



Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Modelování v geotechnice – Metoda oddělených elementů
(prezentace pro výuku předmětu Modelování v geotechnice)

doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Inovace studijního oboru Geotechnika CZ.1.07/2.2.00/28.0009.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR.

METODA ODDĚLENÝCH ELEMENTŮ (DISTINCT ELEMENT METHODS-DEM)

- metoda modelování diskontinua
- autor metody – *Peter Cundall(1971)*: horninové prostředí je modelováno systémem tuhých bloků a kontaktů
- metoda je implementována do programového systému **UDEC** (1988)- do programu zavedena kvalitativní změna ve vývoji metody :zavedení deformovatelných bloků

Základní charakteristika programu UDEC (Universal Distinct Element Code)

- Modeluje interakci tuhých nebo deformovatelných bloků, dominantní je úloha diskontinuit
- Úloha o spolupůsobení bloku se svým okolím je řešena pro tak krátký časový okamžik, že impuls od jednoho bloku může být předán pouze na jeho kontakty, tedy interakci a pohyb sousedících bloků lze popsat explicitními rovnicemi

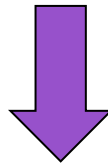
- Je zaveden proces postupného vyrovnávání nerovnovážného stavu bloků a kontaktů (tzv. *dynamická relaxace*)- umožňuje kopírovat reálný proces šíření impulsů v mechanických soustavách
- Metoda umožňuje zavedení geometrické nelinearity bloků a *respektování usmyknutí a separace bloků*

Mechanické chování bloků

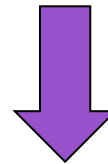
- Celá řešená oblast se rozdělí na bloky (provede se generace bloků a kontaktů) – tyto bloky mohou být reálné nebo fiktivní (např. rozhraní vrstev)
- Bloky mohou být *nedeformovatelné (tuhé) nebo plně deformovatelné*
- Pro řešení *uvnitř deformovatelných bloků* je aplikována metoda konečných diferencí
- Pohyb bloků je zcela obecný- *translační i rotační*

Základní postup metody oddělených elementů

Ve každém výpočetním cyklu se řeší *dynamická rovnováha*



Neznámými veličinami jsou *rychlosti v uzlech zón*, které jsou počítány v libovolném uzlu pomocí *Newtonova gravitačního zákona* $F=m.a$

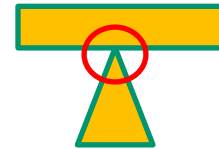


Při výpočtu poměrného přetvoření z rychlostí v uzlech, napětí z poměrného přetvoření a vnitřních sil z napětí se používá *metoda konečných diferencí*

Mechanické chování kontaktů

Druhy kontaktů bloků:

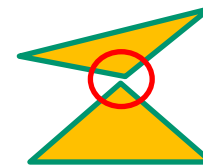
Roh-hrana



Hrana-hrana



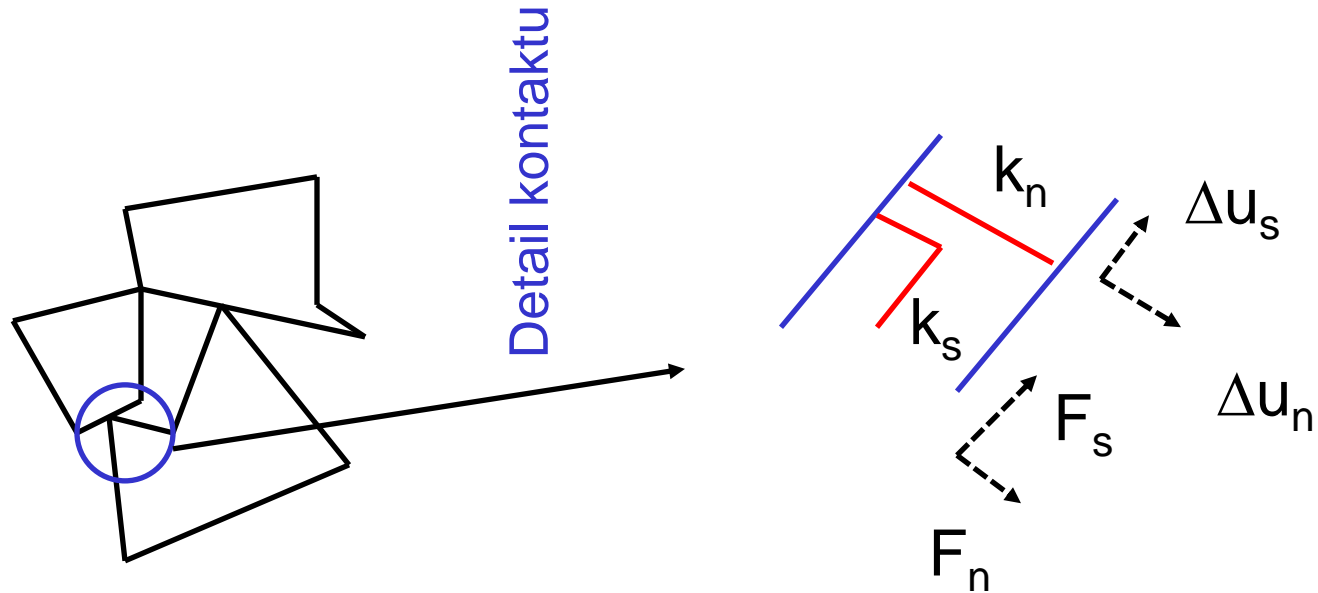
Roh-roh



Mechanické chování kontaktů, tj. jejich přetváření a porušení je modelováno pomocí pružin, které jsou charakterizovány normálovou a smykovou tuhostí.

Modelování v geotechnice – Metoda oddělených elementů

Schéma výpočtu meziblokových kontaktních sil v jednom výpočetním kroku



Změny kontaktních sil v jednom výpočetním kroku

(F_n – normálové síly, F_s – smykové síly):

$$F_n = F_n - k_n \Delta u_n$$

$$F_s = F_s - k_s \Delta u_s$$

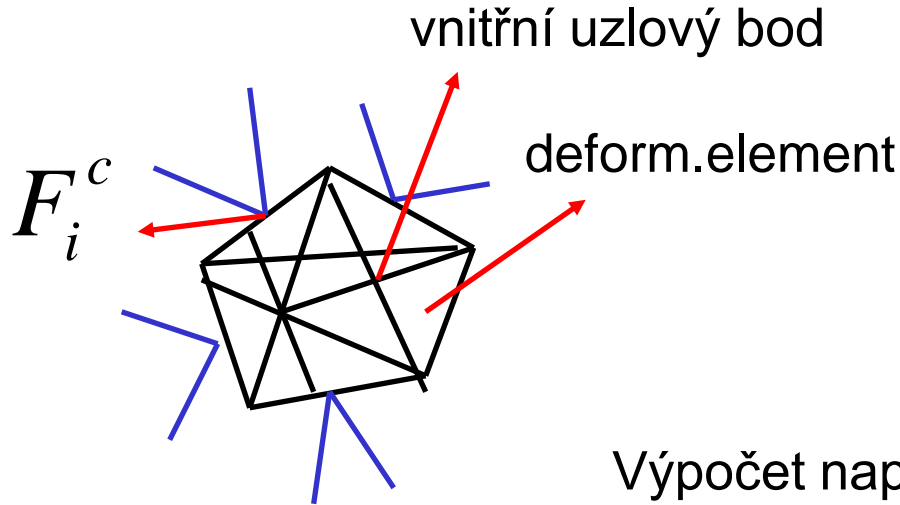
Δu_n – přírůstek normálových posunů

Δu_s – přírůstek tečných posunů

k_n - normálová tuhost kontaktu

k_s – smyková tuhost kontaktu

Výpočet sil v případě deformovatelných bloků (superponují se dále s meziblokovými silami)



v deformovatelných elementech
přírůstek přetvoření:

$$\Delta \varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{du'_i}{dx_j} + \frac{du'_j}{dx_i} \right) \Delta t$$

Výpočet napětí dle přijatého konstitutivního vztahu

$$\sigma_{ij} = c(\sigma_{ij}, \Delta \varepsilon_{ij}, \dots)$$

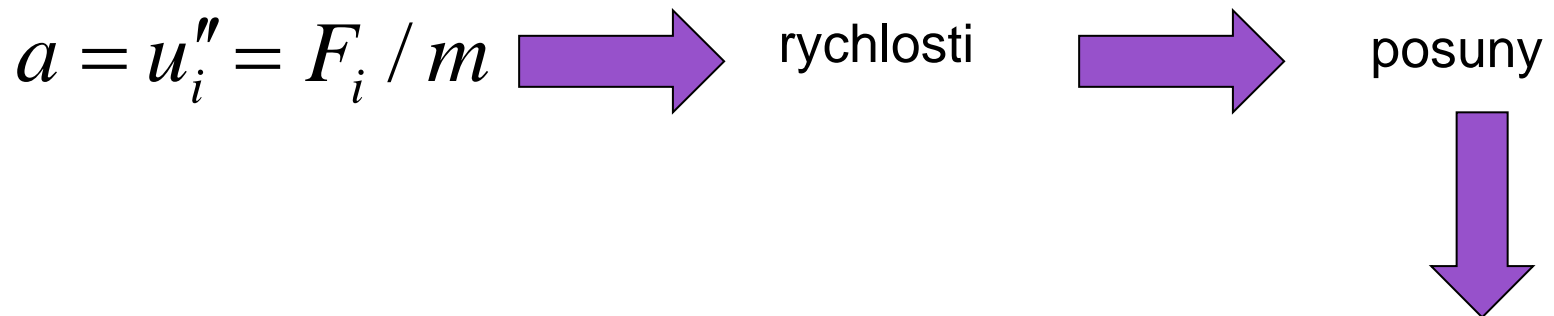
Modelování v geotechnice – Metoda oddělených elementů

v uzlových bodech pak pro síly F_i^e odpovídající deformaci bloků platí:

$$F_i^e = \int \sigma_{ij} n_j$$

Superpozice kontaktních sil od pohybu bloků F_i^c a deformace bloků F_i^e (pro nedeformovatelné bloky jsou tyto síly nulové):

$$F_i = F_i^e + F_i^c$$



Nevyvážené síly v daném kroku

Výpočet je opakován až do eliminace nevyvážených sil.

Modelování proudění kapalin v puklinách

Je využíván systém domén (oblastí), na něž jsou kontakty mezi bloky rozděleny. Domény jsou tedy definovány pomocí kontaktů. Každá doména je vyplněna tekutinou s konstantním tlakem a komunikace mezi sousedícími doménami se uskutečňuje přes kontakty. Tlakový rozdíl mezi sousedícími doménami vyvolá proudění.

Specifický průtok na 1 m šířky pukliny se v programu UDEC počítá podle kubického zákona tečení, který popisuje proudění vazké kapaliny mezi rovnoběžnými deskami, jež nemají vzájemný kontakt.

Hydraulické rozevření pukliny se určuje s přihlédnutím k deformaci kontaktu, což znamená, že v programu UDEC je propustnost puklin závislá na napjatosti masívu.

V každém časovém intervalu se vypočtou specifické průtoky u všech kontaktů.

Pak se modifikuje tlak v doménách s přihlédnutím k výslednému přítoku do domény a k objemovým změnám plošného obsahu domény.

Vypočtené nové tlaky kapaliny v doménách se připočtou k normálovým napětím kontaktů, a tím se promítnou do výpočtu kontaktních sil.

UDEC tedy řeší sdruženou mechanicko- hydraulickou úlohu, kde je deformace kontaktů závislá na tlaku kapaliny v puklinách a tlak kapaliny na deformaci puklin.

Shrnutí základních možnosti programového systému UDEC

- řešení statických a dynamických úloh pro nespojitě prostředí bloků a kontaktů s respektováním plastického tečení a porušení látek, včetně velkých deformací, smykání a separace bloků (např. skalní stěny apod.)
- modelování technologických procesů (výlom, skrývka) a výztužních prvků (kotvy, ostění)
- simulace průběhu tepelných procesů v puklinovém horninovém masívu

- modelování potenciálního proudění kapaliny v puklinách (proudění vody, proudění injektážních směsí atd.)
- řešení sdružené úlohy konsolidace
- řešení sdružených mechanicko-termálních úloh
- vyšší časová náročnost tvorby modelu, vyšší kvantitativní i kvalitativní požadavky na vstupní data (zejména z hlediska charakteristik kontaktů)