití v aplikacích, které vyžadují zlepšené mechanické vlastnosti oproti běžným geopolymeryům či betonům. Vynález se rovněž týká způsobu výroby odlehčeného tepelně izolačního geopolymerního kompozitu.

### 15 Dosavadní stav techniky

Geopolymery jsou anorganické polymery vznikající polykondenzací hlinitokřemičitých materiálů v zásaditém prostředí, kterého se obvykle dosahuje pomocí speciálních aktivačních roztoků tvořených hydroxidy a oxidy alkalických kovů. Tyto materiály mohou být přírodního původu (metakaoliny) či umělého původu (odletový popílek). Při reakci vznikají tzv polysialáty se zeolitickou strukturou. Tento proces imituje přírodní procesy vytvářené hornin, byť je mnohem rychlejší. Geopolymery mají oproti portlandskému cementu (nejčastěji využívanému stavebnímu materiálu) vyšší pevnost v tlaku, odolnost proti vysokým teplotám, chemickým vlivům, nižší spotřebu energie na jejich výrobu a emise CO<sub>2</sub> při výrobě a také nižší tepelnou vodivost. Nižší je naopak pevnost v tahu za ohybu, díky čemuž je vhodné geopolymery vyztužit, podobně jako beton, jehož pevnost v tahu též není příliš vysoká.

Geopolymerní kompozity je možné využít jako alternativu betonu, především do prostředí, kde jsou lépe zužitkovány jejich vlastnosti. Například jejich odolnost vůči vysokým teplotám je umožňuje využít jako formy pro odlévání skla či kovů, zatímco jejich nízká tepelná vodivost a možnost jejich jednoduchého vypěnění umožňuje jejich využití v pasivní protipožární ochraně.

Jakožto výtěž pro stavební materiály je možné využívat například kovové tyče nebo vlákna. K výtěž betonu se nejčastěji používají kovové tyče, obvykle vyrobené ze železa nebo z oceli, které zlepšují pevnost v tahu a v tahu za ohybu výsledného materiálu (železobetonu) Alternativou ke kovovým tyčím jsou pak různé druhy vláken, například skleněná, textilní uhlíková, čedičová apod.

Velkou nevýhodou geopolymeryů je nemožnost využívat k jejich výtěž materiály, které neodolají jejich silné zásaditosti, například lehké kovy či jejich slitiny, nebo sklo. Skelná vlákna je možné využívat pouze pokud jsou alkalivzdorná. Pro výtěž geopolymeryů jsou vhodná například uhlíková vlákna, neboť jsou schopna odolat alkalickému prostředí a mají vyšší pevnost v tahu než například skelná vlákna. Kromě toho jsou nehořlavá, tepelně stabilní, netoxická a lze je recyklovat.

### 45 Podstata vynálezu

Předmětem vynálezu je geopolymerní kompozitní materiál odlehčený a tepelně izolační se specifickým složením a příměsí skleněných mikrokuliček a také dalších příměsí, které mu poskytují výrazně nižší hustotu a lepší termoizolační vlastnosti, díky čemuž je materiál vhodný pro aplikace, při kterých jsou tyto vlastnosti vhodné, například jako zvuková izolace či materiál pro výrobu odlehčených konstrukcí. Duté skleněné mikrokuličky (vyráběné například firmou 3M) jsou vynikající odlehčující příměsí pro kompozitní materiály, včetně plastových či betonových. Díky velice nízké hustotě výrazně snižují hmotnost výsledného dílu, přičemž jejich vliv na mechanické vlastnosti kompozitu je malý. Také jsou chemicky i tepelně stabilní a odolné vůči vodě i jiným kapalinám. Odolávají i silně zásaditému prostředí v geopolymerech. Tyto duté skleněné

mikrokuličky se vyrábějí ze sodnovápenatého nebo borosilikátového skla. Geopolymerní směs připravená s příměsí těchto mikrokuliček je též vhodná pro 3D tisk.

Podstata vynálezu spočívá v tom, že geopolymerní kompozit je vytvořen s příměsí, vyjádřeno v procentech hmotnosti užitého množství geopolymerního cementu, dutých skleněných mikrokuliček vyrobených ze sodnovápenatého skla nebo borosilikátového skla či jejich směsi, o velikosti mikrokuliček do 150  $\mu\text{m}$ , a s rozsahem jejich množství v geopolymerním kompozitu odpovídajícím 0,1 až 20 % hmotnosti použitého množství geopolymerního cementu. Vzhledem k nízké hmotnosti mikrokuliček mohou jejich některé druhy dosahovat velmi vysokého objemového podílu. Základní složení geopolymerního kompozitu obsahuje tedy geopolymerní cement složený z hlinitokřemičitého pojiva na bázi metakaolinu a/nebo mleté vysokopecní granulované strusky a/nebo odletového popílku ve zvoleném jednotkovém množství s dalšími příměsemi kterými jsou alkalický aktivátor tvořený vodným roztokem křemičitanu sodného nebo draselného v množství tvořícím 65 až 112 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu a shora uvedené duté skleněné mikrokuličky s velikostí do 150  $\mu\text{m}$ . Obvykle užívané množství alkalického aktivátoru představuje 90 % hmotnosti použitého množství geopolymerního cementu.

K tomuto uvedenému základnímu složení geopolymerního kompozitu mohou být přidány další příměši, a to buď jednotlivě nebo ve zvolené vzájemné kombinaci. Dále uvedené příměši přispívají ke zlepšení vlastností kompozitního materiálu a také určují vhodnost kompozitu k různým účelům jeho použití.

Takovou příměsí může být užití mikrosiliky o jemnosti 0,1 až 0,3  $\mu\text{m}$  v množství 0,1 až 15 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu. Další vhodnou příměsí mohou tvořit uhlíková mikrovlákná o průměru  $6 \pm 1 \mu\text{m}$  a délkou vláken 6 mm v množství 0,1 až 5 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu. Příměsí disiřičitanu sodného v práškové formě množství 0,1 až 10 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu je další možností vytvoření kompozitu. Další příměsí, je vysokoviskózní hydroxyethylcelulóza v práškové formě v množství 0,1 až 3 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu. Nakonec je za příměsí kompozitu zvolena sádra v práškové formě v množství 0,1 až 5 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu.

Uvedené kompozitní směsi je možno v závislosti na jejich využití vyztužit jednou nebo více zpevňovacími sítěmi z vhodného materiálu, například z uhlíku, který v zásaditém prostředí geopolymerní směsi nedegraduje. Výztuha z uhlíkových vláken je vložena do tloušťky vrstvy geopolymerního sítě s velikostí ok od 10 x 10 mm až do 50 x 50 mm o měrné hmotnosti 130 až 500  $\text{g}/\text{m}^2$ .

Pro tento typ geopolymerního kompozitu je třeba při jeho přípravě přidávat jednotlivé složky v následujícím pořadí. Jako první složka je do odměřeného množství geopolymerního cementu přidán alkalický aktivátor a směs je třeba promíchat dvě až pět minut. Při přípravě směsi za použití všech uvedených přísad je třeba dodržovat přidávání přísad v následujícím pořadí a rovněž dodržovat čas na jejich zapracování do směsi. Třetí položkou přidávanou do připravované polymerní směsi jsou uhlíková mikrovlákná s následným mícháním po dobu čtyř až osmi minut. Následují položky v uvedeném pořadí mikrosilika, vysokoviskózní hydroxyethylcelulóza v práškové formě a disiřičitan sodný v práškové formě s následným promícháním takto připravené směsi po dobu dvě minuty až pět minut. Poté se do připravované směsi kompozitního materiálu přidají duté skleněné mikrokuličky v požadovaném množství a směs se opět promíchá po dobu jedné minuty až tří minut. Nakonec se do směsi přidá sádra v práškové formě a připravený kompozit se míchá po dobu jedné minuty až tří minut.

Takto provedený postup míchání směsi zajišťuje postupné důkladné rozmíchání všech složek, především uhlíková mikrovlákná je vhodné rozmíchávat delší dobu, a zároveň zvolený postup zabraňuje přílišnému míchání sádry či dutých skleněných mikrokuliček, což by mohlo vést k horším vlastnostem výsledného geopolymerního kompozitu.

Pokud některá z uvedených přísad není použita, ostatní přísady jsou přidávány ve stejném shora uvedeném pořadí a při zachování stejných časů přípravy geopolymerního kompozitu. Čas stanovený na promíchání kompozitní směsi pro vynechanou přísadu se nepoužije.

- 5 Základní složení geopolymerního kompozitu, jak bylo uvedeno, obsahuje geopolymerní cement, alkalický aktivátor a duté skleněné mikrokuličky s velikostí do 150  $\mu\text{m}$ . Po smíchání zvoleného množství geopolymerního cementu a příslušného množství alkalického aktivátoru se směs míchá v časovém intervalu dvě minuty až pět minut. Do kompozitní směsi se nyní přidá stanovené zvolené množství dutých skleněných mikrokuliček a materiál se podrobí míchání v časovém intervalu jedna minuta až tři minuty. Tím je základní složení geopolymerního kompozitu připraveno k použití. Duté skleněné mikrokuličky snižují hustotu výsledného materiálu a zlepšují jeho teplotní a zvukovou izolaci.

- 15 Uhlíková mikrovlákna přidaná do směsi zlepšují mechanické vlastnosti výsledného geopolymerního kompozitu, mikrosilika zlepšuje mechanické vlastnosti a chemickou odolnost, disiřičitan sodný v práškové formě slouží jako emulgátor tekuté směsi a urychluje geopolymerní reakci a sádra v práškové formě zajišťuje rychlejší schnutí a lepší adhezi k povrchům, především těm vertikálním, nicméně příliš vysoký obsah sádry (přes 5 %) by vedl k popraskání geopolymerního kompozitu při schnutí. Vysokoviskózní hydroxyethylcelulóza v práškové formě brání popraskání použitého kompozitu a zvyšuje elasticitu směsi, což zlepšuje možnost nanášení na různé povrchy.

#### Příklady uskutečnění vynálezu

- 25 Následující příklady provedení vynálezu slouží k jeho objasnění, aniž by jimi byl vynález, jakkoliv omezen.

Pro přípravu jednotlivých vzorků kompozitu byla využita uhlíková síť typu HTC 10/15, výrobce Alligard s.r.o., velikost ok 10/15 mm (příčně/podélně).

- 30 U všech ukázkových kompozitních směsí byly využity kuličky výrobce 3M, typu 20K – Do 105, průměr 105  $\mu\text{m}$  a při přípravě jednotlivých kompozitů byl použit postup uvedený v patentových nárocích a rovněž popsán v odstavci uvádějící podstatu vynálezu, a to v závislosti na použitých druzích příměsí.

- 35 Postup při výrobě a přípravě odlehčených tepelně izolačních geopolymerních směsí obsahuje následující kroky:

- geopolymerní cement + alkalický aktivátor - doporučeno míchat 2 minuty až 5 minut;
- 40 • příměs uhlíkových mikrovláken – doporučeno míchat 4 minuty až 8 minut;
- mikrosilika a/nebo mikrocelulóza v práškové formě a/nebo disiřičitan sodný v práškové formě – doporučeno míchat 2 minuty až 5 minut;
- duté skleněné mikrokuličky – doporučeno míchat 1 minutu až 3 minuty; a
- sádra v práškové formě – doporučeno míchat 1 minutu až 3 minuty.

#### 45 Příklad 1

- První ukázková směs geopolymerního kompozitu obsahuje kromě základu geopolymerního cementu a alkalického aktivátoru pouze přísadu skleněných dutých mikrokuliček v množství odpovídajícímu 3 % hmotnosti použitého množství geopolymerního cementu. Geopolymerní cement tvoří hlinitokřemičité pojivo na bázi metakaolinu a mletá vysokopecní granulovaná struska ve zvoleném jednotkovém množství. Použitý alkalický aktivátor tvoří vodný roztok křemičitanu sodného nebo draselného v množství 90 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu.

Použití samotných dutých skleněných mikrokuliček tepelné izolační geopolymerní kompozit výrazně odlehčuje, nicméně jeho užité vlastnosti lze dále zlepšit pomocí dalších dodatečných přísad.

#### 5 Příklad 2

Další odlehčený tepelné izolační geopolymerní kompozit obsahuje duté skleněné mikrokuličky v množství 4 % hmotnosti z použitého množství geopolymerního cementu a mikrosiliku o jemnosti 0,1 až 0,3  $\mu\text{m}$  v množství 10 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu. Geopolymerní cement tvoří hlinitokřemičité pojivo na bázi metakaolinu a mletá vysokopecní granulovaná struska ve zvoleném jednotkovém množství. Použitý alkalický aktivátor je vodný roztok křemičitanu sodného nebo draselného v množství 90 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu.

Podobně jako v prvním příkladu je geopolymerní kompozit výrazně lehčí, než by byl bez dutých skleněných mikrokuliček, použitá mikrosilika navíc geopolymerní směs zpevňuje a zvyšuje její trvanlivost i chemickou odolnost (za tímto účelem se silika přidává i do běžného cementu).

#### Příklad 3

20 K vytvoření základního složení kompozitu je využit geopolymerní cement, alkalický aktivátor a duté skleněné mikrokuličky v souladu s příkladem 2. Navíc kompozitní směs obsahuje kromě dutých skleněných mikrokuliček ještě uhlíková mikrovlákná o průměru  $6 \pm 1 \mu\text{m}$  s průměrnou délkou vláken 6 mm v množství 2 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu.

25 Uhlíková mikrovlákná výrazně zlepšují mechanické vlastnosti geopolymery, především pevnost v tahu za ohybu, která není u samotného geopolymery příliš dobrá. V kombinaci se skleněnými mikrokuličkami tak vzniká odlehčená a pevná struktura, kterou je možné využívat například jako tepelně a zvukově izolační materiál.

#### 30 Příklad 4

Další ukázková kompozitní směs obsahuje geopolymerní cement na bázi metakaolinu a odletového popílku ve zvoleném jednotkovém množství, alkalický aktivátor tvořený vodným roztokem křemičitanu sodného nebo draselného v množství tvořícím 90 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu a duté skleněné mikrokuličky vyrobené ze sodnovápenatého skla a s obsahem dutých skleněných mikrokuliček v množství 4 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu. Kromě shora uvedených ingrediencí geopolymerní směs obsahuje disiričitan sodný v práškové podobě v množství 5 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu.

40 Disiričitan sodný slouží jako emulgátor tekuté směsi, vhodný je především pro použití při větším množství dodatečných přísad v kompozitní směsi.

#### Příklad 5

45 Složení této kompozitní směsi vychází z předchozího příkladu 4 při zachování složení geopolymerního cementu, obsahu alkalického aktivátoru a také obsahu dutých skleněných kuliček. Další složkou této směsi je obsah mikrocelulózy v práškové formě v množství 5 % hmotnosti použitého množství geopolymerního cementu.

50 Celulóza brání praskání geopolymery, takto připravená směs je tedy vhodná pro přípravu bezvadných vrstev geopolymery či v kombinaci s přísadami, které mohou vyvolat praskání vrstvy geopolymery jako je napříkladně sádra. Také přísada mikrocelulózy zvyšuje elasticitu směsi.

## Příklad 6

5 V této geopolymerní směsi cement tvoří hlinitokřemičité pojivo na bázi metakaolinu a odletový popílek ve zvoleném jednotkovém množství. Použitý alkalický aktivátor tvoří vodný roztok křemičitanu sodného nebo draselného v množství 90 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu. Skleněné duté mikrokuličky v množství odpovídajícímu 4 % hmotnosti použitého množství geopolymerního cementu. Další příměsí kompozitu je sádra v práškové formě, a to v maximálním množství 5 % hmotnosti použitého množství geopolymerního cementu.

10

Sádra urychluje schnutí geopolymerního cementu a zajišťuje lepší adhezi k povrchu, což opět činí směsí obsahující sádro vhodné pro využití při aplikaci na vertikální povrch, například jako omítka, nicméně příliš vysoký obsah sádry (přes 5 %) vede k popraskání geopolymerního cementu.

## 15 Příklad 7

Tento příklad reprezentuje užití zpevňující sítě z uhlíkových vláken. Tato ukázková kompozitní směs vychází z příkladu 1 a obsahuje geopolymerní cement, alkalický aktivátor podle příkladu 1 a duté skleněné mikrokuličky v množství 4 % hmotnosti použitého množství geopolymerního cementu. Uhlíková síť je vložena do geopolymerní formy či na její povrch, na který je uvedena směs nanášena. Síť z uhlíkových vláken je vložena do tloušťky vrstvy geopolymerního cementu. Použita je síť s velikostí ok 10 x 15 mm (příčně x podélně) o měrné hmotnosti 230 g/m<sup>2</sup>.

25 Uhlíkové sítě obecně zlepšují mechanické vlastnosti geopolymerního cementu, především pevnost v tahu, jsou tedy vhodné prakticky pro geopolymerní jakéhokoliv složení.

## Příklad 8

30 Další ukázková kompozitní směs podle tohoto příkladu obsahuje všechny přísady uváděné v patentových nárocích vyjma uhlíkové sítě. Směs obsahuje cement složený z hlinitokřemičitého pojiva na bázi metakaolinu, mleté vysokopeční granulované strusky a odletového popílku ve zvoleném jednotkovém množství s další základní příměsí kterou je alkalický aktivátor tvořený vodným roztokem křemičitanu sodného nebo draselného v množství tvořícím 90 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu.

35

Dalšími příměsemi geopolymerního cementu jsou uhlíková mikroválka o průměru  $6 \pm 1 \mu\text{m}$  o průměrné délce vláken 6 mm v množství 1 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu, mikrosilika o jemnosti 0,1 až 0,3  $\mu\text{m}$  v množství 15 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu, vysokoviskózní hydroxyethylcelulóza v práškové formě v množství 1 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu, disiřičitan sodný v práškové formě v množství 5 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu, duté skleněné mikrokuličky vyrobené z borosilikátového skla o velikosti do 105  $\mu\text{m}$  a obsahem mikrokuliček 7 % hmotností použitého množství geopolymerního cementu, a nakonec sádra v práškové formě v množství 5 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu.

45 Příprava tohoto geopolymerního cementu předpokládá postup uvedený v patentových nárocích, resp. postup uvedený v odstavci podstaty vynálezu. Pořadí míšení jednotlivých složek kompozitu a následné jejich promíchávání v požadovaných časových intervalech je třeba dodržovat. Geopolymerní cement s přídavkem alkalického aktivátoru se míchá 2 minuty až 5 minut. Po přidání uhlíkových mikrovláken do směsi následuje míchání po dobu čtyři minuty až 8 minut. Následné příměsí jsou mikrosilika, mikrocelulóza v práškové formě a disiřičitan sodný v práškové formě, doporučuje se míchat 2 minuty až 5 minut. Po přidání dutých skleněných mikrokuliček doporučeno míchat 1 minutu až 3 minuty. Nakonec se přidává do kompozitu sádra v práškové formě s doporučeným promícháním 1 minutu až 3 minuty.

50

Takto připravená směs kombinuje vlastnosti předchozích směsí, především nízkou hustotu, tepelné a zvukové izolační vlastnosti, dobré mechanické vlastnosti, rychlé schnutí a nízkou míru praskání.

#### Příklad 9

5

Další ukázková směs obsahuje všechny uváděné přísady včetně uhlíkové vláknenné sítě. Kompozitní směs obsahuje cement složený z hlinitokřemičitého pojiva na bázi metakaolinu, mleté vysokopecní granulované strusky a odletového popílku ve zvoleném jednotkovém množství s další základní příměsí, kterou je alkalický aktivátor tvořený vodným roztokem křemičitanu sodného nebo draselného v množství tvořícím 90 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu.

10

Dalšími příměsemi geopolymery tedy jsou uhlíková mikrovlákná o průměru  $6 \pm 1 \mu\text{m}$  o průměrné délce vláken 6 mm v množství 1 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu, mikrosilika o jemnosti 0,1 až 0,3  $\mu\text{m}$  v množství 15 % hmotností použitého geopolymerního cementu, vysokoviskózní hydroxyethylcelulóza v práškové formě v množství 1 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu, disiřičitan sodný v práškové formě v množství 5 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu, duté skleněné mikrokuličky vyrobené z borosilikátového skla o velikosti do 105  $\mu\text{m}$  a obsahem mikrokuliček 7 % hmotnosti použitého množství geopolymerního cementu, a nakonec sádra v práškové formě v množství 5 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu. Do tloušťky vrstvy připraveného geopolymery je vložena jedna síť z uhlíkových vláken s velikostí ok 10 x 15 mm o měrné hmotnosti 300 g/m<sup>2</sup>.

15

20

Pořadí míšení jednotlivých složek kompozitu a následné jejich promíchávání v požadovaných časových intervalech je třeba dodržet. Geopolymerní cement s přídavkem alkalického aktivátoru se míchá 2 minuty až 5 minut. Po přidání uhlíkových mikrovláken do směsi následuje míchání po dobu čtyři minuty až 8 minut. Následné příměsi jsou mikrosilika, mikrocelulóza v práškové formě a disiřičitan sodný v práškové formě, doporučuje se míchat 2 minuty až 5 minut. Po přidání dutých skleněných mikrokuliček doporučeno míchat 1 minutu až 3 minuty. Nakonec se přidává do kompozitu sádra v práškové formě s doporučeným promícháním 1 minutu až 3 minuty.

25

30

Takto připravená směs kombinuje vlastnosti předchozích směsí, především nízkou hustotu, tepelné a zvukové izolační vlastnosti, dobré mechanické vlastnosti, rychlé schnutí a nízkou míru praskání. Přidaná uhlíková síť dále zlepšuje mechanické vlastnosti tohoto materiálu.

35

#### Průmyslová využitelnost

40

Takto připravené geopolymerní směsi se zlepšenou schopností tepelné i zvukové izolace umožňují využití jakožto materiálu pro opravu prasklin ve stěnách či jako termoizolační vrstva. Též mají výrazně nižší hustotu při zachování dobrých mechanických vlastností, což umožňuje jejich využití jako materiálu pro výrobu odlehčených konstrukcí. Tato směs je také vhodná pro 3D tisk, například právě 3D tisk různých odlehčených struktur či staveb.

## PATENTOVÉ NÁROKY

1. Odlehčený tepelně izolační geopolymerní kompozit pro speciální aplikace, vytvořený na bázi geopolymerního cementu, **vyznačující se tím**, že obsahuje cement složený z hlinitokřemičitého pojiva na bázi metakaolinu a/nebo mleté vysokopecní granulované strusky a/nebo odletového popílku ve zvoleném jednotkovém množství s dalšími příměsemi, kterými jsou alkalický aktivátor tvořený vodným roztokem křemičitanu sodného nebo draselného v množství tvořícím 65 až 112 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu a duté skleněné mikrokuličky vyrobené ze sodnovápenatého skla, borosilikátového skla či jejich směsi o velikosti do 150  $\mu\text{m}$ , přičemž obsah mikrokuliček je od 0,1 až do 20 % hmotnosti použitého množství geopolymerního cementu.
2. Odlehčený tepelně izolační geopolymerní kompozit podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že je vytvořen s příměsí mikrosiliky o jemnosti 0,1 až 0,3  $\mu\text{m}$  v množství 0,1 až 15 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu.
3. Odlehčený tepelně izolační geopolymerní kompozit podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že je vytvořen s příměsí uhlíkových mikrovláken o průměru  $6 \pm 1 \mu\text{m}$  a délkou vláken 6 mm v množství 0,1 až 5 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu.
4. Odlehčený tepelně izolační geopolymerní kompozit podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že je vytvořen s příměsí disiřičitanu sodného v práškové formě v množství 0,1 až 10 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu.
5. Odlehčený tepelně izolační geopolymerní kompozit podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že je vytvořen s příměsí vysokoviskózní hydroxyethylcelulózy v práškové formě v množství 0,1 až 3 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu.
6. Odlehčený tepelně izolační geopolymerní kompozit podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že je vytvořen s příměsí sádry v práškové formě v množství 0,1 až 5 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu.
7. Odlehčený tepelně izolační geopolymerní kompozit podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že do tloušťky vrstvy geopolymerního kompozitu je vložena alespoň jedna síť z uhlíkových vláken s velikostí ok od 10 x 10 mm až do 50 x 50 mm o měrné hmotnosti 130 až 500  $\text{g/m}^2$ .
8. Způsob výroby odlehčeného tepelně izolačního geopolymerního kompozitu podle nároků 1 až 6, **vyznačený tím**, že nejprve se smíchá alkalický aktivátor tvořený vodným roztokem křemičitanu sodného nebo draselného v množství tvořícím 65 až 112 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu s geopolymerním cementem složeným z hlinitokřemičitého pojiva na bázi metakaolinu a/nebo mleté vysokopecní granulované strusky a/nebo odletového popílku ve zvoleném jednotkovém množství a tyto složky se míchají po dobu 2 až 5 minut, následně se přidají uhlíková mikrovlákná o průměru  $6 \pm 1 \mu\text{m}$  s délkou vláken 6 mm v množství 0,1 až 5 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu a směs se míchá po dobu 4 až 8 minut, následuje příměs mikrosiliky o jemnosti 0,1 až 0,3  $\mu\text{m}$  v množství 0,1 až 15 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu a/nebo mikrocelulózy v práškové formě v množství 0,1 až 3 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu a/nebo disiřičitanu sodného v práškové formě s následujícím mícháním směsi po dobu 2 až 5 minut, po přidavku dutých skleněných mikrokuliček v množství od 0,1 do 20 % hmotnosti použitého množství geopolymerního cementu vyrobených ze sodnovápenatého skla, borosilikátového skla či jejich směsi o velikosti mikrokuliček do 150  $\mu\text{m}$  následuje míchání kompozitní směsi po dobu 1 až 3 minut a po přidání poslední příměsi, kterou je sádra v práškové formě v množství 0,1 až 5 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu se geopolymerní kompozit promíchá podobu 1 až 3 minut.