

**Karel VOJTASÍK<sup>1</sup>**

## **SLEDOVÁNÍ VÝVOJE ZAVALOVÁNÍ NADLOŽÍ Z NESOUDRŽNÝCH ZEMIN NAD PODPOVRCHOVÝM PODZEMNÍM DÍLEM PO TECHNOLOGICKÉM NADVÝLOMU**

### **Abstract**

A ground caving goes with excavation of subterranean galleries especially those driven on shallow depth in loose materials. The ground overbreak accounts for as one of the chief cause of a ground caving that extends as far as the ground surface in many occurrences. The paper gets at the root of the relation between amounts of overbreak and ground caving along with considering other innate constituents being involved in. Outlined matter is investigated by mathematical discontinues model (program PFC2D) that matches up well with the loose ground material traits.

### **1 ÚVOD**

Technologický nadvýlom je objektivním jevem, který doprovází každou realizaci podzemního díla. Je jednou z hlavních příčin pohybů hornin nadloží, které nastávají v silně narušeném a zvětralém horninovém prostředí, nebo nesoudržných zeminách, obklopujících podzemní dílo.

Technologický nadvýlom je veškerý objem horniny, odebraný z horninového prostředí v procesu výlomu, nad rámec objemu, odpovídající projektované hrubé zabírce, který nebyl následně nahrazen (sanován), nýbrž byl vyplněn zavalujícím se horninovým materiálem.

Příčiny technologického nadvýlomu jsou obecně podmíněny technologií provádění díla. Například při ražbě tunelovacími štíty existují dvě okolnosti pro vytváření technologického nadvýlomu.

První je dána rozdílem mezi rozměry – průměrem profilu štítu, který je větší a průměrem ostění díla. Tento rozdíl není příliš velký, jeho hodnota se nemění a je obvykle sanován výplňovou injektáží prostoru mezikruží.

Druhá okolnost vytváření technologického nadvýlomu souvisí s postupem štítu a množstvím odtěžené horniny (zeminy) během tohoto postupu. Projektovaný objem postupu (zabírky) nemusí být vždy roven skutečně odtěženým objemům materiálu. V silně narušených a zvětralých horninách, v nesoudržných zeminách pod hladinou podzemní vody, nebo v plastických tlačivých zeminách zde mohou nastat značné rozdíly. Tento typ nadvýlomu již nelze kompenzovat a je zcela sanován materiálem z nadloží a boků z prostoru kolem aktuální polohy čela štítu. Materiál přitom může přicházet jak z oblasti před, tak i z oblasti za čelem štítu.

### **2 METODY STANOVENÍ POKLESŮ NAD PODZEMNÍMI DÍLY**

Chování hornin nadloží během výstavby podpovrchových podzemních děl je základním problémem, který je v projektové etapě řešen empiricky na základě známých poznatků (Peck), nebo exaktně výpočtovými metodami. Dnes nejběžnější výpočetní metodou uplatňovanou v geotechnické praxi je MKP. V případech podpovrchových děl umístěných v silně narušeném a zvětralém horninovém prostředí, nebo nesoudržných zeminách, stanovení vývoje chování nadloží touto metodou nemusí vést vždy k uspokojivým výsledkům. Hlavní příčinu lze spatřovat v numerickém modelu MKP, který je založen na předpokladu kontinuálního přetváření prostředí, což je v rozporu s charakterem prostředí. Tento rozpor je u MKP zjednodušeně řešen užitím konstitutivních vztahů, pomocí kterých lze dosáhnout stavu větších deformací bez nárůstu napětí (plastické přetváření), který může

---

<sup>1</sup> doc. Ing. Karel Vojtasík, CSc., Katedra stavební mechaniky, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Poděště 1875, Ostrava-Poruba, tel.: +420 597 321 947, e-mail: karel.vojtasik@vsb.cz.

formálně odpovídat stavu posunu částic nesoudržných materiálů. Tento přístup však pomíjí skutečné fyzikální zákonitosti, které determinují pohyby částic v partikulárních systémech. Spojitost deformací neumožňuje postihnout přeskupování elementů v nesoudržném prostředí, kdy jednotlivé elementy systému se změnou své polohy, zejména při velkých posunech, mění i své sousedy.

### 3 VÝPOČETNÍ DISKONTINUITNÍ MODEL PFC2D

Sledování vlivu technologického nadvýlomu na chování partikulárního nesoudržného prostředí - nadloží a povrchu terénu, je uskutečněno rovinným diskontinuitním výpočetním modelem – program PFC2D. Model představuje vertikální řez prostředím, ve kterém je umístěno kruhové dílo zajištěné tuhým ostěním (obr. 1).

Prostředí je modelováno souborem diskových elementů. Poloměry elementů a jejich poloha jsou generovány na základě rovnoměrného rozdělení. Předpoklad rovnoměrného rozdělení velikostí poloměrů elementů neodpovídá skutečným podmínkám. Početní zastoupení jednotlivých velikostí poloměrů by mělo být správně generováno podle skutečné křivky zrnitosti prostředí, i to je možné. Z technických příčin Tento zjednodušený přístup je zvolen z technických (výpočetních) příčin. Pokud by mělo být respektováno skutečné granulometrické zastoupení jednotlivých velikostí poloměrů elementů podle skutečné křivky zrnitosti, například šterku, počet elementů v modelu, s ohledem k jeho rozměrům (5 x 20 m), by řádově dosáhl hodnoty až 107.

Stav geostatické napjatosti je vypočten z tíhy elementů. Mezi jednotlivými elementy se předpokládá pouze tření, charakterizované součinitelem tření, který je v tomto případě odvozen z tangenty úhlu vnitřního tření prostředí.

Poloměr díla a hloubka jeho uložení pod povrchem terénu mohou být zvoleny v rozsahu rozměrů modelu. Rozměry modelu dávají možnost řešit situace podpovrchových děl, od neprůlezných profilů až do velikosti průřezů kolektorů inženýrských sítí, realizovaných bezvýkopovými technologiemi, mikrotunelováním nebo i klasickým báňským způsobem.

Nadvýlom je modelován odebráním elementů. Velikost nadvýlomu je zadána v % plochy kruhového díla. Prakticky je nadvýlom modelován odebráním elementů ležících na obvodu vně průřezu díla jak z jeho nadloží, tak i jeho boků podle schématu na obr.1. Pokud budou k známy poznatky o chování prostředí a tvorbě nadvýlomu kolem výrubu díla, například nadvýlom se bude tvořit pouze na jedné straně, je možné modelovat i podobné systémy vytváření nadvýlomu.

Vliv nadvýlomu na velikosti poklesů povrchu terénu je hodnocen na základě vývoje chování – pohybu (dráze a rychlosti pohybu) diskretních elementů, které leží na líně, představující povrch terénu.

### 4 VÝSLEDKY

Článek uvádí výsledky parametrického řešení fiktivní situace, charakterizované následujícími parametry:

- nesoudržné prostředí je modelováno rovinnou plochou o rozměrech, hloubka 5 m a šířka 20m, do které je generován soubor 6760 diskových elementů, jejichž poloměr se pohybuje v rozmezí od 0,025 do 0,05 m, s rovnoměrným zastoupením velikostí poloměrů; objemová tíha elementů  $\gamma = 25 \text{ kNm}^{-3}$ ; součinitel tření mezi elementy je roven 0,57, ( $\phi = 30^\circ$ )

- poloměr je díla 0,75 m
- výšky nadloží jsou 1,5 , 2,25 , 3,0 m
- hodnoty nadvýlomu jsou 5,0%, 7,5%, 10,0%, 15,0%, 20,0% a jsou počítány z plochy díla.

Sledovány jsou vertikální poklesy na linii povrchu terénu, na deseti diskretních elementech. Elementy jsou symetricky rozmístěny od bodu, ležícího nad vrcholem klenby díla. Rozteč rozmístění

elementů je 1m. U elementu, ležícího nad vrcholem klenby díla, je zaznamenán vývoj rychlosti jeho vertikálního pohybu.

Výsledky sledovaných závislostí jsou zpracovány a graficky prezentovány viz. obrázky 2, 3, 4, 5 a 6.

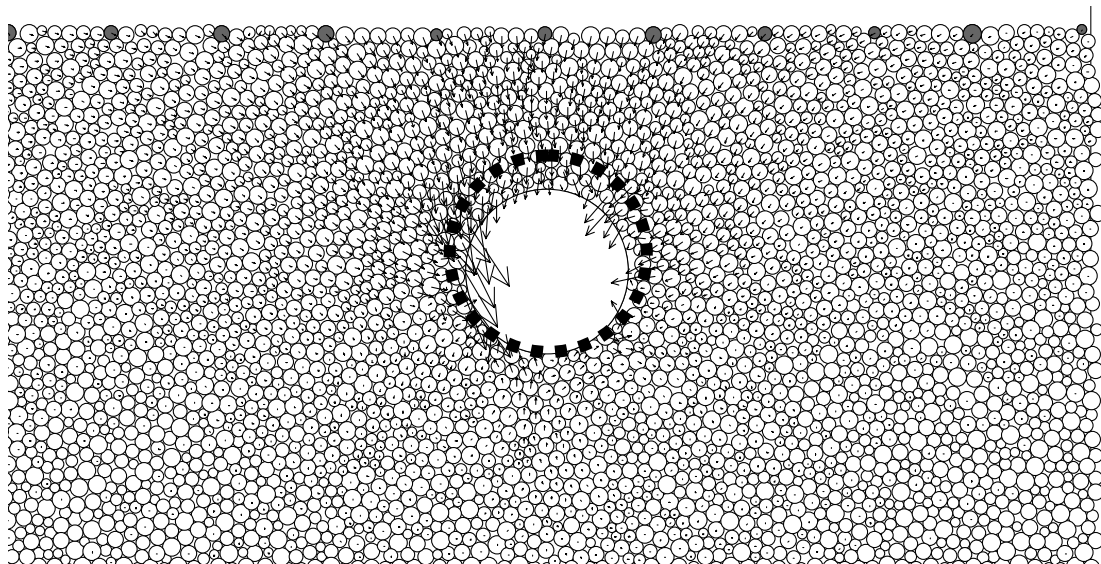
Obrázky č. 2, 3 a 4 jsou parametrickou studií, která graficky zachycuje vývoj hodnot poklesů nad podzemním dílem v závislosti na mocnosti nadloží díla a rozsahu nadvýlomu. Obrázek č. 5 uvádí srovnání vývoje hodnot poklesů nad podzemním dílem pro konstantní hodnotu nadvýlomu a proměnlivou mocnost nadloží. Poslední obrázek č. 6 uvádí tvary postupného vytváření poklesové kotliny nad dílem.

U všech prezentovaných závislostí výchozí nezávisle proměnnou je hodnota výpočetního cyklu. Výpočet byl ukončen po 3000 výpočetních cyklech, kdy došlo k dosažení stabilizace stavu sil mezi jednotlivými elementy modelu, tzn. došlo k trvalému ukončení pohybu elementů.

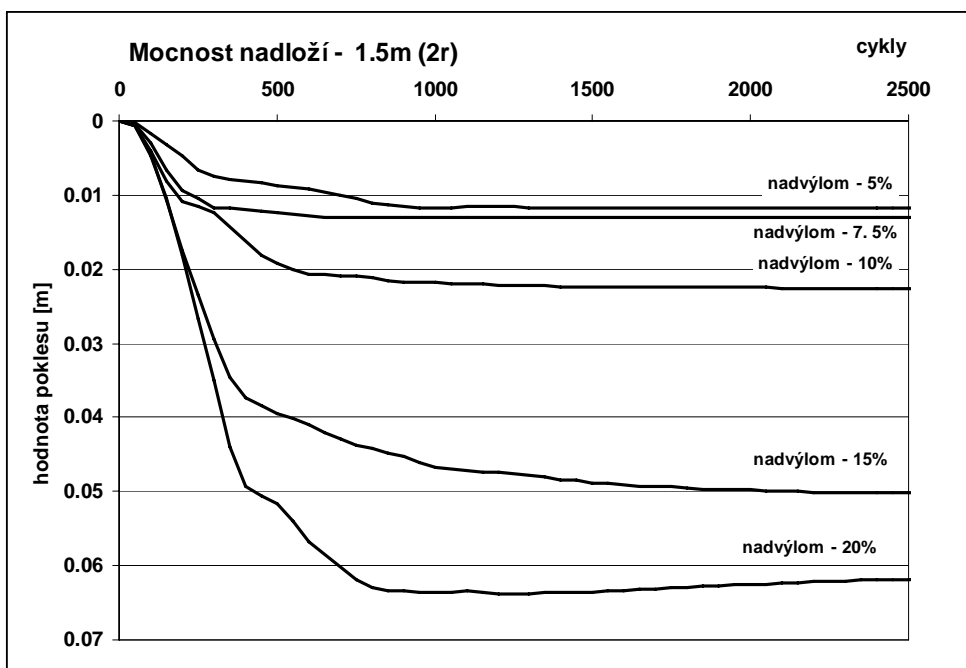
## 5 ZÁVĚR

Prezentované závislosti nemají zcela hladký průběh. Tato skutečnost vyplývá z charakteru diskontinuitního modelu, z diskrétního přenosu sil mezi elementy, měnícími se vazbami mezi sousedními elementy (uvolňování, uzavírání elementů) a nespojitých pohybů sousedních elementů, při změně silových vazeb (uvolňování) mezi sousedními elementy, kdy dochází k strukturálním změnám, při kterých elementy mohou být navzájem přeskupovány. Velikost náhlých změn v průbězích grafů je také ovlivněna granulometrickým složením, velikostí průměrů elementů a je odrazem jejich individuálního rozložení v prostředí. Pro jinou sestavu elementů, generovaných ze stejných vstupních podmínek, výsledky budou analogické, nikoliv však totožné.

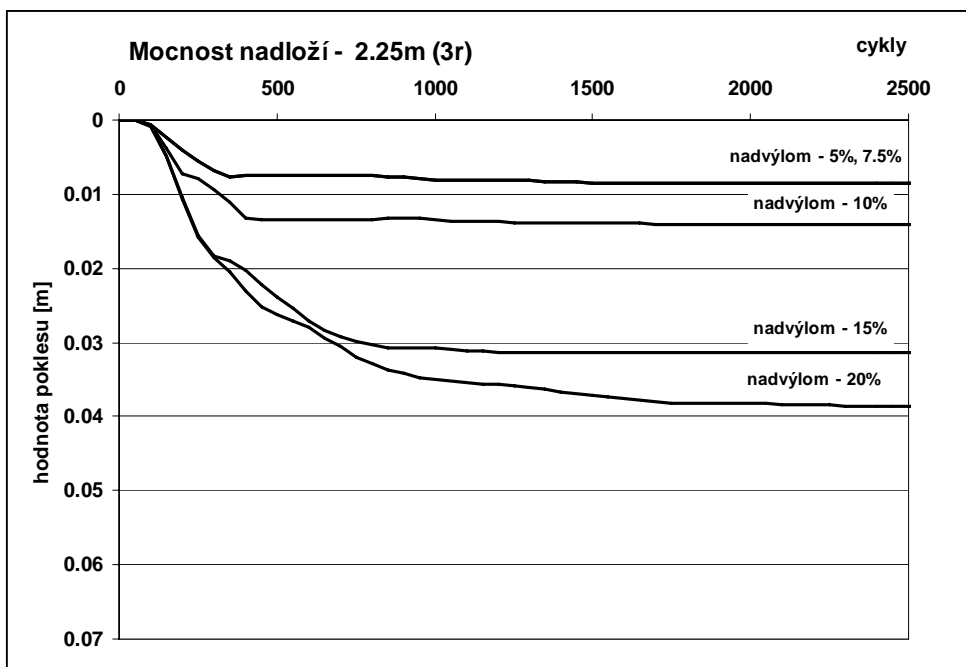
Řešení poklesů diskontinuitními modely nabízí možnost sledovat vývoj chování nesoudržných zemin v mimořádných situacích, kdy může docházet ke značným nadvýlomům, při kterých dochází velkému a rozsáhlému pohybu materiálu, charakterizovaným přeskupováním hmot.



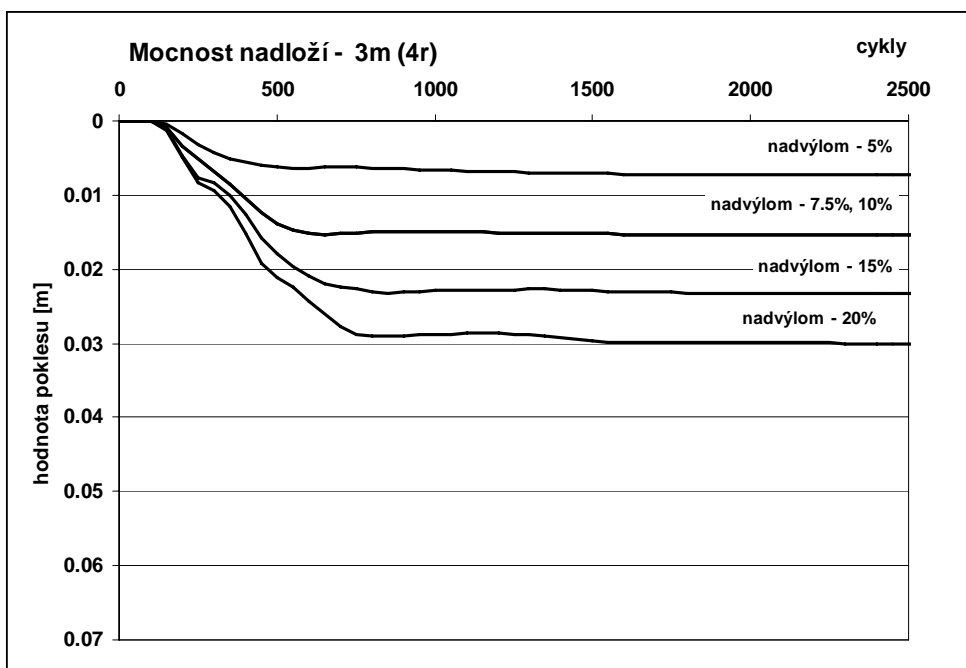
**Obr. 1:** Výpočetní model mocnost nadloží 1,5m, poloměr díla 0,75m – detail  
Schéma tvorby oblasti nadvýlomu. Plocha oblasti vymezené přerušovanou kružnicí představuje nadvýlom.



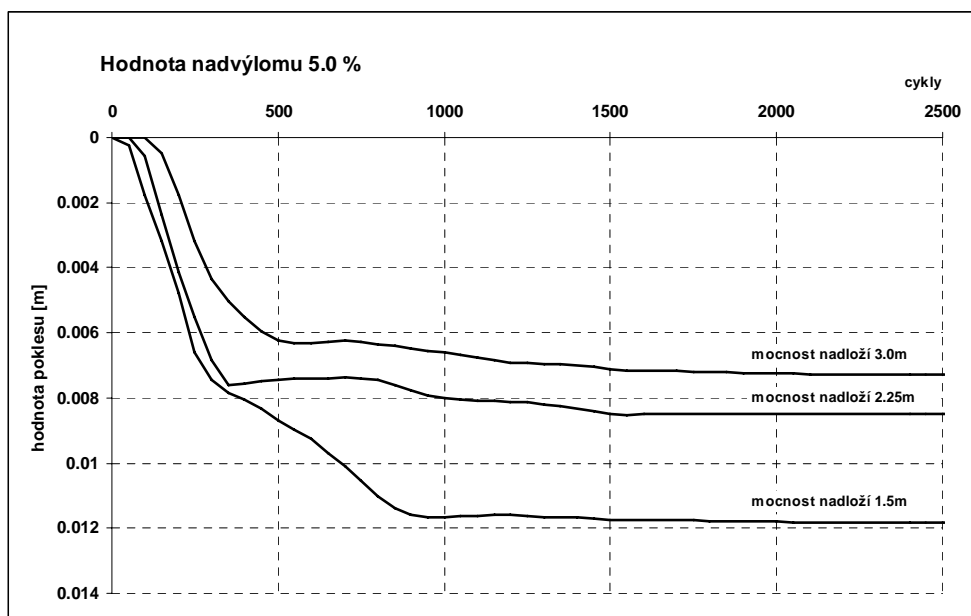
**Obr. 2:** Závislost vývoje poklesů na hodnotě nadvýlomu na povrchu terénu v bodě nad vrcholem díla (poloměr díla  $r = 0,75$ ).



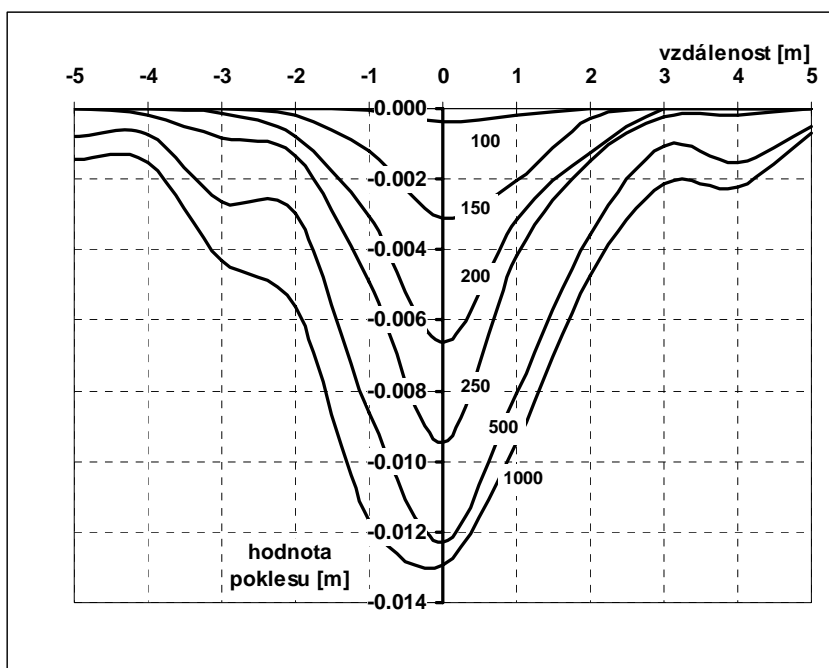
**Obr. 3:** Závislost vývoje poklesů na hodnotě nadvýlomu na povrchu terénu v bodě nad vrcholem díla (poloměr díla  $r = 0,75$ ).



**Obr. 4:** Závislost vývoje poklesů na hodnotě nadvýlomu na povrchu terénu v bodě nad vrcholem díla (poloměr díla  $r = 0,75$ ).



**Obr. 5:** Závislost vývoje poklesů na mocnosti nadloží na povrchu terénu v bodě nad vrcholem díla při konstantní hodnotě nadvýlomu (poloměr díla  $r = 0,75$ ).



**Obr. 6:** Závislost vývoje poklesové kotliny na výpočetním cyklu (poloměr díla 0,75m; mocnost nadloží 1,5m; hodnota nadvýlomu 7,5%).

## LITERATURA

[1] PFC 2D Manuals Itasca consulting Group, Inc.1999

**Oponentní posudek vypracoval:** Ing. Karel Franczyk, Ph.D.