



## VYUŽITÍ FLUIDNÍCH POPÍLKŮ JAKO SUBSTITUČNÍHO MINERÁLNÍHO MATERIÁLU V PODKLADNÍCH VRSTVÁCH VOZOVEK

Zpracovali: Ing. Jan Valentin, Ph.D., Ing. Jakub Šedina (Fakulta stavební ČVUT v Praze)

### Souhrn

V rámci zvyšování využitelnosti fluidních popílků v dopravním stavitelství byla pozornost zaměřena na možnosti substituce nevhodného materiálu (jílovitý písek) fluidním popínkem, a to v množství maximálně 50 %. Současně s tím byla posouzena možnost formulace kompozitní směsi konstrukční podkladní vrstvy, která by obsahovala dříve cementem stmelovaný materiál, jenž je v rámci konce jeho životnosti recyklován společně s popínkem ve dvou úrovních dávkování popínku. V neposlední řadě je pro jednu z těchto kombinací zvoleno řešení dvou alternativ cementem stmelovaných směsí, kde je pro snížení rizika bobtnání a omezení negativního účinku vody a mrazu do směsi přidáváno vhodné zvolené hydrofobizační činidlo. Na jednotlivých variantách vedle Proctorovy zkoušky byly provedeny zejména pevnostní zkoušky po 28 dnech zrání, jakož i následně zmrazovací zkoušky pro posouzení míry zhoršení pevnostních charakteristik vlivem vlastností popínku a účinků vody a mrazu.

### Oblast použití

Způsoby využití vyššího podílu popínku v konstrukčních vrstvách dopravních staveb mají bezprostřední využití jak při realizaci novostaveb, tak i při recyklacích. V prvním případě je toto potenciální způsob, jak v lepší míře využít lokálně dostupné materiály (např. nevhodné nebo podmíněčně vhodné zeminy) nebo popínkem substituovat dovoz větších objemů dražších přírodních surovin (vhodné zeminy nebo kamenivo nejen pro podkladní vrstvy vozovek, ale i železničních spodků). V oblasti recyklace se jedná zejména o dnes poměrně rozšířené recyklační technologie prováděné na místě za studena, kdy možnost substituovat část chybějícího materiálu nebo pojiva popínkem může být ekonomicky efektivní řešení. Pokud navíc dojde k nalezení a ověření technické varianty, kde je eliminováno nebo na nízkou míru minimalizováno riziko bobtnání či ztráty pevnosti konstrukční vrstvy v důsledku opakovaného účinku vody a mrazu, potom jsou takové varianty konstrukčních materiálů poměrně

dobrym řešením při další obnově a rozvoji sítě dopravní infrastruktury a to s ohledem k dostupnosti velkého množství tohoto materiálu. Poznatky jsou tedy využitelné jak z pohledu producentů popílků v čele se skupinami ČEZ a EP, tak i pro zhotovitele dopravních staveb. Současně se tím otevírají možnosti dalšího aplikovaného výzkumu při zvyšování efektivity a technických parametrů takových řešení.

### Metodika a postup řešení

Řešení problematiky lze v zásadě rozdělit na dvě oblasti. V prvním případě byla posouzena možnost substituovat část nevhodného jemně zrnitého materiálu fluidním popínkem z tepelné elektrárny Ledvice, a to včetně posouzení charakteristik materiálu (jílovitého písku) bez přítomnosti popínku. Současně s tím byla ověřována možnost mísení tohoto fluidního popínku s cementovou stabilizací, která byla odstraněna nebo plně recyklována v rámci modernizace dálnice D1, úsek 9. V praxi byla tato stabilizace zčásti odfrézována a zčásti byla na místě recyklována se šterkopískovou ochrannou vrstvou. Pro budoucí etapy modernizace tak je provedeným posouzením ověřována možnost odfrézovanou stabilizaci dále účinně kombinovat s fluidním popínkem. Ve všech případech provedených návrhů variant stmelovaných směsí byl samotný zrnitý materiál (jíl či stabilizace) stmelován 6 %-hm. resp. 3 %-hm. cementu. Očekávaná výsledná pevnost materiálu měla odpovídat minimálně třídě SC C3/4 nebo SC C5/6. Ve druhém případě prováděných experimentů byla jedna z variant obsahující i fluidní popínek doplněna o dvě zvolené chemické přísady, jejichž cílem by mělo být zlepšit odolnost směsi proti účinkům vody, tedy materiál účinně hydrofobizovat. Hlavním porovnávacím kritériem byla pevnost v prostém tlaku provedená po 28 dnech zrání na válcových zkušebních tělesech, kde bylo v předstihu Proctorovou zkouškou optimalizováno množství přidávané vody. Jako přísady byly použity:

**TerraSil** [1], který je definován jako 100% organická přísada rozpustná ve vodě. Pomocí siloxanové vazby (Si-O-Si) vznikne na povrchu zrn zeminy velmi tenká prodyšná membrána, která je

velmi stabilní, chemicky odolná a zároveň plní hydroizolační funkci a omezuje tak vnikání vody do vzorku.

**UPD** [2] je chemická přísada rozpustná ve vodě. Příznivě ovlivňuje prostředí v zemině a spolupůsobí s cementem. Výsledkem je vrstva velmi odolná vůči působení vody. Pomocí výměny iontů přísada neutralizuje nežádoucí látky v zemině a zároveň zabraňuje pronikání vody do zeminy. Umožňuje tak zpracovat širokou škálu zemin, a to i zemin chemicky znečištěných, které by jinak nenašly dalšího využití.

## Výsledky

Pro směsi, kde byla posuzována pouze použitá zemina stabilizovaná cementem, byly vedle 28denních pevností prováděny pevnosti i po 7 a 14 dnech. Tyto výsledky zde nicméně nejsou prezentovány. Z hlediska pevnostních charakteristik po 28 dnech je patrné dosažení velmi nízkých hodnot. Při substituci cementu ternárním pojivem na bázi popílku (Sorfix) tyto pevnosti dále klesaly, přičemž mnohem dramatičtější pokles je patrný pro výsledky zkoušky zmrazování.

Tab. 1 Posuzované varianty stmelových směsí.

Posuzovaná varianta	Poměr složek	Přísada
Písečný jíl + 3% cementu	-	ne
Písek s jemnozrnnou zeminou (6% cementu)	-	ne
Písečný jíl + 6% Sorfix	-	ne
Popílek + jílovitý písek	50:50	ne
Popílek + cementová stabilizace	50:50	ne
Popílek + cementová stabilizace	25:75	ne
Cementová stabilizace	-	ne
Popílek + cementová stabilizace	50:50	TerraSil
Popílek + cementová stabilizace	50:50	UPD

Při posouzení možné substituce jílovitého písku či původní cementové stabilizace popílkiem se ukazuje, že z hlediska pevnostních charakteristik je lepšího efektu dosaženo v případě kombinace s jílovitým pískem. Zde navíc nebyl zaznamenán pokles pevnosti vlivem zmrazování. Ve druhém případě je velmi dobře patrný význam popílku, kdy s jeho rostoucím množstvím ve směsi se zvažovala výsledná pevnost, a to i z hlediska sledovaného poklesu pevnostní charakteristiky v důsledku cyklického účinku vody a mrazu (10 cyklů).

Při aplikaci přísad TerraSil a UPD se výrazně projevil jev, na který jsme již dříve upozorňovali, a sice negativní ovlivnění hydratace po přidání přísad. TerraSil v tomto ohledu vychází hůře s poklesem pevností o 50 % oproti směsi bez přísady, je zde i

velký rozptyl výsledků. V případě UPD je pokles pevnosti oproti variantě bez přísady jen 10 %. Pro zmrazování je zajímavý vliv popílku, kdy oproti předpokladu se stoupajícím poměrem popílku vychází odolnost vůči mrazu a vodě příznivěji.

Tab. 2 Výsledky zkoušek pevnosti v tlaku a účinků zmrazování.

Posuzovaná varianta	Pevnost v tlaku (MPa)	Pevnost po zmrazovacích cyklech (MPa)	Pokles pevnosti
Písečný jíl + 3% cementu	3,69	3,93	1,06
Písek s jemnozrnnou zeminou (6% cementu)	3,14	1,66	0,53
Písečný jíl + 6% Sorfix	2,05	0,30	0,15
Popílek + jílovitý písek	9,98	10,88	1,09
Popílek + cementová stabilizace	8,67	7,25	0,84
Popílek + cementová stabilizace	7,07	4,05	0,57
Cementová stabilizace	2,23	0,82	0,37
Popílek + cementová stabilizace	4,62	-	-
Popílek + cementová stabilizace	6,57	-	-

## Závěr

Z hlediska dalšího posuzování je v současné době ještě ověřována další hydrofobizační přísada na bázi nanotechnologie, která by oproti přísadě TerraSil neměla mít negativní účinek na hydrataci cementu ve směsi, a tudíž by nemuselo dojít k ovlivnění pevnostních charakteristik stmelené směsi. Současně bude ověřena možnost či účinnost povrchové hydrofobizace, tedy nikoli 3D efekt, jak byl dosud zamýšlen. V neposlední řadě bude pro aplikaci s TerraSil ověřena možnost, kdy nejprve dojde k smísení minerálních složek s částí záměsové vody a teprve po promísení bude přidáván zbytek obsahující již zmíněnou přísadu. Současně se předpokládá případné testování varianty, kterou výrobce této přísady disponuje taktéž. V neposlední řadě však bude klíčové ověřit varianty s nejlepšími dosaženými vlastnostmi s jiným typem fluidního popílku (elektrárna Tisová či Hodonín) a s jiným typem méně vhodné či nevhodné zeminy. Pro některé varianty budou následně prováděny i triaxiální zkoušky, které mnohem lépe mohou charakterizovat kohezní a deformační chování směsi.

## Literatura

- [1] Technické informace společnosti Zydex Industries, <http://www.zydexindustries.com>.
- [2] Technické informace společnosti KTD Group, <http://www.keliutiesimas.lt>.