

ZÁKLADY HYDROGEOLOGIE

V. PŘEDNÁŠKA

REGIONÁLNÍ PROUDĚNÍ PODZEMNÍ VODY

proudové sítě

- grafickým řešením Laplaceovy rovnice
- řešení ve 2-D zobrazení ($x-y$ nebo $x-z$)

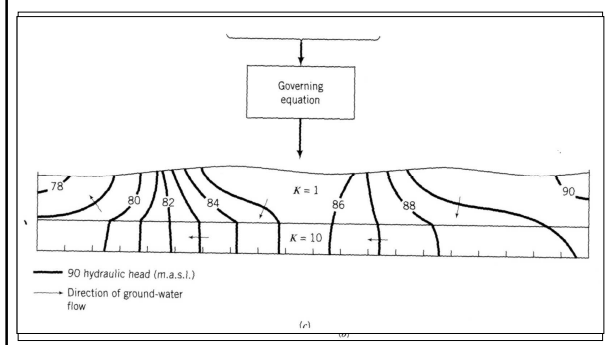
proudnice – linie paralelní se směrem proudění podzemní vody

equipotenciály – linie spojující body se stejnou hodnotou hydraulické výšky

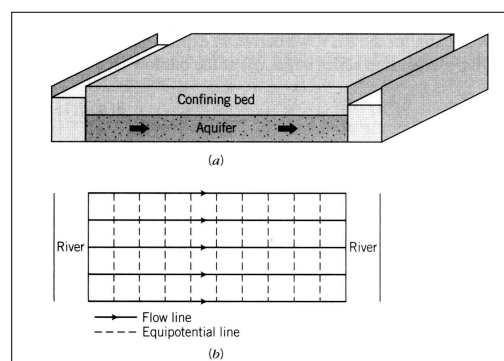
metody konstrukce

- grafické – metoda pokusu a omylu (trial and error)
- numerické počítačové modelování

1. krok – analýza hydrogeologických poměrů ve struktuře a jejich zjednodušení



příklad konstrukce proudové sítě



HOMOGENNÍ A IZOTROPNÍ ZVODNĚNÉ PROSTŘEDÍ

proudová síť je grafickým řešením Laplaceovy rovnice

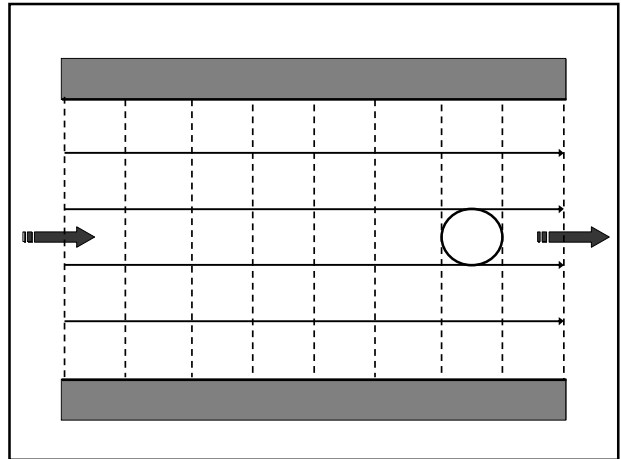
- proudnice jsou kolmé na equipotenciály
- je-li pokles hydraulické výšky mezi equipotenciály konstantní, průsečíky proudnic a equipotenciál formují zakřivené čtvercové plochy
- čtverce mají zakřivené strany a uvnitř čtverců lze konstruovat kružnice, které jsou v místech kontaktu se čtverci na ně kolmé
- objem vody protékající hlininou mezi dvěma přilehlými proudnicemi je konstantní
- uvnitř proudové sítě je konstantní objem protékající vody
- počet trubnic vymezených proudnicemi musí být v celé síti konstantní
- pokles hydraulické výšky mezi dvěma přilehlými equipotenciály je stejný

DOPORUČENÝ POSTUP KONSTRUKCE PROUDOVÉ SÍTĚ

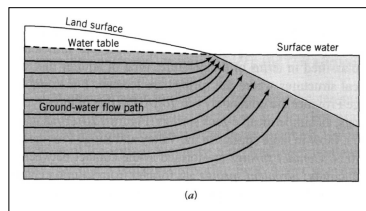
1. získajte co nejvíce informací ze správně zkonstruovaných proudových sítí řešících podobný problém a proudové sítě přizpůsobte vašim podmínkám
2. nejprve zkonstruujte proudnice tak, aby jste měli 4 – 5 proudových trubnic přes celou doménu
3. zkonstruujte kompletní proudovou síť tak, aby byla přibližně správná v rámci celé domény – zanedbejte vliv detailů
4. vyhýbejte se příliš častým přímkovým průběhům proudnic a equipotenciál, začněte s konstrukcí proudové sítě právě v oblastech paralelního průběhu linií
5. pokud je doména symetrická, postačí zkonstruovat proudovou síť v její části – zbytek je jejím zrcadlovým obrazem
6. po celou dobu konstrukce pamatujte, že velikosti čtverců se mění postupně – všechny změny jsou pozvolné, v místech zakřivení se kružnice uvnitř čtverců mění na elipsy

ZÁKLADNÍ PRAVIDLA KONSTRUKCE PROUDOVÉ SÍTĚ

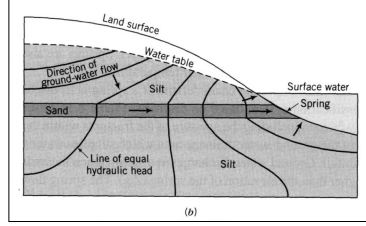
- okrajová podmínka typu $q=0$ je proudnice**
 - proudnice konstruovaná v těsné blízkosti okrajové podmínky je s ní paralelní
 - equipotenciály jsou na tuto okrajovou podmínku kolmé
- hladina podzemní vody je proudnice**
 - pokud není doplňování, odvodnění ani ET
 - proudnice konstruovaná v těsné blízkosti hladiny je s ní paralelní
- hladina podzemní vody není proudnicí ani equipotenciálou**
 - platí zejména v zónách odvodnění a doplňování
 - proudnice mohou být na hladinu téměř kolmé
- ukončení proudnic**
 - čerpané vrty, místa odvodnění, odvodňující vodoteče
- počátek proudnic**
 - infiltrované vrty, doplňující vodoteče
- přírodní systémy proudění**
 - proudnice začínají a končí v oblastech doplňování a odvodnění



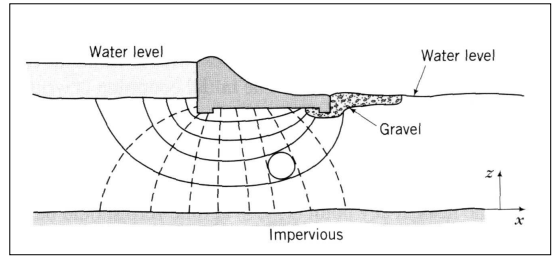
charakteristický průběh proudnic v oblastech odvodnění



charakteristický průběh proudnic v oblastech doplňování a odvodnění

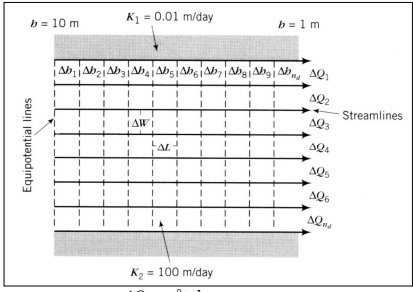


příklad konstrukce proudové sítě pod hrází



„čtverce“ jsou zakřivené

určení průtoku mezi dvěma přilehlými equipotenciálami v rámci jedné proudové trubice (2-D, x-y)



$$\Delta Q = T \Delta h \frac{\Delta W}{\Delta L}$$

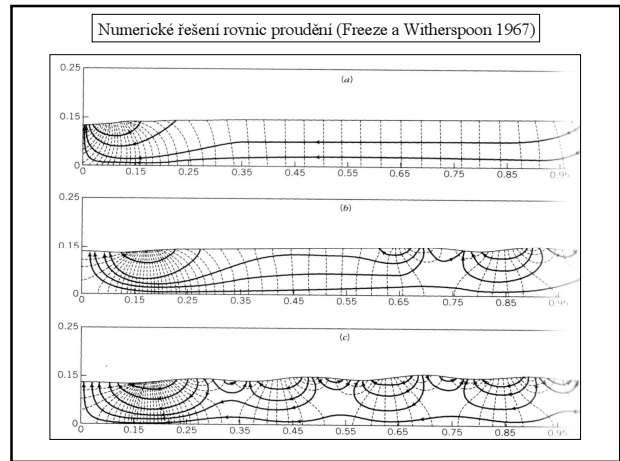
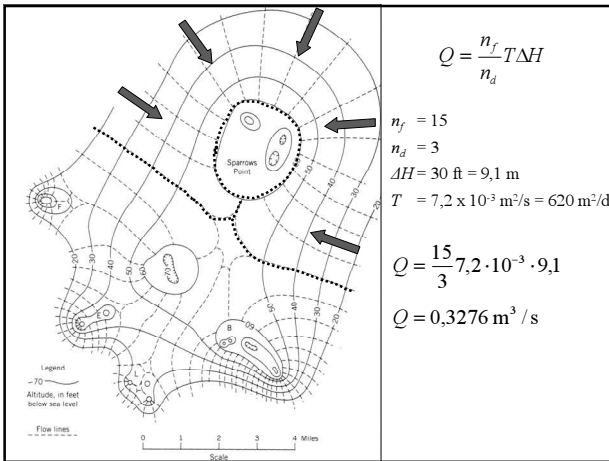
- ΔQ průtok
- T transmisivita
- Δh pokles hydraulické výšky mezi dvěma equipotenciálami
- ΔW šířka proudové trubice
- ΔL vzdálenost mezi dvěma equipotenciálami

určení celkového průtoku doménou zobrazenou pomocí proudové sítě (2-D, x-y)

platí pouze tehdy, pokud počet proudových trubice a počet poklesů hydraulických výšek je v rámci proudové sítě v doméně konstantní

$$Q = \frac{n_f}{n_d} T \Delta H$$

- Q průtok
- T transmisivita
- n_f celkový počet proudových trubice
- n_d celkový počet poklesů hydraulické výšky
- ΔH celkový pokles hydraulické výšky



NEHOMOGENNÍ PROSTŘEDÍ

- equipotenciály a proudnice netvoří čtverce, ale obdélníky
- nejjednodušší případ – změna hydraulické vodivosti v celé průtočné šířce domény

$$\Delta Q = T_1 \Delta h_1 \frac{\Delta W_1}{\Delta L_1} = T_2 \Delta h_2 \frac{\Delta W_2}{\Delta L_2}$$

rovnice pro 2-D, x-y

platí, že průtok Q je celou proudovou sítí konstantní

je-li W konstantní

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\Delta L_1 \Delta W_2}{\Delta L_2 \Delta W_1}$$

deformace čtverců proudové sítě v nehomogenním prostředí

k_1 100 m/d
 k_2 200 m/d
 ΔW 10 m
 ΔL_1 10 m
 b 50 m

$$\Delta Q = T_1 \Delta h_1 \frac{\Delta W_1}{\Delta L_1} \Rightarrow \Delta Q = (100 \cdot 50) \cdot 1 \cdot \frac{10}{10} = 5000 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\Delta L_1 \Delta W_2}{\Delta L_2 \Delta W_1} \Rightarrow \Delta L_2 = \frac{T_2}{T_1} \Delta L_1 = \frac{(200 \cdot 50)}{(100 \cdot 50)} 10 = 20 \text{ m}$$

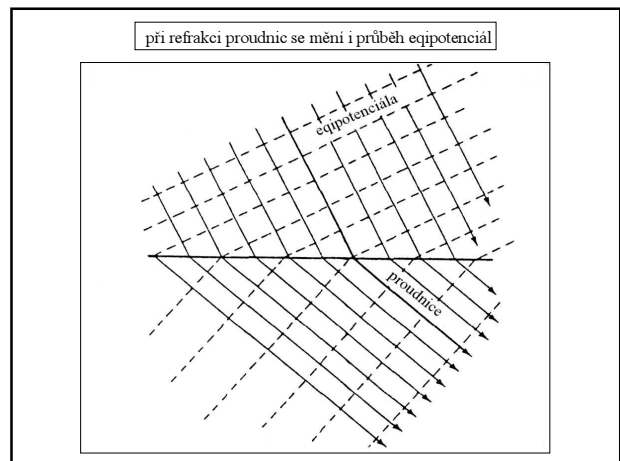
Proudění v nehomogenním prostředí

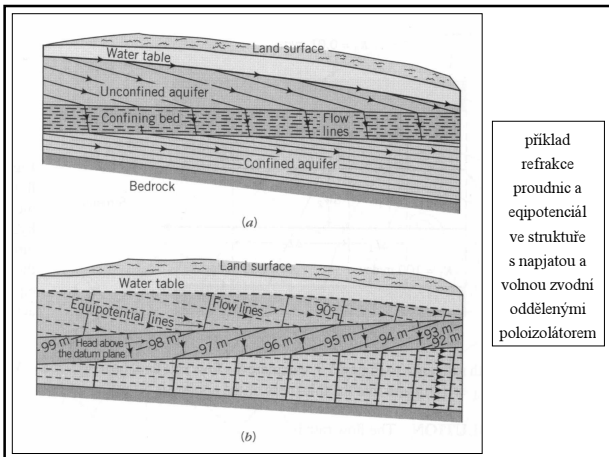
- refrakce proudnic $\Rightarrow \frac{k_1}{k_2} = \frac{\tan \alpha_1}{\tan \alpha_2}$

- analogie lomu světla

obecně:

- $k_1 > k_2 \dots$ ve spodní vrstvě je proudnice svislejší
- $k_1 < k_2 \dots$ ve spodní vrstvě se proudnice více uklání k hranici
- $k_1 \gg k_2 \dots$ ve spodní vrstvě jsou proudnice svislé (z kolektoru do izolátoru)





příklad refrakce proudnic a equipotenciál v struktuře s napjatou a volnou zvodní oddělenými poloizolátorem

propustnosti jednotlivých homin se v těchto případech vyjadřují relativní propustností K

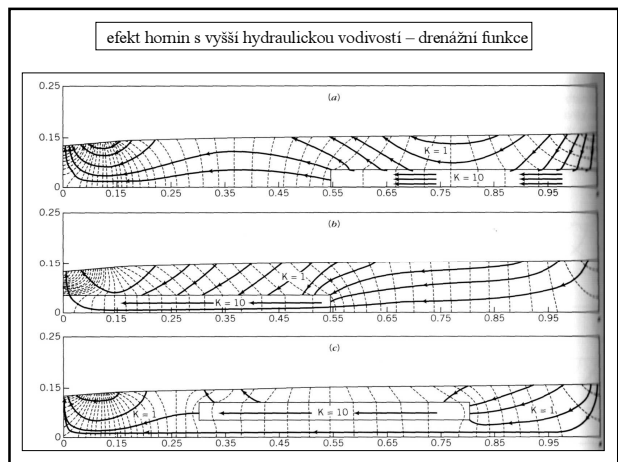
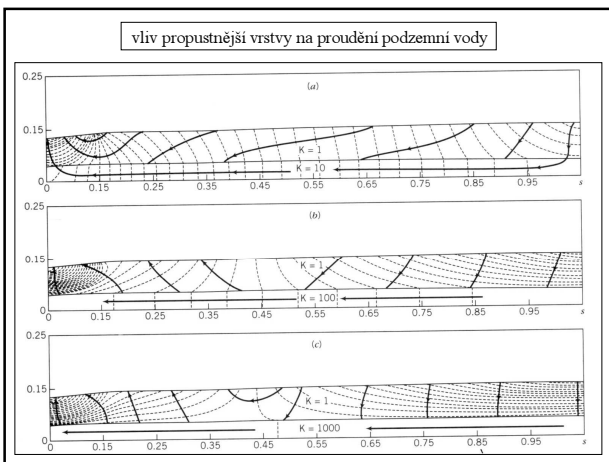
postup:

- hydraulická vodivost nejméně propustné hominy je rovna $K = 1$
- relativní propustnosti ostatních homin jsou rovny podílům příslušných hydraulických vodivosti a hydraulické vodivosti nejméně propustné hominy

$$k_1 = 1 \times 10^{-4} \text{ m/s} \quad \Rightarrow \quad K_1 = 100$$

$$k_2 = 1 \times 10^{-6} \text{ m/s} \quad \Rightarrow \quad K_2 = 1$$

$$k_3 = 2 \times 10^{-5} \text{ m/s} \quad \Rightarrow \quad K_3 = 20$$



řešení průtoků v 2-D, x-z

$$Q = \frac{n_f}{n_d} k \Delta H$$

vzorec platí pro jednotkovou mocnost struktury (1 m)

příklad výpočtu odtoku (odvodnění) Q části struktury

$n_f = 8$
 $n_d = 1$
 $\Delta H = 6,1 \text{ m}$
 $k_1 = 0,25 \text{ m/d}$

$$Q = \frac{8}{1} \cdot 0,25 \cdot 6,1 = 12,2 \text{ m}^3/\text{d}$$

ANIZOTROPNÍ PROSTŘEDÍ

proudnice nemusí protínat equipotenciály v pravých úhlech

- hlavní směr anizotropie je shodný se směrem proudění**
- proudnice a equipotenciály svírají pravý úhel
- směr anizotropie není shodný se směrem proudění**
- proudnice a equipotenciály nesvírají pravý úhel
- transformace proudové sítě pomocí vztahu $\Rightarrow \sqrt{\frac{K_y}{K_x}} L$

(a) (b) (c) (d)