

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

zveřejněná podle § 31 zákona č. 527/1990 Sb.

(21) Číslo dokumentu:

2002 - 1011

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **20.03.2002**

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **17.12.2003**
(Věstník č. 12/2003)

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl. ⁷:

C 04 B 28/04

//(C 04 B 28/04, C 04 B 18:16, C 04 B 28/04,
C 04 B 14:28)

(71) Přihlašovatel:

VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ
V PRAZE, Praha, CZ;

(72) Původce:

Škvára František Doc. Dr. DrSc., Praha, CZ;
Kaštánek František Prof. Ing. DrSc., Kladno, CZ;

(74) Zástupce:

Kubíčková Květoslava Ing., Doubravčická 2201, Praha
10, 10000;

(54) Název přihlášky vynálezu:

Geopolymerní pojivo na bázi popílků

(57) Anotace:

Geopolymerní pojivo na bázi popílků určené pro výrobu kaší, malt a betonů či fixaci odpadů obsahuje 70 až 94 % hmotn. elektrárenského popílku s měrným povrchem 150 až 600 m²/kg, 5 až 15 % hmotn. alkalického aktivátoru složeného ze směsi alkalického hydroxidu a alkalického křemičitanu, například vodního skla, kdy tento aktivátor obsahuje 5 až 15 % hmotn. Me₂O a má poměr SiO₂/Me₂O v rozmezí 0,6 až 1,5, kde Me je Na nebo K a 1 až 15 % hmotn. vápenaté sloučeniny jako je CaCO₃, CaMg(CO₃)₂, CaSO₄, CaSO₄·2 H₂O, Ca(OH)₂, mletý vápenec, mletý sádrovec, mletý dolomitický vápenec, odpadní sádrovec z chemických výrob, odpadní sádrovec z odsiřovacích procesů, cementový recyklát z betonů.

S výhodou má vápenatá sloučenina velikost částic 1 až 200 μm. Je výhodné když popílek obsahuje více než 3 % hmotn. CaO, s výhodou více než 8 % hmotn. CaO. Lze použít směsi nízkovápenatého popílku s obsahem CaO nižším než 3 % hmotn. a vysokovápenatého popílku s obsahem CaO více než 3 % hmotn. Geopolymerní pojivo se používá k výrobě kaší, malt a betonů či fixací odpadů, přičemž poměr záměsové vody s pojivem je 0,25 až 0,4. S výhodou se jako plnivo použije drcený vápenec nebo dolomitický vápenec ve frakcích od 0,1 do 32 mm, nebo oxidy Fe, baryt nebo jiný materiál pro stínění radioaktivního záření nebo anorganické a organické materiály obsahující těžké kovy, vybrané ze skupiny tvořené Zn, Ba, Cd,

Cu, Zr, Pb, Ni, U či látky z úpravy minerálů a těžební činnosti loužence. Geopolymerní pojivo lze míchat s vodou v poměru 0,25 až 0,4, s výhodou homogenizovat s plnivem, a směs dále umístit do forem a nechat vytvrdit při teplotě 20 až 95 °C.

Geopolymerní pojivo na bázi popílků

Oblast techniky

Vynález se týká geopolymerního pojiva na bázi popílků, určeného pro výrobu kaší, malt a betonů či fixaci odpadů, obsahujícího

70 až 94% hmotn. elektrárenského popílku s měrným povrchem $150 \times 600 \text{ m}^2/\text{kg}$ až

5 až 15% hmotn. alkalického aktivátoru složeného ze směsi alkalického hydroxidu a alkalického křemičitanu, na příklad vodního skla, kdy tento aktivátor obsahuje 5 až 15% hmotn. Me_2O a má poměr $\text{SiO}_2/\text{Me}_2\text{O}$ v rozmezí 0,6 až 1,5, kde Me je Na nebo K.

Dosavadní stav techniky

Latentně hydraulicky aktivní látky, jako je granulovaná vysokopecní struska, elektrárenský popílek, přírodní nebo umělé pucolány jsou součástí směsných portlandských cementů. Tyto látky se aktivně účastní procesu hydratace portlandského cementu, kdy aktivující látkou je především $\text{Ca}(\text{OH})_2$, jenž vzniká při hydrataci slínkových minerálů. Hydraulicky aktivní látky jsou však schopné i za nepřítomnosti $\text{Ca}(\text{OH})_2$ vytvářet hydráty, které poskytují hmoty s měřitelnými mechanickými vlastnostmi. Takovými aktivátory latentně hydraulických látek jsou některé alkalické sloučeniny, jako je na př. Na_2CO_3 , NaOH nebo Na_2SiO_3 .

Základní údaje o těchto pojivech, „struskoalkalických cementech“, nacházíme v literatuře na př. v knize V.D.Gluhovskij: „Soil Silicates“, Kijev 1959, dále v Proceedings 1. a 2. International Conference „Alkaline Cements and Concretes“, Kijev 1994, 1999 a v řadě dalších. V těchto pracích jsou popsány směsi latentně hydraulických látek (zejména strusek a dalších), kde je užit alkalický aktivátor ve formě vodního skla, Na_2CO_3 a NaOH .

Ve spisu US 4,410,365 je popsáno pojivo na bázi mleté granulované vysokopecní strusky a alkalického aktivátoru, na př. NaOH , Na_2SO_4 .

Dále je popsáno alkalické pojivo s nízkým vodním součinitelem, vhodné pro přípravu kaší, malt i betonů. Pojivo se skládá nejméně z 50% latentně hydraulické aktivní látky, jako je struska nebo technický či přírodní pucolán, a mající měrný povrch nejméně $400 \text{ m}^2/\text{kg}$. Pojivo dále obsahuje 0,1 až 5% plastifikátoru a 0,5 až 8% NaOH nebo Na_2CO_3 .

V US 5,076,851 je popsán směsný bezsádrovcový portlandský cement obsahující 60 až 96,7% mletého slínku portlandského cementu s měrným povrchem 350 až 550 m²/kg a 3 až 40% mleté latentně hydraulické látky, jako je vysokopecní granulovaná struska, popílek a další. Pojivo dále obsahuje 0,1 až 3% plastifikátoru a 0,5 až 6% Na₂CO₃, NaOH nebo NaHCO₃.

V US 5,084,102 je popsán cement, který obsahuje 20 až 60% mleté vysokopecní strusky s měrným povrchem 500 až 650 m²/kg a 40 až 80% elektrárenského popílku a dále 2% mletého slínku portlandského cementu (vztaženo na směs strusky a popílku) a dále 2 až 12 % křemičitanu sodného s poměrem SiO₂/Na₂O = 1 až 2.

V US 5,601,643 je popsán cement na bázi elektrárenského popílku. Toto pojivo vhodné pro přípravu kaší, malt i betonů se skládá z popílku a 2 až 20 % alkalického křemičitanu (počítáno jako Na₂O) s poměrem SiO₂/Na₂O = 0,2 až 0,75. Pojivo dosahuje vysokých pevností zejména po zpracování při teplotách 40 až 90 °C.

V US 5,482,549 je popsán cement sestávající se z mleté vysokopecní strusky s měrným povrchem 500 až 700 m²/kg a mletého elektrárenského popílku s měrným povrchem 500 až 750 m²/kg v poměru 20:80 až 70:30 hmotn.dílů a dále obsahující nejméně 2% mletého slínku portlandského cementu a 2 až 12 % křemičitanu sodného.

V DE 3,934,085 je popsáno pojivo pro imobilizaci odpadů těžkých kovů sestávající se z latentně hydraulických látek (strusky, popílku a dalších) o velikosti částic menších než 100 μm, alkalického aktivátoru na bázi CaO, Ca(OH)₂, MgO, Mg(OH)₂, a CaSO₃ nebo CaSO₄.

V EP 593130 je popsán proces imobilizace odpadů těžkých kovů za použití pojivo sestávajícího se z popílku, roztoku alkalického aktivátoru jehož pH je větší než 13, popřípadě obsahujícího strusku, křemičitý úlet či další pucolány.

V EP 927708 je popsáno hydraulické pojivo sestávající se z latentně hydraulické látky jako je popílek, mletá struska, alkalického aktivátoru jako jsou hydroxidy kovů alkalických zemin, slínek portlandského nebo hlinitanového cementu a produkty odsiřování spalných plynů (CaSO₃ nebo CaSO₄).

V WO 00/00447 je popsáno hydraulické alumosilikátové pojivo, sestávající se z alumosilikátů (vysokopecní struska, jíl, slín, popílek) s obsahem Al₂O₃ více než 5%, úlet z cementářské rotační pece, alkalický aktivátor ve formě alkalického hydroxidu a

CaSO₄. V pojivu je přítomno vždy více než 34% strusky, více než 5% popílku, 3 až 10% alkalického aktivátoru a více než 5% CaSO₄.

V CZ 289,735 je popsáno alkalicky aktivované pojivo na bázi hydraulicky aktivních látek, určené pro výrobu kaší, malt a betonů tvrdnoucích při teplotách 15 až 95 °C, sestává z 35 až 93 % hmotn. elektrárenského popílku s měrným povrchem 100 až 600 m²/kg, 2 až 40 % hmotn. další latentně hydraulicky aktivní látky, 5 až 15 % hmotn. alkalického aktivátoru, jako je například směs sodného nebo draselného vodního skla a NaOH či KOH, vyjádřené jako % hmotn. Na₂O, přičemž další hydraulicky aktivní látkou je mletá granulovaná vysokopecní struska s měrným povrchem 200 až 600 m²/kg, a/nebo mletý slínek portlandského cementu s měrným povrchem 200 až 600 m²/kg, a/nebo přírodní a/nebo umělý pucolán a/nebo tepelně aktivovaný přírodní jíl, a v alkalickém aktivátoru je poměr SiO₂/Na₂O je 0,4 až 1,0.

Při alkalické aktivaci popílků vznikají hmoty s pevnostmi přesahující pevnosti standardních portlandských cementů. Alkalická aktivace popílků ve vodném prostředí při pH >12, při níž dochází k tvrdnutí materiálu, je odlišná od procesů hydratace anorganických pojiv, např. portlandského cementu. Alkalická aktivace popílků (s převahou obsahu SiO₂) je proces, při kterém dochází k průniku atomů Al (a pravděpodobně i Ca, Mg) do původní křemičité mřížky popílku. Vzniká 2D-3D anorganický hydratovaný polymer (geopolymer) obecného vzorce M_n[-(Si-O)_z-Al-O]_n.wH₂O. Hydratační produkty alkalicky aktivovaných popílků mají amorfni charakter s minoritními krystalickými fázemi s převahou uspořádání Q⁴(2Al). Vlastnosti alkalicky aktivovaných popílků jsou závislé na způsobu přípravy, zejména na koncentraci alkalického aktivátoru a vlhkostních podmínkách. Optimální výsledky byly dosaženy při ohřevu na 60 až 90 °C v otevřené atmosféře („suché podmínky“). Za přítomnosti vysokopecní strusky ve směsích alkalicky aktivovaných popílků dochází ke značnému zvýšení pevností (přes 150 MPa v tlaku) při optimálních „hydrotermálních“ podmínkách při teplotě 60 až 90 °C. Při těchto podmínkách vzniká vedle geopolymerní fáze i fáze C-S-H. Alkalicky aktivovaná pojiva dávají možnost využití odpadních anorganických materiálů. Materiály na bázi AA popílků lze charakterizovat jako „chemically bonded ceramics“ či geopolymery nebo jako nízkoteplotní hydratovaná aluminosilikátová skla.

Řada autorů (např. Davidovits J.: „Properties of geopolymer cements“, Proc. 1st Intern.Conf. „Alkaline cements and concretes“, vol.1., p.131-150, VIPOL Stock

Comp. Kiev 1994, Davidovits J.: „Geopolymers - inorganic polymeric new materials“, J. Therm. Anal. 37, p. 1633-1656, 1991, Davidovits J.: „Chemistry of geopolymeric systems, terminology“, Proc. Geopolymer Inter.Conf. (1999), Van Jaarsveld J.G.S, Van Deventer J.S.J., Lorenzen L.: The potential use of geopolymeric materials to immobilise toxic materials“, Part I., Miner. Eng. 10, 659-669 (1997), , Part II ,12, 75-91(1999)) předpokládají, že nejdůležitějším faktorem při alkalické aktivaci latentně hydraulických látek je poměr Si/Al resp. koncentrace alkalií či poměr $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$.

Podstata vynálezu

Náš výzkum však ukázal, že kromě zmíněných faktorů hraje významnou roli i průnik atomů Ca vedle průniku atomů Al do mřížky SiO_4 v popílku.

Geopolymerní pojivo na bázi popílků, určené pro výrobu kaší, malt a betonů či fixaci odpadů, obsahující

70 až 94% hmotn. elektrárenského popílku s měrným povrchem 150 až 600 m^2/kg

5 až 15% hmotn. alkalického aktivátoru složeného ze směsi alkalického hydroxidu a alkalického křemičitanu, na příklad vodního skla, kdy tento aktivátor obsahuje 5 až 15% hmotn. Me_2O a má poměr $\text{SiO}_2/\text{Me}_2\text{O}$ v rozmezí 0,6 až 1,5, kde Me je Na nebo K,

podle vynálezu spočívá v tom, že obsahuje 1 až 15% vápenaté sloučeniny jako je CaCO_3 , $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, CaSO_4 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, mletý vápenec, mletý sádrovec, mletý dolomitický vápenec, odpadní sádrovec z chemický výrob, odpadní sádrovec z odsiřovacích procesů, cementový recyklát z betonů.

S výhodou vápenatá sloučenina má velikost částic 1 až 200 μm .

Je výhodné, když popílek obsahuje více než 3% hmotn. CaO, s výhodou více než 8% hmotn. CaO. Lze použít směsí nízkovápenatého popílku s obsahem CaO nižším než 3% hmotn. a vysokovápenatého popílku s obsahem CaO více než 3% hmotn.

Při výrobě kaší, malt a betonů či fixaci odpadů se geopolymerní pojivo používá tak, že poměr záměsové vody ke směsi popílku a vápenaté sloučeniny je 0,25 až 0,4.

Při zpracování geopolymerního pojiva podle vynálezu do kaší, malt a betonů či fixaci odpadů je vhodným plnivem drcený vápenec nebo dolomitický vápenec ve frakcích od 0,1 do 32 mm.

(záměsové vody ke směsi popílku a vápenaté sloučeniny)

Plnivem pro přípravu betonů s použitím geopolymerního pojiva podle vynálezu jsou s výhodou oxidy Fe, baryt nebo jiný materiál pro stínění radioaktivního záření a/nebo anorganické a organické materiály obsahující těžké kovy jako například Zn, Ba, Cd, Cu, Zr, Pb, Ni, U či látky z úpravy minerálů a těžební činnosti, loužence.

Při výrobě betonů či fixaci odpadů se vyrobená směs geopolymerního pojiva, záměsové vody a případně plniva umístí do forem a ponechá se vytvrdit při teplotách 20 až 95 °C.

Při vstupu atomů Al do mřížky SiO_4 v popílku dochází ke vzniku záporného náboje na atomu O, který je kompenzován iontem Na^+ . Za přítomnosti látek obsahující Ca dochází k průniku i atomů Ca do SiO_4 mřížky. V tomto případě je uvedený záporný náboj na atomech O kompenzován iontem Ca^{2+} , avšak dochází propojení iontovou vazbou ve struktuře. Tím dochází k vyšší propojenosti v $-\text{Si}-\text{O}-\text{Al}-\text{O}-\text{Si}$ struktuře a tím ke vzniku materiálů s vyššími pevnostmi. Zvýšení pevností geopolymery na bázi popílků je dosaženo přísadou na bázi vápenatých látek jako je CaCO_3 , $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, CaSO_4 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, sádrovec, dolomitický vápenec, odpadní sádrovec z chemický výrob, odpadní sádrovec z odsiřovacích procesů, cementový recyklát z betonů. Rovněž pozitivním způsobem se projevuje zvýšení obsahu CaO v popílku. Zvýšení pevností je možné při současném snížení celkového obsahu alkalií a při snížení obsahu NaOH v alkalickém aktivátoru, než je tomu při známých způsobech přípravy těchto látek. Snížení obsahu alkalií a zejména snížení dodatečného přidávání NaOH pro úpravu Ms je významné z hlediska manipulace s tímto pojivem.

Pojivo sestávající se z popílku, alkalického aktivátoru (směsi alkalického hydroxidu a křemčitanu) a vápenaté látky tuhne při teplotách 20 až 95 °C, kdy optimální podmínky jsou při krátkodobém teplotním zpracování při teplotách 50 až 80 °C v otevřené atmosféře.

Uvedené pojivo je vhodné pro přípravu kaší, malt i betonů a pro fixaci anorganických a dalších odpadů. Jako součást pojiva lze užít odpadní CaSO_4 z chemických či odsiřovacích procesů a dle pak recyklovaný beton (jemné frakce po drcení použitých betonů).

Jako kamenivo lze použít pro tento typ pojiva běžné kamenivo pro výrobu malt a betonů, s výhodou drcený vápenec nebo dolomitický vápenec.

Geopolymerní pojivo je použitelné i k přípravě materiálů ke stínění radioaktivního záření, například k přípravě těžkých betonů nebo hmot obsahující v maximálním množství stínící látky jako jsou oxidy Fe, baryt a další.

Geopolymerní pojivo je možné použít pro fixaci anorganických i organických odpadů, odpadních látek obsahující těžké kovy jako např. Zn, Ba, Cd, Cu, Zr, Pb, Ni, U (látky z úpravy minerálů a těžební činnosti, loužence), případně pro fixaci radioaktivních odpadů.

Tyto látky jsou použitelné ve směsi s geopolymerním pojivem jako plnivo namísto klasického kameniva pro přípravu malt a betonů.

Geopolymerní pojivo podle vynálezu představuje nový typ anorganického pojiva, které umožňuje zpracování anorganického odpadu – popílku - jako základní suroviny. Popílek je doposud využíván jako součást portlandských cementů či jako součást betonových směsí. Značná část odpadní popílků je skladována či míšena s odpadním sádrovcem a deponována např. ve vytěžených prostorách. Míšení popílku s odpadním sádrovcem (např. z odsiřovacích procesů) je v principu nevhodné, neboť odpadní sádrovec (z odsiřovacích procesů vápencovou metodou) obsahuje Ca pocházející z nevratné suroviny, kterou je vápenec. Skladování odpadních popílků představuje ekologický problém, neboť existuje potenciální možnost vyluhování těžkých kovů z odpadních popílků. Skladování popílků jako odpadu je dále energeticky nevhodné, neboť v popílku je „skrytá“ část tepelné energie vzniklé při spalování uhlí v elektrárnách.

Geopolymerní pojivo podle vynálezu představuje možnost využití směsi popílku a odpadního sádrovce na výrazně vyšší úrovni než deponování této směsi na skládkách.

Geopolymerní pojivo podle vynálezu nevyžaduje energeticky náročný proces výroby ve srovnání s ostatními anorganickými pojivy, zejména s portlandským cementem. Výroba portlandského cementu zahrnuje energeticky náročný proces přípravy surovin (těžba, drcení, mletí a směšování několika surovinových komponent) a následný výpal do teplot 1450 °C. Součástí výroby cementu je dále energeticky náročné mletí slínku. Tyto energeticky a surovinově náročné procesy při výrobě geopolymerního pojiva podle vynálezu odpadají, neboť základní surovinou odpadní elektrárnský popílek není nutné v principu mlít či tříditi když je to pro optimalizaci vlastností pojiva možné, a není nutný energeticky náročný tepelný proces, jako je výpal. Pro optimalizaci vlastností pojiva podle vynálezu postačí krátkodobý ohřev na teploty do 60 až 90 °C, či dokonce v některých případech není tento ohřev nutný.

Geopolymerní pojivo podle vynálezu je novým typem anorganického pojiva, při jehož výrobě v principu nedochází k emisím CO_2 , neboť na rozdíl od výroby portlandského cementu či vápna není nutné pálení vápence (jako součásti surovinové směsi). Toto pojivo pak představuje perspektivu možnosti snížení emisí „skleníkových plynů“, jejichž hlavním producentem vedle hutního a elektrárenského průmyslu jsou právě cementárny a vápenky.

Dalším výrazným ekologickým aspektem geopolymerního pojiva podle vynálezu je možnost fixace odpadních látek a látek, které obsahují těžké kovy.

Příklady provedení

Příklad 1.

Pro přípravu kaší, malt a betonů z geopolymerního pojiva byl použit elektrárenský popílek o složení v hmotn. %:

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O	Na_2O	TiO_2	P_2O_5	Sp.látky
53,79	32,97	5,51	1,84	0,92	0,46	1,76	0,37	2,1	0,15	0,74

Výraz „Sp. látky“ znamená spalitelné látky.

Alkalický aktivátor byl připraven z vodního skla o složení 25,98% hmotn. SiO_2 , 15,49% hmotn. Na_2O a 58,53% hmotn. H_2O . Obsah Na_2O (vztažený na hmotnost popílku resp. popílku + vápenaté látky), modul alkalického aktivátoru $M_s = \text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ byl upraven přidáním NaOH . Vodní součinitel směsi $w = \text{hmotnost } \text{H}_2\text{O} / (\text{hmotnost popílku} + \text{vápenatá látka})$ byl upraven přidáním příslušného množství vody do alkalického aktivátoru. Alkalický aktivátor rozpuštěný ve vodě byl smíšen s popílkem a s případným plnivem. Směs byla umístěna do forem a vystavena teplotním podmínkám v rozmezí 20 až 95 °C podle údajů uvedených v následujících tabulkách. Po 2 a 28 dnech od přípravy byla zkoušena pevnost těchto hmot.

Příklad 2.

Z popílku podle příkladu 1 byla připravena kaše (bez přísady plniv) $w = 0,26$ s dobrou zpracovatelností. Alkalický aktivátor měl $M_s = 0,8$ a obsah Na_2O byl 8% hmotn..

K popílku bylo přidáno 4% hmotn. mletého vápence. Kaše měla počátek tuhnutí po 2 hodinách.

Příklad 3.

Z popílku podle příkladu 1 byly připraveny malty, kde jako plnivo byl použit písek frakce 0,2 mm. K popílku byla přidána vápenatá látka, kterou byl mletý vápenec s velikostí částic do 80mm, mletý dolomitický vápenec s velikostí částic do 150 μm a odpadní sádrovec s velikostí částic do 30 μm . Vápenec obsahoval více než 95% hmotn. CaCO_3 , dolomitický vápenec obsahoval více než 90% hmotn. $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$, sádrovec A obsahoval více než 97% hmotn. $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$, sádrovec B obsahoval více než 93% hmotn. $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$. Směsi bez přísady vápenaté látky odpovídají známým postupům, např. podle US 5,601,643 a CZ 289,735.

Na_2O (%)	Ms	w	doba a teplota tepelného zpracov.	popílek:písek	přísada k popílku	pevnost 2dny (MPa)	pevnost 28 dní (MPa)
7,75	1,06	0,32	12 hod, 70 °C	1:1,5	10% vápenec	55,2	57,7
7,75	1,06	0,32	12 hod, 70 °C	1:1,5	bez přísady	32,0	43,9
7,19	1,43	0,32	12 hod, 70 °C	1:1,5	10% vápenec	30,2	45,8
7,19	1,43	0,32	12 hod., 70 °C	1:1,5	bez přísady	26,2	30,1
8,31	0,74	0,32	12 hod, 70 °C	1:1,5	bez přísady	38	53,9
5,43	1	0,32	12 hod, 70 °C	1:2	10% vápenec	22,5	28,5
5,43	1	0,32	12 hod, 70 °C	1:2	bez přísady	12,8	14,2
7	1	0,32	12 hod, 70 °C	1:1,5	10% vápenec	15,5	19,6
13,5	0,7	0,32	12 hod, 70 °C	1:1,5	bez přísady	43,2	46,2
13	1	0,32	5 hod, 90 °C	1:1,5	10% vápenec	38	40,2
10	1,06	0,32	12 hod, 70 °C	1:1,5	10% dolomitický vápenec	42,9	48,9
10	1,1	0,35	12 hod, 70 °C	1:1,5	10% sádrovec A	20,7	24,5
10	1,1	0,32	12 hod, 70 °C	1:1,5	5% sádrovec B	37,8	42,3
10	1,1	0,32	12 hod, 70 °C	1:1,5	10% sádrovec B	24,7	25,8

Příklad 4.

Příklad 4.

Z popílku podle příkladu 1 byla připravena malta, kde jako plnivo byl použit písek frakce 0-2 mm. K popílku byl přidán cementový recyklát, kterým byla frakce 0-0,5 mm z drceného cementového betonu resp. z drceného pórobetonu.

Na ₂ O (%)	Ms	w	dobu a teplota tepelného zpracov.	popílek:písek	přísada k popílku	pevnost 2dny (MPa)	pevnost 28 dní (MPa)
10	0,95	0,32	12 hod, 70 °C	1:1,5	10% cementový recyklát z drceného betonu	47,0	56,9
10	0,95	0,32	12 hod, 70 °C	1:1,5	10% recyklát z drceného pórobetonu	34	46,1

Příklad 5.

Malta s 10% hmotn. sádrovce B podle příkladu 4 měla počátek tuhnutí po 1,5 h při 20 °C.

Příklad 6.

Z popílku podle příkladu 1 byl připraven beton, kde jako kamenivo byla použita vápencová drť 0-4 mm. Počátek tuhnutí tohoto betonu při 20 °C byl více než 24 hodin. Pro srovnání byl připraven beton ze standardního kameniva frakce 0-4 mm. Poměr popílku ku plnivu byl 1:1,5.

Na ₂ O (%)	Ms	w	dobu a teplota tepelného zpracování	plnivo	pevnost 2dny (MPa)
10	0,8	0,32	12 hod, 70 °C	vápencová drť	45,1
10	0,8	0,32	12 hod, 70 °C	standardní kamenivo pro výrobu betonu	30,0

Příklad 7.

Pro přípravu kaše w = 0,30 byl použit popílek o složení:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Sp.látky
48,8	25,3	14,5	4,2	1,58	1,64	0,76	0,96	1,15	0,23	0,60

Vlastnosti geopolymery jsou uvedeny v tabulce:

Na ₂ O (%)	Ms	w	dobu a teplota tepelného zpracování	pevnost 2dny (MPa)	pevnost 28 dní (MPa)
12	0,8	0,25	24 hod, 60 °C	50,2	58,7

Příklad 8.

Pro přípravu malty byla použita směs popílku podle příkladu 1 a popílku A, jehož složení je uvedeno v tabulce:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Sp.látky
51,82	28,3	4,1	8,2	2,0	0,46	1,76	0,37	2,1	0,15	0,74

Vlastnosti malt jsou uvedeny v tabulce:

Na ₂ O (%)	Ms	w	dobu a teplota tepelného zpracování	popílek:písek	typ popílku	pevnost 2dny (MPa)	pevnost 28 dní (MPa)
10	0,8	0,32	12 hod, 70 °C	1:1,5	Popílek dle příkladu 1	55,2	57,7
10	0,8	0,32	12 hod, 70 °C	1:1,5	Popílek dle příkladu 1 + popílek A v poměru 1:1	60,1	63,5

Příklad 9.

Pro přípravu směsi byl použit popílek o složení:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Sp.látky
48,8	25,3	14,5	4,2	1,58	1,64	0,76	0,96	1,15	0,23	0,60

a prachové odpady.

Složení prachového odpadu A :

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃
15,11	3,18	55,07	11,80	9,86	1,14	0,12	0,22	0,09	0,19	0,25

Složení prachového odpadu B:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	ZnO	PbO	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃
6,23	1,25	34,11	4,2	6,10	35,2	8,90	0,22	0,09	0,19	3,51

Vlastnosti směsí jsou uvedeny v tabulce:

Na ₂ O (%)	Ms	w	dobu a teplota tepel. zprac.	plnivo	obsah prachového odpadu	pevnost 2dny (MPa)	pevnost 28 dní (MPa)
10	0,8	0,30	8 hod, 60 °C	5% vápencová drť	20% odpad A	12,6	21,9
10	0,8	0,30	24 hod, 80 °C	5% vápencová drť	30% odpad A	30,8	33,2
10	0,8	0,30	24 hod, 80 °C	5% vápencová drť	30% odpad B	15,2	28,1

Příklad 10.

Z popílku podle příkladu 1 byly připraveny směsi pro stínění radioaktivního záření.

Na ₂ O (%)	Ms	w	dobu a teplota tepelného zpracování	plnivo	obsah stínící složky	pevnost 2dny (MPa)	pevnost 28 dní (MPa)
10	0,9	0,32	12 hod, 70 °C	5% vápencová drť	35% Fe ₂ O ₃	18,6	25,8
10	0,9	0,32	12 hod, 70 °C	5% vápencová drť	20% baryt	12,8	18,5

Průmyslová využitelnost

Vynález je využitelný ve stavebnictví

Patentové nároky

1. Geopolymerní pojivo na bázi popílků určené pro výrobu kaší, malt a betonů či fixaci odpadů obsahující

70 až 94% ^{elektrárenského} popílku s měrným povrchem 150 až 600 m²/kg,

5 až 15% ^{alkalického} aktivátoru složeného ze směsi alkalického hydroxidu a alkalického křemičitanu, na příklad vodního skla, kdy tento aktivátor obsahuje 5 až 15% hmotn. Me₂O a má poměr SiO₂/Me₂O v rozmezí 0,6 až 1,5, kde Me je Na nebo K,

vyznačené tím, že

obsahuje 1 až 15% hmotn. vápenaté sloučeniny jako je CaCO₃, CaMg(CO₃)₂, CaSO₄, CaSO₄.2 H₂O, Ca(OH)₂, mletý vápenec, mletý sádrovec, mletý dolomitický vápenec, odpadní sádrovec z chemický výrob, odpadní sádrovec z odsiřovacích procesů, cementový recyklát z betonů.

2. Geopolymerní pojivo podle nároku 1, vyznačené tím, že vápenatá sloučenina má velikost částic 1 až 200 μm.

3. Geopolymerní pojivo podle nároku 1, vyznačené tím, že popílek obsahuje více než 3% hmotn. CaO, s výhodou více než 8% hmotn. CaO.

4. Geopolymerní pojivo podle nároku 1, vyznačené tím, že popílek je tvořen směsí nízkovápenatého popílku s obsahem CaO nižším než 3% hmotn. a vysokovápenatého popílku s obsahem CaO více než 3% hmotn.

5. Způsob použití geopolymerního pojiva podle nároku 1, vyznačený tím, že při výrobě kaší, malt a betonů či fixaci odpadů je poměr záměsové vody s pojivem 0,25 až 0,4.

6. Způsob použití podle nároku 5, vyznačený tím, že při výrobě kaší, malt a betonů či fixaci odpadů se jako plnivo použije drcený vápenec nebo dolomitický vápenec ve frakcích od 0,1 do 32 mm.

7. Způsob použití podle nároku 5, vyznačený tím, že plnivem pro přípravu betonů jsou oxidy Fe, baryt nebo jiný materiál pro stínění radioaktivního záření.

8. Způsob použití podle nároku 5, vyznačený tím, že plnivem pro přípravu betonů jsou anorganické a organické materiály obsahující těžké kovy vybrané ze skupiny tvořené Zn, Ba, Cd, Cu, Zr, Pb, Ni, U či látky z úpravy minerálů a těžební činnosti, loužence.

9. Způsob použití geopolymerního pojiva podle nároku 1, vyznačený tím, že se smísí záměsová voda s pojivem v poměru 0,25 až 0,4, směs se umístí do forem a ponechá se vytvrdit při teplotách 20 až 95 °C .

10 . Způsob použití geopolymerního pojiva podle nároku 9, vyznačený tím, že se směs záměsové vody s pojivem před umístěním do forem zhomogenisuje s plnivem.