

PATENTOVÝ SPIS

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2010-943**
(22) Přihlášeno: **16.12.2010**
(40) Zveřejněno: **18.01.2012**
(Věstník č. 3/2012)
(47) Uděleno: **12.12.2011**
(24) Oznámení o udělení ve Věstníku: **18.01.2012**
(Věstník č. 3/2012)

(11) Číslo dokumentu:

302 939

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.:
C04B 28/00 (2006.01)
C04B 18/14 (2006.01)
C04B 12/04 (2006.01)

(56) Relevantní dokumenty:
WO 9723427 A1; FR 2831882 A1; CZ 2000-3781 A.

(73) Majitel patentu:
Výzkumný ústav anorganické chemie, a. s., Ústí nad
Labem, CZ
České lupkové závody, a. s., Nové Strašecí, CZ
(72) Původce:
Bortnovsky Oleg Ing. Ph.D., Ústí nad Labem, CZ
Koutník Petr Ing., Ústí nad Labem, CZ
(74) Zástupce:
Mgr. Ing. Stanislav Babický, Budovatelů 2407, Most,
43401

(54) Název vynálezu:
**Dvousložkové geopolymerní pojivo a způsob
jeho výroby**

(57) Anotace:
Dvousložkové geopolymerní pojivo sestává z pevné a kapalné složky. Pevnou složku tvoří kalcinovaný mletý kaolín nebo lupek obsahující zejména metakaolinit a amorfni oxid křemičitý. Kapalná složka obsahuje draselný alkalický aktivátor, zejména tekuté draselné vodní sklo. Geopolymerní pojivo obsahuje v sušině 26 až 52 % hmotn. suroviny obsahující zejména metakaolinit, 22 až 58 % hmot. amorfniho oxidu křemičitého a 13 až 35 % hmotn. draselného alkalického aktivátoru. V geopolymerním pojivu jsou molární poměry $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3 = 4,8:1$ až $10:1$, $\text{K}_2\text{O}:\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,47:1$ až $0,95:1$ a $\text{K}_2\text{O}:\text{SiO}_2 = 0,05:1$ až $0,17:1$. Pevná složka dvousložkového geopolymerního pojiva se vyrobí smícháním suroviny obsahující zejména metakaolinit s amorfni oxidem křemičitým v hmotnostním poměru 1:0,5 až 1:2. Kapalná složka se vyrobí přimícháním vody do draselného alkalického aktivátoru o obsahu 37 až 55 % hmotn. sušiny v hmotnostním poměru až 0,5:1. Sušina draselného alkalického aktivátoru je vyjádřena jako suma koncentrací $\text{K}_2\text{O} + \text{SiO}_2$.

CZ 302939 B6

Dvousložkové geopolymerní pojivo a způsob jeho výroby

Oblast techniky

5

Vynález se týká dvousložkového geopolymerního pojiva určeného především pro výrobu umělých pískovců vhodných pro obnovu památek.

Dosavadní stav techniky

10

15

20

Pro přípravu umělých pískovců, injektážních materiálů, lepidel a tmelů určených k vyplňování defektů, spárování, lepení a k reprofilaci zvětřalých či jinak poškozených hornin jsou při restaurování či obnově památek používány zejména tři základní druhy materiálů. První je na bázi hydraulických anorganických pojiv (cement, hydraulické vápno), druhý je založen na reakci ethylesteru kyseliny křemičité, který reaguje se vzdušnou vlhkostí za odštěpení ethanolu a současné tvorby amorfního oxidu křemičitého (křemičitého gelu) a třetí využívá organická polymerní pojiva, např. epoxidové, akrylátové a polyesterové pryskyřice. Nevýhodou křemičitého gelu je jeho křehkost. Hydraulická a organická polymerní pojiva mají výrazně odlišné chemické složení i fyzikální vlastnosti ve srovnání s vlastnostmi přírodních hornin. Variantním řešením, které výše popsané nevýhody eliminuje či minimalizuje, je použití geopolymerních pojiv.

25

Geopolymerní pojiva jsou alkalicky aktivované hlinitokřemičitaný. Na rozdíl od pojiv na bázi portlandského cementu, u kterých tvrdnutí probíhá hydratací slínkových minerálů, probíhá vytvrzování geopolymerního pojiva polymerací. Ta zahrnuje částečné rozpouštění hlinitokřemičitanů, transport a orientaci rozpouštěných částic a jejich následnou polykondenzací. Všechny tyto kroky probíhají ve vysoce alkalickém prostředí, které je podmínkou pro rozpouštění hlinitokřemičitanů. Alkalické hydroxidy a soli také katalyzují uvedené polykondenzační reakce.

30

Rozpustnost hlinitokřemičitanů je tedy důležitým faktorem určujícím celý proces polymerace. Lze ji zvýšit zahřátím hlinitokřemičitanů, např. kaolinu, při teplotě 600 až 900 °C. Uvedená tepelná úprava způsobuje amortizaci původní krystalické struktury, např. kaolinitu, a tím zvýšení reaktivity hlinitokřemičitanu. Následná polymerace vede ke vzniku úplně nové amorfni nebo semi-krystalické fáze.

35

40

45

50

55

Způsob přípravy geopolymerní aktivací hlinitokřemičitanů, např. metakaolinu, sodným nebo draselným vodním sklem s různým silikátovým modulem je již znám. Dosud známá geopolymerní pojiva však neumožňují připravit umělé pískovce, které mají pevnost a nasákavost srovnatelnou s určitými druhy přírodních pískovců a současně mají i podobný vzhled a nízkou vyluhovatelnost alkalických kationtů. Je známo použití amorfního oxidu křemičitého (tzv. silika) ve formě křemičitých sazí vznikajících při výrobě oxidu zirkoničitého jako aditiva k pojivu na bázi portlandského cementu. Jednou z funkcí tohoto aditiva je snižování porózy cementového tmelu v důsledku zaplnění jeho pórů, což přispívá ke zlepšení mechanických vlastností kompozitních produktů a snížení jejich nasákavosti. Použití amorfni siliky je rovněž známo i pro přípravu geopolymerních pojiv. Ve většině případů se však jedná o pojiva s vysokým obsahem amorfni siliky a tedy s vysokým molárním poměrem oxidu křemičitého k oxidu hlinitému $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 > 10 : 1$ a vysokým obsahem alkalického aktivátoru, přičemž tento obsah lze charakterizovat molárním poměrem obsahu alkalického kationtu, například draslíku, k celkovému obsahu hliníku v geopolymerním pojivu, tedy například $\text{K}_2\text{O} : \text{Al}_2\text{O}_3$. Tento poměr v publikovaných případech převyšuje 1, což vede ke zvýšenému nežádoucímu vyluhování alkálií z produktu. V řadě patentů je obsah alkalického aktivátoru vyjádřen jako molární poměr obsahu oxidu alkalického kationtu k obsahu oxidu křemičitého, tedy například $\text{K}_2\text{O} : \text{SiO}_2$, přičemž tento poměr obvykle převyšuje hodnotu 0,25. Ve většině případů jsou jako alkalický aktivátor používána vodní skla s nízkým silikátovým modulem, vyjádřeným například jako molární poměr K_2O ku SiO_2 s hodnotou méně než 1,5. Jako alkalický aktivátor jsou též používány hydroxidy alkalických kovů.

V patentovém spisu US 4 642 137 je popsáno pojivo obsahující 100 hmotn. dílů metakaolinu, 20 až 70 hmotn. dílů mleté vysokopecní granulované strusky, 85 až 130 hmotn. dílů popílku nebo kalciového lupku, 70 až 215 hmotn. dílů amorfni siliky a 55 až 145 hmotn. dílů alkalického křemičitanu, obsahujícího až 90 hmotn. dílů hydroxidu sodného a/nebo draselného.

5

V patentovém spisu WO 9204299 je popsán geopolymerní cement obsahující 40 až 140 hmotn. dílů metakaolinu, 20 až 70 hmotn. dílů mleté vysokopecní granulované strusky, 85 až 130 hmotn. dílů popílku nebo kalcinovaného lupku, 40 až 500 hmotn. dílů speciálního typu amorfni siliky a 5 až 60 hmotn. dílů alkalického křemičitanu, obsahujícího 1 až 50 hmotn. dílů hydroxidu sodného a/nebo draselného. Nevýhodou obou dvou výše uvedených postupů je použití hydroxidu draselného a/nebo sodného pro přípravu alkalického aktivátoru, tj. látek s vyšším stupněm nebezpečnosti než draselné či sodné vodní sklo. Další nevýhodou dvou výše popsaných postupů je přítomnost vysokopecní granulované strusky v geopolymerním pojivu, která zvyšuje porozitu a nasákavost výsledného produktu.

15

V patentu US 4 888 311 je popsáno geopolymerní pojivo vhodné pro impregnaci keramických i jiných typů vláken, přičemž jako další složka se používá velmi jemné plnivo (cca 1 μm) na bázi moučky oxidu křemičitého nebo hlinitého, ale nikoliv amorfni siliky, které se rovněž částečně účastní geopolymerních reakcí. Nevýhodou tohoto geopolymerního pojiva je, že molární poměr $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ se pohybuje v rozmezí 2,5 : 1 až 6 : 1 při molárním poměru $\text{K}_2\text{O} : \text{Al}_2\text{O}_3$ v rozmezí 0,25 : 1 až 6 : 1.

20

Patentový spis US 5 342 595 popisuje geopolymerní pojivo obsahující amorfni siliku, metakaolin a hydroxid draselný. Hydroxid draselný se nejprve smíchá s amorfni silikou a poté se ke směsi přidá metakaolin. Molární poměr $\text{K}_2\text{O} : \text{Al}_2\text{O}_3$ v pojivu se pohybuje v rozmezí 1 : 1 až 1,6 : 1. Nevýhodou tohoto pojiva je vysoký obsah K_2O a použití hydroxidu draselného.

25

Patentový spis US 5 352 427 popisuje geopolymerní pojivo obsahující amorfni siliku, fluorosilikát sodný a draselné vodní sklo se silikátovým modulem 1 jako aktivátor, přičemž molární poměr $\text{K}_2\text{O} : \text{Al}_2\text{O}_3$ v pojivu se pohybuje v rozmezí 1 : 1 až 20 : 1. Nevýhodou tohoto pojiva je vysoký obsah K_2O a použití fluorosilikátu, který není chemicky kompatibilní s přírodními pískovci.

30

Patentový spis US 5 798 307 popisuje geopolymerní pojivo určené především pro výrobu kompozitů vyztužených vláken, obsahující amorfni siliku, kaolin a jako aktivátor draselné vodní sklo se silikátovým modulem 1, přičemž molární poměr $\text{K}_2\text{O} : \text{Al}_2\text{O}_3$ v pojivu se pohybuje v rozmezí 0,95 : 1 až 9,5 : 1 a molární poměr $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ v rozmezí 6,5 : 1 až 70 : 1. Nevýhodou tohoto pojiva je vysoký obsah K_2O .

35

Příhláška vynálezu WO 2008/048617 popisuje přípravu pojiva aktivací amorfni siliky (především křemeliny), případně její směsí s metakaolinem, vodným roztokem hydroxidu sodného a suspenzí vápna, přičemž molární poměr $\text{Na}_2\text{O} : \text{SiO}_2$ převyšuje hodnotu 0,25 : 1. Nevýhodou tohoto způsobu je použití hydroxidu sodného jako aktivátoru.

40

V publikaci (Fletcher, R. A., MacKenzie, K. J. D., Nicholson, C. L., Shimada, S.: The composition range of aluminosilicate geopolymers, J. Eur. Ceram. Soc., 25, 2005, 1471–7.) je popisována příprava geopolymerního pojiva se širokým rozmezím molárního poměru $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 = 0,5 : 1$ až 300 : 1 s použitím metakaolinu a jemné amorfni siliky. Při molárním poměru $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ větším než 4 : 1 převyšuje molární poměr $\text{Na}_2\text{O} : \text{Al}_2\text{O}_3$ hodnotu 1,1 : 1. Nevýhodou tohoto pojiva je tedy vysoký obsah Na_2O .

50

Uvedené nevýhody alespoň zčásti odstraňuje dvousložkové geopolymerní pojivo a způsob jeho výroby dle vynálezu.

55

Podstata vynálezu

Dvousložkové geopolymerní pojivo, sestávající z pevné složky a kapalné složky, přičemž pevná složka je tvořena surovinou obsahující zejména metakaolinit a amorfni oxid křemičitý obsahující částice o střední velikosti do 3 μm a kapalná složka obsahuje draselný alkalický aktivátor, charakterizované tím, že dvousložkové geopolymerní pojivo obsahuje v sušině 26 až 52 % hmotn. suroviny obsahující zejména metakaolinit, 22 až 58 % hmotn. amorfniho oxidu křemičitého a 13 až 35 % hmotn. draselného alkalického aktivátoru, přičemž v geopolymerním pojivu jsou molární poměry $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 = 4,8 : 1$ až $10 : 1$, $\text{K}_2\text{O} : \text{Al}_2\text{O}_3 = 0,47 : 1$ až $0,95 : 1$ a $\text{K}_2\text{O} : \text{SiO}_2 = 0,05 : 1$ až $0,17 : 1$.

Výhodné dvousložkové geopolymerní pojivo je charakterizované tím, že surovinou obsahující zejména metakaolinit je kaolin kalcinovaný při teplotě 600 až 900 °C.

Další výhodné dvousložkové geopolymerní pojivo je charakterizované tím, že surovinou obsahující zejména metakaolinit je lupek kalcinovaný při teplotě 600 až 900 °C.

Další výhodné dvousložkové geopolymerní pojivo je charakterizované tím, že amorfni oxidem křemičitým je oxid křemičitý ve formě křemičitých sazí vznikajících při výrobě oxidu zirkoničitého s obsahem oxidu hlinitého až 3 % hmotn.

Výhodné dvousložkové geopolymerní pojivo je charakterizované tím, že alkalickým aktivátorem je tekuté draselné vodní sklo.

Způsob výroby dvousložkového geopolymerního pojiva je charakterizovaný tím, že pevná složka se vyrobí tak, že se smíchá surovina obsahující zejména metakaolinit s amorfni oxidem křemičitým v hmotnostním poměru 1 : 0,5 až 1 : 2 a kapalná složka se vyrobí přimícháním vody do draselného alkalického aktivátoru o obsahu 37 až 55 % hmotn. sušiny v hmotnostním poměru až 0,5 : 1, přičemž sušina vodního skla je vyjádřena jako suma koncentrací $\text{K}_2\text{O} + \text{SiO}_2$.

Dvousložkové geopolymerní pojivo se aplikuje tak, že se nejprve smísí pevná složka a kapalná složka dvousložkového geopolymerního pojiva v poměru 1 : 0,4 až 1 : 1,5, pak se geopolymerní pojivo zhomogenizuje s plnivem a pak se ponechá vytvrdnout při teplotách 20 až 60 °C.

Prokázalo se, že použití amorfniho oxidu křemičitého ve formě křemičitých sazí jako dalšího reaktantu vedle metakaolinitu významným způsobem zlepšuje mechanické vlastnosti, zejména zvyšuje pevnosti, a snižuje pórovitost výrobku s velmi vysokým obsahem plniva, které se přidává v hmotnostním poměru 3,5 : 1 až 4,6 : 1 vůči geopolymernímu pojivu, přičemž granulometrie tohoto plniva se volí tak, aby odpovídala granulometrii částic v přírodních pískovcích. Uvedená směs geopolymerního pojiva s plnivem se kompaktuje dusáním a nikoliv litím, jako například při aplikaci betonových směsí nebo odpovídajících směsí na bázi geopolymerních pojiv o stejné konzistenci. Ačkoliv pro imitaci vzhledu a dosažení obdobné pevnosti a dalších fyzikálních parametrů některých přírodních pískovců lze použít již známá pojiva, například geopolymerní pojiva dle patentu CZ 300134 nebo WO/03040054, pro dosažení vlastností některých typů pískovců, například božanovského pískovce, nejsou uvedené typy pojiv vhodné.

Amorfni oxid křemičitý ve formě křemičitých sazí obsahující částice o střední velikosti do 3 μm vykazuje v geopolymerním pojivu dle vynálezu dvě funkce. Zaprvé z důvodů své vysoké reaktivity se zapojuje do procesu geopolymeryce, tj. podílí se na vzniku geopolymerní matrice, a zadruhé plní úlohu jemného plniva vyplňujícího póry, což vede ke zvýšení pevnosti produktu a snížení jeho nasákavosti.

Na rozdíl od patentů uvedených ve stavu techniky je v postupu dle vynálezu použito takové množství alkalického aktivátoru, aby molární poměr draslíku ku hliníku v geopolymerním pojivu byl v rozmezí 0,47 : 1 až 0,95 : 1. Nižší poměr by vedl k příliš nízkému stupni geopolymeryce

a tedy nízké pevnosti a vysoké pórovitosti, naopak přebytek draslíku nad stechiometrický poměr $K_2O : Al_2O_3 = 1 : 1$ vede k tvorbě nezreagovaného, slabě vázaného křemičitanu draselného, který se může uvolňovat kontaktem již vytvrzeného produktu s vodou. Vyluhování kationtů alkalických kovů z materiálů použitých při obnově památek je nežádoucí, protože krystalizací jejich solí hrozí vznik tzv. výkvětů.

Použití komerčně vyráběného draselného vodního skla se silikátovým modulem $SiO_2 : K_2O = 1,6$ až $1,7 : 1$ jako alkalického aktivátoru místo hydroxidu draselného je pro výrobu kapalně složky dvousložkového geopolymerního pojiva výhodné zejména z následujících důvodů:

- při stejném obsahu alkálií vykazují geopolymery připravené s použitím alkalického aktivátoru se silikátovým modulem vyjádřeným jako molární poměr $SiO_2 : K_2O > 1,6 : 1$ větší odolnost k agresivnímu prostředí;
- tekuté draselné vodní sklo se silikátovým modulem vyjádřeným jako molární poměr $SiO_2 : K_2O > 1,6 : 1$ patří do kategorie dráždivých látek, na rozdíl od alkalických aktivátorů se silikátovým modulem $SiO_2 : K_2O < 1,6 : 1$, které patří do kategorie žíravých látek.

Tekuté draselné vodní sklo naředěné vodou v hmotnostním poměru až $0,5 : 1$ na hodnotu vodního součinitele vhodnou pro přípravu geopolymerního pojiva představuje kapalnou složku dvousložkového geopolymerního pojiva. Celkový vodní součinitel je počítán jako poměr hmotnosti celkové vody obsažené v kapalně složce – alkalickém aktivátoru – k celkové hmotnosti pevných složek, tedy suroviny obsahující zejména metakaolinit a také amorfni oxid křemičitý a pevného podílu v kapalně složce (obvykle suma K_2O a SiO_2).

Pevná a kapalná složka dvousložkového geopolymerního pojiva se obvykle mísí v poměru $1 : 0,4$ až $1 : 1,5$.

Příklady provedení vynálezu

Příklad 1

Dvousložkové geopolymerní pojivo

Dvousložková geopolymerní pojiva sestávají z pevných složek a kapalných složek smíchaných v různých poměrech a jejich složení, viz Tabulka 1. Tabulka 2 uvádí molární poměry oxidů SiO_2 , Al_2O_3 a K_2O v geopolymerních pojivech.

Tabulka 1 – Složení dvousložkových geopolymerních pojiv

označení vzorku	označení pevné složky	označení kapalně složky	hmotnostní poměr pevná složka : kapalná složka	hmotnostní podíl v sušině, % hmotn.		
				surovina obsahující zejména metakaolinit M1 nebo M4	amorfni oxid křemičitý M5	draselný alkalický aktivátor
C1	M1+M5	V1	1 : 0,8	51,5	25,7	22,8
C2	M1+M5	V1	1 : 1,13	47,0	23,5	29,5
C3	M1+M5	V1	1 : 1,5	43,2	21,6	35,2
C4	M1+M5	V1	1 : 0,85	38,0	38,0	24,0
C5	M1+M5	V1	1 : 0,88	30,0	45,0	25,0
C6	M1+M5	V1	1 : 0,73	26,2	52,4	21,4
C7	M1+M5	V1	1 : 0,4	29,0	58,0	13,0
C8	M4+M5	V3+H ₂ O	1 : 1,13	47,0	23,5	29,5

Tabulka 2 – Molární poměry oxidů v geopolymerním pojivu a vodní součinitel

Označení vzorku	SiO ₂ : Al ₂ O ₃	K ₂ O : Al ₂ O ₃	K ₂ O : SiO ₂	vodní součinitel
C1	4,80	0,52	0,11	0,40
C2	5,16	0,74	0,14	0,52
C3	5,52	0,95	0,17	0,62
C4	6,77	0,71	0,11	0,42
C5	8,61	0,90	0,10	0,43
C6	10,00	0,90	0,09	0,37
C7	9,36	0,47	0,05	0,23
C8	5,20	0,75	0,14	0,52

5

Příklad 2

Způsob výroby dvousložkového geopolymerního pojiva

10

a) Suroviny pro pevné složky dvousložkového geopolymerního pojiva

Tabulka 3 – Složení a vlastností surovin pro výrobu pevné složky dvousložkového geopolymerního pojiva

15

komponenta	označení vzorku	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	ZrO ₂	ztráta žháním	velikost částic, μm	
		% hmotn.								% hmotn.	D ₅₀	D ₉₀
metakaolinit z kaolinu	M1	39,3	56,7	0,13	0,28	0,71	0,62	0,58	0,02	1,04	5,34	11,56
metakaolinit z lupku	M4	41,3	52,4	0,14	0,15	0,79	1,19	1,77	0,03	3,33	4,09	10,36
amorfní oxid křemičitý	M5	2,81	93,2	-	-	0,02	0,22	0,02	3,18	1,07	2,69	11,77

b) Suroviny pro kapalně složky dvousložkového geopolymerního pojiva

Tabulka 4 – Složení a vlastnosti surovin pro výrobu kapalné složky dvousložkového geopolymerního pojiva

tekuté draselné vodní sklo	K ₂ O	SiO ₂	SiO ₂ / K ₂ O
označení vzorku	% hmotn.		mol/mol
V1	17,3	18,3	1,66
V3	26,4	27,3	1,66

5

c) Způsob výroby dvousložkového geopolymerního pojiva z pevné a kapalné složky

10 Způsob výroby dvousložkového geopolymerního pojiva spočívá v přípravě pevné složky dvousložkového geopolymerního pojiva a kapalné složky dvousložkového geopolymerního pojiva. Pevná složka dvousložkového geopolymerního pojiva se připraví tak, že se smíchá surovina obsahující zejména metakaolinit a amorfni oxid křemičitý. Obě části pevné složky dvousložkového geopolymerního pojiva se míchají v mísiči na suché směsi po dobu 10 minut. Příprava kapalné složky dvousložkového geopolymerního pojiva se provádí tak, že se smíchá tekuté draselné vodní sklo a voda. Kapalná část dvousložkového geopolymerního pojiva se smíchá v nádobě odolné vůči působení alkálií s použitím shora umístěného míchadla. Tabulka 5 uvádí hmotnostní poměry surovin pevné složky a kapalné složky. Doba míchání pro dosažení dokonalého promísení vodního skla s vodou je cca 5 minut.

20 Dvousložkové geopolymerní pojivo se připravuje přidáním kapalné složky k pevné složce dvousložkového geopolymerního pojiva. Tabulka 5 uvádí také hmotnostní poměry pevné složky ku kapalné složce ve dvousložkovém geopolymerním pojivu. Smíchání pevné složky a kapalné složky dvousložkového geopolymerního pojiva se provádí v míchačce vybavené planetárním mechanismem míchání po dobu cca 10 minut těsně před použitím geopolymerního pojiva.

25

Tabulka 5 – Způsob výroby dvousložkového geopolymerního pojiva

vzorek	pevná složka			kapalná složka		pojivo
	surovina obsahující zejména metakaolinit	amorfni oxid křemičitý	hmotnostní poměr surovina obsahující zejména metakaolinit : amorfni oxid křemičitý	tekuté draselné vodní sklo	hmotnostní poměr voda : tekuté vodní sklo draselné	
C1	M1	M5	1 : 0,5	V1	0	1 : 0,80
C2	M1	M5	1 : 0,5	V1	0	1 : 1,13
C3	M1	M5	1 : 0,5	V1	0	1 : 1,50
C4	M1	M5	1 : 1	V1	0	1 : 0,85
C5	M1	M5	1 : 1,5	V1	0	1 : 0,88
C6	M1	M5	1 : 2	V1	0	1 : 0,73
C7	M1	M5	1 : 2	V1	0	1 : 0,40
C8	M4	M5	1 : 0,5	V3	0,5 : 1	1 : 1,13

Příklad 3

Použití dvousložkového geopolymerního pojiva

- 5 Způsob použití dvousložkového geopolymerního pojiva pro imitaci přírodního pískovce spočívá v tom, že se připravené geopolymerní pojivo smíchá s plnivem, kterým je předem namíchaná směs písků o zrnitosti odpovídající zrnitosti přírodního pískovce. Zrnitost písků byla max. 1 mm. Směs se promíchá v mísiči a poté se udusá do formy. Vytvrdnutím vznikne umělý pískovec. Tabulka 6 uvádí složení umělých pískovců.

- 10 Tabulka 6 – Složení a podmínky tvrdnutí dvousložkového geopolymerního pojiva

umělý pískovec	pojivo	plnivo	plnivo : pojivo	teplota
Označení vzorku	Označení vzorku	Označení vzorku	hmotnostní poměr	°C
T32	C1	Směs frakcí písku P3	4,0 : 1	20 ± 2
T36	C2	Směs P3	3,75 : 1	20 ± 2
T40	C3	Směs P3	3,5 : 1	20 ± 2
T37	C4	Směs P3	4,0 : 1	20 ± 2
T42	C5	Směs P3	3,95 : 1	20 ± 2
T43	C6	Směs P3	4,12 : 1	20 ± 2
T35	C7	Směs P3	4,6 : 1	20 ± 2
T70	C8	Směs P3	3,75 : 1	60 ± 2, 20 hodin

Tabulka 7 uvádí vybrané mechanické a fyzikální parametry připravených umělých pískovců.

Tabulka 7 – Vlastnosti přírodního pískovce a umělých pískovců připravených s použitím geopolymerního pojiva

vzorek	Pevnost v ohybu	Pevnost v tlaku	Nasákavost	součinitel nasákavosti	otevřená pórovitost	zdánlivá pórovitost
	MPa	MPa	%	$\text{g.m}^{-2}.\text{s}^{-0,5}$	%	%
božanovský pískovec	4,4	42,0	4,5	206	17,0	17,3
T32	3,8	11,2	7,5	385	24,4	14,3
T36	5,0	18,3	4,5	38	20,6	8,9
T40	10,0	26,9	10,7	63	21,6	21,1
T37	10,6	24,6	5,6	53	19,8	11,1
T42	15,7	49,2	6,4	55	19,3	12,9
T43	14,2	27,0	4,9	91	21,0	9,6
T35	1,3	1,3	9,7	3345	35,8	17,1

Z výsledků je patrné, že při vhodném složení geopolymerního pojiva a jeho vhodném poměru k plnivu lze vyrobit umělé pískovce vykazující současně vysokou pevnost a nízkou nasákavost.

Průmyslová využitelnost

Dvousložkové geopolymerní pojivo je průmyslově využitelné pro výrobu imitací přírodního pískovce. Způsob výroby dvousložkového geopolymerního pojiva průmyslově využitelný pro výrobu materiálů k vyplňování defektů, spárování, lepení a reprofilaci zvětralých či jinak poškozených výrobků z hornin.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Dvousložkové geopolymerní pojivo, sestávající z pevné složky a kapalné složky, přičemž pevná složka je tvořena surovinou obsahující zejména metakaolinit a amorfni oxid křemičitý obsahující částice o střední velikosti do 3 μm a kapalná složka obsahuje draselný alkalický aktivátor, **vyznačující se tím**, že toto dvousložkové geopolymerní pojivo obsahuje v sušině 26 až 52 % hmotn. suroviny obsahující zejména metakaolinit, 22 až 58 % hmotn. amorfniho oxidu křemičitého a 13 až 35 % hmotn. draselného alkalického aktivátoru, přičemž v geopolymerním pojivu jsou molární poměry $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 = 4,8 : 1$ až $10 : 1$, $\text{K}_2\text{O} : \text{Al}_2\text{O}_3 = 0,47 : 1$ až $0,95 : 1$ a $\text{K}_2\text{O} : \text{SiO}_2 = 0,05 : 1$ až $0,17 : 1$.

2. Dvousložkové geopolymerní pojivo podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že surovinou obsahující zejména metakaolinit je kaolin kalcinovaný při teplotě 600 až 900 °C.

3. Dvousložkové geopolymerní pojivo podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že surovinou obsahující zejména metakaolinit je lupek kalcinovaný při teplotě 600 až 900 °C.

4. Dvousložkové geopolymerní pojivo podle některého z nároků 1 až 3, **vyznačující se tím**, že amorfniím oxidem křemičitým je oxid křemičitý ve formě křemičitých sazí vznikajících při výrobě oxidu zirkoničitého s obsahem oxidu hlinitého až 3 % hmotn.

5. Dvousložkové geopolymerní pojivo podle některého z nároků 1 až 4, **vyznačující se tím**, že alkalickým aktivátorem je tekuté draselné vodní sklo.

6. Způsob výroby dvousložkového geopolymerního pojiva, **vyznačující se tím**, že pevná složka se vyrobí tak, že se smíchá surovina obsahující zejména metakaolinit s amorfniím oxidem křemičitým v hmotnostním poměru 1 : 0,5 až 1 : 2 a kapalná složka se vyrobí přimícháním vody do draselného alkalického aktivátoru o obsahu 37 až 55 % hmotn. sušiny v hmotnostním poměru až 0,5 : 1, přičemž sušina draselného alkalického aktivátoru je vyjádřena jako suma koncentrací $\text{K}_2\text{O} + \text{SiO}_2$.

Konec dokumentu
