



## DISKRÉTNÍ MODELOVÁNÍ ŠTĚRKOVÉHO LOŽE ŽELEZNIČNÍHO SVRŠKU

Zpracovali: Ing. Jan Eliáš, Ph.D., Ing. Radek Dubina (Fakulta stavební VUT v Brně)

### Souhrn

Diskrétní model reprezentuje štěrkový materiál pomocí vzájemně oddělených těles představujících jednotlivá zrna štěrku a jejich interakcí. Značná velikost jednotlivých zrn v poměru k příčným rozměrům štěrkového lože je hlavním důvodem, proč je v tomto případě použití diskrétního modelu výhodné.

V rámci projektu se vyvíjí dvě verze modelu, první z nich pracuje s kulovitými tělesy, druhá s polyhedrálním tvarem zrn. Ačkoliv je polyhedrální tvar těles věrnější, je bohužel výpočtově značně náročnější a je možné ho použít pouze pro malé objemy materiálu.

V současné době je dokončována identifikace parametrů modelu, probíhá simulace drcení a abraze zrn a aplikace modelu pro simulaci interakce pražce a štěrku při monotónním a cyklickém zatížení.

### Oblast použití

Model plánujeme do budoucna použít pro:

- studium chování železničního štěrku pod zatížením,
- studium efektivity hutnění pomocí podbiječích strojů,
- studium vývoje podepření pražce, vzniku trhlin v pražci a vlivu podpražcových podložek.

### Metodika a postup řešení

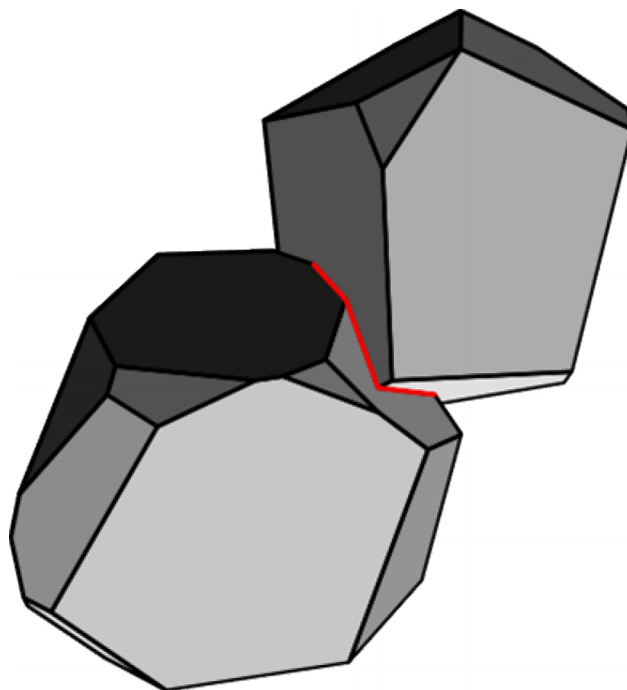
Vyvíjený model je založen na numerické integraci pohybových rovnic pomocí konceptu tzv. explicitní dynamiky. Tento podmíněně stabilní přístup vyžaduje dostatečně malý časový krok, v rámci něhož jsou vždy (i) spočteny síly a momenty, jimiž na sebe tělesa působí, a síly od externího zatížení, (ii) pomocí sil je vypočteno lineární a úhlové zrychlení těles, (iii) pomocí aktuálního zrychlení a rychlostí z minulého kroku je vypočtena aktuální lineární a úhlová rychlost těles a (iv) výsledné rychlosti jsou použity k určení nové polohy a rotace jednotlivých těles.

Tělesa jsou pro jednoduchost uvažována jako dokonale tuhá, se šesti stupni volnosti. Síly na kontaktu jsou závislé na vzájemném překrytí jednotlivých zrn (normálová síla) a na vzájemném

tangenciálním posunu (smyková síla). Smyková síla je navíc limitována Coulombovým třením, tedy nemůže přesáhnout hodnotu danou násobkem normálové tlakové síly a třecího koeficientu.

### Výsledky

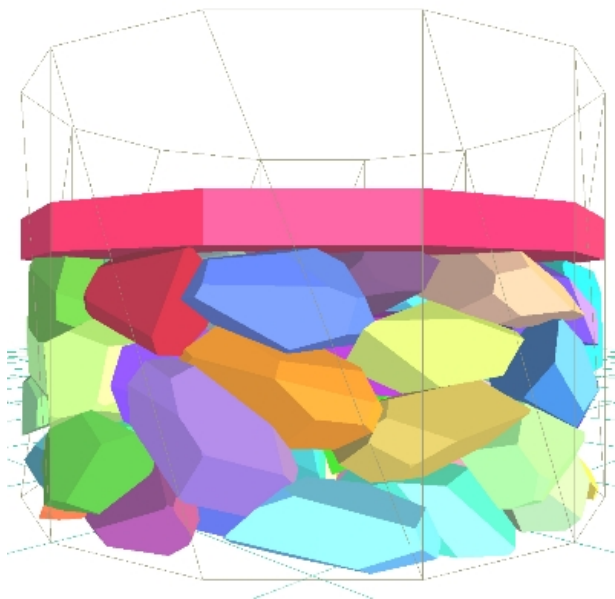
V tomto roce se podařilo dokončit práce na modelu polyhedrálních zrn a model aplikovat na simulaci oedometrické zkoušky. Zrna byla generována s náhodnou geometrií, algoritmus generování využíval Voroného tesalaci na množině náhodně umístěných bodů. Součástí modelu byla také možnost drcení zrn pomocí rozpadu polyhedronů na menší části při překročení zvoleného kritéria. Toto kritérium bylo založeno na výpočtu průměrného tenzoru napětí v tělese a následném vyčíslení von Misesova ekvivalentního napětí. Toto napětí bylo porovnáno s pevností zrna, závislou na jeho velikosti. Výsledky byly publikovány v impaktovaném časopise [1].



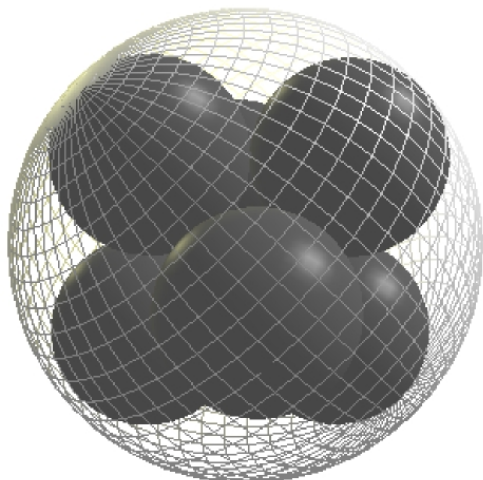
Obr. 1 Dvě polyhedrální zrna v kontaktu.

Dále byla rozvíjena verze modelu s kulovitým tvarem zrn. V tomto roce se dokončil přechod z lineárního na Hertzův [2] kontakt. Jedná se o změnu konstitutivního zákona na kontaktu dvou koulí, dříve

byla kontaktní síla lineárně úměrná hloubce překrytí kulovitých zrn, nyní je úměrná hloubce překrytí na mocninu  $3/2$ . Jedná se o standardní typ kontaktu, který zvyšuje svoji tuhost s hloubkou překrytí.



Obr. 2 Pohled na zrna modelu při simulaci oedometrické zkoušky.



Obr. 3 Drcení zrn, rozpad zrna menší kusy.

Dále byl model s kulovitými zrn vylepšen o možnost porušování zrn, a to buďto drcením nebo abrazí. Drcení zrn je podobně jako u polyhedronů simulováno rozpadem koulí na menší části při překročení pevnosti zrna ekvivalentním von Misesovým napětím. Naproti tomu abraze je reprezentována snížením poloměru zrn při překročení maximálního kontaktního napětí.

Model s kulovitými zrn byl nejprve testován na simulaci oedometrické zkoušky [3], poté aplikován i na simulaci jednoho pražcového pole.

## Závěr

V uplynulém roce se podařilo dokončit obě varianty modelu a identifikovat základní parametry pomocí oedometrické zkoušky. Do budoucna je plánována aplikace modelu na simulaci dalších experimentů, hlavně takových, kdy dochází k interakci pražce a stěrkového tělesa. K tomu plánujeme využít propojení diskrétní metody (pro štěrk) a spojitého modelu pomocí konečných prvků (pro pražec). Takovéto spojení umožní efektivní práci s oběma typy materiálů [4].

## Literatura

- [1] ELIÁŠ, J. Simulation of railway ballast using crushable polyhedral particles. *Powder Technology*, 2014, vol. 246, p. 458–465.
- [2] HERTZ, H. Ueber die berührung fester elastischer körper (on the contact of rigid elastic solids). *J. Reine Angew. Math.*, 1882, vol. 92, p. 156–171.
- [3] LIM, W., et al. Discrete element modelling of railway ballast. *Granular Matter.*, 2005, vol. 7, no. 1, p. 19–29.
- [4] STRÁNSKÝ, J., et al. Open source DEM-FEM coupling. In BISCHOFF, M., et al. (ed.). *1237-1251: Particles*. 2013, p. 1237–1251.