

UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

29 910

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:

C04B 18/16 (2006.01)

C04B 28/10 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2016-32672**

(22) Přihlášeno: **05.08.2016**

(47) Zapsáno: **25.10.2016**

(73) Majitel:
ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Praha 6, CZ
LAVARIS s.r.o., Libčice nad Vltavou, CZ

(72) Původce:
Ing. Jan Valentin, Ph.D., Kouřim, CZ
Ing. Pavel Tesárek, Ph.D., Hradec Králové 6, CZ
Ing. Jan Suda, Plzeň - město, CZ
Ing. Jakub Šedina, Lysá nad Labem, CZ
Ing. George Karra'a, Karlovy Vary, CZ

(74) Zástupce:
Ing. Lenka Bobková, Kosmická 755, 149 00 Praha
4

(54) Název užitého vzoru:
Silniční pojivo

CZ 29910 U1

Silniční pojivoOblast techniky

- Technické řešení se týká silničního pojiva s pomalými nárůsty počátečních pevností a bez nutnosti využívat jakékoli další chemické přísady, které by ovlivňovaly zpracovatelnost či dobu tuhnutí pojiva, namísto toho je založeno na využití recyklovaného betonu a cementu s případnou příměsí vápencových odprašků.

Dosavadní stav techniky

- Silniční hydraulická pojiva se v současnosti uplatňují v podobě standardních Portlandských nebo směsných cementů různých tříd pevnosti. Tato pojiva se vyrábějí standardními postupy vypalování slínkových surovin a jejich následným mletím. Obdobně se zejména z důvodu snižování vodní citlivosti a zvyšování odolnosti stmelěných směsí proti účinkům mrazu uplatňuje vápno nebo vápenný hydrát. V obdobné míře jsou dostupná a známá užití granulačních elektrárenských popílků a to v podobě jemnozrnných plniv nebo pojiva, pokud je popílek uplatněn v podobě stabilizátu. Aplikace fluidních popílků je s ohledem k zvýšenému riziku přítomnosti etringittu aplikován v dopravním stavitelství méně. Jistou alternativu představuje desintegrováný a mechanicko-chemicky aktivovaný popílek, popsáný v patentu CZ 296 655 B6, u kterého byly prokázány rychlejší nárůsty počátečních pevností a oproti neupraveným popílkům dochází jen k velmi malým poklesům po účincích vody nebo vody a mrazu.

- Samostatnou skupinu tvoří hydraulická silniční pojiva označovaná běžně HRB a upravená technickou normou EN 13282. Tato pojiva jsou založena na mísení cementu nebo cementových odprašků s dostatečnou úrovní pucolanity s dalšími chemickými aditivami, která se zpravidla uplatňují buď pro zvýšení aktivity pojiva nebo pro zvyšování odolnosti proti účinkům vody, mrazu nebo síranům.

- Hydraulická pojiva v podobě cementu, vápna nebo upravených úletových popílků či silničních pojiv na bázi směsí cementu, cementových odprašků a popílku jsou standardně využívána pro různé typy stmelěných materiálů, přičemž zde nejsou využívány vedlejší produkty či odpady dalších průmyslových aktivit, jako je zpracování vápencového kameniva a především využití některých materiálových složek stavebního a demoličního betonového odpadu. Uvedené typy dnes běžně používaných hydraulických pojiv se v závislosti na typu stavební směsi a jejím užití běžně dávkuje v množství 3 % hmotn. až 12 % hmotn., přičemž zejména v případě cementu je množství přesahující 7 % hmotn. hydraulicky stmelené směsi spojeno s riziky pozdějšího vzniku mikrotrhlin. Současně se jako náročnější jeví možnosti v případě cementu zpomalit dobu tuhnutí a naopak u popílků či vápna docílit dostačujících pevnostních charakteristik v čase a při různých účincích, které konstrukci ovlivňují.

- Nevýhodou uvedených typů hydraulických pojiv uplatňovaných v dopravním stavitelství je omezené využití odpadních zrnitých stavebních materiálů. V zásadě se využívají především vedlejší produkty - cementové odprašky z výroby cementu, kde ale limitující z hlediska uplatnitelného množství obvykle bývá obsah alkálií, nebo vedlejší energetické produkty. V důsledku této skutečnosti nelze dosáhnout výraznějšího environmentálního efektu. Navíc materiály založené na cementu jsou energeticky značně náročné a současně s tím se vyznačují vyšší uhlíkovou stopou a to v důsledku teplot nezbytných pro provedení výpalu slínkových surovin. Ekonomicky uvedené typy hydraulických pojiv prodražují obvykle používané chemické přísady. Navíc v případě hydraulických silničních pojiv je nutné počítat se skutečností, že pro dosažení srovnatelné pevnosti je potřebné v porovnání s cementem u hydraulicky stmelěných směsí uplatňovaných v dopravním stavitelství aplikovat vyšší dávkování tohoto typu pojiv.

- Problematika hromadění odpadu vznikajícího při demolici stavebních objektů a těžbou a zpracováním kamene resp. mramoru, vápence a žuly je celosvětovým ekologickým problémem. Při rozdělení produkce odpadního materiálu dle jednotlivých ekonomických odvětví je právě stavebnictví, zahrnující demoliční práce, odvětvím s největší produkcí odpadu. V EU bylo za rok 2012 vyprodukováno 2,5 miliardy tun odpadu a z toho 23 milionů tun pocházelo z ČR. Celkem 33 %

z celkového množství odpadu z EU za rok 2012 tvořil stavební a demoliční odpad, v ČR to bylo téměř 37 %. Vývoj a formulování nových metod a postupů pro efektivní a šetrné opětovné využití stavebního a demoličního odpadu s vytvářením vyšší technické přidané hodnoty pomáhá účinně chránit životní prostředí a šetřit neobnovitelné přírodní zdroje.

- 5 Beton je nejpoužívanějším stavebním materiálem na světě, tvoří zároveň největší část demoličního a stavebního odpadu, přičemž se vyznačuje rozmanitostí použitých vstupních surovin a cementů, který se vyznačuje zbytkovou pucolanitou. Zdrojem starého betonu jsou dosluhující silniční, letištní, železniční a pozemní stavby. Kompletní recyklace starého betonu je z ekologického hlediska s těžební, přičemž identifikace možností vyšší přidané hodnoty takového recyklátu
- 10 např. jeho mechanicko-chemickou aktivací umožňuje redukovat využívání neobnovitelných přírodních zdrojů či částečně snížit energeticky náročnou produkci cementu. Právě aplikace betonového recyklátu v nových stavebních hmotách a pojivech umožňuje takovou úsporu surovin a přírodních materiálů, a protože se jedná o odpadní materiál, lze dosáhnout i úspory ekonomické. Kompletní recyklace betonu, je stále problematická, konkrétně kvůli vhodnému
- 15 zpracování složek velmi jemných frakcí (< 1 mm), které nelze uplatnit jako substituci běžného kameniva. Hrubší frakce lze zpracovat ve formě recyklovaného kameniva do nového betonu nebo do jiného typu stavební směsi, ale v případě velmi jemné frakce doposud neexistují ideální řešení pro její zpracování, ačkoli potenciál reaktivity pucolanity materiálu je právě v tomto případě největší. Existují technické a technologické aplikace použití recyklované a dále neupravené
- 20 betonové moučky jako surovinové směsi pro výrobu cementu nebo vysokoteplotní úpravy moučky za účelem získání pojivových vlastností. Zmíněná řešení se však vyznačují vysokými nároky na spotřebu energie a vysokou produkcí CO_2 . Současně neumožňují zvýšení reaktivity takové stavební hmoty a nebyla zaznamenána řešení, kde by docházelo k aktivaci vhodnými postupy desintegrace. Proto se z environmentálního hlediska nejedná o ekonomické a environmentálně šetrné použití.
- 25

Podstata technického řešení

- Silniční pojivo podle technického řešení obsahuje 0,15 až 0,30 % hmotn. MgO , 10,20 až 20,40 % hmotn. $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, 0,45 až 0,90 % hmotn. $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, 2,10 až 4,20 % hmotn. $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, 2,10 až 4,20 % hmotn. $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ a 70 až 85 % hmotn. mikromletého mechanicky aktivovaného recyklovaného betonu s velikostí zrna do 0,1 mm.
- 30

Mikromletý mechanicky aktivovaný recyklovaný beton má s výhodou minimální měrný povrch $370 \text{ m}^2/\text{kg}$, minimální celkový specifický povrch částic $2,5 \text{ m}^2/\text{cm}^3$ a velikostí středního zrna nepřesahující $9,5 \mu\text{m}$.

- Mikromletý mechanicky aktivovaný recyklovaný beton má výhodně následující zastoupení
- 35 frakcí: 1 až 4 % hmotn. frakce $< 0,5 \mu\text{m}$, 4 až 9 % hmotn. frakce $0,5$ až $1,0 \mu\text{m}$, 10 až 35 % hmotn. frakce $1,0$ až $5,0 \mu\text{m}$, 20 až 39 % hmotn. frakce $5,0$ až $10,0 \mu\text{m}$, 8 až 26 % hmotn. frakce $10,0$ až $20,0 \mu\text{m}$ a 5 až 12 % hmotn. frakce 20 až $100 \mu\text{m}$.

Mikromletý mechanicky aktivovaný recyklovaný beton výhodně obsahuje 23 až 44 % SiO_2 , 35 až 52 % CaO , 3 až 8 % MgO , 5 až 10 % Al_2O_3 a maximálně 3 % $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

- 40 Silniční pojivo výhodně dále obsahuje plnivo, tvořené vysokorychlostně mikromletou odpadní vápencovou moučkou, v množství až 20 % hmotn. vzniklé směsi.

- Technické řešení využívá alespoň 70 % drobných a jemných frakcí betonového recyklátu, který se nejprve aktivuje a desintegruje vysokorychlostním mletím a následně se mísí se silikátovými složkami cementu pro vytvoření výsledného silničního pojiva, které je využitelné zejména v dopravním stavitelství.
- 45

Příklady uskutečnění technického řešení

Příklad 1

Nejprve bylo připraveno silniční pojivo podle technického řešení. Vstupním materiálem byl betonový recyklát tvořený odpadem z různých konstrukcí dopravního a pozemního stavitelství s velikostí částic do 2 mm a ten byl dále upraven vysokorychlostním mletím, například přístrojem podle PUV 2014-29552. Vysokorychlostním mletím byl recyklovaný beton mechanicky a mechanicko-chemicky dezintegrován a aktivován s vytvořením nových povrchů a částečně obnovou pucolánovou aktivitou vznikem reaktivních částic. Rychlost rotorů vysokorychlostního mlýnu byla minimálně na úrovni 1500 otáček/min a nepřesáhla 20000 otáček/min. Objem vzduchu přidávaný ventilátory vysokorychlostního mlýnu, který je vháněn do prostoru mezi rotorem a statorem, byl minimálně 900 m³/hod, optimálně dosahoval 1500 m³/hod.

Byl získán mikromletý mechanicky aktivovaný recyklovaný beton o měrném povrchu 405 m²/kg o zrnitosti do 0,100 mm s následujícím zastoupením frakcí:

Velikost zrna [μm]	<0,5	0,5 až 1	1 až 5	5 až 10	10 až 20	20 až 100
Množství [% hmotn.]	2,5	9	25	36,1	20	7,4

Mikromletý mechanicky aktivovaný recyklovaný beton se následně smísil s dalšími složkami. Získané silniční pojivo mělo následující složení:

	MgO	3CaO•SiO ₂	2CaO•SiO ₂	3CaO•Al ₂ O ₃	4CaO•Al ₂ O ₃ •Fe ₂ O ₃	Mikromletý mechanicky aktivovaný recyklovaný beton
[% hmotn.]	0,15	10,20	0,45	2,10	2,10	85

Všechny složky v suchém stavu byly řádně homogenizované běžnými šaržovými míchačkami, případně vysokorychlostním mlýnem s otáčkami nepřesahujícími 2000 otáček/min. Homogenizace se prováděla minimálně po dobu 60 sekund při použití šaržové míchačky suchých směsí nebo po dobu alespoň 5 sekund při použití vysokorychlostního mlýnu. Takto připravené silniční pojivo se následně smíchalo se zrnitým materiálem při současném přidání záměsové vody.

Silniční pojivo bylo použité v hydraulicky stmelené směsi zrnitého materiálu frakce do 32 mm s množstvím pojiva 8 % hmotn. Hydraulicky stmelená směs měla následující složení:

	Silniční pojivo	Plnivo	Množství
		Štěrkoдрť do 32 mm	záměsové vody
[% hmotn.]	8,00	86,20	5,80

Směs zrnitého materiálu stmeleného silničním pojivem byla uložena do forem a zhutněna Proctorovým pěchem v souladu s podmínkami platnými pro hutnění hydraulicky stmelených směsí v dopravním stavitelství dle ČSN EN 13286-50. Vzorky následně tvrdly po dobu 28 dní v laboratorních podmínkách při teplotě 20 ± 2 °C a relativní vlhkosti 50 až 75 %.

Na základě provedených empirických a pevnostních zkoušek po 28 dnech měla směs zrnitého materiálu frakce 0-32 mm s obsahem silničního pojiva 8 % hmotn. následující technické charakteristiky:

objemová hmotnost: 2430 kg/m³ dle ČSN EN 12697-6

pevnost v tlaku: 5,2 MPa dle ČSN EN 13286-41

odolnost proti mrazu: - 10 cyklů: 83 % dle ČSN EN 13286-41

stanovení poměru únosnosti: 62 % dle ČSN EN 13 286-47

Silniční pojivo v této stmelené směsi dosahuje stejných parametrů jako obdobná směs s minimálně 6 % hmotn. cementu. Oproti tradiční cestě se využívá upravený odpadní materiál, který je navíc zpracován s minimální uhlíkovou stopou, čímž se omezují emise CO₂.

Příklad 2

- 5 Nejprve bylo připraveno silniční pojivo podle technického řešení. Vstupním materiálem byl betonový recyklát tvořený odpadem z různých konstrukcí dopravního a pozemního stavitelství s velikostí částic do 2 mm a ten byl dále upraven vysokorychlostním mletím, např. přístrojem podle PUV 2014-29552. Vysokorychlostním mletím byl recyklovaný beton mechanicky a mechanicko-chemicky dezintegrován a aktivován s vytvořením nových povrchů a částečně obnovenou pucolánovou aktivitou vznikem reaktivních částic. Rychlost rotorů vysokorychlostního mlýnu byla minimálně na úrovni 1500 otáček/min a nepřesáhla 20000 otáček/min. Objem vzduchu přidávaný ventilátory vysokorychlostního mlýnu, který je vháněn do prostoru mezi rotorem a statorem, byl minimálně 900 m³/hod, optimálně dosahoval 1500 m³/hod.

- 15 Byl získán mikromletý mechanicky aktivovaný recyklovaný beton o měrném povrchu 405 m²/kg o zrnitosti do 0,100 mm s následujícím zastoupením frakcí:

Velikost zrna [μm]	<0,5	0,5 až 1	1 až 5	5 až 10	10 až 20	20 až 100
Množství [% hmotn.]	2,5	9	25	36,1	20	7,4

Mikromletý mechanicky aktivovaný recyklovaný beton se následně mísil ve zvoleném poměru se silikátovými složkami cementu. Získané silniční pojivo je specifikováno následujícím složením:

	MgO	3CaO•SiO ₂	2CaO•SiO ₂	3CaO•Al ₂ O ₃	4CaO•Al ₂ O ₃ •Fe ₂ O ₃	Mikromletý mechanicky aktivovaný recyklovaný beton
[% hmotn.]	0,30	20,40	0,90	4,20	4,20	70

- 20 Všechny složky byly v suchém stavu řádně homogenizované v běžných šaržových míchačkách, případně i vysokorychlostním mlýnu s otáčkami nepřesahujícími 2000 otáček/min. Homogenizace probíhala minimálně po dobu 60 sekund při použití šaržové míchačky suchých směsí nebo po dobu alespoň 5 sekund při použití vysokorychlostního mlýnu. Takto připravené silniční pojivo se následně smíchalo se zrnitým materiálem při současném přidání záměsové vody.
- 25 Silniční pojivo bylo použito v hydraulicky stmelené směsi zrnitého materiálu frakce do 32 mm s množstvím pojiva 6 % hmotn. Hydraulicky stmelená směs měla následující složení:

	Silniční pojivo	Plnivo	Množství záměsové vody
		Štěrkodrt' 0-32 mm	
[% hmotn.]	6,00	88,50	5,50

- 30 Směs zrnitého materiálu stmeleného silničním pojivem byla uložena do forem a zhutněna Proctorovým pýchem v souladu s podmínkami platnými pro hutnění hydraulicky stmelených směsí v dopravním stavitelství dle ČSN EN 13286-50. Vzorky následně tvrdnuly po dobu 28 dní v laboratorních podmínkách při teplotě 20 ± 2 °C a relativní vlhkosti 50 až 75 %.

Na základě provedených empirických a pevnostních zkoušek po 28 dnech měla směs zrnitého materiálu frakce do 32 mm s obsahem silničního pojiva 6 % hmotn. následující technické charakteristiky:

- 35 objemová hmotnost: 2450 kg/m³ dle ČSN EN 12697-6
 pevnost v tlaku: 7,3 MPa podle ČSN EN 13286-41
 odolnost proti mrazu za 10 cyklů: 91 % podle ČSN EN 13286-41
 stanovení poměru únosnosti: 69 % podle ČSN EN 13 286-47

- Využitím silničního pojiva na bázi mikromletého mechanicky aktivovaného betonového recyklátu se u uvedeného typu stmelené směsi dosahuje stejných parametrů, které jsou jinak dosahovány s využitím minimálně 5 % hmotn. cementu. Oproti tradiční cestě se využívá upravený odpadní materiál, který je navíc zpracován s minimální uhlíkovou stopou, čímž se omezují emise CO₂.

Příklad 3

- Nejprve bylo připraveno silniční pojivo podle technického řešení. Vstupním materiálem byl betonový recyklát tvořený odpadem z různých konstrukcí dopravního a pozemního stavitelství s velikostí částic do 2 mm a ten byl dále upraven vysokorychlostním mletím, např. přístrojem podle PUV 2014-29552. Vysokorychlostním mletím byl recyklován beton mechanicky a mechanicko-chemicky dezintegrován a aktivován s vytvořením nových povrchů a částečně obnovou pucolánovou aktivitou vznikem reaktivních částic. Rychlost rotorů vysokorychlostního mlýnu byla minimálně na úrovni 1500 otáček/min a nepřesáhla 20000 otáček/min. Objem vzduchu přidávaný ventilátory vysokorychlostního mlýnu, který je vháněn do prostoru mezi rotorem a statorem, byl minimálně 900 m³/hod, optimálně dosahoval 1500 m³/hod.

Byl získán mikromletý mechanicky aktivovaný recyklováný beton o měrném povrchu 420 m²/kg o zrnitosti do 0,100 mm s následujícím zastoupením frakcí:

Velikost zrna [μm]	<0,5	0,5 až 1	1 až 5	5 až 10	10 až 20	20 až 100
Množství [% hmotn.]	1,8	7,5	27	32,9	22,8	8

- Mikromletý mechanicky aktivovaný recyklováný beton se následně mísil ve zvoleném poměru se silikátovými složkami cementu. Získané silniční pojivo je specifikováno následujícím složením:

	MgO	3CaO•SiO ₂	2CaO•SiO ₂	3CaO•Al ₂ O ₃	4CaO•Al ₂ O ₃ •Fe ₂ O ₃	Mikromletý mechanicky aktivovaný recyklováný beton
[% hmotn.]	0,15	10,20	0,45	2,10	2,10	85

- Všechny složky byly v suchém stavu řádně homogenizované v běžných šaržových míchačkách nebo ve vysokorychlostním mlýnu s otáčkami nepřesahujícími 2000 otáček/min. Homogenizace se prováděla po dobu alespoň 60 sekund při použití šaržové míchačky nebo po dobu alespoň 5 sekund při použití vysokorychlostního mlýnu. Takto připravené silniční pojivo se následně smíchalo se zrnitým materiálem při současném přidání záměsové vody.

Silniční pojivo bylo použito v hydraulicky stmelené směsi zrnitého materiálu frakce do 22 mm typu asfaltový R-materiál s množstvím pojiva 3 % hmotn. podle následující tabulky:

	Silniční pojivo dle předešlé specifikace	Plnivo	Množství záměsové vody
		Asfaltový R-materiál 0-22 mm	
[% hmotn.]	3,00	92,80	4,20

- Směs zrnitého materiálu stmeleného silničním pojivem byla uložena do válcových forem a ztuhněna statickým tlakem v souladu s postupem uvedeným v technických podmínkách TP 208. Vzorky následně tvrdnuly po dobu 14 dní v laboratorních podmínkách při teplotě 20 ± 2 °C a relativní vlhkosti 50 až 75 %.

- Na základě provedených empirických a pevnostních zkoušek po 14 dnech měla recyklovaná směs asfaltového zrnitého materiálu frakce 0-22 mm stabilizovaná silničním pojivem s obsahem 3 % hmotn. následující technické charakteristiky:

objemová hmotnost: 2070 kg/m³ dle ČSN EN 12697-6

pevnost v příčném tahu při 15 °C: 0,37 MPa dle TP 208

modul tuhosti metodou IT-CY při 15 °C: 3450 MPa dle ČSN EN 12697-26

odolnost proti účinkům vody: 89 % dle TP 208

lomová houževnatost: 3,4 N/mm^{3/2} dle ČSN EN 12697-44

- 5 Využitím silničního pojiva podle technického řešení se u uvedeného typu stmelené recyklované směsi dosahuje stejných parametrů, které jsou jinak dosahovány s využitím shodného množství cementu. Oproti tradiční cestě se využívá upravený odpadní materiál, který je navíc zpracován s minimální uhlíkovou stopou, čímž se omezují emise CO₂.

Příklad 4

- 10 Nejprve bylo připraveno silniční pojivo podle technického řešení. Vstupním materiálem byl betonový recyklát tvořený odpadem z různých konstrukcí dopravního a pozemního stavitelství s velikostí částic do 2 mm a ten byl dále upraven vysokorychlostním mletím, např. přístrojem podle PUV 2014-29552. Vysokorychlostním mletím byl recyklovaný beton mechanicky a mechanicko-chemicky dezintegrován a aktivován s vytvořením nových povrchů a částečně obnovenou pucolánovou aktivitou vznikem reaktivních částic. Rychlost rotorů vysokorychlostního
- 15 mlýnu byla minimálně na úrovni 1500 otáček/min a nepřesáhla 20000 otáček/min. Objem vzduchu přidávaný ventilátory vysokorychlostního mlýnu, který je vháněn do prostoru mezi rotorem a statorem, byl minimálně 900 m³/hod, optimálně dosahoval 1500 m³/hod.

Byl získán mikromletý mechanicky nebo mechanicko-chemicky aktivovaný recyklovaný beton o měrném povrchu 420 m²/kg o zrnitosti do 0,100 mm s následujícím zastoupením frakcí:

Velikost zrna [μm]	<0,5	0,5 až 1	1 až 5	5 až 10	10 až 20	20 až 100
Množství [% hmotn.]	1,8	7,5	27	32,9	22,8	8

20

Mikromletý mechanicky aktivovaný recyklovaný beton se následně mísil ve zvoleném poměru se silikátovými složkami cementu. Získané silniční pojivo mělo následující složení:

	MgO	3CaO•SiO ₂	2CaO•SiO ₂	3CaO•Al ₂ O ₃	4CaO•Al ₂ O ₃ •Fe ₂ O ₃	Mikromletý aktivovaná recyklovaný beton
[% hmotn.]	0,30	20,40	0,90	4,20	4,20	70

- 25 Všechny složky byly v suchém stavu řádně homogenizované v běžných šaržových míchačkách, případně i vysokorychlostním mlýnu s otáčkami nepřesahujícími 2000 otáček/min. Homogenizace probíhala minimálně po dobu 60 sekund při použití šaržové míchačky suchých směsí nebo po dobu alespoň 5 sekund při použití vysokorychlostního mlýnu. Takto připravené silniční pojivo se následně smíchalo se zrnitým materiálem při současném přidání záměsové vody.

- 30 Silniční pojivo bylo použito v hydraulicky stmelené směsi zrnitého materiálu frakce 0-22 mm typu asfaltový R-materiál s množstvím pojiva 4 % hmotn., přičemž silniční pojivo je specifikováno následujícími parametry:

	Silniční pojivo dle předešlé specifikace	Plnivo Asfaltový R-materiál 0-22 mm	Množství záměsové vody
[% hmotn.]	4,00	91,40	4,60

- 35 Směs zrnitého materiálu stmelného silničního pojivem byla uložena do válcových forem a ztuhněna statickým tlakem v souladu s postupem uvedeným v technických podmínkách TP 208. Vzorky následně tvrdnuly po dobu 14 dní v laboratorních podmínkách při teplotě 20 ± 2 °C a relativní vlhkosti 50 až 75 %.

Na základě provedených empirických a pevnostních zkoušek po 14 dnech měla recyklovaná směs asfaltového zrnitého materiálu frakce do 22 mm stabilizovaná silničním pojivem s obsahem 3 % hmotn. následující technické charakteristiky:

objemová hmotnost: 2045 kg/m³ dle ČSN EN 12697-6

pevnost v příčném tahu; 15 °C: 0,68 MPa dle TP 208

modul tuhosti metodou IT-CY při 15 °C: 3990 MPa dle ČSN EN 12697-26

odolnost proti účinkům vody: 98 % dle TP 208

- 5 lomová houževnatost: 6,9 N/mm^{3/2} dle ČSN EN 12697-44

Využitím silničního pojiva podle technického řešení se u uvedeného typu stmelené recyklované směsi dosahuje stejných parametrů, které jsou jinak dosahovány s využitím 3,5 až 4 % hmotn. cementu. Oproti tradiční cestě se využívá upravený odpadní materiál, který je navíc zpracován s minimální uhlíkovou stopou, čímž se omezují emise CO₂.

10 Příklad 5

- Nejprve bylo připraveno silniční pojivo podle technického řešení. Vstupním materiálem byl betonový recyklát tvořený odpadem z různých konstrukcí dopravního a pozemního stavitelství s velikostí částic do 2 mm a ten byl dále upraven vysokorychlostním mletím, např. přístrojem podle PUV 2014-29552. Vysokorychlostním mletím byl recyklovaný beton mechanicky a me-
- 15 chanicko-chemicky dezintegrován a aktivován s vytvořením nových povrchů a částečně obnovou pucolánovou aktivitou vznikem reaktivních částic. Rychlost rotorů vysokorychlostního mlýnu byla minimálně na úrovni 1500 otáček/min a nepřesáhla 20000 otáček/min. Objem vzduchu přidávaný ventilátory vysokorychlostního mlýnu, který je vháněn do prostoru mezi rotorem a statorem, byl minimálně 900 m³/hod, optimálně dosahoval 1500 m³/hod.

- 20 Byl získán mikromletý mechanicky aktivovaný recyklovaný beton o měrném povrchu 398 m²/kg o zrnitosti do 0,100 mm s následujícím zastoupením frakcí:

Velikost zrna [μm]	<0,5	0,5 až 1	1 až 5	5 až 10	10 až 20	20 až 100
Množství [% hmotn.]	1,4	8,1	29	33,6	18,9	9

Mikromletý mechanicky aktivovaný recyklovaný beton se následně mísil ve zvoleném poměru se silikátovými složkami cementu. Získané silniční pojivo je specifikováno následujícím složením:

	MgO	3CaO•SiO ₂	2CaO•SiO ₂	3CaO•Al ₂ O ₃	4CaO•Al ₂ O ₃ •Fe ₂ O ₃	Mikromletý mechanicky aktivovaný recyklovaný beton
[% hmotn.]	0,20	13,60	0,60	2,80	2,80	80

25

Všechny složky byly v suchém stavu řádně homogenizované v běžných šaržových míchačkách, případně i vysokorychlostním mlýnu s otáčkami nepřesahujícími 2000 otáček/min. Homogenizace probíhala po dobu minimálně 60 sekund při použití šaržové míchačky suchých směsí nebo po dobu alespoň 5 sekund při použití vysokorychlostního mlýnu. Takto připravené silniční pojivo

30 se následně smíchalo se zrnitým materiálem při současném přidání záměsové vody.

Silniční pojivo bylo použito v hydraulicky stmelené směsi zrnitého materiálu frakce do 22 mm typu asfaltový R-materiál s množstvím pojiva 3,5 % hmotn., přičemž silniční pojivo je specifikováno následujícími parametry:

	Silniční pojivo dle předešlé specifikace	Plnivo Asfaltový R-materiál 0-22 mm	Množství záměsové vody
[% hmotn.]	3,50	92,20	4,30

- 35 Směs zrnitého materiálu stmelného silničního pojivem byla uložena do válcových forem a ztuhněna statickým tlakem v souladu s postupem uvedeným v technických podmínkách TP 208. Vzorky následně tvrdnuly po dobu 14 dní v laboratorních podmínkách při teplotě 20 ± 2 °C a relativní vlhkosti 50 až 75 %.

Na základě provedených empirických a pevnostních zkoušek po 14 dnech měla recyklovaná směs asfaltového zrnitého materiálu frakce do 22 mm stabilizovaná silničním pojivem s obsahem 3,5 % hmotn. následující technické charakteristiky:

objemová hmotnost: 2092 kg/m³ dle ČSN EN 12697-6

5 pevnost v příčném tahu při 15 °C: 0,47 MPa dle TP 208

modul tuhosti metodou IT-CY při 15 °C: 3740 MPa dle ČSN EN 12697-26

odolnost proti účinkům vody: 94 % dle TP 208

lomová houževnatost: 5,2 N/mm^{3/2} dle ČSN EN 12697-44

10 Využitím silničního pojiva podle technického řešení se u uvedeného typu stmelené recyklované směsi dosahuje stejných parametrů, které jsou jinak dosahovány s využitím 3,5 % hmotn. cementu. Oproti tradiční cestě se využívá upravený odpadní materiál, který je navíc zpracován s minimální uhlíkovou stopou, čímž se omezují emise CO₂.

Příklad 6

15 Nejprve bylo připraveno silniční pojivo podle technického řešení. Vstupním materiálem byl betonový recyklát tvořený odpadem z různých konstrukcí dopravního a pozemního stavitelství s velikostí částic do 2 mm a ten byl dále upraven vysokorychlostním mletím, např. přístrojem podle PUV 204 29552. Vysokorychlostním mletím byl recyklovaný beton mechanicky a mechanicko-chemicky dezintegrován a aktivován s vytvořením nových povrchů a částečně obnovenou pucolánovou aktivitou vznikem reaktivních částic. Rychlost rotorů vysokorychlostního mlýnu 20 byla minimálně na úrovni 1500 otáček/min a nepřesáhla 20000 otáček/min. Objem vzduchu přidávaný ventilátory vysokorychlostního mlýnu, který je vháněn do prostoru mezi rotorem a statorem, byl minimálně 900 m³/hod, optimálně dosahoval 1500 m³/hod.

Byl získán mikromletý mechanicky aktivovaný recyklovaný beton o měrném povrchu 398 m²/kg o zrnitosti do 0,100 mm s následujícím zastoupením frakcí:

Velikost zrna [μm]	<0,5	0,5 až 1	1 až 5	5 až 10	10 až 20	20 až 100
Množství [% hmotn.]	1,4	8,1	29	33,6	18,9	9

25

Mikromletý mechanicky aktivovaný recyklovaný beton se následně mísil s dalšími složkami včetně plniva. Získané silniční pojivo mělo následujícím složením:

	Pojivé složky						Plnivo
	MgO	3CaO•SiO ₂	2CaO•SiO ₂	3CaO•Al ₂ O ₃	4CaO•Al ₂ O ₃ •Fe ₂ O ₃	Mikromletý mechanicky aktivovaný recyklovaný beton	Vysokorychlostně mikromletá odpadní vápencová moučka
[% hmotn.]	0,20	13,60	0,60	2,80	2,80	60	20

30 kde vysokorychlostně mikromletá kamenná moučka s měrným povrchem 2,8 m²/cm³ měla následujícím zastoupením frakcí:

Velikost zrna [μm]	<0,3	0,3 až 0,5	0,5 až 1	1 až 4	4 až 6	6 až 10	10 až 20	20 až 30
Množství [% hmotn.]	0,1	1	2	20	21,9	30	15	10

35 Všechny složky byly v suchém stavu řádně homogenizované v běžných šaržových míchačkách, případně i vysokorychlostním mlýnu s otáčkami nepřesahujícími 2000 otáček/min. Homogenizace probíhala minimálně 60 sekund při použití šaržové míchačky suchých směsí nebo po dobu alespoň 5 sekund při použití vysokorychlostního mlýnu. Takto připravené silniční pojivo se následně smíchalo se zrnitým materiálem při současném přidání záměsové vody.

Silniční pojivo bylo použité v hydraulicky stmelené směsi zrnitého materiálu frakce do 22 mm typu asfaltový R-materiál s množstvím pojiva 4 % hmotn. podle následující tabulky:

	Silniční pojivo	Plnivo	Množství záměsové vody
		Asfaltový R-materiál 0-22 mm	
[% hmotn.]	4,00	91,70	4,30

Směs zrnitého materiálu stmeleného silničním pojivem byla uložena do válcových forem a zhutněna statickým tlakem v souladu s postupem uvedeným v technických podmínkách TP 208. Vzorky následně tvrdnuly po dobu 14 dní v laboratorních podmínkách při teplotě $20 \pm 2^\circ\text{C}$ a relativní vlhkosti 50 až 75 %.

Na základě provedených empirických a pevnostních zkoušek po 14 dnech měla recyklovaná směs asfaltového zrnitého materiálu frakce 0-22 mm stabilizovaná silničním pojivem s obsahem 3,5 % hmotn. následující technické charakteristiky:

objemová hmotnost: 2056 kg/m^3 dle ČSN EN 12697-6

pevnost v příčném tahu při 15°C : 0,50 MPa dle TP 208

modul tuhosti metodou IT-CY dle 15°C : 3810 MPa dle ČSN EN 12697-26

odolnost proti účinkům vody: 92 % dle TP 208

lomová houževnatost $5,8 \text{ N/mm}^{3/2}$ dle ČSN EN 12697-44

Využitím silničního pojiva na bázi podle technického řešení se u uvedeného typu stmelené recyklované směsi dosahuje stejných parametrů, které jsou jinak dosahovány s využitím 3,5 % hmotn. cementu. Oproti tradiční cestě se využívá upravený odpadní materiál, který je navíc zpracován s minimální uhlíkovou stopou, čímž se omezují emise CO_2 .

20 Průmyslová využitelnost

Silniční pojivo podle technického řešení s pomalými nárůsty počátečních pevností je vhodné pro uplatnění v hydraulicky stmelených směsích zrnitých materiálů včetně zlepšených zemin a směsí silničních konstrukcí recyklovaných za studena jako vhodná alternativa k tradičním hydraulickým pojivům. Aktivace betonového recyklátu vysokorychlostním mletím umožňuje docílit obdobných pevnostních charakteristik a vysoké odolnosti proti účinkům mrazu při malém obsahu cementu v pojivu. Současně je pro uvedené aplikace zajištěn pomalejší nárůst počátečních pevností, což snižuje riziko pozdějšího vzniku smršťovacích trhlin zejména v případech, kdy se uplatní více jak 7 % hmotn. silničního pojiva v některém z uvedených typů směsí. Silniční pojivo se využije jak v běžných míchacích centrech, tak i při provádění in-situ rozprostřením bezprostředně před vlastním promícháním se zrnitým materiálem. Nad rámec toho je toto pojivo využitelné jako maltovinová suspenze pro prolévané asfalto-cementové směsi.

NÁROKY NA OCHRANU

1. Silniční pojivo, **vyznačující se tím**, že obsahuje 0,15 až 0,30 % hmotn. MgO , 10,20 až 20,40 % hmotn. $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, 0,45 až 0,90 % hmotn. $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, 2,10 až 4,20 % hmotn. $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, 2,10 až 4,20 % hmotn. $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ a 70 až 85 % hmotn. mikromletého mechanicky aktivovaného recyklovaného betonu s velikostí zrna do 0,1 mm.

2. Silniční pojivo podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že mikromletý mechanicky aktivovaný recyklovaný beton má minimální měrný povrch $370 \text{ m}^2/\text{kg}$, minimální celkový specifický povrch částic $2,5 \text{ m}^2/\text{cm}^3$ a velikostí středního zrna nepřesahující $9,5 \mu\text{m}$.

3. Silniční pojivo podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že mikromletý mechanicky aktivovaný recyklovaný beton má následující zastoupení frakcí: 1 až 4 % hmotn. frakce $< 0,5 \mu\text{m}$, 4 až 9 % hmotn. frakce $0,5 \text{ až } 1,0 \mu\text{m}$, 10 až 35 % hmotn. frakce $1,0 \text{ až } 5,0 \mu\text{m}$, 20 až 39 % hmotn. frakce $5,0 \text{ až } 10,0 \mu\text{m}$, 8 až 26 % hmotn. frakce $10,0 \text{ až } 20,0 \mu\text{m}$ a 5 až 12 % hmotn. frakce $20 \text{ až } 100 \mu\text{m}$.
4. Silniční pojivo podle kteréhokoliv z nároků 1 až 3, **vyznačující se tím**, že mikromletý mechanicky aktivovaný recyklovaný beton obsahuje 23 až 44 % SiO_2 , 35 až 52 % CaO , 3 až 8 % MgO , 5 až 10 % Al_2O_3 a maximálně 3 % Ca(OH)_2 .
5. Silniční pojivo podle kteréhokoliv z nároků 1 až 4, **vyznačující se tím**, že dále obsahuje plnivo, tvořené vysokorychlostně mikromletou odpadní vápencovou moučkou, v množství až 20 % hmotn. vzniklé směsi.

Konec dokumentu
