



Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Modelování v geotechnice – Úvod, typy modelů
(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.

Model

- je vždy více či méně přesná **aproximace** skutečného stavu
- nikdy **neumožňuje** zohlednit všechny detaily a skutečnosti, ale **musí vystihnout** podstatu a základní charakter chování modelované situace
- **modelování je pouze pomůckou inženýrské praxe**, vypovídací schopnost modelu závisí na zkušenostech a znalostech realizátora modelu, **nenahrazuje inženýrský úsudek**

Modelová aproximace může mít různý charakter:

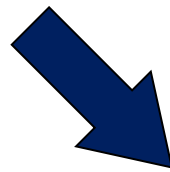
- hmotný charakter – fyzikální model
- virtuální, popsáný matematickými vztahy- matematický model

TYPY MODELŮ



MATEMATICKÉ

FYZIKÁLNÍ



NUMERICKÉ

ANALYTICKÉ

Fyzikální model

- založen na podobnosti fyzikálních jevů
- vytvoření hmotné aproximace reálné situace
- obvykle je vytvořen ve zmenšeném **měřítku**, měřítko závisí na konkrétní situaci, ale jeho vhodná volba je jedním ze základních aspektů vypovídací schopnosti modelu
- **výhody**: názornost chování, zejména průběhu porušování, možnost provádění monitorovacích měření na modelu
- **nevýhody**: pracná a nákladná tvorba modelu, prakticky neumožňuje parametrické analýzy

Základní typy fyzikálních modelů

- fotoelastické modely
- modely z ekvivalentních materiálů

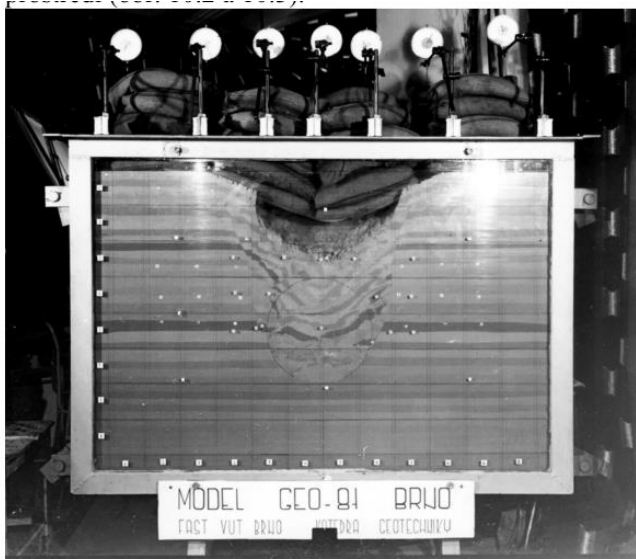
Fotoelastické modelování

- **Fotoelastometrie** – optická metoda zjišťování napjatosti v pružných tělesech
- Model je zhotoven z opticky citlivého, průhledného materiálu (např. sklo, celuloid apod.). Z optického hlediska jsou tyto látky při nulovém zatížení izotropní, při přetížení se chovají jako látka krystalická - tzv. vlastnost dočasného dvojlomu (úměrný rozdíl hlavních napětí)
- zatížený model je pak prosvěcován ve fotoelastickém přístroji polarizovaným světlem
- směr optických os dočasných krystalů je totožný se směrem hlavního napětí a konstantní hodnota dvojlomu paprsků vzniká v místech se stejným rozdílem hlavních napětí

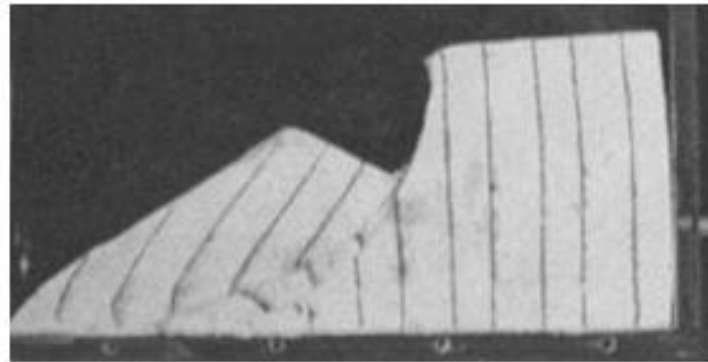
Fyzikální modely z ekvivalentních materiálů

- vycházejí z principu fyzikální podobnosti a dimenzionální analýzy
- jsou zkonstruovány z tzv. **ekvivalentních materiálů** – nemusí být identické jako reálné materiály, ale musí zajistit ekvivalentnost chování
- jako ekvivalentní materiály jsou využívány např. frakce písku, drobné skleněné kuličky, soudržnost je modelována přidáním oleje, parafínu, vody, ...

Ukázky fyzikálních modelů



autor: F. Nazari, VUT Brno, 1981



autor: Dewoolkar a kol., 2003

Fyzikální modelování s využitím centrifugy

- trend v oblasti testování chování materiálů
- metoda testování fyzikálních modelů, která umožňuje zvýšit gravitační zrychlení na úroveň, která odpovídá stavu, kdy je napětí v modelu rovno reálnému napětí



Matematický model

- chování modelované situace je popsáno matematickým způsobem (obvykle diferenciálními rovnicemi, jejich soustavami, okrajovými podmínkami, počátečními podmínkami, ...)
- **výhody:** méně pracné a časově méně náročné ve srovnání s fyzikálními modely, umožňují efektivně provádět parametrické analýzy, k dispozici velké množství specializovaných softwarů
- **nevýhody:** nehmotná podstata, není možno provádět na modelu žádná monitorovací měření, při nesprávné interpretaci výsledků a nedostatečném kritickém rozboru výsledků může docházet snadněji k nesprávným finálním závěrům

Každý matematický model je obecně charakterizován

- požadovaným výstupem modelu – výsledkem je vyhodnocení napětí v horninovém masívu i v konstrukci, zatížení konstrukce, vnitřní síly ve výztuži, přetvární chování, kvantifikace poklesové kotliny,
- předpoklady (omezují obvykle obecnou platnost metody, je třeba je zohlednit při interpretaci výsledků výpočtů)
- aplikovanou metodou (metoda rovnováhy sil, metody založené na teorii mechaniky kontinua, analytická metoda, numerická metoda atd.)
- konstitutivními vztahy a vstupními charakteristikami přijatých modelů
- charakterem a tvarem výstupu – uzavřený tvar (tvar funkce), hodnoty v diskrétních bodech, ...)

ANALYTICKÉ MATEMATICKÉ MODELY

ŘEŠÍ SOUSTAVU DIFERENCIÁLNÍCH
ROVNIC ANALYTICKÝMI PROSTŘEDKY
(NAPŘ. S VYUŽITÍM AIRYHO FUNKCE
NAPĚTÍ)

Výhody:

- malé nároky na přípravu vstupních dat
- krátká doba výpočtu
- výsledek dostáváme ve tvaru funkce

Nevýhody:

- větší míra zjednodušení daného modelu
(např. homogenní pružné prostředí,
jednoduché tvary podzemních děl, ..)

NUMERICKÉ VÝPOČETNÍ MODELY

PŘEVÁDÍ ŘEŠENÍ SOUSTAVY DIFERENCIÁLNÍCH ROVNIC NA ŘEŠENÍ SOUSTAVY ALGEBRAICKÝCH ROVNIC

Výhody:

- nutná menší míra zjednodušení - možno zahrnout vliv nehomogenity prostředí, vliv tvaru podzemního díla, různé konstitutivní modely apod.)

Nevýhody:

- vyšší časová náročnost přípravy vstupních dat
- delší doba výpočtu
- větší nároky na hardware (operač. paměť, kapacitu disku)
- řešení dostáváme nikoliv ve tvaru funkce, ale ve tvaru hodnot v diskrétních bodech sítě

ZÁKLADNÍ TYPY NUMERICKÝCH METOD MODELOVÁNÍ

METODA KONEČNÝCH PRVKŮ
FEM-FINITE ELEMENTS METHOD

METODA HRANIČNÍCH PRVKŮ
(INTEGRÁLŮ)
BEM- BOUNDARY ELEMENTS METHOD

METODA KONEČNÝCH DIFERENCÍ
FDM-FINITE DIFFERENCE METHOD

METODA ODDĚLENÝCH ELEMENTŮ
DEM-DISTINCT ELEMENTS METHOD

metody modelování kontinua

diskontinuum