

Sypaná hráz – výpočet ustáleného proudění

Program: MKP – Proudění

Soubor: Demo_manual_32.gmk

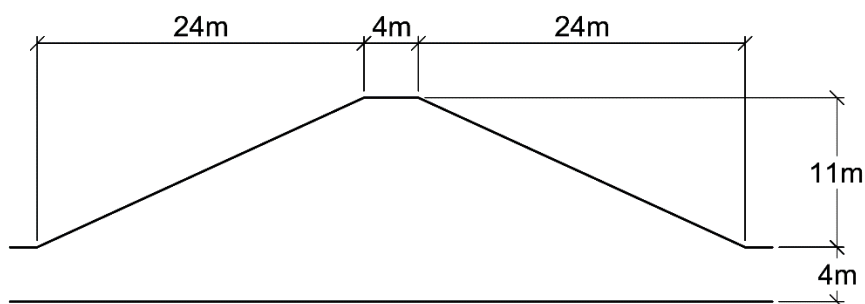
Úvod

Tento příklad ilustruje použití modulu GEO5 MKP – Proudění při analýze homogenní sypané hráze. Cílem analýzy je najít ustálený průběh hladiny podzemní vody v tělese hráze. Vstupy úlohy tvoří geometrie hráze, materiálové parametry zeminy a okrajové podmínky. Výsledkem analýzy je průběh hladiny podzemní vody v tělese hráze, rozdělení pórových tlaků a rozdělení filtračních rychlostí. V oblasti nad hladinou podzemní vody jsou vyčísleny hodnoty záporného pórového tlaku (sání). Pro propustné hranice modelu je vypočten celkový průtok podzemní vody.

Zadání úlohy

Výška hráze je 11 m, půdorysná šířka návodního i vzdušního svahu je 24 m, šířka koruny hráze je 4 m. Nepropustné podloží se nachází 4 m pod terénem, hladina podzemní vody u vzdušního svahu hráze 1 m pod terénem. Těleso hráze společně s podložím je tvořeno homogenním materiálem, který má hydraulické vlastnosti shodné ve svislém i vodorovném směru. Zemina byla zatříděna podle zrnitostní klasifikace USDA jako písčitá hlína.

Stanovte rozdělení pórových tlaků při výškách hladiny vody v nádrži 2 m, 9 m a 10,8 m od úrovně terénu a zjistěte, zda dojde k výronu vody u paty vzdušního svahu.



Geometrie řezu homogenní sypanou hrází

Řešení – zadání vstupních dat

Základní nastavení projektu, geometrie úlohy a materiálové parametry se zadávají v režimu topologie [Topo]. Zde se také vygeneruje síť konečných prvků. Okrajové podmínky se předepisují následně v jednotlivých výpočetních fázích [1], [2] a [3].

Nastavení projektu

V režimu Topo->Nastavení zvolíme *rovinný* typ úlohy a typ výpočtu *ustálené proudění*.

Poznámka: Pro možnost zobrazení širší nabídky vypočtených veličin zvolíme též Podrobné výsledky. S touto volbou program vykresluje nejen pole pórových tlaků a rychlostí, ale též hodnoty součinitele

relativní permeability, který charakterizuje hydraulickou vodivost v nenasycené zóně nad hladinou podzemní vody.

Charakteristiky úlohy Výpočtové normy Rozšířené možnosti programu

Geometrie úlohy: **Rovinná** Betonové konstrukce: **EN 1992-1-1 (EC2)**

Typ výpočtu: **Ustálené proudění**

Podrobné parametry generování sítě
 Podrobné parametry zemín
 Speciální modely zemín
 Podrobné parametry proudění
 Podrobné výsledky

Rám „Nastavení“

Geometrie řezu hrází

Pro tvorbu geometrie nám postačí definovat půdorysný rozsah modelu od 0 do 52 m a zadat jediné rozhraní s body na souřadnicích [0, 0], [24, 11], [28, 11] a [52, 0]. Hloubka modelu od nejhlubšího bodu rozhraní je 4 m a nastavuje se v okně *Rozsahy*.

Edited interface points

No.	x [m]	z [m]
1	0,00	0,00
2	24,00	11,00
3	28,00	11,00
4	52,00	0,00

OK Edit interface
Cancel

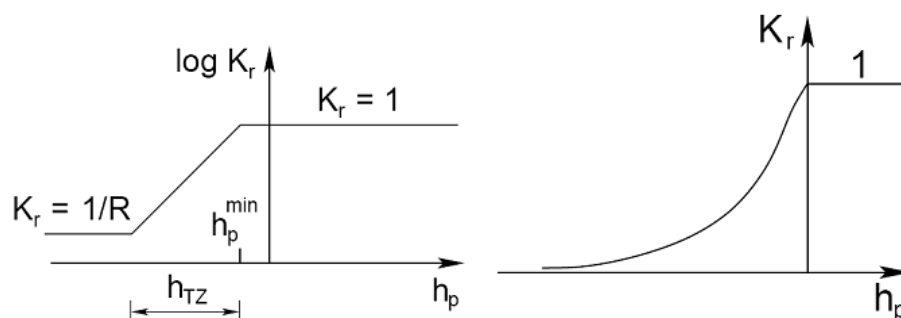
Materiál

Materiálové parametry zeminy by měly být získány z laboratorních zkoušek. V našem příkladu nebyly výsledky zkoušek k dispozici, proto použijeme orientační hodnoty parametrů odpovídající písčité hlíně. Orientační hodnoty jsou pro jednotlivé třídy zeminy uvedeny v nápovědě programu¹.

Typické hodnoty koeficientu filtrace a parametrů van Genuchtenova modelu pro písčitou hlínu odpovídají $k_{x,sat} = k_{z,sat} = 1,06$ m/den, $\alpha = 7,5$ a $n = 1,89$. Typická hodnota čísla pórovitosti pro tento typ zeminy je $e_0 = 0,7$.

Materiálové parametry zadané v rámu „Úprava vlastnosti zeminy“

Poznámka: Propustnost zeminy v nenasycené zóně nad hladinou podzemní vody je vyjádřena jako součin koeficientu filtrace v nasycené zóně K_{sat} a součinitele relativní permeability K_r , jehož hodnotu určuje tzv. model přechodové vrstvy. Tento model definuje závislost součinitele relativní permeability K_r na tlakové výšce (pórovém tlaku) h_p . Průběh této závislosti pro Log-lineární model přechodové vrstvy a van Genuchtenův model ukazuje následující obrázek.



Závislost relativního součinitele permeability na tlakové výšce pro log-lineární a van Genuchtenův model přechodové vrstvy

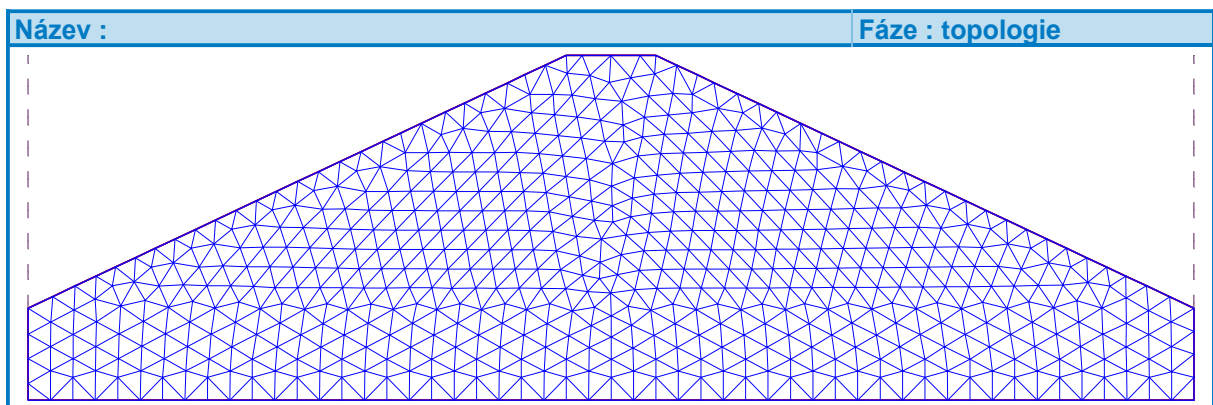
¹ <http://www.fine.cz/napoveda/geo5/cs/materialove-modely-proudzeni-01/>

Z obrázku je patrné, že pro kladnou tlakovou výšku – tedy oblast pod hladinou podzemní vody – je součinitel relativní permeability vždy konstantní a roven jedné. Proudění v oblasti pod hladinou podzemní vody tedy volbou modelu přechodové vrstvy není ovlivněno. V oblasti se zápornou tlakovou výškou (nad hladinou podzemní vody) stupeň nasycení zeminy klesá. Důvodem poklesu hydraulické vodivosti je skutečnost, že na vedení podzemní vody se podílí pouze nasycená část pórů, a proto s poklesem stupně nasycení klesá též relativní součinitel permeability.

Sít konečných prvků

V úloze jsou použity tříuzlové trojúhelníkové prvky, které jsou výchozí volbou v GEO5 MKP – Proudění. Pro použitou geometrii hráze je přiměřená velikost hrany prvku 1 m. Vzhledem k tomu, že jde o homogenní hráz, není nutné síť konečných prvků zahušťovat.

Poznámka: Zahuštění sítě je naopak nutné při detailnější geometrii obsahující relativně menší konstrukční prvky, jako jsou např. těsnění či drény. Se zapnutou možností Rozšířené zadávání bychom měli na výběr též smíšenou (troj- a čtyřúhelníkovou) síť.



Sít trojúhelníkových konečných prvků

Výpočetní fáze č. 1 – hladina ve 2 m

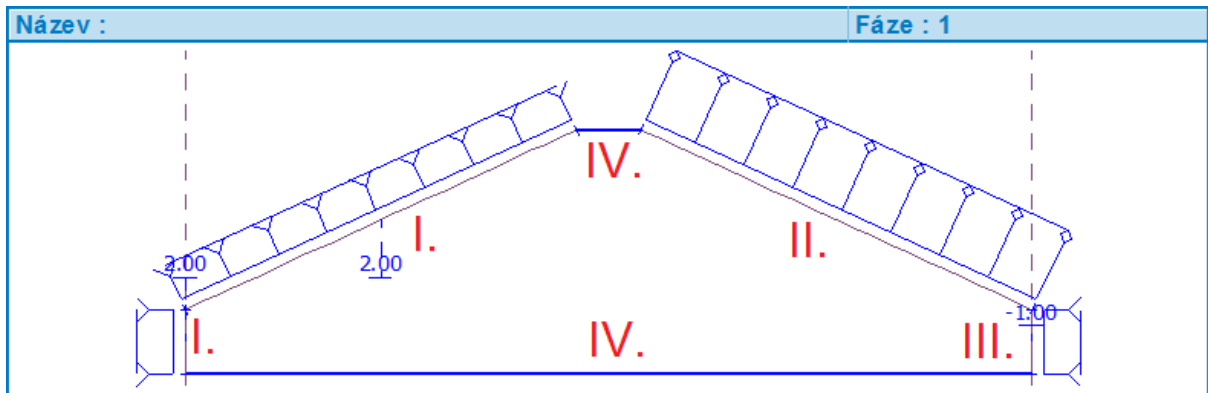
V každé výpočetní fázi je před spuštěním výpočtu nutné zadat hydraulické okrajové podmínky. Tyto okrajové podmínky jsou v programu označeny jako body či linie proudění.

Okrajové podmínky v první výpočetní fázi

Ve výpočetní fázi č. 1 definujeme tyto okrajové podmínky:

- I. Na návodním svahu předepíšeme podmínku typu *pórový tlak* s výškou hladiny 2 m nad úrovní terénu. V části nad zadanou úrovní hladiny podzemní vody předepisuje tato okrajová podmínka nulový tok přes hranici. Sání podél hranice s předepsaným pórovým tlakem se tedy nezadává, ale je výsledkem výpočtu.
- II. Na vzdušním líci předepíšeme *průsakový* typ hranice.
- III. Na svislé hranici u paty vzdušního svahu je v tomto příkladu definovaná podmínka typu *pórový tlak* s výškou hladiny podzemní vody v úrovni -1 m. Tato podmínka odpovídá přítomnosti vodního toku či drénu pod hrází, který má volnou hladinu v této úrovni pod terénem.

- IV. Spodní hranici modelu a koruně hráze předepíšeme *nepropustný* typ hranice. Ten odpovídá vlastnostem nepropustného podloží, na kterém je hráze postavena a předpokladu nulového toku hranicí na koruně hráze.



Linie proudění (okrajové podmínky) ve výpočetní fázi č. 1

Číslo	Umístění	Typ hranice	Parametry
1	Linie sítě č. 1	nepropustná	
2	Linie sítě č. 2	pórový tlak	Z _{HPV} = 2,00 m
3	Linie sítě č. 3	pórový tlak	Z _{HPV} = 2,00 m
4	Linie sítě č. 4	nepropustná	
5	Linie sítě č. 5	pórový tlak	Z _{HPV} = -1,00 m
6	Linie sítě č. 6	nepropustná	

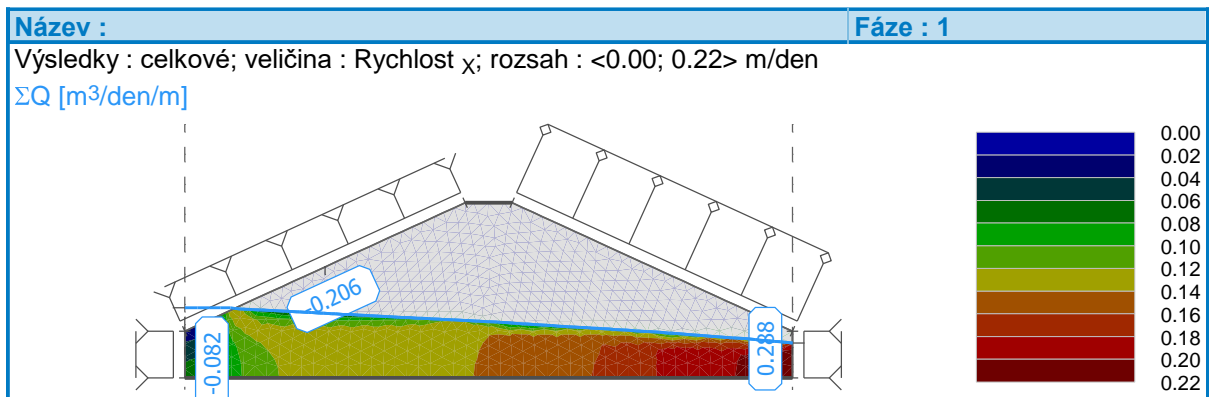
Zadávání typu linií proudění (okrajových podmínek)

Poznámka: Průsaková neboli výronová okrajová podmínka se používá v případech, kdy není předem jisté, zda bude daná hranice úlohy nad či pod hladinou podzemní vody. Průsaková plocha automaticky dohledá výronový bod (bod, kde hranici protíná hladina podzemní vody) a definuje

patříčné okrajové podmínky nad a pod tímto bodem. Průsakovou plochu má smysl umístit pouze na terén, kde může docházet k volnému odtékání vody.

Výsledky – výpočetní fáze č. 1

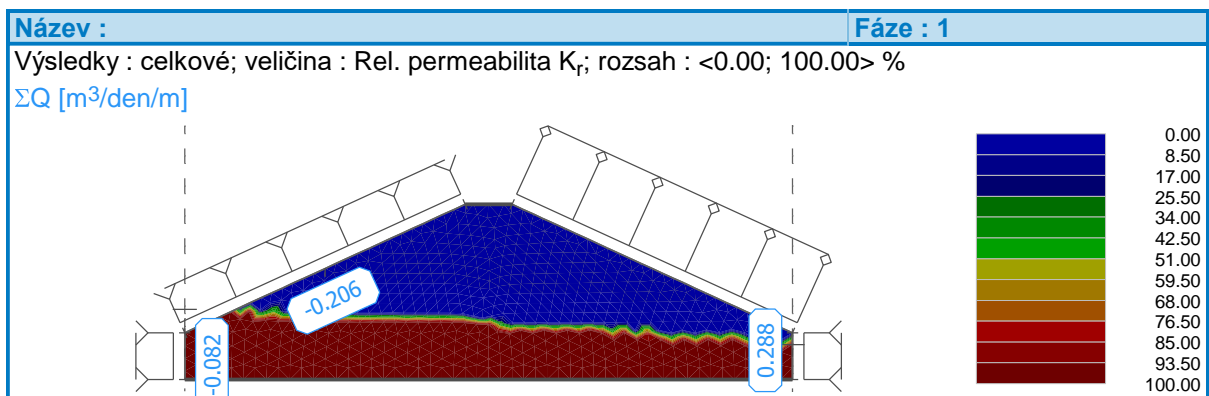
Při zvolené možnosti *Podrobné výsledky* (Topo->Nastavení) můžeme pod hladinou podzemní vody zobrazit rozložení pórového tlaku, vodorovné a svislé rychlosti protékající podzemí vody a celkovou hydraulickou výšku.



Rozložení vodorovné složky rychlosti

Na výstupech jsou kromě příslušných veličin vykresleny též hodnoty celkových toků na hranicích. Záporné znaménko představuje vtok (dotaci) vody do modelu, kladné pak výtok vody z modelu. Z obrázku je patrné, že do hráze voda vtéká hranicí na návodním svahu a vytéká pouze pod úrovní terénu pod patou hráze. Hodnoty toku jsou vztaženy na jeden běžný metr hráze.

Z níže uvedeného obrázku je patrné, že nad hladinou podzemní vody relativní permeabilita zeminy velmi rychle klesá. Převážná většina proudění se tedy odehrává pod hladinou podzemní vody, kde je zemina zcela nasycena.

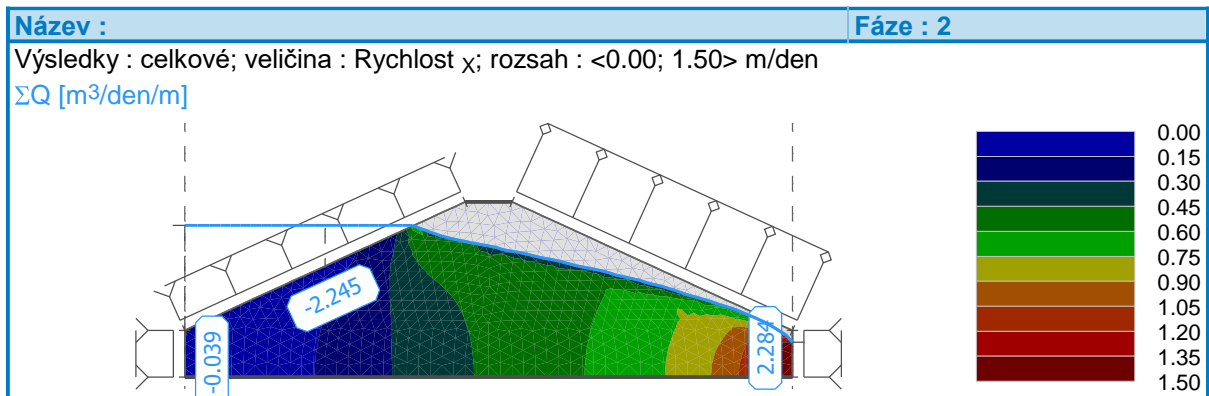


Rozložení relativního součinitele permeability

Výpočetní fáze č. 2 – hladina 9 m

V této fázi budeme úlohu řešit s hladinou vody v nádrži v úrovni 9 m. Typy okrajových podmínek se zůstávají nezměněné. Mění se pouze předepsaná tlaková výška na linii proudění na návodním svahu (šikmá linie) a linii u paty návodního svahu (svislá linie) a to z původních 2 m na 9 m.

Po změně okrajové podmínky provedeme výpočet. Z průběhu hladiny podzemní vody na obrázku níže je patrné, že se hladina podzemní vody blíží k vzdušnému svahu, ale zatím nedochází k výronům a veškerý odtok se odehrává pod úrovní terénu.

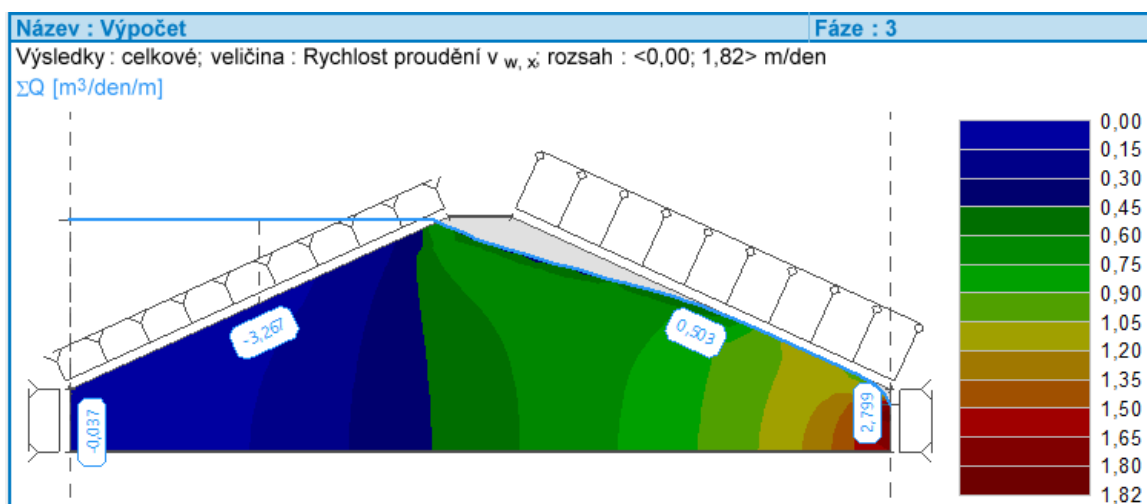


Průběh vodorovné složky rychlosti ve druhé výpočetní fázi

Výpočetní fáze č. 3 – hladina 10,8 m

V této fázi zvýšíme hladinu vody v nádrži o dalších 1,5m, tedy na úroveň 10,8m od dna. Jediná úprava tedy nastala ve změně parametrů obou linií proudění na návodním svahu.

Výsledky analýzy ukazují, že v tomto případě již dojde ke kontaktu hladiny podzemní vody se vzdušným svahem a k výronu vody. V tomto případě je hodnota průtoku uvedena i u výronové plochy.



Průběh vodorovné složky rychlosti ve třetí výpočetní fázi

Závěr

Byly provedeny tři výpočty úlohy ustáleného proudění pro různé výšky hladiny vody v nádrži. Při výškách 2 m a 9 m dochází k výtoku vody pouze pod patou hráze. Při hladině vody v nádrži ve výšce 10,8 m dojde ke kontaktu hladiny podzemní vody se vzdušným svahem a následným výronům.

Poznámka: Na úloze bylo též ukázáno, že poloha a tvar spočtené hladiny podzemní vody závisí výhradně na okrajových podmínkách, geometrii modelu a materiálových vlastnostech zemin. Na rozdíl od analýzy napětí či neustáleného proudění je při tomto typu analýzy počáteční stav irelevantní. Jednotlivé fáze na sebe navenazují a lze je řešit zcela nezávisle.