

# Úprava vlastností zemin vápnem a volné vápno obsahujícími produkty

*Projekt TAČR s názvem FR-TI4/714  
Výzkum a inovace úprav horninového  
prostředí vápennými aditivy*



# Úvodem

Dovolte, abych navázal na přednášku na toto téma z loňského roku a připomněl některé výsledky řešení projektu, které se ukázaly být pro postupy při úpravách vlastností zemín na stavbách pozemních komunikací významné.

Z dosavadních závěrů je vhodné uvést požadavek na stanovení obsahu reaktivního  $\text{SiO}_2$  v zeminách, ukázalo se, že při obsahu reaktivního  $\text{SiO}_2$  v zemině nad cca 25 % zemina vykazuje pucolánovou reakci. To je významné z hlediska dlouhodobého uložení zeminy jako nestmelené směsi v tělese komunikace, kdy pevnost této směsi neustále pomalu narůstá. S tím souvisí i provedení zkoušky pucolanity. Zeminy, vykazující pucolanitu, budou dlouhodobě při uložení v tělese komunikace mít lepší vlastnosti než zeminy, u nichž dochází při vápnění pouze k flokulaci jemných částic.

V loňském roce jsme se zabývali možností využití odprašků z by-passu z cementářských rotačních pecí (BPD) namísto bílého vzdušného vápna při úpravách zemín. BPD obsahuje vždy dostatek volného vápna a dále také obsahuje reaktivní formy křemičitého a hlinitého oxidu. Také se chová jako hydraulické pojivo.

**Naše aktivity pro letošní rok jsou v rámci projektu směřovány hlavně na reakce  $\text{SiO}_2$  a dalších reaktivních složek zemin s volným  $\text{CaO}$ , tedy především reakce pucolánového charakteru.**

**Kromě geomechanických zkoušek, prováděných v laboratoři firmy ARCADIS, jsme se zaměřili na možnost a způsob zjištění produktů pucolánových reakcí v zeminách, upravených vápnem a BPD.**

**Jednou ze zvolených metod je mineralogická analýza pomocí difrakce rtg. paprsků (XRD). Další zkušební metodou je diferenční termická analýza (DTA) a vážková termická analýza (TG).**

**Přístrojové vybavení pro tyto zkušební postupy laboratoř VÚ maltovin nevlastní, proto jsme se obrátili na Centrum materiálového výzkumu (CMV) při FCH VUT Brno, kde se tyto práce prováděly.**

**Pochopitelně byl při úpravě pomocí BPD sledován i vliv na geomechanické vlastnosti zemin.**

# Vliv BPD na vlastnosti zemin

## Hutnitelnost:

Hutnitelnost zemin byla zjišťována standardní Proctorovou zkouškou (byla popsána v přednášce z roku 2015). Bylo zjištěno na zemině z lokality Řehlovice (výstavba D8), že se snižuje obsah vody v zemině, při němž dochází k maximálnímu zhutnění a že se zvyšuje dosažená maximální objemová hmotnost zeminy.

Tabulka č.1: *Výsledky zkoušky hutnitelnosti Proctor standard*

vzorek							
Řehlovice	w (%)	37,0	41,1	<b>46,1</b>	50,4	50,4	53,4
	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	1127	1151	<b>1197</b>	1154	1155	1111
Řehlovice + 25 % BPD	w (%)	35,9	37,9	<b>40,2</b>	42,3	43,9	
	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	1235	1254	<b>1261</b>	1253	1231	

## Únosnost:

Pro nestmelené směsi pro výstavbu pozemních komunikací požadována minimální hodnota tzv. Kalifornského poměru únosnosti CBR ve výši 15 %. Na příkladu zeminy Řehlovice je velmi dobře vidět účinek přídatku BPD.

Čistá zemina ihned po zhutnění:	4,80 %
Po 3 dnech zrání a 96 h sycení vodou:	12,10 %
Zemina s 25 % BPD ihned po zhutnění:	15,30 %
Po 3 dnech zrání a 96 h sycení vodou:	147,00 %
Po 56 dnech zrání a 96 h sycení vodou:	563,00 %

Tato směs byla po 56 dnech zrání a nasycení vodou tvrdá a vůbec nepřipomínala zeminu třídy F8. Pro nestmelené směsi je hodnota CBR až příliš vysoká a je možno tedy přidavek BPD snížit. Z těchto výsledků je ale zřejmé, že dochází k hydraulickému tuhnutí a tvrdnutí v důsledku hydratačních a pucolánových reakcí.

## Vznik hydratačních produktů

K flokulačním účinkům roztoku hydroxidu vápenatého ve vodě se přidávají projevy reakce hydroxidu vápenatého s aktivními formami  $\text{SiO}_2$  v zemině (pucolánové reakce) a při použití BPD (nebo jakéhokoliv hydraulicky reagujícího aditiva) tvorba hydrosilikátů a hydroaluminátů vápenatých.

Pucolánové reakce probíhají pomalu a dlouhodobě. Při krátkodobých laboratorních zkouškách nevzniká dostatečné množství produktů těchto reakcí, aby bylo možno prokázat jejich vznik RTG difrakcí.

Ale po 56-denním zrání vzorků s obsahem BPD byly produkty hydratačních reakcí prokázány pomocí diferenční termické analýzy a vážkové termické analýzy na zemině Řehlovice. U té již z dřívějších zkoušek byl prokázán vysoký obsah aktivních forem  $\text{SiO}_2$  (téměř 50 %).

Při termických analýzách byl u zemin s přísadou BPD zjištěn nový endotermní pík při teplotě okolo 300 °C, spojený s úbytkem hmotnosti vzorku a s únikem vodní páry. Jedná se tedy o dehydrataci nebo dehydroxylaci minerálů, nově vzniklých během zrání vzorku. Vznik tohoto endotermního píku byl zjištěn ale pouze u zeminy s přísadou BPD.

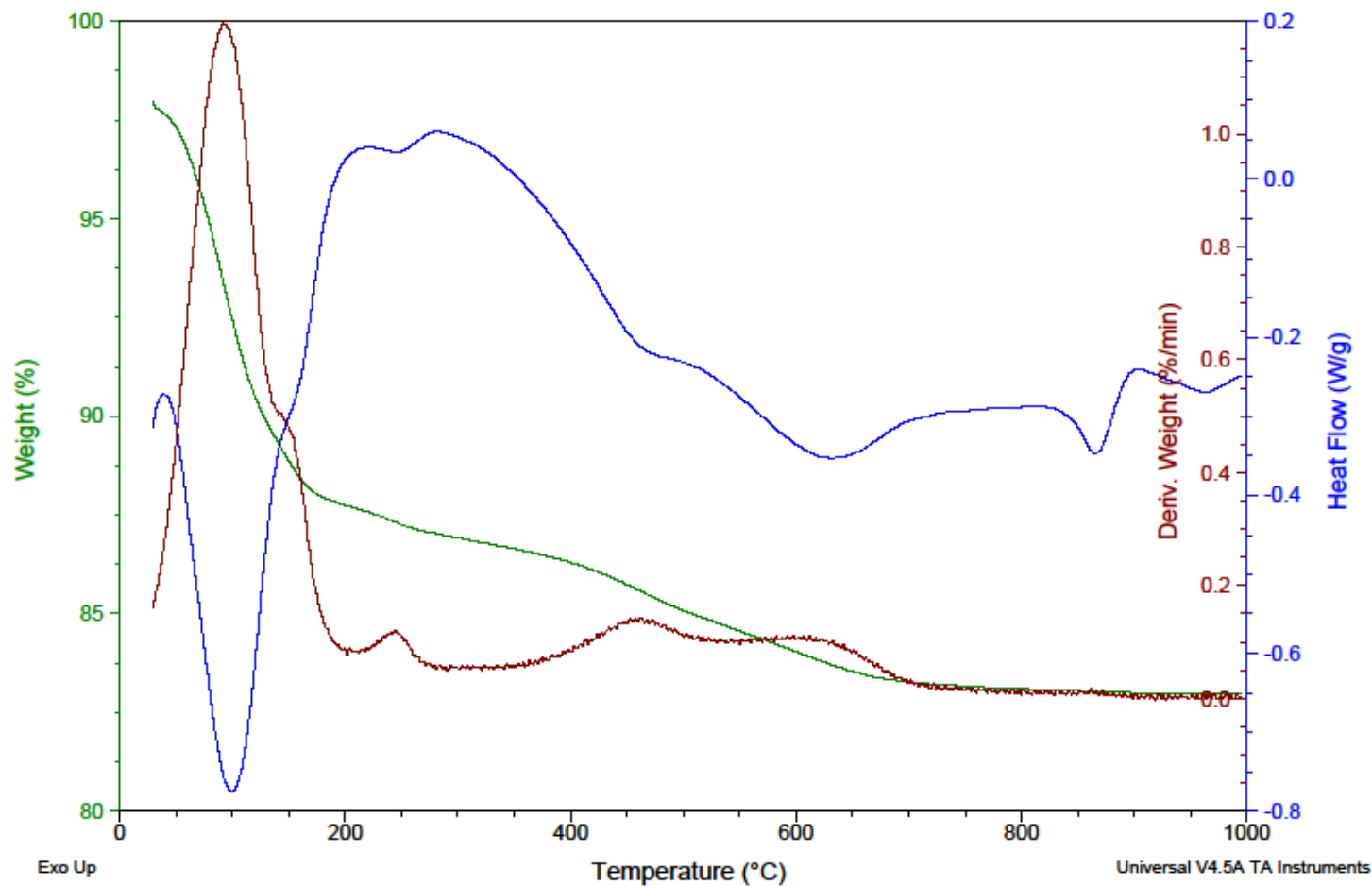
Přísada odpovídajícího množství vápna VČS tento pík nepřinášela. Nelze ovšem rozlišit, zda se jedná o produkt reakce mezi hydroxidem vápenatým a reaktivním  $\text{SiO}_2$  nebo produkt hydratace některých složek BPD. Protože tento jev byl nepatrný u zemin s nízkým obsahem reaktivního  $\text{SiO}_2$ , je pravděpodobné, že se jednalo o produkt pucolánové reakce. U jiných zemin také nebylo dosaženo tak vysokých hodnot CBR jako u zeminy Řehlovice.

# Graf č. 1: křivky DTA a TG čisté zeminy Řehlovice

Sample: Řehlovice 9  
Size: 45.3860 mg  
Method: Temperature

DSC-TGA

File: C:\...Data Q600\ŘEHLOVICE 9.001  
Operator: CMV  
Run Date: 26-Oct-2015 12:51  
Instrument: SDT Q600 V20.9 Build 20



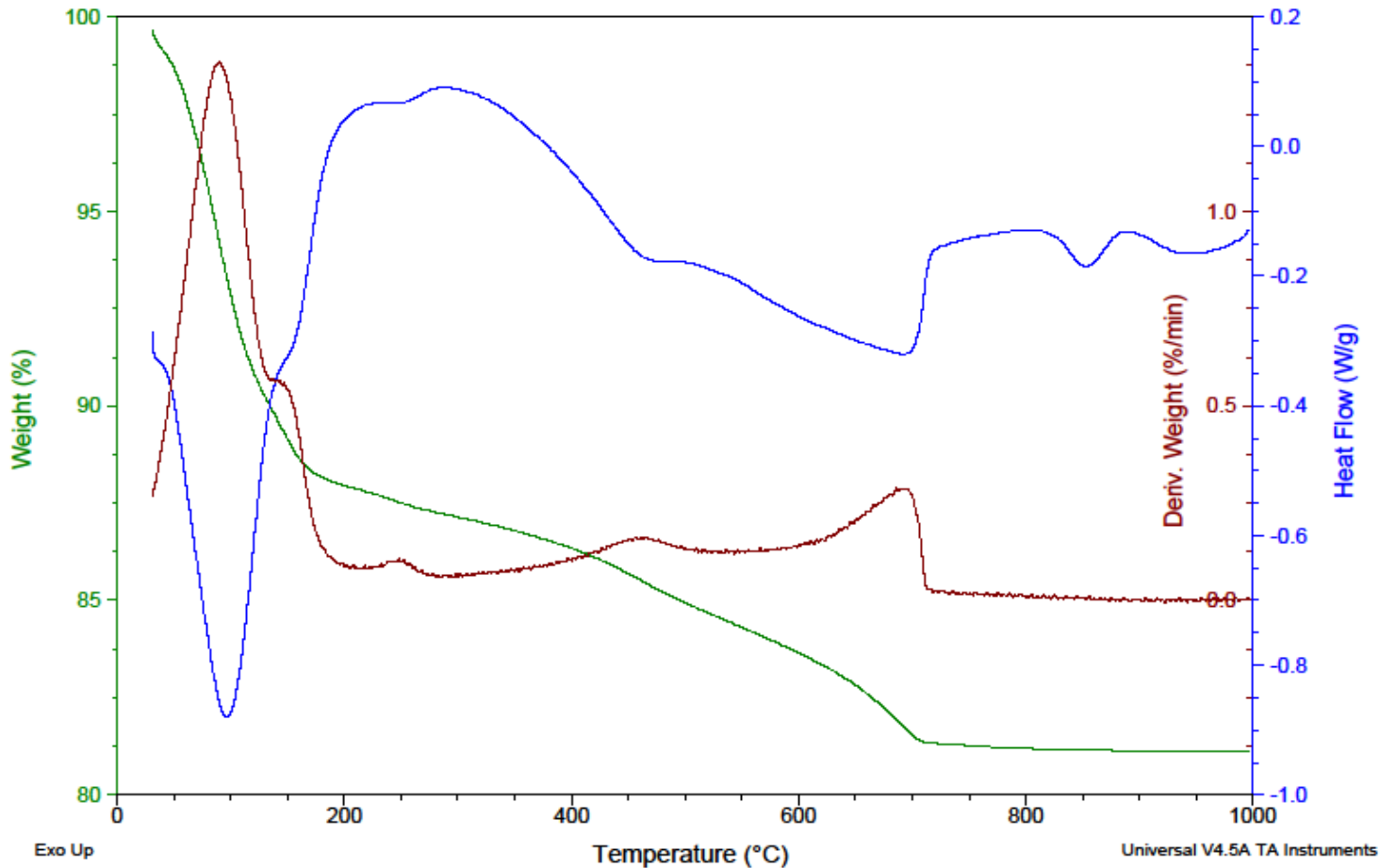


## Graf č. 2: *křivky DTA a TG zeminy Řehlovice s přísadou vápna VČS*

Sample: vz 3 Řehlovice 3% CaO  
Size: 42.6600 mg  
Method: Temperature

DSC-TGA

File: C:\...IVZ 3 ŘEHLOVICE 3% CAO.001  
Operator: CMV  
Run Date: 21-Oct-2015 11:56  
Instrument: SDT Q600 V20.9 Build 20

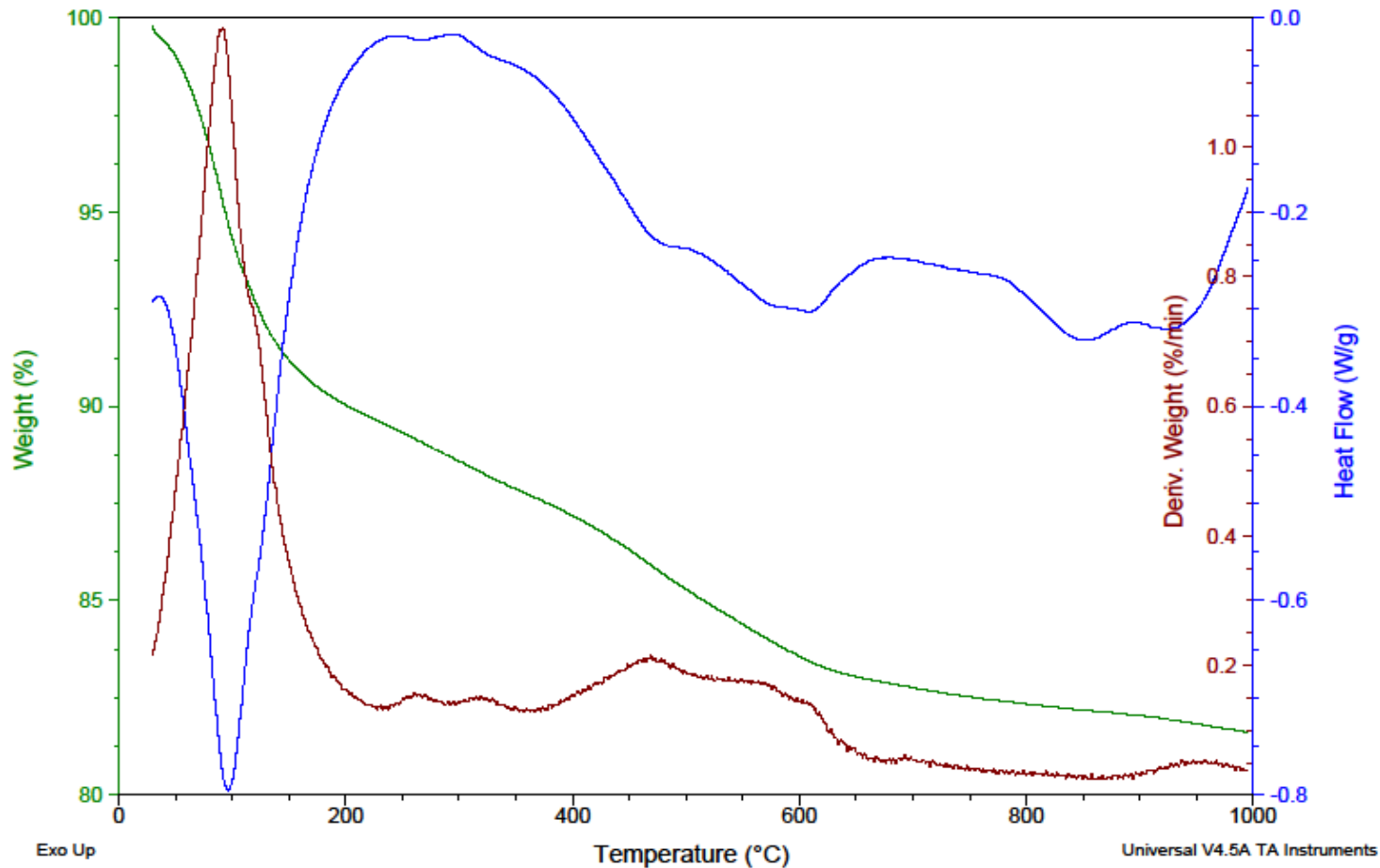


### Graf č. 3: křivky DTA a TG zeminy Řehlovice s přísadou BPD

Sample: vz 2 Řehlovice 3% CaO v BPD  
Size: 49.6820 mg  
Method: Temperature

DSC-TGA

File: C:\...VZ 2 ŘEHLOVICE 5% CAO V BPD.001  
Operator: CMV  
Run Date: 21-Oct-2015 14:29  
Instrument: SDT Q600 V20.9 Build 20

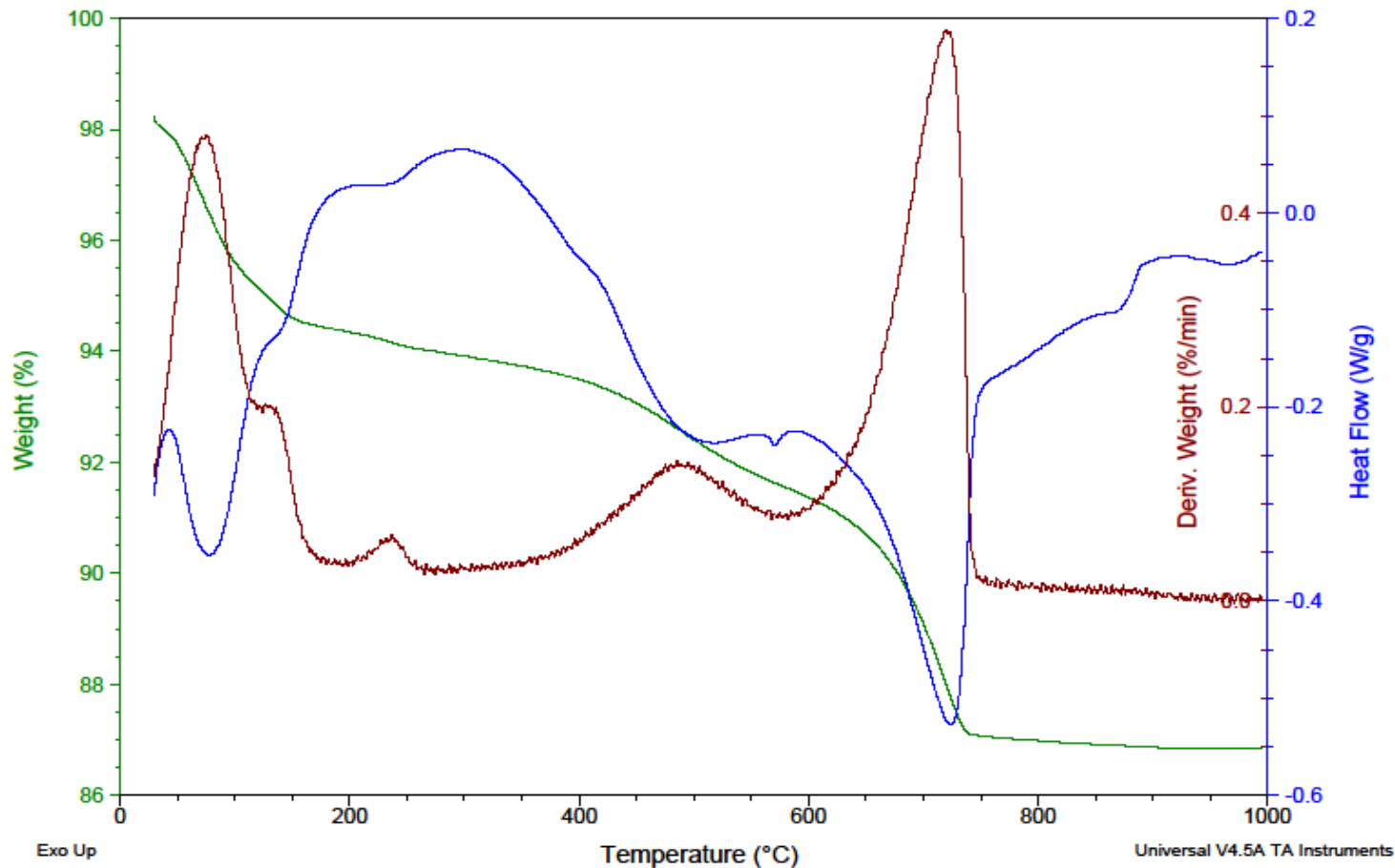


# Graf č.4: křivky DTA a TG zeminy Lipník n.B.

Sample: Lipník S1-9  
Size: 48.3440 mg  
Method: Temperature

DSC-TGA

File: C:\...Data Q600\LIPNÍK S1-9.001  
Operator: CMV  
Run Date: 23-Oct-2015 08:52  
Instrument: SDT Q600 V20.9 Build 20

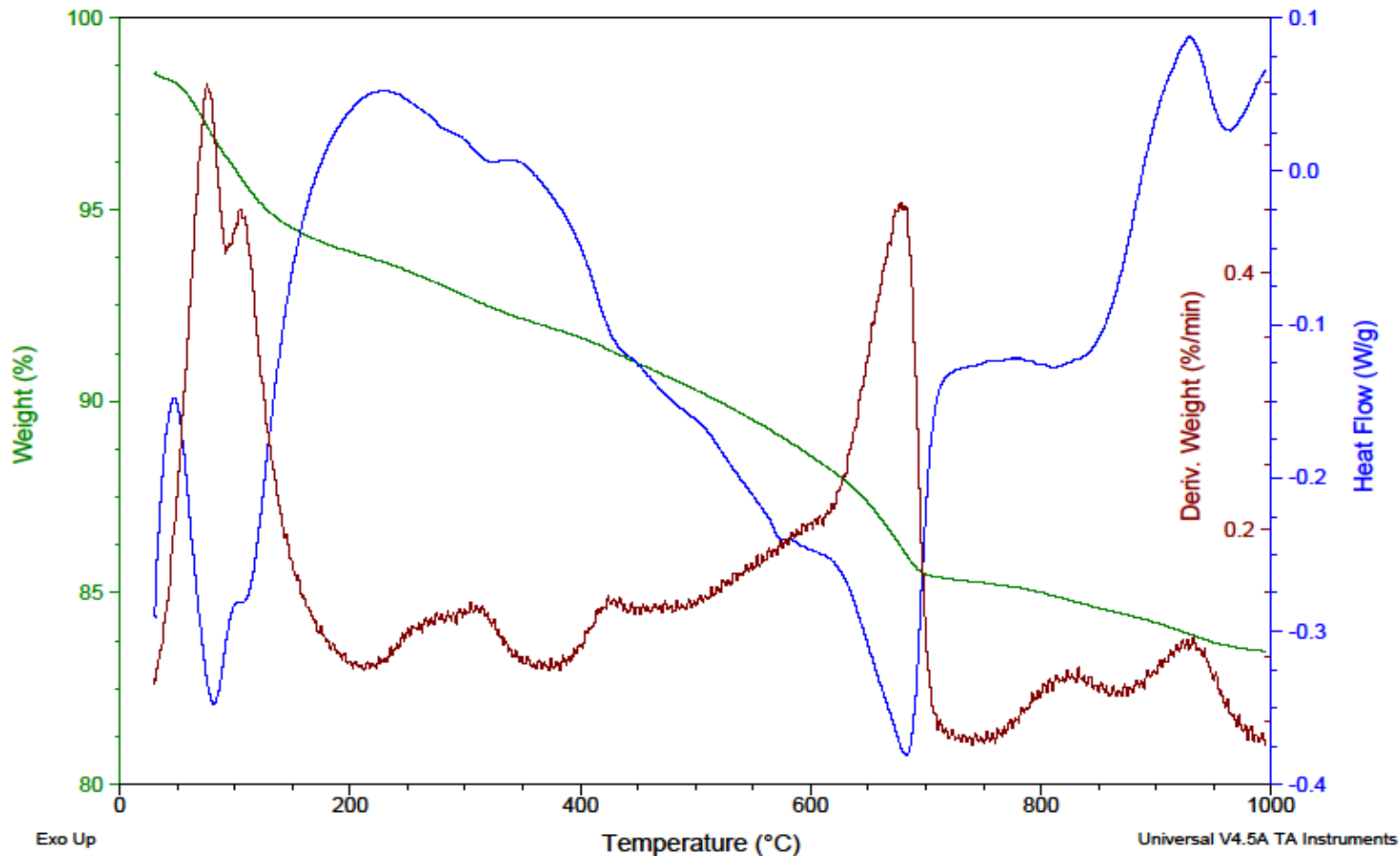


# Graf č.5: křivky DTA a TG zeminy Lipník n.B. s přísadou BPD

Sample: vz 6 Lipník 5% CaO v BPD  
Size: 39.9590 mg  
Method: Temperature

DSC-TGA

File: C:\...VZ 6 LIPNÍK 5% CAO V BPD.001  
Operator: CMV  
Run Date: 22-Oct-2015 17:33  
Instrument: SDT Q600 V20.9 Build 20



## Možnost použití BPD

Využití BPD při vylepšování vlastností zemin se jeví jako jedna z dalších možností uplatnění tohoto materiálu ve stavebnictví. Na rozdíl od tradičně používaného vzdušného vápna vede k rychlejšímu tuhnutí až tvrdnutí upravené zeminy. K flokulačním účinkům hydroxidu vápenatého se přidávají změny spojené se vznikem produktů hydratace minerálů obsažených v hydraulicky se chovajícím BPD a také změny a možná i urychlení průběhu pucolánových reakcí.

Volba dávkovaného množství BPD ale nejspíš nebude s ohledem na tuhnutí a tvrdnutí směsi probíhat tradičními způsoby měřením pH směsi a podobně, ale bude vycházet z požadovaných vlastností upravené zeminy.

Zhutňování vrstvy upravené zeminy bude nutno provádět ihned po zamísení zeminy s BPD a dále nebude vhodné již zhutněnou vrstvu rozrušovat a znovu zhutňovat, což je při tradičním vylepšování vápnem prováděno. Došlo by totiž k porušení již vytvořených struktur a naopak ke zhoršení vlastností.

**DĚKUJI ZA POZORNOST**