

# PROBLEMATIKA PODZEMNÍ VODY V ÚZEMÍ CHRÁNĚNÉM PŘED POVODNÍ



Jaromír ŘÍHA  
Ústav vodních staveb, FAST VUT v Brně

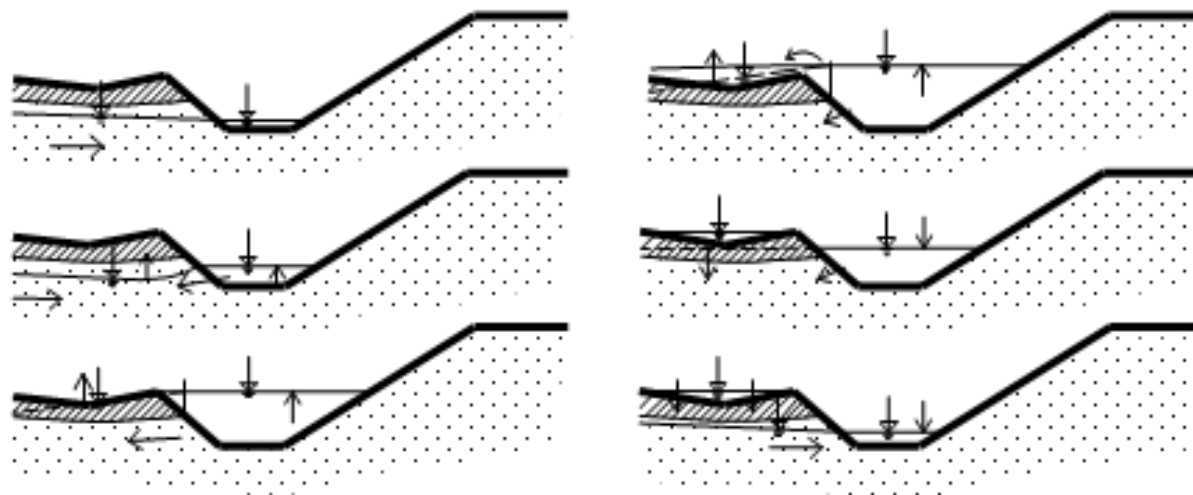
# Obsah

- **Úvod**
- **Opatření na ochranu před povodněmi (PPO) a problematika podzemních vod**
- **Modelování – nástroj pro řešení**
- **Metoda podle mezních stavů**
  - **Metoda řešení**
  - **Výsledky**
  - **Praktické aplikace**
- **Závěry**

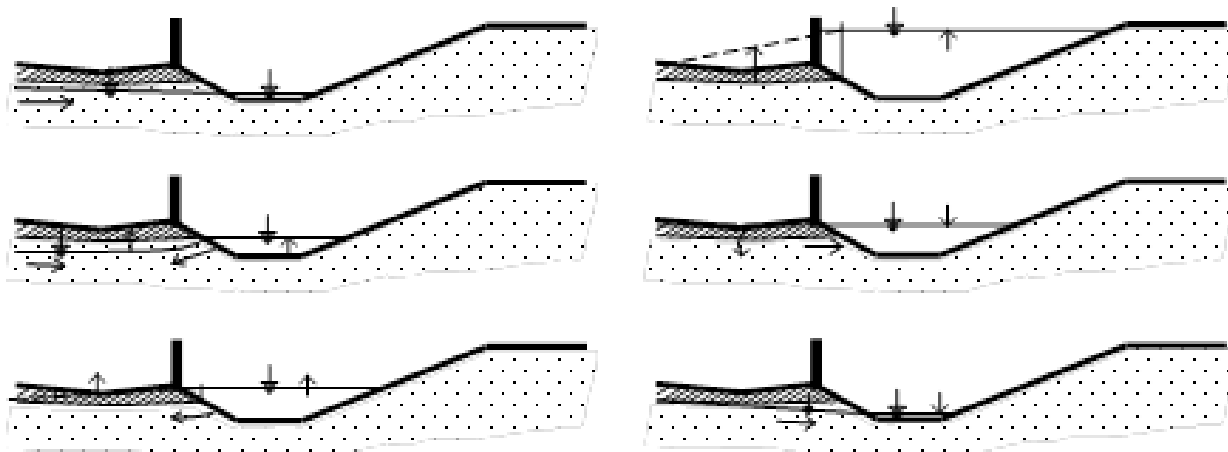
# Úvod

- PPO – průsakový režim

Bez PPO

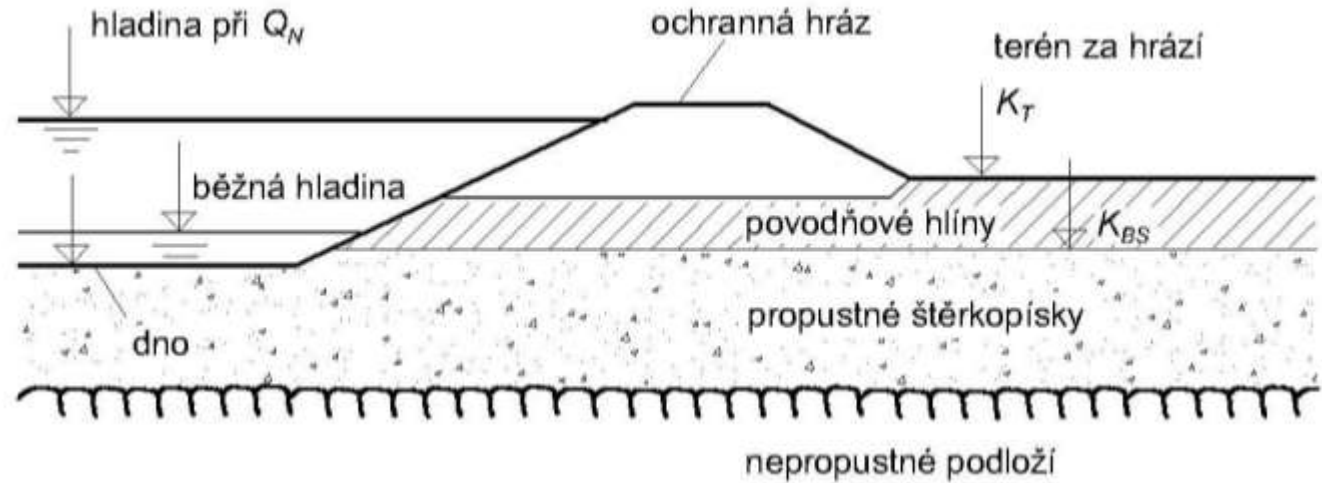


Po vybudování  
PPO

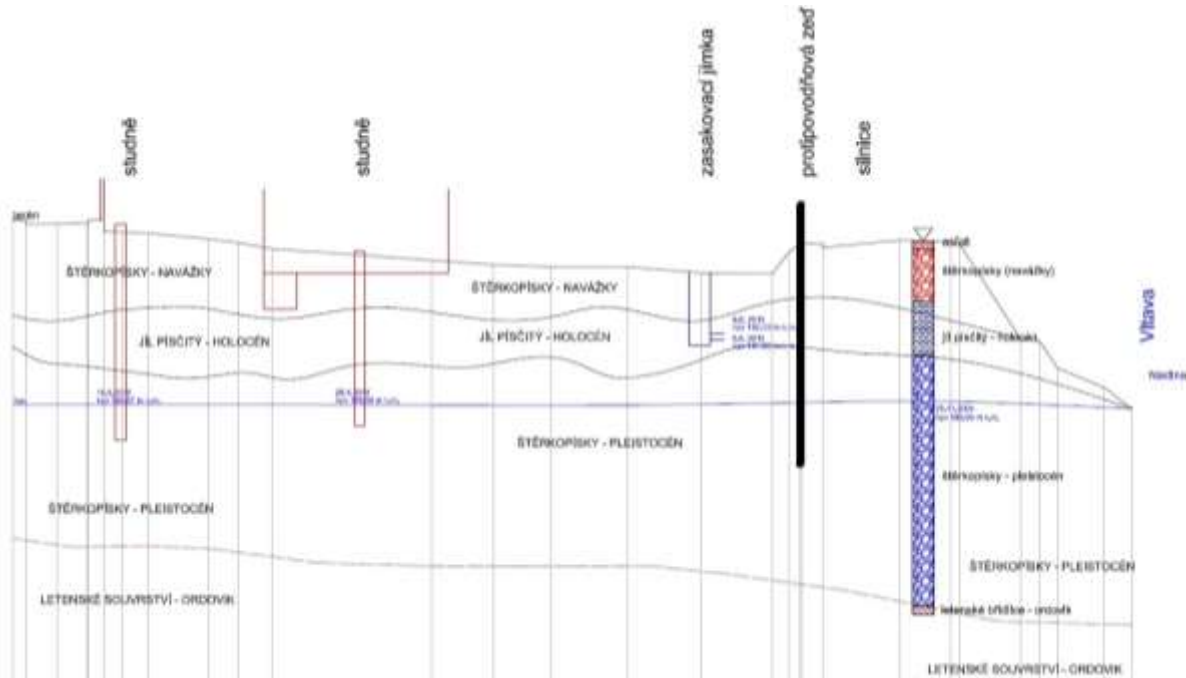


# Režim proudění podzemních vod - průzkum

- Jednokolektorový systém

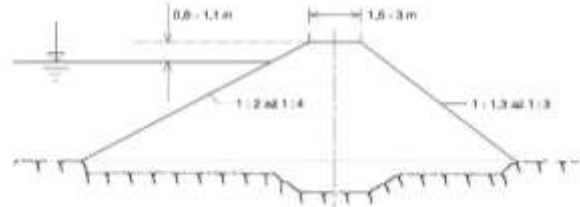


- Vícekollektorový systém



# PPO

- **Ochranné hráze**



- **Zdi**



- **Mobilní prvky**



- **Kombinace**



# Uspořádání - prvky ovlivňující průsakový režim – zvláštní pozornost

- **PPO:**

- Kruhové uspořádání
- Podzemní těsnicí prvky
- Napojení hrází na betonové prvky (povodňové zdi, křížení s prvky infrastruktury, propustky, ...)

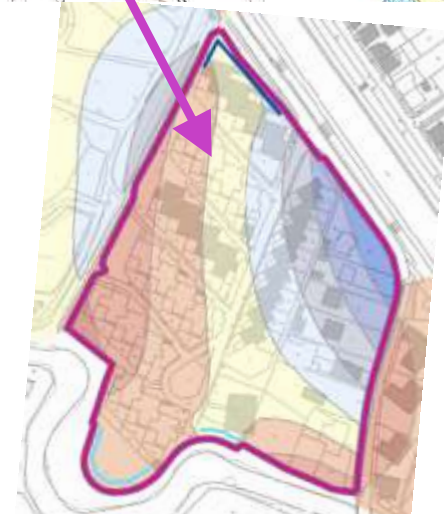
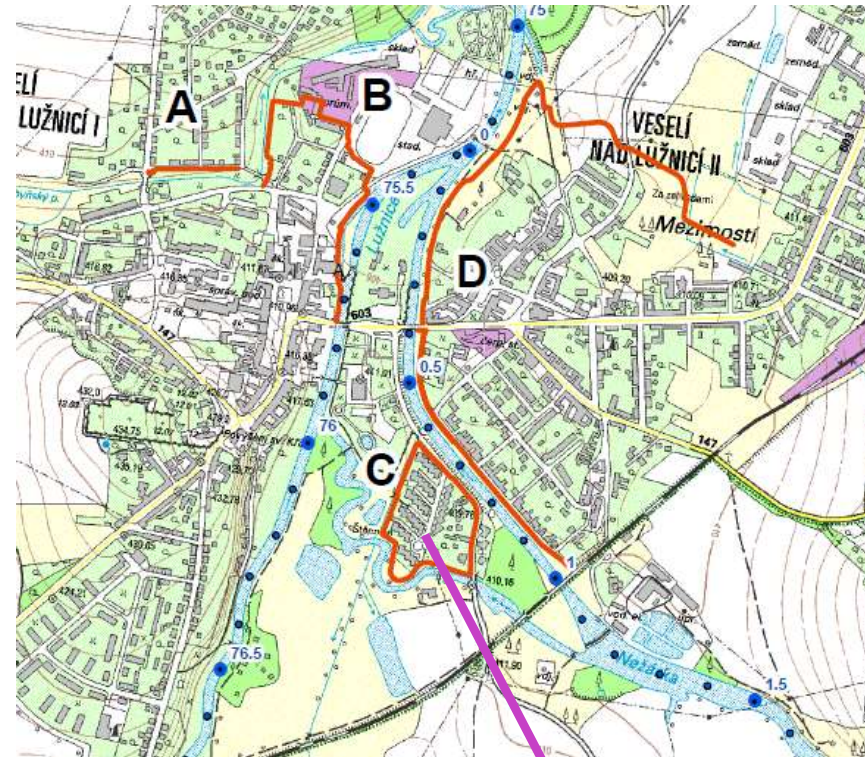
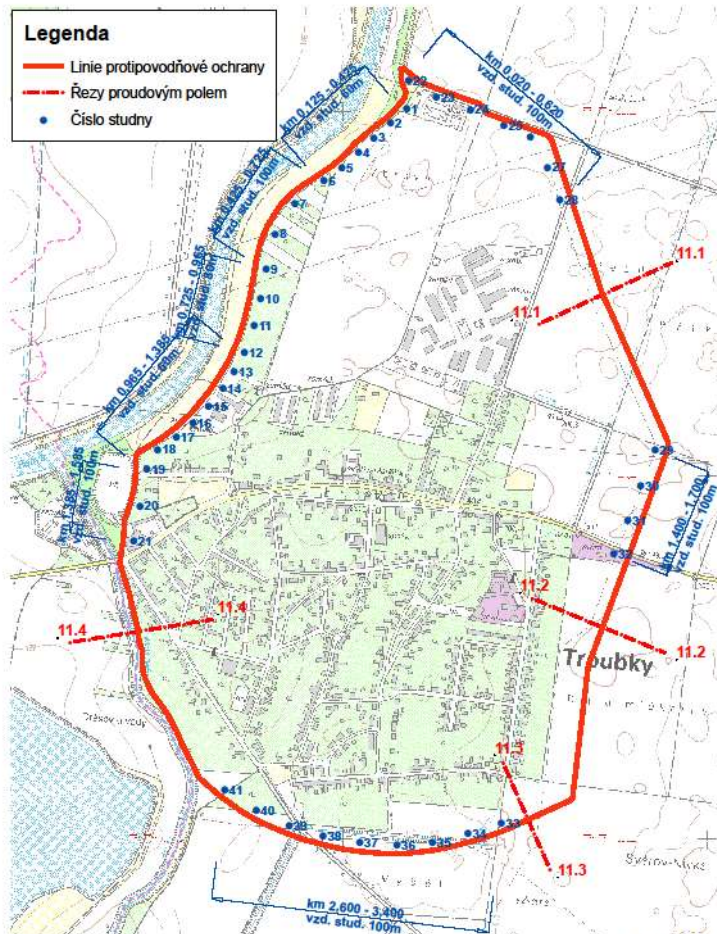
- **Prvky v chráněném území**

- Odvodňovací příkopy
- Infrastruktura, kanalizační sítě, apod.
- Zařízení ke vsakování dešťových vod
- Podpovrchové části budov (sklepy, garáže)
- Místní drobné vodní toky



# PPO

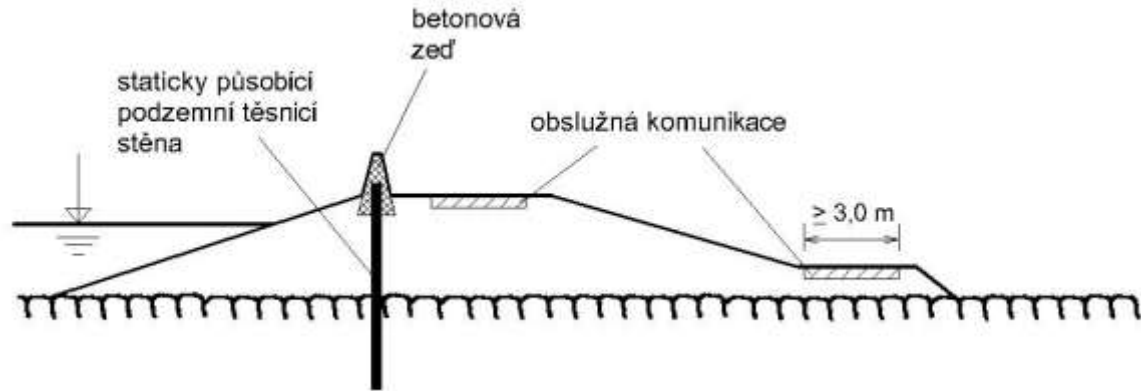
- Dispozice
- Kruhový uzavřený systém PPO



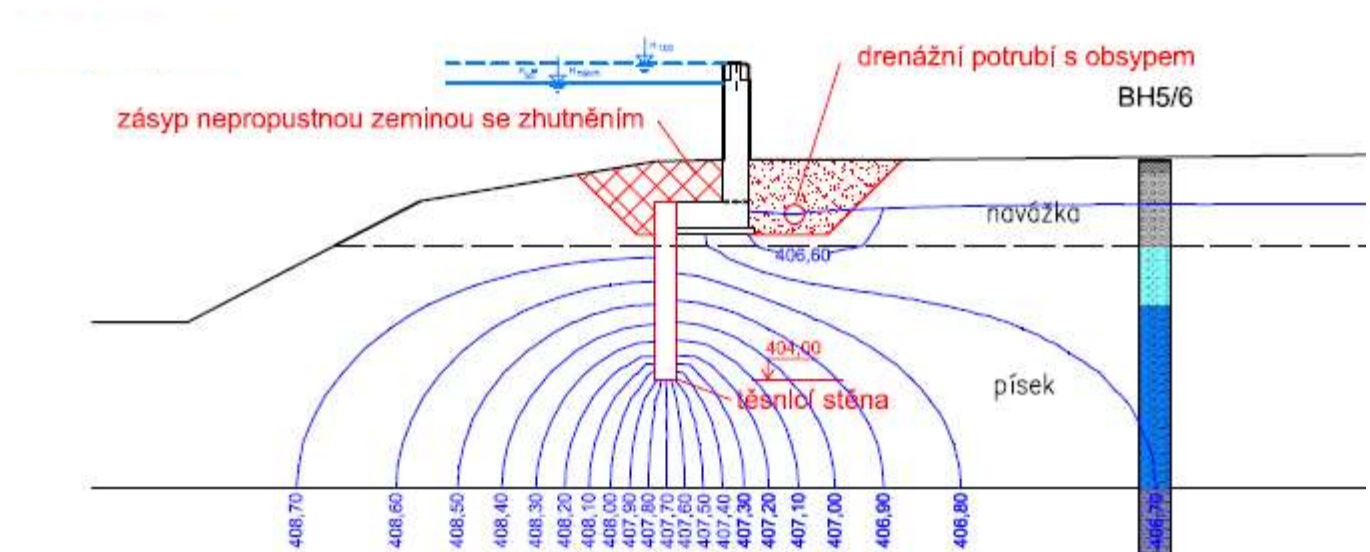
# PPO

- Těsnicí prvky

- Hrází



- Podloží – těsnicí stěny





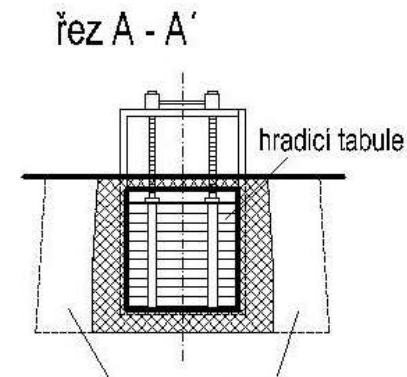
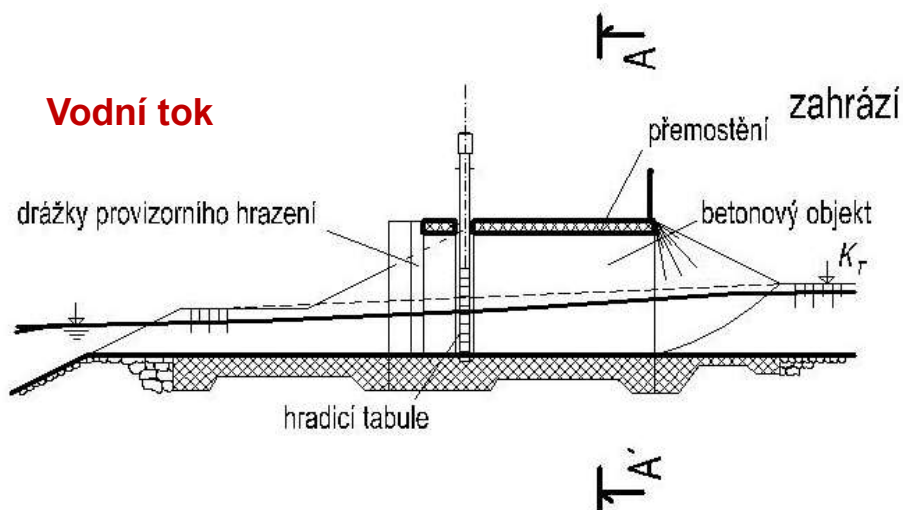
# PPO

- **Napojení hrází na betonové prvky**

- **Povodňové zdi**
- **Propustky, ...**

- **Problémy:**

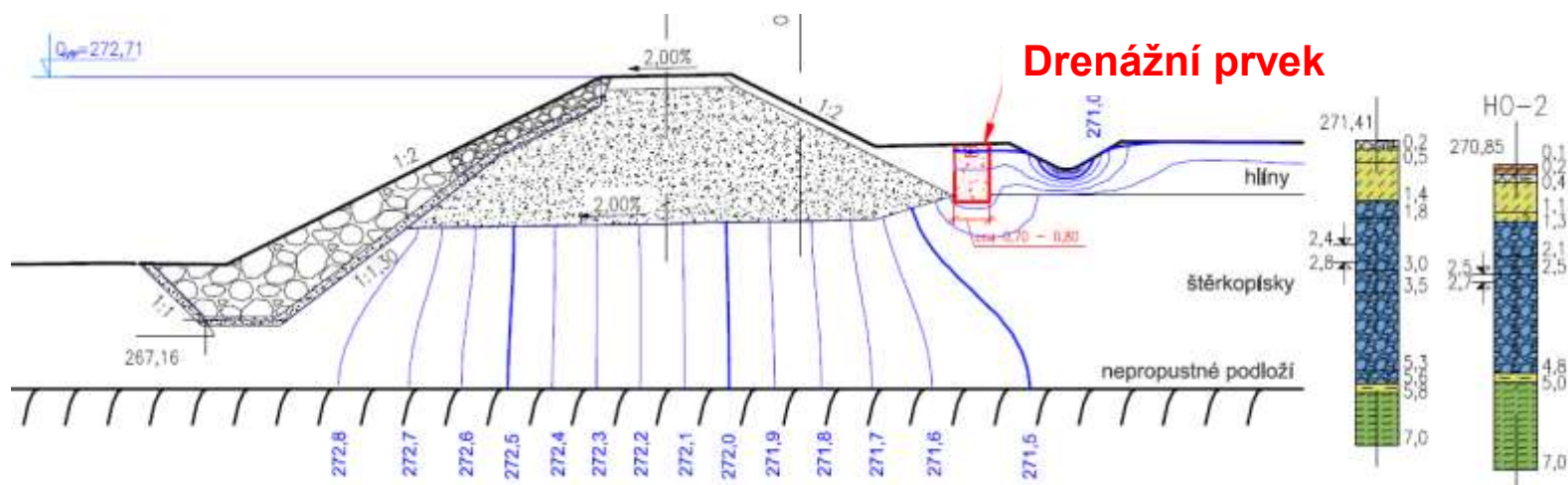
- **Zhutnění**
- **Vyšší vlhkost zemin**
- **Promrzání**
- **Krátká průsaková cesta**
- **Souvislé těsnění podloží**



**Zavazovací křídla**

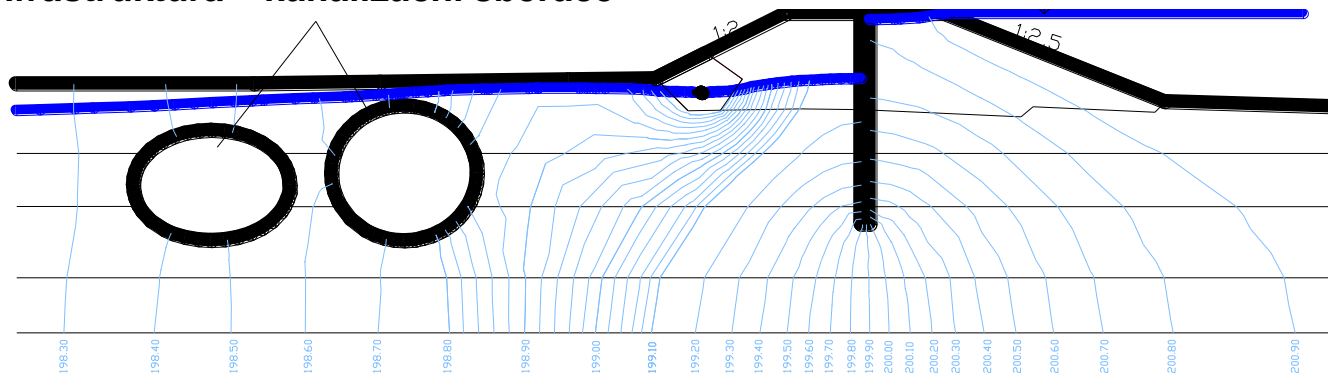
- **Odvodňovací prvky (vnitřní vody)**

- 
- The diagram illustrates a cross-section of a road construction project. Key features include:
- PŮVODNÍ TERÉN**: Existing ground level.
  - PROJEKTOVANÝ NÁSP**: Proposed road slope.
  - KAMENNÝ POHOZ 400 mm**: Stone curb.
  - TĚŽKÝ KAMENNÝ ZALOŽ 80-200 kg**: Heavy stone base layer.
  - VÁLCOVANÁ ŠTERKODRŮ 0/8 mm TL 50 mm**: Rolled gravel layer, 50 mm thick.
  - Hrubý drcený kam. 32/63 mm TL 250 mm**: Coarse crushed stone layer, 250 mm thick.
  - ZATRAVNĚNÍ OHUMUSOVÁNÍ 200 mm**: Grassing and humus layer, 200 mm thick.
  - BETONOVÁ ŽLABOVKA OBETONOVÁNÍ NOVÝ PLOT**: Concrete channel for new plot foundation.
  - SEJMUTÍ HUMUSU 200 mm**: Humus removal layer, 200 mm thick.
  - OSY HRÁZE**: Axis of the curb.
  - PLOT - PŘEMÍSTI SE**: Plot relocation area.
  - NOVÝ PLOT**: New plot area.
  - Plot - PLOŠA**: Plot area.
  - Plot - VÝŠKA**: Plot height.
  - Plot - ŠÍŘKA**: Plot width.
  - Plot - ÚHELY**: Plot angles.
  - Plot - OSA**: Plot axis.
  - Plot - PLOŠA**: Plot area.
  - Plot - VÝŠKA**: Plot height.
  - Plot - ŠÍŘKA**: Plot width.
  - Plot - ÚHELY**: Plot angles.
  - Plot - OSA**: Plot axis.

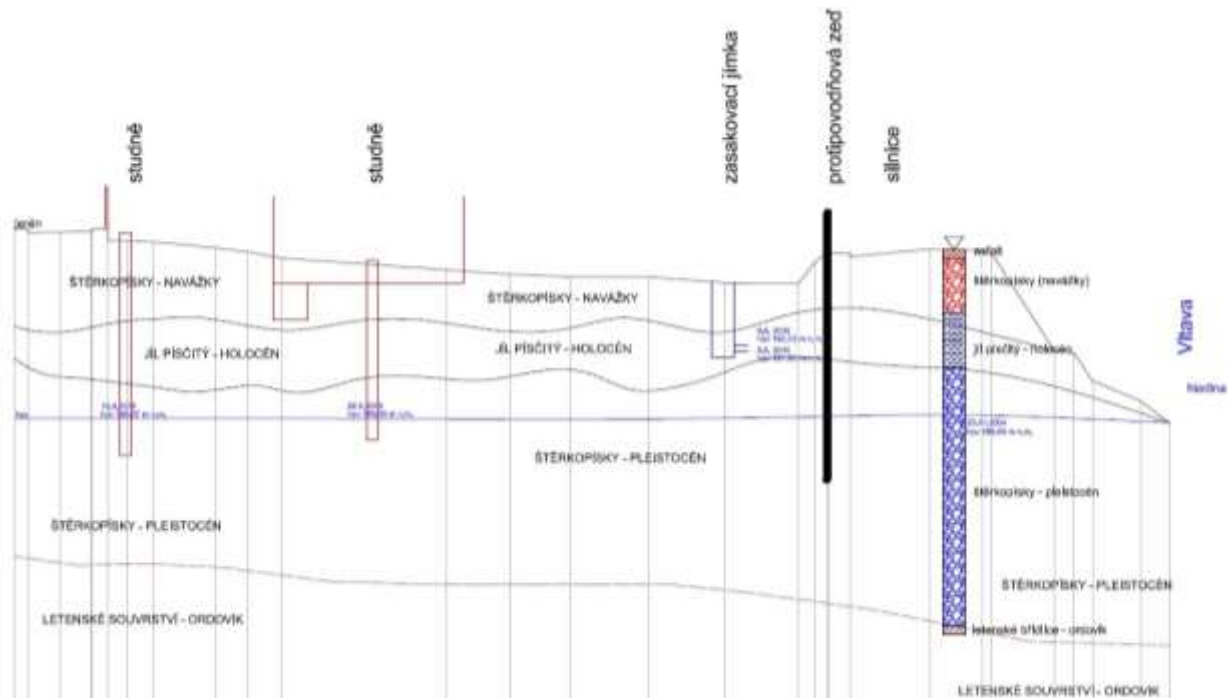


# Prvky ovlivňující průsakový režim

- **Infrastruktura – kanalizační sběrače**



- **Zařízení ke vsakování dešťových vod, podzemní části budov, domovní studny, ...**

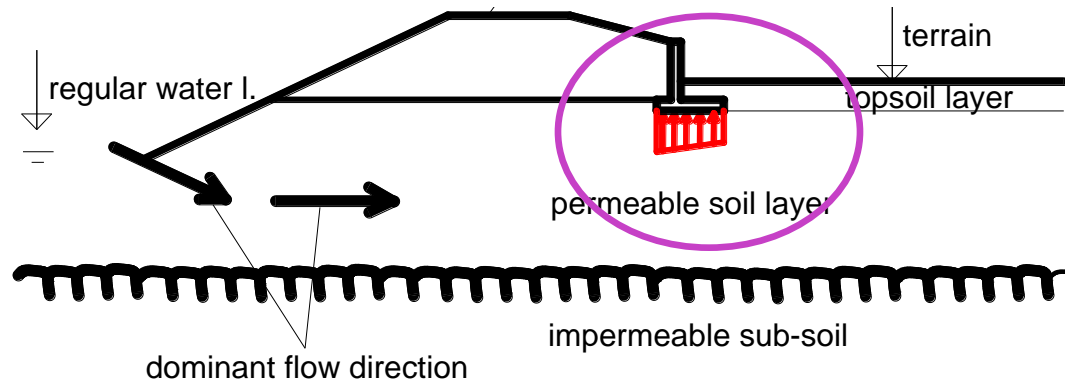


# Účinky podzemní vody

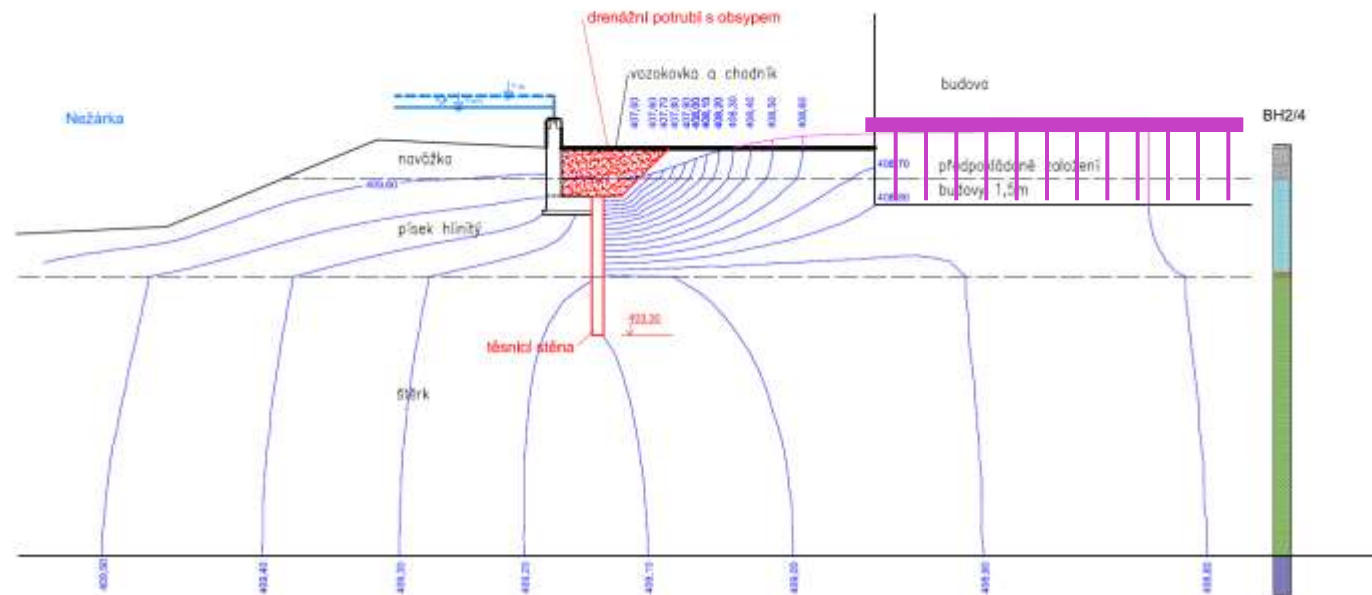
- **Tlak na základy - prvků PPO, budov – výpočet stability**
  - PPO
  - Podzemní části budov
- **Tlak na pokryvné vrstvy – porušení „nadzvednutím“**
  - Iniciace vnitřní eroze
- **Vnitřní eroze**
  - Vnější sufoze, ztekucení
  - Zpětná eroze, vnitřní sufoze
  - Vývoj spojitě průsakové cesty

# Účinky podzemní vody

- **Tlak na základy prvků PPO**



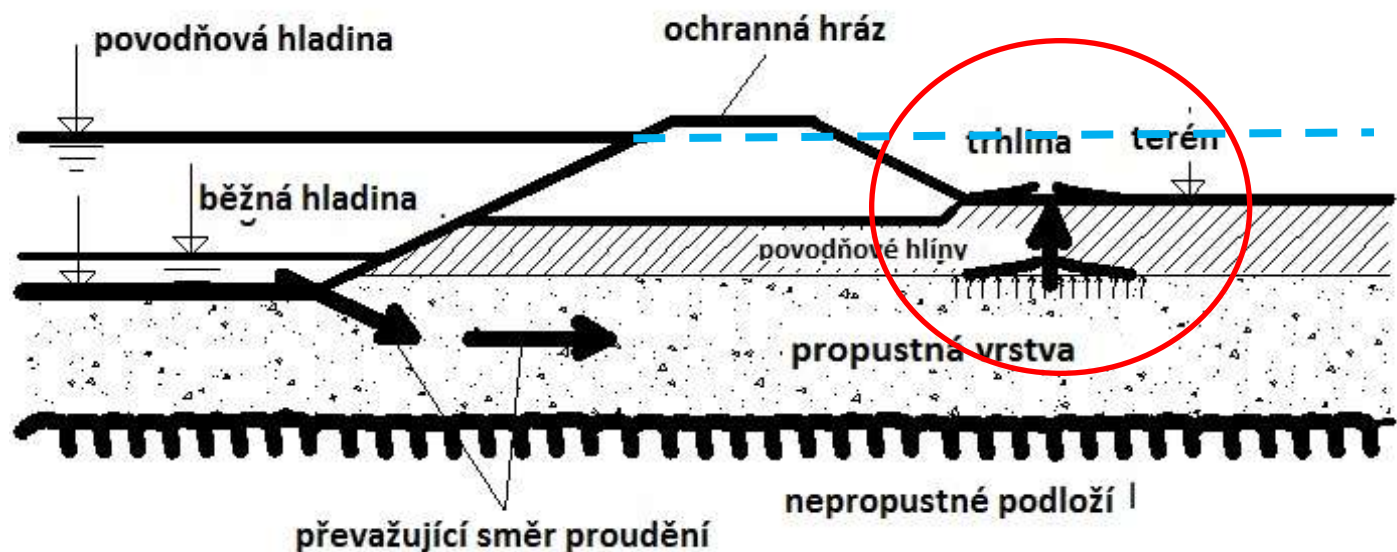
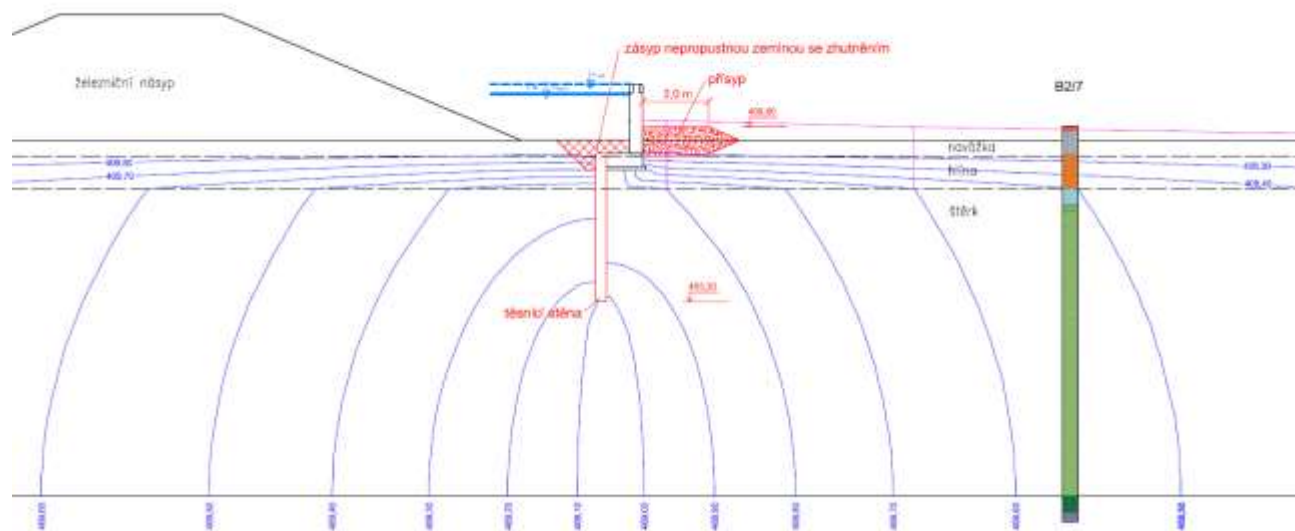
- **Tlak na podzemní části staveb**





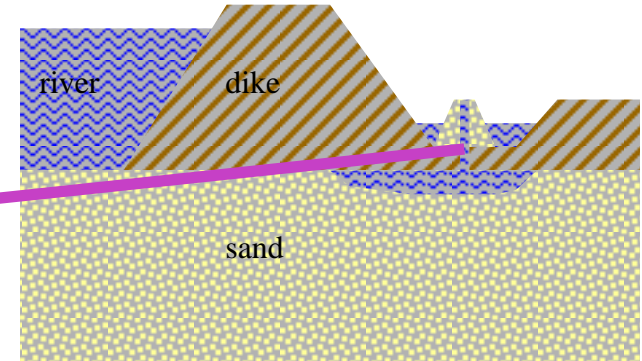
# Účinky podzemní vody

- Tlak na pokryvné vrstvy** (hrozba potenciálního porušení)

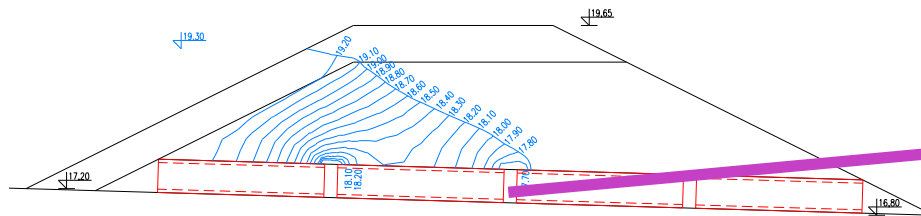


# Filtrační deformace

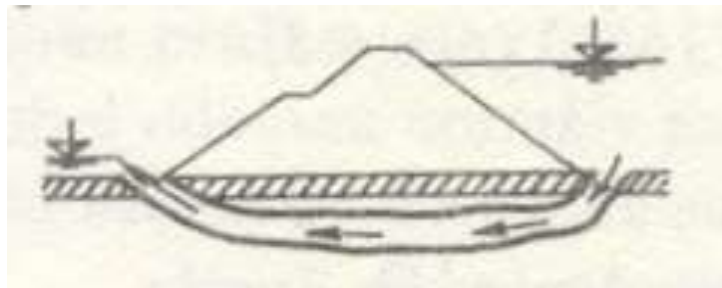
- Vnější sufoze, ztekucení



- Zpětná eroze, vnitřní sufoze



- Spojitá průsaková cesta



# Základní požadavky

- **PPO – během povodně**
  - **V záplavovém území**
    - Snížit průsaky (vnitřní vody)
    - Zajistit stabilitu budov (podzemní části)
    - Podmáčení povrchu
  - **Zajistit stabilitu samotných částí PPO**
    - Tlak vody na podzemní části PPO,
    - Tlak na méně propustné pokryvné vrstvy (nadzvednutí),
    - Tlakové gradienty – filtrační deformace v prostoru PPO

# Základní požadavky

- **V období mimo povodeň**

- Nesmí vyvolat podstatné změny režimu podzemní vody = nástup / pokles hladiny podzemní vody,
- Nesmí omezit přírodní komunikaci mezi HG kolektorem a recipientem – plovoucí podzemní stěny
- Vliv na podzemní části budov
  - Zvýšení vlhkosti
  - Zvláštní pozornost u vícekolektorových systémů

**Obyvatelé jsou mnohdy citlivější na „trvalé“ změny podmínek než na jednorázová zaplavení při povodni !!!**

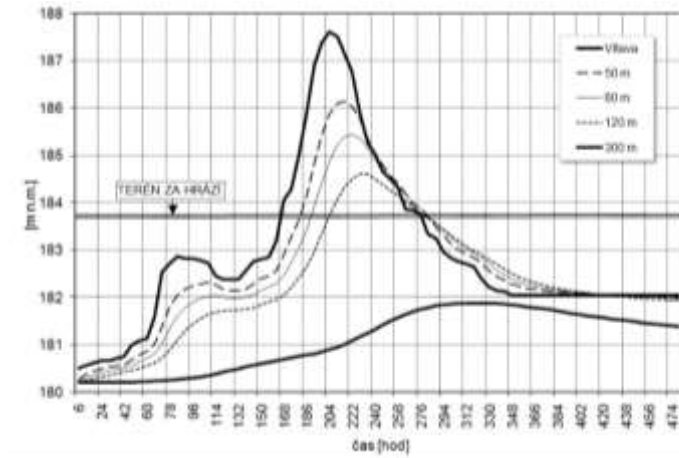
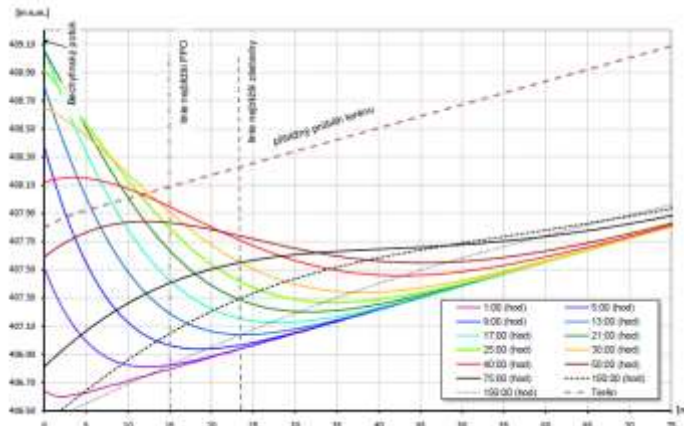
# Modelování proudění podzemní vody

- **Nástroj pro posouzení režimu podzemní vody**
- **Typy modelů (ustálený – neustálený stav)**
  - 1D
  - 2D vertikální
  - 2D horizontální
  - 3D
  - Nasycená zóna
- **Výstupní veličiny**
  - Piezometrické výšky
  - Tlaky vody v pórech
  - Hydraulické gradienty
  - Průsaková množství
  - Kvantifikace změn v režimu podzemní vody

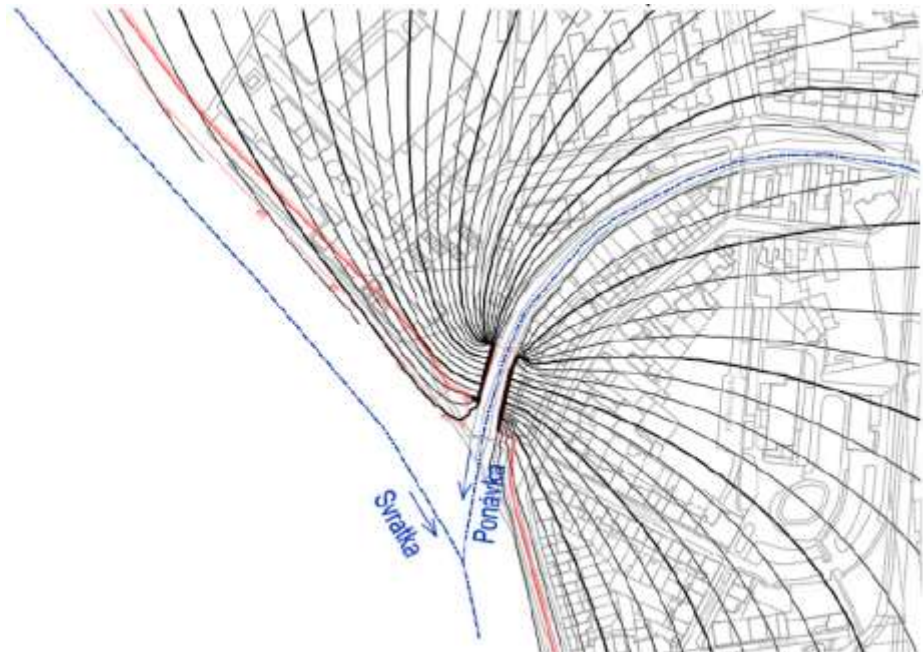


# Modelové přístupy

- 1D

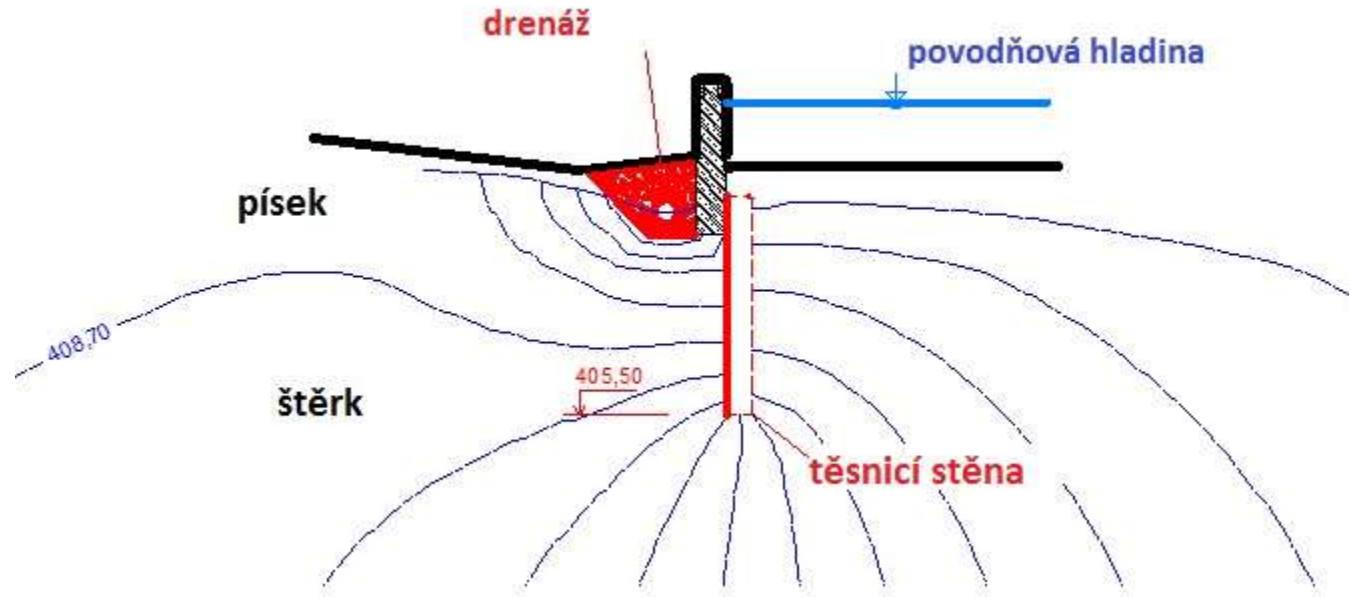


- 2D horizontální

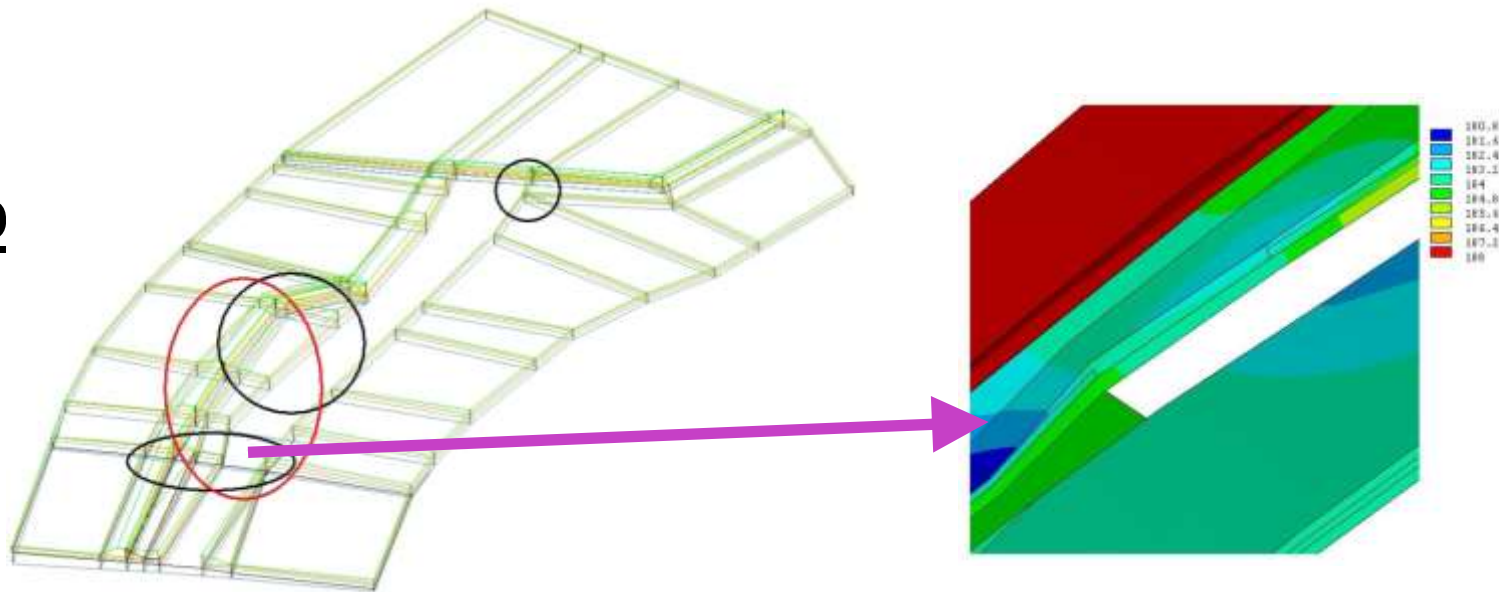


# Modelové přístupy

- 2D vertikální



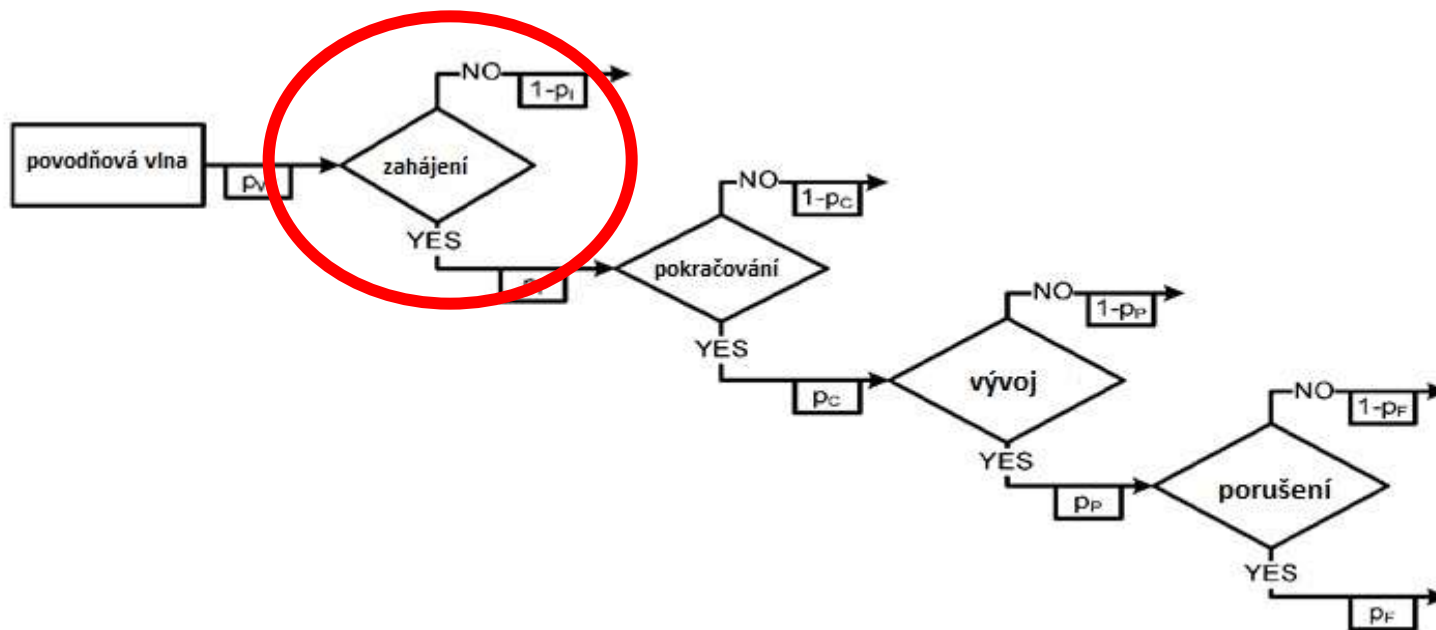
- 3D



# Aplikace numerických modelů

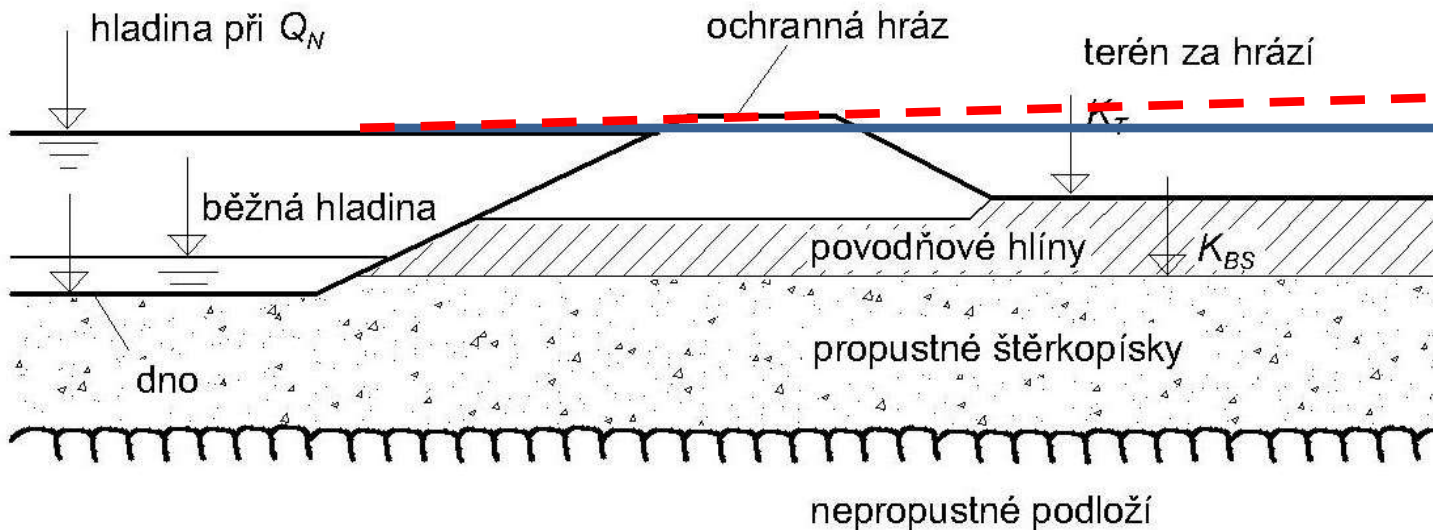
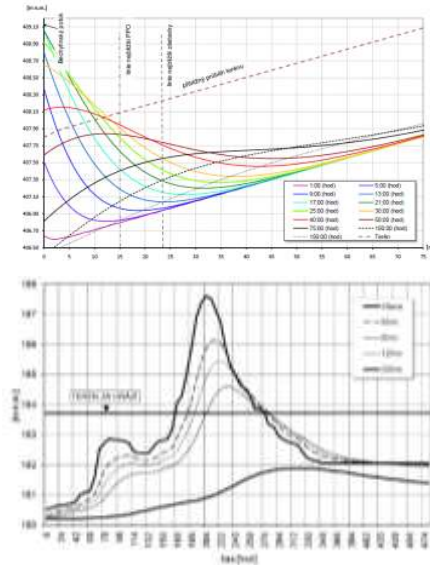
- 2D horizontální
- Počáteční fáze (iniciace) vnitřní eroze
  - „prostorová“ aplikace metody podle mezních stavů

Iniciace (zahájení) → Pokračování → Progresivní vývoj → Porušení



# Koncepční schéma – provalení nadložní vrstvy

- Typické geologické uspořádání
  - Bazální izolátor
  - Hydrogeologický kolektor (propustné písky, štěrkopísky)
  - Stropní izolátor (hlíny, ...)
- Nástup hladiny ve vodním toku
  - Propagace do zvodně
  - Max. piezometrická výška  $h_{max}$
  - Vztlak - nadzvednutí
- Iniciace – porušení povrchové vrstvy nadzvednutím (UPL)
- Aplikace – ochranné hráze, povodňové zdi



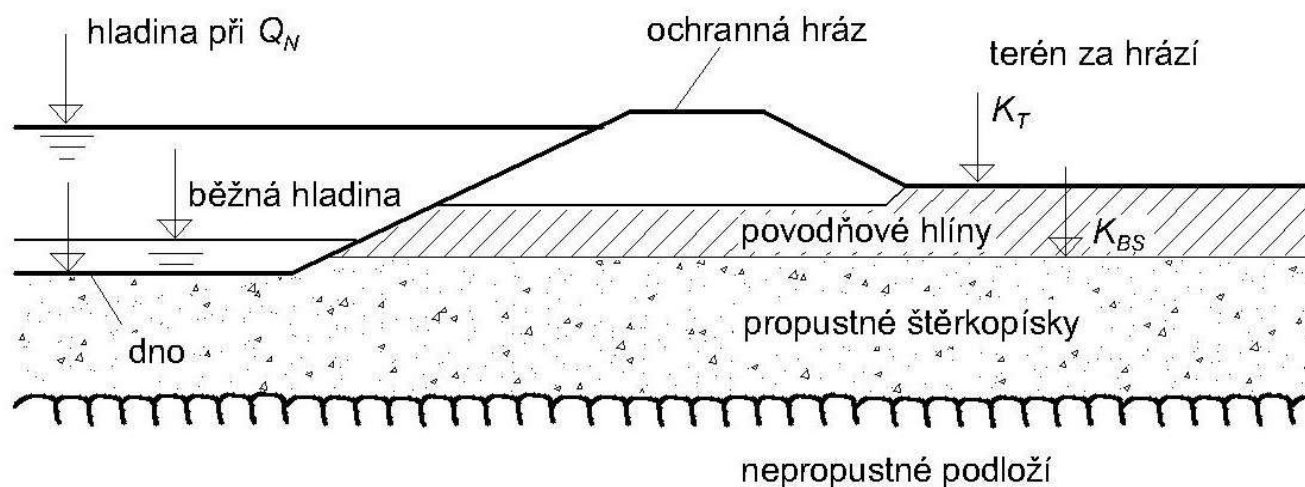
# Aplikace mezních stavů, faktoru spolehlivosti $RP$

$$\gamma_{sit} \gamma_n \gamma_{fv} \gamma_W (h_{MAX} - K_{BS}) \leq \gamma_{fg} \gamma_S (K_T - K_{BS})$$

$$RP(x, y) = \frac{\gamma_{fg} \gamma_S (K_T(x, y) - K_{BS}(x, y))}{\gamma_{sit} \gamma_n \gamma_{fv} \gamma_W (h_{MAX}(x, y) - K_{BS}(x, y))}$$

$RP(x, y) \geq 1$  ... spolehlivá odolnost

$RP(x, y) < 1$  ... plochy náchylné k nadzvednutí pokryvné vrstvy

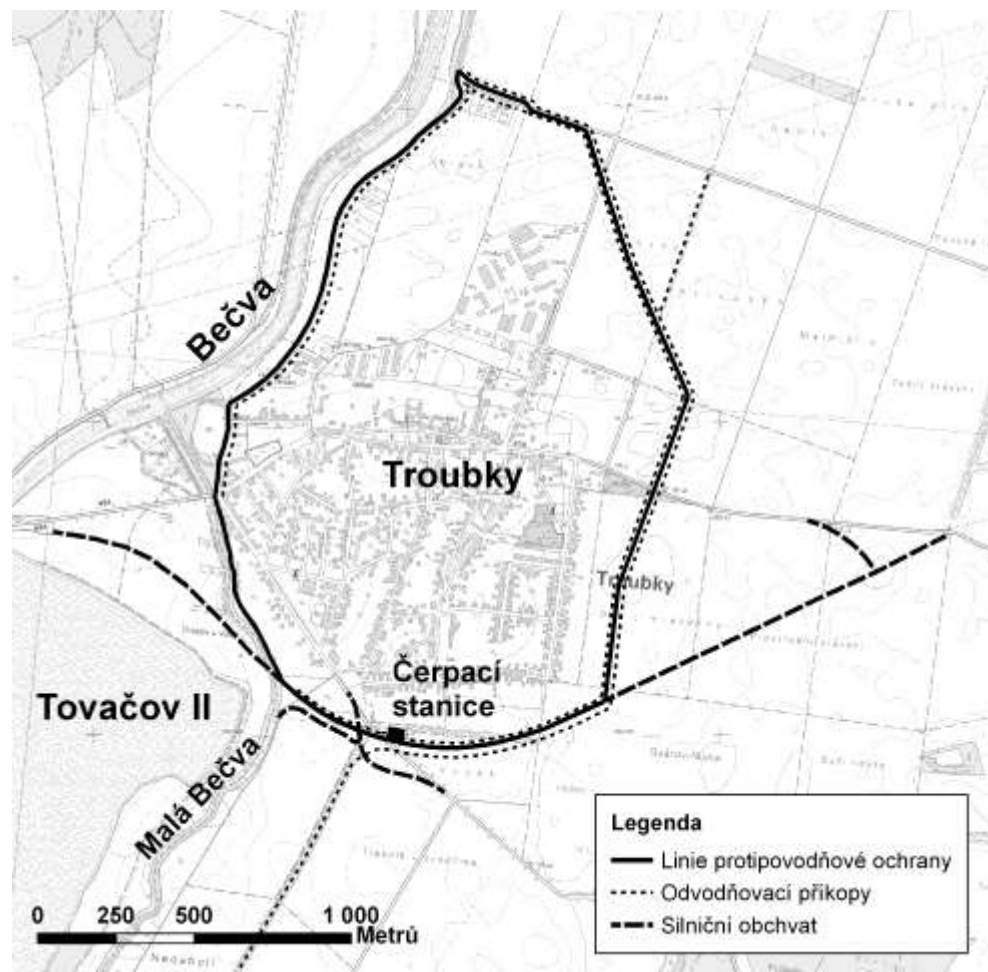
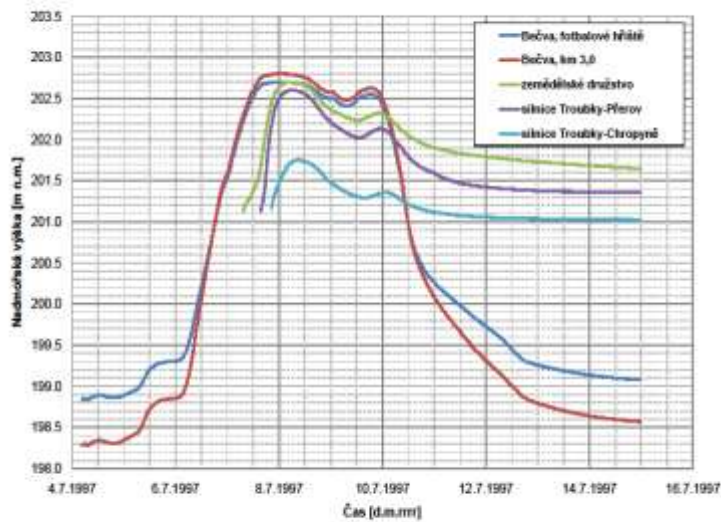




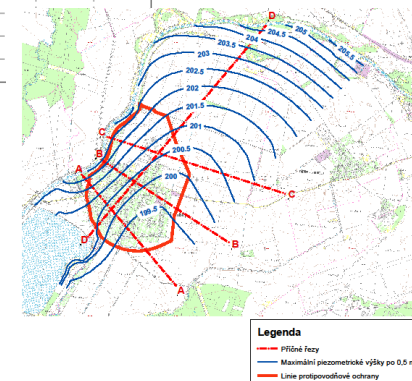
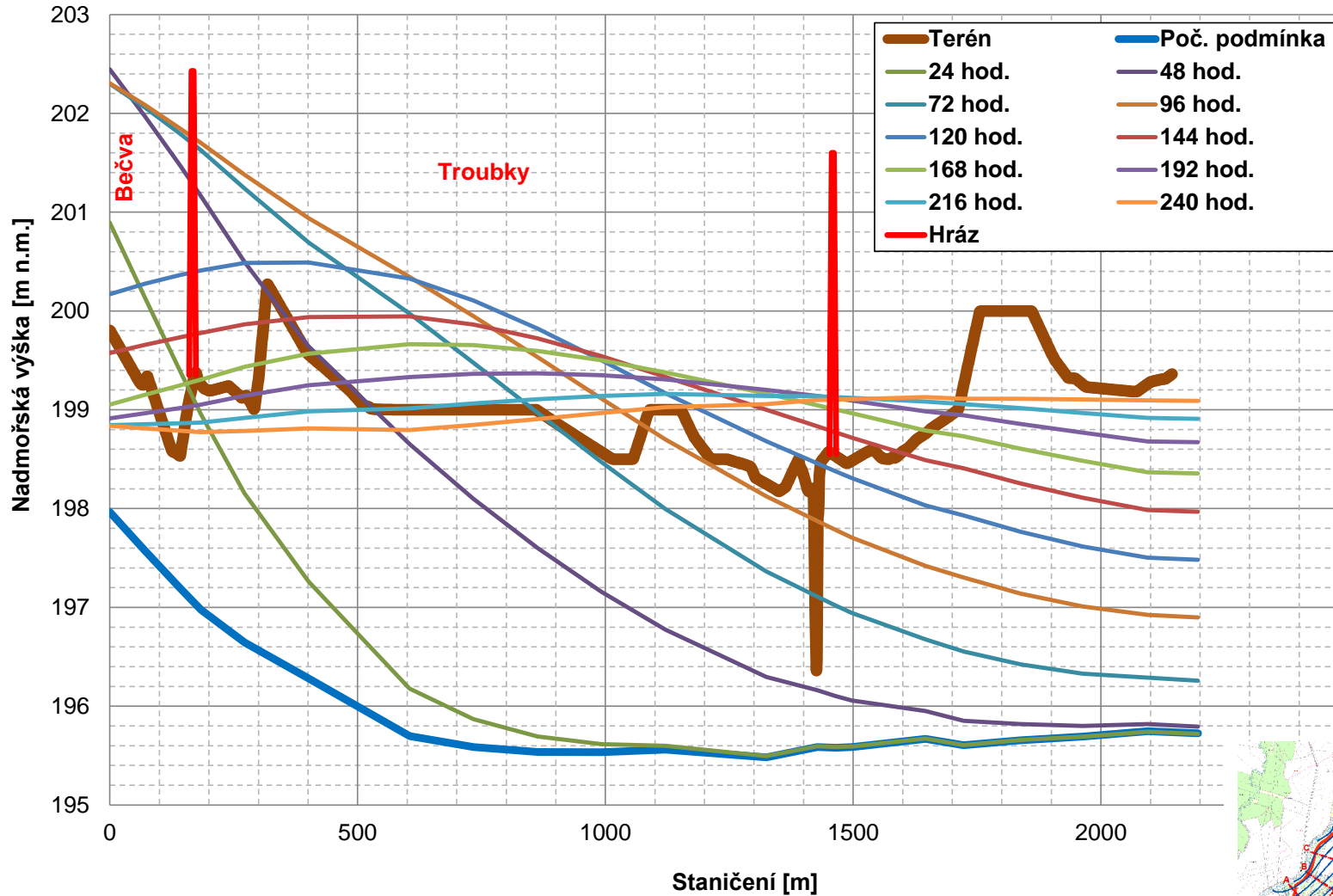
# Praktický příklad - PPO Troubky

- Uzavřená kruhová ochrana
- Velmi propustné štěrkopísky mocnosti 18 – 30 m.
- Stropní izolátor proměnné mocnosti.
- Sít' odvodňovacích příkopů.

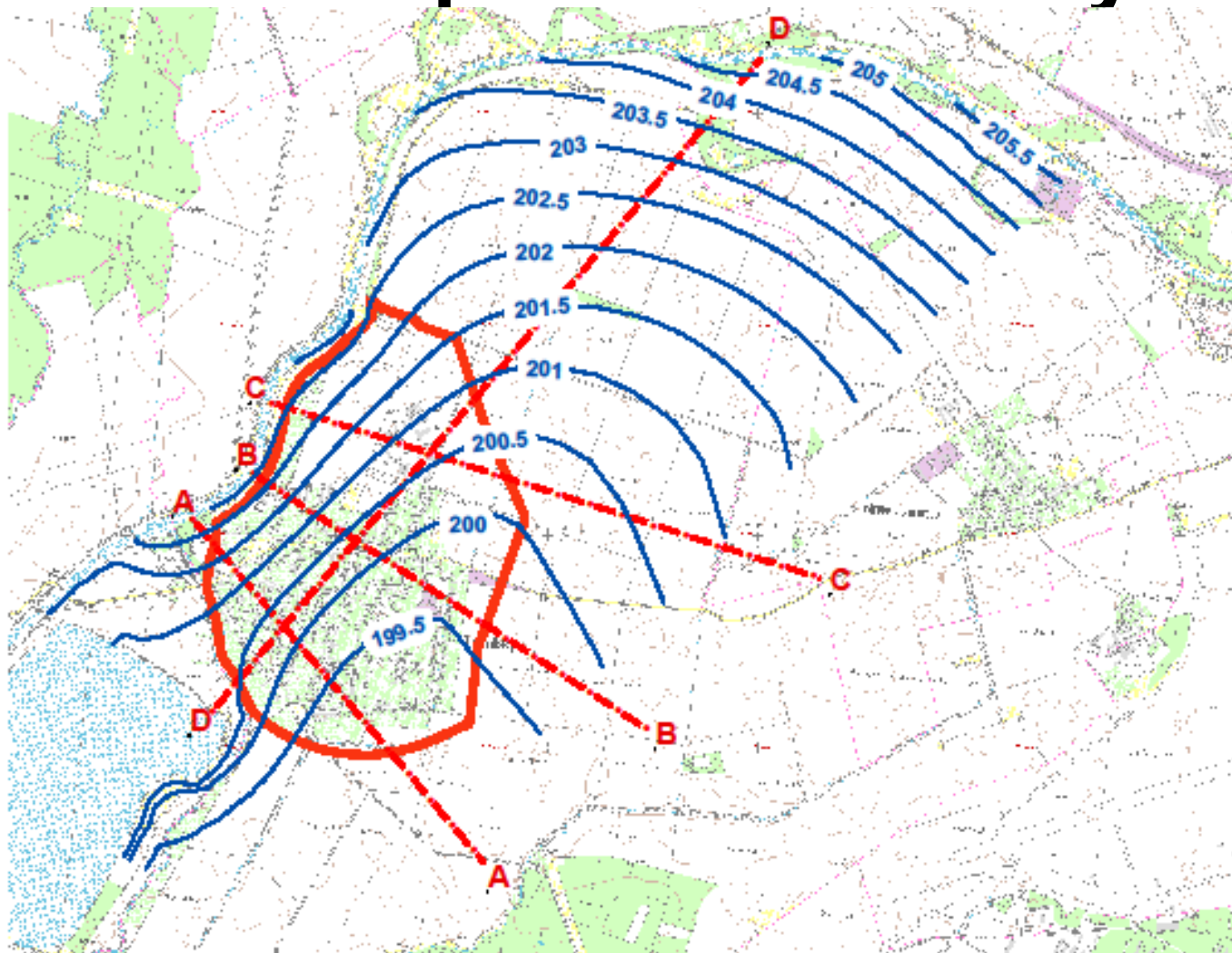
## Průběh povodňové vlny



# Dynamické simulace – řez B



# Maximální piezometrické výšky



## Legenda

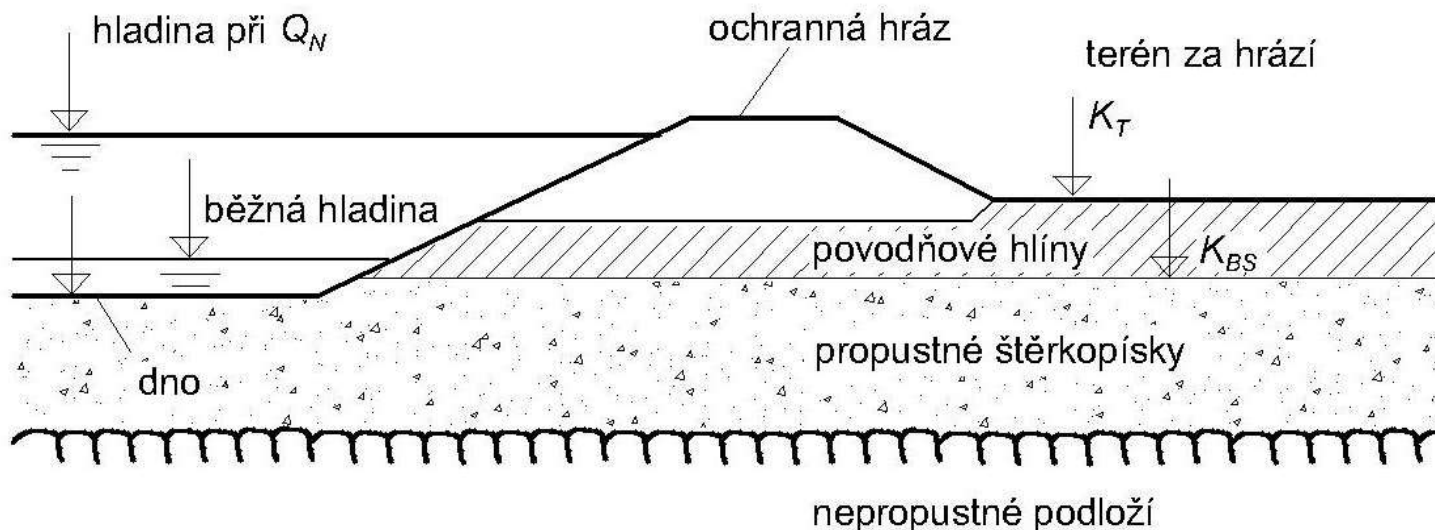
- Příčné řezy
- Maximální piezometrické výšky po 0,5 m
- Linie protipovodňové ochrany

# Prostorová analýza s využitím GIS – max. piezometrické výšky, faktor $RP$

$$RP(x, y) = \frac{\gamma_{fg} \gamma_S (K_T(x, y) - K_{BS}(x, y))}{\gamma_{sit} \gamma_n \gamma_{fv} \gamma_W (h_{MAX}(x, y) - K_{BS}(x, y))}$$

$RP(x, y) \geq 1$  ... vyhoví

$RP(x, y) < 1$  ... plochy náchylné k nazvednutí

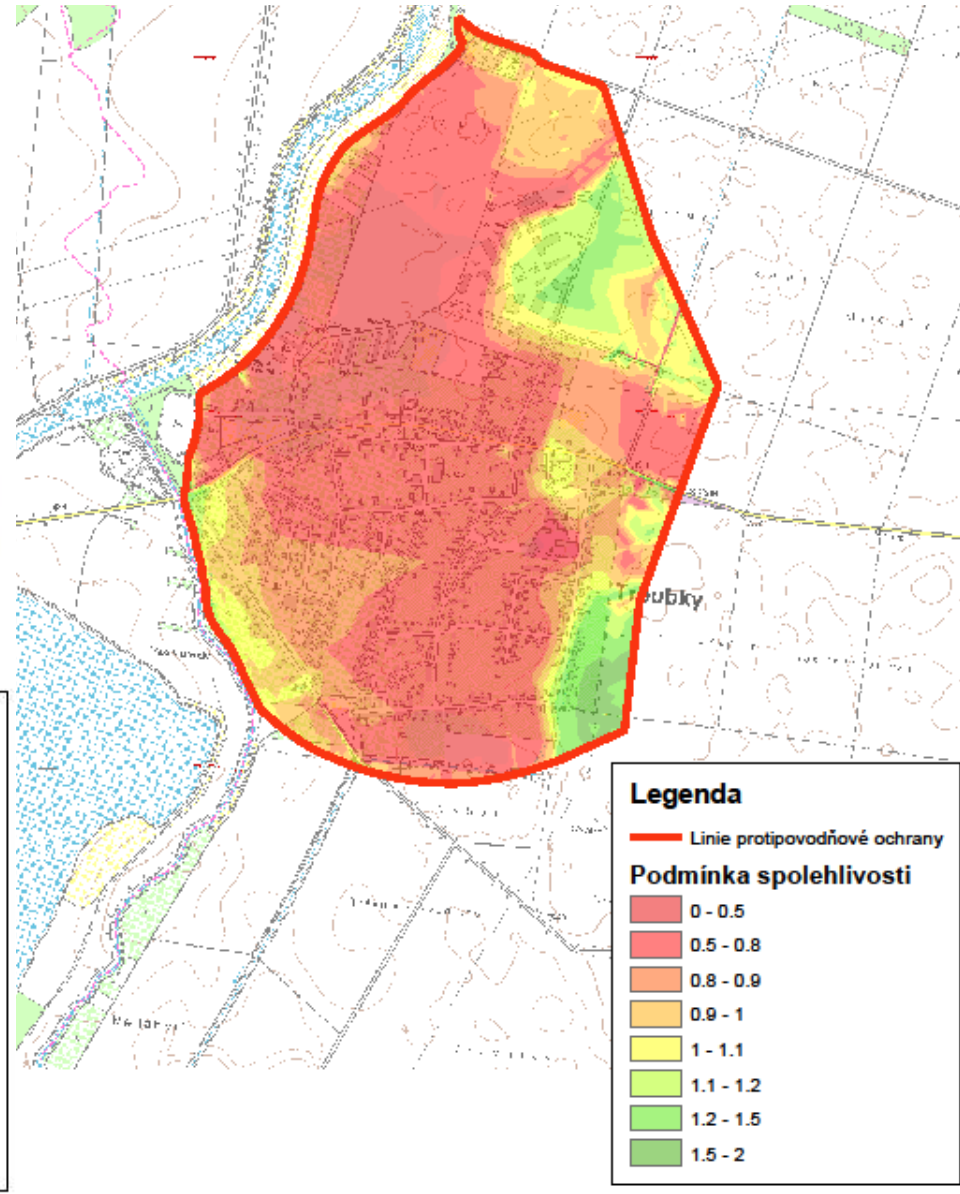
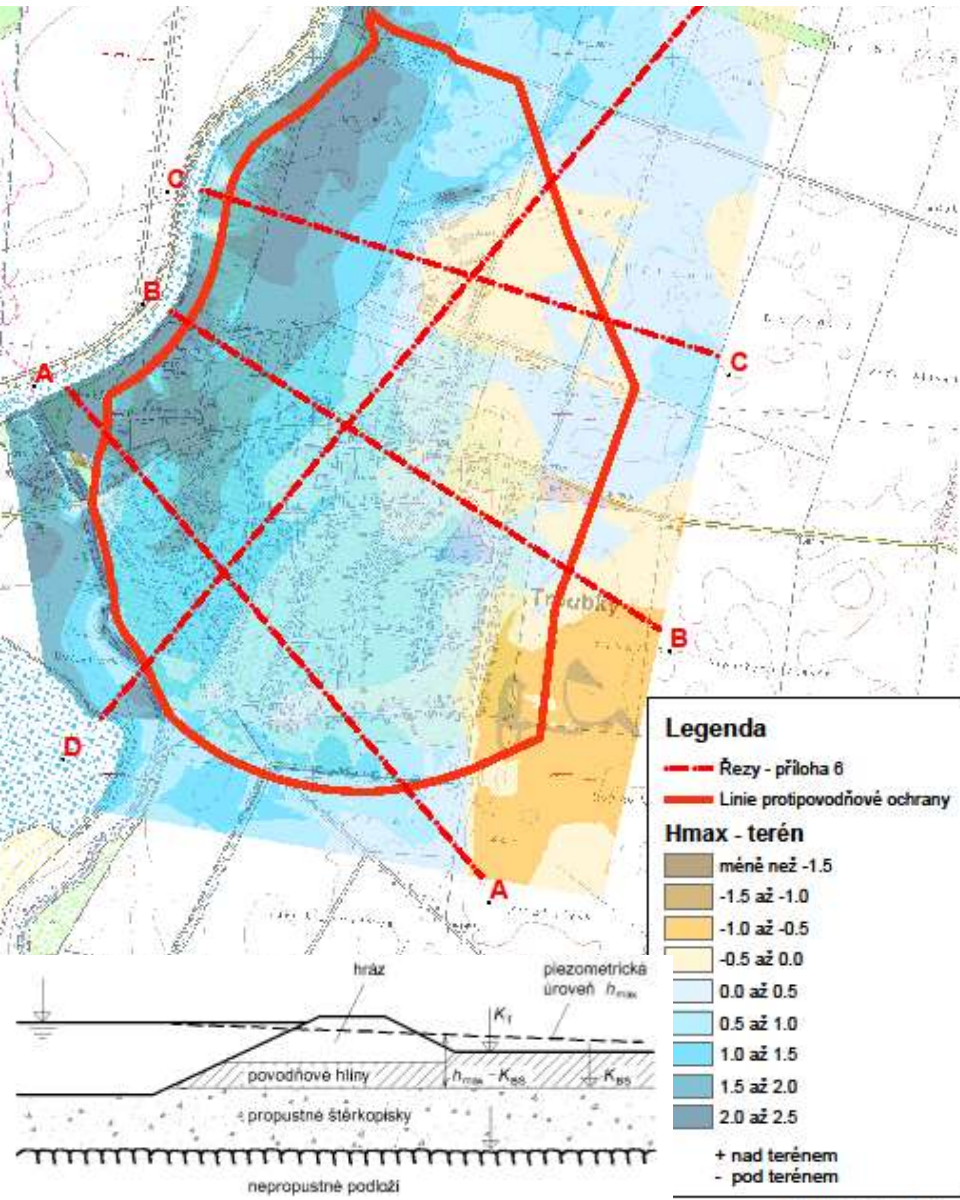




# Stav bez opatření

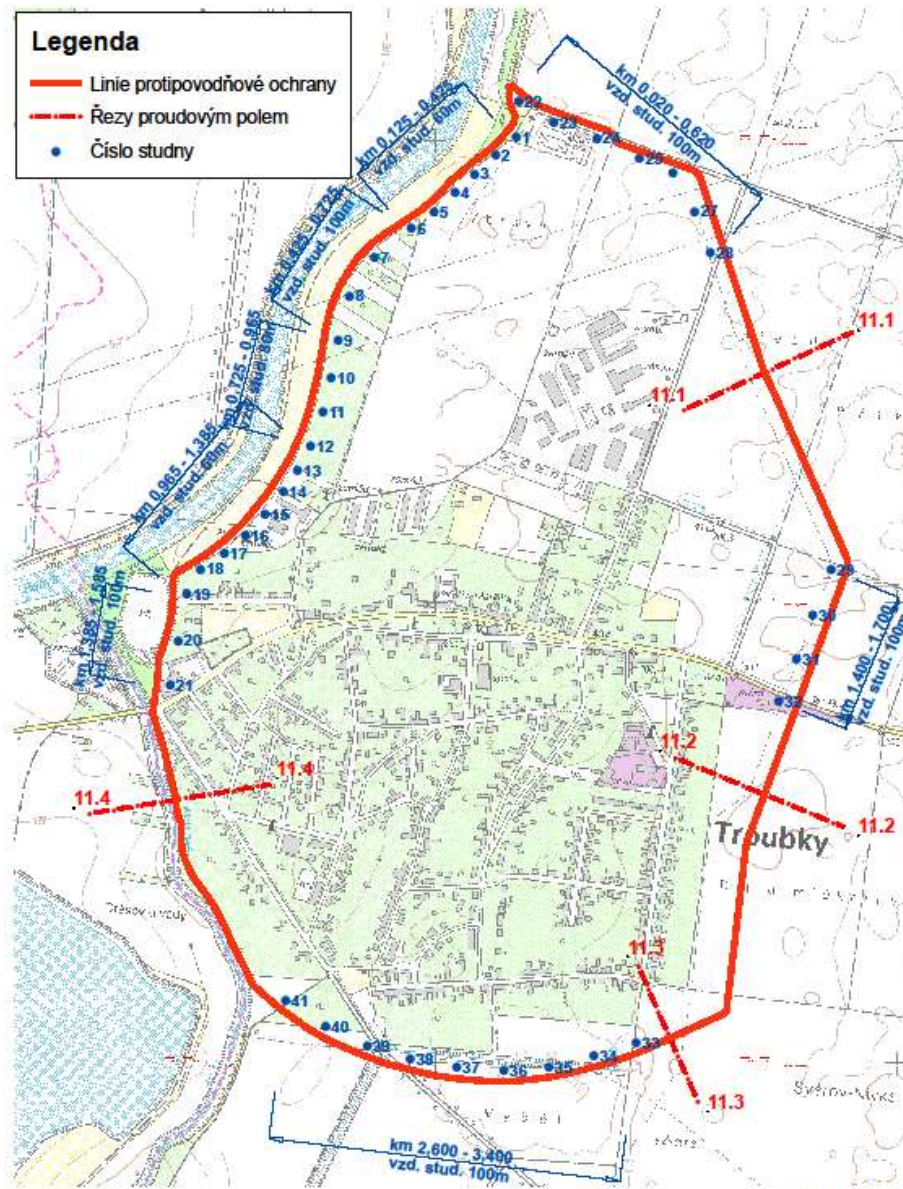
Piezometrické výšky nad terénem

RP



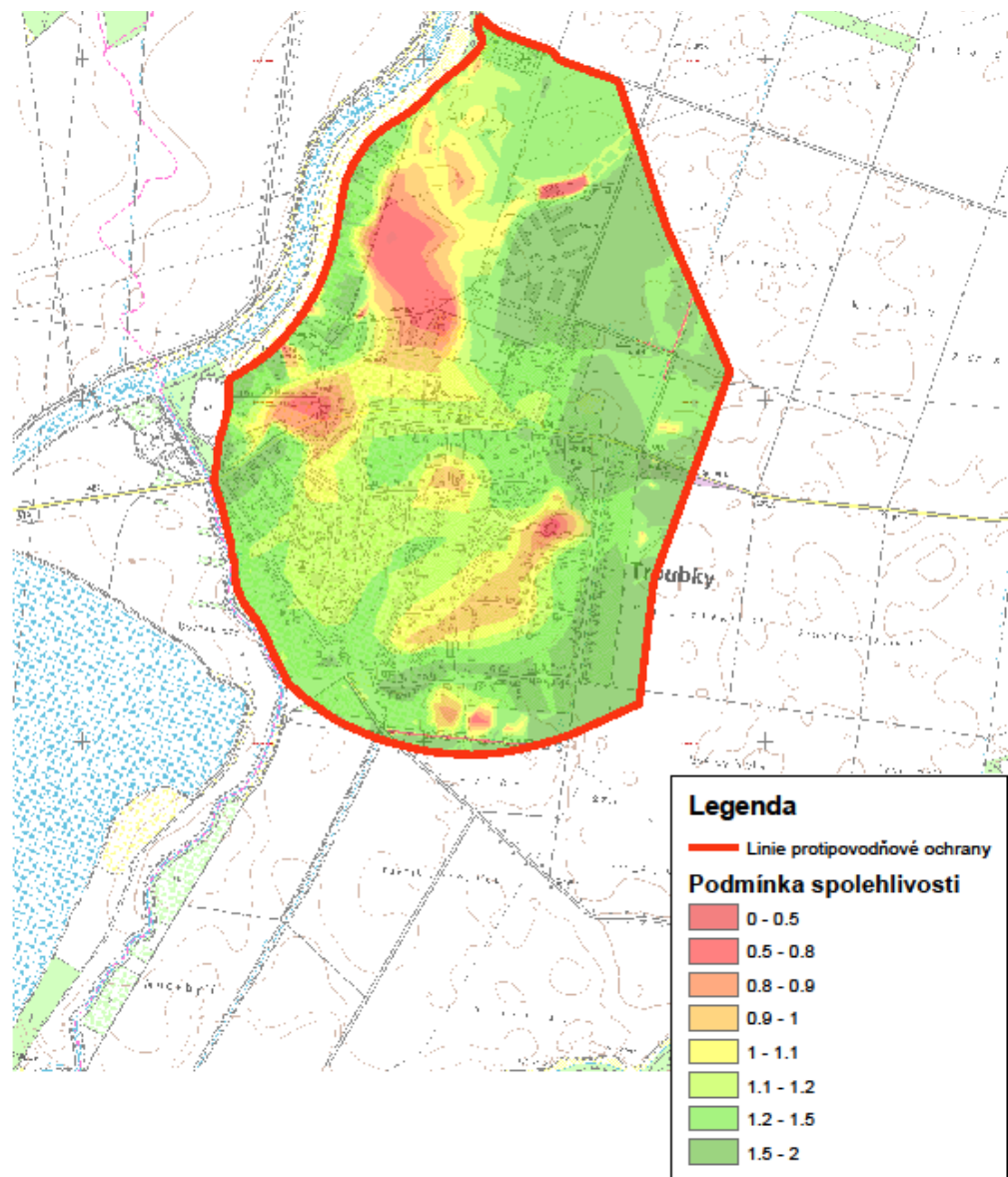
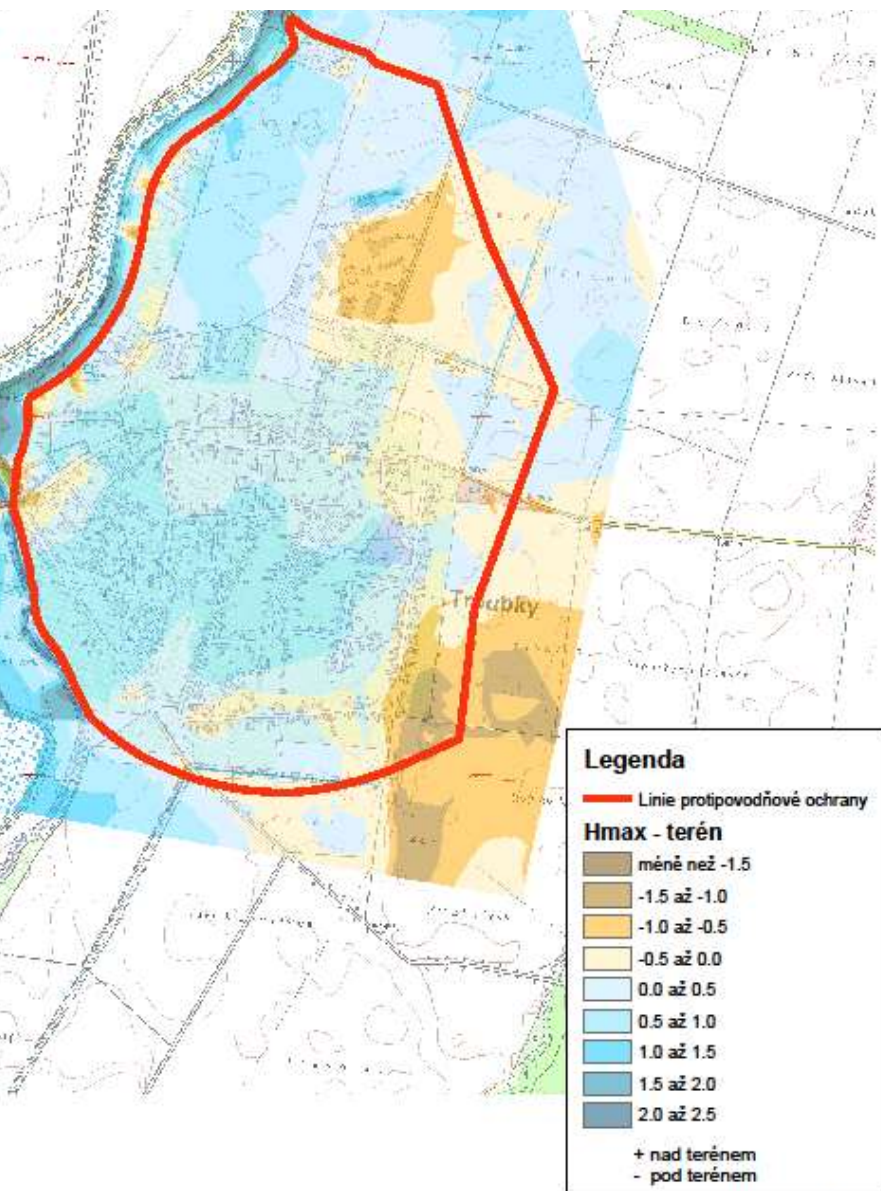


# Schéma odvodňovacích (odlehčovacích) studní



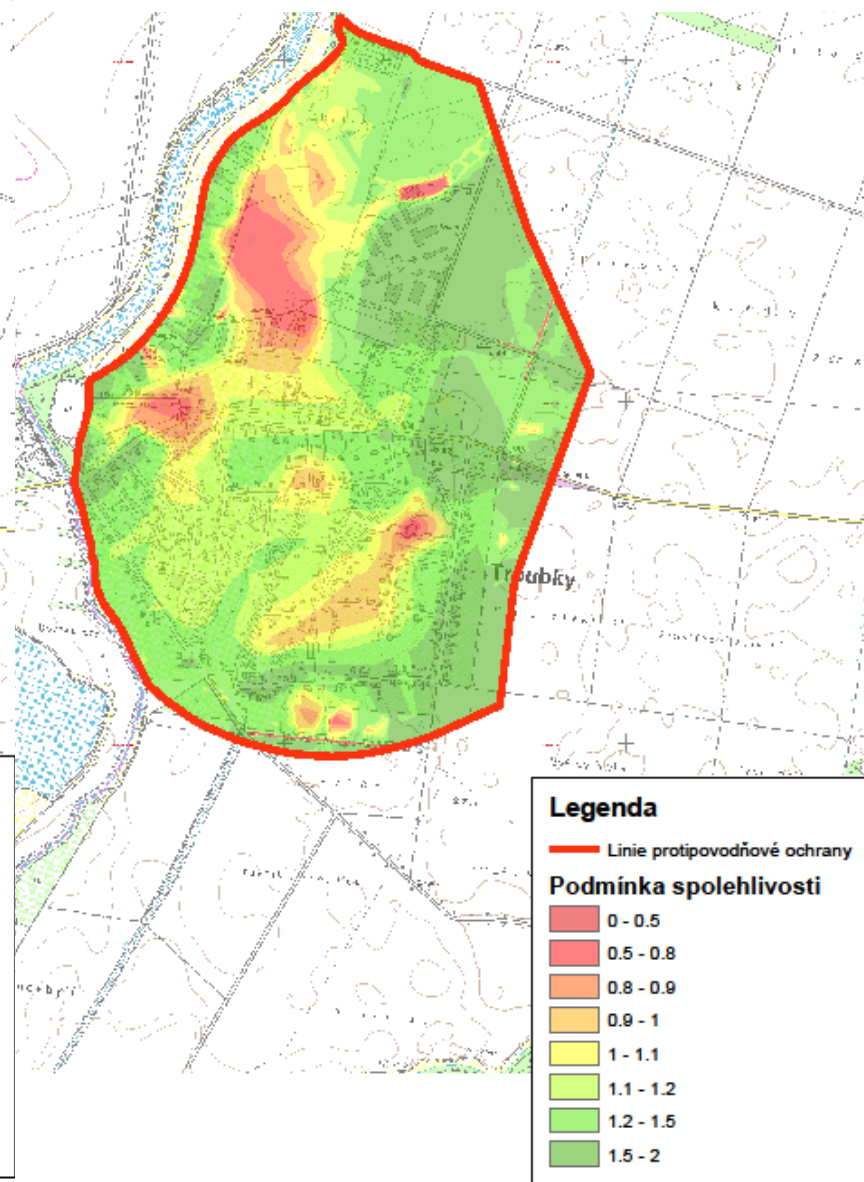
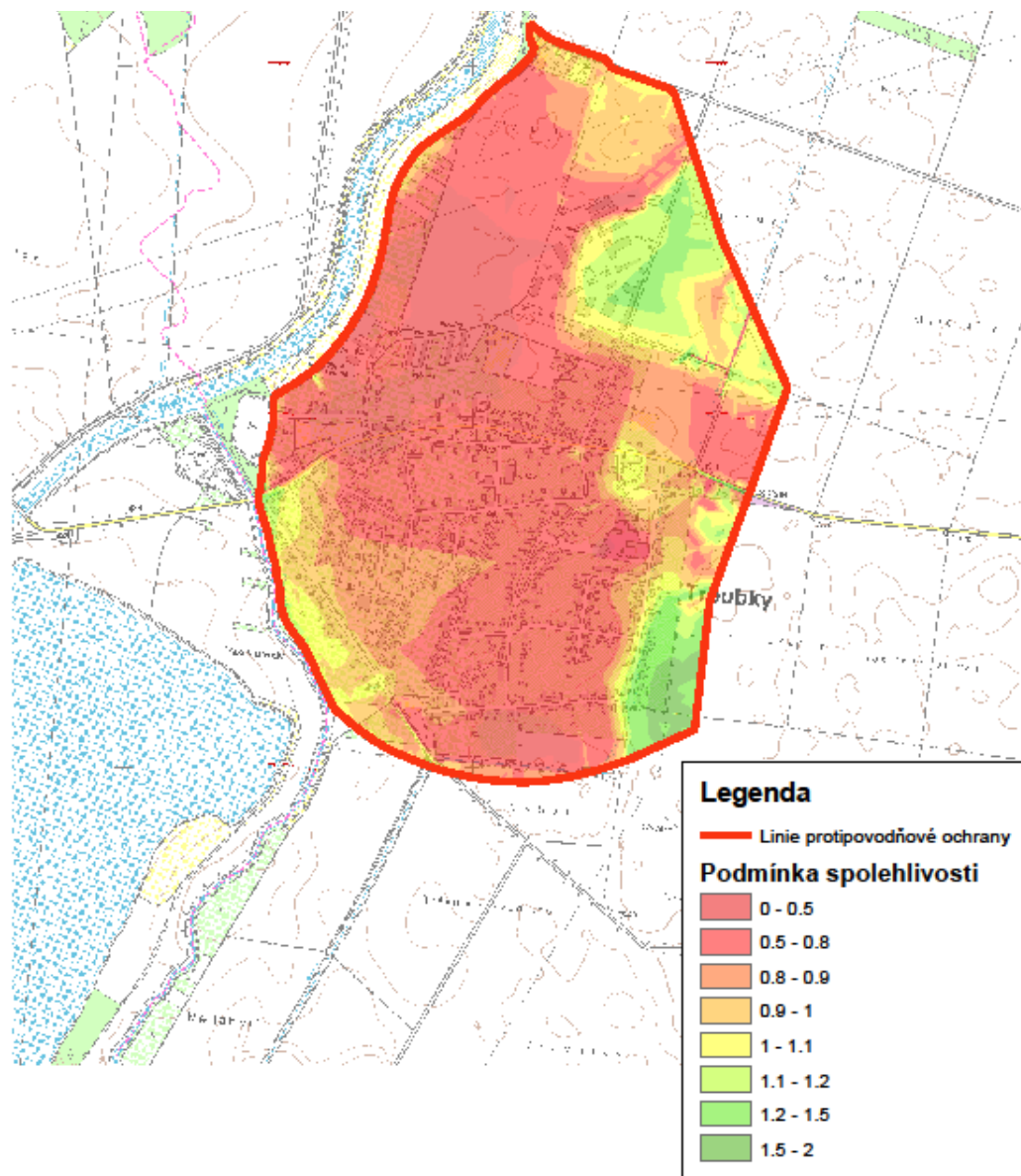
# Max. piezometrická výška nad terénem a *RP* faktor

## - návrhová varianta s odlehč. studněmi





# Parametr RP – před a po aplikaci odvodňovacího systému



# Závěry

- **Návrh PPO**
  - Stabilita vlastní konstrukce PPO (statická, filtrační deformace)
  - Objekty v chráněném území
- **Metoda podle mezních stavů - trend v navrhování a posuzování (Eurocode 7)**
  - Dílčí součinitele spolehlivosti pro jednotlivé parametry
  - Pro jejich výstižnější stanovení další výzkum
    - Statistické soubory měření in situ
    - Laboratorní výzkum
  - Vyhodnocení pomocí GIS – Mapy zranitelnosti, ohrožení
- **Další výzkum -**
  - Pravděpodobnostní řešení
  - Statistické modelování
  - Pravděpodobnost porušení PPO
  - Začlenění do RA záplavových území – reziduální riziko

**Děkuji za pozornost!**

