

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: 2022-3
(22) Přihlášeno: 04.01.2022
(40) Zveřejněno: 09.11.2022
(Věstník č. 45/2022)
(47) Uděleno: 29.09.2022
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: 09.11.2022
(Věstník č. 45/2022)

C04B 14/04 (2006.01)
C04B 14/06 (2006.01)
C04B 18/14 (2006.01)
C04B 28/26 (2006.01)
C04B 14/38 (2006.01)

(56) Relevantní dokumenty:
CZ 2019-602 A3; UA 102872 C2.

(73) Majitel patentu:
Technická univerzita v Liberci, Liberec, Liberec I-
Staré Město, CZ

sádru v práškové formě v množství 4 až 5 % hmotnosti
použitého cementu.

(72) Původce:
Ing. Katarzyna Eva 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
Le Van Su, Mimoň, Mimoň IV, CZ
Van Vu Nguyen, Liberec, Liberec VIII-Dolní
Hanychov, CZ
Ing. Vojtěch Růžek, Liberec, Liberec XII-Staré
Pavlovice, CZ

(74) Zástupce:
STRNAD Patentová a známková kancelář, Ing.
Václav Strnad, patentový zástupce, Rychtářská
375/31, 460 14 Liberec, Liberec XIV-Ruprechtice

(54) Název vynálezu:
**Geopolymerní kompozit pro speciální
aplikace**

(57) Anotace:
Kompozit 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 přísadami,
kterými jsou alkalický aktivátor tvořený vodným
roztokem křemičitanu sodného nebo draselného v
množství tvořícím 65 až 112 % hmotnosti použitého
cementu a šamot o velikosti částic v rozmezí 0,1 až
0,5 mm v množství 5 až 120 % hmotnosti užitého
cementu a/nebo šamot o velikosti částic v rozmezí 0,05
až 0,1 mm v množství 5 až 80 % hmotnosti použitého
cementu. Kromě uvedeného šamotu obsahuje přísadu
mikrosiliky o jemnosti 0,1 až 0,3 µm v množství tvořícím
5 až 15 % hmotnosti užitého cementu a/nebo uhlíkových
mikrovláken o průměru 6 ± 1 µm a délkou vláken 6 mm
v množství 1 až 5 % hmotnosti použitého cementu a/nebo
disiřičitan sodný v práškové formě v množství 5 až
10 % hmotnosti použitého cementu a/nebo přísadu
vysokoviskózní hydroxyethyl celulózy v práškové formě
v množství 1 až 5 % hmotnosti použitého cementu a/nebo

Geopolymerní kompozit pro speciální aplikace

Oblast techniky

5

Předkládaný vynález se týká kompozitního materiálu na bázi geopolymerního kompozitu upraveného pro speciální aplikace pomocí dalších příměsí, které vylepšují jeho mechanické vlastnosti. Upravený geopolymerní kompozit je určen k využití v aplikacích, které vyžadují zlepšené mechanické vlastnosti oproti běžným geopolymerním či betonům.

10

Dosavadní stav techniky

15

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 (metakaoliny) či umělého původu (odletový popílek). Při reakci vznikají tzv. polysialáty se zeolitickou strukturou. Tento proces imituje přírodní procesy vytvrzování hornin, byť je mnohem rychlejší. Geopolymery mají oproti portlandskému cementu (nejčastěji využívanému stavebnímu

20

materiálu) vyšší pevnost v tlaku, odolnost proti vysokým teplotám, chemickým vlivům, nižší spotřebu energie a nižší emise CO₂ při výrobě a 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.

25

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.

30

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

35

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

40

netoxická a lze je recyklovat.

Podstata vynálezu

45

Předmětem vynálezu je geopolymerní kompozitní materiál určený pro speciální aplikace se specifickým složením, které takto připravenému geopolymernímu kompozitu poskytují zlepšené mechanické vlastnosti, díky čemuž je materiál vhodný pro aplikace/při kterých dochází k jeho namáhání, příkladně jako silniční podklad, stavební materiál či materiál pro nanášení ochranných vrstev na budovy či jiné objekty.

50

Geopolymerní kompozit je vytvořen z cementu složeného z hlinitokřemičitého pojiva na bázi metakaolinu a/nebo mleté vysokopecní granulované strusky a/nebo odletového popílku ve zvoleném jednotkovém množství s dalšími příměsemi kterými v základním složení geopolymerního jsou alkalický aktivátor tvořený vodným roztokem křemičitanu sodného nebo draselného

55

v množství tvořícím 65 až 112 % hmotnosti použitého cementu a šamot. Šamot je použit ve formě

hrubě namletého šamotu o velikosti částic v rozmezí 0,1 až 0,5 mm v množství 5 až 120 % hmotnosti použitého cementu nebo je použit šamot ve formě jemně namletého šamotu o velikosti částic v rozmezí 0,05 až 0,1 mm v množství 5 až 80 % hmotnosti použitého cementu. Základní složení geopolymerního kompozitu obsahuje rovněž současnou přítomnost jak hrubě namletého šamotu v uvedeném množství 5 až 120 % použitého množství geopolymerního cementu, tak současnou přítomnost jemně namletého šamotu v uvedeném množství 5 až 80 % použitého množství geopolymerního cementu. Hmotnost aktivátoru je v rozsahu 65 až 112 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu, nicméně obvykle je používáno 90 % hmotnosti geopolymerního cementu.

Kromě uvedeného základního složení geopolymerního materiálu může geopolymer obsahovat další příměsi, a to jednotlivě nebo i ve vzájemné kombinaci. Jedná se o příměs mikrosiliky, tvořené nanočásticemi oxidu křemičitého o jemnosti 0,1 až 0,3 μm v množství tvořícím 5 až 15 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu.

Další příměsí jsou uhlíková mikrovlákná v množství 1 až 5 % hmotnosti použitého cementu, přičemž uhlíková mikrovlákná vykazují průměr $6 \pm 0,3 \mu\text{m}$ s délkou vláken 6 mm.

Disiřičitan sodný v práškové formě jakožto emulgátor v množství 5 až 10 % použitého množství geopolymerního cementu může tvořit další složku geopolymerního materiálu, kromě tedy jemně namletého šamotu a/nebo hrubě namletého šamotu. Disiřičitan sodný se přidává do tekuté směsi geopolymerního cementu a urychluje geopolymernizaci.

Vysokoviskózní hydroxyethylcelulózy v práškové formě tvoří příměs v množství 1 až 5 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu. Celulóza brání praskání geopolymerního cementu a zvyšuje melasticitu směsi, což zlepšuje možnost nanášení na různé povrchy.

Nakonec je možno do geopolymerního materiálu přidat sádro v práškové formě v množství 4 až 5 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu. Sádra zajišťuje rychlejší schnutí a lepší adhezi k povrchům, především těm vertikálním, nicméně příliš vysoký obsah sádry (přes 5 % z hmotnosti cementu) by vedl k popraskání geopolymerního materiálu při schnutí.

Tyto všechny shora uvedené směsi geopolymerního materiálu je též možné, v závislosti na jejich použití a využití, vyztužit alespoň v jedné vrstvě jednou nebo více zpevňovacími sítěmi z uhlíkových vláken s velikostí ok sítě od 10 x 10 mm do 50 x 50 mm o měrné hmotnosti 130 až 500 g/m². Sítě z uhlíkových vláken jsou vhodné a v zásaditém prostředí geopolymerní směsi neodegradují.

Sítě z uhlíkových vláken a v základu geopolymerního materiálu použitého šamotu zlepšují mechanické vlastnosti výsledného geopolymerního kompozitu. Takovouto síť je možné využít do všech geopolymerních směsí uváděných složení pro zlepšení mechanické odolnosti kompozitu.

Příklady uskutečnění vynálezu

Následující příklady provedení vynálezu slouží k jeho objasnění, aniž by jimi bylo provedení vynálezu, jakkoliv omezeno.

Všechny geopolymerní kompozitní směsi byly připraveny stejným postupem. Nejprve byl smíchán geopolymerní cement s alkalickým aktivátorem a tato směs byla důkladně promíchána, minimálně po dobu několika minut. Následně byl přidán jemně mletý šamot a/nebo hrubě namletý šamot. Dále byly postupně přidávány jednotlivé uvedené přísady, resp. všechny vyjmenované ostatní přísady, směs byla dále promíchávána a následně nanášena na zkušební plochu a ponechána k vytvrzení při pokojové teplotě, nejméně po dobu jednoho dne. Pokud byla součástí geopolymerní směsi i uhlíková síť, byla nanášena do tloušťky vrstvy spolu s geopolymerním kompozitem.

Příklad 1

5 První geopolymerní směs obsahovala kromě základních přísad pouze jemný šamot o velikosti částic do 0,1 mm v množství 80 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu, tvořeného hlinitokřemičitým pojivem na bázi metakaolinu. Použité množství alkalického aktivátoru představovalo 90 % hmotnosti použitého cementu. Geopolymer vykazuje relativně jemnou strukturu, což umožňuje využití této směsi například jako stavební omítky. Vlastnosti směsi mohou být ještě zlepšeny dodatečnou přísadou, resp. dodatečnými přísadami uváděnými a
10 vyjmenovanými výše.

Příklad 2

15 Další geopolymerní směs obsahovala kromě základních přísad pouze hrubě mletý šamot o velikosti částic v rozmezí od 0,1 do 0,5 mm v množství 100 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu. Použité množství alkalického aktivátoru představovalo 90 % hmotnosti použitého cementu. Hrubý šamot slouží v geopolymerních směsích jako zpevňující výplň a tuto směs je tedy možno využít například jako stavební omítku s hrubým vzhledem, kdy se využívá její mechanická odolnost a nízká tepelná vodivost. Geopolymer se využije také jako základ pro další směsi,
20 nicméně vlastnosti kompozitu mohou být zlepšeny vyjmenovanými dodatečnými přísadami.

Příklad 3

25 Další geopolymerní směs obsahovala kromě základních přísad hrubě mletý šamot o velikosti částic v rozmezí od 0,1 do 0,5 mm v množství 80 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu a také jemně mletý šamot o velikosti částic do 0,1 mm v množství 70 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu, tvořeného hlinitokřemičitým pojivem na bázi metakaolinu a mleté vysokopecní granulované strusky. Užití kompozitu je obdobné jako v příkladu 1 nebo v příkladu 2, záleží na použitém poměrném množství obou šamotů. Použité množství alkalického aktivátoru představovalo 90 % hmotnosti použitého cementu.
30

Příklad 4

35 Další odzkoušená směs obsahovala kromě základních přísad hrubě mletý šamot o velikosti částic v rozmezí od 0,1 do 0,5 mm v množství 100 % hmotnosti použitého cementu a příměs mikrosiliky o jemnosti 0,1 až 0,3 μm v množství tvořícím 10 % hmotnosti cementu. Použité množství alkalického aktivátoru představovalo 90 % hmotnosti použitého cementu.

40 Podobně jako předchozí kompozitní směs je i tuto směs možné používat například jako omítku s hrubým vzhledem, použitá silika navíc geopolymerní směs zpevňuje a zvyšuje její trvanlivost i chemickou odolnost.

Příklad 5

45 Další vytvořená směs obsahovala kromě základních přísad hrubě mletý šamot o velikosti částic v rozmezí od 0,1 do 0,5 mm v množství 100 % hmotnosti použitého cementu a příměs uhlíkových mikrovláken o průměru $6 \pm 1 \mu\text{m}$ o délce vláken 6 mm v množství 2 % hmotnosti použitého cementu. Alkalický aktivátor představoval 90 % hmotnosti použitého cementu.

50 Uhlíková vlákna výrazně zlepšují mechanické vlastnosti geopolymery, především pevnost v tahu za ohybu, která není u samotného geopolymery příliš dobrá. V kombinaci se šamotem je možné tuto směs využívat jako stavební materiál. Uhlíková vlákna bývají obvykle využívána v kombinaci se silikou.

Příklad 6

Další kompozitní směs obsahovala na hrubo mletý šamot o velikosti částic v rozmezí od 0,1 do 0,5 mm a příměs disiřičitanu sodného v práškové formě. Šamot představoval 100 % hmotnosti použitého cementu, disiřičitan sodný 5 % hmotnosti použitého cementu a alkalický aktivátor 90 % hmotnosti použitého cementu. Geopolymerní kompozit obsahoval také geopolymerní cement o zvoleném hmotnostním množství, k jehož zvolené hmotnosti se udává použité množství disiřitanu sodného a šamotu. Disiřičitan sodný slouží jako emulgátor tekuté směsi, vhodný je především pro použití při větším množství dalších přísad v geopolymerním kompozitu.

Příklad 7

Další vhodná geopolymerní směs obsahuje hrubý šamot a příměs vysokoviskózní hydroxyethylcelulózy v práškové formě v množství 5 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu. Hrubě namletého šamotu je v kompozitu obsaženo 100 % hmotnosti použitého cementu a alkalického aktivátoru je použito 90 % hmotnosti cementu. Základ geopolymerního cementu tvoří geopolymerní cement složený z hlinitokřemičitého pojiva na bázi metakaolinu a elektrárenského odletového popílek. Užitá celulóza brání praskání geopolymerního cementu a také zvyšuje elasticitu směsi. Takto připravená směs je vhodná pro přípravu bezvadných vrstev geopolymerního cementu či geopolymerního cementu v kombinaci s přísadami, které mohou vyvolat jejich praskání, například sádra.

Příklad 8

Tento další příklad ukázkové směsi kompozitu obsahuje jemně namletý šamot a sádrovité prášky v práškové formě. 60 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu tvoří jemně mletý šamot, 5 % hmotnosti použitého cementu tvoří prášková sádra a 90 % hmotnosti použitého cementu tvoří alkalický aktivátor.

Sádra urychluje schnutí cementu a zajišťuje lepší adhezi k pracovnímu povrchu, což činí geopolymerní kompozity s obsahem sádry vhodné pro využití při aplikacích na vertikální povrchy. Příkladem užití jsou omítky, avšak příliš vysoký obsah sádry vede k popraskání geopolymerního cementu (přes 5 %).

Příklad 9

Tento příklad dokládá užití uhlíkové sítě, která je vložena buď do geopolymerní formy nebo do tloušťky vrstvy geopolymerního cementu, resp. na povrch, na který je kompozitní směs nanášena. Kompozitní směs obsahuje geopolymerní cement, 90 % z hmotnosti použitého geopolymerního cementu alkalického aktivátoru a 100 % hmotnosti použitého geopolymerního cementu hrubě namletý šamot. Užitá je síť z uhlíkových vláken s velikostí ok 30 x 30 mm o měrné hmotnosti 250 g/m². Uhlíkové sítě obecně zlepšují mechanické vlastnosti geopolymerního cementu, především pevnost v tahu. Jsou vhodné prakticky obecně pro geopolymerní jakéhokoliv složení.

Příklad 10

Specifikem této geopolymerní směsi je vysoký obsah jemného šamotu, konkrétně 80 % z hmotnosti použitého geopolymerního cementu, což je nejvyšší obsah ve stanoveném rozsahu, a nulový obsah hrubého šamotu. Směs měla následující složení. Geopolymerní cement a alkalický aktivátor v množství 90 % hmotnosti z použitého množství cementu tvoří základní přísady kompozitu. Použitý šamot o velikosti částic v rozmezí 0,05 až 0,1 mm. Dalšími přísadami jsou mikrosilika o jemnosti 0,1 až 0,3 µm v množství tvořícím 10 % hmotnosti použitého cementu, uhlíková mikrovlna o průměru 6 ± 1 µm a průměrnou délkou vláken 6 mm v množství 1 % hmotnosti použitého cementu, disiřičitan sodný v práškové formě v množství 5 % hmotnosti použitého cementu, vysokoviskózní hydroxyethylcelulózy v práškové formě v množství 1 % hmotnosti

použitého cementu a sádra v práškové formě v množství 5 % hmotnosti použitého množství cementu.

Takto připravená geopolymerní směs je vhodná například jako materiál pro opravu prasklin ve stěnách či jako omítka. Dodatečné přísady dále zlepšují mechanické vlastnosti, urychlují schnutí a omezují praskání geopolymerního cementu. Uvedené přísady je vhodné využívat zároveň pro výrazné zlepšení mechanických i užitných vlastností kompozitu.

Příklad 11

Specifikem této geopolymerní směsi je rovněž obsah jemného šamotu, konkrétně 60 % hmotnosti oproti hmotnostnímu obsahu geopolymerního cementu a také nulový obsah hrubého šamotu. Geopolymerní cement a alkalický aktivátor v množství 90 % hmotnosti z použitého množství cementu tvoří základní přísady kompozitu. Směs měla následující složení. Mikrosiliku o jemnosti 0,1 až 0,3 μm v množství 10 % hmotnosti použitého množství geopolymerního cementu, uhlíková mikroválka o průměru $6 \pm 1 \mu\text{m}$ s průměrnou délkou vláken 6 mm v množství 1 % hmotnosti použitého cementu, disiřičitan sodný v práškové formě v množství 5 % hmotnosti použitého cementu, vysokoviskózní hydroxyethylcelulózu v práškové formě v množství 1 % hmotnosti použitého cementu a sádra v práškové formě v množství 4 % hmotnosti použitého množství cementu.

Takto připravená geopolymerní směs je též vhodná například jako materiál pro opravu prasklin ve stěnách či jako omítka. Využití dodatečných přísad dále zlepšuje mechanické vlastnosti, urychluje schnutí a omezuje praskání geopolymerního cementu.

Příklad 12

Specifikem této geopolymerní směsi je 100 % obsah hrubého šamotu oproti obsahu geopolymerního cementu a nulový obsah jemného šamotu. Hrubý šamot vykazuje velikost částic v rozmezí 0,1 do 0,5 mm. Geopolymerní cement a alkalický aktivátor v množství 90 % hmotnosti z použitého množství cementu tvoří základní přísady kompozitu. Směs měla následující složení. Mikrosiliku o jemnosti 0,1 až 0,3 μm v množství 10 % hmotnosti použitého množství geopolymerního cementu, uhlíková mikroválka o průměru $6 \pm 1 \mu\text{m}$ s průměrnou délkou vláken 6 mm v množství 1 % hmotnosti použitého cementu, disiřičitan sodný v práškové formě v množství 5 % hmotnosti použitého cementu, vysokoviskózní hydroxyethylcelulózu v práškové formě v množství 1 % hmotnosti použitého cementu a sádra v práškové formě v množství 4 % hmotnosti použitého množství cementu.

Takto připravená geopolymerní směs je vhodná například jako termoizolační mezivrstva či omítka s hrubým vzhledem, též může sloužit například jako základ pro směsi s dalšími příměsemi, například kamínky pro vytvoření přírodního vzhledu omítky. Aplikace dodatečných přísad do kompozitu dále zlepšuje mechanické vlastnosti, urychluje schnutí a omezuje praskání geopolymerního cementu.

Příklad 13

Další geopolymerní směs měla následující složení. Jejím specifickým je kombinování obsahu hrubého šamotu s 60 % hmotnosti zvoleného z obsahu geopolymerního cementu a současného obsahu jemného šamotu s 30 % hmotnosti z obsaženého geopolymerního cementu. Hrubě namletý šamot má velikost částic v rozmezí od 0,1 do 0,5 mm, jemně namletý šamot vykazoval částice v rozmezí 0,05 do 0,1 mm. Alkalického aktivátoru bylo užito 90 % hmotnosti použitého množství geopolymerního cementu. Dalšími přísadami kompozitu jsou mikrosilika o jemnosti 0,1 až 0,3 μm v množství 10 % hmotnosti použitého množství geopolymerního cementu, uhlíková mikroválka o průměru $6 \pm 1 \mu\text{m}$ s průměrnou délkou vláken 6 mm v množství 1 % hmotnosti použitého cementu, disiřičitan sodný v práškové formě v množství 5 % hmotnosti použitého cementu,

vysokoviskózní hydroxyethylcelulóza v práškové formě v množství 1 % hmotnosti použitého cementu a sádra v práškové formě v množství 4 % hmotnosti použitého množství cementu.

- 5 Takto připravená geopolymerní směs je, podobně jako předchozí směs v příkladu 12, vhodná například jako termoizolační mezivrstva či omítka s hrubým vzhledem, též může sloužit například jako základ pro směsi s dalšími přísadami, například kamínky pro vytvoření přírodního vzhledu omítky. Shora zmíněné přísady kompozitu dále zlepšují mechanické vlastnosti, urychlují schnutí a omezují praskání geopolymerní směsi.

10

Průmyslová využitelnost

- 15 Takto připravené geopolymerní směsi vykazují zlepšené mechanické a termoizolační vlastnosti oproti samotnému geopolymernímu, což umožňuje jejich využití například jako mezivrstev pro tepelnou izolaci či materiálů pro opravu prasklin ve stěnách. K tomu jsou vhodné především směsi využívající hrubý šamot. Směsi s jemným šamotem pak mají hladší povrch, díky čemuž jsou vhodné například jakožto odolná a izolující omítka, čemuž napomáhá i vysoká adheze této směsi k vertikálním povrchům.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. 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 vysokopepní 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 cementu a šamot o velikosti částic v rozmezí 0,1 až 0,5 mm v množství 5 až 120 % hmotnosti použitého cementu a/nebo šamot o velikosti částic v rozmezí 0,05 až 0,1 mm v množství 5 až 80 % hmotnosti použitého cementu.
2. Geopolymerní kompozit pro speciální aplikace podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že obsahuje příměs mikrosiliky o jemnosti 0,1 až 0,3 μm v množství tvořícím 5 až 15 % hmotnosti použitého cementu.
3. Geopolymerní kompozit pro speciální aplikace podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že obsahuje příměs uhlíkových mikrovláken o průměru $6 \pm 1 \mu\text{m}$ a délkou vláken 6 mm v množství 1 až 5 % hmotnosti použitého cementu.
4. Geopolymerní kompozit pro speciální aplikace podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že obsahuje příměs disiřičitanu sodného v práškové formě v množství 5 až 10 % hmotnosti použitého cementu.
5. Geopolymerní kompozit pro speciální aplikace podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že obsahuje příměs vysokoviskózní hydroxyethylcelulózy v práškové formě v množství 1 až 5 % hmotnosti použitého cementu.
6. Geopolymerní kompozit pro speciální aplikace podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že obsahuje příměs sádry v práškové formě v množství 4 až 5 % hmotnosti použitého cementu.
7. Geopolymerní kompozit pro speciální aplikace podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že do tloušťky vrstvy geopolymerního 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 g/m^2 .