

Interreg



Kofinanziert von
der Europäischen Union
Spolufinancováno
Evropskou unií

Sachsen – Tschechien | Česko – Sasko

Interreg Sachsen – Tschechien 2021-2027

Interreg Česko – Sasko 2021-2027



Propustnost zemin - ukazatelé, jejich určování a aplikace

Mechanika zemin - vybraná témata

Ing. Jan Kurka, CSc,

AZ CONSULT
Ústí nad Labem

Liberec 22. 10. 2025



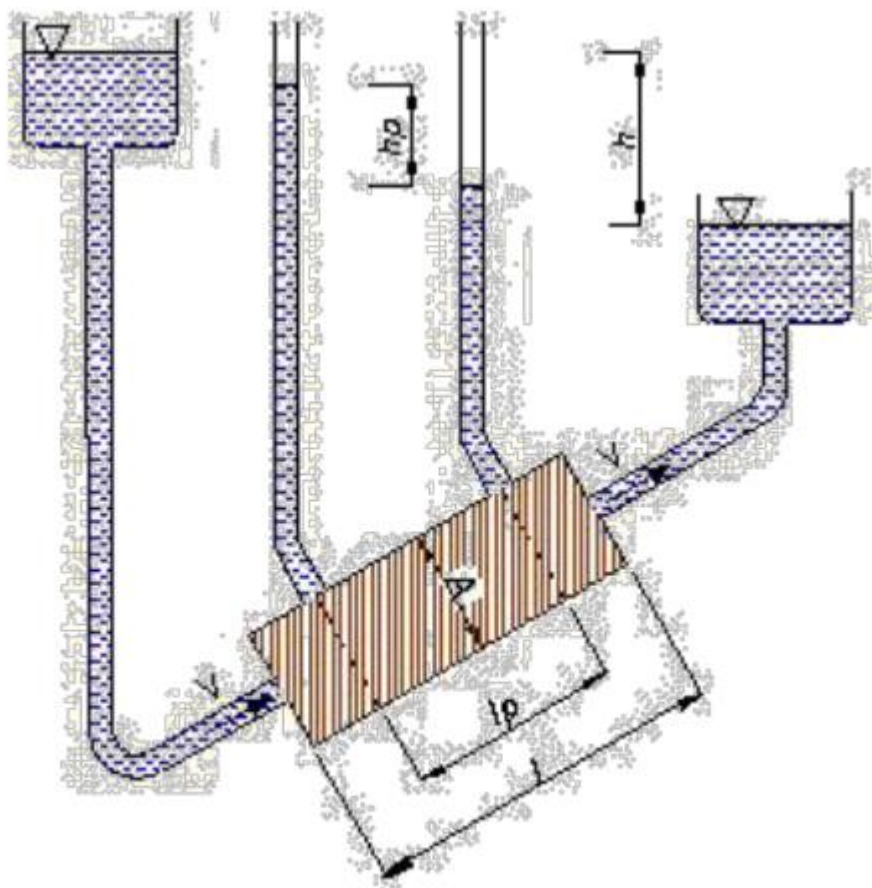


schéma ustáleného proudění vzorkem (Darcyho zákon)

při rozdílu hladin $h = h_1 - h_2$ voda prosakuje zeminou překonává odpor proudění na dráze l

podíl h/l je hydraulický sklon i
jestliže hydraulický sklon $i = h/l = 1$,
potom rychlost prosakující vody v
má hodnotu

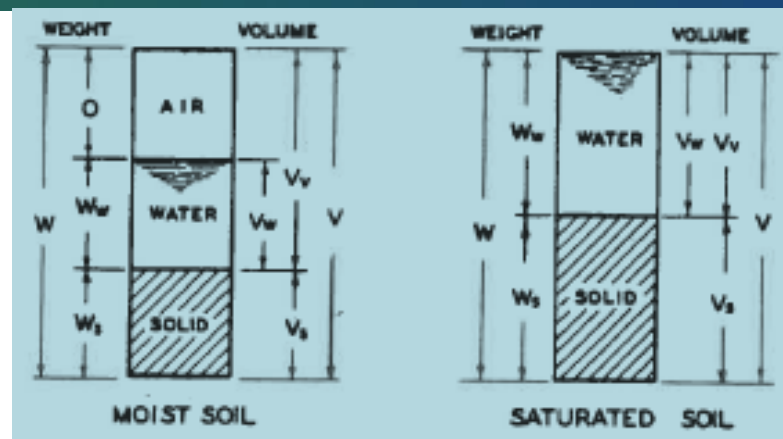
součinitele propustnosti k (m/s)

$$v = k \cdot i \quad k = v / i$$

při průřezové ploše vzorku A je
objem vody Q , která projde
vzorkem za dobu t roven

$$Q = A \cdot k \cdot t \cdot h / l$$

Plná saturace



Hustota toku x pórová rychlost (Valentová, 1994)

tortuozita, křivolakost

Laminární proudění

Laminární (neboli proudnicové) proudění je způsob pohybu viskózních kapalin, při kterém jsou dráhy jednotlivých částic kapaliny navzájem rovnoběžné. Částice se pohybují ve vzájemně rovnoběžných vrstvách, aniž by se navzájem mísily. Při pohybu viskózní kapaliny v tenké trubici, např. krve v cévě, se jednotlivé vrstvy tekutiny nepohybují stejnou rychlostí. Nejrychleji se pohybuje osová vrstva tekutiny, směrem ke stěně cévy se pohyb jednotlivých vrstev zpomaluje.



Myslivec Alois, "Mechanika zemin", skripta ČVUT, SNTL, Praha (1964), strana 45

Druh zeminy	Součinitel propustnosti k		Vodní částice se posune o 1 cm při spádu J=1 za dobu
	cm/ min	cm/den	
Jemný písek	$10^{-1} - 10^{-2}$	14400 - 144	6 sec. - 20 min.
Jílnatý písek	$10^{-2} - 10^{-3}$	14,4 - 1,44	2 hod - 18 hod.
Sprašová hlína	$10^{-3} - 10^{-5}$	1,44 - 0,0144	18 h. - 70 dní
Hlína	$10^{-5} - 10^{-6}$	0,0144 - 0,00144	70 dní - 2 roky
Jílovitá zemina	$10^{-6} - 10^{-7}$	0,00144 - 0,000144	2 roky - 20 roků
Jíl	$10^{-7} - 10^{-8}$	0,000144 - 0,0000144	20 roků - 200 roků

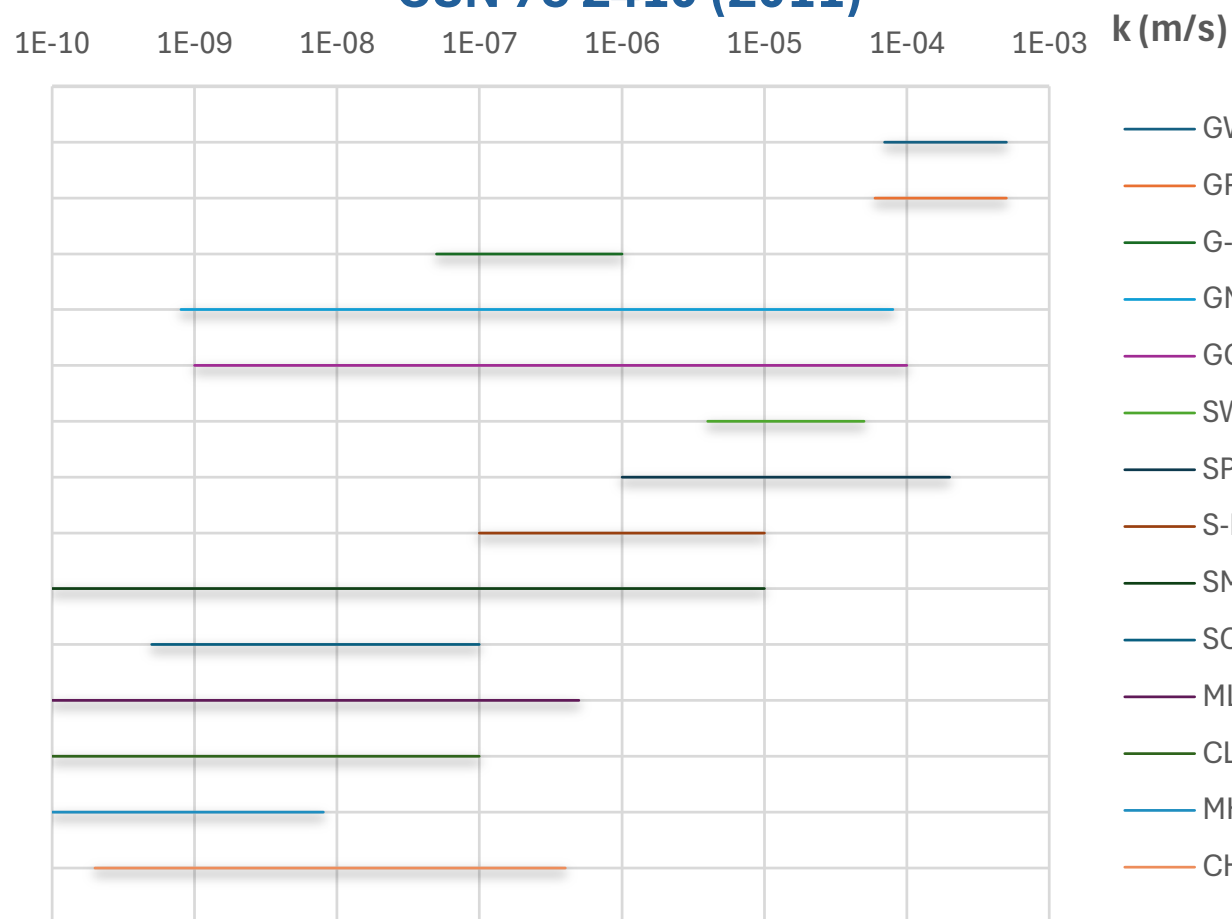
k je veličina řádová

ČSN 75 2410

Tabulka 4 – Orientační půdně mechanické vlastnosti zhutněných zemin

Skupina	Zdánlivá hustota v t.m ⁻³		Standardní Proctorova zkouška		Objemová hmotnost suché zeminy		Smykový pevnost		Filtrační součinitel <i>k</i> v m/s
	částice < 4 mm	částice 4 mm	<i>d_{max}</i> (t.m ³)	<i>W_{opt}</i> (%)	max. (t.m ⁻³)	min. (t.m ⁻³)	<i>c_{ef}</i> (kPa)	<i>φ_{ef}</i> (°)	
	2	3	4	5	6	7	8	9	
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
GW	2,69	2,58	> 1,91	< 13	1,97 až 2,3	1,58 až 1,9	0	44	5 . 10 ⁻⁴ až 7 . 10 ⁻⁵
GP	2,68	2,57	> 1,76	< 13	2,1 až 2,3	1,67 až 1,93	0	41	5 . 10 ⁻⁴ až 6 . 10 ⁻⁵
G – F	2,70	2,5	> 1,74	< 13,5	–	–	0	38	1 . 10 ⁻⁶ až 5 . 10 ⁻⁸
GM	2,73	2,43	> 1,8	< 20,5	2,06 až 2,16	1,7 až 1,76	5	34	8 . 10 ⁻⁵ až 8 . 10 ⁻¹⁰
GC	2,73	2,57	> 1,84	< 17,7	–	–	5	27	1 . 10 ⁻⁴ až 1 . 10 ⁻⁹
SW	2,67	2,57	1,92 až 2,11	7,4 až 10,8	1,9 až 2,1	1,48 až 1,71	0	41	5 . 10 ⁻⁵ až 4 . 10 ⁻⁶
SP	2,65	2,62	1,7 až 2,00	8,8 až 12,8	1,73 až 1,96	1,35 až 1,64	0	37	2 . 10 ⁻⁴ až 1 . 10 ⁻⁶
S – F	2,66	2,45	1,74 až 1,83	11,8 až 14,2	–	–	0	33	1 . 10 ⁻⁵ až 1 . 10 ⁻⁷
SM	2,68	2,48	1,72 až 2,01	9,1 až 15,9	1,62 až 1,9	1,23 až 1,48	5	34	1 . 10 ⁻⁵ až 1 . 10 ⁻¹⁰
SC	2,69	2,47	1,81 až 2,00	10 až 14,7	–	–	6	34	1 . 10 ⁻⁷ až 5 . 10 ⁻¹⁰
ML	2,69	–	1,49 až 1,82	14 až 25	–	–	12	34	5 . 10 ⁻⁷ až 1 . 10 ⁻¹⁰
CL	2,71	–	1,66 až 1,84	14 až 19	–	–	25	25	1 . 10 ⁻⁷ až 1 . 10 ⁻¹⁰
MH	2,79	–	1,33 až 1,4	33 až 35	–	–	20	18	8 . 10 ⁻⁹ až 1 . 10 ⁻¹⁰
CH	2,73	–	1,42 až 1,63	19,5 až 30,5	–	–	20	17	4 . 10 ⁻⁷ až 2 . 10 ⁻¹⁰

ČSN 75 2410 (2011)



Ukazatelé propustnosti

terminologie

ČSN 72 1020 (721020) Laboratorní stanovení propustnosti zemin **součinitel filtrace (filtrační součinitel) k** (Norma není platná)

ČSN CEN ISO/TS 17892-11 (721007) Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 11: Stanovení propustnosti zemin při konstantním a proměnném spádu **součinitel filtrace** (Norma není platná)

ČSN EN ISO 17892-11 (721007) Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 11: Stanovení propustnosti **coefficient of permeability** (Norma je platná)

ČSN EN 1997-1 Eurokód 7 Část 1: v seznamu značek 1.6 (1)P není

- v 1.6 (2) je uveden **součinitel propustnosti** s doporučenou jednotkou **m/s**

ČSN EN 1997-1 Eurokód 7 Část 2: v seznamu značek 1.8 (1) není

- 2.4.2.6 (6) Tabulka 2.3 obsahuje pojem **propustnost (k)**
- 5.11.1 (1) **součinitel propustnosti (hydraulickou vodivost)** pro proudění vody nasycenou zeminou
- 5.11.2 (1)P **součinitel propustnosti**
- Příloha S (informativní) opakovaně **součinitel filtrace**, ev. **(hydraulická vodivost)**



Wikipedie Charakteristiky propustnosti

Koeficient propustnosti K (coefficient of permeability, intrinsic permeability)

vyjadřuje míru propustnosti pórového prostředí

Má rozměr plochy a vyjadřuje se v m^2

Koeficient filtrace k (hydraulic conductivity, coefficient of hydraulic conductivity, coefficient of permeability)

Koeficient filtrace se číselně rovná filtrační rychlosti při jednotkovém hydraulickém gradientu

Má rozměr rychlosti a vyjadřuje se v m/s

Představuje směrnici lineární závislosti rychlosti proudění na hydraulickém gradientu v Darcyho zákoně: $v=k \cdot I$

Je mírou propustnosti pórového prostředí pro vodu s danou kinematickou viskozitou

Existuje vazba mezi koeficientem filtrace k a koeficientem propustnosti K

The relationship between the intrinsic permeability and hydraulic conductivity is

$$K = \frac{k\rho g}{\mu}; \text{ or } k = \frac{K\mu}{\rho g}$$

Existuje vazba mezi koeficientem filtrace k a koeficientem propustnosti K

Valentová J., „Hydraulika podzemní vody“, skripta ČVUT, Praha (1994)

strana 23: Koeficient K v Darcyho rovnici se nazývá **hydraulická vodivost (filtrační koeficient)** (**m/s**)

$$K = k \cdot \rho \cdot g / \mu,$$

kde k (**m²**) se nazývá **propustnost porézního prostředí**

μ - dynamická viskozita vody [Pa*s]

$$k = \frac{K\mu}{\rho g} = \left[\frac{\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)\left(\frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}\right)}{\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)\left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} \right] = [\text{m}^2]$$

terminologie - shrnutí

k, K, k_f (m/s)

- součinitel propustnosti
- součinitel filtrace
- koeficient filtrace
- filtrační součinitel
- filtrační koeficient
- hydraulická vodivost
- koeficient hydraulické vodivosti
- coefficient of permeability (platná norma pro laboratorní zkoušky a wikipedie)

k, K, k_p (m^2)

- součinitel propustnosti
- koeficient propustnosti
- propustnost porézního prostředí
- coefficient of permeability (wikipedie), intrinsic permeability, absolute permeability

1. univerzálně platné termíny nenajdeme
2. interně dáváme přednost **součiniteli filtrace k (m/s)**
3. důležitý je správný rozměr a logicky odpovídající kontext



Ukazatelé propustnosti určování

ČSN EN 1997-1 Eurokód 7 Část 1:

3.3.9.1 Propustnost a parametry konsolidace zemin

(3) Propustnost může být někdy vyhodnocena na **základě zrnitosti**

ČSN EN 1997-1 Eurokód 7 Část 2:

S.3 (1) Čtyři metody pro určení

empirické korelace s křivkou zrnitosti*)

edometrická zkouška

propustoměry v laboratoři

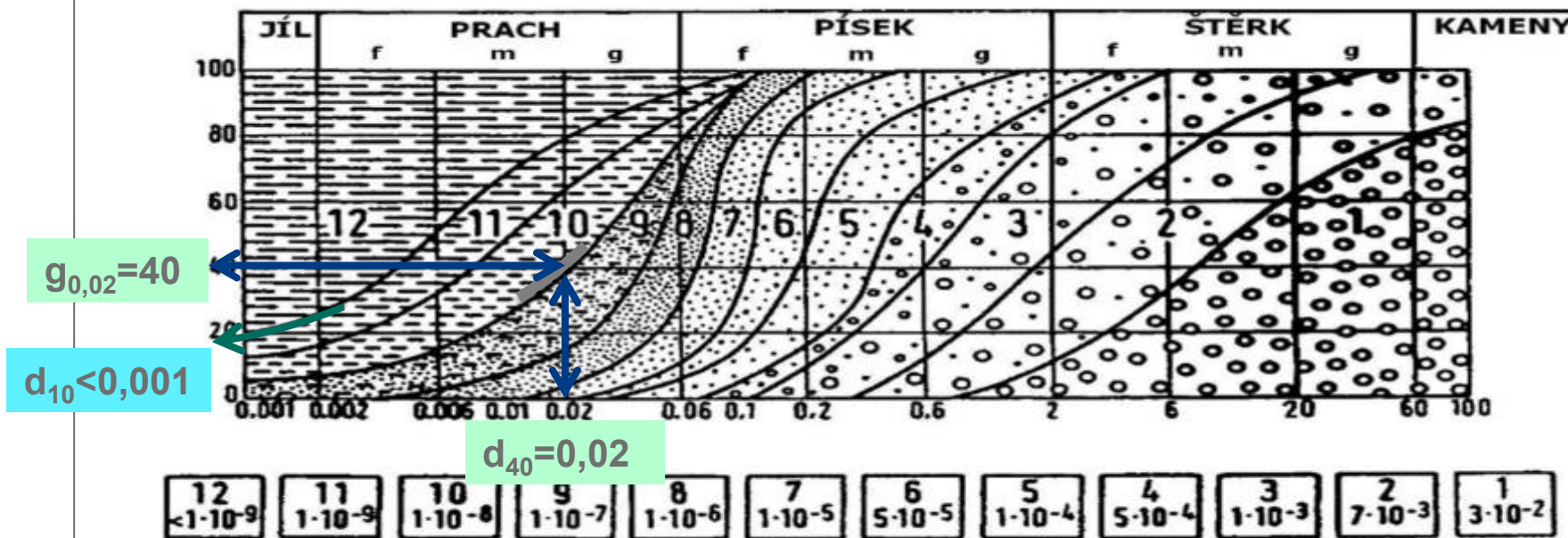
terénní

*) Poznámka: nejsou tu uvedené ostatní používané parametry w_L , w_P , n , e

Ukazatelé propustnosti

určování **1** z křivek zrnitosti

Stanovení odečtem z křivky zrnitosti zeminy:



Obr. 6.2.
1996)

Vztah mezi hydraulickou vodivostí K (m/s) a zrnitostí zemín (Šamalíková,

Šimek J., Jesenák J., Eichler J., Vaníček I., „Mechanika zemin“, SNTL, Praha (1990)

Hazen (1893) odvodil původně pro pomalé pískové vodárenské filtry závislost

$$k = cd_{10}^2(0,70 + 0,03t) \quad (5.19a)$$

d_{10} dosazujeme v mm, k vychází v m na den.

Empirický součinitel c dosazujeme pro čisté písky hodnotou 1 000 až 700, pro písky znečištěné hlinitými, prachovitými částicemi hodnotou 700 až 500. Člen v závorce představuje opravu na teplotu lišící se od 10 °C. Rovnici používáme i v jednodušším tvaru

d_{10} dosazujeme v mm, k vychází v m na den.

Vzorec Hazenův

$$k = C \cdot d_{10}^2 (0,7 + 0,32) \text{ [cm/s]}$$

Podmínky platnosti: $0,1 < d_{10} < 3,0 \text{ mm}$
 $d_{60}/d_{10} = < 5$

Tabulka hodnot C pro Hazenův vzorec

Koeficient C (pro k_f v m.s^{-1})	Název sypkých hornin
0,00464	Štěrký a písky silně zahliněné
0,00695	Štěrký písčité, zahliněné
0,00925	Štěrký písčité , slabě zahliněné
0,0104	Štěrký písčité, velmi slabě zahliněné
0,0116	Štěrký písčité, střední zrnitosti, čisté
0,0139	Štěrký písčité, hrubé, velmi čisté

Podľa Hasena je

$$k_0 = (400 \div 1200)I(0,7 + 0,03t)d_{10}, \quad (2-38)$$

ak sa určuje priepustnosť v m/deň pre ílovité piesky ($c = 400$, pre hrubé rovnozrnné piesky $c = 1200$).

Prof. Ing. Pavel Peter, DrSc. Kanálové a ochranné hrádze

ERRÁTA

str.	Riadok	Chybne	Správne
21	2	q_n	q_n
73	v rovnici (2–30)	$\frac{g}{\gamma} p$	$\frac{g}{\gamma} P$
74	v rovnici (2–38)	$\dots I(0,7 + 0,03t)d_{10}$	$\dots I(0,7 + 0,03t)d_{10}^2$
127	4	(v rovnici ξ, r_i)	(v rovnici ξ, r_i)
128	v rovnici (2–117)	$1,8 \cdot P$	$1,8 \cdot P$

Table 3

Summary of the applied formulas, key parameters and citation.

Name	Type	Formula	K in	Relevant parameter	Application range
Hazen	Empirical	$K = C_H \times d_{10}^2 \times (0.7 + 0.03T)$	m/d	d_{10} in mm	$U < 5$
		$T = \text{temperature}$ $C_H = 1000$ (coefficient)			$0.1 < d_{10} < 3 \text{ mm}$
USBR	Empirical	$K = 0.0036 \times d_{20}^{2.3}$	m/s	d_{20} in mm	$U < 5$
Seelheim	Empirical	$K = 0.00357 \times d_{50}^2$	m/s	d_{50} in mm	

d10,20,50

mm

k

m/s

0,55

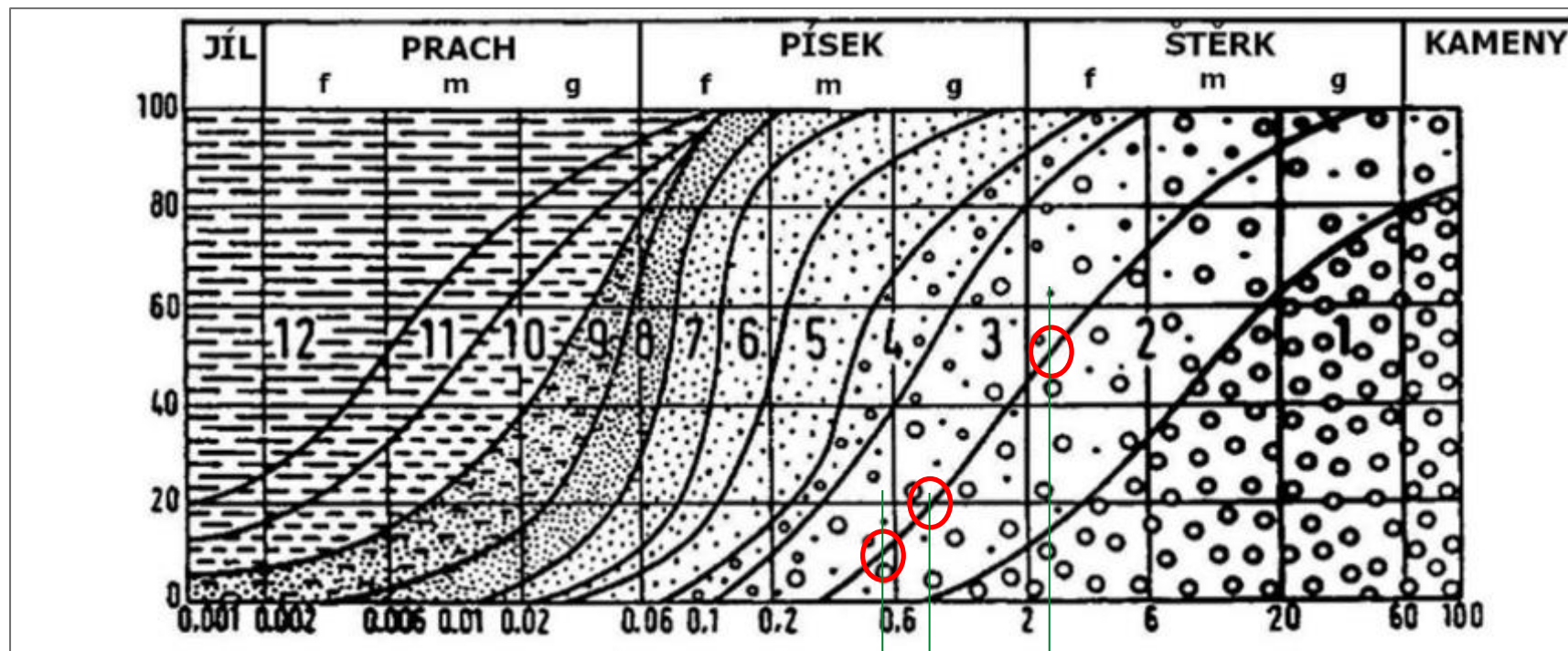
3,5E-03

0,80

2,2E-03

2,50

2,2E-02



Existuje velký výběr nejrůzněji konstruovaných vzorců, z nichž většina využívá **jeden nebo více bodů z křivky zrnitosti**. Obvykle se využívá **podíl zrn s průměry** d_{10} , d_{15} , d_{17} , d_{20} nebo d_{50} . Pro určení dalších charakteristik se užívají také hodnoty d_{30} a d_{60} .

Slabinou těchto vzorců obvykle jsou:

- **nízká reprezentativnost** pro danou zeminu (obvykle jeden bod křivky),
- **zrnitostně omezená platnost** (průměrem zrna, obsahem frakce nebo tvarem zrnitostní křivky – například číslem nestejnozrnnosti nebo číslem křivosti),
- často **regionálně omezená platnost**.

Důsledkem jsou pak řádové rozdíly při použití různých vzorců a omezené možnosti vyhodnocování pro určitou skupinu zemin (jemnozrnné například pro $d_{10} < 0,001$ mm) .

V mnohých používaných zdrojích a podkladech je možné nacházet **věcné chyby, přepisy** ve vzorcích plynoucích z jejich vícenásobného přebírání, resp. i **nedůslednost** ve vysvětlování jednotlivých veličin ve vzorcích, resp. v uvádění jejich fyzikálních jednotek.



WIKIPEDIA
The Free Encyclopedia

Kozeny-Carman equation

The **Kozeny–Carman equation** (or **Carman–Kozeny equation** or **Kozeny equation**) is a relation used in the field of **fluid dynamics** to calculate the **pressure drop** of a **fluid** flowing through a **packed bed** of solids. It is named after **Josef Kozeny** and Philip C. Carman. The equation is only valid for **creeping flow**, i.e. in the slowest limit of **laminar flow**. The equation was derived by Kozeny (1927)^[1] and Carman (1937, 1956)^{[2][3][4]} from a starting point of (a) modelling fluid flow in a **packed bed** as laminar fluid flow in a collection of curving passages/tubes crossing the **packed bed** and (b) **Poiseuille's law** describing laminar fluid flow in straight, circular section pipes.

The equation is given as:^{[4][5]}

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{150\mu}{\Phi_s^2 d_p^2} \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} V_0$$

where:

- ΔP is the **pressure drop**;
- L is the total height of the bed;
- μ is the **viscosity** of the fluid;
- ε is the **porosity** of the bed ($\simeq 0.37$ for randomly packed spheres); ^[6]
- Φ_s is the **sphericity** of the particles in the packed bed ($\Phi_s = 1.0$ for spherical particles);
- d_p is the diameter of the volume equivalent spherical particle;
- V_0 is the **superficial or "empty-tower" velocity** which is directly proportional to the average volumetric fluid flux in the channels (q), and porosity (ε). ^[7]

This equation is a particular case of **Darcy's law**, with a very specific permeability. **Darcy's law** states that "*flow is proportional to the pressure gradient and inversely proportional to the fluid viscosity*" and is given as:

$$q = \frac{\kappa}{\mu} \frac{\Delta P}{L}$$

Combining these equations gives the final Kozeny equation for absolute (single phase) permeability:

$$\kappa = \Phi_s^2 \frac{\varepsilon^3 d_p^2}{150(1 - \varepsilon)^2}$$

where:

- κ is the absolute (i.e., single phase) permeability.

$$\kappa = \Phi_s^2 \frac{\varepsilon^3 d_p^2}{150(1 - \varepsilon)^2}$$



WIKIPEDIA
The Free Encyclopedia

Kozeny-Carman equation

The **Kozeny**
the **pressur**
valid for **cr**
from a star
bed and (b

Following independent work by Kozeny (1927) and Carman (1937, 1938a, b, 1939, 1956), who never published together, and were interested in permeability testing of

to calculate
is only
[2][3][4]
the packed

The equation is given as:[4][5]

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{150\mu}{\Phi_s^2 d_p^2} \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} V_0$$

where:

- ΔP is the **pressure drop**;
- L is the total height of the bed;
- μ is the **viscosity** of the fluid;
- ε is the **porosity** of the bed ($\simeq 0.37$ for randomly packed spheres); [6]
- Φ_s is the **sphericity** of the particles in the packed bed ($\Phi_s = 1.0$ for spherical particles);
- d_p is the diameter of the volume equivalent spherical particle;
- V_0 is the **superficial or "empty-tower" velocity** which is directly proportional to the average volumetric fluid flux in the channels (q), and porosity (ε). [7]

This equation is a particular case of **Darcy's law**, with a very specific permeability. **Darcy's law** states that "*flow is proportional to the pressure gradient and inversely proportional to the fluid viscosity*" and is given as:

$$q = \frac{\kappa}{\mu} \frac{\Delta P}{L}$$

Combining these equations gives the final Kozeny equation for absolute (single phase) permeability:

$$\kappa = \Phi_s^2 \frac{\varepsilon^3 d_p^2}{150(1 - \varepsilon)^2}$$

where:

- κ is the absolute (i.e., single phase) permeability.

$$\kappa = \Phi_s^2 \frac{\varepsilon^3 d_p^2}{150(1 - \varepsilon)^2}$$



Practical pedotransfer functions for estimating the saturated hydraulic conductivity

M. MBONIMPA¹, M. AUBERTIN^{1,*}, R.P. CHAPUIS¹ and B. BUSSIÈRE²

(Received 22 June 2001; revised 20 November 2001; accepted 4 February 2002)

2. Model Formulation

The fundamental equation for k [LT^{-1}] may be formulated by combining the different influence factors as follows:

$$k = f_f f_v f_s \quad (1)$$

where the three terms on the right hand side of Equation (1) represent respectively functions of the fluid properties (f_f [$L^{-1}T^{-1}$]), of the void space (f_v [L^3L^{-3}]), and of the solid grain surface characteristics (f_s [L^2]). These three functions are defined in the following.

$$k = f_f f_v f_s$$

(1)

where the three terms on the right hand side of Equation (1) represent respectively functions of the **fluid properties** ($f_f [L^{-1}T^{-1}]$), of the **void space** ($f_v [L^3L^{-3}]$), and of the **solid grain surface characteristics** ($f_s [L^2]$). These three functions are defined in the following.

kombinace faktorů:

1. vlastnosti výplně pórů (fluid properties) - rozměrově
 $1/(\text{délka} \cdot \text{čas})$
2. objem pórů (void space) - podíl třetích mocnin čísla pórovitosti
objem/objem
3. povrch pevných částic (solid grain surface char.) - **plocha**

Predicting the saturated hydraulic conductivity of soils: a review

Robert P. Chapuis

$$k_G = C_G \frac{\gamma_w}{\mu_w} \frac{e^{3+x}}{1+e} C_U^{1/3} D_{10}^2 \quad (\text{MB13})$$

granular

$$k_P = C_P \frac{\gamma_w}{\mu_w} \frac{e^{3+x}}{1+e} \frac{1}{\rho_s^2 w_L^{2\chi}} \quad (\text{MB17})$$

plastic

$$K_{sat} = C \frac{g}{\mu_w \rho_w} \frac{e^3}{S_s^2 G_s^2 (1+e)} \quad (\text{CH15})$$

2.1. FLUID FUNCTION

2.2. VOID FUNCTION

2.3. SURFACE CHARACTERISTICS FUNCTION

- C_G, C_P, C konstanty
- γ_w objemová tíha vody
- ρ_w objemová hmotnosť vody
- ρ_s objemová hmotnosť zrn
- μ_w dynamická viskozita [Pa*s]
- e číslo pórovitosti
- g tíhové zrychlenie
- C_U číslo nesejznosti D_{60}/D_{10}
- w_L mez tekutosti
- S_s specifický povrch (m²/kg)
- G_s ρ_s/ρ_w
- x, χ exponenty

Superficie specifica e applicabilità della formula di Kozeny-Carman per la stima della conducibilità idraulica delle terre

Alex Sanzeni,* Davide Grazioli,** Francesco Colleselli***

RIVISTA ITALIANA DI GEOTECNICA

APRILE - GIUGNO 2012

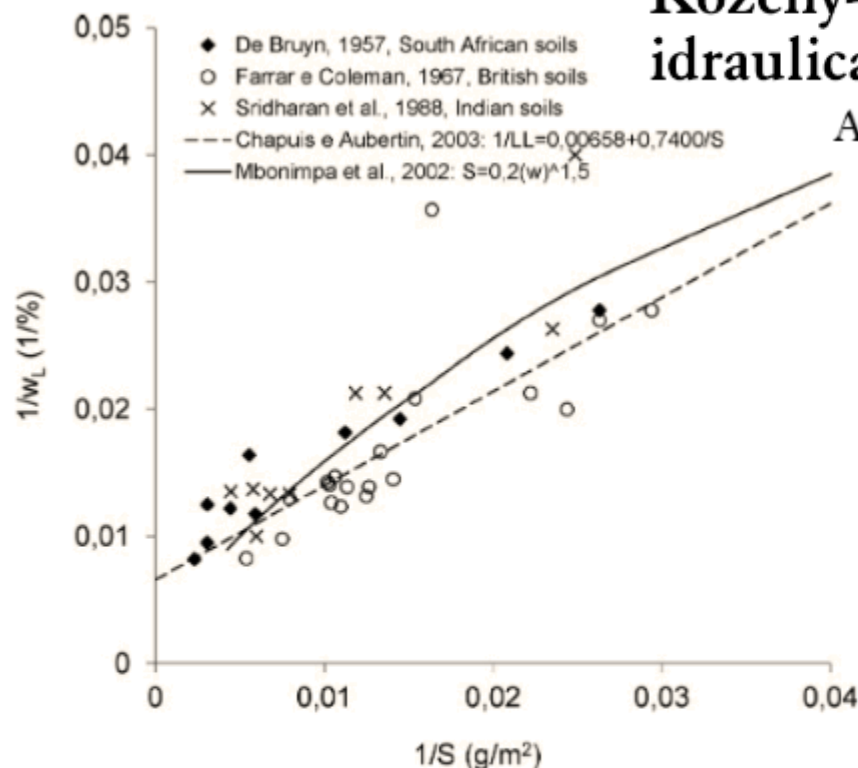


Fig. 4 – Correlazioni empiriche tra limite di liquidità e superficie specifica.

Fig. 4 – Empirical correlations between liquid limit and specific surface.

$$S_0 = 6/D_{eff}$$

$$D_{eff} = 100\% / \left[\sum (f_i / D_{ave,i}) \right]$$

$$D_{ave,i} = D_{l,i}^{0,404} \times D_{s,i}^{0,595}$$

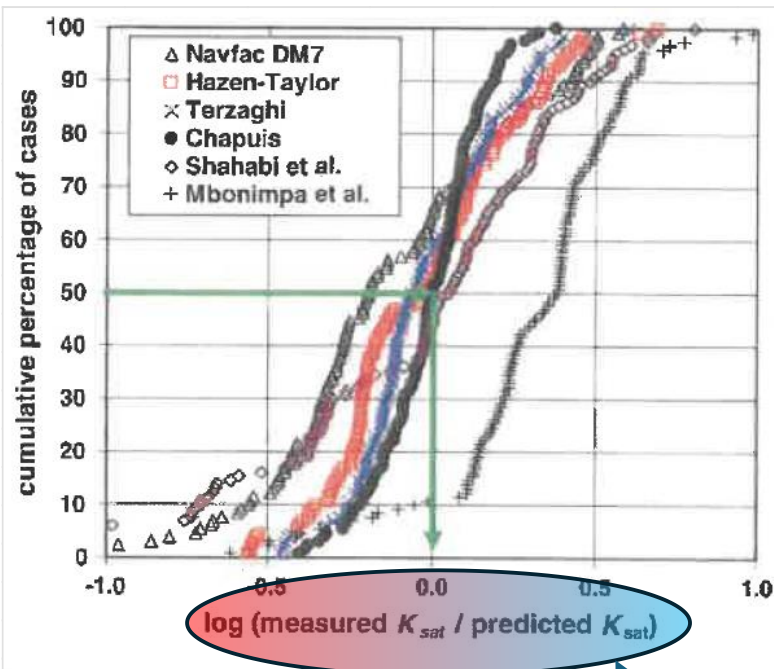


Fig. 6 Non-plastic soils: comparison of predictive equations of Hazen (1892) combined with Taylor (1948), Terzaghi (1925), Navfac DM7 (1974), Shahabi et al. (1984), Mbonimpa et al. (2002), and Chapuis (2004b)

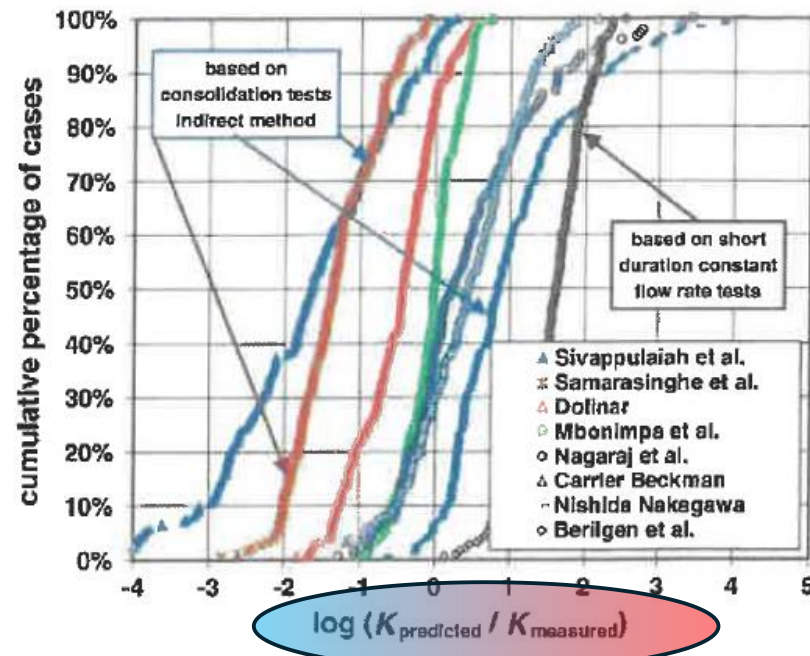


Fig. 8 Comparing the performances of predictive equations for plastic soils. The equations were proposed by Nishida and Nakagawa (1969), Samarasinghe et al. (1982), Carrier and Beckman (1984), Nagaraj et al. (1991), Sivappulaiah et al. (2000), Mbonimpa et al. (2002), Berilgen et al. (2006), and Dolinar (2009)

Mbonimpa et al. (2002)

G-granular
mG/pG>1
mG>pG

mG=mP=pP>pG

ale pozor

P-plastic
mP=pP

Ukazatelé propustnosti

určování **2** z laboratorních zkoušek

ČSN EN 1997-1 Eurokód 7 Část 1:

3.3.9.1 Propustnost a parametry konsolidace zemin

(2) Měření propustnosti prováděné na malých laboratorních vzorcích nemusí reprezentovat podmínky in situ. Kdykoliv je to možné, mají se preferovat zkoušky in situ, které měří průměrné vlastnosti velkého objemu základové půdy.

princip měření - zkoušky bodové

přístroje s konstantním nebo proměnným spádem

příprava vzorku

neporušený vzorek z písku se odebere obtížně

tlakový spád dH/dL

aby zkoušky netrvaly extrémně dlouho, volí se u jílu vysoké hodnoty dH/dL , což

a) často neodpovídá situaci in situ

b) násobí chyby vycházející z konstrukce přístroje a přípravy vzorku



Chapuis, 2012

popsáno 14 konkrétních chyb

- | | | |
|---|--|--|
| (1) válcový vzorek vložen do prstence s pevnými stěnami - vznikají preferenční cesty | | |
| (3) vzorky nejsou plně nasycené, bublinky blokují pohyb | | |
| (4) vznikají parazitické ztráty hydr. spádu v kohoutech, filtračních destičkách, apod. | | |
| (5) výsledek je stanoven nepřímo z časové křivky sedání (konsolidace) | | |
| (11) nerespektován vliv měřítka (výška vzorku v edometru 25 mm, v triax. komoře 150-200 mm) | | |
| (14) heterogenita vzorku obsahující vrstvičky s různou propustností | | |

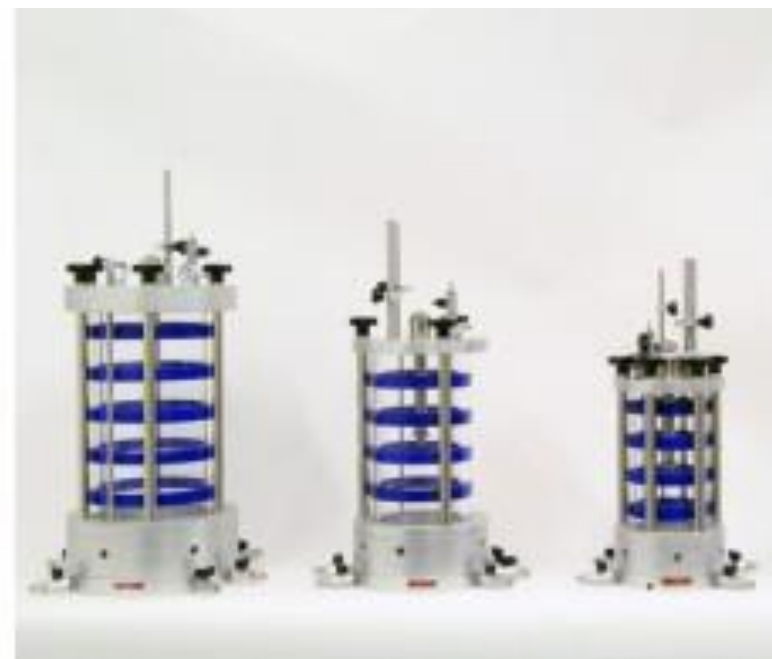


<http://www.jip-tech.cz/Home/SoilMechanics>

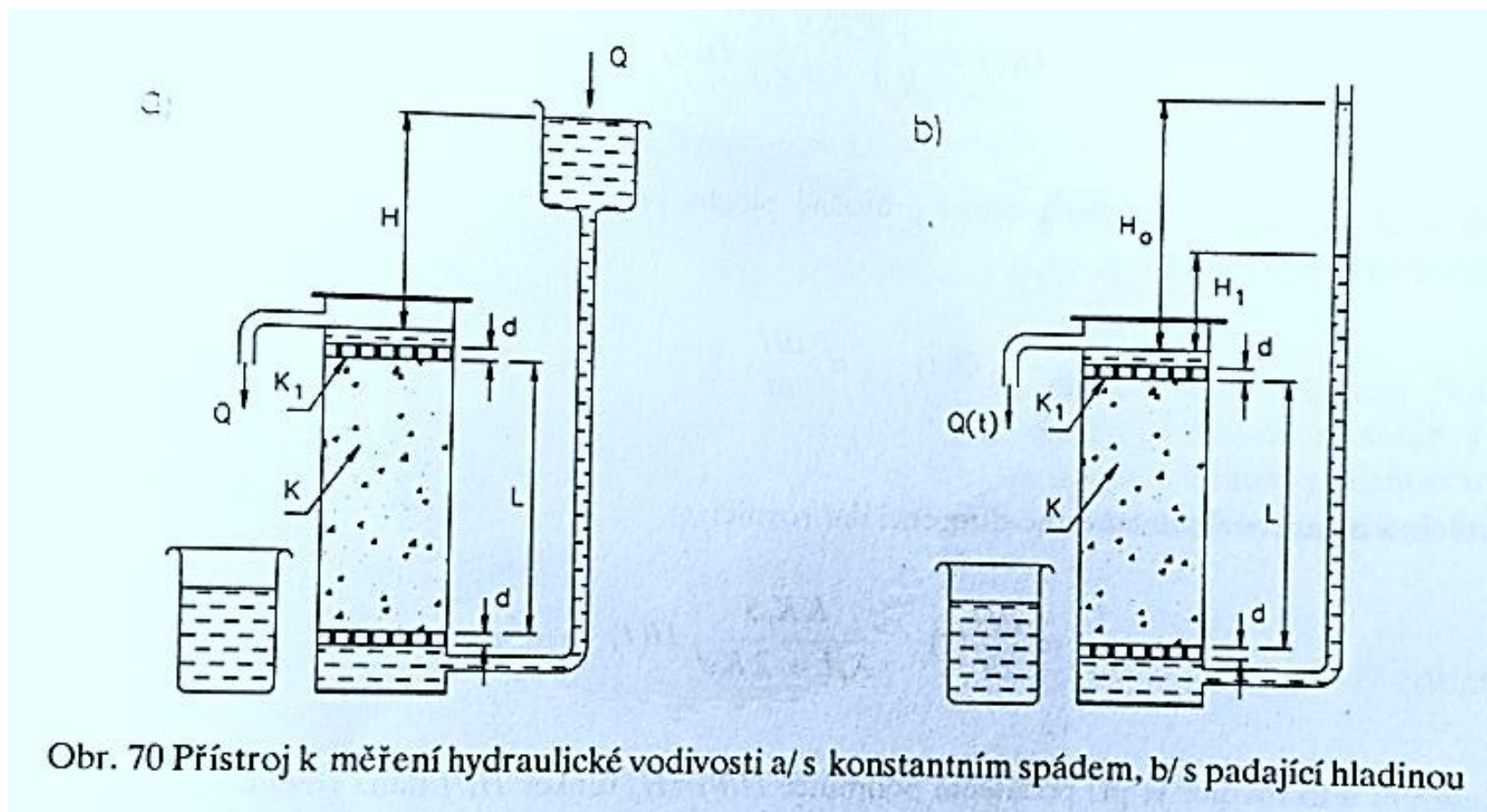
<https://www.strojeprozkusebnictvi.cz/propustomery-0/>

Příklady přístrojů na trhu

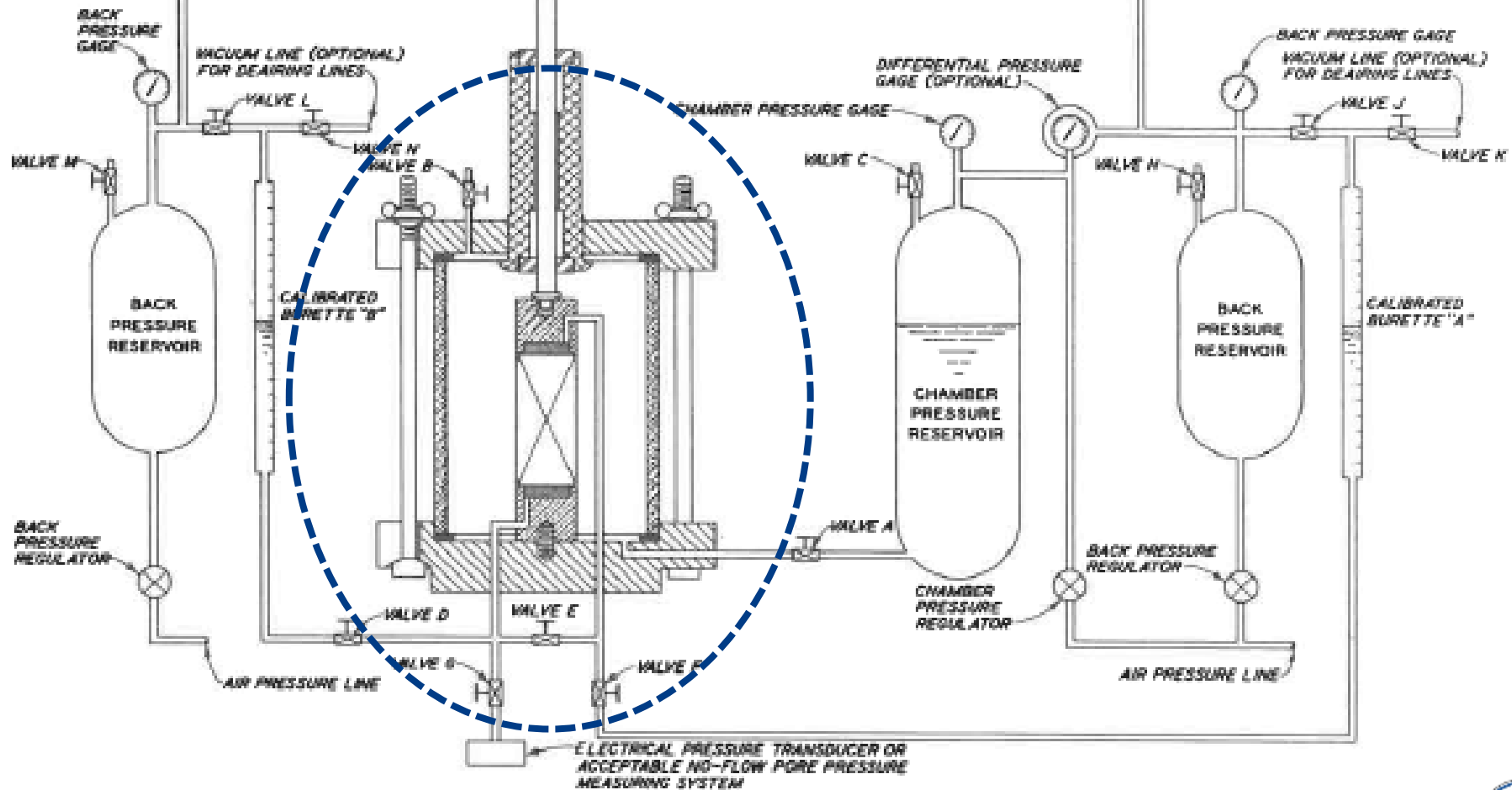
<https://www.strojeprozkusebnictvi.cz/triaxialni-zkusebni-komory.html>



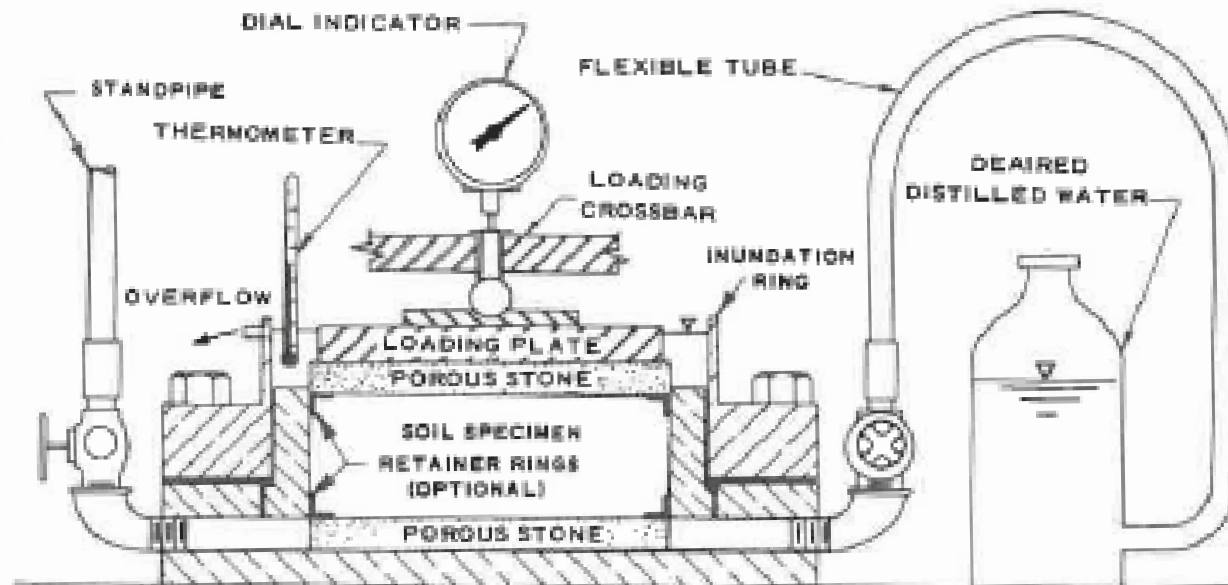
Propustoměry - schéma (Valentová, 1994)



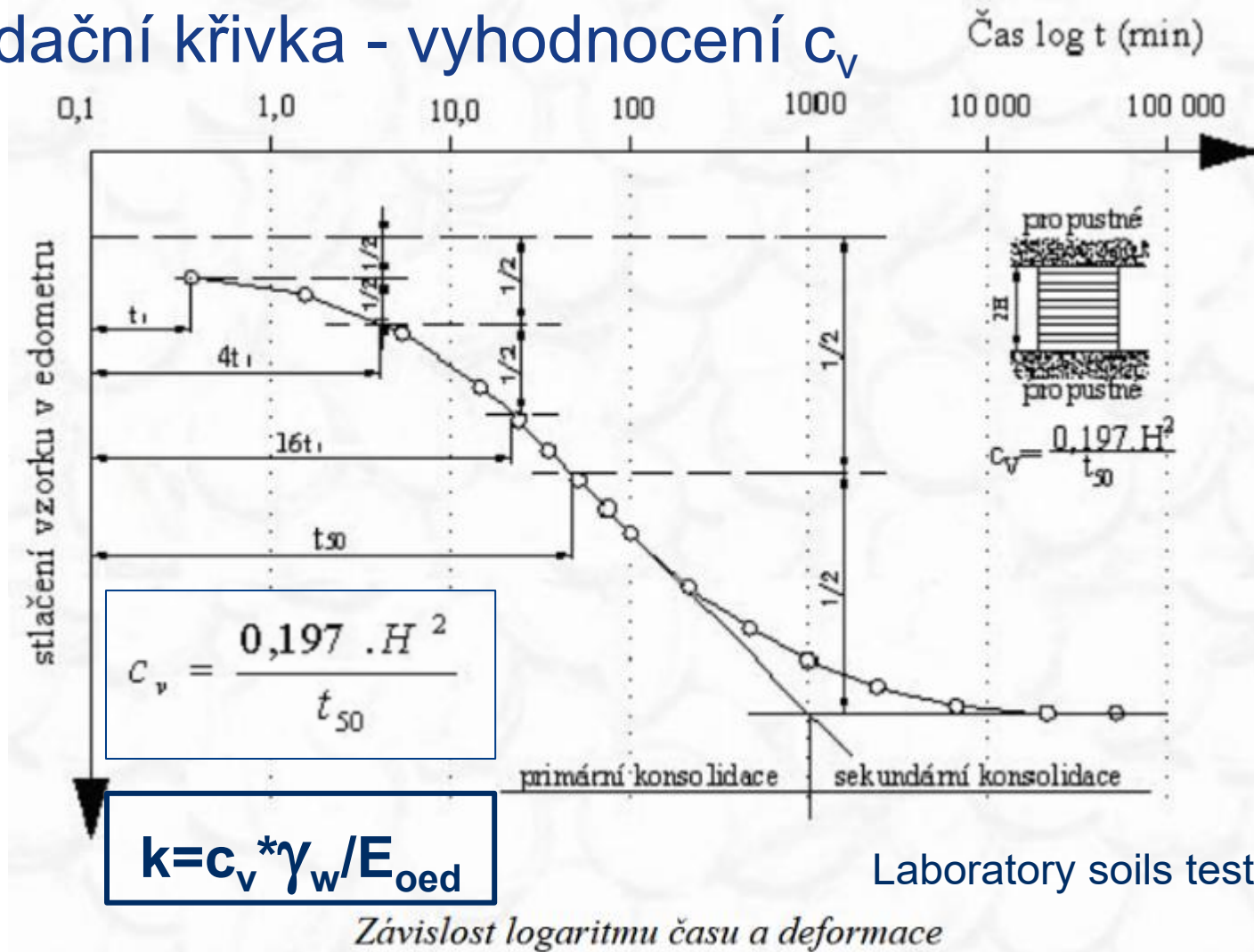
Triaxiální přístroj - schéma (Laboratory soils testing, 1970)



a. Consolidometer shall consist of a rigid base, a consolidation ring, porous stones, a rigid loading plate, and a support for a dial indicator (Fig. 1). It may be either the fixed-ring or the floating-ring type both of which are shown in Figure 2. **Edometr - schéma** (Laboratory soils testing, 1970)



Konsolidační křivka - vyhodnocení c_v



Laboratory soils testing (1970)

Ukazatele propustnosti

určování **3** z terénních zkoušek

ČSN EN 1997-1 Eurokód 7 Část 1:

3.3.9.1 Propustnost a parametry konsolidace zemin

(2) Měření propustnosti prováděné na malých laboratorních vzorcích nemusí reprezentovat podmínky in situ. Kdykoliv je to možné, mají se preferovat zkoušky in situ, které měří průměrné vlastnosti velkého objemu základové půdy.

princip měření - zkoušky zónové

- ve většině případů ve vrtech,
- hloubkové zóny jsou vymezené perforací v pažení nebo pomocí obturátorů,
- podobně jako v laboratoři se sledují tlaky, objemy, délkové a výškové rozdíly, čas,
- nevýhodou jsou neurčité rozměrové poměry, hlavně vodorovné dosahy měřeného prostoru.

Tourková J., „Hydrogeologie“, skripta ČVUT, Praha (1996)

11. HYDRODYNAMICKÉ ZKOUŠKY

Hydrodynamické zkoušky (HDZ) jsou základním zdrojem informací o fyzikálně-hydrogeologických parametrech zvodněného prostředí získaných přímo in situ. Na základě jejich vyhodnocení se stanovuje :

- vydatnost hydrogeologického objektu
- hydraulické parametry zvodněného prostředí
- okrajové podmínky zvodněného prostředí
- hydraulické vlastnosti testovaného objektu
- vzájemné hydraulické vztahy mezi jednotlivými objekty
- kvalita podzemní vody a její změny v závislosti na čerpané vydatnosti

Základní rozdělení HDZ:

- přítokové zkoušky : - odběrové:
 - čerpací (ČZ)
 - přetokové
- stoupací (SZ)
- odtokové zkoušky : - nálevové
- vtlačovací
- jiné speciální zkoušky

Ukazatelé propustnosti aplikace

Z potřeb praxe je užitečné na problém propustností nahlížet účelově:

1. jako **součást výstupů** z průzkumů obvykle ve formě tabulkových hodnot,
2. jako **vstup do modelu** pro řešení konkrétní úlohy.

ad 1.

- hodnoty jsou většinou vypočteny pomocí vybraných ověřených empirických vztahů na základě výsledků indexových zkoušek. Je nutné v legendě uvést odkaz na použité vzorce a dodržet rozsahy použitelnosti. Dále bez komentáře.

Přímé zkoušky propustnosti slouží jako verifikace a kalibrace.

ad 2.

- vstupní hodnoty se podrobují nad bod ad 1. dalším rozborům zohledňujícím podmínky úlohy, korekcím na vliv **saturace, napjatosti, anizotropie prostředí**. Upřednostňují se přímé laboratorní zkoušky v propustoměrech s přiměřeně odpovídajícím hydraulickým spádem, apod., resp. terénní zkoušky postihující rozměrově větší „vzorek“ než v laboratoři. Výběr metod a rozsah rozborů se řídí typem a důležitostí úlohy.

saturace, napjatost

Predikce parametrů zemín

17. KOEFICIENT FILTRACE

Predigovaná hodnota koeficientu filtrace při nasycení 100 % pro iniciální (výchozí) stav je :

$$k_{inic} = \left(\frac{1}{I_p} \right) * 0,01 * \left(\frac{1}{I_c * I_p} \right)^{4,14} \quad [m/s]$$

kde :

I_p číslo plasticity (%)

I_c index konzistence (-)

Tato hodnota filtračního koeficientu platí pro stav zeminy bez zatížení. Pokud dojde v dané úrovni vlivem stavebního zásahu k přetížení, např. vybudováním násypu, stanoví se koeficient filtrace po zatížení jak je uvedeno níže.

Poznámka :

Koeficient filtrace pro saturaci od 80 % do 100 % je vztah :

$$k_{Sr} = k_{inic} * (1 - m(1 - 0,01 * S_r)) \quad [m/s]$$

vztah platí pro $100 \geq S_r \geq 80$

kde :

k_{inic} koef. filtrace při saturaci 100 % (bez zatížení) (m/s)

m koeficient... pro nesterjné zrnitou zeminu je $m = 2$, pro dobře zrnitou zeminu je $m = 4$

S_r saturace zeminy (%)

18. KOEFICIENT FILTRACE PO ZATÍŽENÍ

Predigovaná hodnota koeficientu filtrace po zatížení (přetížení) je :

$$k_{zat} = \left(k_{inic} - k_{inic} \frac{I_p^{0,5}}{\sigma_2} \right) * 48,7 * \left(\frac{1}{I_p * \sigma_2} \right)^{0,82} \quad [m/s]$$

kde :

I_p číslo plasticity (%)

k_{inic} koeficient filtrace pro výchozí – iniciální stav (m/s)

σ_2 hodnota napětí od přetížení (kPa)

$$k_{inic} = \left(\frac{1}{I_p} \right) * 0,01 * \left(\frac{1}{I_c * I_p} \right)^{4,14} \quad [m/s]$$

snížená saturace

$$k_{Sr} = k_{inic} * (1 - m(1 - 0,01 * S_r)) \quad [m/s]$$

zvýšené zatížení

$$k_{zat} = \left(k_{inic} - k_{inic} \frac{I_p^{0,5}}{\sigma_2} \right) * 48,7 * \left(\frac{1}{I_p * \sigma_2} \right)^{0,82} \quad [m/s]$$

saturace, napjatost

d. Degree of Saturation. The degree of saturation of a soil

$$S = \frac{V_w}{V_v} \times 100 \text{ percent} \quad (2-14)$$

$$S = \frac{V_w}{V_v} \times 100 \text{ percent}$$

where

S = degree of saturation

V_w = volume of water

V_v = volume of voids

has an important influence on permeability. A decrease in the degree of saturation causes a decrease in the permeability as shown in figure 2-7 (Lambe 1951). When the degree of saturation is less than 85 percent, much of the air would be continuous throughout the soil voids and Darcy's law would not hold. When the degree of saturation is greater than 85 percent, most of air present in the soil is in the form of small occluded bubbles and Darcy's law will be approximately valid. The ratio of the permeability of the unsaturated sand to the saturated sand at the same void ratio is given as (Scott 1963 and Parker and Thornton 1976)

$$\frac{k_{us}}{k} = 1 - m \left(1 - \frac{S}{100} \right) \quad 100 \geq S \geq 80 \quad (2-15)$$

where

k_{us} = unsaturated permeability

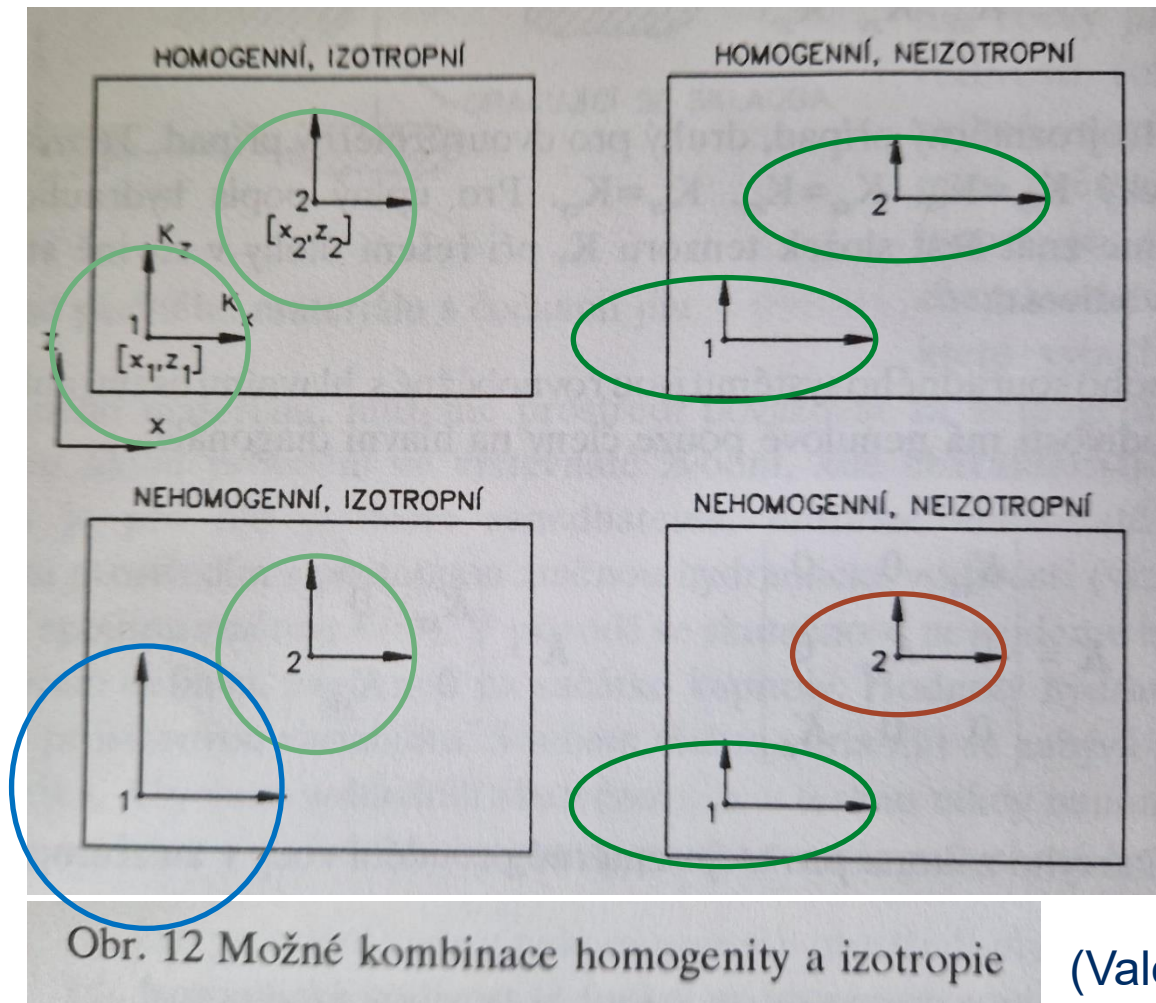
m = constant with values between 2 (uniform grain size) and 4 (well-graded materials)

Engineering Manual, EM 1110-2-1901&6 (1970, 1986)

snížená saturace

$$\frac{k_{us}}{k} = 1 - m \left(1 - \frac{S}{100} \right) \quad 100 \geq S \geq 80$$

homogenita a izotropie



(Valentová, 1994)



vrstevnatost

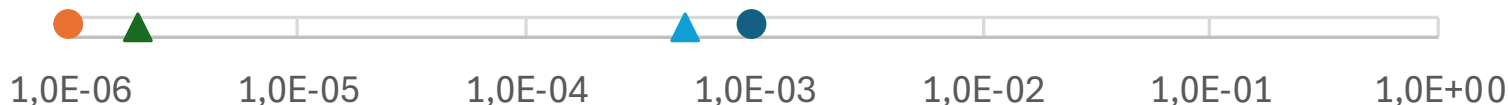
	k1		$Q=A*v*t$	$Q=1$
	k1	1,0E-03	$Q=A*k*i*t$	$A=1$
	t1= konst/k1		$Q=A*k*dh/dl$	$dh=1$
	l= 3*h1+3*h2		$k=Q*dl/(dh*A*t)$	$dl=1$
			$c=Q*dl/(dh*A)$	$c=1$
			$k=c/t$	
	k2		$t1/t2=(c/k1)/(c/k2)$	
	k2	1,0E-06	$t1/t2=k2/k1$	
	t2= c/k2		$t1/t2= 1,0E-03$	
	l= 3*h1+3*h2		$t2=t1*k1/k2$	
			$t2= 1000 *t1$	

$1/k_{komp}=(\text{suma}(h1)/k1+\text{suma}(h2)/k2)/\text{suma}(hi)$
 2,0E-06

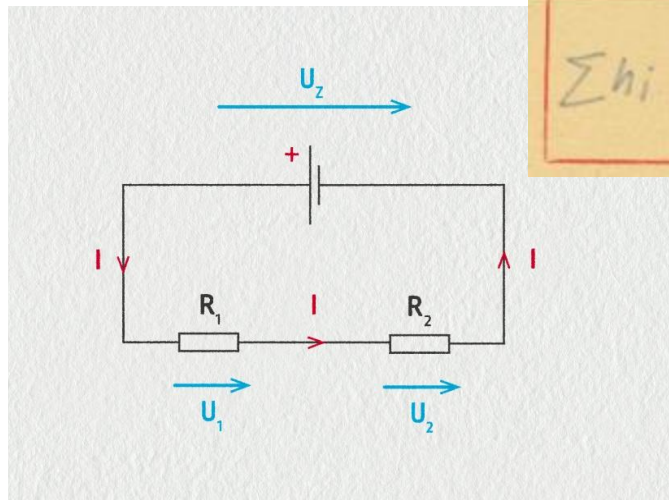
$$\sum h_i * \frac{1}{k_{komp}} = \frac{\sum h_1}{k_1} + \frac{\sum h_2}{k_2}$$

$k_{komp}=(\text{suma}(h1)*k1+\text{suma}(h2)*k2)/\text{suma}(hi)$
 5,0E-04

$$\sum h_i * k_{komp} = \sum h_1 * k_1 + \sum h_2 * k_2$$



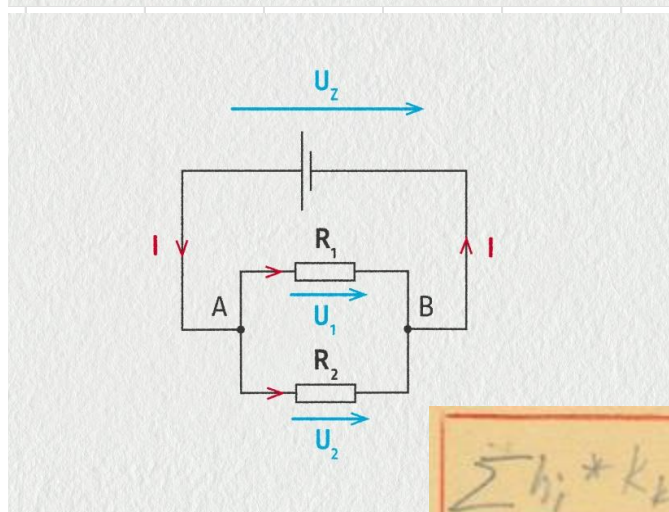
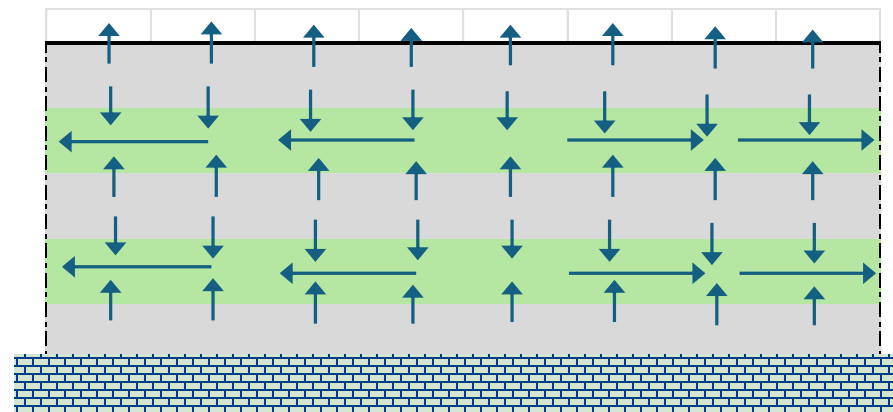
● homogenní 1 ● homogenní 2 ▲ kompozit sériový ▲ kompozit paralelní



$$\sum h_i * \frac{1}{k_{komp}} = \frac{\sum h_1}{k_1} + \frac{\sum h_2}{k_2}$$



- pro konsolidaci (jako reakci na přetížení platí jiná pravidla)
- rozdíl mezi proudovým a pórovým tlakem



$$\sum h_i * k_{komp} = \sum h_1 * k_1 + \sum h_2 * k_2$$

Státní ústav pro projektování sídlišť, pozemních
a inženýrských staveb – STAVOPROJEKT,
pobočka České Budějovice, Ul. Dr. Stejskala č. 6

Skupina pro zakládání staveb

Čj. 67/1953

235

Ing. Dr. techn. Leopold Ježek:

Průzkum základových půd
v pozemním stavitelství

Sešit 4

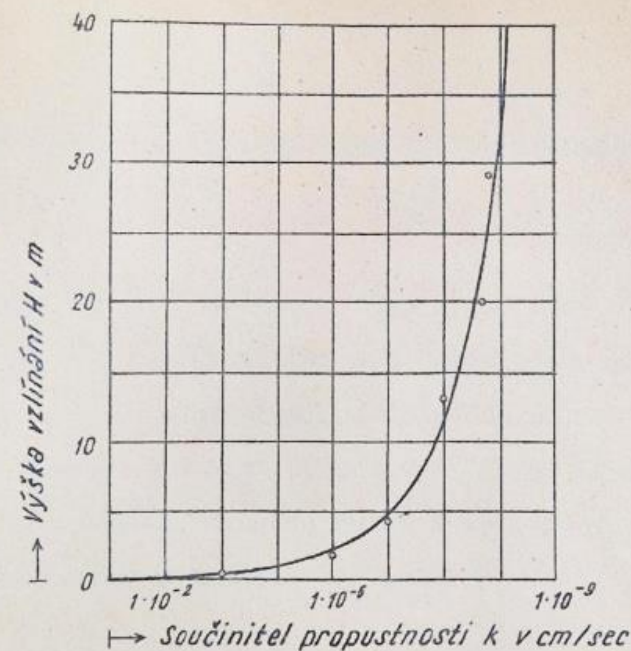
Prorazání zemin

Rozmnoženo jako rukopis

Výtisk čís. 028

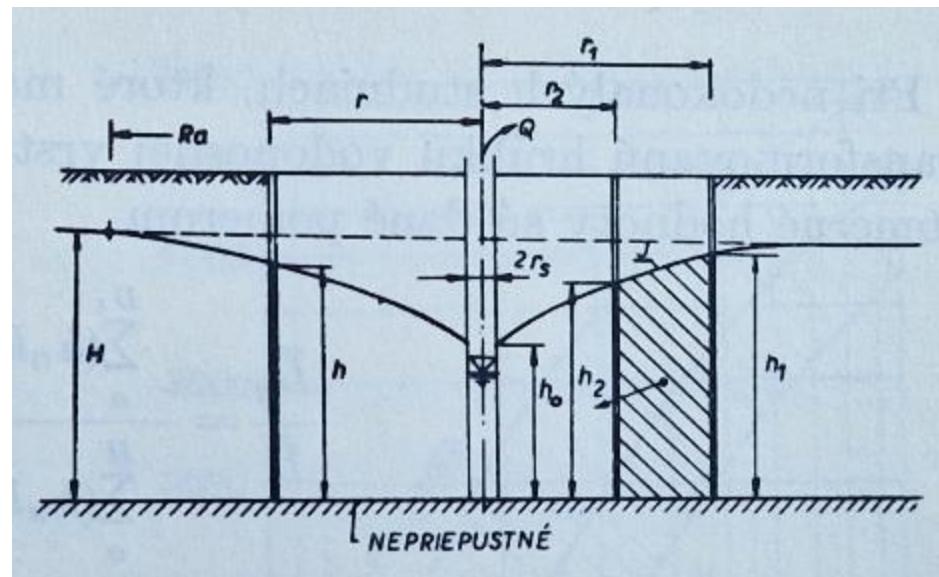
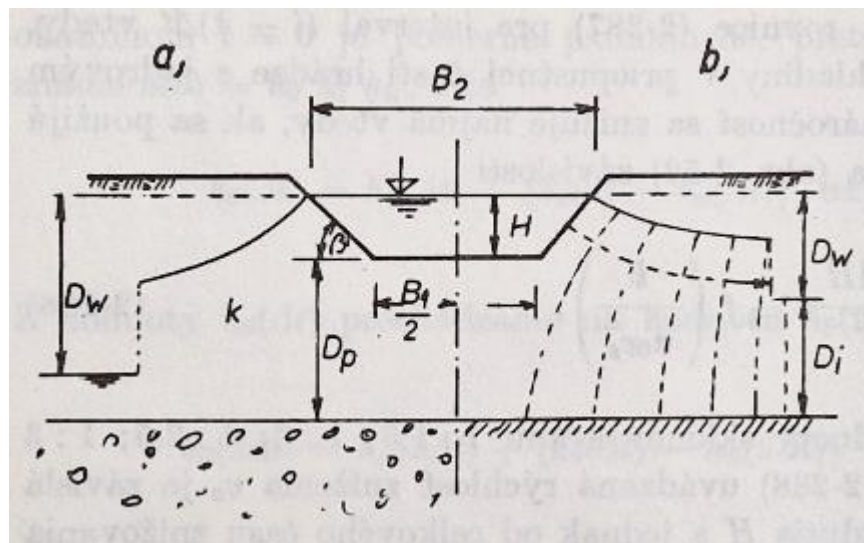
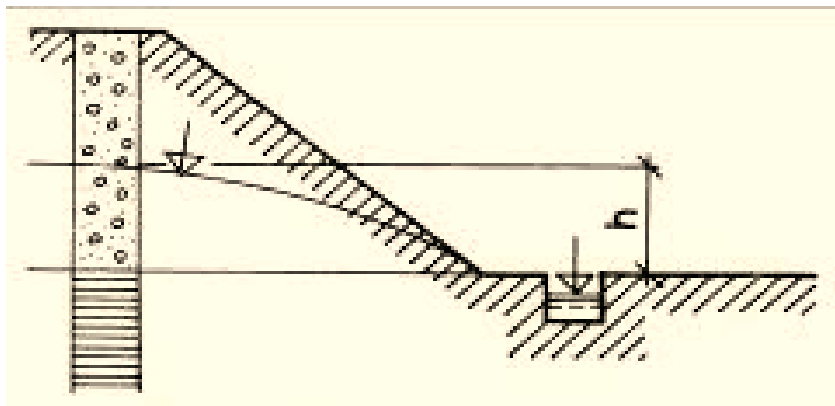
České Budějovice 1954

-22-



Obr. 9. Poměr mezi vztlínavostí a propustností

Přítok do stavební jámy, do studny, únik z vodního kanálu (do tunelu)

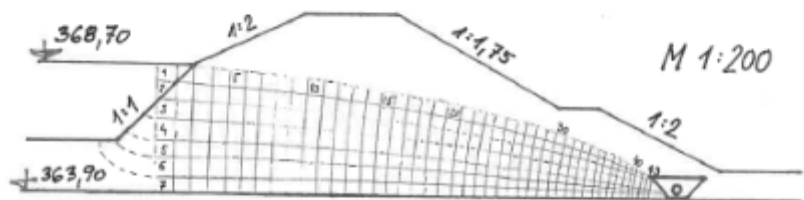


Průsak hrází

Průsak tělesem hráze bez stětové stěny.

Ve vzorovém řezu je sestrojena proudová síť (obr. 4.2.). Průsak na 1 m běžný stěny se pak vypočte podle vzorce např. z lit (3)

Obr. 4.2.



$$Q = k h p / e \quad \text{kde ,}$$

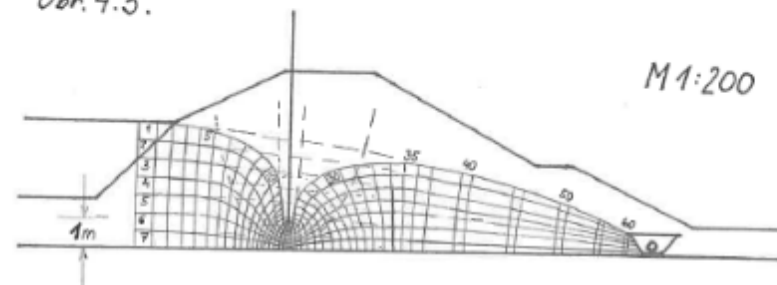
p je počet pruhů z proudových čar,
e je počet hladinových čar.

$$Q = 5 \cdot 10^{-6} \cdot 4,8 \cdot 7 / 43 = 3,9 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}, \text{ tj. } 3,9 \cdot 10^{-3} \text{ l s}^{-1}$$

Průsak tělesem hráze pod stěnou, když stěna nezasahuje do podloží.

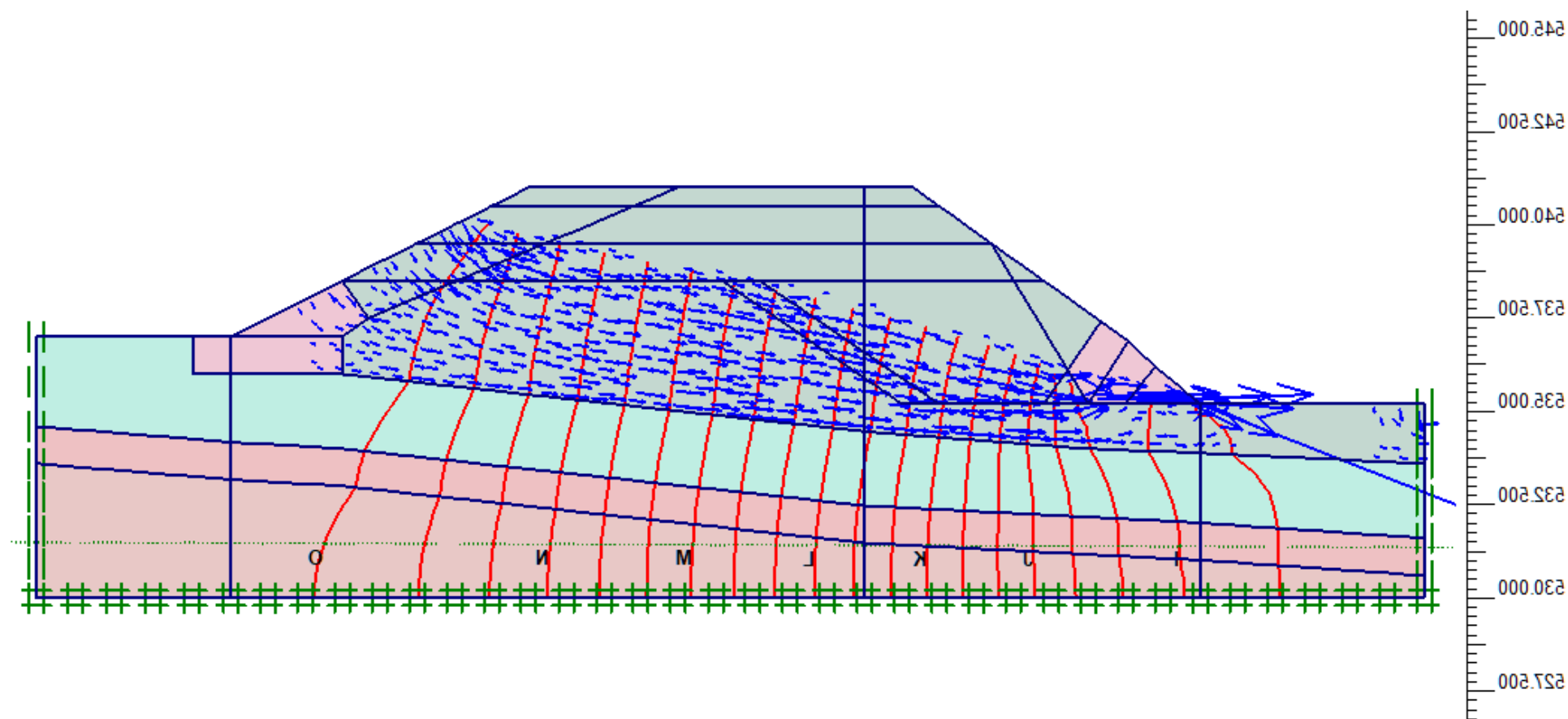
Pro případ extrémního nezdaru při beranění uvažujeme vzdálenost mezi spodním okrajem stětovnice a hranicí nepropustné vrstvy 1,8 m. Jako modelový průměrný případ nezdaru uvažujeme rozdíl 1,0 m. Vypočtově schema ukazuje obr. 4.3. Proudová síť vzniká jako kombinace proudění tělesem hráze bez stěny a proudění pod stěnou. Pro výpočet se

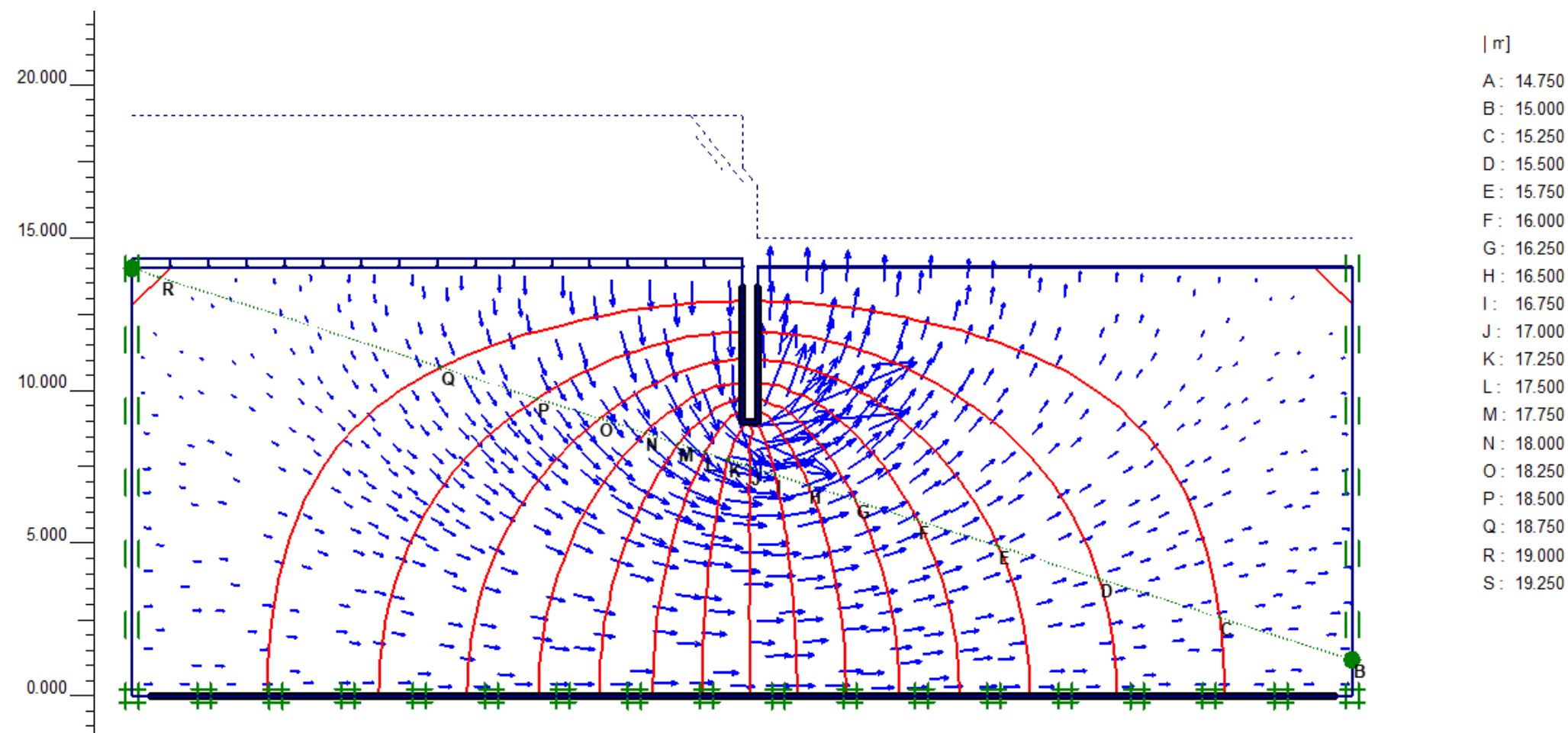
Obr. 4.3.

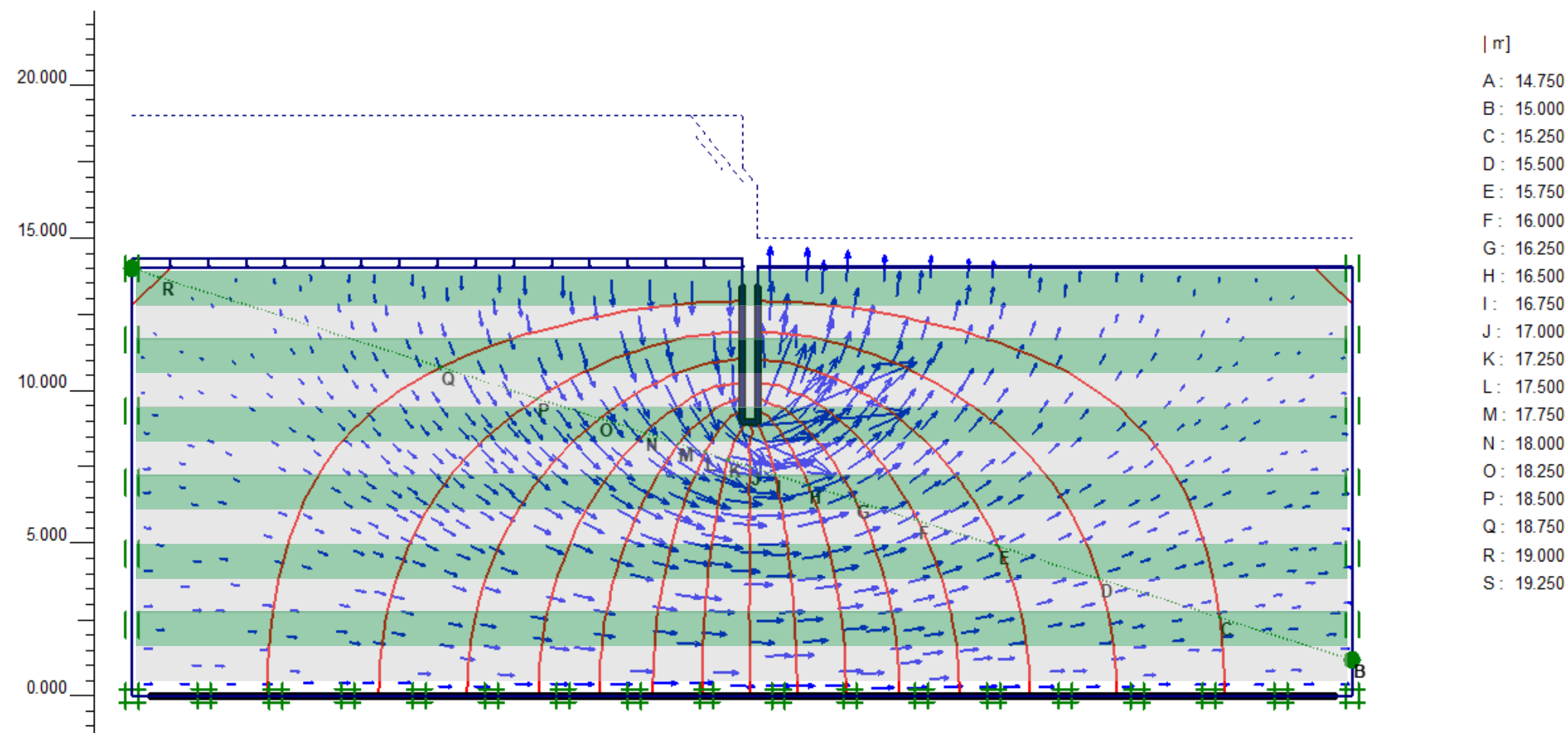


užije stejného vzorce jako v části 4.2. Delší drenážní dráha a zúžení průtočného profilu pod stěnou má za následek zvětšení počtu hladinových čar e a tedy snížení průsaku.

$$Q = 5 \cdot 10^{-6} \cdot 4,8 \cdot 7 / 60 = 2,8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}, \text{ tj. } 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ l s}^{-1}$$







Průběh povodňové vlny

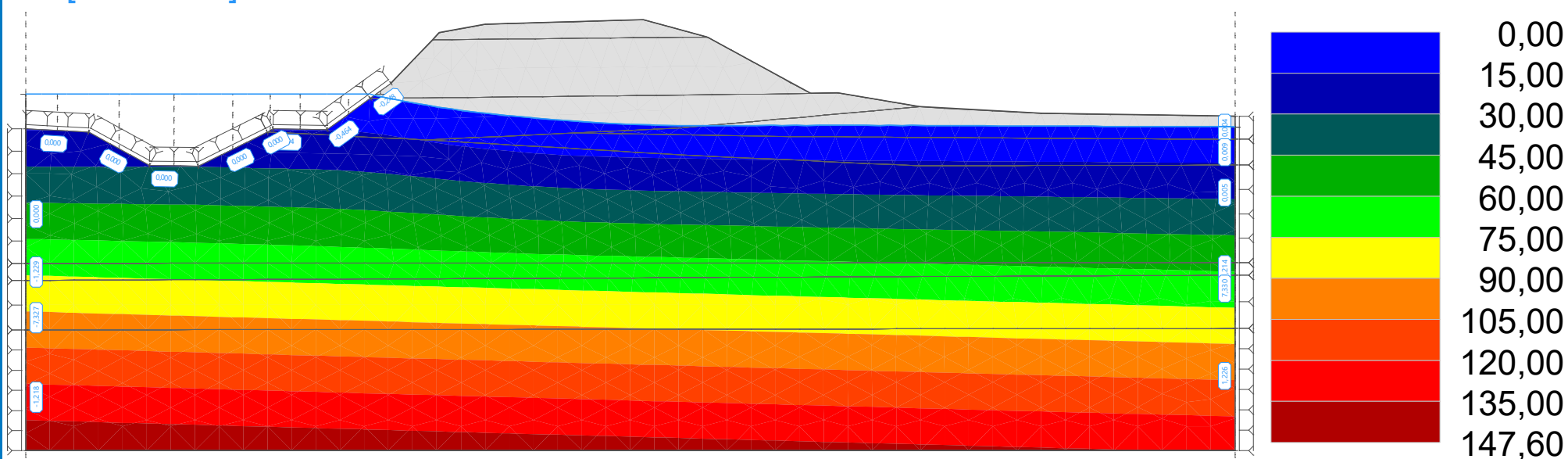
profil 22-22

Název :

Fáze : 4

Výsledky : celkové; veličina : Pórový tlak u; rozsah : <0,00; 147,60> kPa

ΣQ [m³/den/m]



TPV100, 325,15 m, po 1,2 dne
 TPV1000, 325,99 m, po 1,2 dne
 TPV10000, 327,16 m, po 1,1, dne

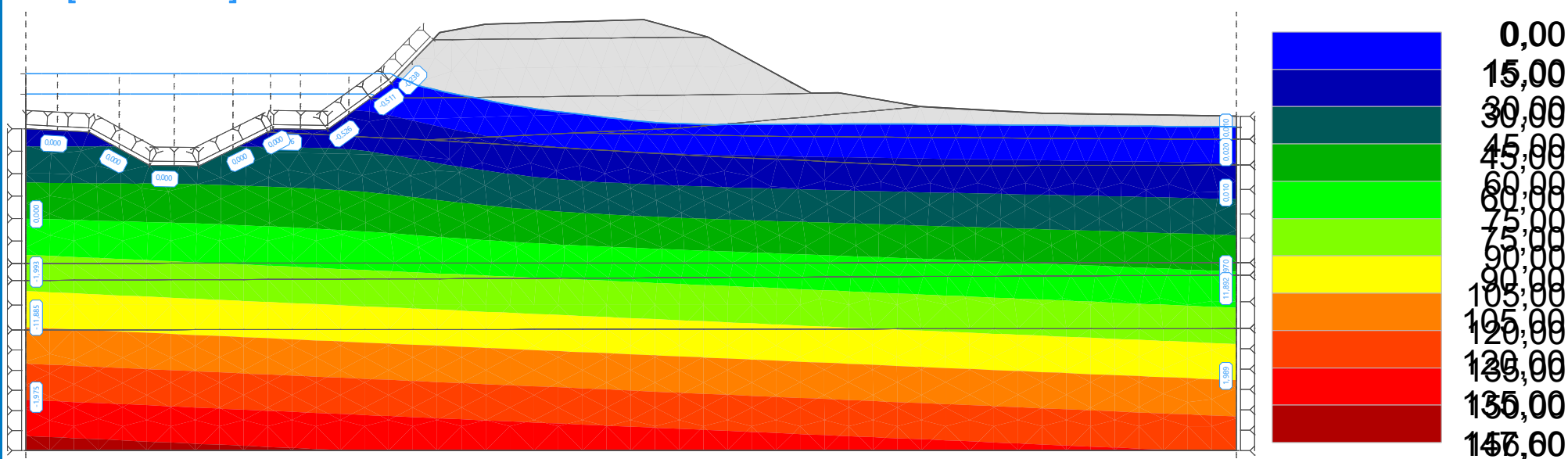
Průběh povodňové vlny

profil 22-22

Název :

Fáze : 4

Výsledky : celkové; veličina : Pórový tlak u; rozsah : <0,00; 147,60> kPa

 ΣQ [m³/den/m]

TPV100, 325,15 m, po 1,2 dne

TPV1000, 325,99 m, po 1,2 dne

TPV10000, 327,16 m, po 1,1, dne

Průběh povodňové vlny

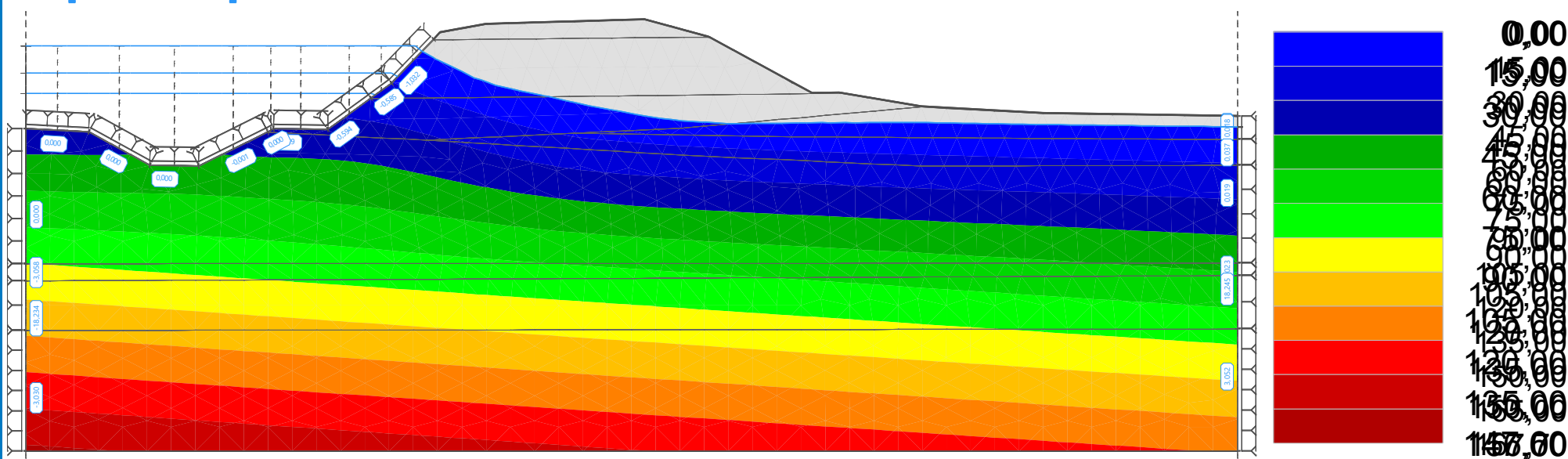
profil 22-22

Název :

Fáze : 4

Výsledky : celkové; veličina : Pórový tlak u; rozsah : <0,00; 157,00> kPa

ΣQ [m³/den/m]



TPV100, 325,15 m, po 1,2 dne

TPV1000, 325,99 m, po 1,2 dne

TPV10000, 327,16 m, po 1,1, dne

Vnitřní eroze, sufoze

Hala M., „Hodnocení možnosti vzniku vnější sufoze/ztekucení a řešení metodou dílčích součinitelů“, dizertační práce, VUT, Brno (2020)



(Hala, 2020) - strana 19

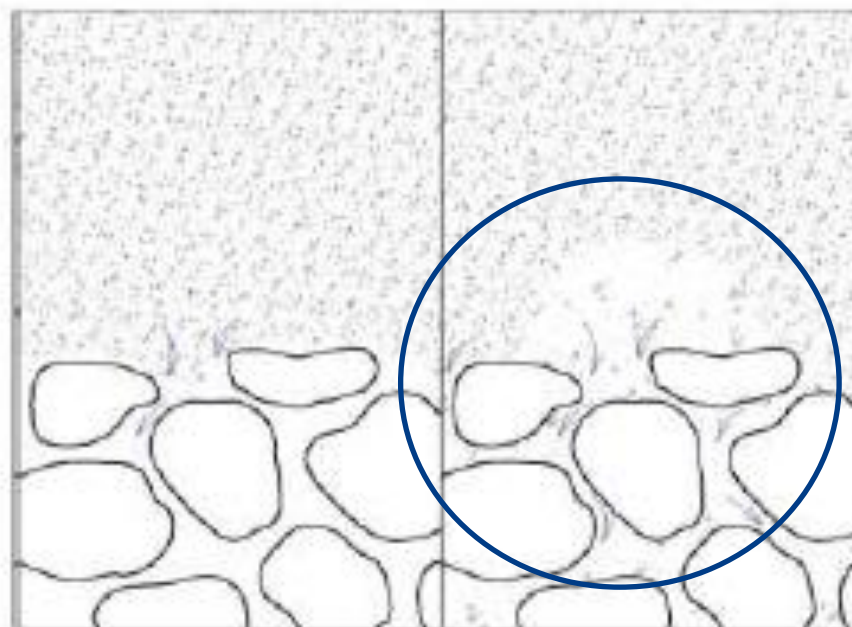
Obr. 3.1 Vennův diagram s faktory vzniku filtračních deformací (Garner and Fanin 2016)

Minerální filtry, drény

(Hala, 2020) - strana 28

Čas 1

Čas 2



Obr. 3.13 Schéma kontaktní eroze u špatně navrženého filtru (Čas 1: Počátek, Čas 2: Vyplavení jemnozrnných částic)

Minerální filtry, drény



Plaviště Barbora, Trmice (2007)

Minerální filtry, drény



Plaviště Barbořa, Trmice (2007)

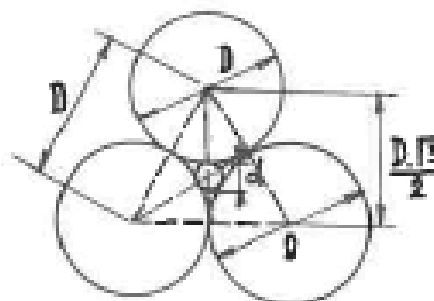
(Francek, Kloub, 1957)

(Arthur, 1972)

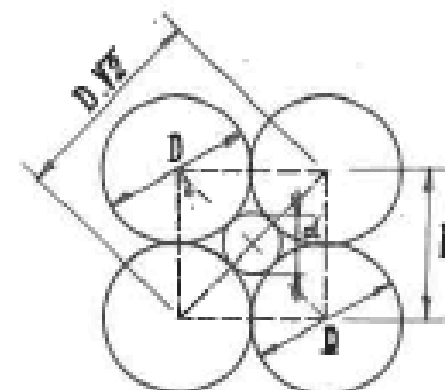
(Peter, 1975)

(Vaníček, Schröfel, 2000)

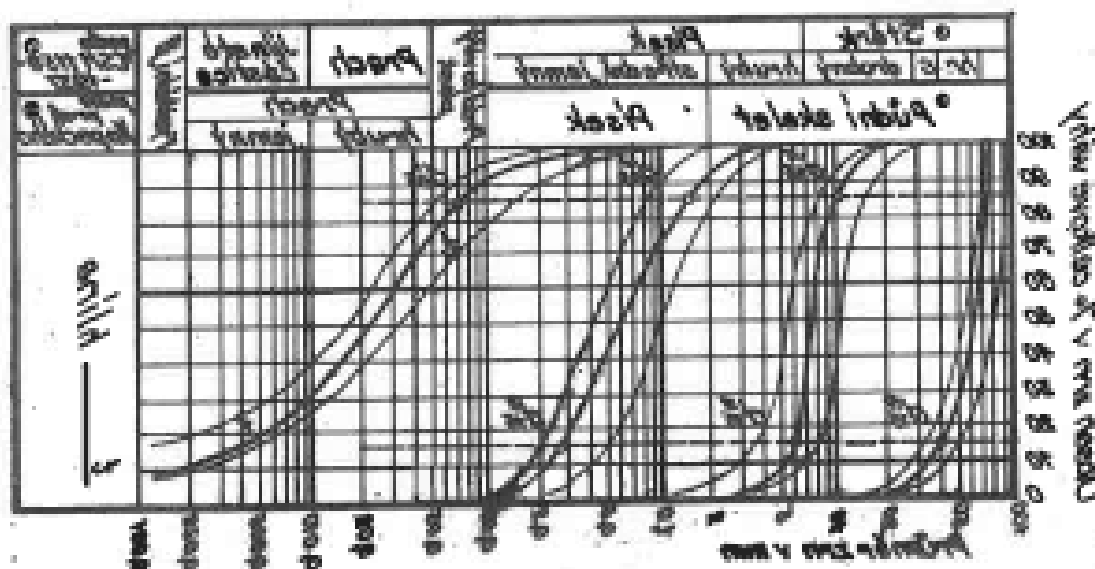
Minerální filtry, drény



Obr. 7.



Obr. 8.



(Francek, Kloub, 1957)

(Arthur, 1972)

(Peter, 1975)

(Vaníček, Schröfel, 2000)

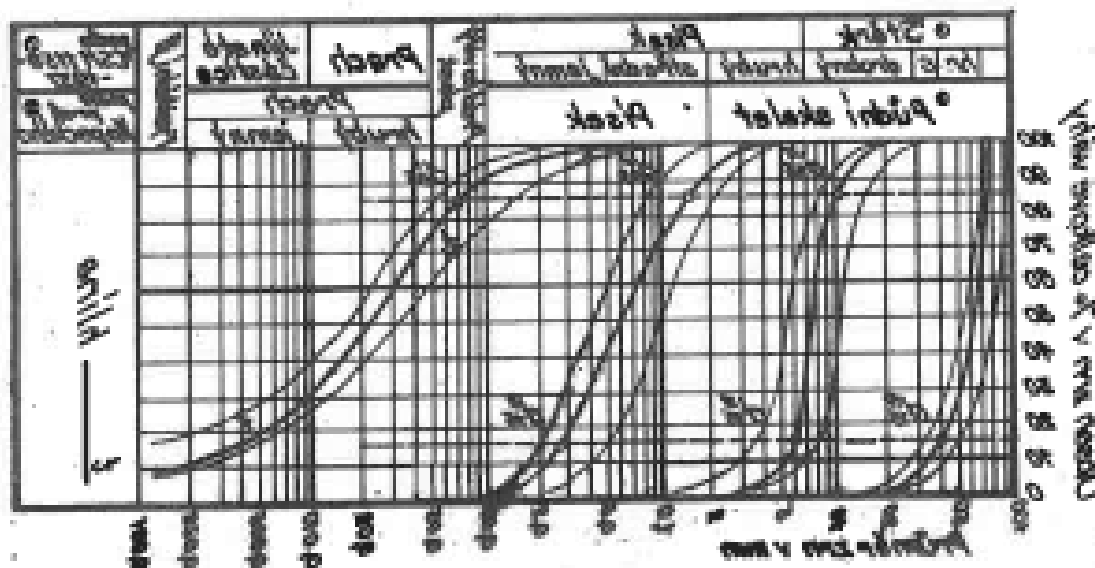
Prakticky to znamená, že na křivce zrnitosti jemnější z obou zemín /I/ vyhledáme průměr zrn příslušný k 85 % obsahu zrn z celkové váhy, který označíme d_{85}^I a na křivce zrnitosti hrubší zeminy /II/ najdeme průměr zrn, který přísluší k 15 % obsahu zrn a označíme jej d_{15}^{II} . Jestliže poměr /obr.9/ :

$$d_{15}^{II} : d_{85}^I = 4$$

pak zemina jemnější /I/ neprojde zeminou hrubozrnnější /II/ .

Uvedené kritérium platí ovšem jen v tom případě, jestliže jemnější zemina je sama o sobě stabilní proti vyplavování vlastních jemných zrn.

$$d_{15}^{II} : d_{85}^I = 4$$



(Francek, Kloub, 1957)
(Arthur, 1972)
(Peter, 1975)
(Vaníček, Schröfel, 2000)

- (1) $\frac{D_{15} \text{ del filtro}}{D_{15} \text{ del material de base}} = \text{de } 5 \text{ a } 40$, con tal que el filtro no contenga más de 5% de material más fino que 0.074 mm. (Criba No. 200).
- (2) $\frac{D_{15} \text{ del filtro}}{D_{85} \text{ del material de base}} = 5 \text{ o menos}$
- (3) $\frac{D_{85} \text{ del filtro}}{\text{Abertura máxima del tubo de drenaje}} = 2 \text{ o más}$
- (4) La curva granulométrica del filtro debe ser aproximadamente paralela a la del material de base.

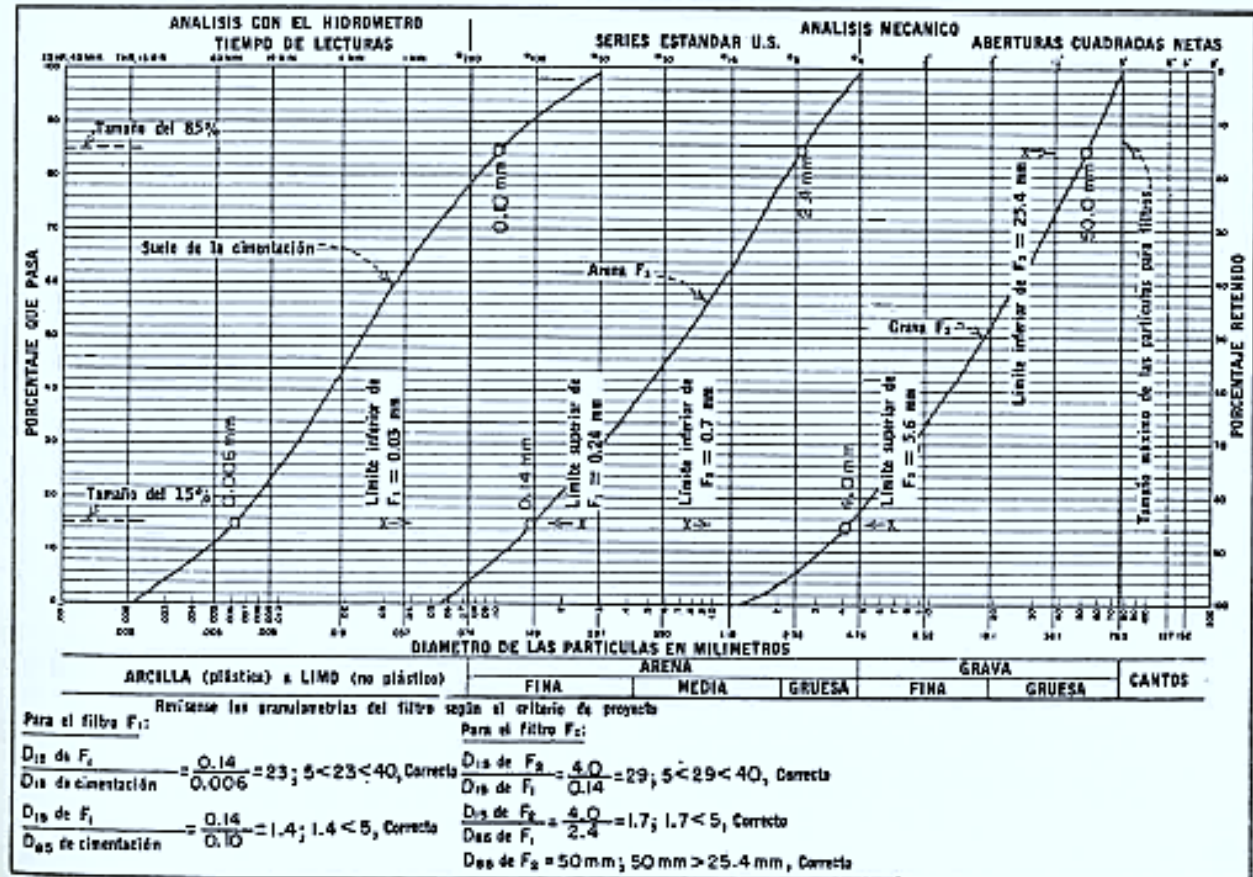


FIG. 104. Ejemplo de proyecto de filtro

(Francek, Kloub, 1957)

(Arthur, 1972)

(Peter, 1975)**(Vaníček, Schröfel, 2000)**

Kritériá pre konštrukciu filtrov sú zásadne rovnaké ako pri filtroch ochrany tesnenia; vyžaduje sa, aby zemina filtra určitej vrstvy bola rovnorodá, teda

$$C_{du} = \frac{d_{60}^z}{d_{10}^z} \leq 5(10) . \quad (6-83)$$

Ďalej pre priemerné zrná zeminy ($d_{50}^{(z)}$) a filtra ($d_{50}^{(f)}$) má byť

$$\frac{d_{50}^{(f)}}{d_{50}^{(z)}} \leq 15-20 \quad (\text{podľa Abramova 1964}), \quad (6-84)$$

zeminy stejnozrné

nestejnozrné

$$C_u = \frac{d_{60}^f}{d_{10}^f} \leq 5$$

$$C_u = \frac{d_{60}^f}{d_{10}^f} > 5$$

kritéria pro zrnité filtry

$$5 \leq \frac{d_{50}^f}{d_{50}^z} \leq 10$$

$$12 \leq \frac{d_{15}^f}{d_{15}^z} \leq 40$$

$$12 \leq \frac{d_{50}^f}{d_{50}^z} \leq 58$$

Stabilitní poruchy

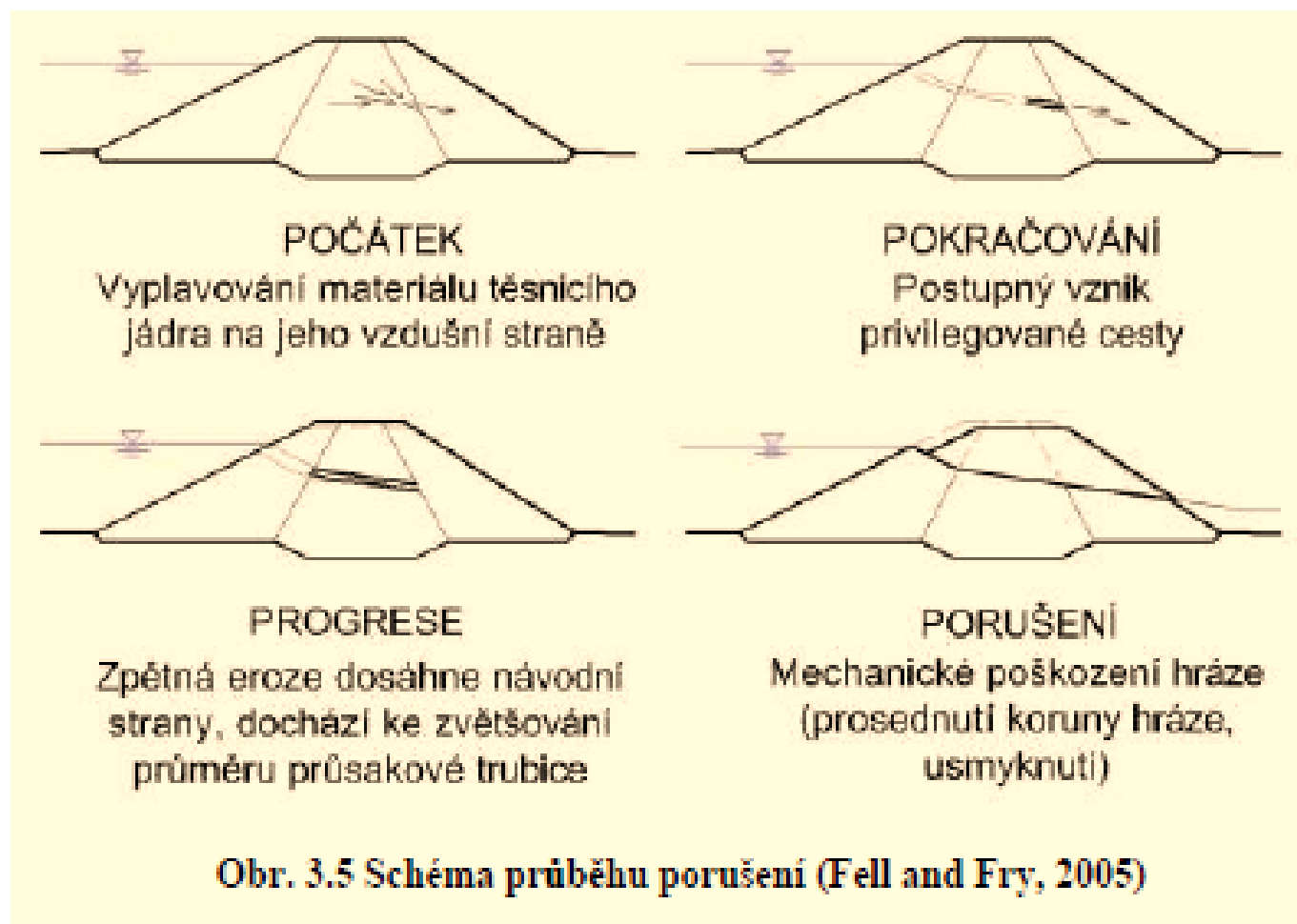
při rozdílu hladin $h=h_1-h_2$ voda prosakuje zeminou překonává odpor proudění na dráze l
podíl h/l je hydraulický sklon i

ztráta tlakové výšky h je způsobena silovým působením mezi částicemi zeminy a pohybující se vodou síla působící na skelet v jednotkovém objemu zeminy je rovna proudovému tlaku $p=\gamma_w i$

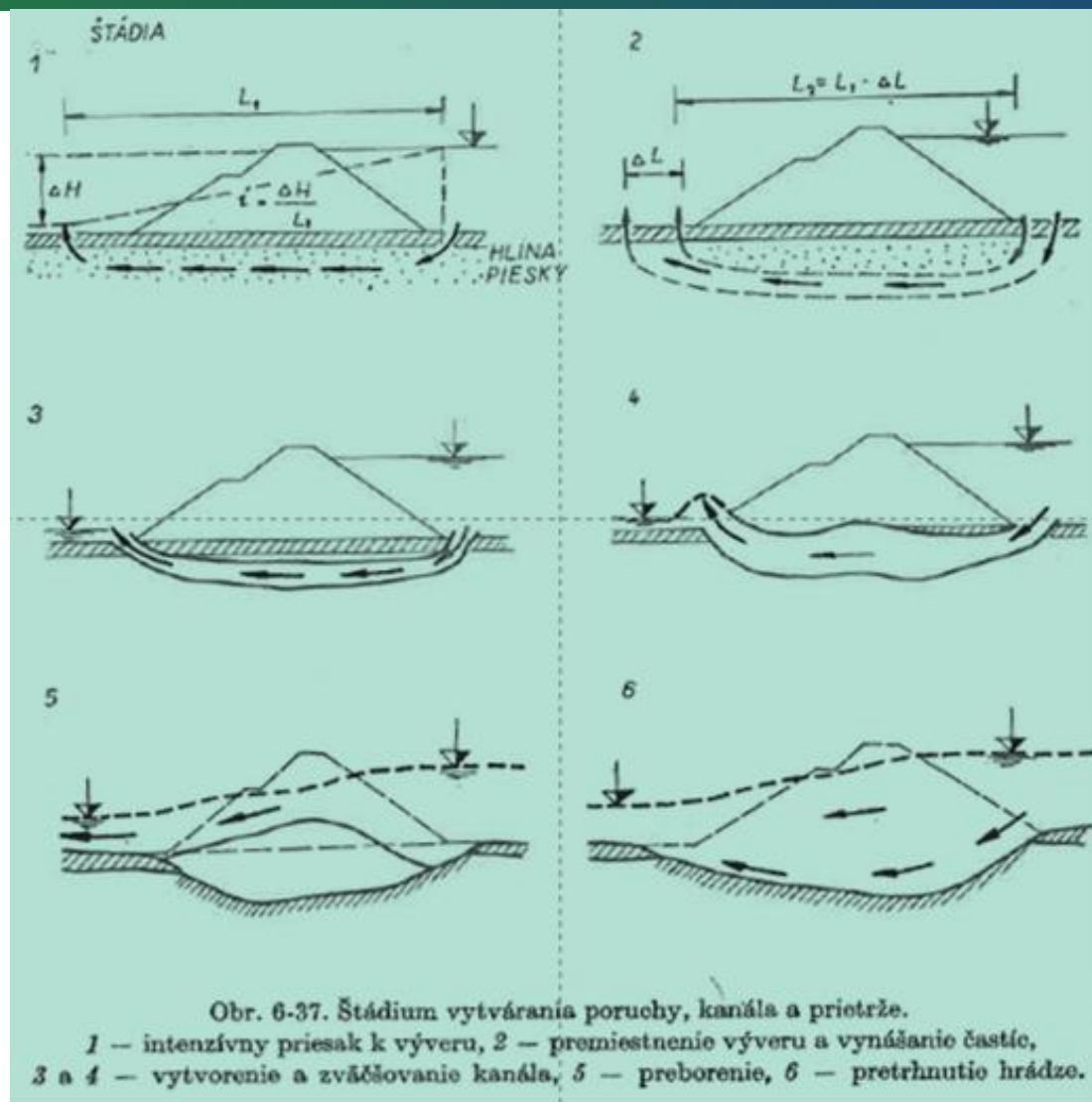
γ_w je konstanta;
proudový tlak na skelet roste přímo úměrně rostoucímu rozdílu hladin h a klesá přímo úměrně rostoucí drenážní dráze l

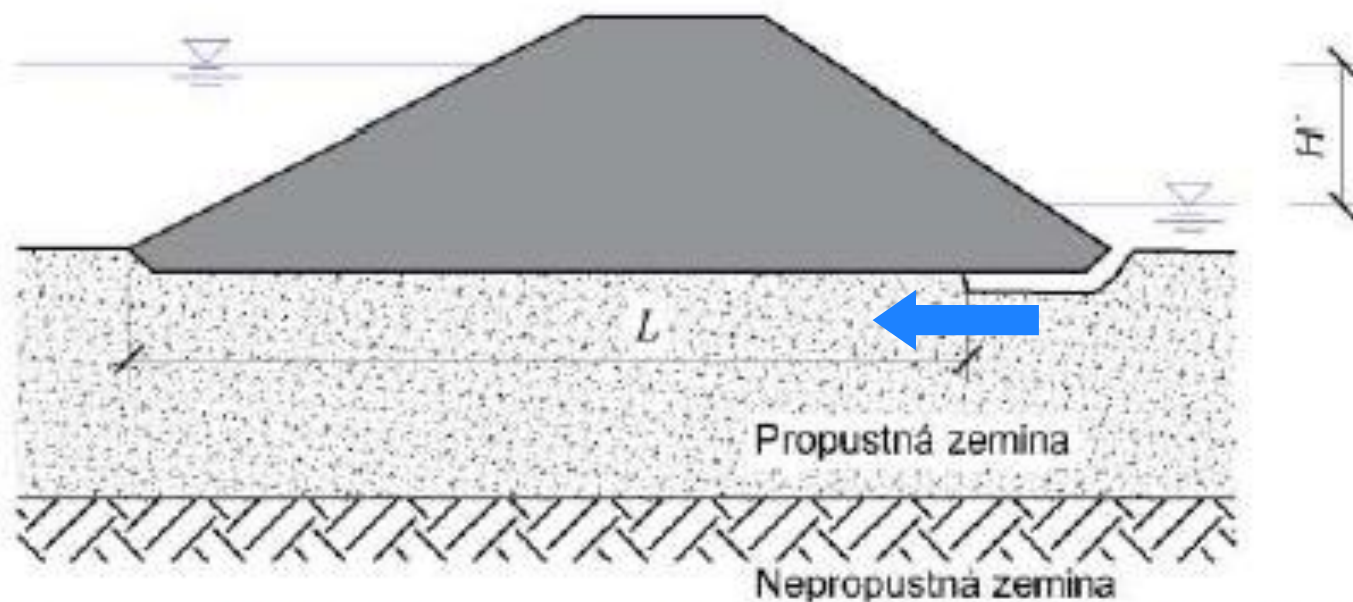
jestliže velikost proudového tlaku p v některém místě vzroste nad hodnotu odporu skeletu, dojde k lokální poruše, která se může šířit progresivně až ke ztrátě stability konstrukce jako celku

(Hala, 2020) - strana 22



(Peter, 1975)
- strana 406





Obr. 3.8 Schéma vznikající privilegované cesty vlivem zpětné eroze [Hala, Říha 2016]

(Hala, 2020) - strana 25





Ekologická katastrofa na západě Maďarska

Devecser, Kolontár,
Sömlővásárhely

- v pondělí 4. října 2010 - protržení hráze odpadní jímky u továrny na zpracování bauxitu
- uniklo m³ 600-700 tis. toxického kalu
- red mud (červené bahno) zaplavilo území o rozloze cca 40 km².
- 7 lidí zahynulo, více než 150 utrpělo zranění

<https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/pred-deseti-lety-zasahlo-madarsko-rude-cunami>

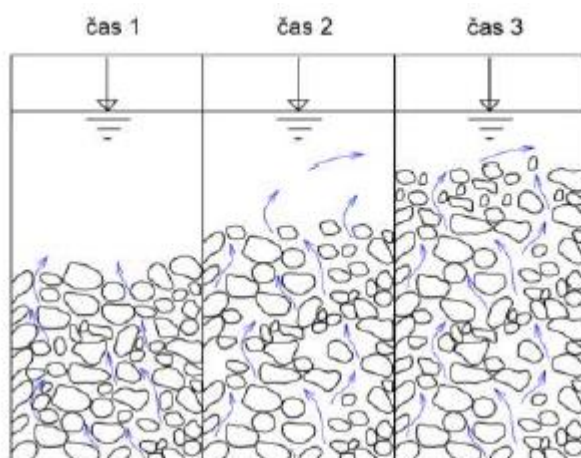


Následky protržení hráze odkaliště poblíž města Ajka

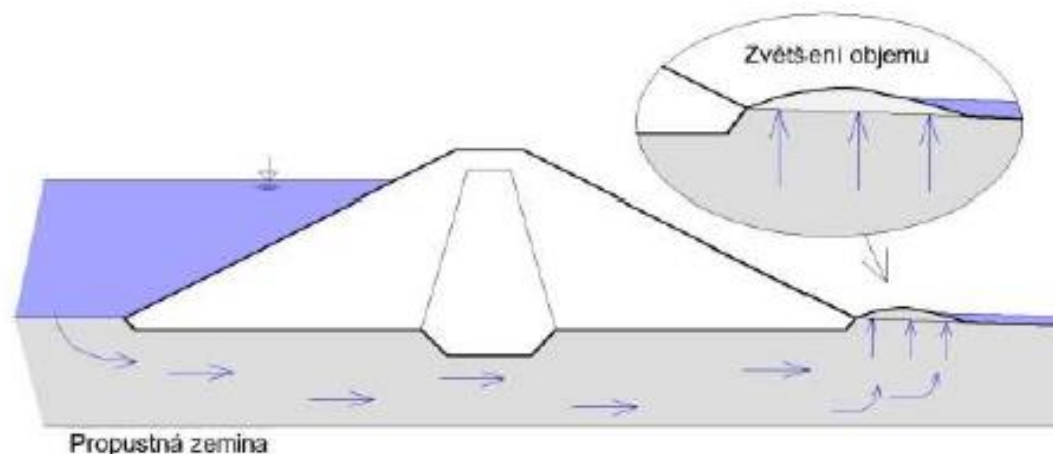
Licence |  [Některá práva vyhrazena](#)

Foto | [Globovisión](#) / [Flickr.com](#)





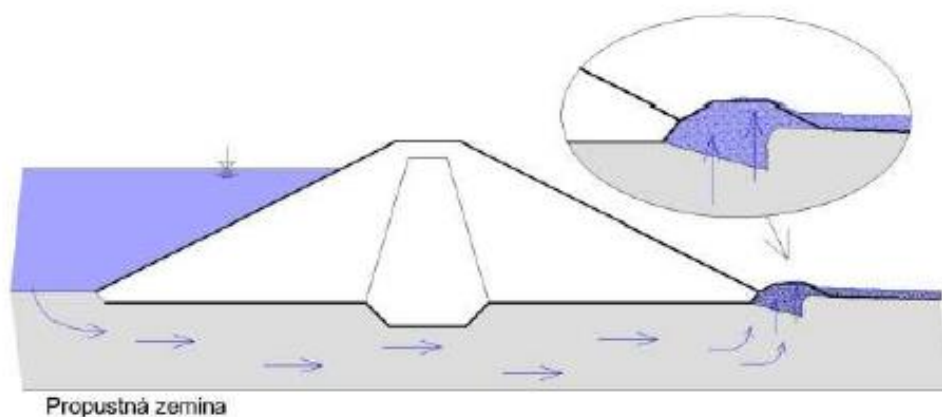
Obr. 3.16 Ztekucení (Čas 1: Vnitřní stabilita, Čas 2: Zvětšení objemu, Čas 3: Ztekucení a odplavování zeminy)



Obr. 3.17 Schéma počátku ztekucení

V první fázi (čas 1) dochází k vertikálnímu proudění vody, při kterém je zemina stabilní (nedochází k žádným změnám v objemu, hydraulické vodivosti ani k vyplavování částic). Ve druhé fázi (čas 2) je dosažen hydraulický gradient, při kterém dochází ke zvětšení objemu (obr. 3.17) a tudíž i ke zvýšení hydraulické vodivosti k . Nedochozí však k vyplavování zeminy.

(Hala, 2020) - strana 30



Obr. 3.18 Schéma progresu ztekucení

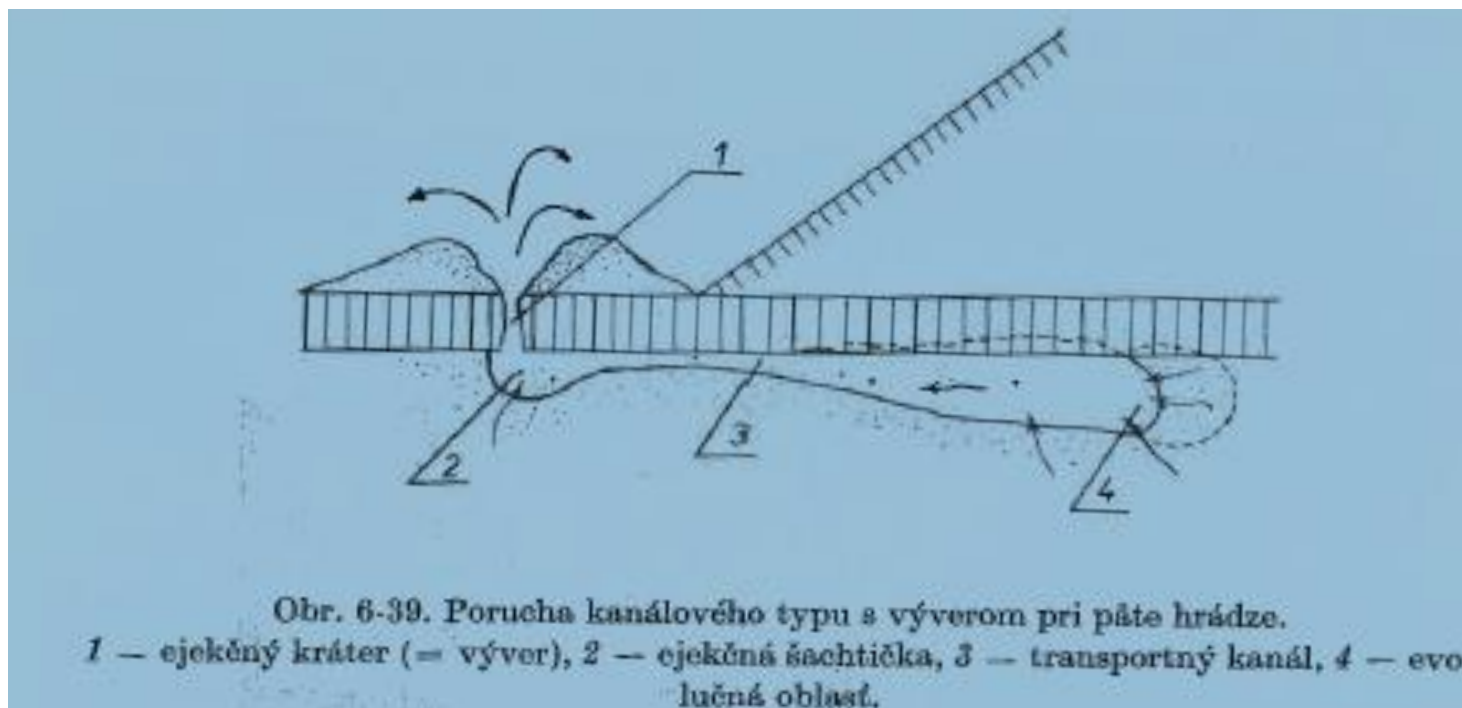


Obr. 3.19 Vyplavování zeminy (Foto - Žatecký)

Pokud nedojde k poklesu hydraulického gradientu, může dojít k postupnému vyplavování zeminy (obr. 3.20) vlivem zpětné eroze a k tvorbě privilegované cesty (piping), což může mít za následek úplné porušení konstrukce.

(Hala, 2020) - strana 31

(Peter, 1975)





Pramen Nemanického potoka (2025)



Seznam použitých podkladů

(mimo citací v textu)

- soubor ČSN
- Mbonimpa M., Aubertin M., Chapuis R.P., Bussiére B., „Practical pedotransfer functions for estimating the saturated hydraulic conductivity“, Geotechnical and Geological Engineering 20: 235-259, 2002
- Chapuis R.P., „Predicting the saturated hydraulic conductivity of soils: a review“, Bull Eng Geol Environ (2012) 71:401-434
- Vienken T., Dietrich P., „Field evaluation of methods for determining hydraulic conductivity from grain size data“, Journal of Hydrology 400 (2011) 58-71
- Peter P., „Kanálové a ochranné hrázce“, VEDA, SAV, Bratislava (1975)
- Sanzeni A., Grazioli D., Colleselli F., „Superficie specifica e applicabilità della formula di Kozeny-Carman per la stima della conducibilità idraulica delle terre“, Rivista Italiana di Geotecnica (2012)
- Francek J., Kloub J., „Zemní hráze vodních nádrží“, Ústav pro TEI, Řada 24 - svazek 1 (1957)
- Arthur H. G., „Presas de Tierra“ en „Diseño de presas pequeñas“, Instituto Cubano del libro, La Habana (1972)
- Vaníček I., Schröfel J., „Životní prostředí, Inženýrské stavby“, skriptá ČVUT, Praha (2000)
- „Engineering and Design, Laboratory Soils Testing, Seepage Analysis and Control for Dams“, Engineering Manual, Office of the Chief of Engineers, EM 1110-2-1901&6 (1970, 1986)
- Šedivý Z., „Predikce parametrů zemin, část - A“, GeoTec GS, Praha (2012)

Děkuji Vám za pozornost!

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!