



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



NÁRODNÍ
PLÁN OBNOVY



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Rozpojování zemin, energetická náročnost a modelování rozpojování zemin pracovním nástrojem a numerické simulace řešení

Stroje pro zemní práce – QZE

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Fakulta strojního inženýrství

Vysoké učení technické v Brně



FAKULTA ústav automobilního
STROJNÍHO a dopravního
INŽENÝRSTVÍ inženýrství





Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



NÁRODNÍ
PLÁN OBNOVY



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

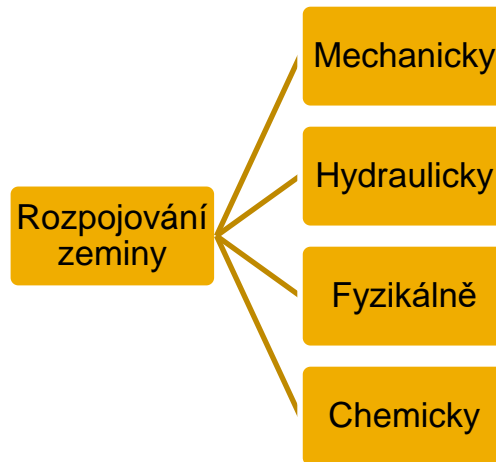
Rozpojování zemin a jejich energetická náročnost



FAKULTA ústav automobilního
STROJNÍHO a dopravního
INŽENÝRSTVÍ inženýrství

Rozpojování zeminy lze provádět těmito základními způsoby:

- **Mechanickým:**
 - Podíl na těžbě činí 80 – 85% .
 - Rozpojovací proces probíhá bezprostředním působením pracovního nástroje na masiv (řezání, vrtání). Měrná spotřeba energie 0,05 – 0,3 kWh/m³.
- **Hydraulickým:**
 - Podíl na těžbě 7 – 8%.
 - Zemina je rozrušována kinetickou energií proudu vody. Měrná spotřeba energie 0,2 – 4 kWh/m³.



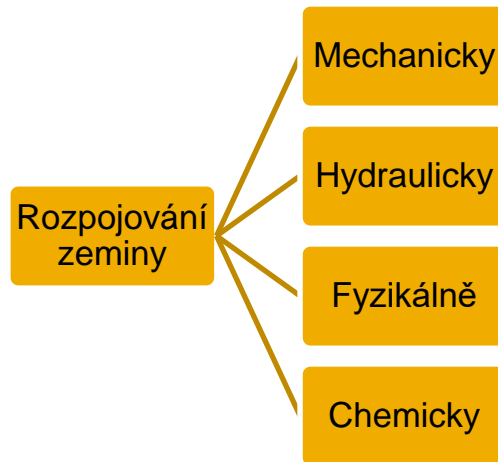
Fyzikálně:

Podíl na těžbě 1 – 3%.

Měrná spotřeba energie 0,8 – 1,1 kWh/m³. Rozpojovací proces je typu explozivního, pomocí vysokofrekvenčního proudu, termické rozpojování, ultrazvukové rozpojování.

Chemicky:

Chemickým působením se těžební materiál převádí do tekutého či plynného stavu



Silové účinky mezi zeminou a nástrojem

5

Znalost silových účinků působících v procesu rýpání mezi zeminou a nástrojem zemního stroje je nutná z hlediska:

- optimálního řešení tvaru nástroje
- dimenzování jednotlivých částí stroje

Tyto silové účinky jsou závislé na celé řadě faktorů a časově proměnná rypná síle je funkcí:

$$\mathbf{F}(t) = f(\mathbf{Z}, \mathbf{N}, \mathbf{T}, \mathbf{v})$$

charakteristika zeminy

$$\mathbf{Z} = f_1(\varphi_1, c, \rho, w)$$

φ_1 ...úhel vnitřního tření zeminy, c ...koheze zeminy, ρ ...objemová hmotnost zeminy, w ...vlhkost zeminy.

parametry nástroje

$$\mathbf{N} = f_2(\mathbf{n}, \gamma, \mathbf{z}, \mathbf{o})$$

\mathbf{n} ...tvar nástroje, γ ...úhel řezu, \mathbf{z} ...počet zubů, \mathbf{o} ...otupení nástroje

parametry třísky

$$\mathbf{T} = f_3(\mathbf{h}, \mathbf{b}, \mathbf{s}, \mathbf{S})$$

\mathbf{h} ...tloušťka třísky, \mathbf{b} ...šířka třísky, \mathbf{s} ...počet a druh bočních břitů, \mathbf{S} ...průřez třísky

parametr rychlosti rozpojování

\mathbf{v}

Silové účinky mezi zeminou a nástrojem

6

V případě řezání zemin jednoduchým ostrým hladkým nožem bude horizontální složka řezného odporu působící na břit nástroje:

$$F_h = \iint dF(d, z) \quad [N]$$

Na elementární plošku $dl \cdot dz$ působící normální tlaková síla bude:

$$dN = \sigma_n \cdot dl \cdot dz \quad [N]$$

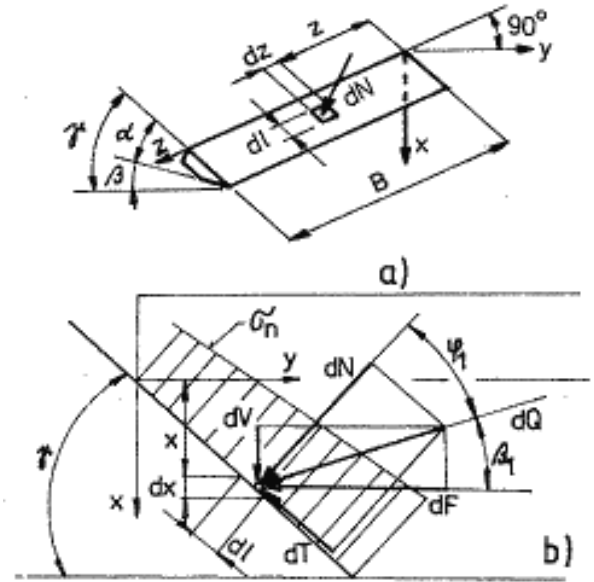
a odpovídající tečná síla

$$dT = dN \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 \quad [N]$$

bude-li úhel tření zemin o nůž φ_1 .

Výslednice těchto elementárních sil je $dQ = \frac{dN}{\cos \varphi_1}$

a její vodorovný průmět: $dF_h = dQ \cdot \cos \beta_1 \quad [N]$



Kde po dosazení získáme

$$dF = \frac{\cos \beta_1}{\sin \gamma \cdot \cos \varphi_1} \cdot \sigma_n \cdot dx \cdot dz = (1 - c^0 \cdot \operatorname{tg} \varphi_1) \cdot \sigma_n \cdot dx \cdot dz \quad [N]$$

Řezná síla je v čase proměnná a její průběh je závislý na charakteru třísky odebírané zeminy.

Tvar třísky a její vliv na průběh řezné síly

V průběhu rozpojovacího procesu je řezná síla proměnná v čase a její průběh je také závislý na charakteru třísky odebírané zeminy.

Rozeznáváme tyto základní druhy třísek:

- písčité
- plynulé
- usmýkávané
- vylamované

Čím je zemina tvrdší a křehčí, tím je amplituda průběhu řezné síly větší.

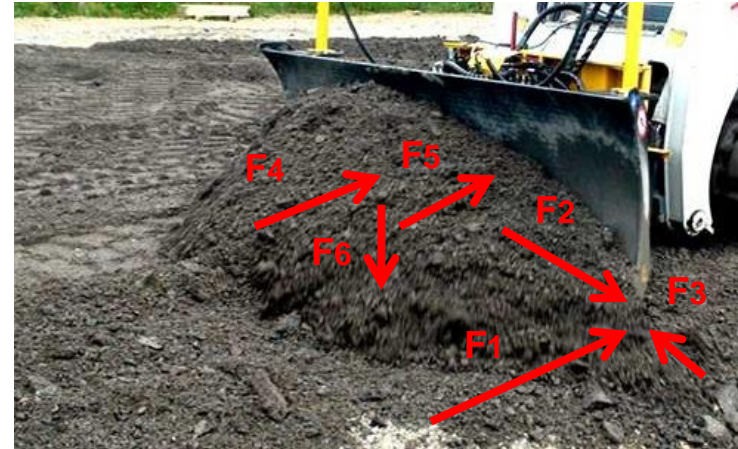
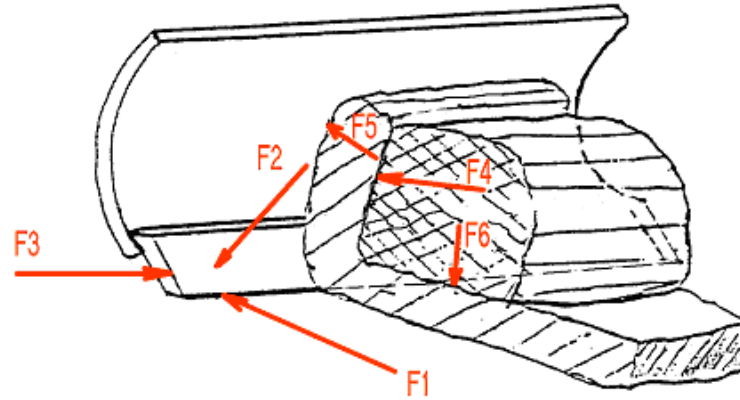


Složka řezného odporu

9

U složitých nástrojů jsou silové účinky v průběhu rozpojovacího procesu mezi nástrojem a zemínou komplikovanější o další vlivy, které jsou charakterizovány těmito odpory:

- odpor vnikání břitu do zeminy F_1 ,
- odpor čelní plochy nástroje F_2 ,
- odpor tření bočních stran nástroje o zeminu F_3 ,
- odpor tření oddělované vrstvy zeminy o zeminu hrnutou nástrojem F_4 ,
- odpor tření oddělené zeminy o nástroj F_5 ,
- odpor tření hrnutého hranolu zeminy F_6 .





Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



NÁRODNÍ
PLÁN OBNOVY



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

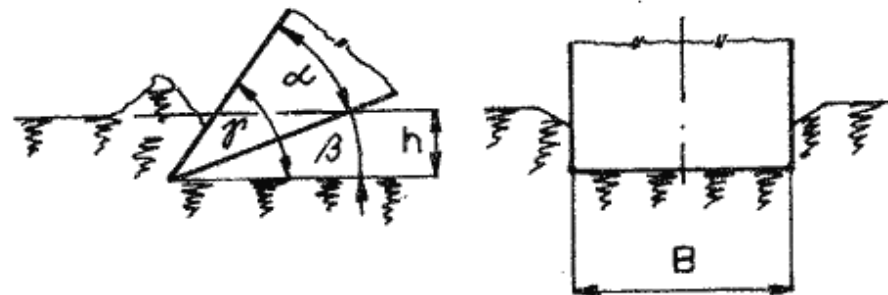
Řezný proces vodorovného a svislého nože



FAKULTA ústav automobilního
STROJNÍHO a dopravního
INŽENÝRSTVÍ inženýrství

Základními nástroji jsou:

- vodorovný hladký nůž
- svislý hladký nůž



Spojení vodorovného a svislého vznikne řezný obvod, který je základem řezné části lopatových nástrojů. Řezný obvod je hladký nebo se zuby. V případě použití zubů se sníží řezný odpor o 10 až 20%.

Geometrie nástroje:

- úhel řezu γ , významně ovlivňuje spotřebu energie a proto jsou vhodné co nejmenší ($20^\circ - 40^\circ$)
- úhel břitu α , vzhledem na tuhost ($20^\circ - 30^\circ$)
- úhel hřbetu β , zabraňuje tření spodní plochy nástroje o zeminu, k němuž by docházelo vlivem pružné deformace zeminy. ($3^\circ - 8^\circ$)

Řezný proces je charakterizovaný plochým tvarem třísky, která vzniká oddělením části zeminy od rostlého masivu vlivem překročení smykové pevnosti.

Pohybem nástroje vzniká před jeho čelní stěnou **prostorový stav napjatosti** a za stavu mezní rovnováhy dochází ke vzniku **smykových rovin**, jejichž sklony a dané úhly jsou závislé na:

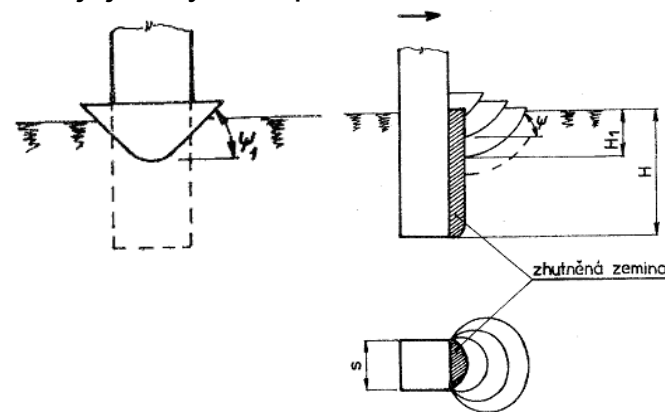
- druhu zeminy,
- úhlu γ ,
- na tloušťce třísky s (mm).

Řezný proces svislého nože se od vodorovného nože liší v tom, že hloubka záběru je větší než šířka řezu.

Řezný proces je charakteristický tím, že před čelní plochou svislého nože vzniká prostorový stav napjatosti závislý na šířce nože.

Vzniklé napětí v zemině není schopno vyvolat její usmyknutí v plné hloubce záběru a proto řezný proces se dělí na dvě části:

- v horní části – je tvořen z volného povrchu v důsledku převýšení její smykové pevnosti – smykové rozpojování
- dolní části – rozpojování tlakovému - tlakové rozpojování



Vliv šířky při konstantní hloubce a konstantním úhlu řezu:

Při zmenšování šířky řezu se h_b zmenšuje až do určité hodnoty šířky a při dalším zmenšování šířky řezu se hloubka bočního rozšíření nemění.

Vztah pro výpočet kritické hloubky řezu:

$$h_{\text{krit}} = 74 \cdot \sqrt{b}$$

Vliv hloubky řezu při konstantní šířce a konstantním úhlu řezu:

Při zvětšování hloubky řezu se hloubka bočních rozšíření zvětšuje až do určité hloubky řezu a při dalším zvětšování se hloubky bočního rozšíření nemění.

Vztah pro výpočet kritické hloubky řezu:

$$h_{\text{krit}} = (2,5 \approx 4) \cdot b$$

2,5 ...pro výpočet plastické zeminy s větší kohezí

4 ...pro skalní zeminy



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



NÁRODNÍ
PLÁN OBNOVY



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Výpočet řezných a rypných odporů pracovních nástrojů



FAKULTA ústav automobilního
STROJNÍHO a dopravního
INŽENÝRSTVÍ inženýrství

Výpočet odporů rypného a řezného procesu v [N].

Řezání udává závislost odporu zeminy na směru řezného odporu a na ploše odebírané třísky.

$$R_{\text{cut1}} = k_{\text{cut}} \cdot S$$

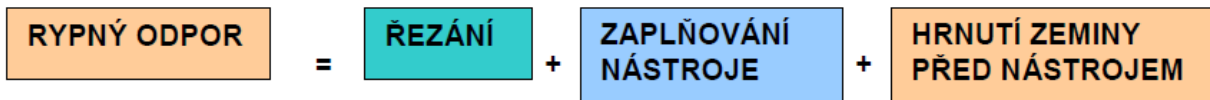
Při zjištění měrného rypného odporu se bere zřetel na další dva odpory:

- odpor zaplňování nástroje,
- odpor hrnutí před nástrojem.

$$R_{\text{scr1}} = k_{\text{scr}} \cdot S$$

Celkový pracovní proces při těžení zeminy:

$$R_{\text{scr}} = R_{\text{cut}} + S \cdot k_A + V \cdot \rho_v \cdot g \cdot f_1$$



Řezný odpor elementárního svislého nože

17

Řezný odpor elementárního svislého nože

$$R_{\text{cut1}} = 5000 \cdot C \cdot h^{1,35} \cdot (1 \pm 10 \cdot b) \cdot \left(1 - \frac{90^\circ - \gamma}{180^\circ}\right) \cdot k_\beta$$

Výpočet řezných odporů elementárního řezného nože bere ohled na tyto vlivy:

velikost řezného úhlu γ - při zmenšování řezného úhlu se řezné odpory snižují což vyjadřuje vztah:

$$\left(1 - \frac{90^\circ - \gamma}{180^\circ}\right)$$

vliv šířky nože b – při šířce nože jiné než $b = 0,01 \text{ m}$ je zapotřebí základní rovnice pro výpočet řezných odporů korigovat vztahem:

$$(1 \pm 10 \cdot b)$$

kde pro:

$b > 0,01 \text{ m}$ platí rovnice $(1 + 10 \cdot b)$

$b < 0,01 \text{ m}$ platí rovnice $(1 - 10 \cdot b)$

vliv úhlu zaostření čela nože - pokud je úhel zaostření menší než $\beta_F < 180^\circ$ dochází k určitému snižování řezných odporů a tento vliv je vyjádřen korekčním součinitelem k_β

Řezný odpor elementárního svislého nože

Vliv vlastností těžené zeminy – se zjišťuje počtem rázů nutných k zahloubení razníku o **délce 100 mm** a průřezu **1 cm²** . (Penetometr)

Vliv hloubky řezu – experimentálně byla zjištěna mocninná závislost mezi řeznými odpory a hloubkou řezu, která je v rovnici vyjádřena členem **$h^{1,35}$** .

Řezný odpor nástroje ve tvaru řezného obvodu bez zubů

Řezný odpor nástroje ve tvaru řezného obvodu bez zubů:

$$R_{\text{cut1}} = 5000 \cdot C \cdot h^{1,35} \cdot (1 + 2,6 \cdot B) \cdot (1 \pm 3 \cdot b) \cdot (1 + 0,0075 \cdot \gamma) \cdot k'_\beta \cdot \mu \quad [\text{N}]$$

Výpočet řezného odporu nástroje ve tvaru řezného obvodu bez zubů je složen dvěma svislými noži o šířce $b = 0,01 \text{ m}$ s úhlem zaostření čela nože $\beta_F = 180^\circ$ a vodorovného nože s úhlem $\gamma = 20^\circ$ bere při vázaném způsobu řezání zřetel na tyto vlivy:

- Vliv šířky bočních nožů – je menší než v případě samostatného svislého nože a je vyjádřena vztahem :

$$\text{kde pro: } (1 \pm 3 \cdot b)$$

$$b > 0,01 \text{ m platí rovnice } (1 + 3 \cdot b)$$

$$b < 0,01 \text{ m platí rovnice } (1 - 3 \cdot b)$$

- Vliv šířky řezu – vyjádřen ve vztahu: $(1 \pm 2,6 \cdot b)$
- Vliv řezného úhlu γ - jestli je $\gamma > 20^\circ$ zavádí se do rovnice člen vyjadřující zvýšení řezného odporu

$$(1 + 0,0075 \cdot \gamma)$$

Řezný odpor nástroje ve tvaru řezného obvodu bez zubů

Vliv zaostření čelních ploch bočních nožů experimentálně vyjádřen k'_β

Vliv způsobu řezání třísky – vázaný, polovázaný a volný. Tento vliv je experimentálně zjištěn součinitelem μ , který je závislý na šířce řezu. Při malých šířkách nástroje a volném nebo polovázaném způsobu se snižuje.

Řezný odpor nástroje ve tvaru řezného obvodu bez zubů

$$R_{\text{cut1}} = 5000 \cdot C \cdot h^{1,35} \cdot (1 + 2,6 \cdot B) \cdot (1 + 0,0075 \cdot \gamma) \cdot z$$

Výpočet řezných odporů řezných obvodů se zuby bere zřetel na vlivy:

- v důsledku použití zubů se vliv bočních nožů na řezný odpor ve výpočtu zanedbává.
- vliv čelních ploch bočních zubů a úhel zaostření β_F v důsledku použití zubů se zanedbává
- vliv způsobů řezání třísky – součinitel $\mu = 0$ (zanedbává se)
- vliv působení zubů je v rovnici vyjádřen součinitelem z a zkouškami bylo zjištěno, že závisí na šířce řezu B a na poměru $\frac{a}{b}$ a jestliže je poměr jiný než $\frac{a}{b} = 2,5 \div 3$ tak je nutno zkorigovat.

Řezný odpor nástroje ve tvaru řezného obvodu bez zubů

Parametry a součinitelé:

C... počet úderů penetrometrem DORNII

h... hloubka řezu [m]

B... celková šířka řezu [m]

b ... šířka bočních nožů [m]

γ ... řezný úhel [°]

k_{β} ... součinitel vlivu zaostření elementárního svislého nože [-]

k'_{β} ... součinitel vlivu zaostření čelních ploch bočních nožů [-]

μ ... součinitel způsobu řezání třísky [-]

z ... součinitel zahrnující vliv působení zubů v řezném obvodu se zuby [-]

S... plocha odebírané třísky [m²]

k_A ... součinitel odporu třísky při vstupu do nástroje [-]

ρ_V ... objemová hmotnost zeminy v rozpojeném stavu

f_1 ... součinitel vnitřního tření zeminy [-]

V ... objem zeminy hrnuté před nástrojem [m³]



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



NÁRODNÍ
PLÁN OBNOVY



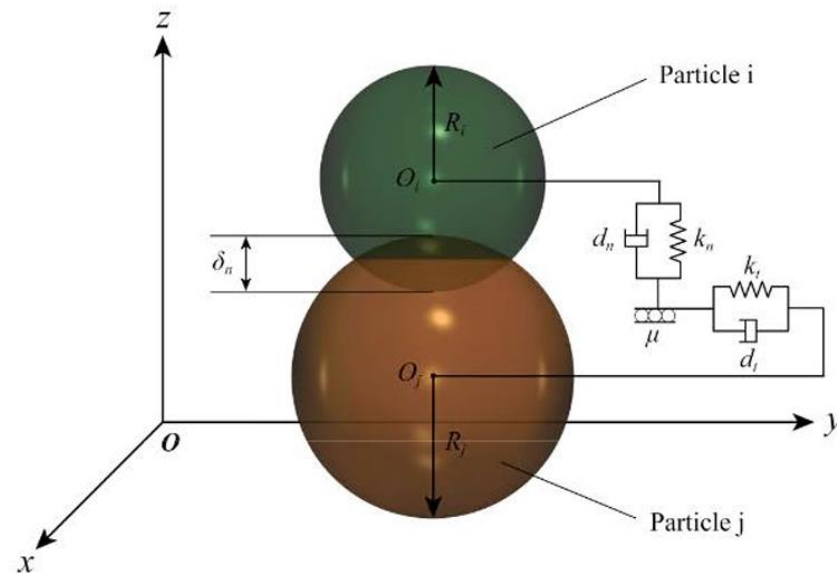
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

**Aplikace metody diskrétních elementů (DEM)
na modelování rozpojování zemin (SW EDEM)**



FAKULTA ústav automobilního
STROJNÍHO a dopravního
INŽENÝRSTVÍ inženýrství

- Metoda diskretních prvků (DEM) = každý prvek je sledován samostatně
- Metoda založena na Newtonových pohybových rovnicích a modelech kontaktních sil
- Modelování zrnitých a nespojitých materiálů
- Časový krok simulací je doporučen ze závislosti mechanických a rozměrových vlastnostech částic (typicky v řádech 10^{-4} až 10^{-6} sekundy)
- Lze připojit i modely opotřebení (Archard, Oka, relativní normálové a tečné)
- Zadávané parametry:
 - Mechanické vlastnosti (modul pružnosti v tahu a ve smyku, Poissonův poměr, hustota)
 - Součinitele vlastností při kontaktu částice/částice a částice/geometrie (koeficient tření, koeficient restituce, koeficient valivého odporu)



CHEN, Zhiquan, Xin TONG a Zhanfu LI. Numerical Investigation on the Sieving Performance of Elliptical Vibrating Screen. Processes [online]. 2020, 8(9) [cit. 2024-08 27]. ISSN 2227-9717. Dostupné z: doi:10.3390/pr8091151

WEERASEKARA, N.S., M.S. POWELL, P.W. CLEARY, L.M. TAVARES, M. EVERTSSON, R.D. MORRISON, J. QUIST a R.M. CARVALHO. The contribution of DEM to the science of comminution. Powder Technology [online]. 2013, 248, 3-24 [cit. 2024-08-30]. ISSN 00325910. Dostupné z: doi:10.1016/j.powtec.2013.05.032

Newtonovy pohybové rovnice

25

- Rovnice translačního pohybu:

$$m_i \frac{d\vec{v}_i}{dt} = \sum_{i=1}^{n_i} (\vec{F}_{snij} + \vec{F}_{stij} + \vec{F}_{dnij} + \vec{F}_{dtij}) + \sum_{i=1}^{n_i} \vec{F}_{ncip} + \vec{F}_{fi} + m_i \vec{g}$$

- Podmínka třecí síly:

$$F_{ctij} \leq F_{cnij} \mu$$

- Rovnice rotačního pohybu

$$I_i \frac{d\vec{\omega}_i}{dt} = \sum_{i=1}^{n_i} (\vec{T}_{tij} + \vec{T}_{rij})$$

https://help.altair.com/edem/topics/creator_tree_physics/the_hertz_mindlin_no_slip_model_r.htm

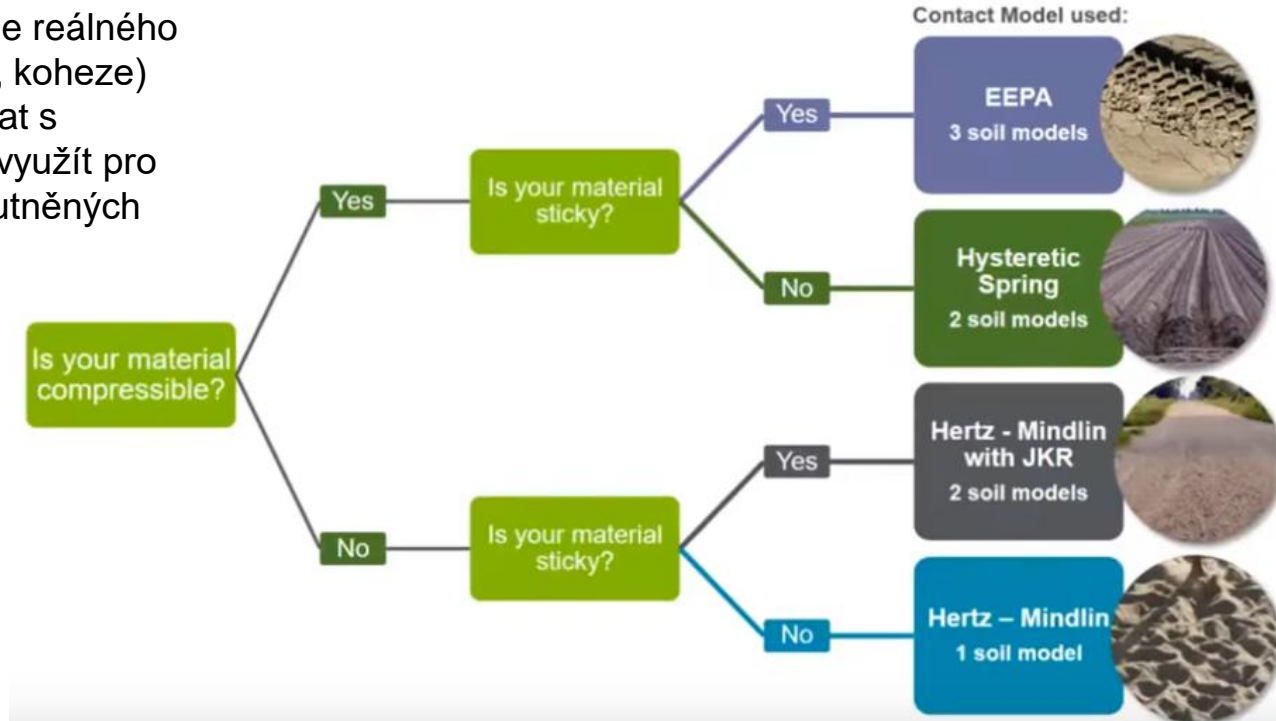
JIMÉNEZ-HERRERA, Narcés, Gabriel K.P. BARRIOS a Luís Marcelo TAVARES. Comparison of breakage models in DEM in simulating impact on particle beds. *Advanced Powder Technology* [online]. 2018, 29(3), 692-706 [cit. 2024-07-18]. ISSN 09218831. Dostupné z: doi:10.1016/j.apt.2017.12.006

ZHU, H.P., Z.Y. ZHOU, R.Y. YANG a A.B. YU. Discrete particle simulation of particulate systems: Theoretical developments. *Chemical Engineering Science* [online]. 2007, 62(13), 3378-3396 [cit. 2024-08-27]. ISSN 00092509. Dostupné z: doi:10.1016/j.ces.2006.12.089

DEM modely zemin

26

- Normálové a smykové síly jsou vypočítány podle zvolené kontaktního modelu
- Kontaktní model lze vybrat podle reálného chování materiálu (stlačitelnost, koheze)
- Kontaktní modely lze kombinovat s modelem Bonding, který se dá využít pro modelování silně slepených zhutněných zemin či hornin

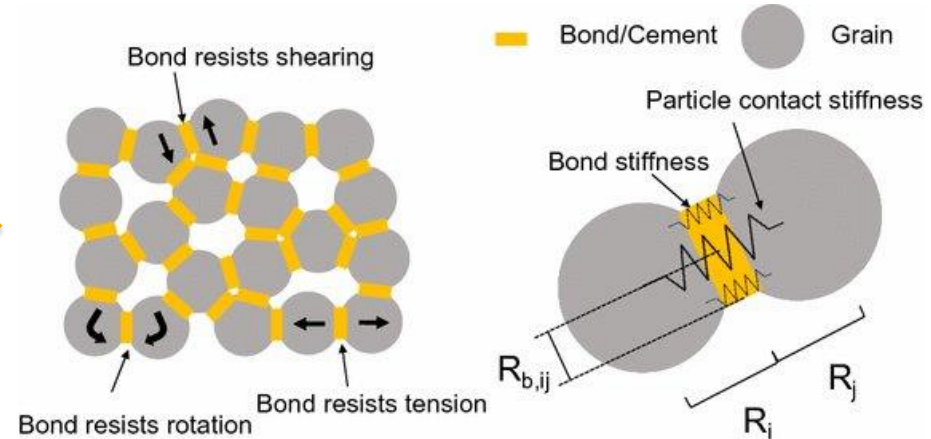


Modelování pomocí BPM

27

- Chování mikrostruktury minerálů jako vázaného celku:
 - Soustava zrn
 - Adheze na pomezí zrn
 - Paralelní zapojení vazeb (částice jsou v kontaktu)

Diorit



<https://geology.com/rocks/diorite.shtml>



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



NÁRODNÍ
PLÁN OBNOVY



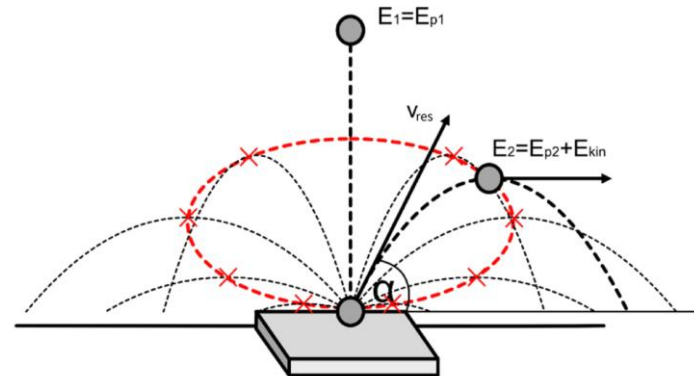
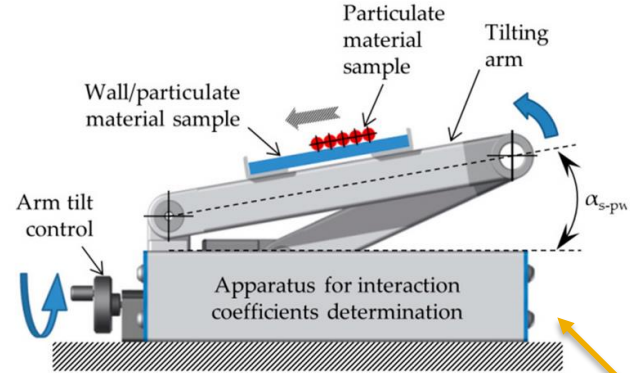
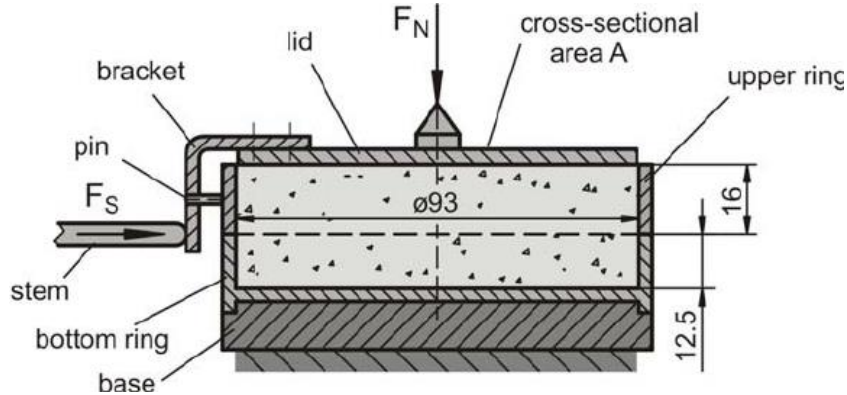
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Měření a kalibrace DEM modelů zemin a klasifikace zemin



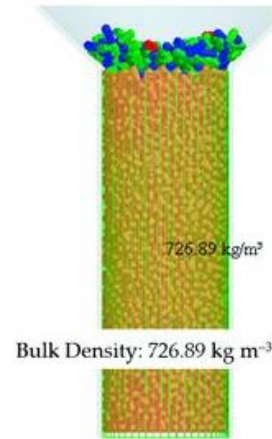
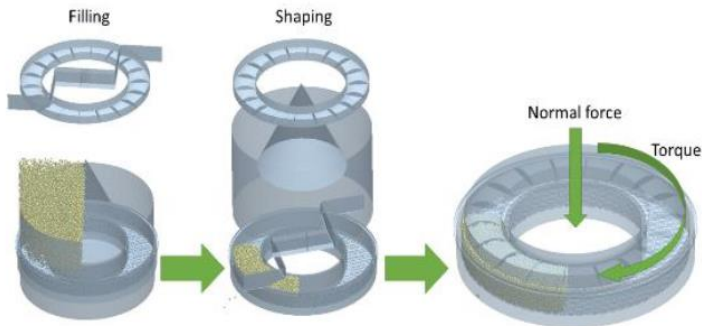
FAKULTA ústav automobilního
STROJNÍHO a dopravního
INŽENÝRSTVÍ inženýrství

- Potřebné fyzikální vlastnosti:
 - Poissonův poměr částice/geometrie
 - Hustota částice/geometrie
 - Youngův modul pružnosti částice/geometrie
 - Součinitel tření částice-částice/geometrie
 - Koeficient restituce částice-částice/geometrie
 - Koeficient valivého tření částice-částice/geometrie



CENET
VŠB-TUO

- Kalibrační testy:
 - Statický/dynamický sypný úhel
 - Stlačitelnost
 - Rheometrická zkouška
 - Sypná hmotnost
 - Smykový přístroj (síla/moment)



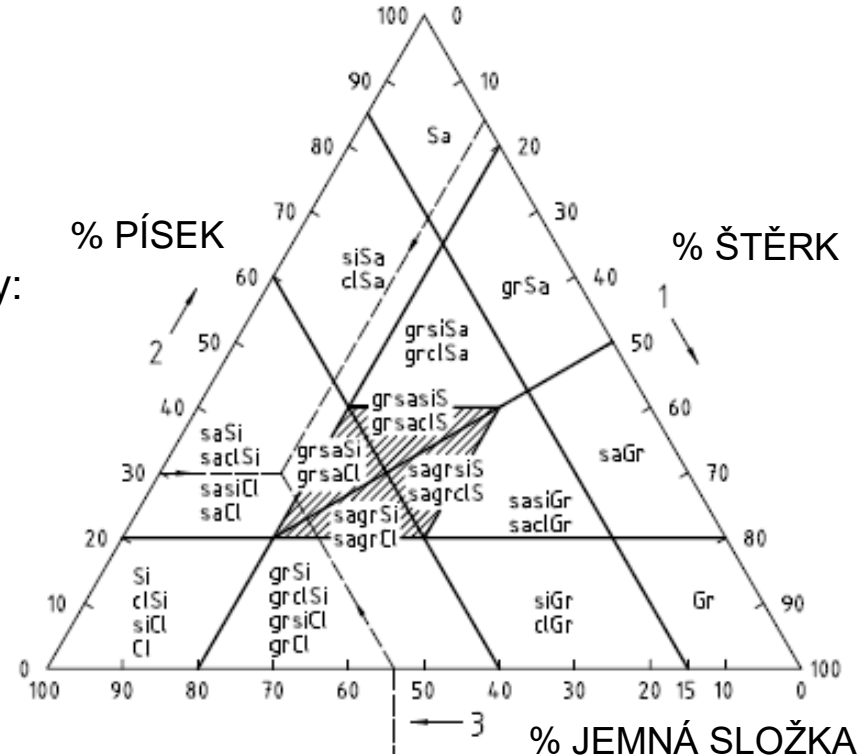
Bulk Density: 726.89 kg m^{-3}



Rozdělení a identifikace zemín

31

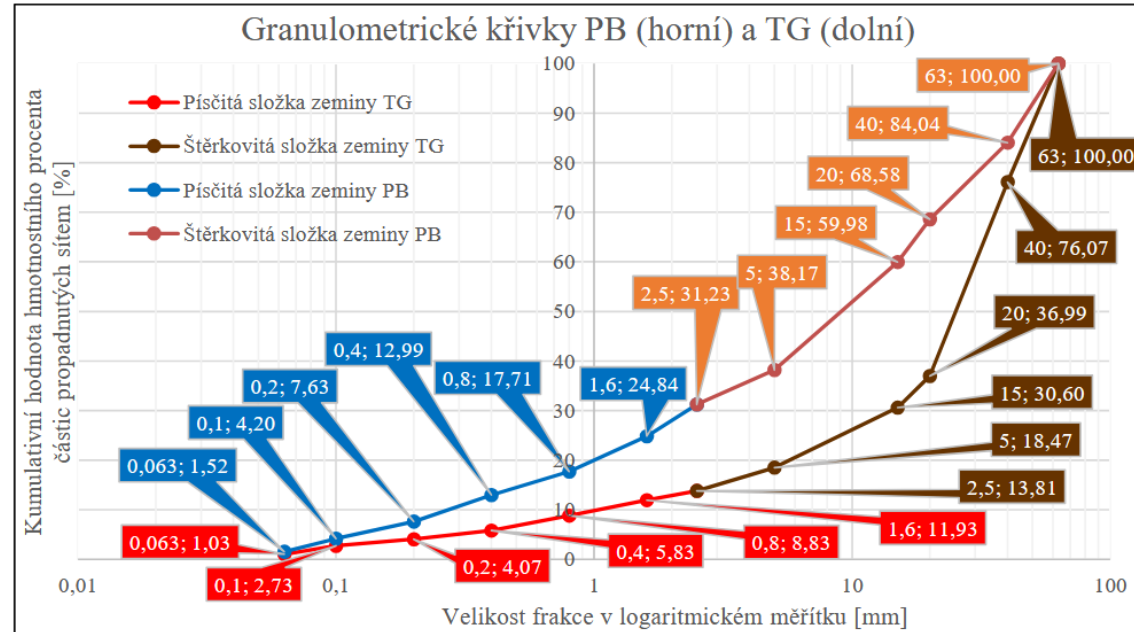
- Normy:
 - ČSN EN ISO 14688-1
 - ČSN EN ISO 14688-2: 2004
 - ČSN EN ISO 14688-2: 2018
- Norma ČSN EN ISO 14688: 2004 byla zrušená, avšak obsahuje klasifikační diagram
- Složení je dáno granulometrickou křivkou zeminy:
 - Štěrk: $2 \text{ mm} < X < 63 \text{ mm}$
 - Písek: $0,063 \text{ mm} < X < 2 \text{ mm}$
 - Jemná složka: $X < 0,063 \text{ mm}$



Rozdělení a identifikace zemin

32

- Normy:
 - ČSN EN ISO 14688-1
 - ČSN EN ISO 14688-2: 2004
 - ČSN EN ISO 14688-2: 2018
- Norma ČSN EN ISO 14688: 2004 byla zrušená, avšak obsahuje klasifikační diagram
- Složení je dáno granulometrickou křivkou zeminy:
 - Štěrk: $2\text{ mm} < X < 63\text{ mm}$
 - Písek: $0,063\text{ mm} < X < 2\text{ mm}$
 - Jemná složka: $X < 0,063\text{ mm}$





Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



NÁRODNÍ
PLÁN OBNOVY



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Praktická ukázka měření a kalibrace zemin pro DEM analýzy pracovního cyklu rypadla



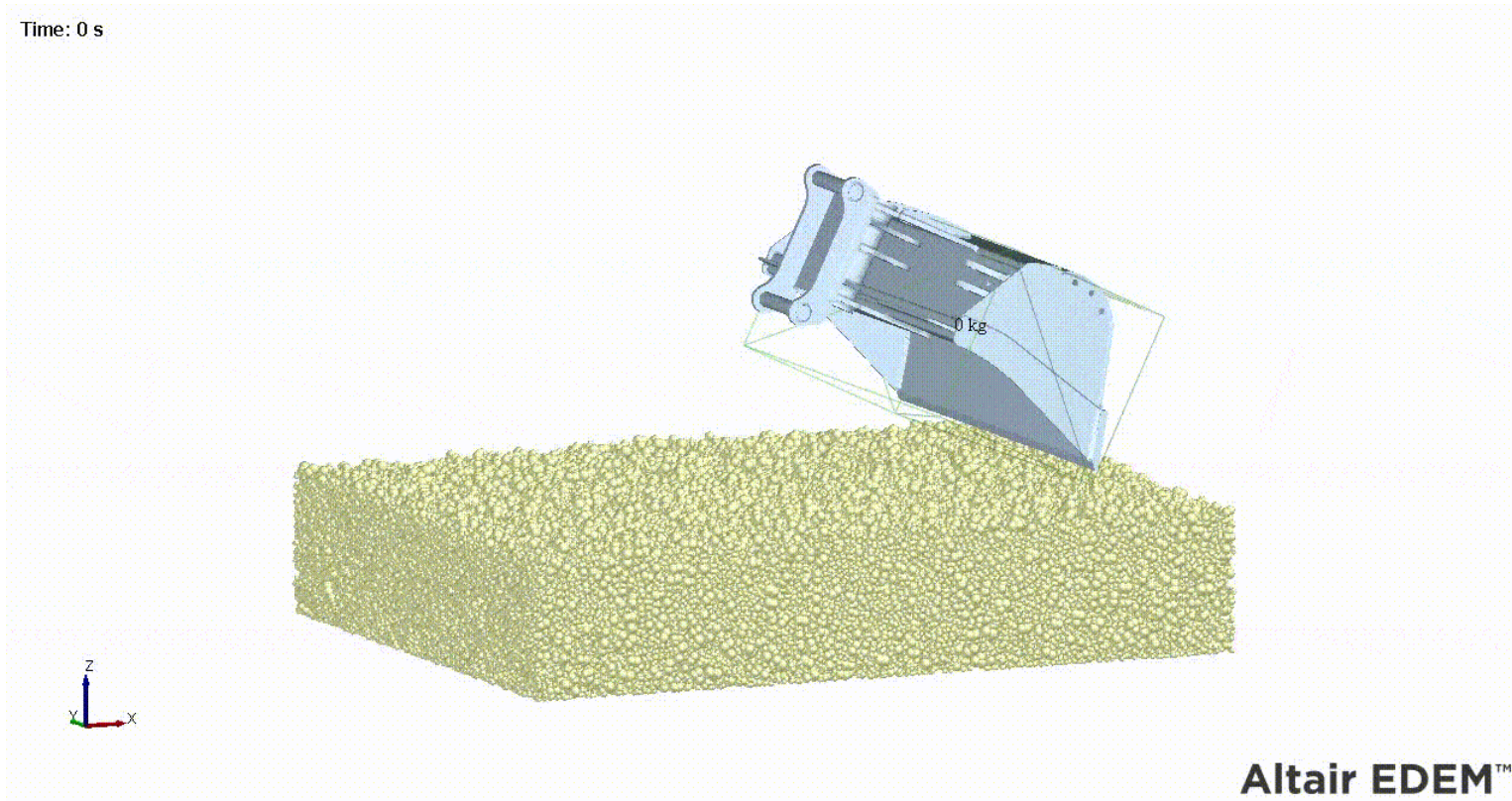
FAKULTA ústav automobilního
STROJNÍHO a dopravního
INŽENÝRSTVÍ inženýrství

Ukázka DEM-FEM analýzy lopaty rypadla

35

- [Pevnostní analýza lopaty rýpadla pomocí DEM-FEM simulace](#)

Time: 0 s

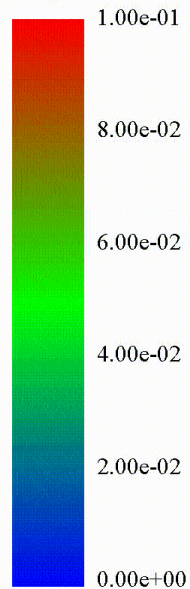


Altair EDEM™

Ukázka DEM-FEM analýzy lopaty rypadla

- Pevnostní analýza lopaty rýpadla pomocí DEM-FEM simulace

Time: 0 s
Tangential Cumulative Contact Energy (J)



Ukázka DEM-FEM analýzy lopaty rypadla

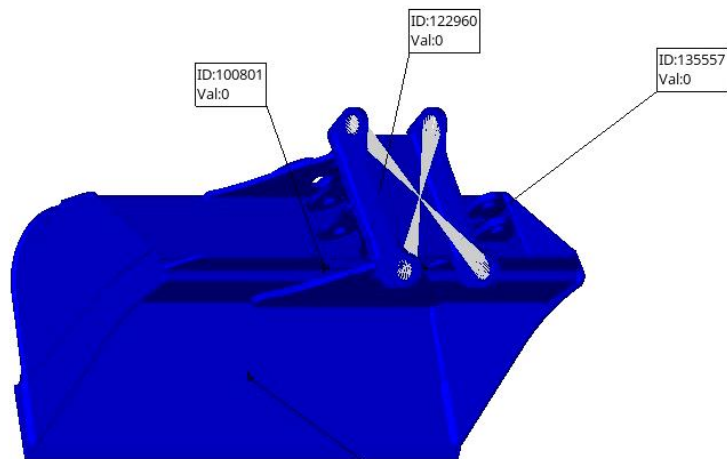
37

- [Pevnostní analýza lopaty rýpadla pomocí DEM-FEM simulace](#)

Contour Plot
Element Stresses (2D & 3D)(vonMises)
Analysis system
Simple Average

9.598E+07
8.532E+07
7.465E+07
6.399E+07
5.332E+07
4.266E+07
3.199E+07
2.133E+07
1.066E+07
0.000E+00
No Result

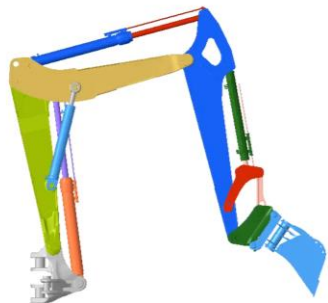
Max = 9.598E+07
Grids 62910
Min = 0.000E+00
Grids 22602



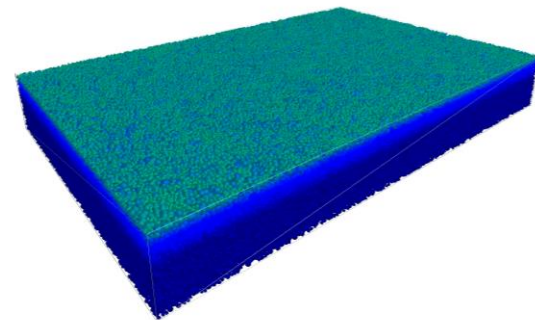
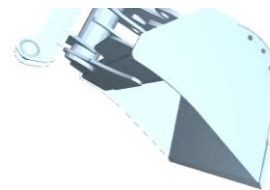
1. model
Subcase 1 : Time = 0.00000E+00 : Frame 1

Ukázka DEM-MBD kosimulace rypadla

- [Multifyzikální analýza pracovního cyklu rypadla pomocí DEM-MBD kosimulace](#)

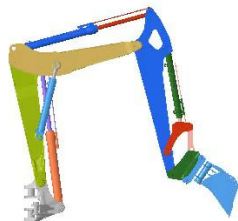


Time: 0 s

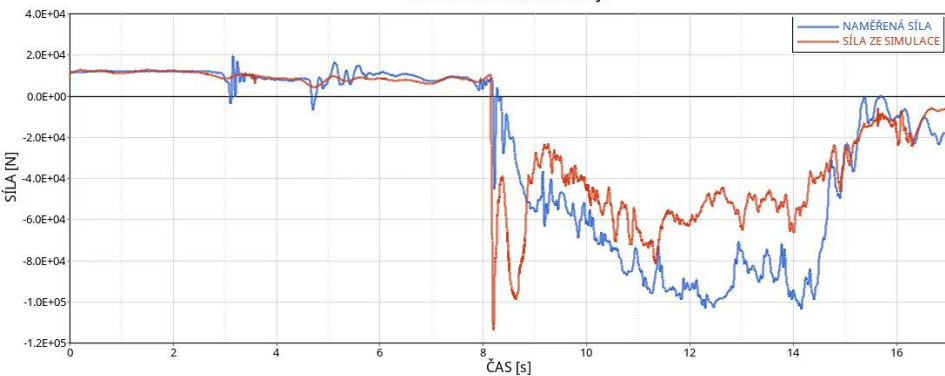


Ukázka DEM-MBD kosimulace rypadla

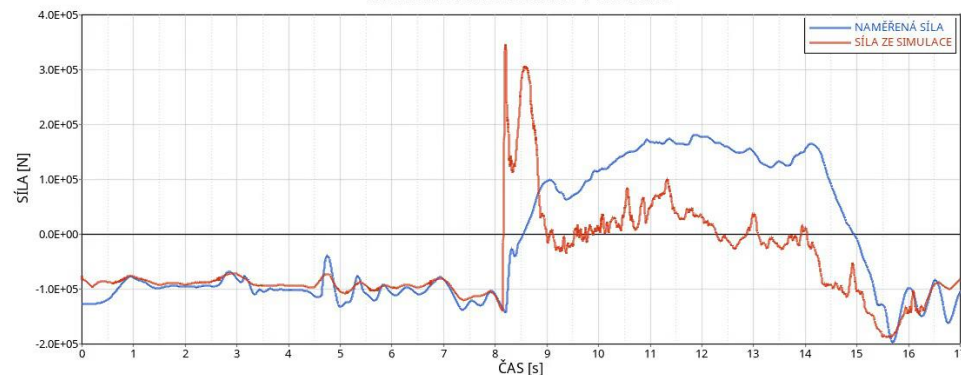
- [Multifyzikální analýza pracovního cyklu rypadla pomocí DEM-MBD kosimulace](#)



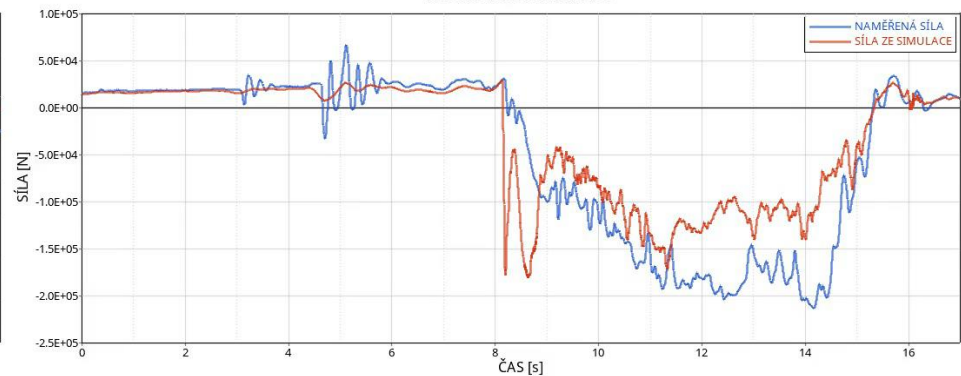
HYDROMOTOR NÁSTROJE



HYDROMOTOR SPODNÍHO VÝLOŽNÍKU



HYDROMOTOR NÁSADY





Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



NÁRODNÍ
PLÁN OBNOVY



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

DĚKUJI ZA POZORNOST

Vytvořeno v rámci projektu: Akcelerace zelených dovedností a udržitelnosti na VUT v Brně (NPO_VUT_MSMT-2143/2024-5)



+420 541 142 432

kasperek@fme.vutbr.cz

Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D.

Jiri.Fruhbauer@vutbr.cz

Ing. Jiří Frühbauer

Vysoké učení technické v Brně
Fakulta strojního inženýrství
Ústav automobilního a
dopravního inženýrství

FAKULTA ústav automobilního
STROJNÍHO a dopravního
INŽENÝRSTVÍ inženýrství