VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU

NÁRODNÍ PLÁN OBNOVY

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FAKULTA CHEMICKÁ

FAKULTA STAVEBNÍ

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Přednáška magisterského studijního programu JADERNÁ ENERGETIKA

Vodní hospodářství a vzduchotechnika jaderných elektráren

Hydrostatika a úvod do hydrodynamiky (zákon zachování hmotnosti a hybnosti, Bernoulliho rovnice, aplikace impulsové věty). Proudění vody v tlakových systémech – potrubích.

Fakulta stavební VUT

Jan Jandora

20. 12. 2023

CC BY NC SA

Hydraulika – literatura

- KUNŠTÁTSKÝ, J., PATOČKA, C. *Základy hydrauliky a hydrologie*. Praha: SNTL/ALFA. 1966. 250 stran.
- JANDORA, J., HLAVÍNEK, P. *Hydraulika čistíren odpadních vod*. 1996. ISBN: 80-86020-04-5.
- JANDORA, J., ŠULC, J. *Hydraulika. Modul 01*. Studijní opora pro studijní programy s kombinovanou formou studia. Brno: FAST VUT. 2006. 178 stran.
- JANDORA, J. *Hydraulika – příklady. Modul 02*. Studijní opora pro studijní programy s kombinovanou formou studia. Brno: FAST VUT. 2017. 190 stran.

- MUNSON, B. R., YOUNG, D. F., OKIISHI, T. H. *Fundamentals of fluid mechanics*. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1998. 877 stran. ISBN 0-471-355023-X
- MAYS, L. W. (ed). *Hydraulic Design Handbook*. McGraw-Hill Professional. 1999. 1024 p. ISBN 978-0070411524.
- SAMANI, Z. A. *Hydraulic & Hydrologic Engineering. Fundamentals and Applicatuions*. CRC Press. 2022. 166 p. ISBN 978-1032262789.
- WANG, L. K. WANG, WANG, M.H. S., SHAMMAS, K. S. *Water and Wastewater Engineering, Volume 1: Hydraulics, Hydrology and Management*. Wiley. 2024. 784 p. ISBN 978-1-394-17910-7.

CC BY NC SA

Úvod – program

1. přednáška: *Hydrostatika a úvod do hydrodynamiky (zákon zachování hmotnosti a hybnosti, Bernoulliho rovnice, aplikace impulsové věty), Proudění vody v tlakových systémech – potrubích*.

1. cvičení: *Výpočty hydrostatické tlakové síly, průtoku vody pomocí venturimetru, bodové rychlosti pomocí Pitotovy trubice, hydraulických ztrát v tlakových systémech – potrubích*.

2. přednáška: *Proudění s volnou hladinou v otevřených korytech. Výtoky vody otvory a přepady vody přes přelivy. Spojení hladin zdrží. Proudění vody ve filtrech*.

2. cvičení: *Výpočty hydraulických ztrát v potrubích s volnou hladinou a v otevřených korytech, průtoku vody otvorem, přepadového množství vody přes přelivy, plnění a prázdnění objektů*

cc BY NC SA

Hydraulika *vs* hydrologie

Hydraulika (*hydor* = *voda*, *aulos* = *potrubí*, *žlab*):

- věda o zákonitostech rovnováhy a pohybu tekutin a vzájemném působení tekutin a tuhých těles,
- fyzikálně matematický základ tvoří hydromechanika, která je částí klasické teoretické mechaniky,
- pro úlohy technické praxe, pro které nemá hydromechanika teoretického řešení, používá hydraulika vztahů empirických, odvozených z pozorování a měření v přírodě in situ nebo na modelech.

Hydrologie (hydor = voda, logos = nauka):

- je věda o výskytu a oběhu vody v přírodě, která ze systematického pozorování těchto jevů v přírodě formuluje příslušné závěry, zákonitosti a vztahy.

CC BY NC SA

Hydraulika

Hydraulika

- oddíl technické mechaniky, která studuje zákony klidu a pohybu kapalin
- dělí se na dvě základní části:
  - **hydrostatiku** – zabývá se kapalinami, které **se nepohybují** (jsou v klidu) a jejich účinkem na tuhá tělesa,
  - **hydrodynamiku** – zabývá se **pohybem kapalin** a jejich působením na tuhá tělesa při jejich vzájemném relativním pohybu.

BY NC SA

Fyzikální vlastnosti kapalin

Hustota a měrná tíha kapaliny

Viskozita kapalin

Soudržnost kapalin

Stlačitelnost kapalin

Tepelná roztažnost

Tepelná vodivost

Povrchové napětí (a kapilarita)

cc BY NC SA

Hustota a měrná tíha kapaliny

Hustota

$$\rho = \frac{\mathrm{d}m}{\mathrm{d}V} \qquad \overline{\rho} = \frac{1}{V}\int_V \rho \,\mathrm{d}V = \frac{m}{V}$$

Měrná tíha kapaliny (*tíha kapaliny vztažená na jednotku objemu*) $\gamma = \rho\, g$

T [°C]	ρ [kg/m^3]	υ [m^2/s]	T [°C]	ρ [kg/m^3]	υ [m^2/s]
0	999,84	$1{,}7938\ 10^{-6}$	50	988,24	$0{,}515\ 10^{-6}$
4	999,97	$1{,}5671\ 10^{-6}$	60	983,38	$0{,}478\ 10^{-6}$
10	999,70	$1{,}3101\ 10^{-6}$	70	977,99	$0{,}415\ 10^{-6}$
20	998,20	$1{,}0105\ 10^{-6}$	80	972,01	$0{,}367\ 10^{-6}$
30	995,65	$0{,}804\ 10^{-6}$	90	965,30	$0{,}327\ 10^{-6}$
40	992,36	$0{,}661\ 10^{-6}$	100	959,69	$0{,}294\ 10^{-6}$

cc BY NC SA

Viskozita kapalin

Při vzájemném pohybu částic vznikají důsledkem *vnitřního* tření (**viskozity**) *smyková* (tangenciální) *napětí* τ. Newton zjistil, že τ:

- **nezávisí na tlaku v kapalině**,
- **závisí na druhu** kapaliny,
- **závisí na gradientu rychlosti** (rychlostním spádu mezi dvěma vrstvami kapaliny),
- **je-li rychlost dvou sousedních částic kapaliny stejná, nepůsobí mezi nimi tření**.

$$\tau = -\mu \frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}$$

μ dynamická viskozita

$\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}$ gradient rychlosti u

$$\upsilon = \frac{\mu}{\rho}$$

υ kinematická viskozita

cc BY NC SA

Soudržnost, stlačitelnost, tepelná roztažnost a vodivost kapalin

Soudržnost kapalin

- U vody je pevnost v tahu 36 Pa, tj. *asi 10^7 krát méně než u oceli* (500 MPa).

Stlačitelnost kapalin

- Modul pružnosti v tlaku oceli cca E = 210 GPa, objemová pružnost vody (stlačitelnost) K = 2,03 GPa. *Přibližně stonásobný rozdíl*.

Tepelná roztažnost

- Vlivem tepelných změn mění kapaliny svůj objem. Součinitel tepelné objemové roztažnosti β je definován jako změna objemu vyvolaná změnou teploty T o 1° K při p = konst.

Tepelná vodivost

- Hodnota součinitele tepelné vodivosti λ_T charakterizuje schopnost materiálu vést teplo. Pro vodu je λ_T (20° C) = 0,598 W/m/K, pro ocel λ_T = 47 W/m/K, pro beton λ_T = 1,5 W/m/K, pro sklo λ_T = 1,5 W/m/K a pro pěnový polystyren λ_T = 0,044 W/m/K.

cc BY NC SA

Povrchové napětí a kapilarita

Povrchové napětí

- Působí na kontaktní ploše mezi kapalinou a plynem nebo mezi dvěma nemísícími se kapalinami.
- Vlivem povrchového napětí dochází na styku kapaliny s jiným tělesem k jejímu ulpívání.

Kapilarita

- Povrchové napětí způsobuje:
  - **kapilární elevaci** (zdvih) – např. voda,
  - **kapilární depresi** (snížení) – např. rtuť,

  kapaliny v trubicích malého průměru (kapilárách).

druh zeminy	kapilární výška [m]	druh zeminy	kapilární výška [m]
písky	0,03 - 0,1	sprašové hlíny	2,0 - 5,0
jemné písky	0,1 - 0,5	jílovohlinité zeminy	do 10,0
hlinité písky	0,5 - 2,0	jíly	přes 50,0

cc BY NC SA

Ideální kapalina

Ideální kapalina

- nestlačitelná,
- objemově stálá při změnách teploty,
- neviskózní, takže v ní nepůsobí smyková napětí.

Ideální kapalině se vzhledem k nízké viskozitě přibližuje např. voda nebo ještě lépe tekutý dusík při 77 K.

Viskozita je klíčovou vlastností tvořící rozdíl mezi reálnou a ideální kapalinou, která se projevuje v dynamice,

CC BY NC SA

Hydrostatika

- **Hydrostatika** – se zabývá kapalinami, které se **nepohybují** (*jsou v klidu*) a jejich účinkem na tuhá tělesa.
- V **reálné** kapalině, která je **v klidu**, **nevzniká tření** a tato kapalina se chová jako **ideální**.
- **Tlak v kapalině**
  - síly, které působí na libovolnou rovinnou plochu v kapalině za klidu, musí být **na tuto plochu kolmé.**
  - diferenciální poměr $p = \frac{\mathrm{d}F}{\mathrm{d}A}$ se nazývá **tlak kapaliny v daném bodě,**
  - je-li tlak p na celou plochu A **konstantní** (např. na vodorovné dno) pak $p = \frac{F}{A}$ **a** F **je normálová síla.**

cc BY NC SA

Neproměnnost tlaku v různých směrech

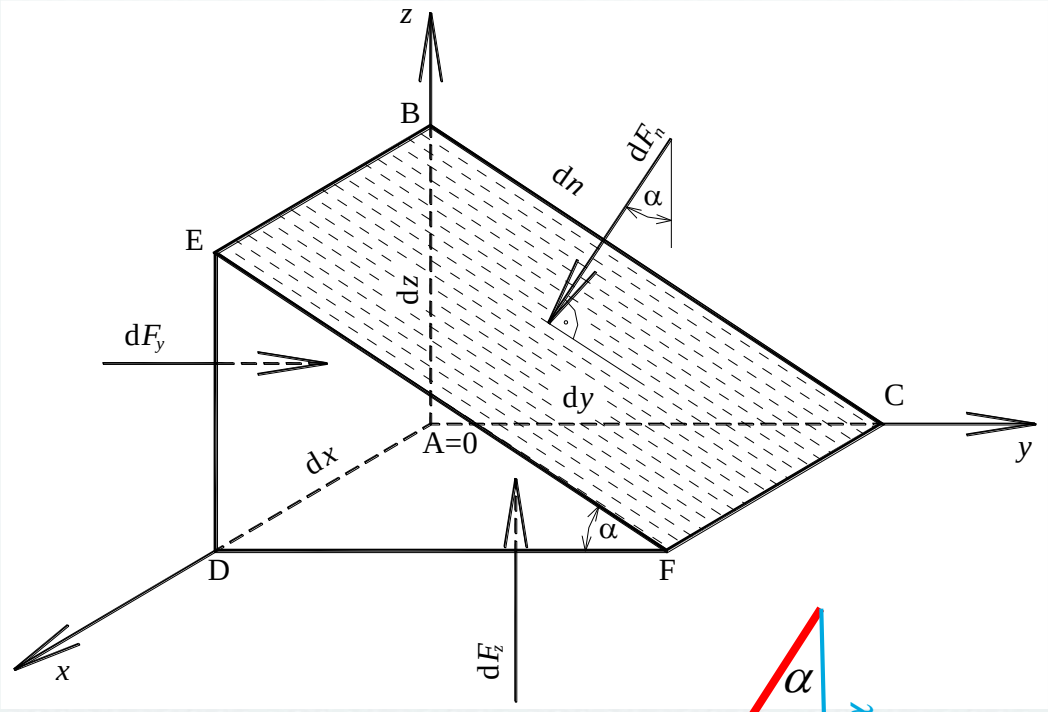
Z kapaliny, která je v klidu, se vytkne nekonečně malý klínový element:

$$\mathrm{d}F_y = p_y\,\mathrm{d}x\,\mathrm{d}z,$$

$$\mathrm{d}F_z = p_z\,\mathrm{d}x\,\mathrm{d}y, \qquad \mathrm{d}F_n = p_n\,\mathrm{d}x\,\mathrm{d}n.$$

Objem elementu je: $\mathrm{d}V = 1/2\,\mathrm{d}x\,\mathrm{d}y\,\mathrm{d}z.$

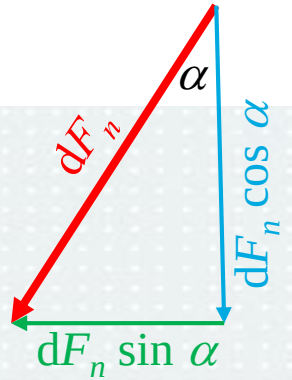
Objemová síla je: $\mathrm{d}G = \rho\,g\,\mathrm{d}V = \rho\,g\,\dfrac{\mathrm{d}x\,\mathrm{d}y\,\mathrm{d}z}{2}$



Rovnováha sil do směrů os y a z:

$$\mathrm{d}F_y - \mathrm{d}F_n \sin\alpha = 0, \qquad \mathrm{d}F_z - F_n \cos\alpha = 0,$$

$$p_y\,\mathrm{d}x\,\mathrm{d}z - p_n\,\mathrm{d}x\,\mathrm{d}n \sin\alpha = 0, \qquad p_z\,\mathrm{d}x\,\mathrm{d}y - p_n\,\mathrm{d}x\,\mathrm{d}n \cos\alpha = 0.$$



cc BY NC SA

Neproměnnost tlaku v různých směrech

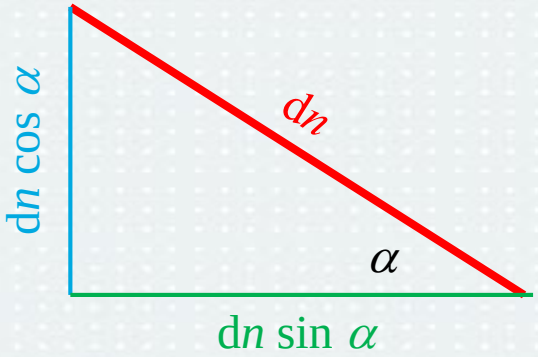
Protože:

$$\mathrm{d}z = \mathrm{d}n \sin\alpha \quad \text{a} \quad \mathrm{d}y = \mathrm{d}n \cos\alpha,$$

lze:

$$p_y \,\mathrm{d}y\,\mathrm{d}z - p_n \,\mathrm{d}y\,\mathrm{d}z = 0, \qquad p_z \,\mathrm{d}x\,\mathrm{d}y - p_n \,\mathrm{d}y\,\mathrm{d}x = 0,$$

$$p_y = p_n, \qquad p_z = p_n,$$



a tedy: $p_y = p_z = p_n$

Protože směr *n* byl zvolen zcela libovolně, je **tlak v libovolném bodě kapaliny**, která je v klidu, **ve všech směrech stejný**.

BY NC SA

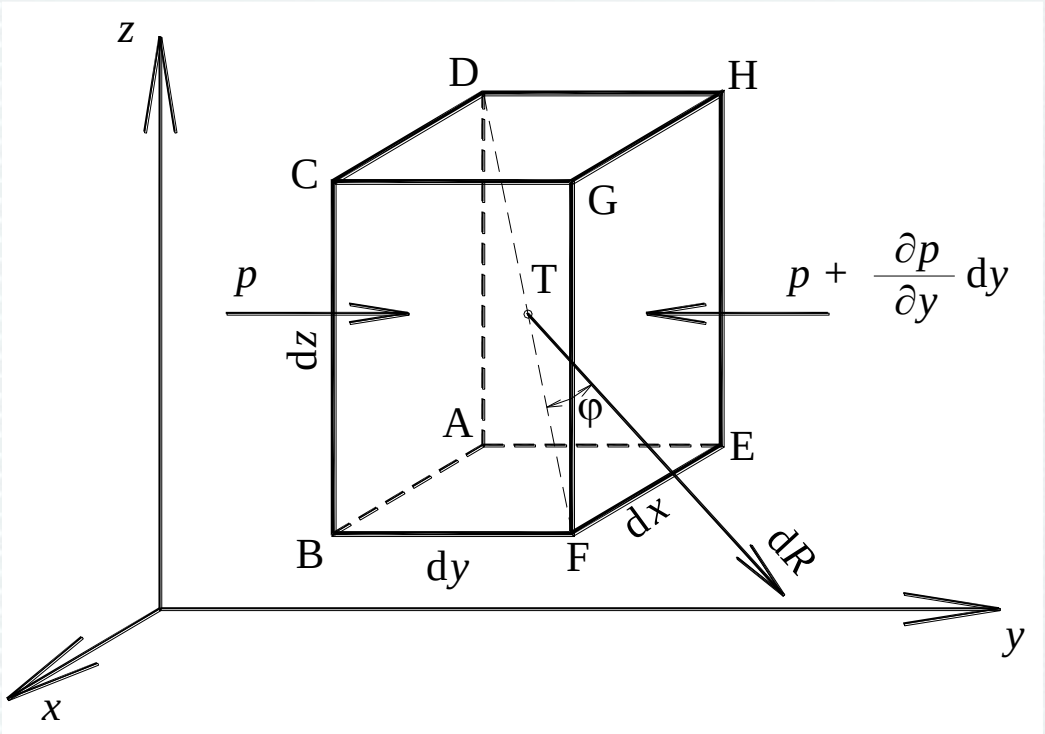
Eulerova diferenciální rovnice rovnováhy v kapalině

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \rho f_x$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} = \rho f_y$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \rho f_z$$

f_x, f_y, f_z složky objemového zatížení vztaženého na jednotku hmotnosti (složky zrychlení objemových sil)



cc BY NC SA

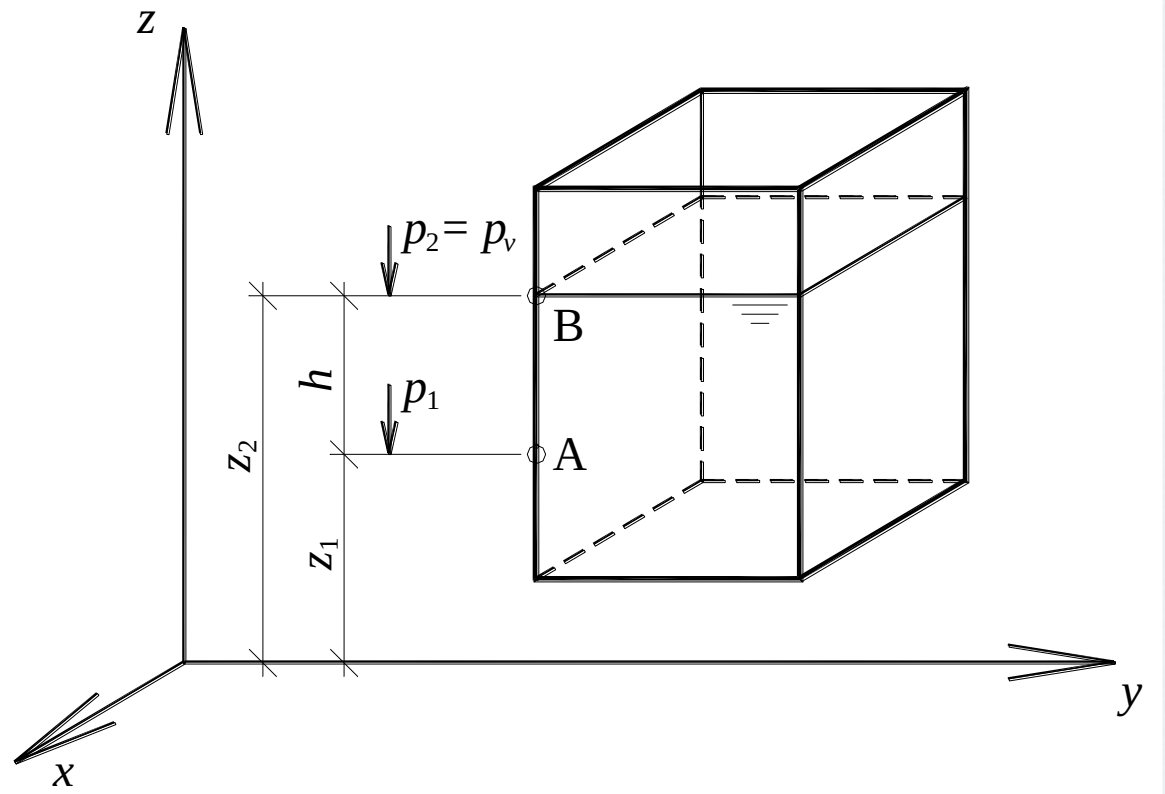
Tlak v kapalině, na níž působí jen tíže

$$f_x = 0, \qquad f_y = 0, \qquad f_z = -g.$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \rho f_z$$

$$\mathrm{d}\, p = -\rho g \,\mathrm{d}\, z$$

$$\int_{p_1}^{p_2} \mathrm{d}\, p = -\rho g \int_{z_1}^{z_2} \mathrm{d}\, z$$



cc BY NC SA

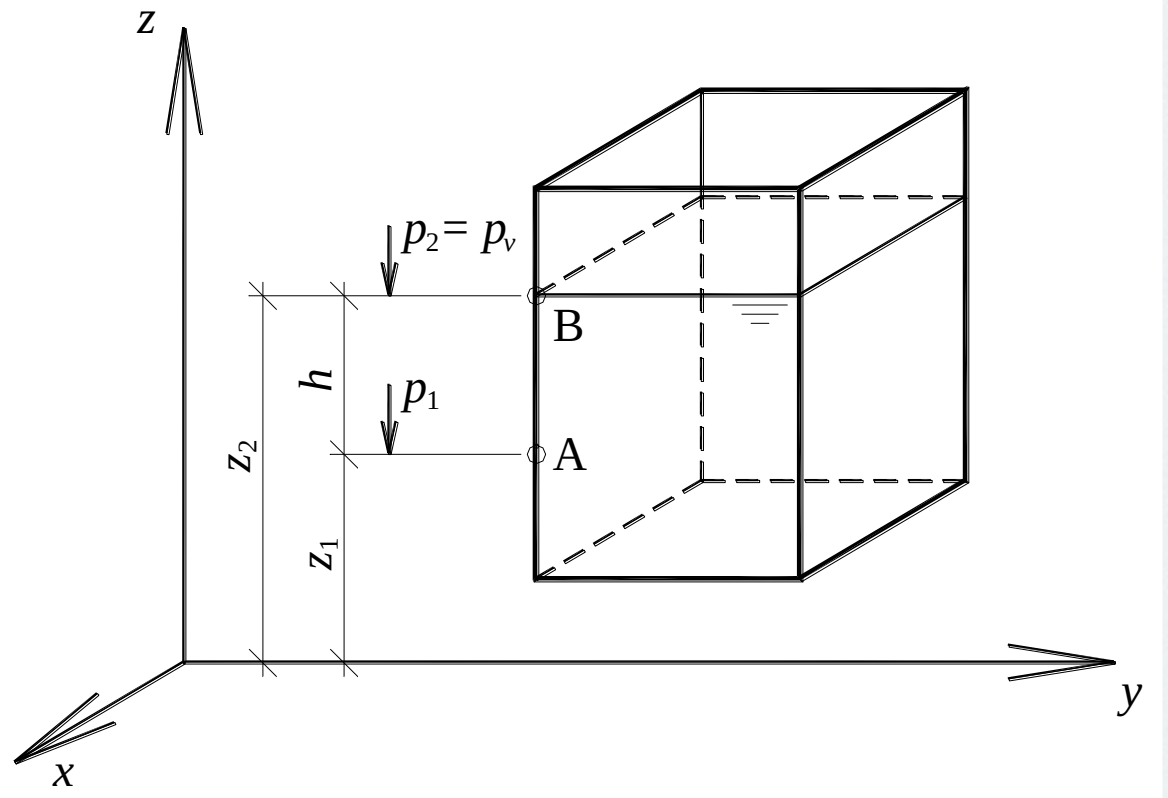
Tlak v kapalině, na níž působí jen tíže

$$f_x = 0, \qquad f_y = 0, \qquad f_z = -g.$$

$$\int_{p_1}^{p_2} \mathrm{d}\, p = -\rho\, g \int_{z_1}^{z_2} \mathrm{d}\, z$$

$$p_2 - p_1 = -\rho\, g\, (z_2 - z_1)$$

$$p_1 = \rho\, g\, h + p_2$$



cc BY NC SA

Celkový a hydrostatický tlak v kapalině

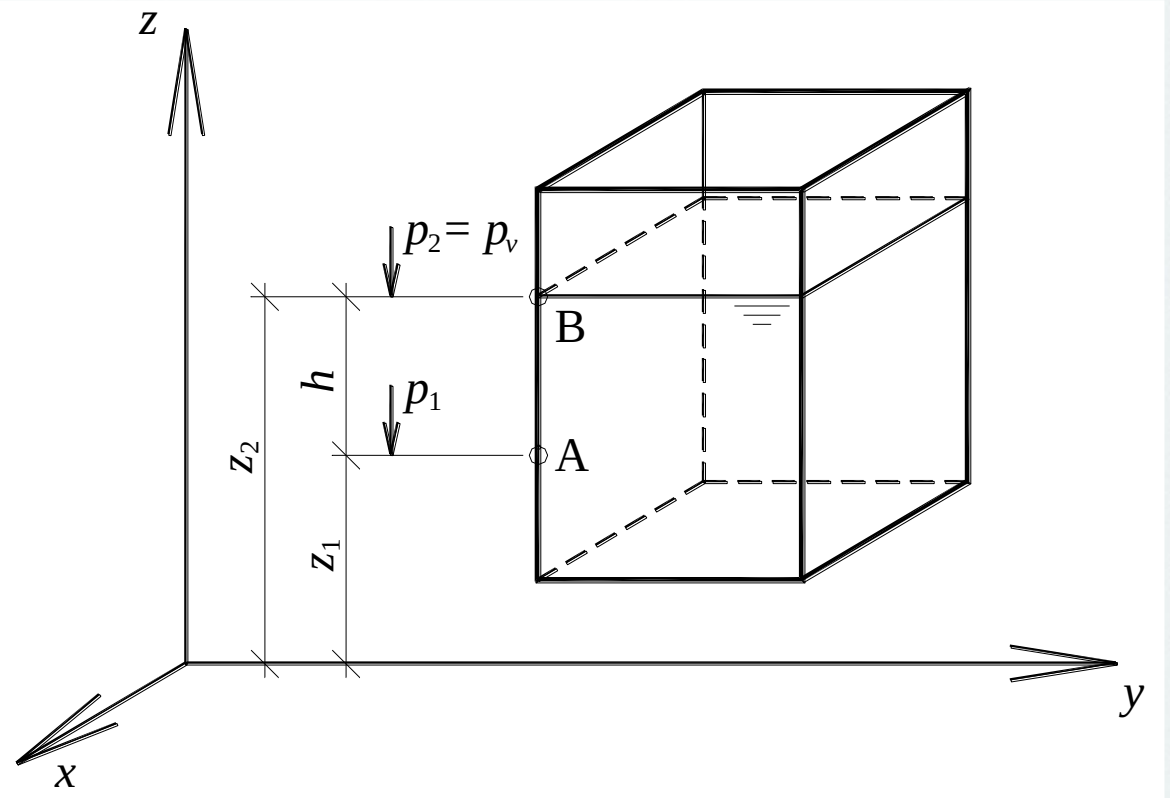
$$p_1 = \rho\, g\, h + p_2$$

$$p_s = p_h + p_v$$

$$p_h = \rho\, g\, h$$

Hydrostatický tlak p_h roste úměrně s hloubkou h

$$p_v = p_a = 101{,}325\ \text{kPa}$$



BY NC SA

Rovňové a hladinové plochy

Rovňové plochy jsou plochy, na kterých je celkový (statický) tlak konstantní:

- rovňová plocha musí být **kolmá ke směru výsledného zrychlení**,
- **nemísící se kapaliny se stýkají na rovňové ploše**.

Hladinová plocha je **rovňová** plocha tvořící povrch kapaliny:

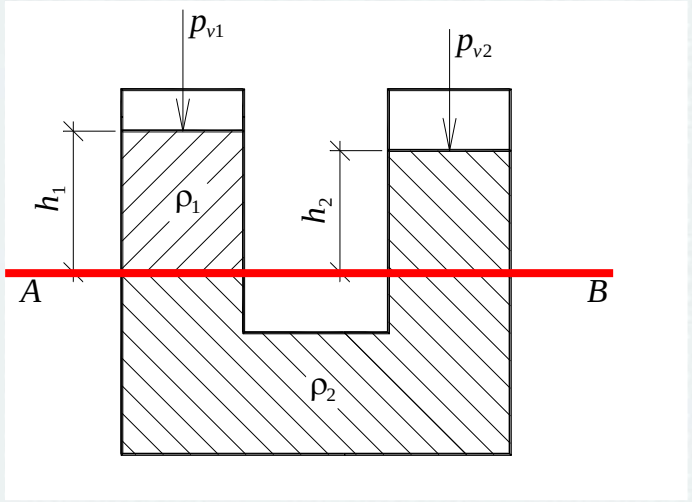
- na Zemi mají hladinové plochy přibližně kulový tvar (např. hladiny moří),
- ve většině úvah však lze malou část takové plochy v okolí určitého bodu nahradit vodorovnou rovinou.

CC BY NC SA

Spojité nádoby

- Ve dvou otevřených a navzájem spojených nádobách jsou dvě různé nemísící se kapaliny, které jsou v rovnováze.
- Rovina, která rozděluje obě kapaliny, je **plochou rovňovou (*A–B*)**.

$$p_{v1} + \rho_1 \, g \, h_1 = p_{v2} + \rho_2 \, g \, h_2$$

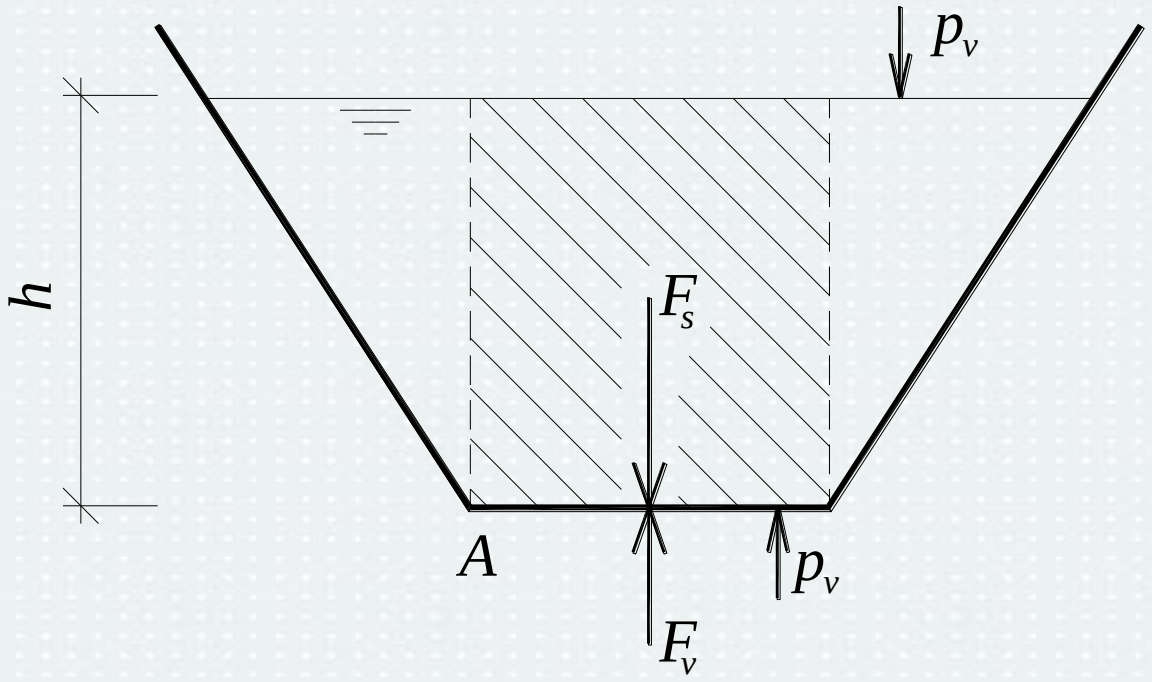


BY NC SA

Tlaková síla kapaliny na vodorovné plochy

$$F = \int_A p \, \mathrm{d}A \qquad p = \rho g h + p_v$$

$$F = \int_A p \, \mathrm{d}A = p \int_A \mathrm{d}A = p \, A$$



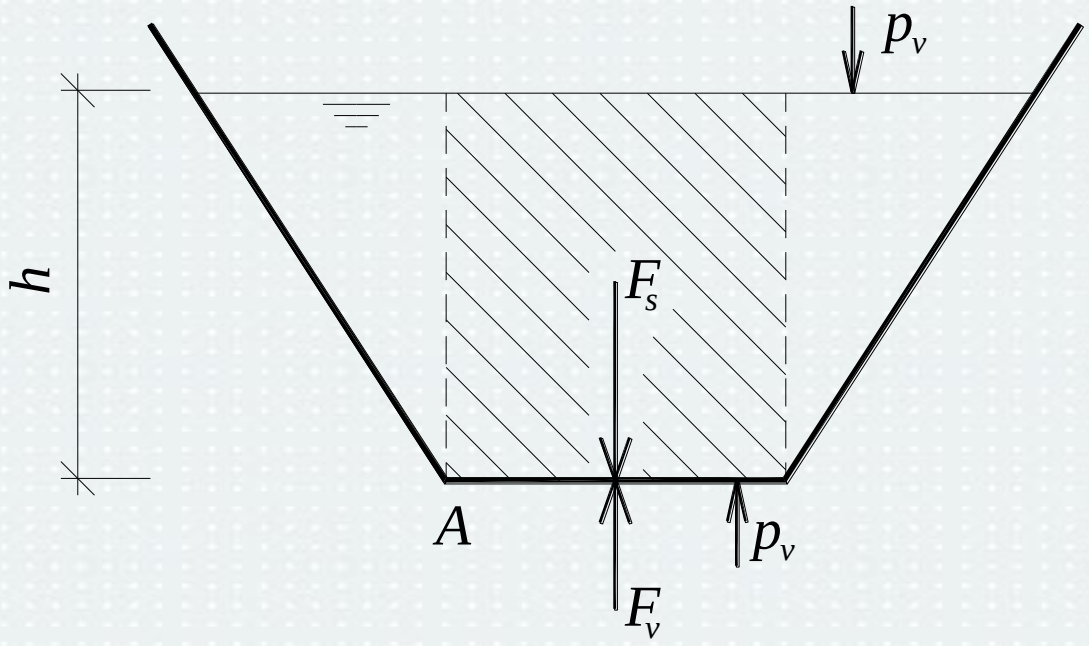
cc BY NC SA

Tlaková síla kapaliny na vodorovné plochy

$$F_s = (p_v + p_h)\,A = (p_v + \rho\, g\, h)\,A$$

$$F_s = F_v + F$$

$$F = \rho\, g\, h\, A$$



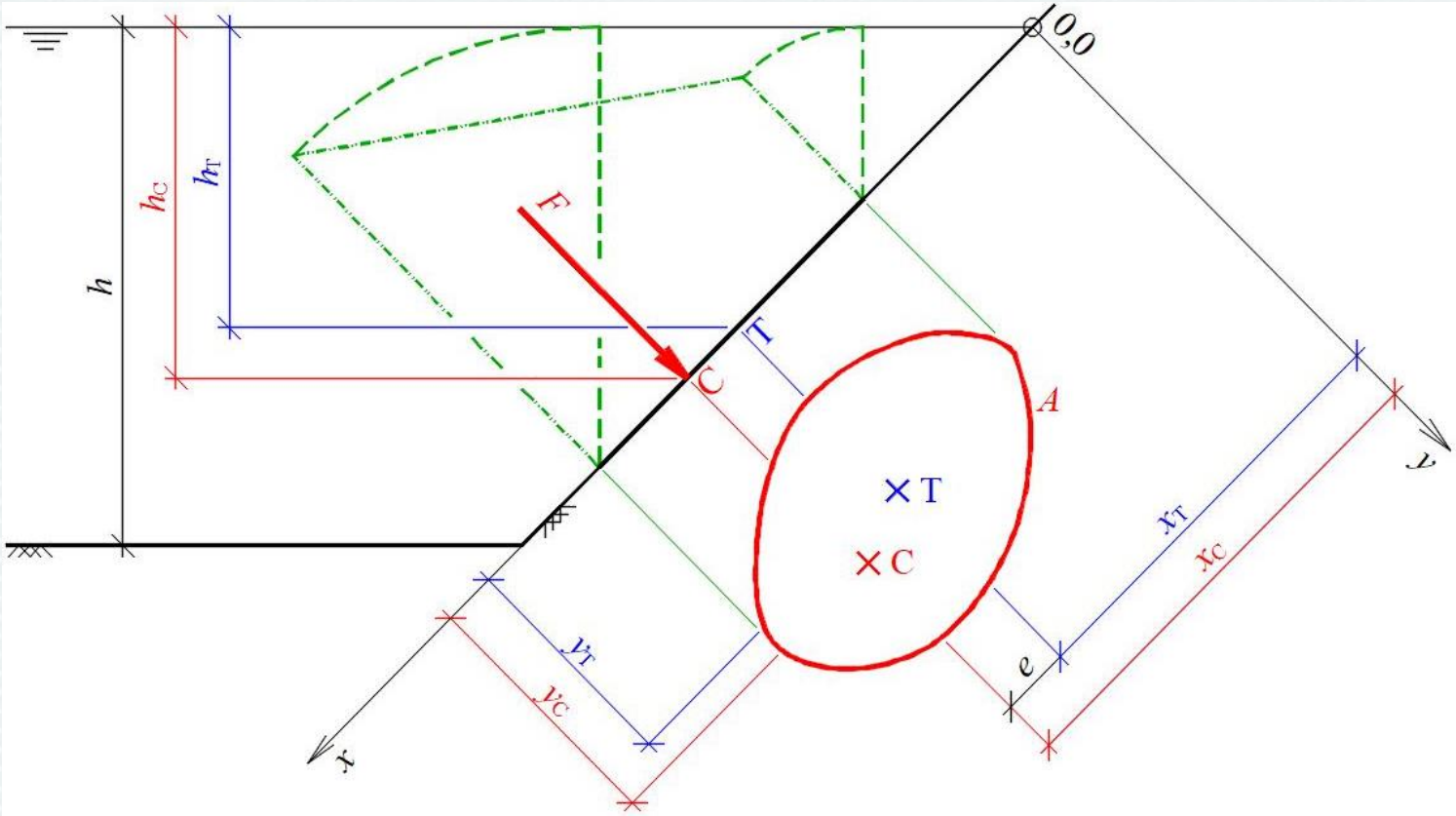
Hydrostatická síla F se rovná tíze sloupce kapaliny, jejíž základnou je plocha dna a výškou je jeho hloubka pod hladinou h.

cc BY NC SA

Tlaková síla kapaliny na rovinné plochy

$$F = \rho\, g\, h_T\, A$$

hydrostatická tlaková síla, která působí na rovinnou plochu, se rovná součinu této plochy A a hydrostatického tlaku v jejím těžišti p_T



$$x_C = \frac{J_T}{A\, x_T} + x_T$$

$$y_C = \frac{D_{x,y}}{A\, x_T}$$

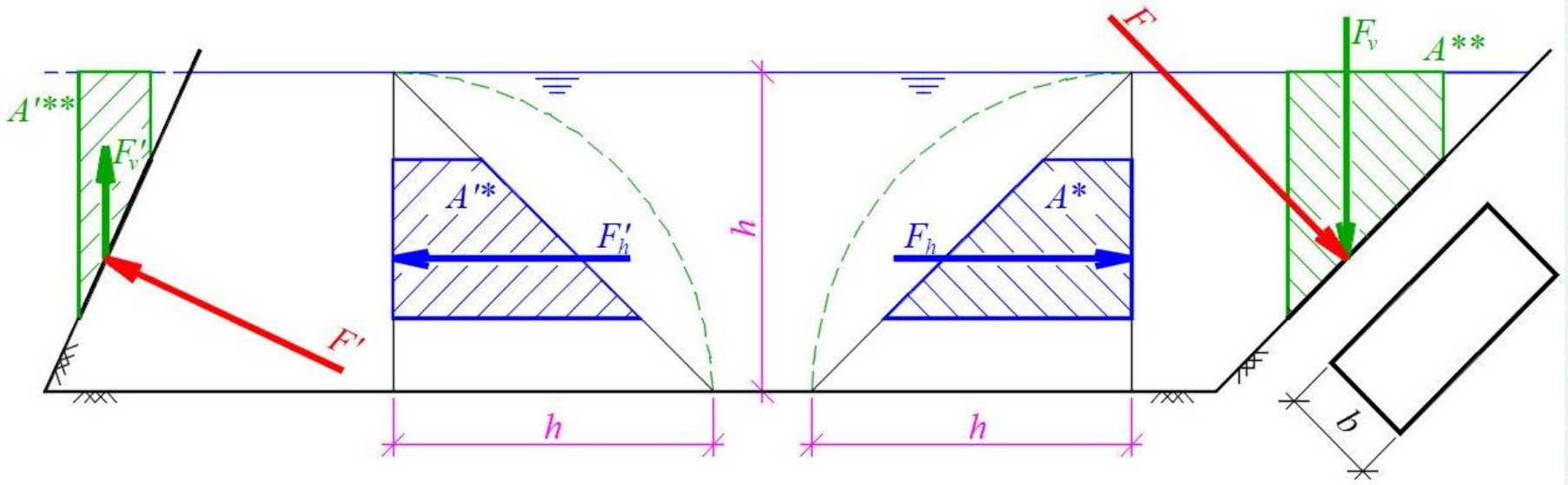
J_T momentem setrvačnosti k těžišťové ose

$D_{x,y}$ deviační moment plochy A k osám x, y

cc BY NC SA

Tlaková síla kapaliny na plochy (na plochu s konstantní šířkou po výšce)

Zatěžovací obrazce



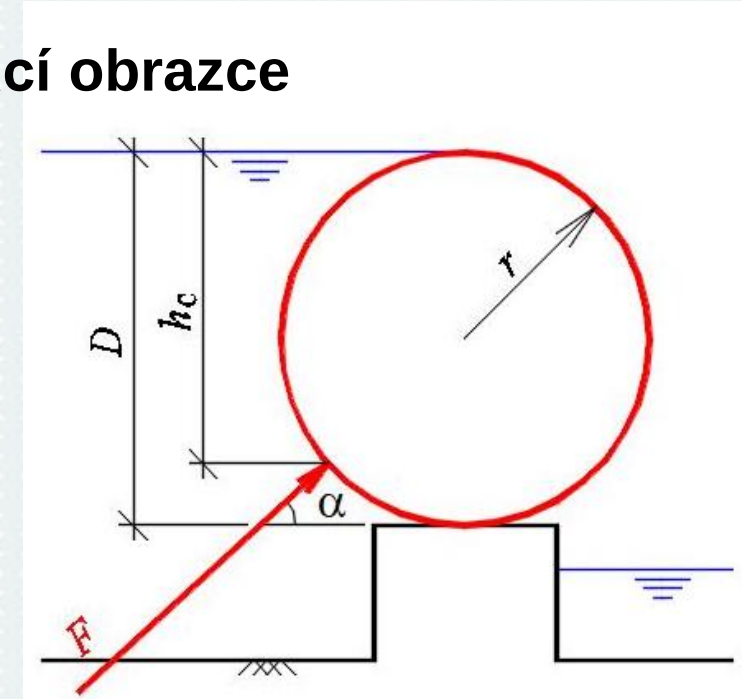
$$F_h = \rho\, g\, b\, A^* \,, \qquad F_v = \rho\, g\, b\, A^{**} \,,$$

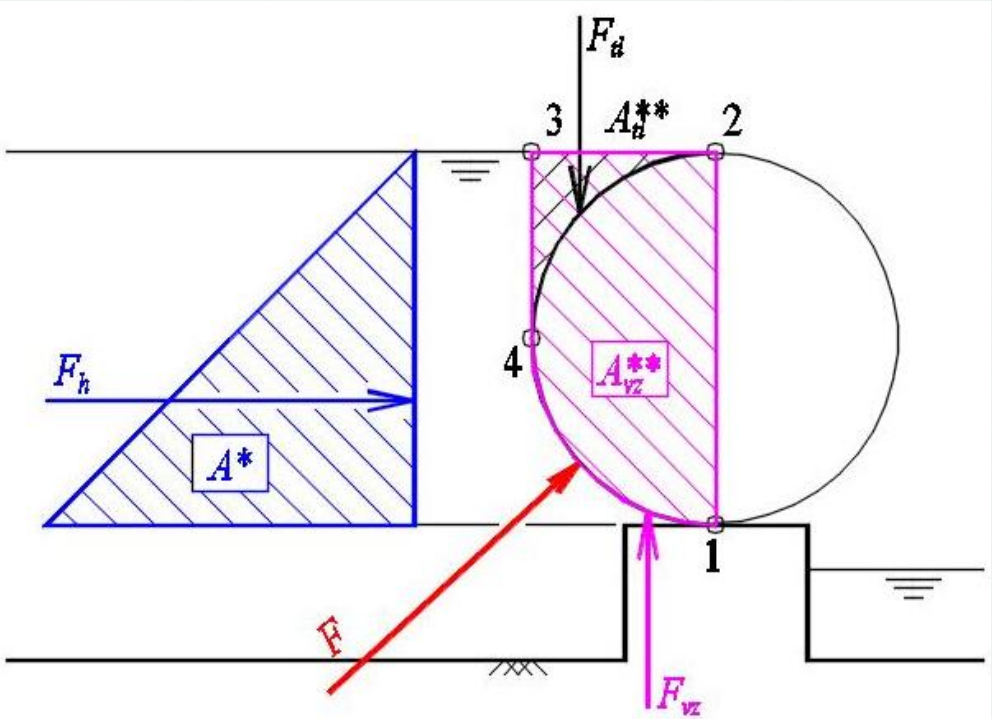
$$F = \sqrt{F_h^2 + F_v^2} \,, \qquad \operatorname{tg}\alpha = \frac{F_v}{F_h} \,.$$

BY NC SA

Tlaková síla kapaliny na plochy (na plochu s konstantní šířkou po výšce)

Zatěžovací obrazce





$$F_h = \rho\, g\, b\, A^* \,,$$

$$F_v = \rho\, g\, b\, A^{**} \,,$$

$$F = \sqrt{F_h^2 + F_v^2} \,,$$

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{F_v}{F_h} \,.$$

cc BY NC SA

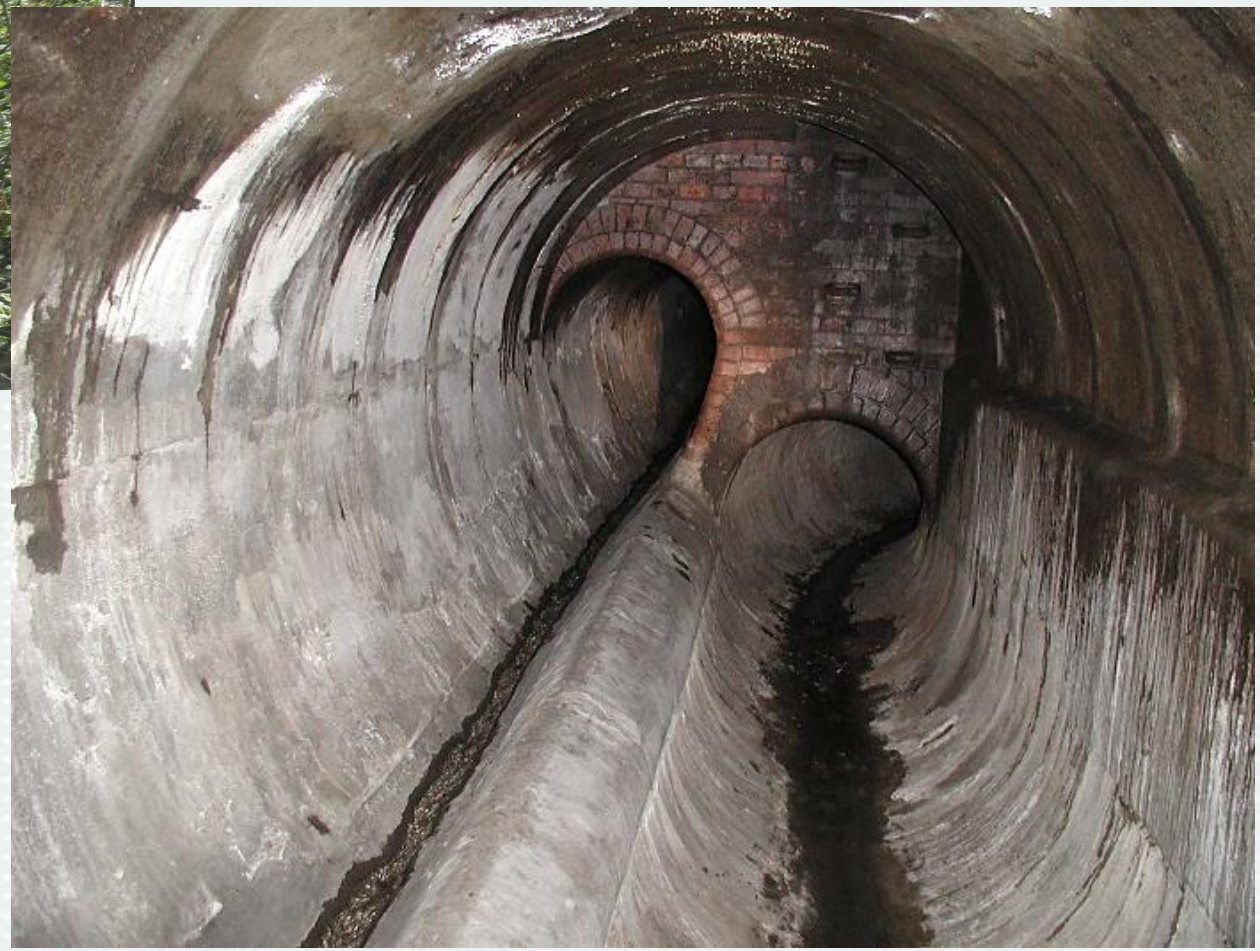
Hydrodynamika

Průtočný profil – rovinný řez vedením proudu, kolmý k jeho podélné ose a charakterizující jeho tvar, který kapalina zaujímá nebo může zaujmout, je průtočný profil. Průtočný profil může být:

otevřený – např. řeka;

uzavřený – potrubí, stoka, propustek, atd.;

cc BY NC SA



cc BY NC SA

Hydrodynamika

Průtočný profil – rovinný řez vedením proudu, kolmý k jeho podélné ose a charakterizující jeho tvar, který kapalina zaujímá nebo může zaujmout, je průtočný profil. Průtočný profil může být:

otevřený – např. řeka;

uzavřený – potrubí, stoka, propustek, atd.;

Bodová rychlost $u = u(x, y, z, t)$ – okamžitá rychlost tekutiny v daném bodě se nazývá bodová rychlost.

$$u = \frac{\mathrm{d}\,l}{\mathrm{d}\,t}$$

Střední bodová rychlost $\overline{u}$ je definována jako vyrovnaná hodnota bodové rychlosti u v dlouhém časovém intervalu T:

$$\overline{u} = \frac{1}{T}\int_0^T u\,\mathrm{d}\,t$$

cc BY NC SA

Hydrodynamika

Průtočný průřez (**průtočná plocha**) A - **plošný obsah řezu proudu** plochou kolmou v každém bodě k vektoru bodové rychlosti u.

Průtok (objemový průtok) Q - objem kapaliny, který proteče průtočným průřezem A za jednotku času:

$$Q = \int_A u \, \mathrm{d}\, A$$

Hmotnostní průtok Q_m - hmotnost kapaliny, která proteče průtočným průřezem A za jednotku času:

$$Q_m = \int_A u \, \rho \, \mathrm{d}\, A$$

BY NC SA

Hydrodynamika

Průřezová rychlost v – střední hodnota rychlosti v průtočném průřezu. Je definována tak, že se vynásobením její hodnotou průtočný průřez A obdrží průtok Q:

$$Q = v\,A \qquad v = \frac{\int_A u \,\mathrm{d}\, A}{A}$$

cc BY NC SA

Hydrodynamika

Proudění:

- **Ustálené** – hydraulické veličiny (např. průtok) jsou v **čase neměnné**):
  - rovnoměrné (průtočné průřezy (průtočná plocha) na celém úseku konstantní),
  - nerovnoměrné (průřezová rychlost a průtočná plocha se mění po délce proudu).
- **Neustálené** – hydraulické veličiny jsou funkcí času.

Proudění:

- **s volnou hladinou** (povrch hladiny je v *bezprostředním kontaktu s ovzduším*, např. řeka),
- **proudění tlakové** (v *uzavřených* profilech a kapalina protéká *plným průřezem*, např. vodovodní potrubí),
- **proudové paprsky** (ohraničeny kapalným nebo plynným prostředím, např. paprsek vytékající z *požární hadice*).

cc BY NC SA

Rovnice kontinuity v 1D

Rovnice (*spojitosti*) **kontinuity** – diskrétní vyjádření zákona zachování hmotnosti.

hmotnost kapaliny **vtékající** *do elementu*	-	hmotnost kapaliny + zdroj **vytékající** *z elementu* ZA ČASOVÝ INTERVAL	=	časová **akumulace** hmotnosti kapaliny *v elementu*

cc BY NC SA

Pozn. Taylorova řada a věta

Taylorova řada

$$f(x) = f(a) + \frac{f'(a)}{1!}(x-a) + \frac{f''(a)}{2!}(x-a)^2 + \frac{f^{(3)}(a)}{3!}(x-a)^3 + \ldots = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{f^{(k)}(a)}{k!}(x-a)^k$$

Taylorova věta

$$f(x) = f(a) + \frac{f'(a)}{1!}(x-a) + \frac{f''(a)}{2!}(x-a)^2 + \ldots + \frac{f^{(n)}(a)}{n!}(x-a)^n + R_{n+1}^{f,a}(x).$$

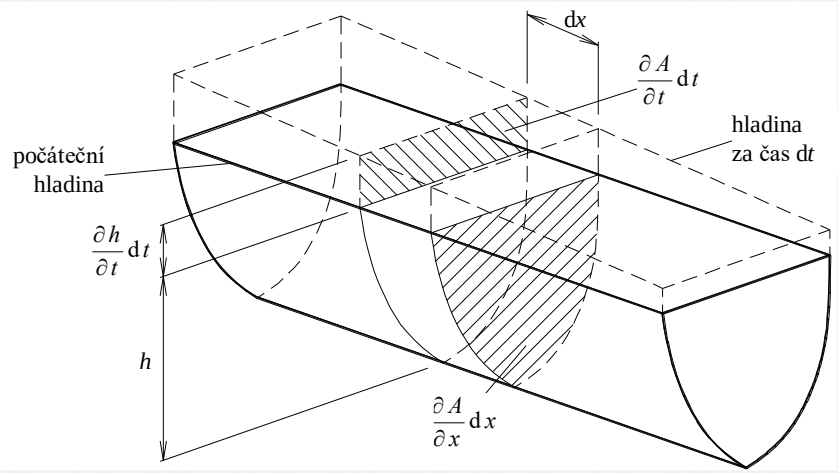
$$\mathrm{e}^x \approx 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \cdots + \frac{x^n}{(n)!}.$$

Taylorova věta

$$f(x) = f(a) + \frac{f'(a)}{1!}(x-a) + \frac{f''(a)}{2!}(x-a)^2 + \ldots + \frac{f^{(n)}(a)}{n!}(x-a)^n + R_{n+1}^{f,a}(x).$$

cc BY NC SA

Rovnice kontinuity v 1D



Ze zákona zachování hmotnosti plyne, že okamžitá změna (změna za jednotku času) hmotnosti m:

$$m = \rho\, A\, \mathrm{d}\, x \qquad (1)$$

obsažená v infinitesimálním objemu $A\,\mathrm{d}\,x$ je rovna rozdílu hmotnosti m_p přitékající vody Q_p a m_o odtékající vody Q_o:

$$\frac{\partial\, m}{\partial\, t}\,\mathrm{d}\,t = m_p - m_o\ . \qquad (2)$$

Pomocí vztahu (1) lze změnu hmotnosti v čase vyjádřit:

$$\frac{\partial\, m}{\partial\, t}\,\mathrm{d}\,t = \frac{\partial\,(\rho\, A)}{\partial\, t}\,\mathrm{d}\,t\,\mathrm{d}\,x\ .$$

BY NC SA

Rovnice kontinuity v 1D

Hmotnost přitékající m_p a odtékající m_o vody je:

$$m_p = \rho A v \, \mathrm{d}t \qquad \text{a} \qquad m_o = \rho A v \, \mathrm{d}t + \frac{\partial(\rho A v)}{\partial x} \mathrm{d}x \, \mathrm{d}t \,. \quad (4)$$

Dosazením rovnic (3) a (4) do (2) se obdrží:

$$\frac{\partial(\rho A)}{\partial t} \mathrm{d}t \, \mathrm{d}x = \rho A v \, \mathrm{d}t - \left(\rho A v \, \mathrm{d}t + \frac{\partial(\rho A v)}{\partial x} \mathrm{d}x \, \mathrm{d}t \right),$$

$$\frac{\partial(\rho A)}{\partial t} \mathrm{d}t \, \mathrm{d}x = - \frac{\partial(\rho A v)}{\partial x} \mathrm{d}x \, \mathrm{d}t$$

$$\frac{\partial(\rho A)}{\partial t} = - \frac{\partial(\rho A v)}{\partial x} \quad \text{resp.} \quad \frac{\partial(\rho A)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho A v)}{\partial x} = 0 \,. \quad (5)$$

cc BY NC SA

Rovnice kontinuity v 1D

Zavedením $Q = A\ v$ má rovnice (5), která je diskrétním vyjádřením zákona zachování hmotnosti (bez uvažování bočních přítoků, srážek, výparu a infiltrace, …), tvar:

$$\frac{\partial(\rho A)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho Q)}{\partial x} = 0 \text{ , (6)}$$

kde A je průtočný průřez, Q je průtočné množství a h hloubka vody (vzdálenost od nejnižšího místa průtočného profilu po hladinu). Pro nestlačitelnou kapalinu (ρ = konst.) nabude rovnice kontinuity (6) tvar:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \qquad \text{. (7)}$$

cc BY NC SA

Rovnice kontinuity v 1D

Při ustáleném proudění odpadají časové změny: $\frac{\partial A}{\partial t} = 0$

tedy změna Q na vzdálenosti $\mathrm{d}x$ je nulová: $\frac{\partial Q}{\partial x} = 0$

a Q = konst.

Rovnice spojitosti nestlačitelné kapaliny v jednodimenzionálním ustáleném proudění nabývá tvaru (objemový tvar rovnice kontinuity):

$$Q = v_1 A_1 = v_2 A_2 = v_2 A_2 = \text{konst.}, \qquad (8)$$

kde indexy (1, 2, 3, ...) se vztahují k jednotlivým profilům.

cc BY NC SA

Bernoulliova rovnice

Daniel Bernoulli (8. 2. 1700, Groningen - 17. 3. 1782, Basilej) patřil do nejslavnější dynastie matematiků v dějinách.

Jeho děd Nicolaus I. Bernoulli pocházel z Holandska. Odtud se rodina přestěhovala do Německa a nakonec do švýcarské Basileje. Početná a rozvětvená rodina Bernoullių sehrála v 18. stol. mimořádnou úlohu v rozvoji **evropské matematiky a fyziky**.

cc BY NC SA

Bernoulliova rovnice

- Celkem 9 členů tohoto rodu vyniklo v přírodních vědách. Bernoulliové jako první významně zdokonalili **diferenciální počet** objevený *Newtonem a Leibnitzem* a využili ho pro řešení nejrůznějších fyzikálních problémů.

- V roce 1725 obdržel Daniel pozvání z Ruska a stal se profesorem matematiky v nově zřízené **petrohradské Akademii věd**. Založil ji car Petr Veliký na radu filozofa a matematika Leibnitze, který však zemřel těsně před jejím otevřením.

- Daniel se zasazoval o rozšíření **newtonovské mechaniky** v Evropě a sám vyřešil řadu základních fyzikálních problémů. Jeho stěžejní dílo Hydrodynamica vyšlo roku 1738. Jsou zde shrnuty jeho výsledky experimentálního i teoretického studia kapalin, včetně **Bernoulliho rovnice**. Touto prací položil základy celého nového oboru fyziky – **hydrodynamiky**.

cc BY NC SA

Bernoulliova rovnice (ideální kapalina)

Uvažuje-li se ustálený proud *ideální kapaliny* (beze ztrát) platí:

$$\frac{\partial}{\partial l}\left(g\,z+\frac{p}{\rho}+\frac{u^2}{2}\right)+\frac{\partial u}{\partial t}=0$$

Integrováním podél proudnice (Bernoulliho rovnice) se obdrží:

$$g\,z+\frac{p}{\rho}+\frac{u^2}{2}=\text{konst.}$$

Potenciální energie tíhová $E_p = mgh\,,$

Newtonovská (klasická) kinetická energie $E_k = \frac{1}{2}m.v^2$

Tlaková potenciální energie $E_{pt} = pV$

cc BY NC SA

Bernoulliova rovnice (ideální kapalina)

Obvykle se **Bernoulliho rovnice** vztahuje k jednotce tíhy tím, že se rovnice dělí g. Dále je obvyklé, že se souřadnice z nahrazuje polohovou výškou h, tedy:

$$h + \frac{p}{\rho g} + \frac{u^2}{2g} = \text{konst.}$$

Protože h je **polohová** (geodetická) **výška** uvažované částice nebo těžiště průtočného průřezu nad libovolnou srovnávací rovinou, musí i ostatní dva členy mít rozměr výšky.

Výraz $\frac{p}{\rho g}$ se nazývá **tlaková výška** a $\frac{u^2}{2g}$ **rychlostní výška**.

Potenciální energie tíhová $E_p = mgh$,

Newtonovská (klasická) kinetická energie $E_k = \frac{1}{2}m.v^2$

Tlaková potenciální energie $E_{pt} = pV$

} vydělí se $m\ g$

cc BY NC SA

Bernoulliova rovnice (ideální kapalina)

Bernoulliho rovnice pro **ustálené** proudění ideální kapaliny říká, že pro všechny průřezy určitého proudového vlákna je součet **polohové**, **tlakové** a **rychlostní** *výšky* stálý:

$$h_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} = h_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g}$$

- součet **polohové**, **tlakové** a **rychlostní energie** příslušející jednotce tíhy průtoku ideální kapaliny je stálý pro všechny průřezy,
- Bernoulliho rovnice vyjadřuje **zákon zachování mechanické energie** proudu *ideální kapaliny*.

BY NC SA

Bernoulliova rovnice (skutečná kapalina)

Pro skutečný proud kapaliny a příslušný průřez

- bodová rychlost u se nahradí průřezovou rychlostí v,
- nerovnoměrné rozdělení rychlosti v profilu se zohlední Coriolisovým číslem α,

Coriolisovo číslo vyjadřuje podíl skutečné kinetické energie E_k v průřezu stanovené z bodových rychlostí ku kinetické energii vyjádřené z průřezové rychlosti

$$\alpha = \frac{\int_A u^3 \, \mathrm{d}A}{v^3 A}$$

$$h_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h_z$$

Číselná hodnota Coriolisova čísla se podle pokusů pohybuje u potrubí a u pravidelných koryt v mezích 1,02 až 1,20 (nejčastěji se blíží α = 1,10), i když může být podstatně vyšší (u laminárního pohybu v potrubí je α = 2,0).

cc BY NC SA

Bernoulliova rovnice (skutečná kapalina)

- Při pohybu vazké kapaliny dochází v kapalině k vnitřnímu tření a tření o stěny vedení.
- Část mechanické energie se mění v jiné formy energie (převážně tepelnou). Tato přeměna energie je z hydraulického hlediska **ztráta** a značí se h_z.
- Bernoulliho rovnice pro skutečnou kapalinu, která se považuje za nestlačitelnou, ale uvažuje se vnitřní tření, má tvar:

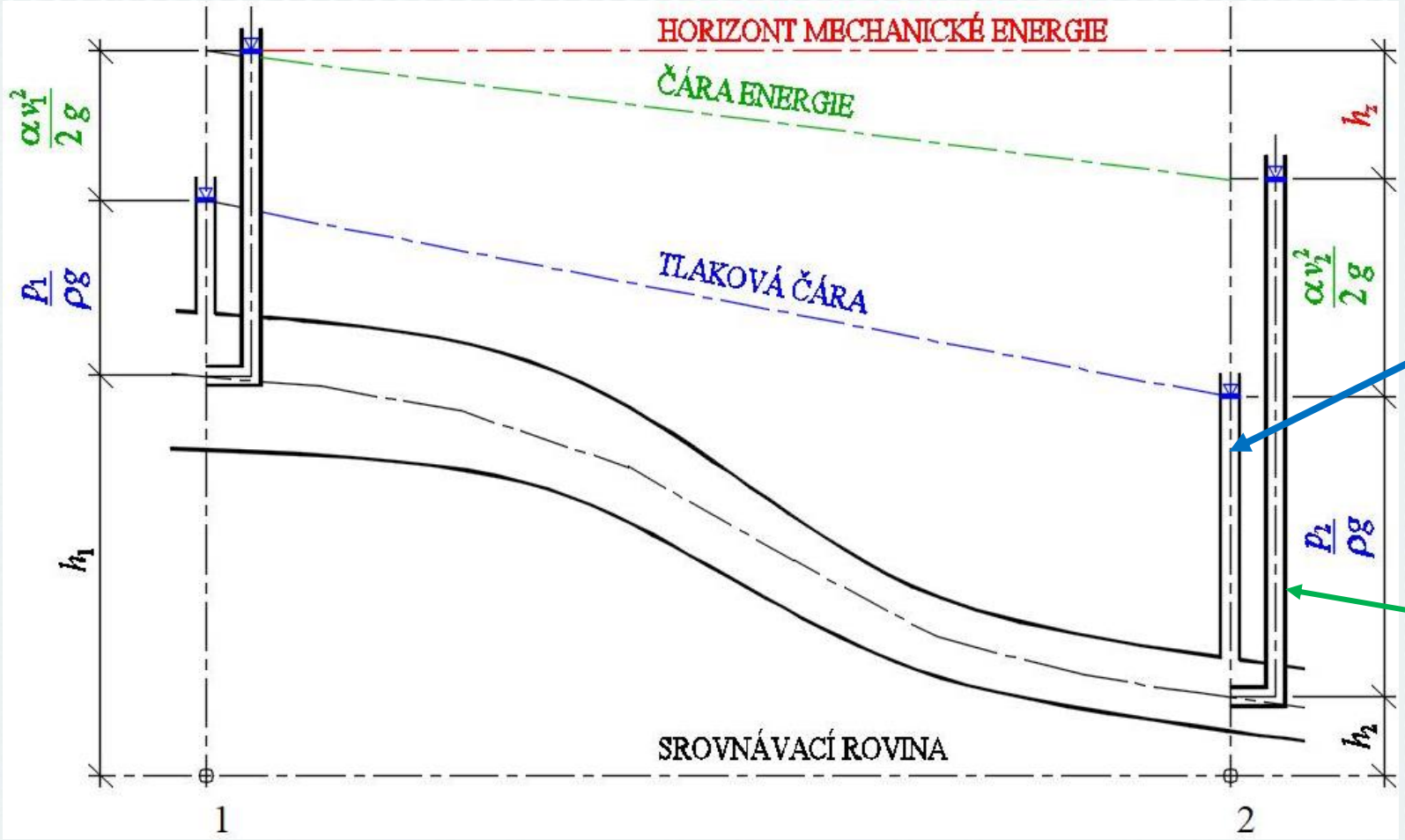
$$h_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h_z$$

- Pro ideální kapalinu (zopakování):

$$h_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} = h_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g}$$

cc BY NC SA

Bernoulliova rovnice (skutečná kapalina)

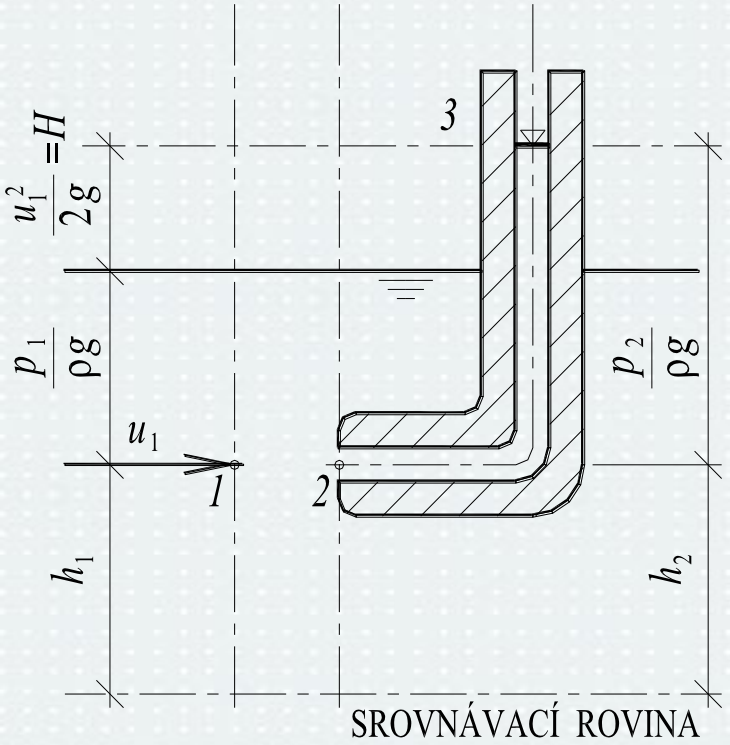


Piezometr

Pitotova trubice

BY NC SA

Bernoulliova rovnice (příklady použití)



K měření rychlostí v proudu lze použít Pitotovy trubice

$$h_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} = h_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g}$$

Platí $u_2 = 0$ m/s a $h_1 = h_2$ (dále nechť $u = u_1$)

$$\frac{u^2}{2g} = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} = H$$

$$u = \sqrt{2g\,H}$$

Zahrnutím ztráty pak

$$u = \varphi\sqrt{2g\,H}$$

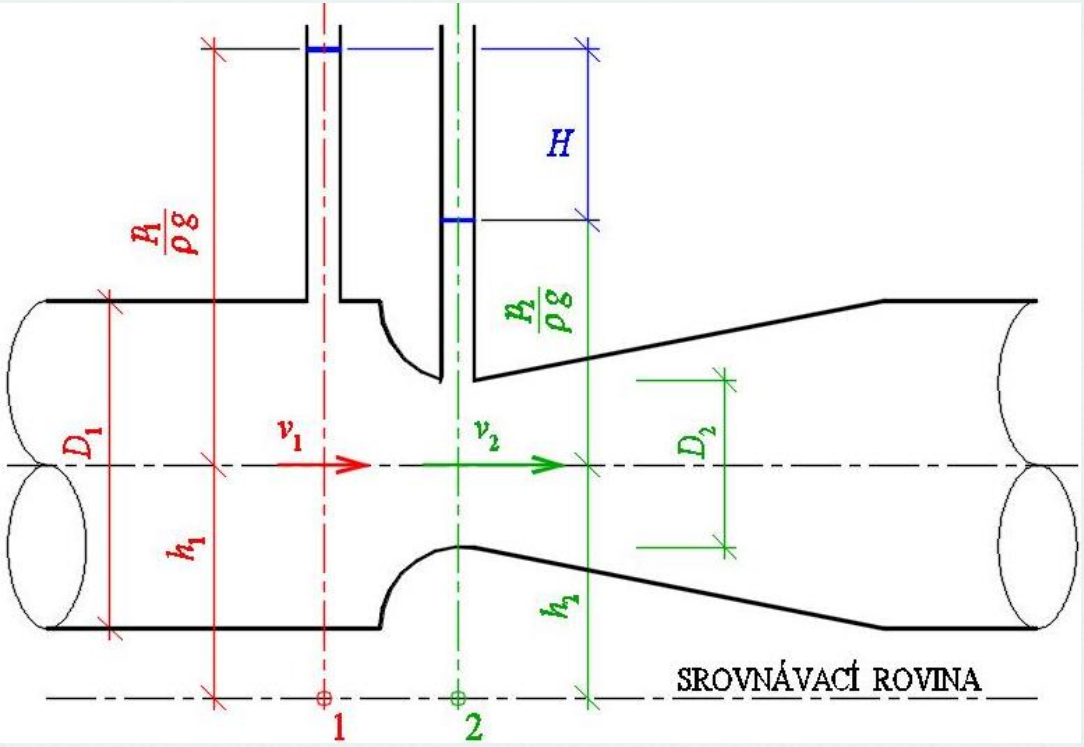
kde φ je opravný součinitel, který je závislý na konstrukci trubky a určí se kalibrováním.

cc BY NC SA

Bernoulliova rovnice (příklady použití)

K **měření průtoku** se pouřívá **venturimetr** (vodoměr)

pro $\alpha = 1$, $h_1 = h_2$ a



$$h_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha v_2^2}{2g}$$

$$H = \frac{1}{2g}(v_2^2 - v_1^2)$$

$$v_1 = v_2 \frac{A_2}{A_1} = v_2 \frac{D_2^2}{D_1^2}$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2gH}{1 - \frac{D_2^4}{D_1^4}}}$$

$$Q = \varphi A_2 \sqrt{\frac{2gH}{1 - \frac{D_2^4}{D_1^4}}}$$

BY NC SA

Věta o hybnosti (impulsová věta)

- Další základní větou hydrodynamiky je **věta o hybnosti**.
- Jedná se vlastně o přizpůsobení impulsové věty z mechaniky hmotného bodu na ustálený proud kapaliny.
- Při jejím použití se uvažují jen účinky na omezený výsek proudu, nemusí se přitom znát ani podrobnosti proudění, ani ztráty, které v tomto úseku vznikají.
- Musí se však znát všechny síly, které na kapalinu ve výseku proudu působí.
- Působí-li na hmotný bod o hmotnosti m stálá síla F, mění se rychlost u. Protože se jedná o vektory, jsou označeny silně. Podle Newtonova zákona platí:

$$\mathbf{F} = m \frac{\mathrm{D}\,\mathbf{u}}{\mathrm{D}\,t}$$

Integrací (v časovém intervalu od t_1 do t_2, v němž se vektor rychlosti mění z $\mathbf{u_1}$ na $\mathbf{u_2}$) se obdrží:

$$m\,(\mathbf{u}_2 - \mathbf{u}_1) = \mathbf{F}\,(t_2 - t_1)$$

cc BY NC SA

Věta o hybnosti (impulsová věta)

$$\beta \rho Q (\mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_1) = \sum \mathbf{F}$$

$\Sigma \mathbf{F}$ značí vektorový součet všech vnějších sil působících na uvažovaný výsek proudu kapaliny,

- Poněvadž se přešlo od bodové rychlosti k průřezové, tedy od nerovnoměrného rozdělení rychlosti v průřezu k fiktivnímu průměrnému, zavádí se při výpočtech korekční součinitel β (Boussinesqovo číslo).
- Boussinesqovo číslo vyjadřuje vliv nerovnoměrného rozdělení rychlosti na velikost hybnosti proudu. V pravidelných průtočných profilech se často dosazuje $\beta \approx 1$.

cc BY NC SA

Proudění vody v tlakových systémech – potrubích

Dělení potrubí:

- podle **materiálu** (např. ocelové, litinové, betonové, kameninové, skleněné, azbestocementové, plastové, z gumotextilií, ...),
- podle **tvaru příčného průřezu** (např. kruhové, eliptické, podkovovité, vejcovité),

podle konstrukčního hlediska:

- **jednoduché** potrubí, které dopravuje kapalinu jedinou trubní větví konstantního průměru,
- **složené** potrubí, které má proměnný průměr nebo se rozvětvilo, aby umožnilo dopravu na několik míst spotřeby (vodovodní potrubí) nebo se k němu naopak připojují další potrubí, které přivádí kapalinu od jiných zdrojů,

podle hydraulického hlediska:

- **tlakové potrubí**,
- **potrubí s volnou hladinou**.

cc BY NC SA

Hydraulické odpory

Ztráty:

- **ztráta třením** (h_t):
  - vzniká v celé délce proudu třením mezi jednotlivými vrstvami vazké kapaliny a třením kapaliny o pevné stěny vedení proudu,
  - ztráta třením je tedy úměrná délce proudu
- **místní ztráty** (h_m):
  - vznikají deformací rychlostního pole (rozložení vektoru bodové rychlosti ve vedení), např. rozšířením nebo zúžením proudu,
- **celková ztráta**:

$$h_z = \sum h_t + \sum h_m$$

cc BY NC SA

Hydraulické odpory

- Podle hydraulického hlediska se rozlišuje potrubí:
  - **hydraulicky krátké** – uvažují se ztráty místní a ztráty třením po délce (shybky, násosky atd.),
  - **hydraulicky dlouhé** – ztráty místní jsou zanedbatelné vzhledem ke ztrátám třením po délce (místní ztráty se zanedbávají nebo se do výpočtu zahrnují pomocí tzv. náhradních délek – většinou vodovodní řady atd.).

- **Ztrátová výška** h_z **(**tedy *ztráta třením* (h_t) a *ztráta místní* (h_t)) se obvykle vyjadřuje ve tvaru:

$$h_z = \kappa \frac{v_1^2}{2g}$$

kde κ je součinitel příslušné ztráty.

cc BY NC SA

Laminární a turbulentní proudění

- Odpory při proudění vazkých tekutin jsou podstatně ovlivněny strukturou pohybu jednotlivých částic,
- Reynolds experimentálně prokázal, že existují dva režimy pohybu:
  - **laminární** (neboli vrstevnaté, z lat. lamina = vrstva),
  - **turbulentní** (čili vírnaté, z lat. turbulentus = nespořádaný),
- při laminárním režimu proudění jednotlivé částice procházejí v drahách souběžných a mezi sebou se nemísí.
- turbulentní režim proudění se vyznačuje nepravidelnou pulsací složek rychlosti a tlaku kolem jejich střední hodnoty. Částice se navzájem mísí.

- Laminární režim: $h_z = a\, v$
- Turbulentní režim: $h_z \approx a\, v^2$

cc BY NC SA

Laminární a turbulentní proudění

Reynoldsovo kritérium: $$\mathrm{Re} = \frac{v\,D}{\upsilon}$$

v průřezová rychlost, D průměr trubice a ν kinematická viskozita kapaliny.

U otevřených koryt se jako charakteristický rozměr proudu uvažuje hydraulický poloměr R:

$$\mathrm{Re}_R = \frac{v\,R}{\upsilon}$$

$$R = \frac{A}{O} = \frac{\pi\,D^2}{4\,\pi\,D} = \frac{D}{4}$$

$$\mathrm{Re}_R = \frac{\mathrm{Re}}{4}$$

cc BY NC SA

Laminární a turbulentní proudění

- laminární proudění v potrubí $\mathrm{Re} < 2320$
- v obvyklých podmínkách se při plynule pozvolném stupňování rychlosti uchoval laminární režim až do $\mathrm{Re} \approx 13\,800$.
- při větší hodnotě **Re větší než 13 800** lze uvažovat, že se jedná o režim **turbulentní**, poněvadž jen mimořádně byl udržen nestabilní laminární režim proudění až do hodnoty asi $\mathrm{Re} = 10^4$ až 10^5.

- pro otevřená koryta bude zaručen laminární režim proudění do hodnoty Reynoldsova kritéria Re:

$$\mathrm{Re}_R \approx \frac{2\,320}{4} = 580 \quad .$$

v mezích $\mathrm{Re}_R = 580 \sim 3\,450$ bude přechodná oblast a turbulentní pohyb lze uvažovat při $\mathrm{Re}_R > 3\,450$.

cc BY NC SA

Ztráty třením

Darcy-Weisbachova závislost:

$$i = \lambda \frac{1}{D} \frac{v^2}{2g} \qquad h_z = i\,L = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

kde λ je součinitel tření (odporový součinitel), který závisí v podstatě:

- na drsnosti potrubí,
- jeho průměru
- a hodnotě Reynoldsova kritéria (tedy na průřezové rychlosti, průměru potrubí a vazkosti kapaliny).

Součinitel tření λ má několik oblastí s různými zákonitostmi:

- laminární,
- oblast přechodu mezi lam. a turb. prouděním,
- turbuletní oblast (se 3 podoblastmi).

cc BY NC SA

Ztráty třením (součinitel tření λ)

1. Oblast – **laminární režim proudění:**

   λ závisí pouze na hodnotě Reynoldsova kritéria ($\lambda = f(\mathrm{Re})$):

$$\lambda = \frac{64}{\mathrm{Re}}$$

   což je v logaritmické soustavě znázorněno přímkou.

cc BY NC SA

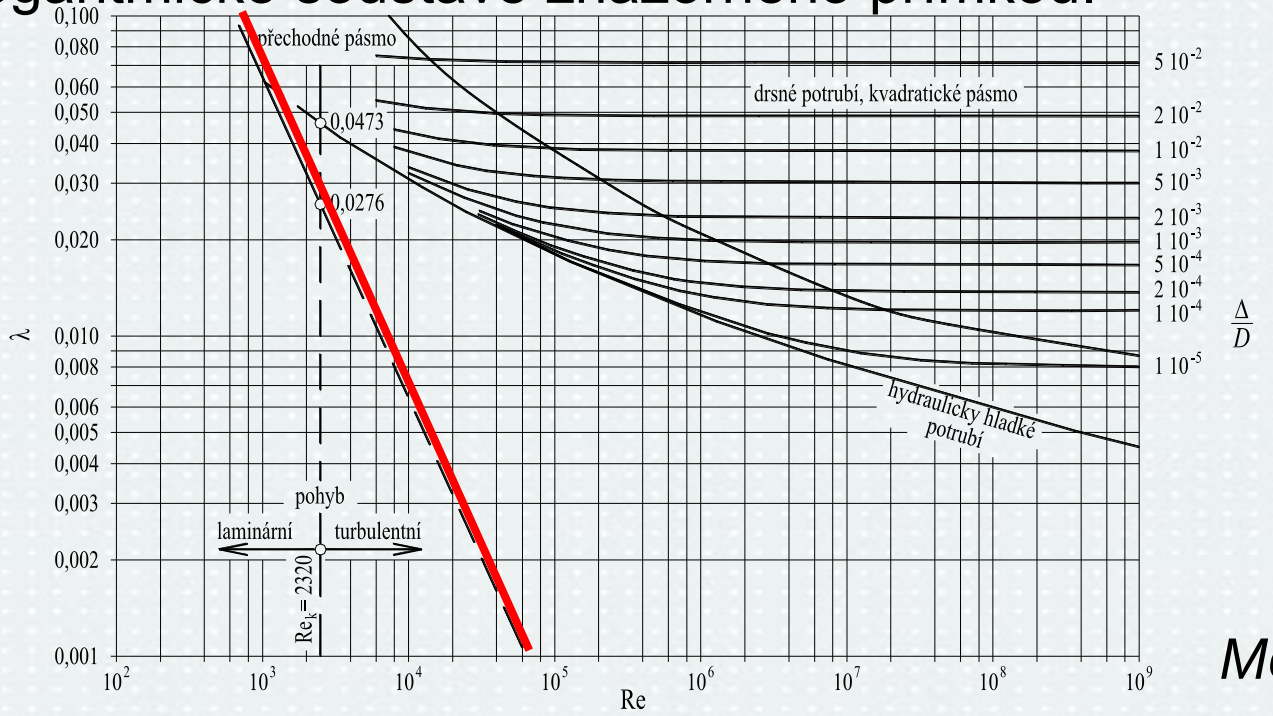
Ztráty třením (součinitel tření λ)

1. Oblast – **laminární režim proudění**

   λ závisí pouze na hodnotě Reynoldsova kritéria ($\lambda = f\,(\mathrm{Re})$):

$$\lambda = \frac{64}{\mathrm{Re}}$$

   což je v logaritmické soustavě znázorněno přímkou.



Moodyho diagram

BY NC SA

Ztráty třením (součinitel tření λ)

1. Oblast – **laminární režim proudění**

   λ závisí pouze na hodnotě Reynoldsova kritéria ($\lambda = f(\mathrm{Re})$):

$$\lambda = \frac{64}{\mathrm{Re}}$$

   což je v logaritmické soustavě znázorněno přímkou.

2. Oblast – **oblast přechodu mezi koncem laminárního proudění a plně vyvinutým turbulentním proudění**

cc BY NC SA

Ztráty třením (součinitel tření λ)

3. Oblast – **turbulentní režim proudění**

   a) **hydraulicky hladké potrubí v turbulentním režimu**

   λ závisí jen na hodnotě Reynoldsova kritéria $\lambda = f(\mathrm{Re})$.

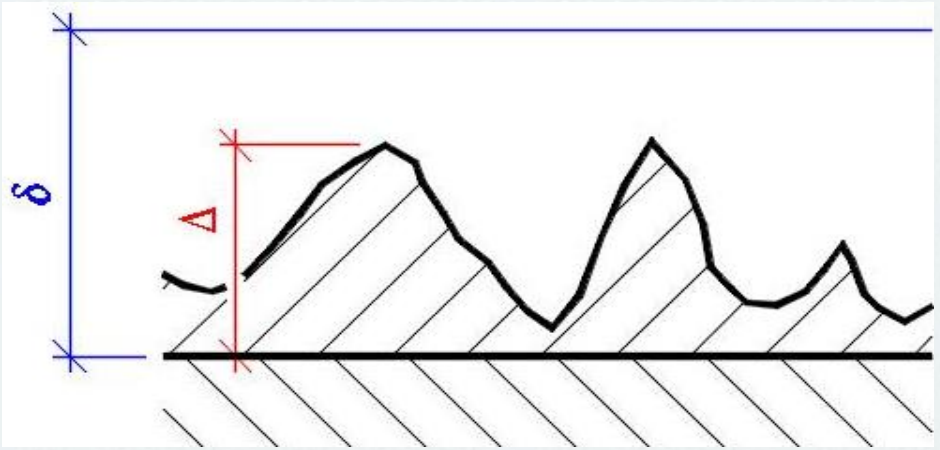
   Víry, které vznikají u výstupků v hydraulicky hladkých potrubích, zůstávají při stěně uvnitř mezní vrstvy a neodtrhávají se od ní a tím nezvětšují turbulenci proudění.

   Tyto víry proto nemají vliv na odpory v potrubí.

   Jedná se tedy o případ, kdy turbulentní proudění má **mezní vrstvu** několikanásobně tlustší, než je **výška výstupků stěn**.

$$\delta > 5\,\Delta, \qquad \delta = \frac{11{,}8\nu}{\sqrt{gRi}} = \frac{11{,}8\mu}{\rho\sqrt{gRi}} = \frac{23{,}6\nu}{\sqrt{gDi}} = \frac{33{,}4\,D}{\mathrm{Re}\sqrt{\lambda}},$$

δ je tloušťka mezní vrstvy a Δ drsnost.



cc BY NC SA

Ztráty třením (součinitel tření λ)

3. Oblast – **turbulentní režim proudění**

a) **hydraulicky hladké potrubí v turbulentním režimu**

Mezní vrstva se skládá z *laminární podvrstvy* a z *přechodné oblasti*.

Tloušťka mezní vrstvy δ se se zmenšováním rychlosti zvětšuje,

Výrazy pro určení součinitele tření λ jsou:

- podle Blasiuse:

$$\lambda = \frac{0{,}3164}{\mathrm{Re}^{0{,}25}}$$

- podle **Prandtlova-Kármánova výrazu**:

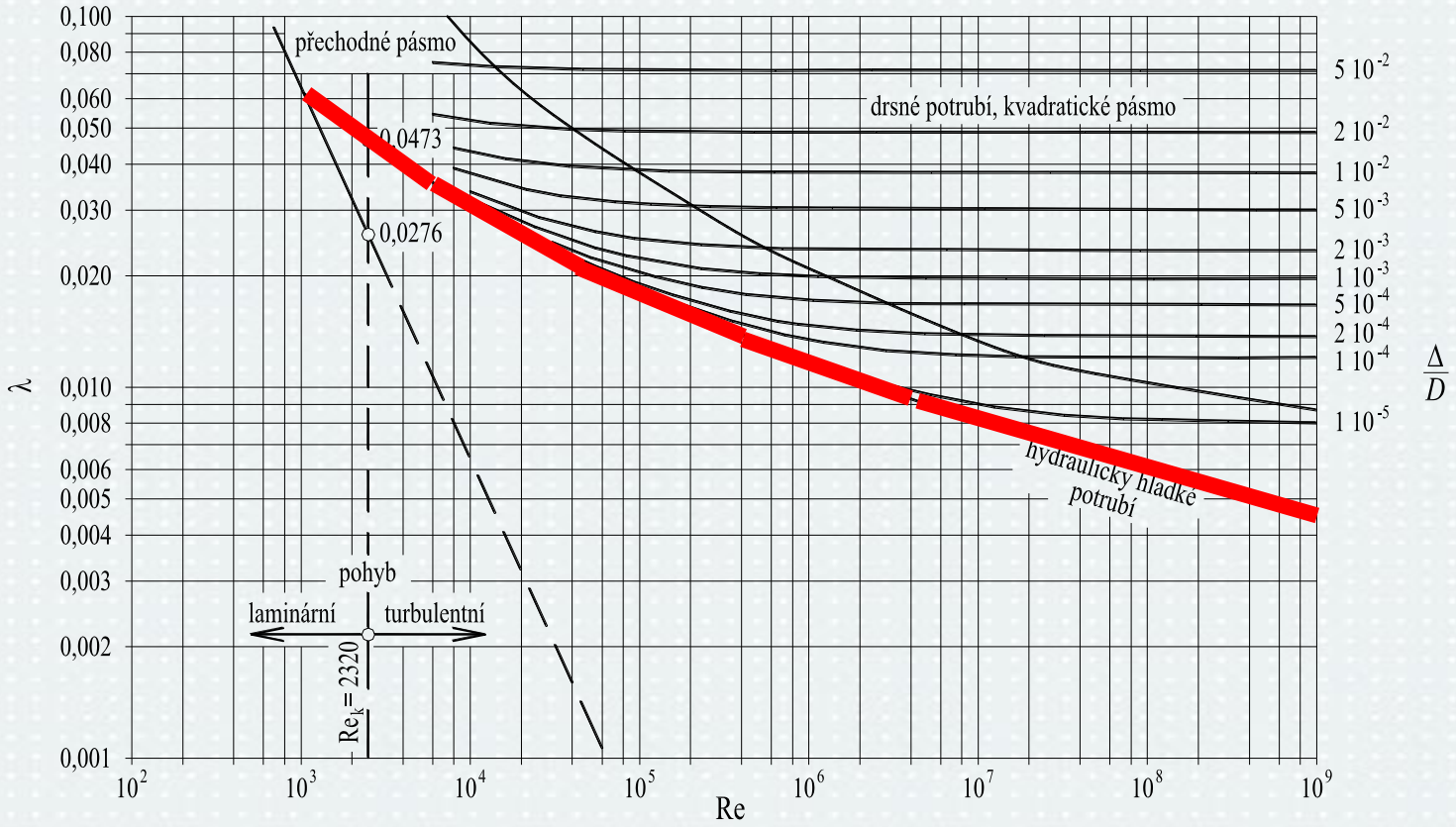
$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log \frac{\mathrm{Re}\sqrt{\lambda}}{2{,}51}$$

cc BY NC SA

Ztráty třením (součinitel tření λ)

3. Oblast – **turbulentní režim proudění**

   a) **hydraulicky hladké potrubí v turbulentním režimu**



Moodyho diagram

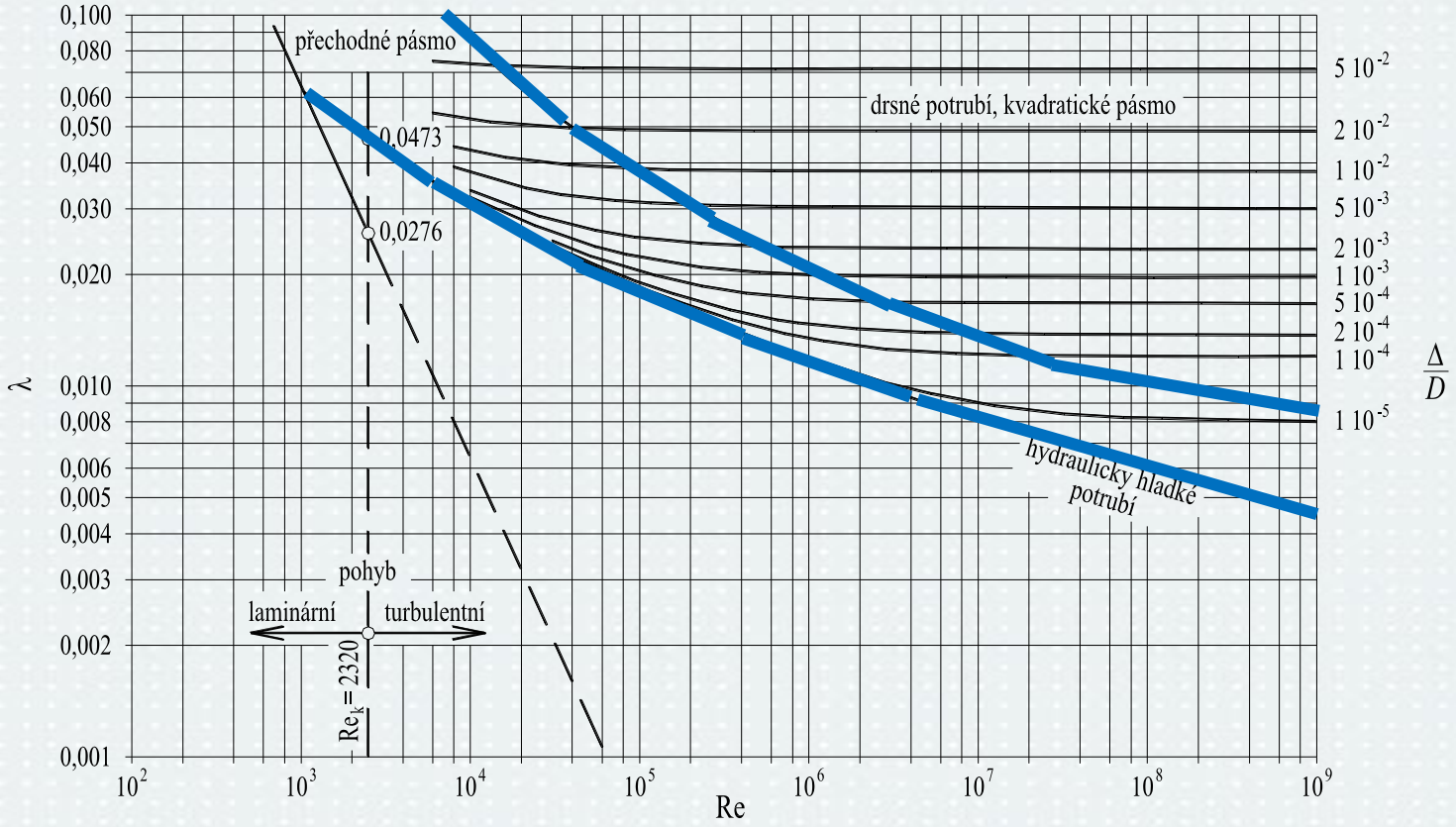
BY NC SA

Ztráty třením (součinitel tření λ)

3. Oblast – **turbulentní režim proudění**

   b) **přechodná oblast ztrát třením v turbulentním režimu**:

   λ má vliv Re i relativní drsnost $\frac{\Delta}{D}$ - $\lambda = f\,(\mathrm{Re}, \frac{\Delta}{D})$, kde D je průměr potrubí.



Moodyho diagram

cc BY NC SA

Ztráty třením (součinitel tření λ)

3. Oblast – **turbulentní režim proudění**

   c) **kvadratická oblast ztrát třením v turbulentním režimu**

   S plně vyvinutým turbulentním pohybem u hydraulicky drsných potrubí (**potrubí u kterých se neuplatní mezní vrstva**)

   V této oblasti odpadá závislost λ na Re a součinitel tření λ závisí jen na relativní drsnosti $\lambda = f\left(\frac{\Delta}{D}\right)$

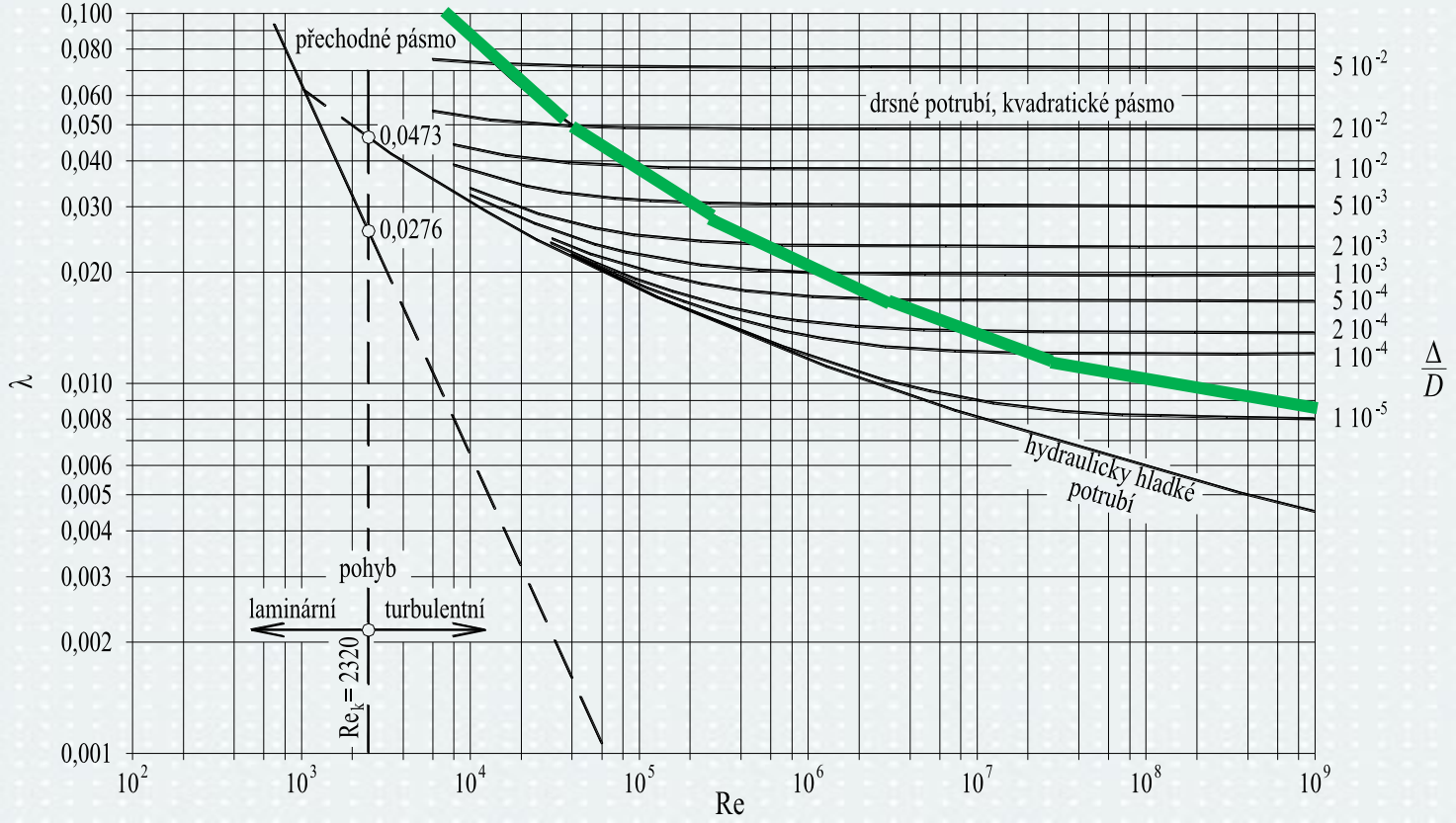
   Pro λ platí **Nikuradsův vztah**: $\lambda = \frac{0{,}25}{\left(\log \frac{3{,}7\ D}{\Delta}\right)^2}$

cc BY NC SA

Ztráty třením (součinitel tření λ)

3. Oblast – **turbulentní režim proudění**

   c) **kvadratická oblast ztrát třením v turbulentním režimu**



cc BY NC SA

Ztráty třením (součinitel tření λ)

V celé oblasti turbulentního proudění platí pro technická potrubí **Colebrook-Whiteova rovnice**:

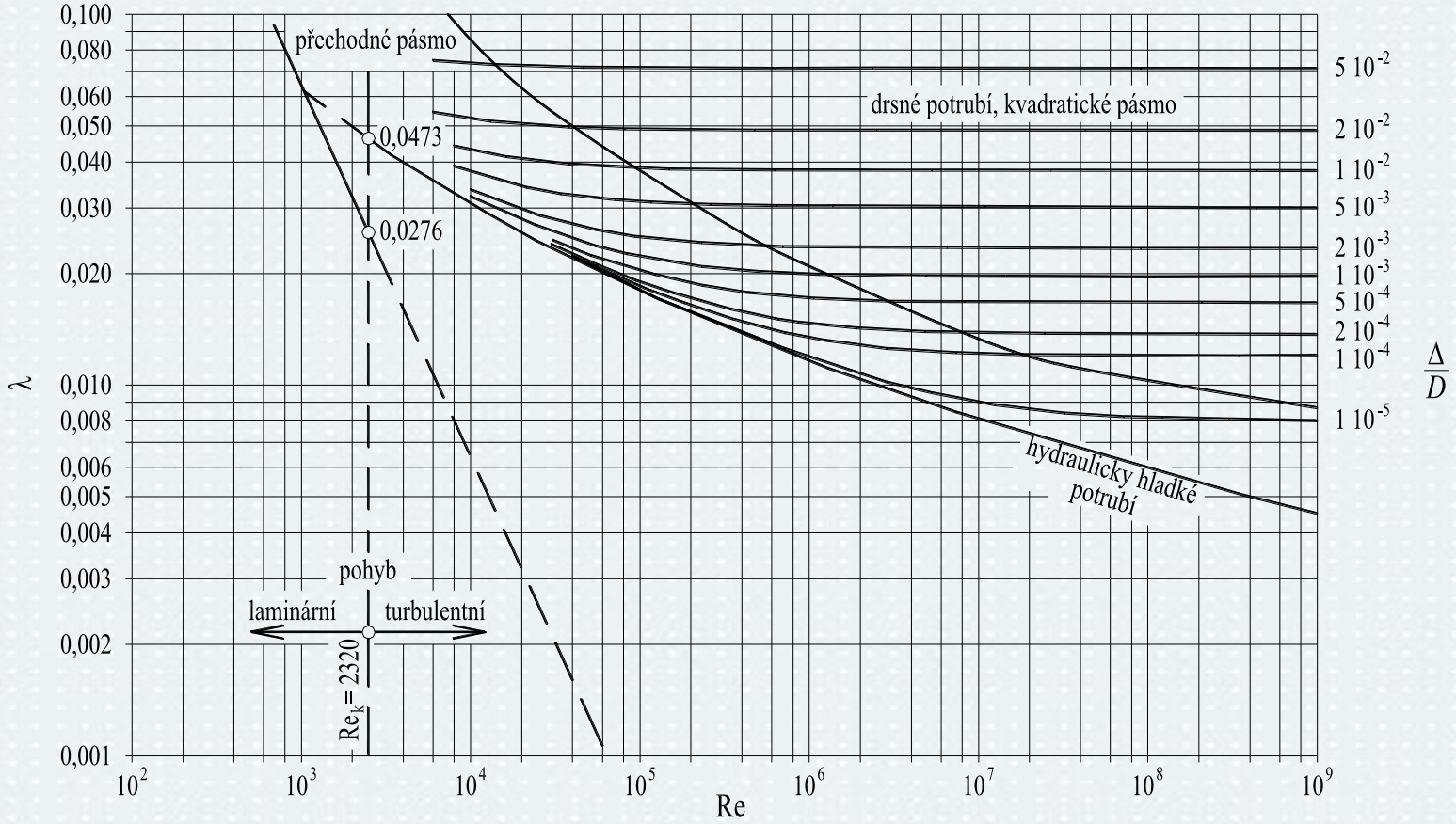
$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\log\left(\frac{2{,}51}{\mathrm{Re}\sqrt{\lambda}} + \frac{\Delta}{3{,}7\,D}\right)$$

Při velké hodnotě Re přejde tento výraz v **Nikuradseovu rovnici**, zatímco při malých hodnotách Re bude první člen v závorce podstatně převyšovat druhou část, takže se výsledná hodnota přiblíží **Prandtlovu-Kármánovu výrazu.**

CC BY NC SA

Ztráty třením

Moodyho diagram - grafické znázornění **Colebrook-Whiteovy rovnice**



cc BY NC SA

Ztráty třením

Rychlostní součinitel C – v korytech (Chézyho rovnice)

$$\frac{4}{C^2} = \frac{\lambda}{2g} \qquad \lambda = \frac{8g}{C^2}$$

Pavlovského $C = \frac{1}{n} R^y, \quad y = 2{,}5\sqrt{n} - 0{,}13 - 0{,}75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0{,}1)$

Manninga $C = \frac{1}{n} R^{1/6}$

Empirické výrazy pro výpočet součinitele tření λ:

- Dupuit
- Ševeljev

cc BY NC SA

Ztráty místní

Místní ztráty vznikají všude tam, kde dochází k deformaci rychlostního pole, a to:

změnou směru proudění;

- vytvářením úplavu a vírových oblastí při nedokonalém obtékání překážek v proudu kapaliny;
- rozšířením a zúžením proudu;
- dělením a spojováním proudu;
- jinými rušivými zásahy.

Jinými slovy tyto ztráty vzniknou například:

- při změně průřezu potrubí;
- při změně směru (oblouky, kolena);
- při sloučení nebo oddělení proudu (T-kusy, odbočky na potrubí);
- na armaturách (šoupátka, klapky, ventily), atd.

cc BY NC SA

Ztráty místní

Ztráty místní se vyjadřují podle **Weisbacha** ve tvaru násobku rychlostní výšky:

$$h_m = \xi \frac{v^2}{2g}$$

kde v je průřezová rychlost v místě singularity a ξ součinitel místní ztráty.

cc BY NC SA

Magisterský studijní program JADERNÁ ENERGETIKA vznikl za přispění

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU

NÁRODNÍ PLÁN OBNOVY

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

NPO_VUT_MSMT-16609_2022

CC BY NC SA

VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU

NÁRODNÍ PLÁN OBNOVY

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FAKULTA CHEMICKÁ

FAKULTA STAVEBNÍ

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Přednáška magisterského studijního programu JADERNÁ ENERGETIKA

Vodní hospodářství a vzduchotechnika jaderných elektráren

Proudění s volnou hladinou v otevřených korytech. Výtoky vody otvory a přepady vody přes přelivy. Spojení hladin zdrží. Proudění vody ve filtrech.

Fakulta stavební VUT

Jan Jandora

31. 3. 2023

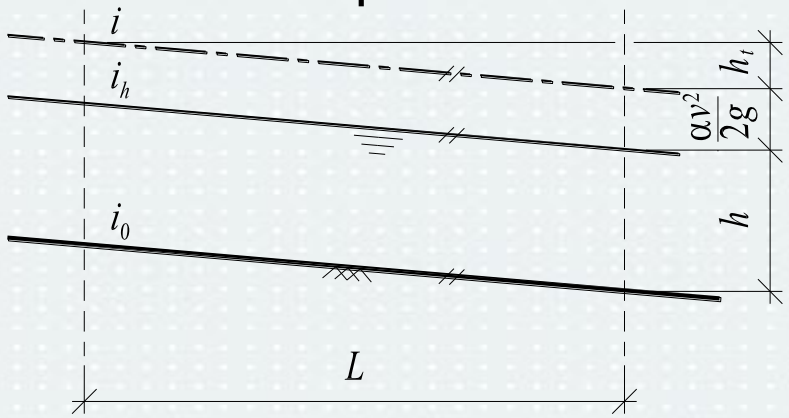
CC BY NC SA

Proudění s volnou hladinou
Rovnoměrné proudění vody v otevřených korytech

- rovnoměrný pohyb je zvláštním případem ustáleného pohybu:

$$Q(x,t) = Q = \text{konst.}$$

- v otevřených korytech, kde je volná hladina, může rovnoměrné proudění vzniknout pouze v případě koryta:
  - pravidelného (stejného) tvaru průtočného profilu ve všech profilech na zvoleném úseku (koryto nemění svůj tvar),
  - a konstantního sklonu dna i_0,

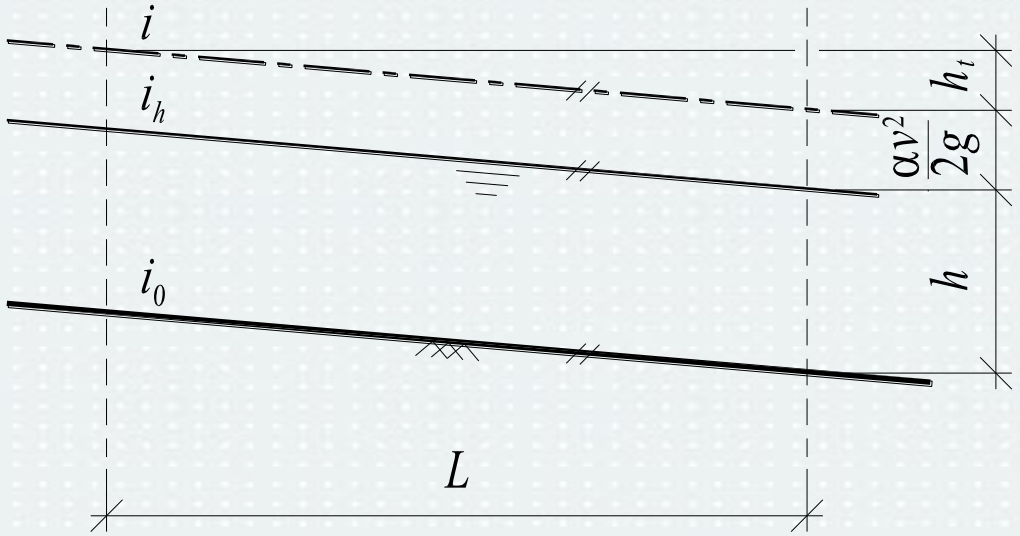


- pokud konstantní průtok Q protéká rovnoměrně konstantní průtočnou plochou A s konstantní průřezovou rychlostí v a konstantní hloubkou h, potom je podélný sklon dna koryta i_0 stejný se sklonem hladiny i_h a stejný se sklonem čáry energie i:

BY NC SA

Proudění s volnou hladinou
Rovnoměrné proudění vody v otevřených korytech

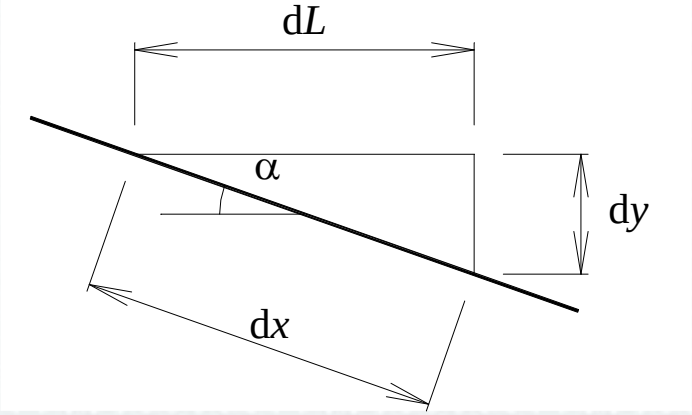
- rovnoměrné proudění se vyskytuje pouze v umělých kanálech s neproměnným korytem.
- u přirozených toků se každá změna šířky koryta, sklonu dna nebo každá překážka projeví na průběhu hladiny, a tedy i na změně průtočné plochy a sklonu čáry energie – jedná se o nerovnoměrné proudění.
- k tomu ještě přistupuje časová nestálost koryta – – vymílání dna i břehů a usazování materiálu, který je vodou přenášen.



CC BY NC SA

Proudění s volnou hladinou
Rovnoměrné proudění vody v otevřených korytech

- při řešení úloh proudění vody v otevřených korytech se předpokládá, že:
  - tlak ve vodě se mění podle pravidel hydrostatiky
  - sklony dna jsou tak malé, že lze:
    - nahradit délku proudu průmětem do vodorovné roviny



$$\sin\alpha = \frac{\mathrm{d}\,y}{\mathrm{d}\,x} \qquad \mathrm{tg}\,\alpha = \frac{\mathrm{d}\,y}{\mathrm{d}\,L}$$

$$\sin\alpha \approx \mathrm{tg}\,\alpha$$

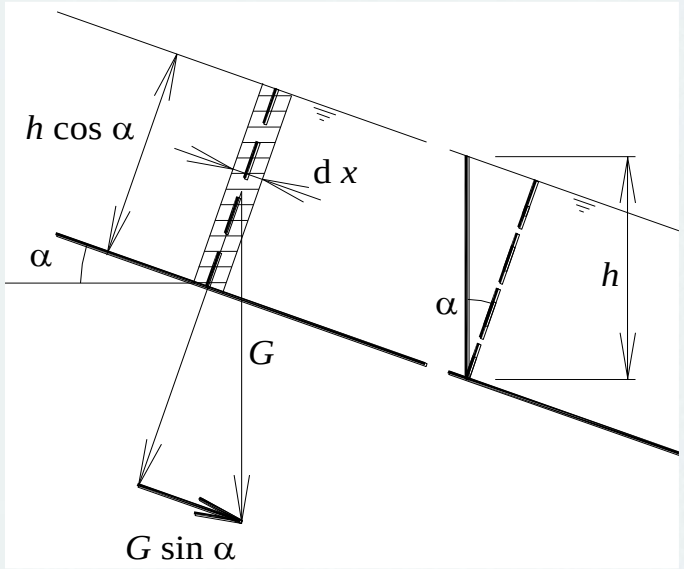
(pro malé úhly α)

pro sklon dna 1:10 (přibližně 6°) je sin 6°=0,105, tg 6°=0,105 (s přesností 3 cifer za desetinou čárkou).

BY NC SA

Proudění s volnou hladinou
Rovnoměrné proudění vody v otevřených korytech

- sklony dna jsou tak malé, že lze:
  - průřezy nahradit svislými řezy



$$\cos\alpha \approx 1$$

(pro malé úhly α)

pro sklon dna 1:10 (přibližně 6°) je
cos 6°=0,995
(s přesností 3 cifer za desetinou čárkou).

BY NC SA

Proudění s volnou hladinou
Rovnoměrné proudění vody v otevřených korytech

- Výpočet průřezové rychlosti v pro rovnoměrné ustálené proudění se stanoví z Chézyho rovnice.

$$v = C\sqrt{R\,i} \qquad Q = A\,v = A\,C\sqrt{R\,i}$$

- C je rychlostní součinitel, R hydraulický poloměr, i sklon čáry energie, A průtočná plocha a O omočený obvod, který je v průtočném průřezu délkou styku kapaliny s pevnými stěnami (vedením proudu bez volné hladiny).
- Je třeba si uvědomit, že tření působí hlavně na stěnách koryta, kdežto tření vody o vzduch v hladině je nepatrné. Proto se na rozdíl od tlakového proudění do omočeného obvodu O nepočítá volná hladina.
- Proti tlakovým potrubím, u nichž je průtočná plocha dána a pro všechny průtoky neproměnná, je v otevřených korytech poloha hladiny a tím i průtočná plocha závislá na průtoku.

BY NC SA

Proudění s volnou hladinou
Rovnoměrné proudění vody v otevřených korytech

- rychlostní součinitel C není konstantní.
- závisí hlavně na tvaru průtočného průřezu, drsnosti stěn a výjimečně i na sklonu.
- výzkum předložil velký počet vzorců pro určení C, které jsou většinou empirické a získané z vyhodnocení měření v přírodě a na modelech.
- v našich podmínkách nejčastěji používají výpočet C vztahy podle:
    - Pavlovského
    - Manninga
    - a Stricklera

cc BY NC SA

Proudění s volnou hladinou
Rovnoměrné proudění vody v otevřených korytech

- zpracováním výsledků velkého množství vlastních i cizích měření rychlostí na řekách, náhonech, potrubí atd. dospěl **Pavlovskij** ke vztahu:

$$C = \frac{1}{n} R^{y} \qquad y = 2{,}5\sqrt{n} - 0{,}13 - 0{,}75\sqrt{R}\,(\sqrt{n} - 0{,}1)$$

kde n je drsnostní součinitel a R hydraulický poloměr,

- exponent y ve vzorci Pavlovského v nejčastějších případech praxe nekolísá v příliš širokých mezích. Vezme-li se střední hodnota y = 1/6, obdrží se vzorec **Manningův**:

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}$$

- **Strickler** doplnil Manningův vzorec předpokladem, že stupeň drsnosti musí být závislý na zrnitosti materiálu koryta. Proto obměnil Chézyho rovnici na tvar:

$$v = k_s \; R^{2/3} \; i^{1/2} \qquad k_s = \frac{21{,}1}{\sqrt[6]{d_s}}$$

cc BY NC SA

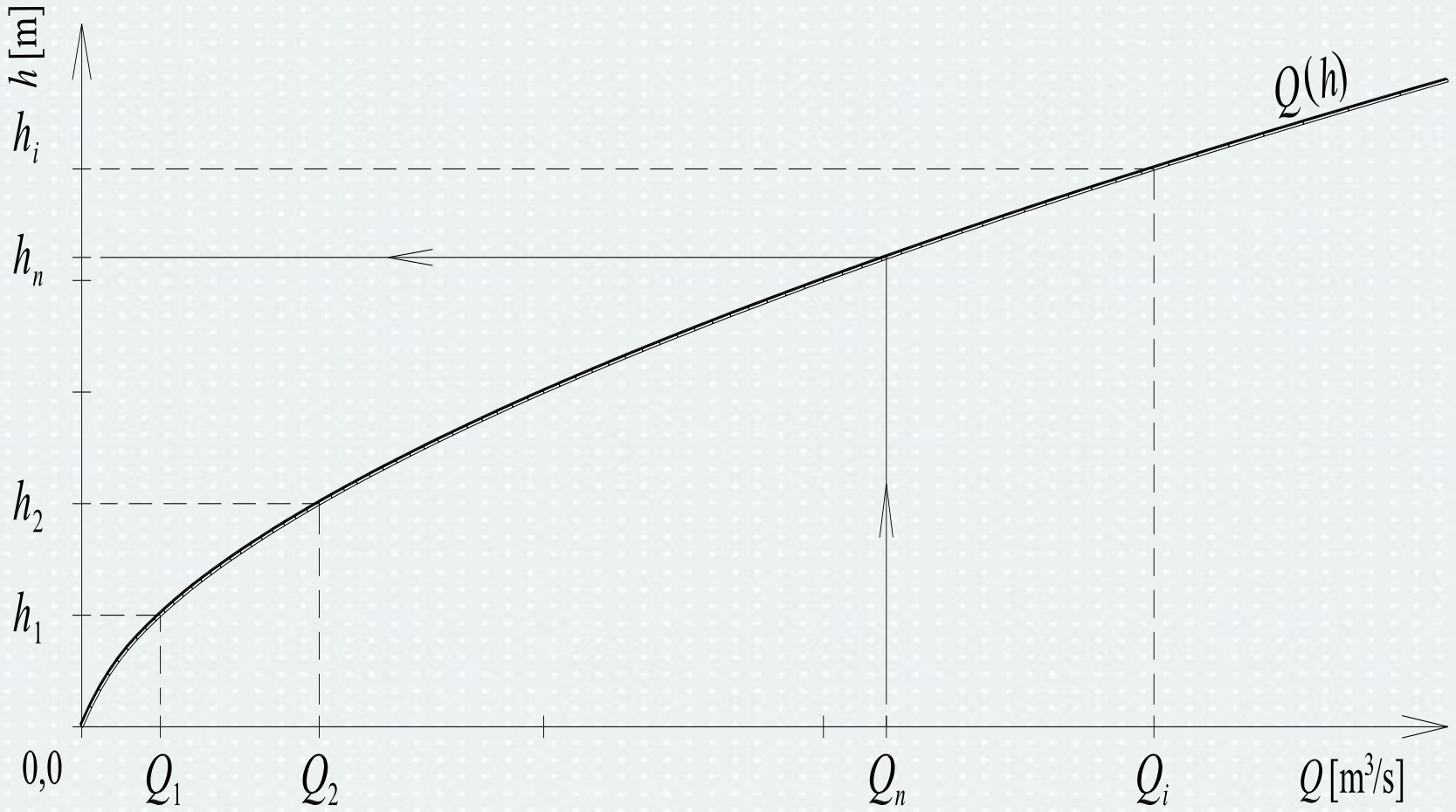
Proudění s volnou hladinou
Rovnoměrné proudění vody v otevřených korytech

Popis koryta	*n*
výjimečně hladké stěny, smaltované povrchy	0,009
čistě ohoblovaná prkna, dobrá omítka z čistého cementu	0,010
dobrá cementová omítka, hoblovaná prkna, litinové a ocelové trouby dobře spojované	0,011
nehoblované prkna, vodovodní trouby v běžných podmínkách - bez inkrustací, čisté stokové trouby	0,012
kvádrové zdivo, dobře provedené cihelné zdivo, stokové trouby v běžných podmínkách, trochu zanesené trouby vodovodní, hladký beton	0,013
znečištěné trouby vodovodní i stokové, obetonování kanálů běžného provedení	0,014
obyčejné cihelné zdivo, obložení z přitesaného kamene	0,015
dobré lomové zdivo, staré cihelné zdivo, poměrně hrubé obetonování, výjimečně hladká skála	0,017
obyčejné lomové zdivo, kamenná dlažba, kanály poměrně hladce vyrubané ve skále, kanály v ulehlém štěrku nebo v ulehlé zemině ve velmi dobrém stavu	0,020
kanály v hutné zemině nebo v ulehlém štěrku, velké zemní kanály velmi dobře udržované	0,023
dobré zdivo na sucho, velké zemní kanály při průměrné údržbě, malé zemní kanály při dobré údržbě, řeky v nejlepším stavu (volné přímé koryto bez překážek proudu, bez nánosů a výmolů	0,025
velké zemní kanály s podprůměrnou údržbou, malé zemní kanály průměrně udržované	0,028
zemní kanály v poměrně špatném stavu (místy zarostlé koryto, nánosy na dně), řeky v dobrých podmínkách	0,030
kanály ve špatném stavu (s nepravidelným průřezem, místy zarostlé nebo zanesené kameny), řeky v poměrně dobrých podmínkách, ale proud je ovlivněn částečně kamením nebo rostlinami	0,035
kanály ve výjimečně špatném stavu (výmoly i nánosy, koryto zarostlé kořeny, zanesené hrubými kameny), řeky s horšími podmínkami průtoku (v korytě je větší množství kamenů a rostlin nebo meandruje a má malý počet mělčin a výmolů)	0,040
horské bystřiny	0,080

cc BY NC SA

Proudění s volnou hladinou

Rovnoměrné proudění vody v otevřených korytech

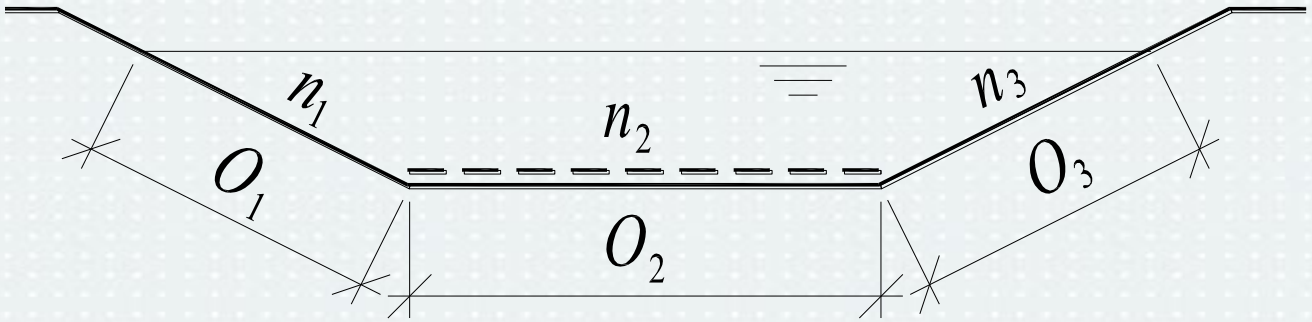


BY NC SA

Proudění s volnou hladinou
Rovnoměrné proudění vody v otevřených korytech

- Je-li omočený obvod koryta složen z několika částí s různými drsnostmi lze výsledný drsnostní součinitel n určit jako vážený průměr.

$$n = \frac{n_1 O_1 + n_2 O_2 + n_3 O_3}{O_1 + O_2 + O_3} = \frac{\sum_{i=1}^{k} n_i O_i}{\sum_{i=1}^{k} O_i} = \frac{\sum_{i=1}^{k} n_i O_i}{O}$$



BY NC SA

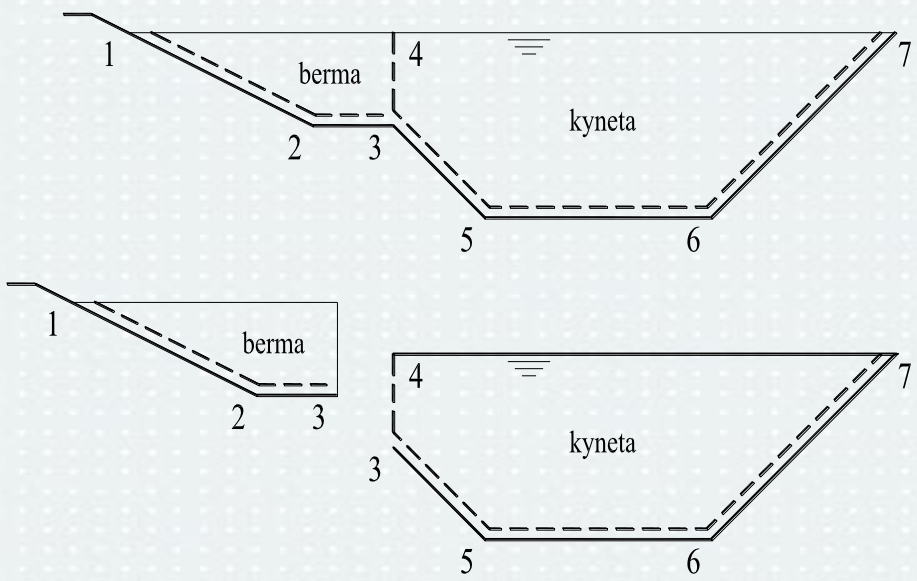
Proudění s volnou hladinou
Rovnoměrné proudění vody v otevřených korytech

- V upravených i v přirozených říčních tratích se často vyskytují profily složené z částí hlubších a mělčích.
- V těchto vzájemně velmi odlišných částech protéká voda různými rychlostmi, a proto při výpočtu se dělí profil na části - na hlubší kynetu a mělčí bermu.
- Průtoky v těchto částech se počítají samostatně, čímž se dostávají výsledky, které se lépe shodují se skutečností.

$$Q = Q_{\text{kyneta}} + Q_{\text{berma}}$$

$$O_{kyneta} = \overline{4\,3\,5\,6\,7}$$

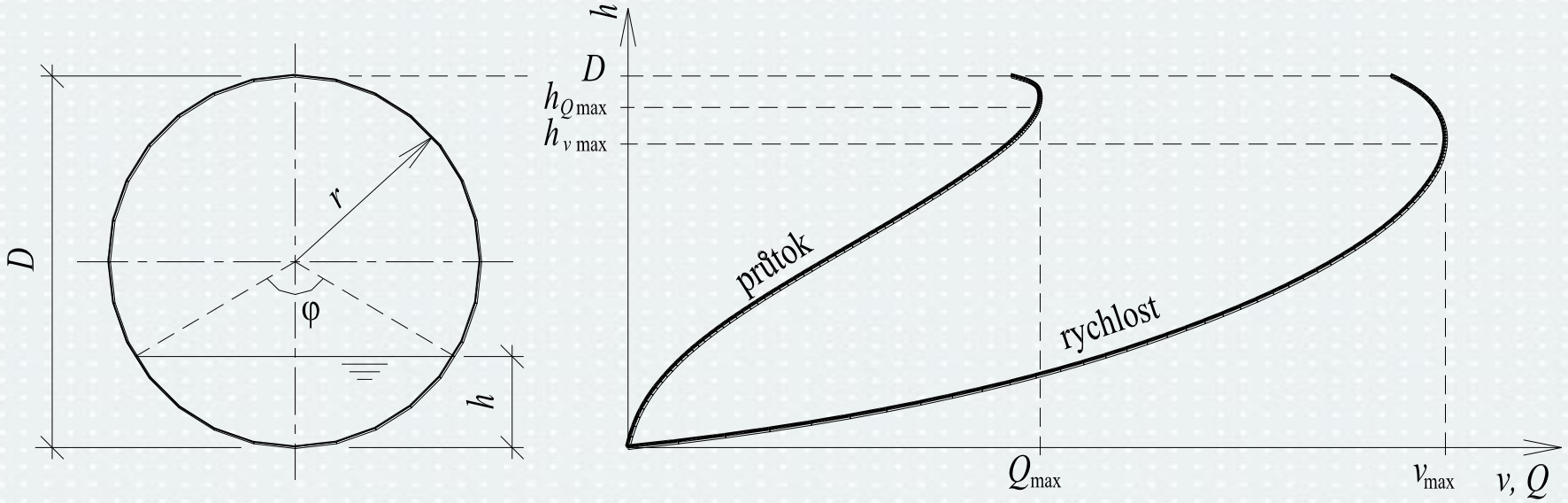
$$O_{berma} = \overline{1\,2\,3}$$



cc BY NC SA

Proudění s volnou hladinou
Rovnoměrné proudění vody v otevřených korytech

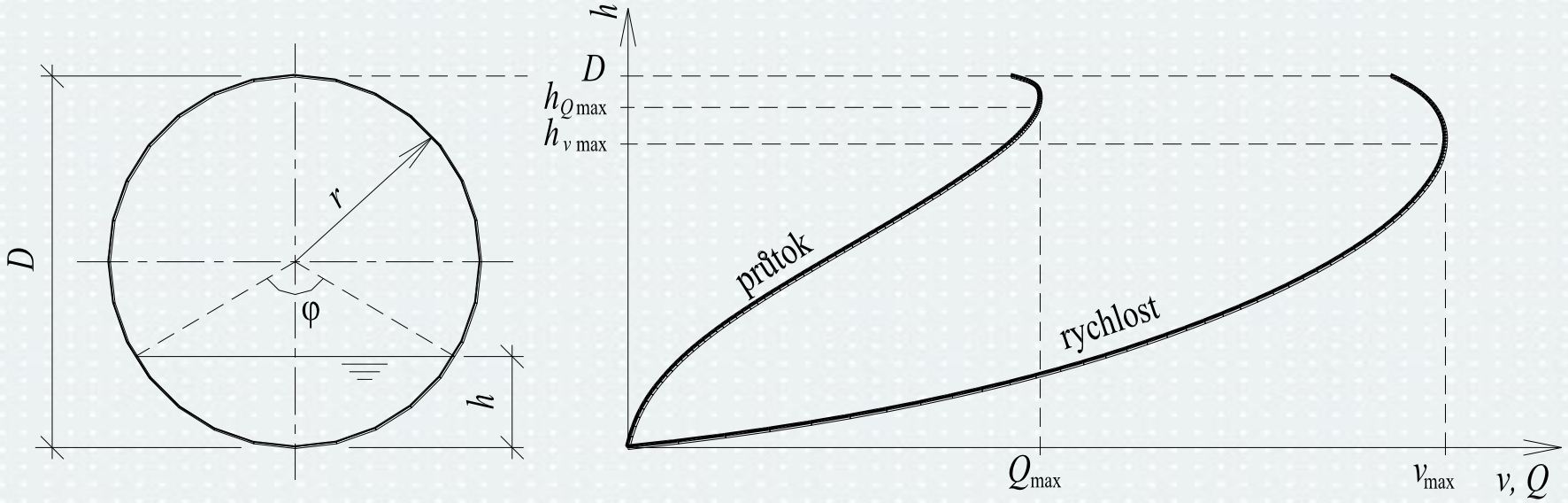
- Ve štolách, v propustcích a ve stokách protéká voda někdy s volnou hladinou a hloubkou h, která je menší než výška průřezu D.
- Toto proudění se výrazně liší od tlakového proudění.
- Nejčastěji jde o průřezy kruhové, vejčité, parabolické, podkovovité nebo tlamovité.



cc BY NC SA

Proudění s volnou hladinou
Rovnoměrné proudění vody v otevřených korytech

Maximální průřezová rychlost a maximální průtok nastává při hloubce $h < D$, přičemž hloubka při maximální průřezové rychlosti v_{max} je menší než hloubka při maximálním průtoku Q_{max}.



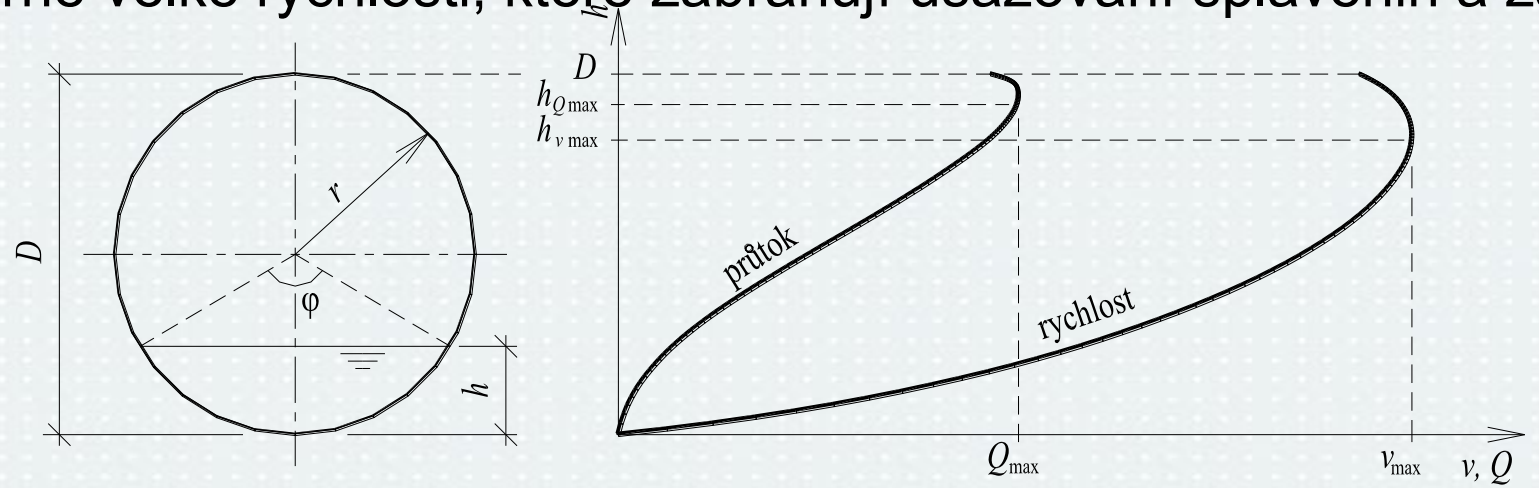
BY NC SA

Proudění s volnou hladinou

Rovnoměrné proudění vody v otevřených korytech

- maximální průtok v kruhovém potrubí je při hladině $h = 0{,}95\ D$
- maximální rychlost je při $h = 0{,}813\ D$
- dále lze odvodit, že:
  - při $h = 0{,}5\ D$ je rychlost stejná jako při průtoku celým průřezem;
  - při $Q = 0{,}33\ Q_D$ je rychlost $v = 0{,}9\ v_D$.

Tyto okolnosti jsou příznivé, poněvadž i při poměrně malém průtoku jsou ve kruhovém průřezu poměrně velké rychlosti, které zabraňují usazování splavenin a zanášení profilu.



BY NC SA

Výtok kapaliny otvorem z nádob

Lze rozlišit **výtok z nádoby**:

- ustálený, kdy vytékající množství kapaliny se neustále doplňuje (výtok Q je roven přítoku Q_p), hladina zůstává ve stejné poloze, tlaky a rychlosti jsou nezávislé na čase,
- neustálený, při kterém se hydraulické charakteristiky mění s časem. Přítok Q_p není roven výtoku Q a hladina v nádrži stoupá nebo klesá. **Dochází k plnění nebo prázdnění nádrže**.

BY NC SA

Výtok kapaliny otvorem z nádob

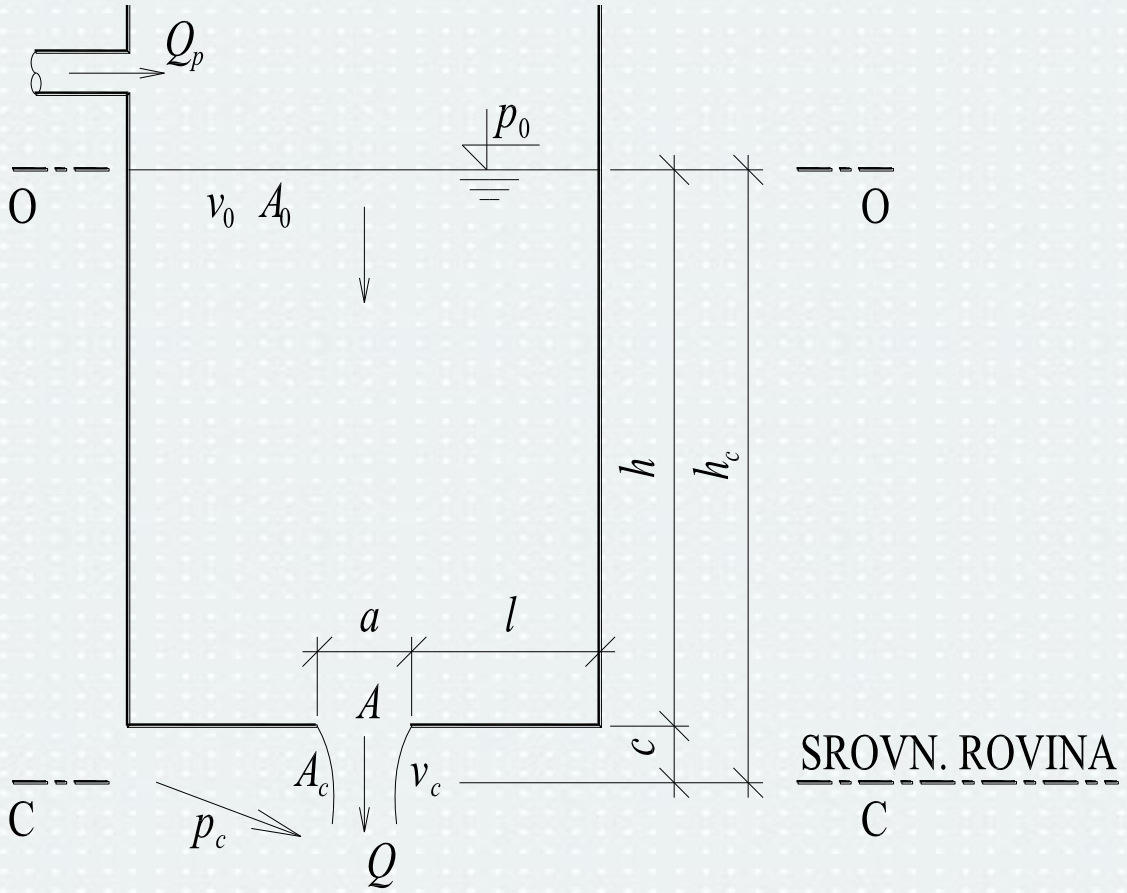
Z **hydraulického hlediska** lze rozlišit výtok:

- *volný (nezatopený)* – kapalina vytéká do vzduchu a výtokové charakteristiky nejsou ovlivňovány kapalinou za otvorem,
- *zatopený* – kapalina vytéká pod hladinu kapaliny za otvorem,
- *částečně zatopený* – kapalina vytéká současně pod hladinu a do vzduchu tak, že část výtokového otvoru je pod hladinou. Výtokové charakteristiky částečně ovlivňuje kapalina za otvorem.

cc BY NC SA

Ustálený výtok kapaliny otvorem z nádob

Nádoba o vodorovné průřezové ploše A_0 má ve vodorovném dně výtokový otvor plochy A, kterým vytéká kapalina průřezovou rychlostí v. Na hladinu nechť působí tlak p_0 a na výtokový paprsek tlak p_c.



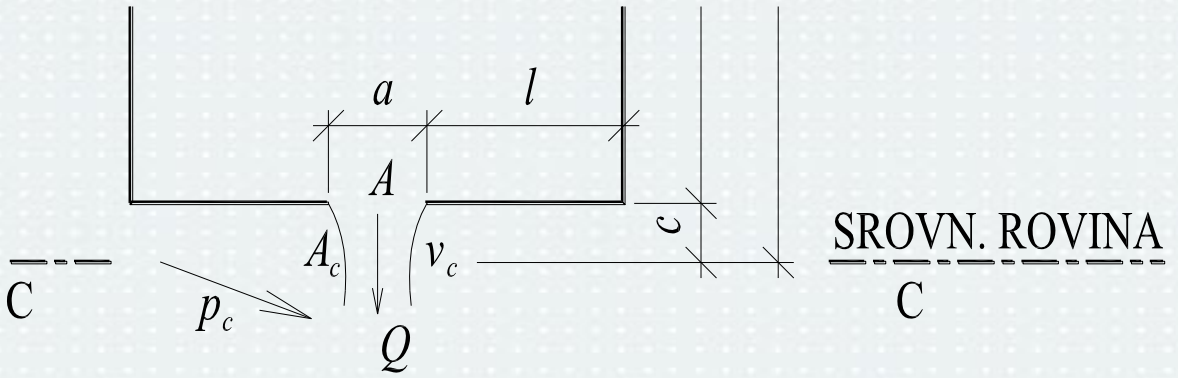
BY NC SA

Ustálený výtok kapaliny otvorem z nádob

K výtokovému otvoru se dostávají jednotlivé částice ze všech stran, takže postupují v křivočarých trajektoriích.

Za otvorem se vytvoří výtokový paprsek, a protože zakřivené dráhy částic zachovávají i za otvorem plynulý tvar, bude průřez výtokového paprsku menší než průřez otvoru.

Nastává zúžení neboli kontrakce paprsku, který je charakterizován součinitelem zúžení ε ($\varepsilon < 1$) - poměr zúženého průtočného průřezu A_c k ploše výtokového otvoru A.



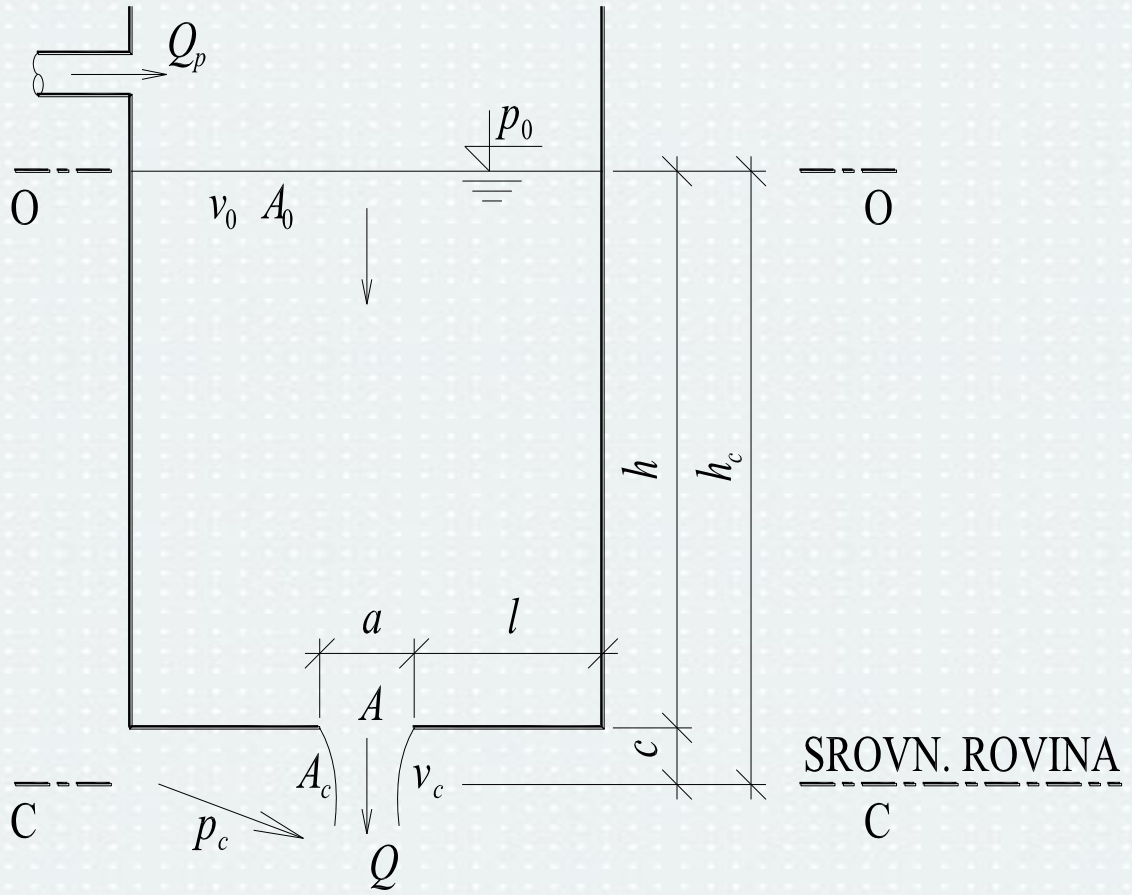
cc BY NC SA

Ustálený výtok kapaliny otvorem z nádob

Rychlost při výtoku malým otvorem ve dně nádoby se určí z **Bernoulliho rovnice** pro hladinu a pro zúžený průřez.

Srovnávací rovina se umístí do profilu zúženého průřezu:

$$h_c + \frac{p_0}{\rho g} + \frac{\alpha_0 v_0^2}{2g} = 0 + \frac{p_c}{\rho g} + \frac{\alpha_c v_c^2}{2g} + h_z$$



BY NC SA

Ustálený výtok kapaliny otvorem z nádob

Ztráty h_z se vyjádří jako část rychlostní výšky:

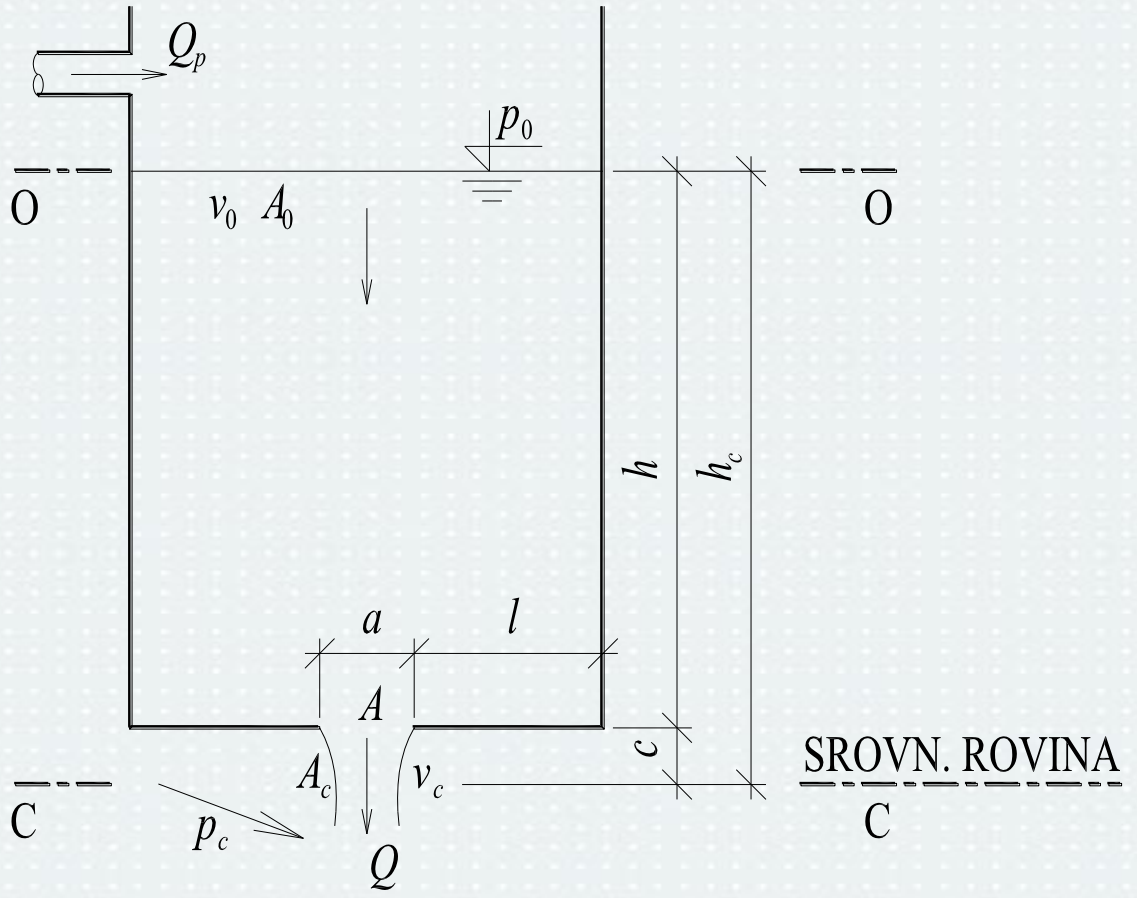
$$h_z = \xi \frac{v_c^2}{2g}$$

kde ξ je součinitel ztrát zahrnujících všechny ztráty energie při proudění od hladiny 0-0 k zúženému profilu C-C. Dosazením se obdrží:

$$h_c + \frac{p_0}{\rho g} + \frac{\alpha_0 v_0^2}{2g} = 0 + \frac{p_c}{\rho g} + \frac{\alpha_c v_c^2}{2g} + h_z$$

$$\frac{v_c^2}{2g}(\alpha_c + \xi) = h_c + \frac{p_0 - p_c}{\rho g} + \frac{\alpha_0 v_0^2}{2g}$$

$$v_c = \frac{1}{\sqrt{\alpha_c + \xi}} \sqrt{2g\left(h_c + \frac{p_0 - p_c}{\rho g} + \frac{\alpha_0 v_0^2}{2g}\right)}$$



BY NC SA

Ustálený výtok kapaliny otvorem z nádob

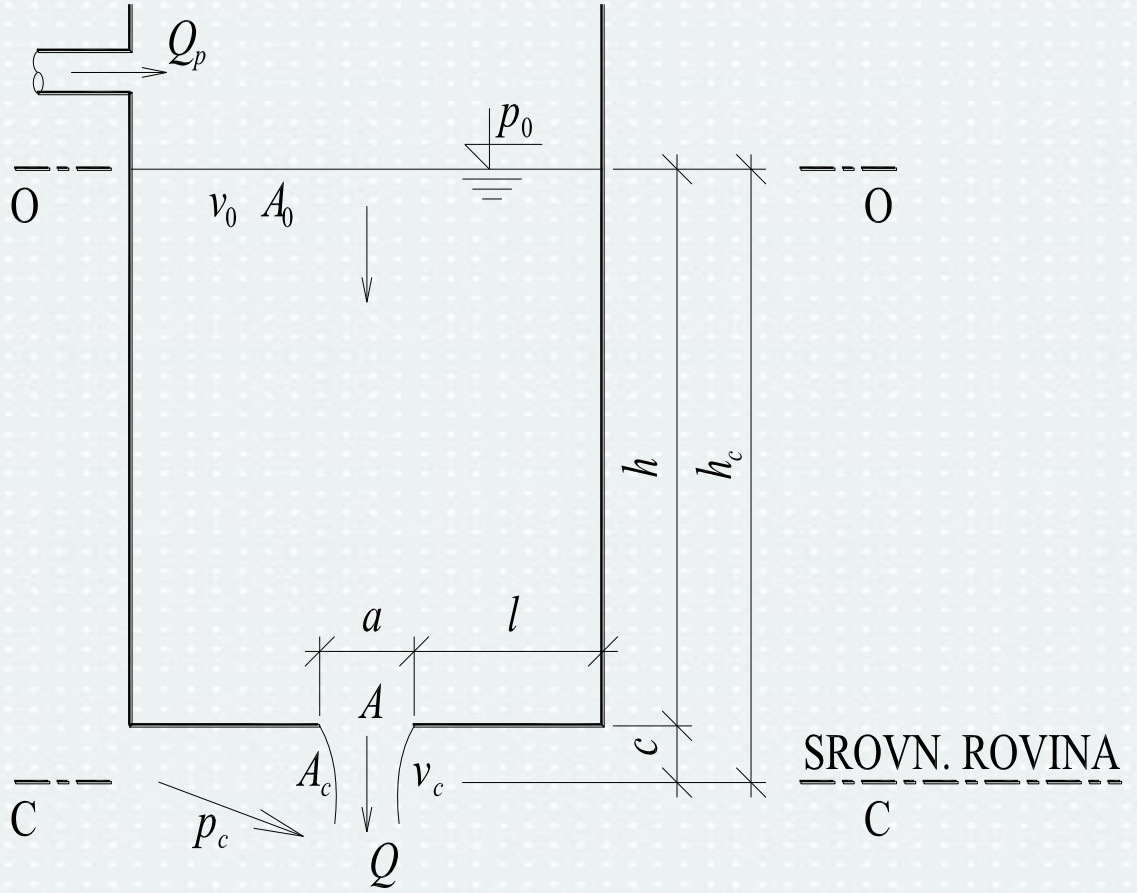
Zlomek před odmocninou se označí jako součinitel výtokové rychlosti:

$$v_c = \frac{1}{\sqrt{\alpha_c + \xi}} \sqrt{2g\left(h_c + \frac{p_0 - p_c}{\rho g} + \frac{\alpha_0 v_0^2}{2g}\right)}$$

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha_c + \xi}}$$

který udává poměr skutečné a teoretické průřezové výtokové rychlosti. Takže:

$$v_c = \varphi \sqrt{2g\left(h_c + \frac{p_0 - p_c}{\rho g} + \frac{\alpha_0 v_0^2}{2g}\right)}$$



BY NC SA

Ustálený výtok kapaliny otvorem z nádob

Dále se vyjádří zúžený průřez:

$$A_c = \varepsilon\, A$$

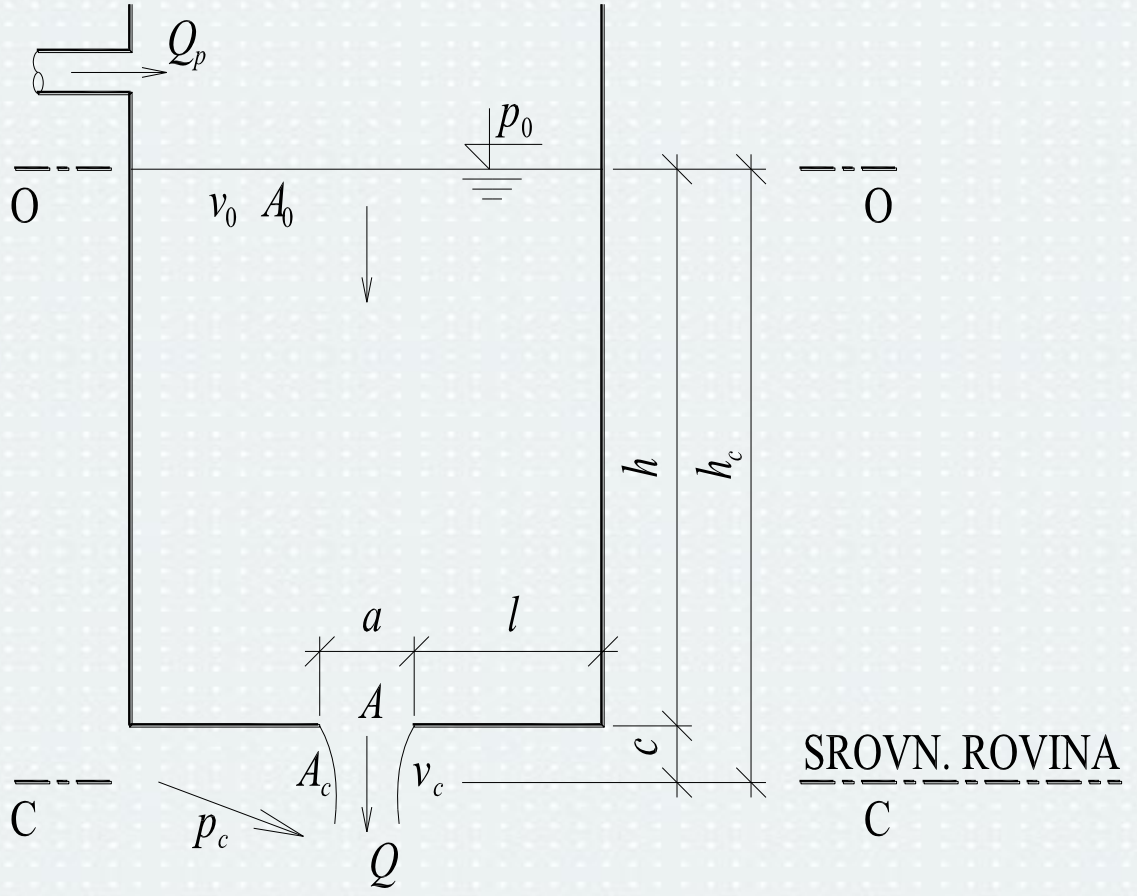
kde ε je součinitel zúžení (kontrakce), $\varepsilon < 1$. Pak z rovnice spojitosti plyne:

$$v_0\, A_0 = v_c\, A_c \qquad v_0 = v_c\, \frac{A_c}{A_0} = v_c\, \frac{\varepsilon\, A}{A_0}$$

dosazením se po úpravě obdrží:

$$v_c^2 - \alpha_0\, v_c^2\, \varepsilon^2\, \varphi^2\, \frac{A^2}{A_0^2} = \varphi^2\, 2\, g \left(h_c + \frac{p_0 - p_c}{\rho\, g} \right)$$

$$v_c = \varphi \sqrt{\frac{2\, g \left(h_c + \frac{p_0 - p_c}{\rho\, g} \right)}{1 - \alpha_0\, \varepsilon^2\, \varphi^2\, \frac{A^2}{A_0^2}}}$$



BY NC SA

Ustálený výtok kapaliny otvorem z nádob

Výtok otvorem se dostane z definice průtoku ve zúženém průřezu, odtud:

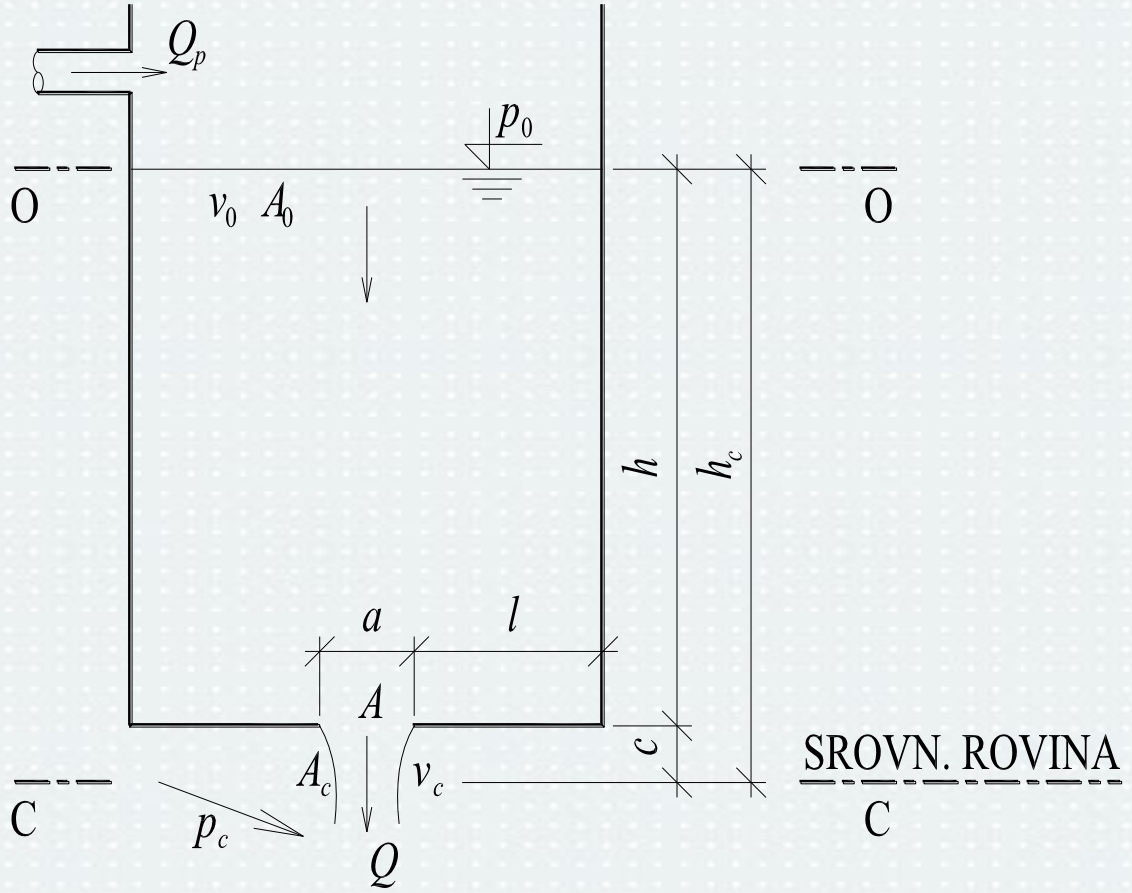
$$Q = A_c v_c = \varepsilon A v_c$$

$$Q = \mu A \sqrt{\frac{2 g \left(h_c + \frac{p_0 - p_c}{\rho g} \right)}{1 - \alpha_0 \varepsilon^2 \varphi^2 \frac{A^2}{A_0^2}}}$$

kde μ je součinitel výtoku (podíl skutečného průtoku k průtoku teoretickému):

$$\mu = \varepsilon \varphi$$

kde ε je součinitel zúžení (kontrakce),
φ součinitel výtokové rychlosti



BY NC SA

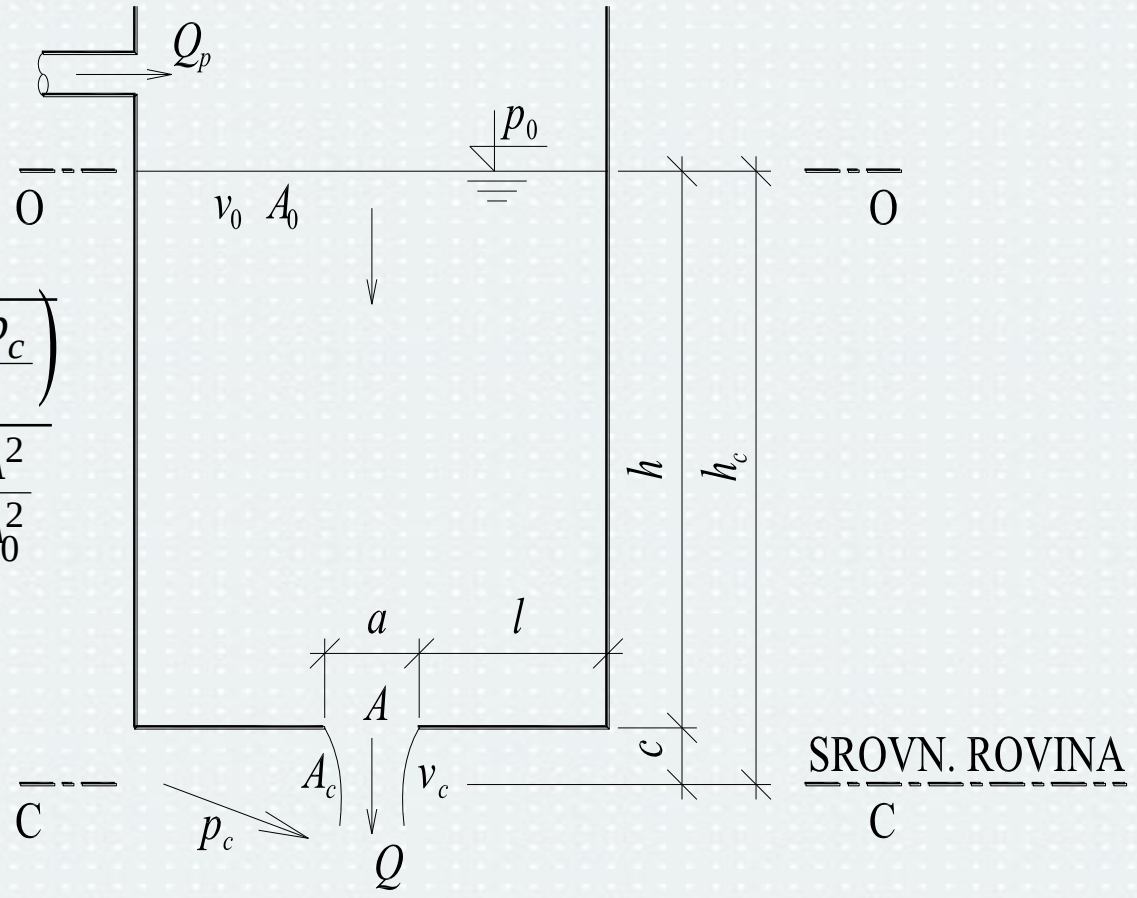
Ustálený výtok kapaliny otvorem z nádob

Výše uvedené případy lze v mnoha případech zjednodušit. Zúžený průřez je poměrně blízko pod otvorem, např. u kruhového otvoru asi $0{,}5\,D$, proto se může u malých otvorů brát přibližně $h_c = h$ (pro $h > 10\,a$):

$$v_c = \varphi \sqrt{\frac{2\,g\left(h + \frac{p_0 - p_c}{\rho\,g}\right)}{1 - \alpha_0\,\varepsilon^2\,\varphi^2\,\frac{A^2}{A_0^2}}} \qquad Q = \mu\,A \sqrt{\frac{2\,g\left(h + \frac{p_0 - p_c}{\rho\,g}\right)}{1 - \alpha_0\,\varepsilon^2\,\varphi^2\,\frac{A^2}{A_0^2}}}$$

U malých otvorů bývá také přítoková rychlost nepatrná (je-li $A_0 \gg A$):

$$Q = \mu\,A \sqrt{2\,g\left(h + \frac{p_0 - p_c}{\rho\,g}\right)}$$



BY NC SA

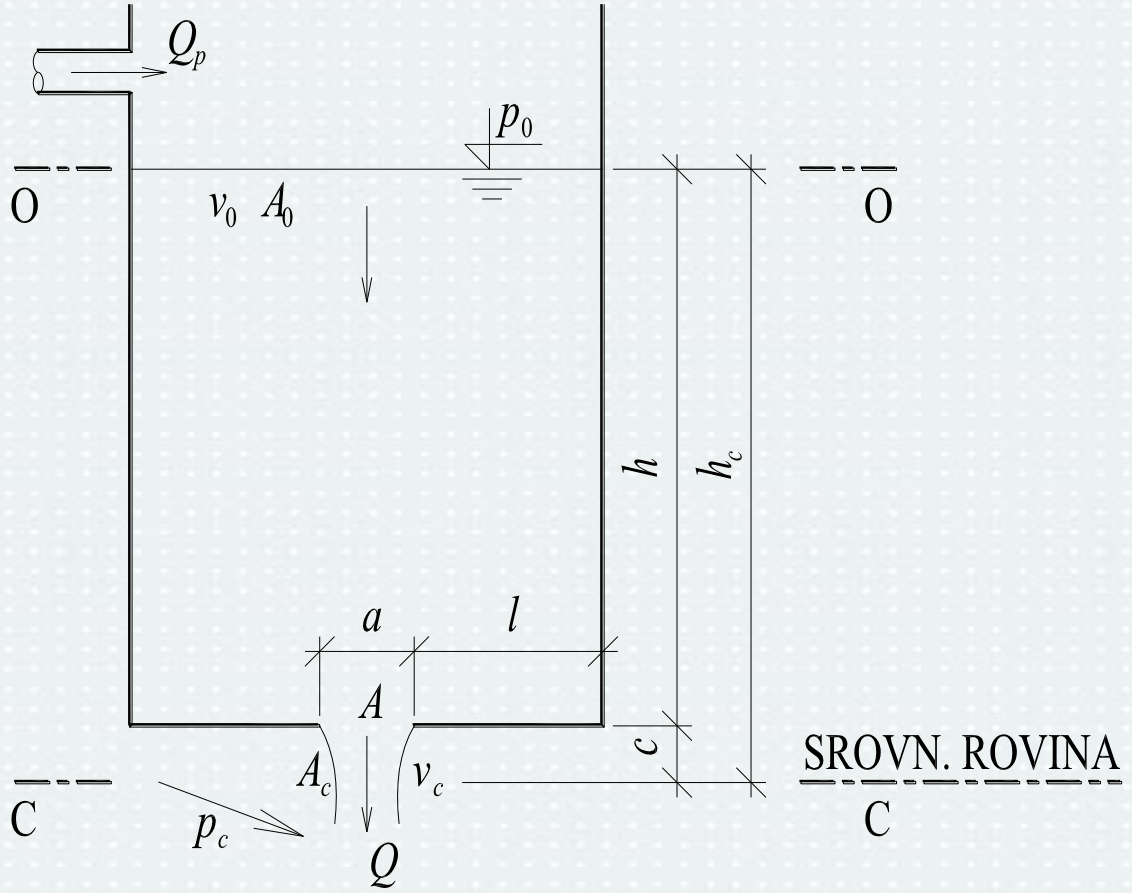
Ustálený výtok kapaliny otvorem z nádob

Velmi často působí na hladinu i na výtokový otvor stejný tlak, a proto $p_0 - p_c = 0$:

$$v_c = \varphi \sqrt{2 g h}$$

$$Q = \mu A \sqrt{2 g h}$$

Tyto výrazy v podstatě odvodil Toricelli (1608-1647)



BY NC SA

Ustálený výtok kapaliny otvorem z nádob

Součinitelé výtoku, zúžení, výtokové rychlosti a ztrát:

- na velikost zúžení má vliv vzdálenost otvoru od stěn nádoby a tvarování hrany otvoru,
- je-li otvor ostrohranný je zúžení veliké, jsou-li hrany zaobleny, pak se zúžení podstatně zmenší,
- stěny ovlivňují zúžení jen v případě, jsou-li blízko otvoru. Při vzdálenosti větší než je trojnásobek příslušné délky hrany otvoru (jedná-li se o kruh jde o průměr D), stěny na zúžení nepůsobí,
- nepůsobí-li stěny na zúžení, hovoří se o dokonalém zúžení, v opačném případě se jedná o zúžení nedokonalé,
- při nedokonalém zúžení je průměr paprsku větší než při dokonalém.

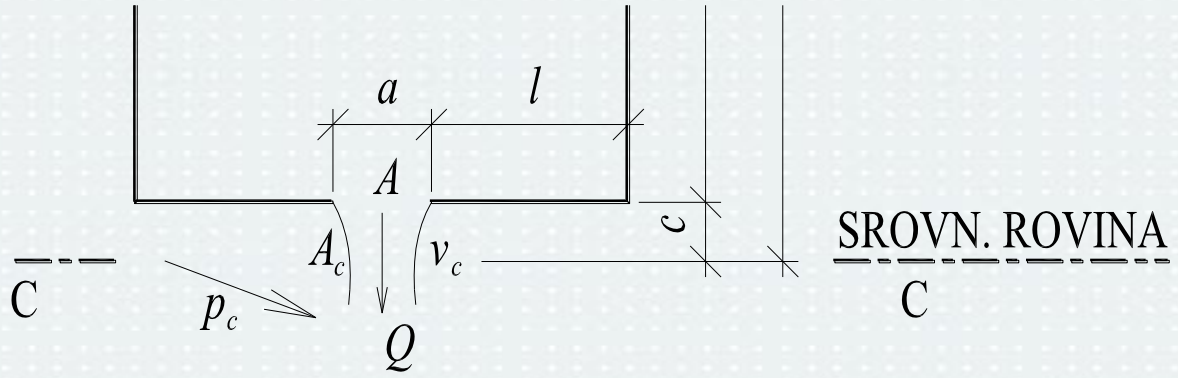
cc BY NC SA

Ustálený výtok kapaliny otvorem z nádob

Součinitelé výtoku, zúžení, výtokové rychlosti a ztrát:

- nedokonalé zúžení ($l < 3\,a$):

$$\mu_n = \mu\left[1 + 0{,}641\frac{A^2}{A_s^2}\right]$$



kde A je plošný obsah výtokového otvoru a A_s plošný obsah stěny, ve které je otvor.

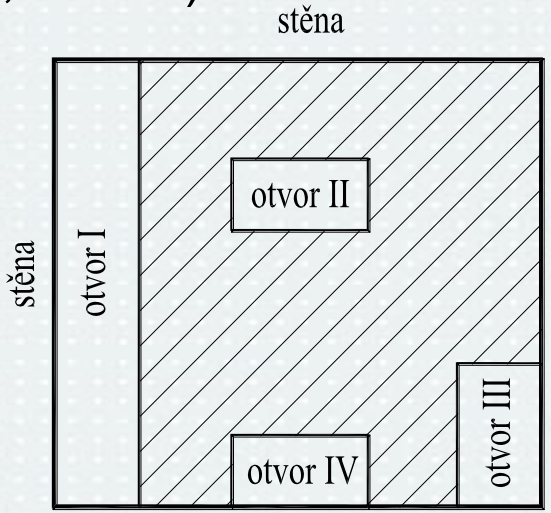
cc BY NC SA

Ustálený výtok kapaliny otvorem z nádob

Součinitelé výtoku, zúžení, výtokové rychlosti a ztrát:

- nastává-li zúžení ze všech stran, říká se, že **zúžení je úplné**,

- splývají-li hrany otvoru na jedné nebo více stranách se stěnami, pak na těchto hranách otvoru odpadá zúžení. Tento případ se nazývá **zúžení částečné**. Při částečném zúžení (otvory I, III a IV) se udává součinitel výtoku $\mu_č$:



$$\mu_č = \mu\left(1 + \chi \frac{s}{O}\right)$$

kde s je délka hran, podle kterých není kontrakce, O celkový obvod výtokového otvoru a $c = 0{,}13$ pro kruhové otvory a $c = 0{,}15$ pro obdélníky.

cc BY NC SA

Ustálený výtok kapaliny otvorem z nádob

Součinitelé výtoku, zúžení, výtokové rychlosti a ztrát:

- součinitel výtoku se pohybuje v dosti širokých mezích. Pouze u malých ostrohranných otvorů a při úplném dokonalém zúžení se může brát jako střední hodnotu:

  $\mu \approx 0{,}60$ až $0{,}62$.

  hodnoty pro větší otvory jsou uvedeny v tabulce (další snímek).

cc BY NC SA

Ustálený výtok kapaliny otvorem z nádob

Součinitelé výtoku, zúžení, výtokové rychlosti a ztrát:

	Tvar otvoru	μ
1.	Malé otvory s dokonalým zúžením ($\varphi = 0{,}97$, $\varepsilon = 0{,}64$)	0,62
2.	Malé otvory s nedokonalým všestranným zúžením (plocha otvoru je menší než 1/10 plochy stěny v níž je otvor umístěn): - malé kruhové otvory těsně u stěn - malé čtvercové otvory se zúžením ze 3 stran	 0,63 0,64
3.	Malé obdélníkové otvory s poměrem stran 1:2 s částečným zúžením: - zúžení z jedné, a to delší strany - zúžení z jedné, a to kratší strany	 0,64 0,65
4.	Otvory středních rozměrů s všestranným zúžením	0,65
5.	Velké otvory s všestranným zúžením	0,70
6.	Otvory u dna (výtok pod stavidlem) s podstatným bočním zúžením	0,70
7.	Otvory u dna s průměrným bočním zúžením	0,75
8.	Otvory u dna s plynulým usměrněním proudu	0,80

cc BY NC SA

Ustálený výtok kapaliny otvorem z nádob

Součinitelé výtoku, zúžení, výtokové rychlosti a ztrát:

- hodnota součinitele výtoku se změní, připojí-li se k otvoru nátrubek
  - **krátký vnější** nátrubek průtočnost **zvýší**,
  - **vnitřní** (Bordův) **nátrubek** naopak průtočnost **sníží**,
- středí hodnota součinitele výtokové rychlosti u ostrohranného otvoru je:

$$\varphi \approx 0{,}97, \qquad \varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha_c + \xi}}$$

- součinitel ztrát (nebo odporový součinitel) ξ: $\xi = \frac{1}{\varphi^2} - \alpha_c$
- a pro $\alpha_c \approx 1{,}00$ bude: $\xi \approx \frac{1}{0{,}97^2} - 1{,}00 = 0{,}06$

při výtoku ostrohranným otvorem se tedy ztrácí asi 6 % (výtokové) rychlostní výšky.

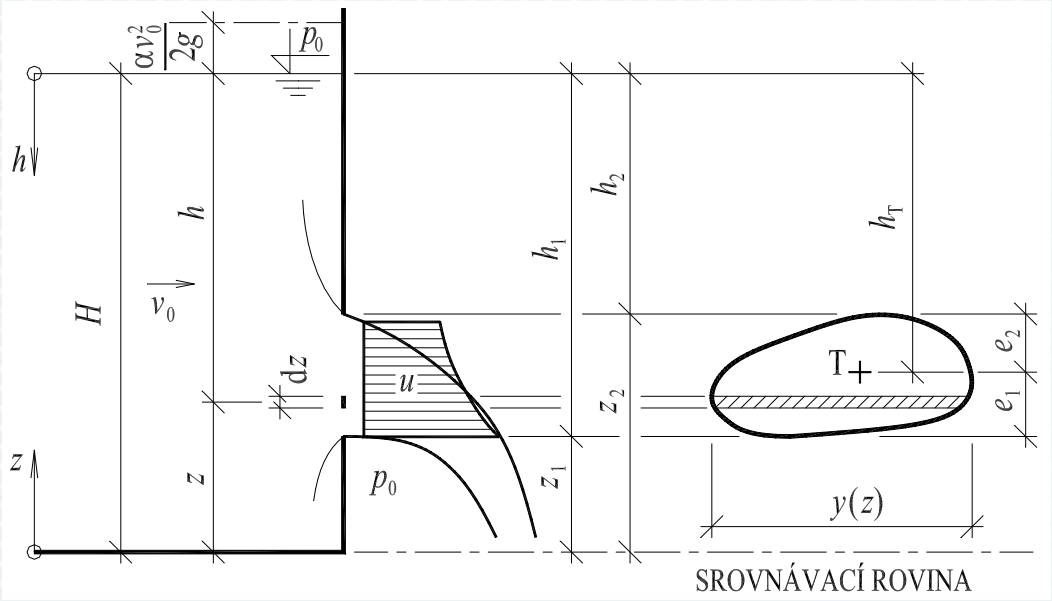
cc BY NC SA

Volný výtok otvorem ve svislé stěně

Kapalina vytéká ustáleně z nádoby otvorem v boční svislé stěně:

$$u = \varphi \sqrt{2\,g\left(H - z + \frac{\alpha\, v_0^2}{2\,g} \right)}$$

$$\mathrm{d}\,Q = u\,\mathrm{d}\,A = \mu \sqrt{2\,g\left(H - z + \frac{\alpha\, v_0^2}{2\,g} \right)}\, y\,\mathrm{d}\,z$$



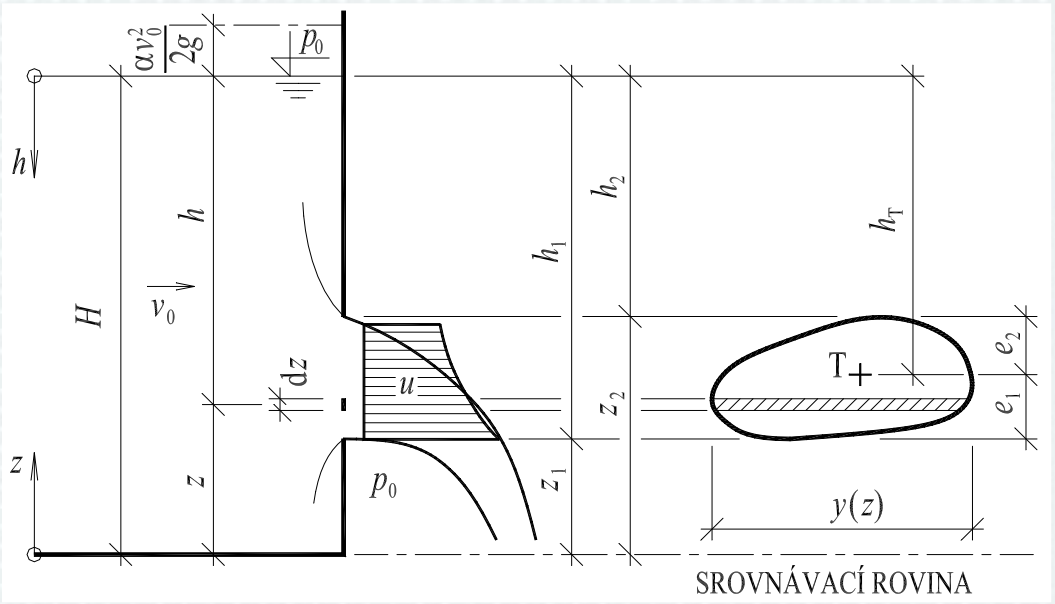
cc BY NC SA

Volný výtok otvorem ve svislé stěně

Celkový průtok se dostane integrováním elementárních výtoků v rozsahu otvoru:

$$Q = \int_{z_1}^{z_2} \mu \sqrt{2\,g\left(H - z + \frac{\alpha\, v_0^2}{2\,g} \right)}\; y \,\mathrm{d}\, z$$

$$Q = \mu \sqrt{2\,g} \int_{h_2}^{h_1} \left(h + \frac{\alpha\, v_0^2}{2\,g} \right)^{1/2} y \,\mathrm{d}\, h$$



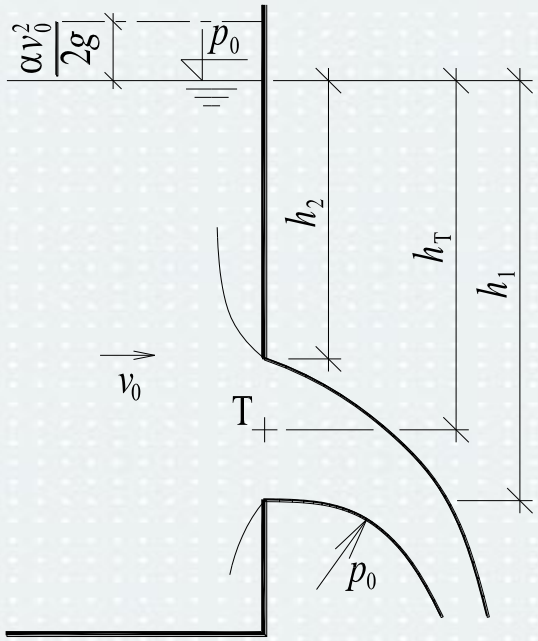
BY NC SA

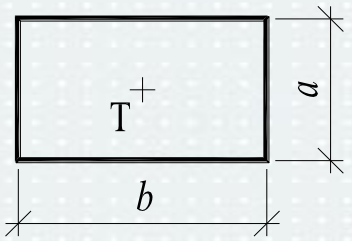
Volný výtok otvorem ve svislé stěně

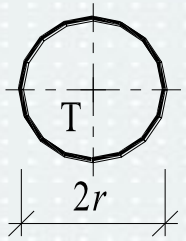
Obdélníkový otvor:

$$Q = \frac{2}{3}\mu b\sqrt{2g}\left[\left(h_1 + \frac{\alpha v_0^2}{2g}\right)^{3/2} - \left(h_2 + \frac{\alpha v_0^2}{2g}\right)^{3/2}\right]$$

a) b)







Kruhový otvor:

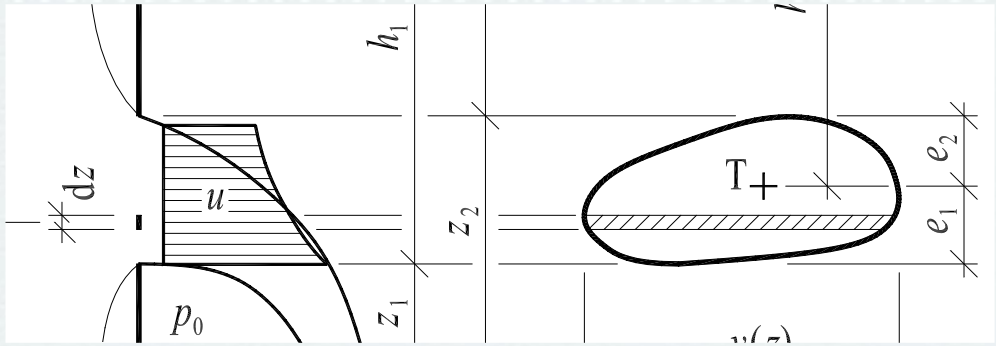
$$Q = \mu\left[1 - \frac{1}{32}\left(\frac{r}{h_T}\right)^2 - \frac{5}{1024}\left(\frac{r}{h_T}\right)^4\right]\pi r^2\sqrt{2g\,h_T}$$

BY NC SA

Volný výtok hydraulicky malým otvorem ve svislé stěně

- Pokud je největší svislá vzdálenost obrysu otvoru od těžiště otvoru e_{max}:

$$e_{max} \leq 0{,}25\ h_{\mathrm{T}}$$



kde h_{T} je hloubka těžiště výtokového otvoru pod hladinou, pak se jedná o výtok hydraulicky malým otvorem a mohou se zanedbat změny rychlosti ve výtokovém otvoru.

- Vzorec pro výtokové množství se zjednoduší (s chybou pod 1 %):

$$v = \varphi \sqrt{2\,g\,h_{\mathrm{T}}}$$

$$Q = \mu\, A \sqrt{2\,g\,h_{\mathrm{T}}}$$

za předpokladu, že na hladinu a na výtokový paprsek působí stejný tlak.

BY NC SA

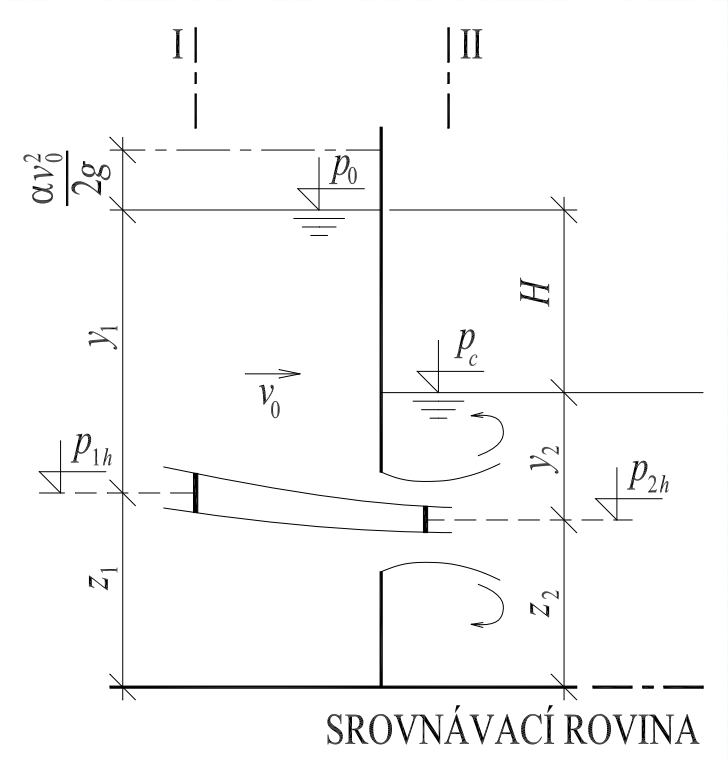
Výtok ponořeným otvorem ve svislé stěně

- je-li výtokový otvor libovolného tvaru ve svislé stěně ponořen pod hladinou dolní vody, lze zapsat Bernoulliho rovnici pro libovolné body proudového vlákna v profilech "I" a "II"

$$u = \varphi \sqrt{2g\left(H + \frac{p_0 - p_c}{\rho g} + \frac{\alpha v_0^2}{2g}\right)}$$

$$v = \varphi \sqrt{2g\left(H + \frac{p_0 - p_c}{\rho g} + \frac{\alpha v_0^2}{2g}\right)}$$

$$Q = \mu_p A \sqrt{2g\left(H + \frac{p_0 - p_c}{\rho g} + \frac{\alpha v_0^2}{2g}\right)}$$



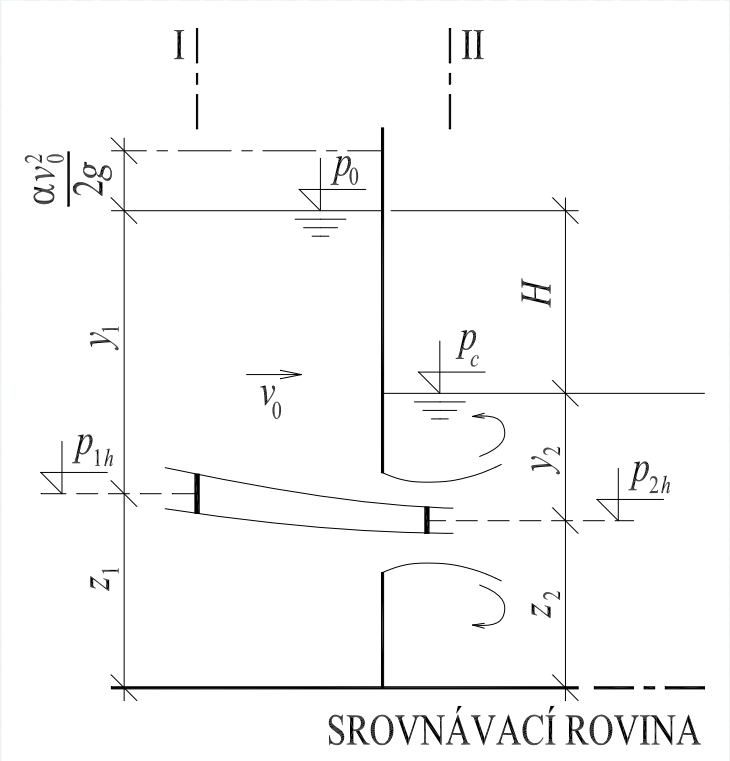
BY NC SA

Výtok ponořeným otvorem ve svislé stěně

Bude-li vliv přítokové rychlosti zanedbatelný a tlak na obě hladiny stejný, bude platit:

$$v = \varphi \sqrt{2\,g\,H}$$

$$Q = \mu_p\, A \sqrt{2\,g\,H}$$



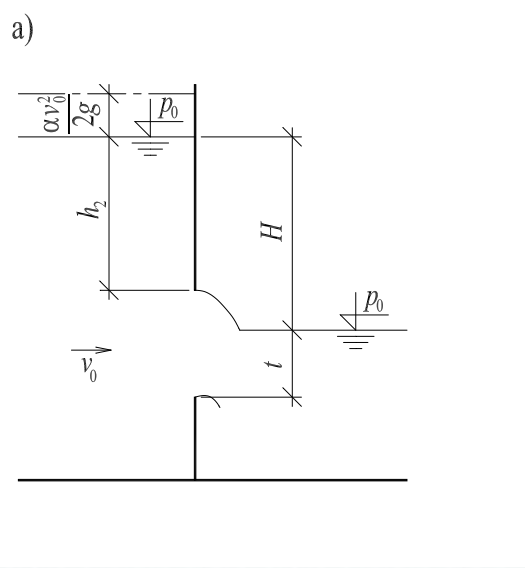
BY NC SA

Výtok částečně ponořeným obdélníkovým otvorem

Bude-li obdélníkový otvor šířky b částečně zatopen dolní vodou, bude platit:

$$Q = Q_1 + Q_2,$$

$$Q = \frac{2}{3}\mu\, b \sqrt{2g}\left[\left(H + \frac{\alpha v_0^2}{2g}\right)^{3/2} - \left(h_2 + \frac{\alpha v_0^2}{2g}\right)^{3/2}\right] + \mu_p\, b\, t \sqrt{2g\left(H + \frac{\alpha v_0^2}{2g}\right)}$$



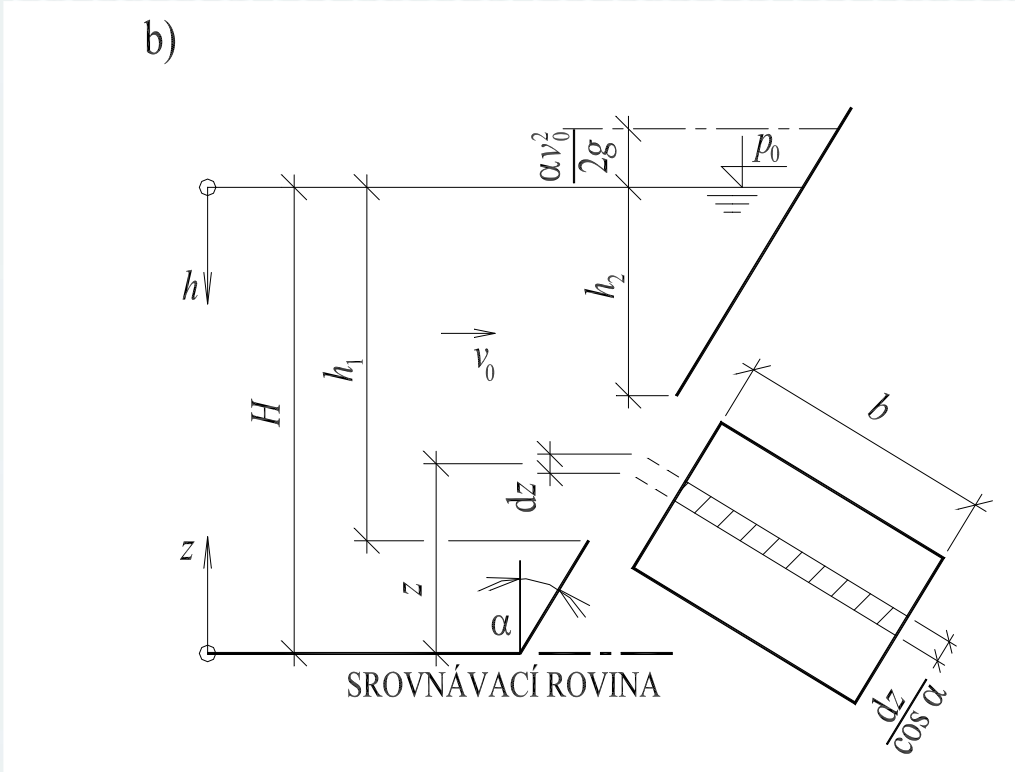
cc BY NC SA

Volný výtok obdélníkovým otvorem v šikmé stěně

Bude-li obdélníkový otvor šířky b částečně zatopen dolní vodou, bude platit:

$$Q = \mu \frac{b}{\cos\alpha} \sqrt{2g} \int_{h_2}^{h_1} \left(h + \frac{\alpha v_0^2}{2g} \right)^{1/2} \mathrm{d}h$$

$$Q = \frac{2}{3} \frac{\mu b \sqrt{2g}}{\cos\alpha} \left[\left(h_1 + \frac{\alpha v_0^2}{2g} \right)^{3/2} - \left(h_2 + \frac{\alpha v_0^2}{2g} \right)^{3/2} \right]$$



cc BY NC SA

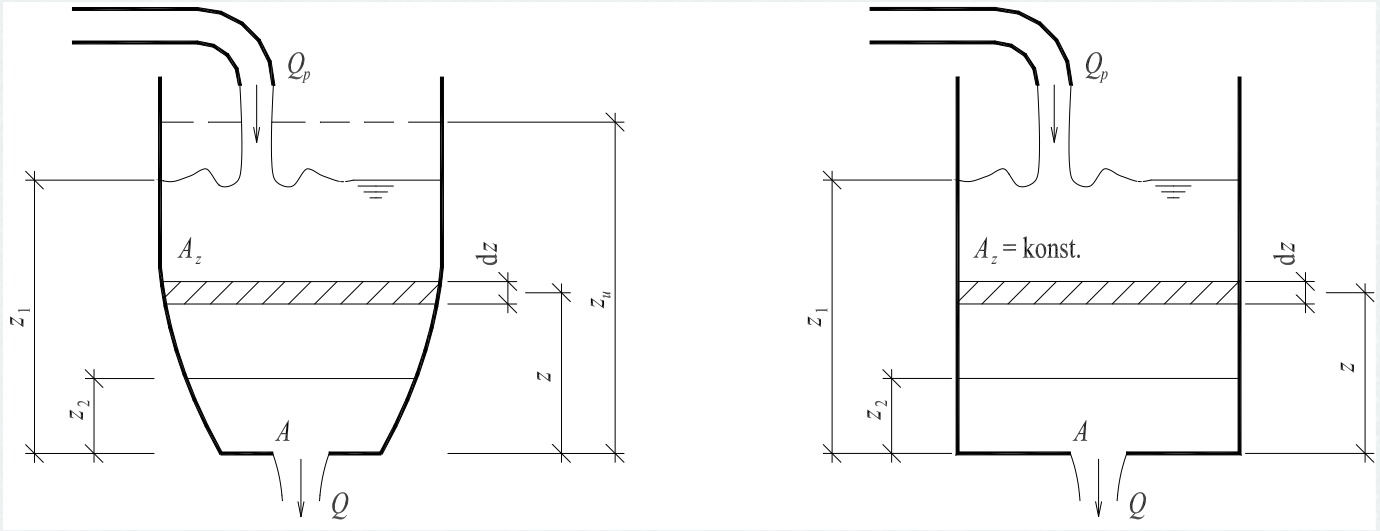
Plnění a prázdnění

Nádoba libovolného tvaru, do které přitéká Q_p a vytéká Q otvorem o ploše A v hloubce z_1 pod hladinou, a to malým otvorem ve dně.

Uvažuje se stejný atmosférický tlak na hladině i ve výtokovém otvoru. Je-li:

- $Q_p = Q$ - přítok Q_p (průtok kapaliny přitékající do nádoby) je roven výtoku Q (průtok výtokovým otvorem z nádoby) – hladina v nádobě se nepohybuje = > ustálený výtok kapaliny otvorem,
- $Q_p < Q$ - nádoba se prázdní,
- $Q_p > Q$ - nádoba se plní.

$$\frac{dV}{dt} = Q_{in} - Q_{out}$$



cc BY NC SA

Plnění a prázdnění prizmatické nádoby při Q_p = konst.

Má-li nádoba stálý průřez po výšce $A_z = \text{konst.}$ (válec, hranol, ...), lze zapsat pro čas nutný ke změně polohy hladiny z úrovně z_1 na z_2:

$$t = A_z \int_{z_1}^{z_2} \frac{\mathrm{d}\,z}{Q_p - \mu\, A \sqrt{2\,g\,z}}$$

$$Q_p = \mu\, A \sqrt{2\,g\,z_u}$$

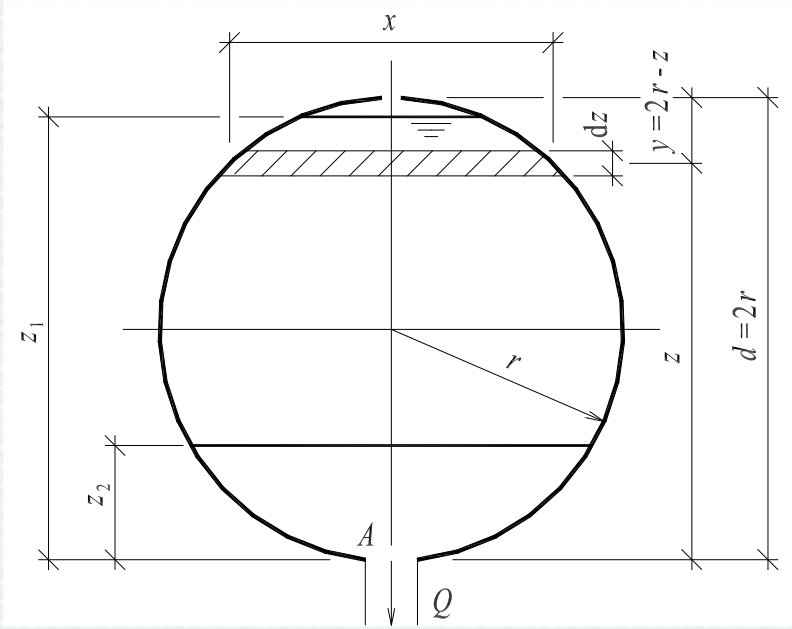
$$t = \frac{2\,A_z}{\mu\, A \sqrt{2\,g}} \left[\sqrt{z_1} - \sqrt{z_2} - \sqrt{z_u} \ln \frac{\sqrt{z_u} - \sqrt{z_2}}{\sqrt{z_u} - \sqrt{z_1}} \right]$$

BY NC SA

Prázdnění válcové cisterny otvorem při $Q_p = 0$

$$t = \frac{4L}{3\mu A\sqrt{2g}}\left[(2r - z_2)^{3/2} - (2r - z_1)^{3/2}\right]$$

$$T = \frac{4Ld^{3/2}}{3\mu A\sqrt{2g}} \doteq 0{,}301\frac{Ld^{3/2}}{\mu A}$$

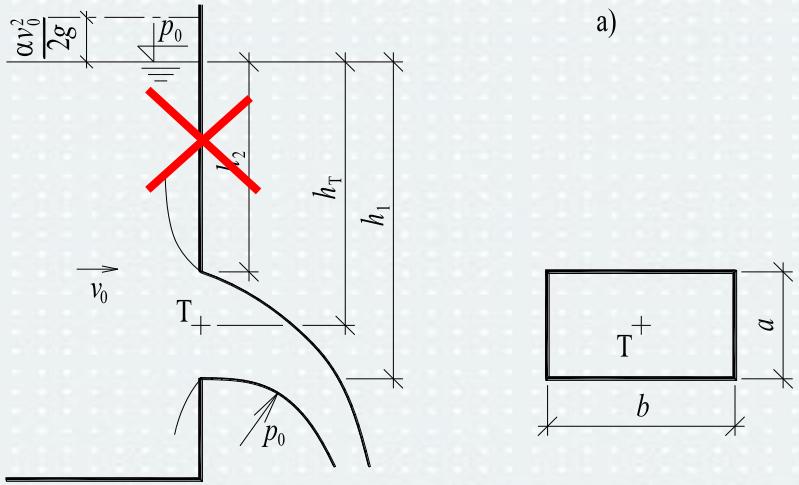


BY NC SA

Přepady, přelivy

Přepad lze definovat jako výtok kapaliny otvorem nahoře otevřeným nebo otvorem, v němž hladina nedosahuje k jeho hornímu obrysu:

$$Q = \frac{2}{3}\mu b\sqrt{2g}\left[\left(h_1 + \frac{\alpha v_0^2}{2g}\right)^{3/2} - \left(h_2 + \frac{\alpha v_0^2}{2g}\right)^{3/2}\right]$$



Vznikne zpravidla vložením stěny napříč proudu s volnou hladinou.

BY NC SA

Přepady, přelivy

- stěna vzdouvá vodu a voda přes ni přepadá
- konstrukce, přes kterou voda přepadá, se nazývá přeliv
- nejvyšší část přelivu je přelivná hrana (nebo koruna přelivu)
- přepadající proud vody se nazývá přepadový paprsek

cc BY NC SA

Přepady, přelivy

- Tvar a tloušťka přelivné stěny má podstatný vliv na proudění přes přeliv. Proto podle ní se dělí přelivy na tyto základní typy:

  a) ostrohranné přelivy,

  b) jezové nebo přehradní přelivy (obdélníkového a lichoběžníkového příčného průřezu, proudnicové přelivy),

  c) přelivy se širokou korunu,

  d) zvláštní typy přelivů (šachtový přeliv, boční přeliv, ...).

BY NC SA

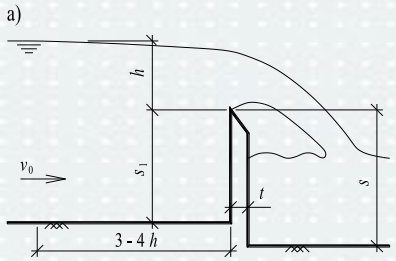
Přepady, přelivy

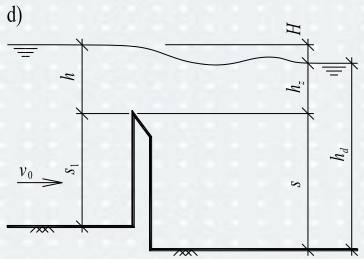
- Tvar a tloušťka přelivné stěny má podstatný vliv na proudění přes přeliv. Proto podle ní se dělí přelivy na tyto základní typy:

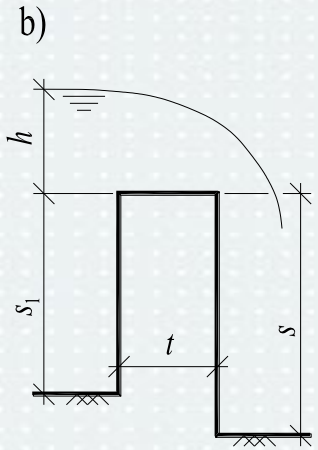
  a) ostrohranné přelivy,

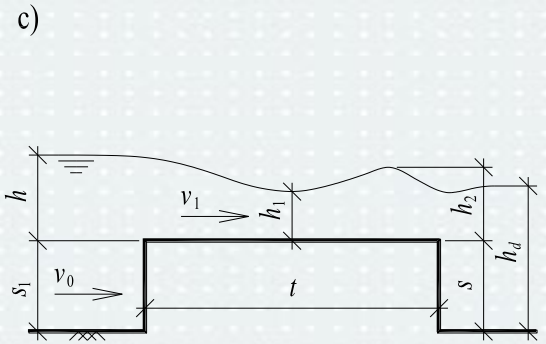
  b) jezové nebo přehradní přelivy (obdélníkového a lichoběžníkového příčného průřezu, proudnicové přelivy),

  c) přelivy se širokou korunu.









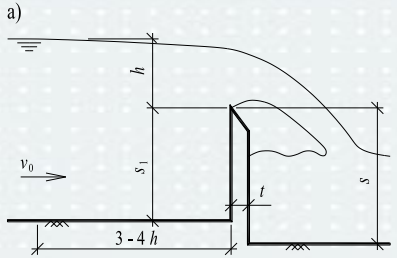
BY NC SA

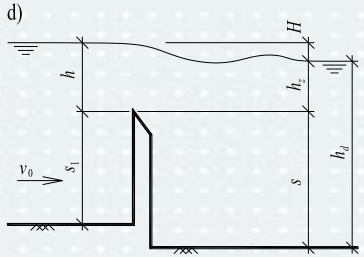
Přepady, přelivy

- Podle ovlivnění přepadového množství přes přeliv hladinou dolní vody (hladinou za přelivem) lze rozeznat:

  a) **přepad dokonalý** - přepadové množství není ovlivněno hladinou dolní vody,

  b) **přepad nedokonalý** (*zatopený*) - je-li hladina dolní vody nad úrovní přelivné hrany, je nutné ověřit, zda-li je přepadové množství ovlivněno hladinou dolní vody.



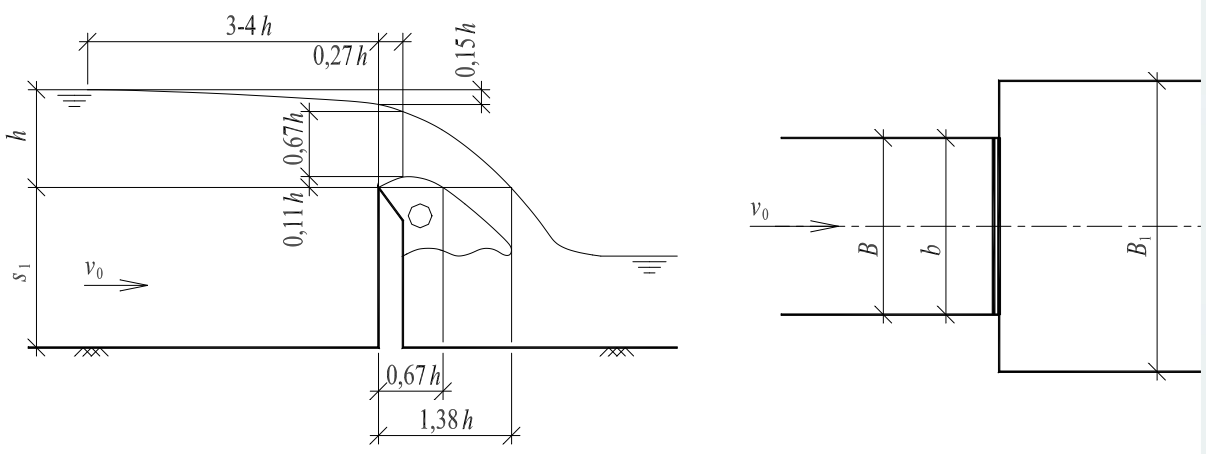


BY NC SA

Ostrohranné přelivy

$$Q = \frac{2}{3}\mu b\sqrt{2g}\left[\left(h_1 + \frac{\alpha v_0^2}{2g}\right)^{3/2} - \left(\frac{\alpha v_0^2}{2g}\right)^{3/2}\right]$$

Pro vodorovnou přelivnou hranu a obdélníkový profil



je přepadové množství Q dáno Weisbachovou rovnicí:

$$Q = \frac{2}{3}\mu b\sqrt{2g}\left[\left(h + \frac{\alpha v_0^2}{2g}\right)^{3/2} - \left(\frac{\alpha v_0^2}{2g}\right)^{3/2}\right]$$

BY NC SA

Ostrohranné přelivy

$$Q = \frac{2}{3}\mu\, b \sqrt{2g}\left[\left(h + \frac{\alpha v_0^2}{2g}\right)^{3/2} - \left(\frac{\alpha v_0^2}{2g}\right)^{3/2}\right]$$

$$Q = \frac{2}{3}\mu\, b \sqrt{2\,g}\left[h_0^{3/2} - k^{3/2}\right]$$

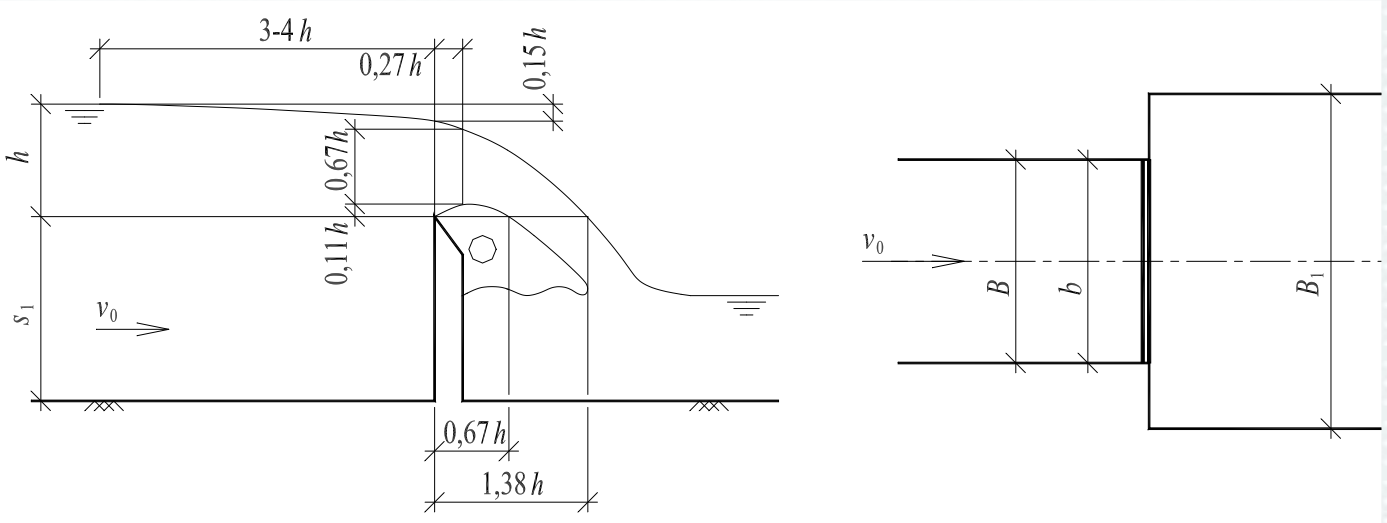
Neuvažuje-li se s přítokovou rychlostí, obdrží se rovnice Poleniova nebo Dubuatova:

$$Q = \frac{2}{3}\mu\, b \sqrt{2\,g}\, h^{3/2}$$

cc BY NC SA

Bazinův přeliv

- Obdélníkový ostrohranný přeliv bez bočního zúžení a zavzdušněným prostorem pod přepadovým paprskem se nazývá Bazinův.
- Bazinův přeliv je **základním typem ostrohranných přelivů** a protože byl podrobně prozkoumán, stal se základním měrným přelivem.



cc BY NC SA

Bazinův přeliv

- Bazinův přeliv $$Q = m_0 \, b \sqrt{2g} \; h^{3/2} \left(1 + \frac{\alpha \, v_0^2}{2 g \, h} \right)^{3/2}$$

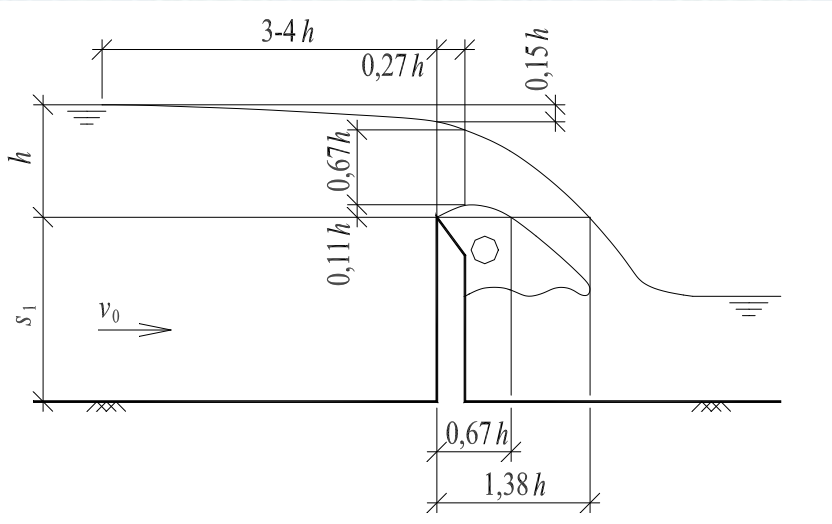
$$m = m_0 \left(1 + \frac{\alpha \, v_0^2}{2 g \, h} \right)^{3/2}$$

$$Q = m \, b \sqrt{2g} \; h^{3/2}$$

- m je **Bazinův součinitel přepadu, který zahrnuje ztráty a kontrakci na přepadu a vliv přítokové rychlosti:**

$$m = \left(0{,}405 + \frac{0{,}003}{h} \right) \left[1 + 0{,}55 \left(\frac{h}{h + s_1} \right)^2 \right]$$

- s platností pro (chyba < 1 %):
  - 0,1 m < h < 1,24 m;
  - 0,2 m < b < 2,0 m;
  - 0,2 m < s_1 < 2,0 m.

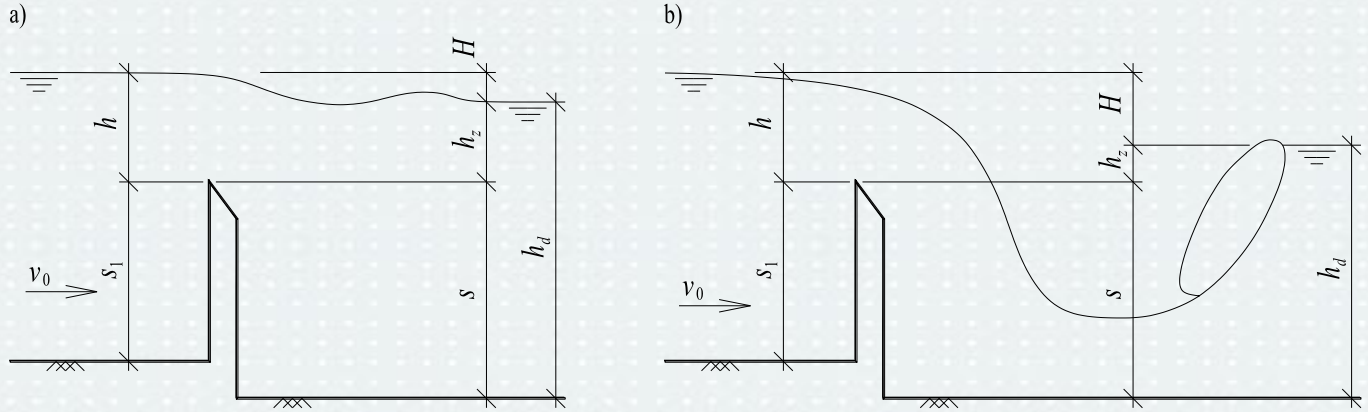


CC BY NC SA

Bazinův přeliv

- Pavlovskij zjistil, že přepad bude nedokonalý, bude-li poměr menší než mezní poměr $\left(\frac{H}{s}\right)_*$, který je udaný v tabulce níže v závislosti na poměru $\frac{h}{s}$.
- Podmínky nedokonalého přepadu jsou:

$$h_d > s \qquad \text{a současně} \quad \frac{H}{s} < \left(\frac{H}{s}\right)_*$$



$\frac{h}{s}$	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00	3,00
$\left(\frac{H}{s}\right)_*$	1,00	0,90	0,83	0,78	0,75	0,73	0,68	0,67	0,67	0,71	0,85

BY NC SA

Bazinův přeliv

K výpočtu nedokonalého přepadu přes ostrohranný přeliv se používá nejčastěji postup podle Bazina, který vzorec pro dokonalý přepad redukuje součinitelem zatopení σ_z

$$Q = \sigma_z \, m b \sqrt{2g} \; h^{3/2}$$

$$\sigma_z = 1{,}05\left(1 + 0{,}2\frac{h_z}{s}\right)\sqrt[3]{\frac{H}{h}}$$

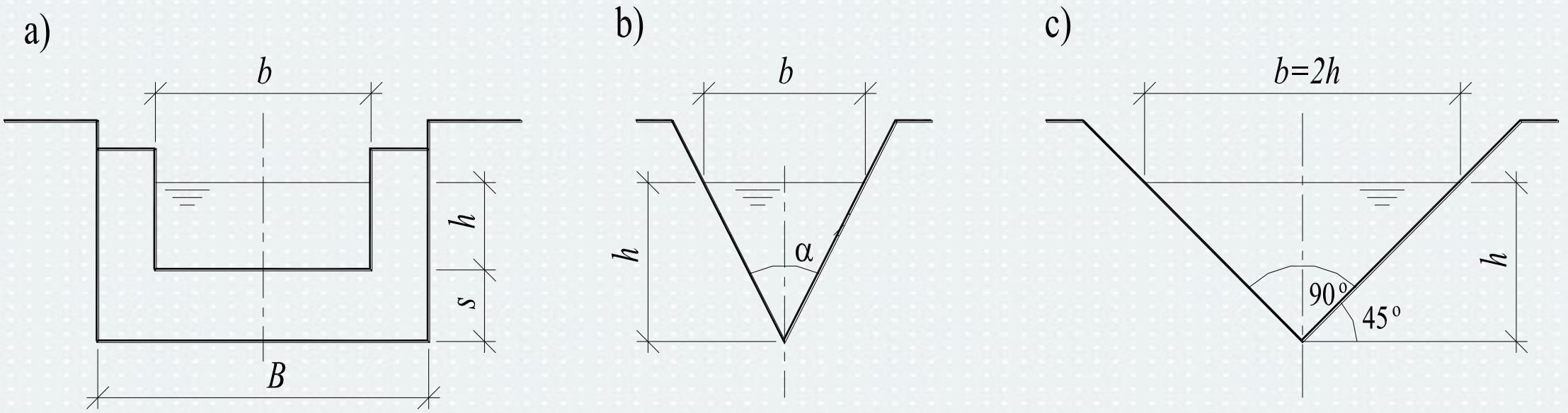
Nedokonalý přepad je méně prozkoumán než přepad dokonalý a vyžaduje složitější zařízení pro změření hladiny obou hladin, proto se k měření průtoků nedoporučuje.

cc BY NC SA

Ostrohranné přelivy s bočním zúžením

Přelivy s bočním zúžením vznikají výřezy různého tvaru ve stěně přelivů.

Mezi základní typy patří obdélníkový (Ponceletův), trojúhelníkový, lichoběžníkový, kruhový, parabolický, lineární atd.



BY NC SA

Jezové přelivy

Pro výpočet přepadového množství přes jezová tělesa lze použít rovnice podobné rovnici:

$$Q = \sigma_z \, \sigma_s \, m \, b_0 \sqrt{2g} \, h_0^{3/2} \qquad h_0 = h + \frac{\alpha v_0^2}{2g}$$

$$Q = \sigma_z \, \sigma_s \, M \, b_0 \, h_0^{3/2} \qquad M = m\sqrt{2g}$$

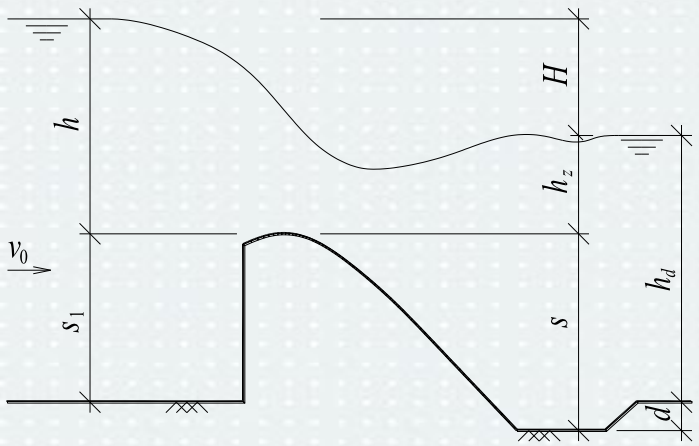
cc BY NC SA

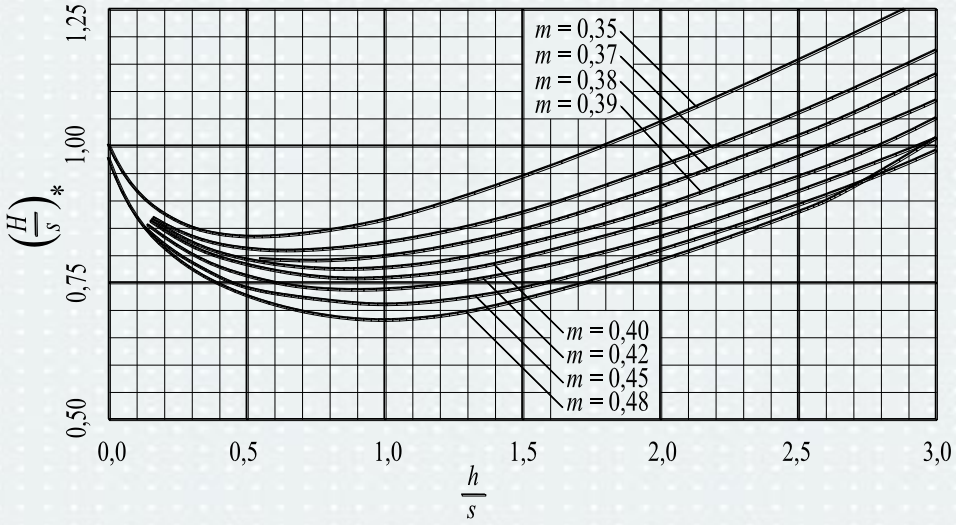
Jezové přelivy

Nedokonalý přepad přes jez se počítá obdobně jako u ostrohranného přelivu.

Podle Bachmětěva je přepad nedokonalý, jsou-li současně splněny tyto podmínky:

$$h_d + d > s; \qquad \text{a současně} \qquad \frac{H}{s} < \left(\frac{H}{s}\right)_*$$

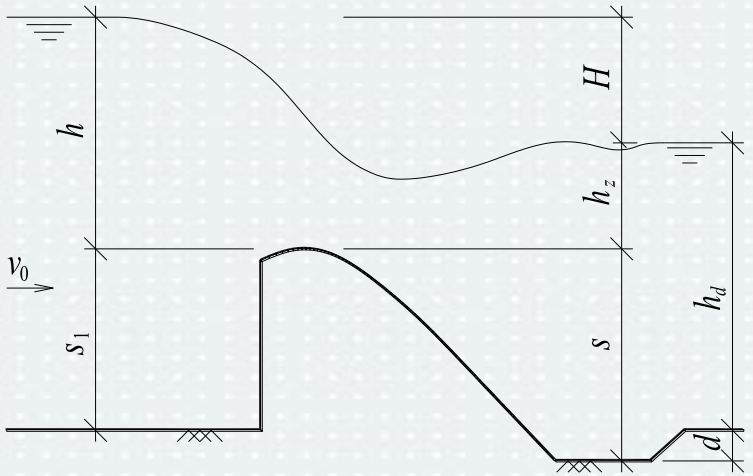




BY NC SA

Jezové přelivy

$$Q = \sigma_z \, \sigma_s \, m \, b_0 \sqrt{2\,g} \, h_0^{3/2}$$



h_z/h	σ_z	h_z/h	σ_z	h_z/h	σ_z	h_z/h	σ_z	h_z/h	σ_z
0,40	0,990	0,65	0,940	0,74	0,869	0,82	0,756	0,90	0,575
0,45	0,986	0,66	0,930	0,75	0,858	0,84	0,719	0,92	0,515
0,50	0,980	0,68	0,921	0,76	0,846	0,85	0,699	0,94	0,449
0,55	0,970	0,70	0,906	0,78	0,820	0,86	0,677	0,95	0,412
0,60	0,960	0,72	0,889	0,80	0,790	0,88	0,629	1,00	0,000

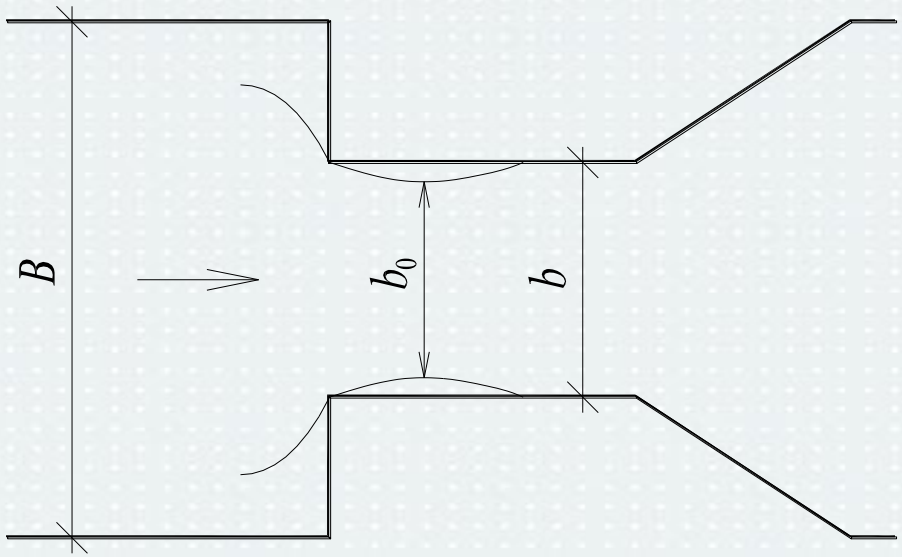
BY NC SA

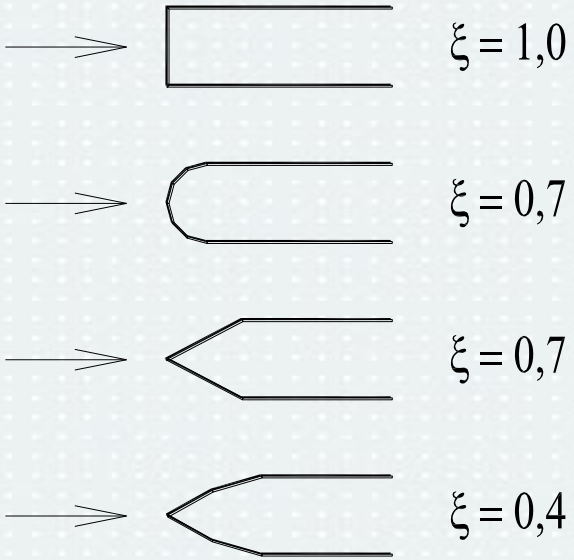
Jezové přelivy

Není-li zúžení průtočného profilu plynulé, plavné, nemohou proudová vlákna sledovat ostré záhyby zdiva, setrvačností pokračují i v zúžené části v původním směru a tím nastává zúžení (kontrakce) paprsku.

Při stěnách se vytvoří prostory vyplněné víry se svislou osou, takže průtokově účinná šířka bude $b_0 < b$

$$b_0 = b - 0{,}1 n \xi h_0$$



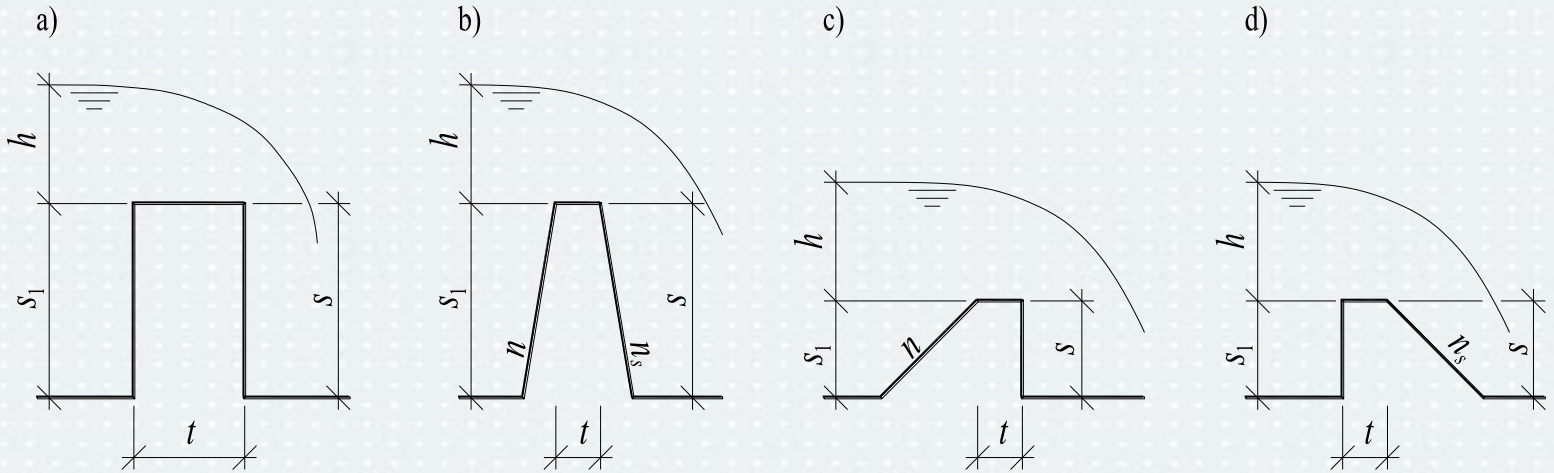


cc BY NC SA

Jezové přelivy

- Obdélníkový přeliv

t / h	1:2	2:3	1	2	3
m	0,42	0,41	0,37	0,33	0,32
M	1,86	1,82	1,64	1,46	1,42



BY NC SA

Jezové přelivy

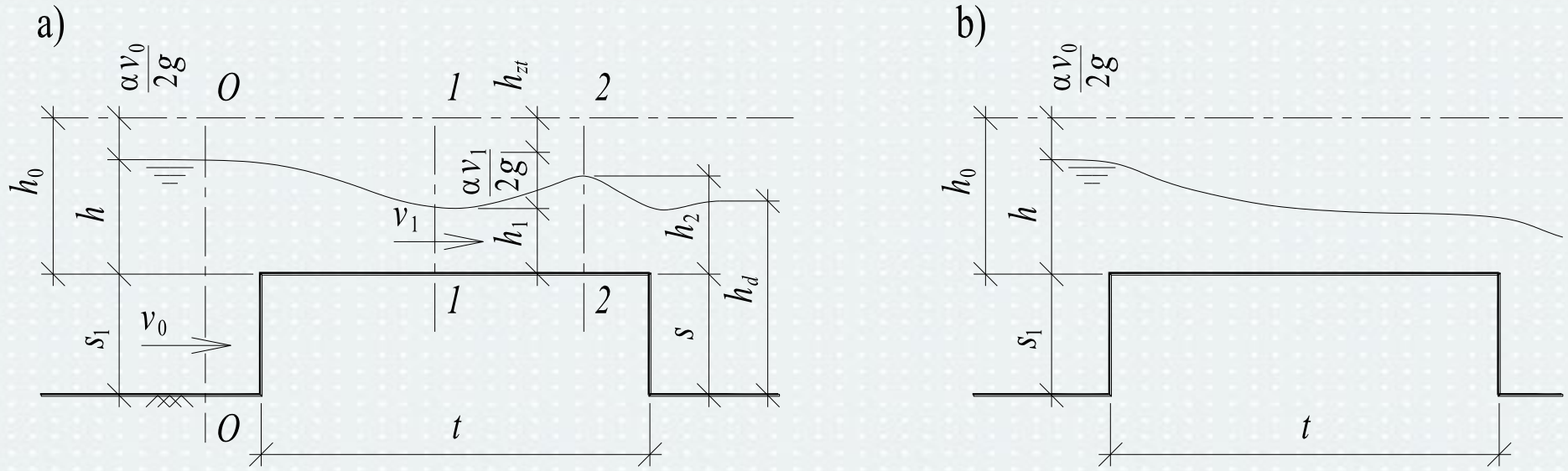
- Proudnicová přelivná plocha vznikne přizpůsobením tvaru přepadového tělesa tvaru spodního obrysu volného paprsku přepadu přes ostrou hranu.
- Rozhodující je vedení v oblasti koruny přelivu a blízko pod ní.
- Proudnicové přelivné plochy mají poměrně vysoký součinitel přepadu m.
- Proudnicové plochy se člení (podle způsobu vedení paprsku a z toho vyplývajících tlaků) na přelivné plochy:
  - tlakové (např. Smetanova): $m = 0{,}499\left(0{,}63 + 0{,}37\sqrt{\frac{h}{h_n}}\right)$
  - bezpodtlakové (např. Scimeniho);
  - a podtlakové.

cc BY NC SA

Přepad přes širokou korunu bez bočního zúžení

- přepadem přes širokou korunu se nazývá přepad přes široký práh s vodorovnou korunou, který vystupuje nad dno toku
- tloušťka koruny t musí být taková, že proud přilne k vodorovné koruně a prochází s ní přibližně rovnoběžně
- podle pokusů to nastane přibližně při:

$$t \geq (2 \text{ až } 3)\, h$$



BY NC SA

Přepad přes širokou korunu bez bočního zúžení

$$Q = m b \sqrt{2 g}\, h_0^{3/2} \qquad m = \varphi\, \varepsilon_1 \sqrt{1 - \varepsilon_1} \qquad \varepsilon_1 = \frac{h_1}{h_0}$$

ε_1 zúžení paprsku po výšce

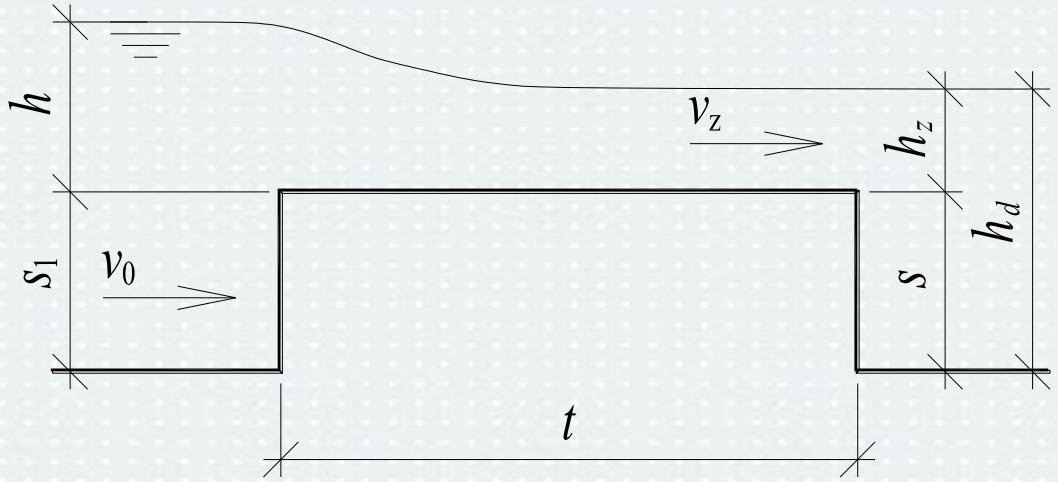
Tvar přepadového prahu	φ	m	M	ε_1	ε_2
přepad bez ztrát (abstraktní případ)	1,000	0,385	1,70	0,670	0,670
vtoková část prahu dobře zaoblena, přítok k přepadu velmi plavně vytvořen	0,951	0,36	1,60	0,600	0,730
práh se zaoblenou vtokovou hranou	0,936	0,35	1,55	0,570	0,760
práh se zkosenou vtokovou hranou	0,912	0,33	1,46	0,530	0,790
práh s ostrohranným vtokem	0,900	0,32	1,42	0,510	0,805
práh s ostrohranným vtokem při nepříznivých poměrech (drsný povrch)	0,881	0,30	1,33	0,465	0,830

Přepad přes širokou korunu bez bočního zúžení

Nedokonalý přepad přes širokou korunu:

$$h_z = h_d - s > \varepsilon_2 h_0$$

$$Q = \varphi\, b\, h_z \sqrt{2\, g\, (h_0 - h_z)}$$



BY NC SA

Kritické, říční a bystřinné proudění
Vodní skok

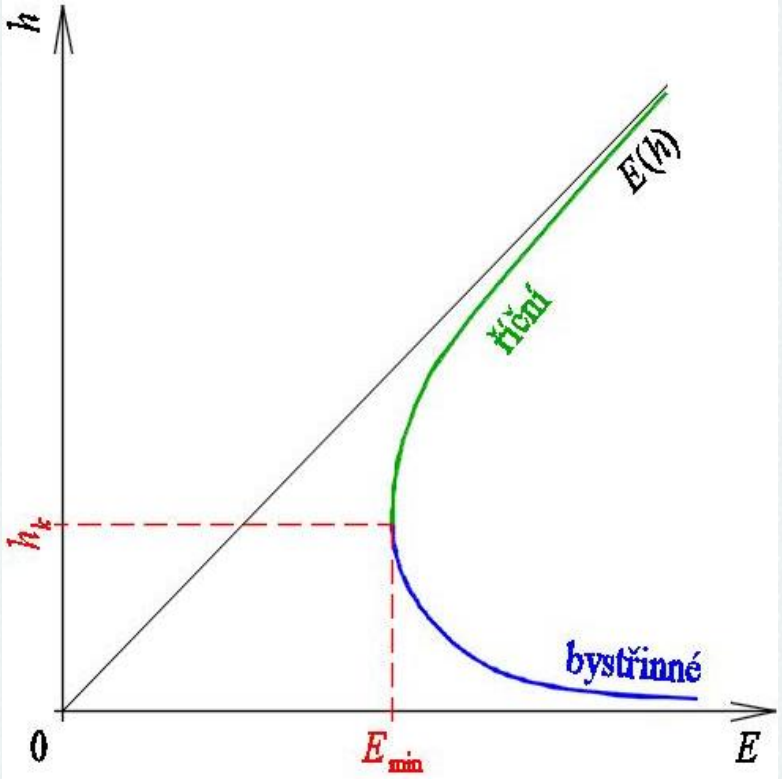
Proudění kritické, říční a bystřinné:

- energetická výška průřezu: $E = h + \frac{\alpha v^2}{2g} = h + \frac{\alpha Q^2}{2g A^2}$, $A = f(h)$
  - říční proudění: $v < v_k$, $h > h_k$
  - bystřinné proudění: $v > v_k$, $h < h_k$
- Obecná podmínka kritického pohybu:

$$\frac{\alpha Q^2}{g} = \frac{A_k^3}{B_k}$$

- Obdélník šířky b ($A = b\,h$):

$$h_k = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{g b^2}} \qquad v_k = \sqrt[3]{\frac{g Q}{\alpha b}} \qquad i_k = \frac{v_k^2}{C_k^2 R_k}$$



BY NC SA

Kritické, říční a bystřinné proudění
Vodní skok

Lichoběžník (sklon břehů 1:m, šířka ve dně b) – podle Agroskina:

$$h_k = \left(1 - \frac{\sigma}{3} + 0{,}105\sigma^2\right) h_{kO} \qquad \sigma = \frac{m h_{kO}}{b} \qquad h_{kO} = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{g b^2}}$$

Částečně plněný kruhový průřez o průměru D – podle Abbotta:

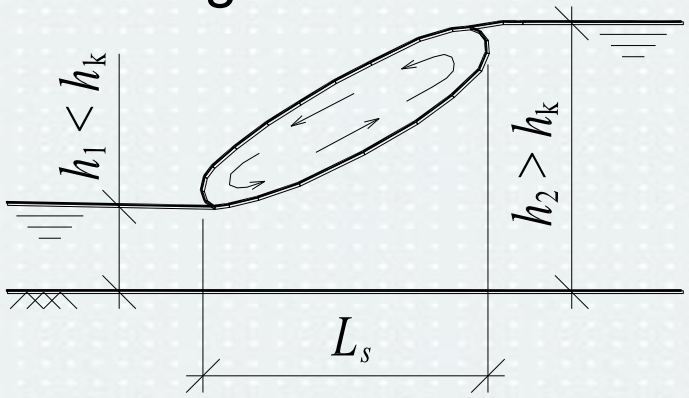
$$h_k = \frac{\sqrt{0{,}32 Q}}{D^{1/4}}$$

- **Froudovo kritérium**: $\mathrm{Fr} = \frac{\alpha v^2}{g h_s} = \frac{\alpha v^2 B}{g A} = \frac{\alpha Q^2 B}{g A^3}$ ($h_s = \frac{A}{B}$, B šířka v hladině)
- Hodnota Froudova kritéria indikuje pohyb:
  - **kritický** Fr = 1,
  - **říční** Fr < 1,
  - **bystřinný** Fr > 1.

BY NC SA

Kritické, říční a bystřinné proudění
Vodní skok

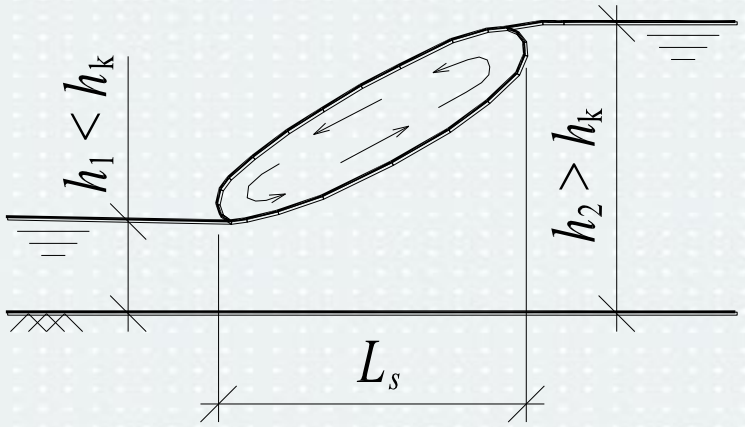
- přechod z **říčního proudění do bystřinného** (např. při zlomu sklonu) bývá **plynulý**,
- opačný přechod **z bystřinného proudění do říčního** se děje nespojitě - **vodním skokem**:
  - vodní skok je hydraulický jev, který vzniká při přechodu z pohybu bystřinného do říčního,
  - vyznačuje se náhlým zvětšením hloubky vody a přechodem od velké rychlosti k malé,
  - vodním skokem se kinetická energie mění za velké ztráty celkové energie v energii potenciální.



BY NC SA

Vodní skok
Spojení hladin vodních zdrží

- **vodní skok** je charakterizován **vzájemnými hloubkami** vodního skoku:
  - hloubkou h_1 v průřezu těsně před vodním skokem při proudění bystřinném
  - hloubkou h_2 v průřezu těsně za vodním skokem při proudění říčním
- vzdálenost mezi těmito dvěma průřezy se nazývá délka vodního skoku L_s
- rozdíl vzájemných hloubek $h_2 - h_1 = h_s$ se nazývá výška vodního skoku

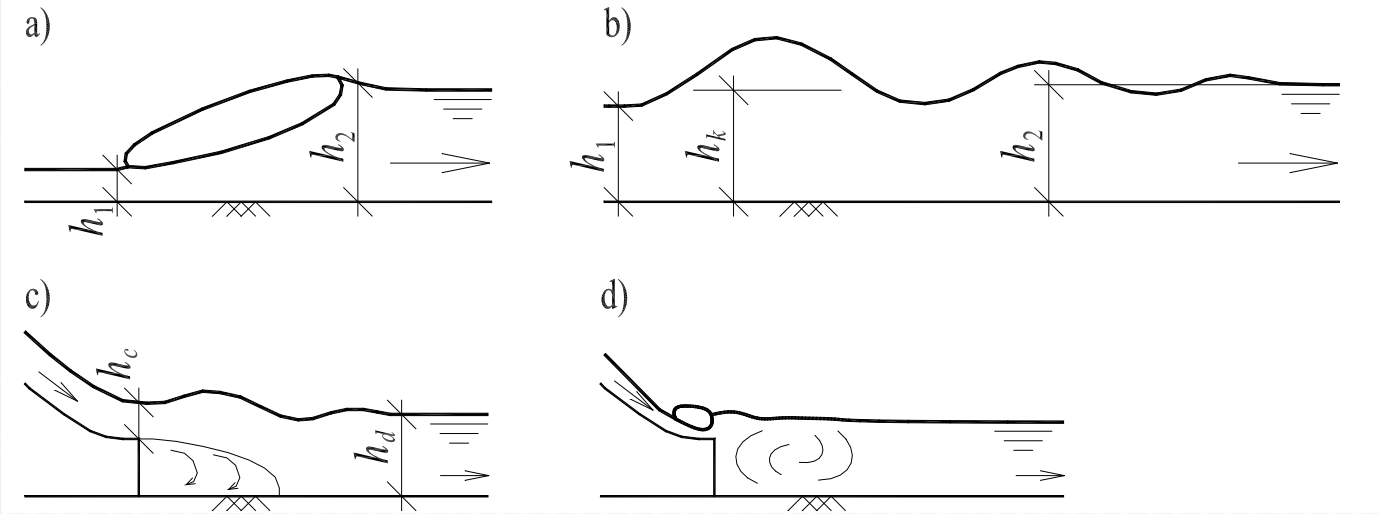


BY NC SA

Vodní skok
Spojení hladin vodních zdrží

Vodní skok může být:

- s **dnovým režimem** (a, b)
- nebo s **povrchovým režimem** (c, d)

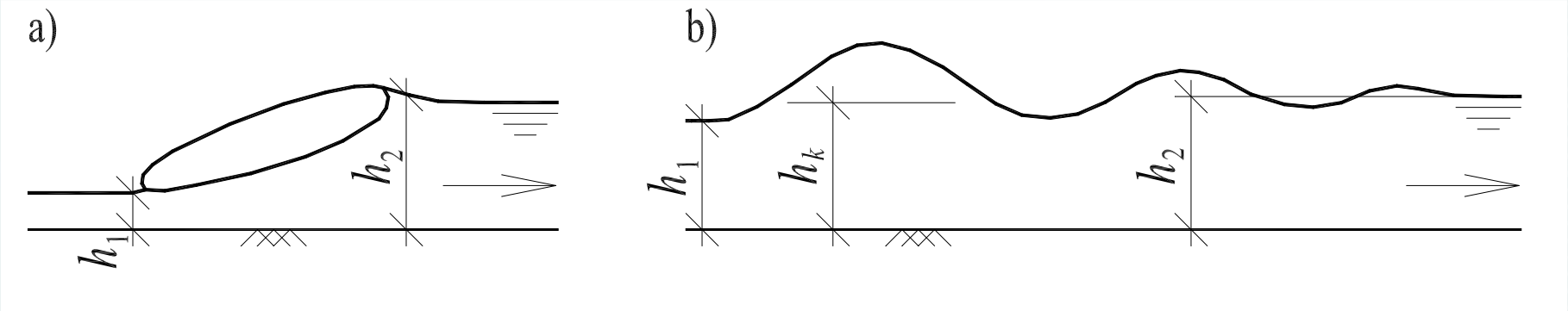


BY NC SA

Vodní skok
Spojení hladin vodních zdrží

$$\mathrm{Fr} = \frac{\alpha v^2}{g h_s} = \frac{\alpha v^2 B}{g A} = \frac{\alpha Q^2 B}{g A^3}$$

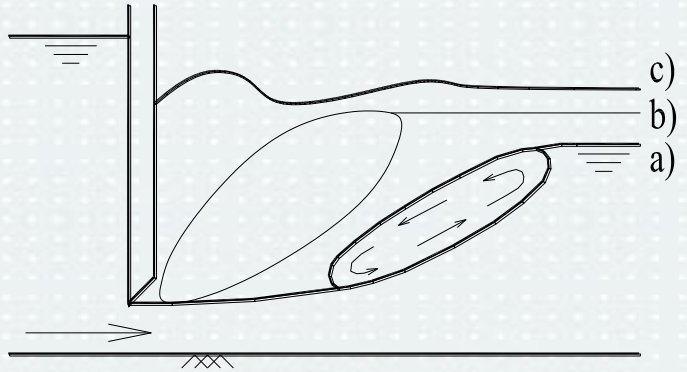
- kritéria - je možné klasifikovat vodní skok s dnovým režimem:
  - **vodní skok prostý** (obr. a) u něhož lze v podélném řezu zřetelně rozlišit základní rozbíhající se proud při dně a silně provzdušněný válec na povrchu ($\mathrm{Fr}_1 > 3$, $h_2 > 1{,}8\ h_k$);
  - **vlnovitý vodní skok** (obr. b), který vzniká při malé výšce vodního skoku ($h_2 - h_1$), hlavně při $h_2 < 1{,}3\ h_k$. Projevuje se řadou tlumených vln bez vodního válce ($\mathrm{Fr}_1 < 3$).

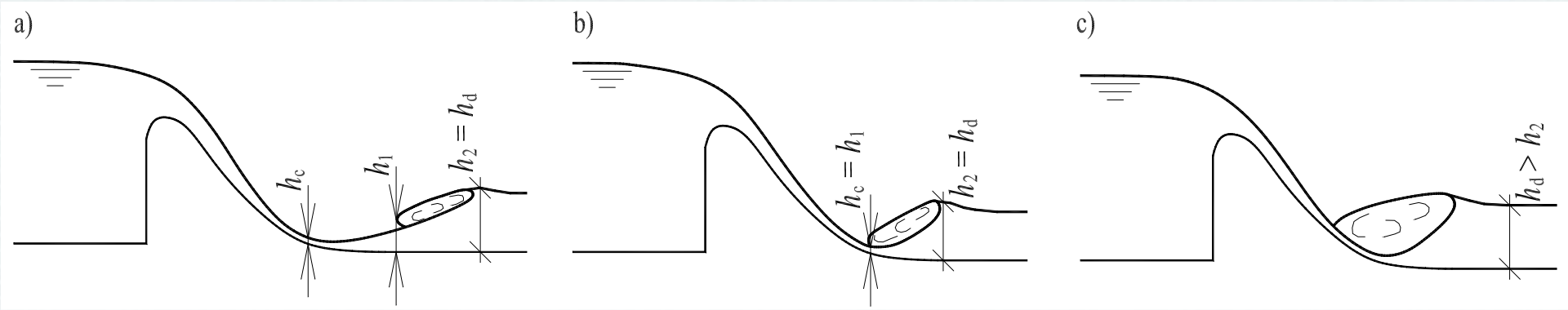


cc BY NC SA

Vodní skok
Spojení hladin vodních zdrží

- podle polohy vodního skoku s dnovým režimem vzhledem k vodní stavbě se rozeznává:
  - vodní skok **oddálený** (obr. a)
  - vodní skok **přilehlý** (obr. b)
  - vodní skok **vzdutý** (obr. c)

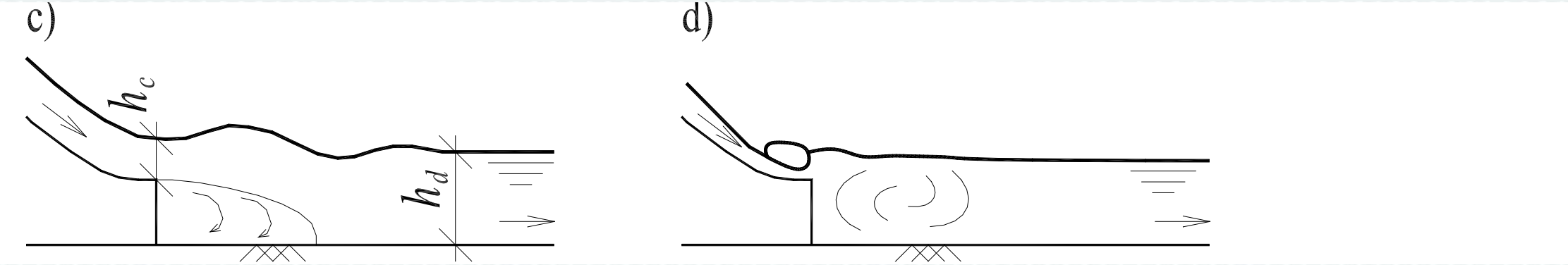




BY NC SA

Vodní skok
Spojení hladin vodních zdrží

- v případě **povrchového vodního skoku**, který má kompaktní roztékavý proud při povrchu a vodní válec při dně a který vzniká při zaústění bystřinného proudu nade dno, rozeznává se:
  - **povrchový vodní skok** (obr. c);
  - **vzdutá vlna** (obr. d).



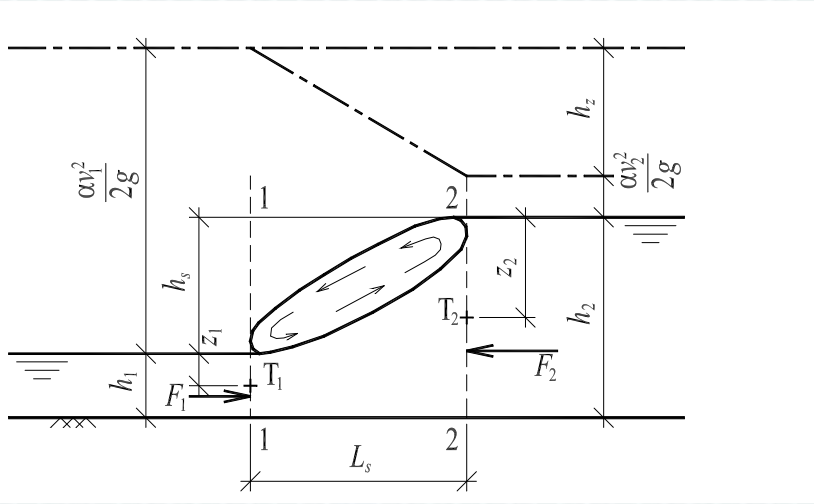
BY NC SA

$$\beta \rho Q (\mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_1) = \sum \mathbf{F}$$

Vodní skok
Spojení hladin vodních zdrží

Prostý vodní skok (funkce vodního skoku)

- řeší se vodní skok prostý v prizmatickém korytě mezi řezy 1-1 a 2-2
- použije se věta o hybnosti a následující předpoklady a zjednodušení:
- malý sklon dna, takže lze zanedbat složku tíhy kapaliny ve směru pohybu;
- vodní skok proběhne na malé délce, proto lze zanedbat síly tření na stěnách koryta;
- v průřezech před (řez 1-1) a za vodním skokem (řez 2-2) je plynule se měnící pohyb, takže rozdělení tlaku se uvažuje přibližně podle pravidel hydrostatiky;
- Boussinesqovo číslo stejné v obou průřezech.



BY NC SA

Vodní skok
Spojení hladin vodních zdrží

$$\beta\,\rho\,Q\,(\mathbf{v}_2-\mathbf{v}_1)=\sum\mathbf{F}$$

- jediné působící síly na výseku proudu jsou síly tlakové. Síly v řezu 1-1 a 2-2 jsou:

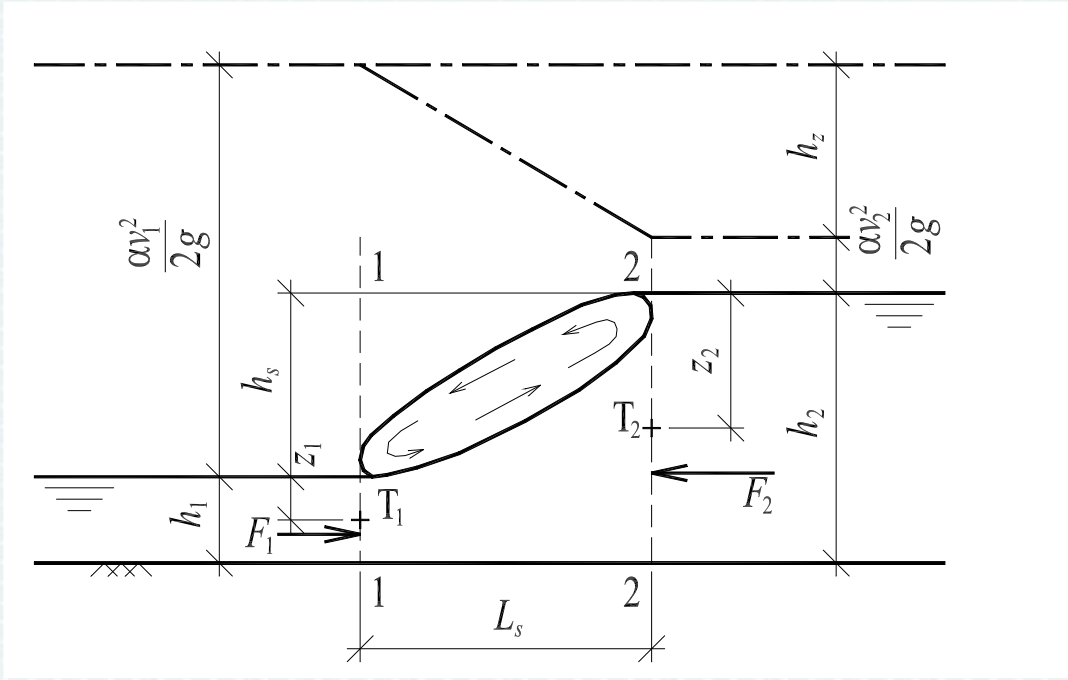
$$F_1=\rho\,g\,z_1\,A_1 \qquad F_2=\rho\,g\,z_2\,A_2$$

- kde z_1 a z_2 jsou hloubky těžiště průtočného průřezu 1-1 a 2-2 pod hladinou a A_1 a A_2 jsou průtočné plochy
- Pak:

$$\beta\,\rho\,Q\,(v_2-v_1)=F_1-F_2$$

$$\beta\,\rho\,Q\,(v_2-v_1)=\rho\,g\,(z_1\,A_1-z_2\,A_2)$$

$$\frac{\beta\,Q^2}{g\,A_1}+z_1\,A_1=\frac{\beta\,Q^2}{g\,A_2}+z_2\,A_2$$



cc BY NC SA

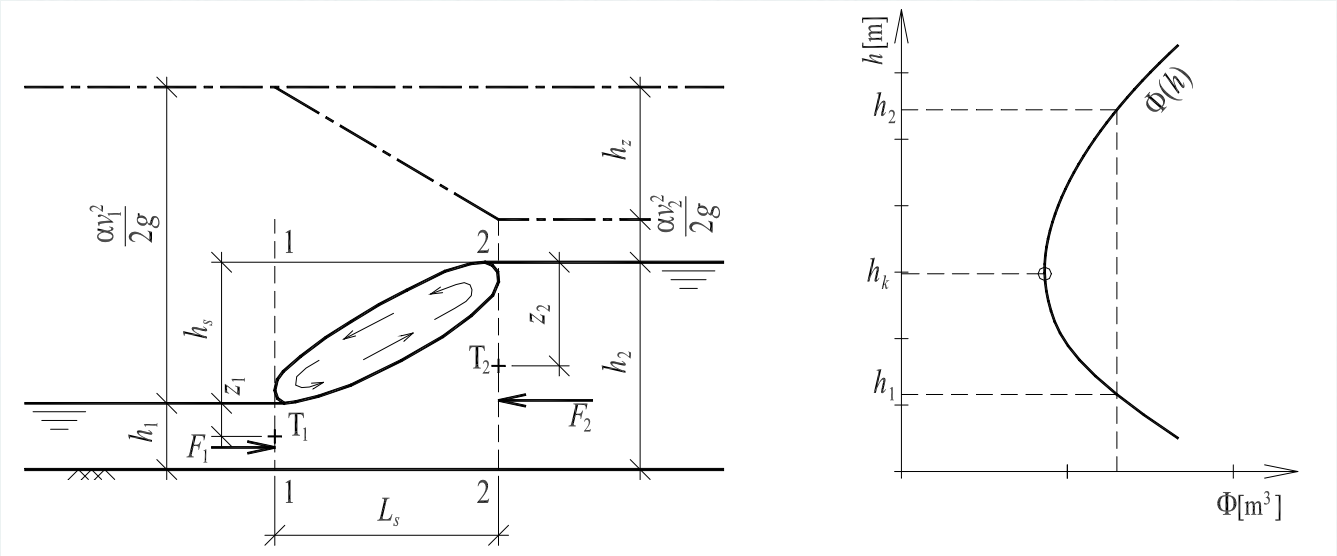
Vodní skok
Spojení hladin vodních zdrží

$$\frac{\beta Q^2}{g A_1} + z_1 A_1 = \frac{\beta Q^2}{g A_2} + z_2 A_2$$

- funkce vodního skoku:

$$\frac{\beta Q^2}{g A_i} + z_i A_i = \Phi(h_i)$$

- kde z_i je hloubka těžiště průtočného průřezu



BY NC SA

Vodní skok
Spojení hladin vodních zdrží

- pro vodní skok v obdélníkovém korytě

$$h_2 = \frac{h_1}{2}\left[-1 + \sqrt{1 + \frac{8\beta Q^2}{g\, b^2\, h_1^3}}\right]$$

$$h_1 = \frac{h_2}{2}\left[-1 + \sqrt{1 + \frac{8\beta Q^2}{g\, b^2\, h_2^3}}\right]$$

cc BY NC SA

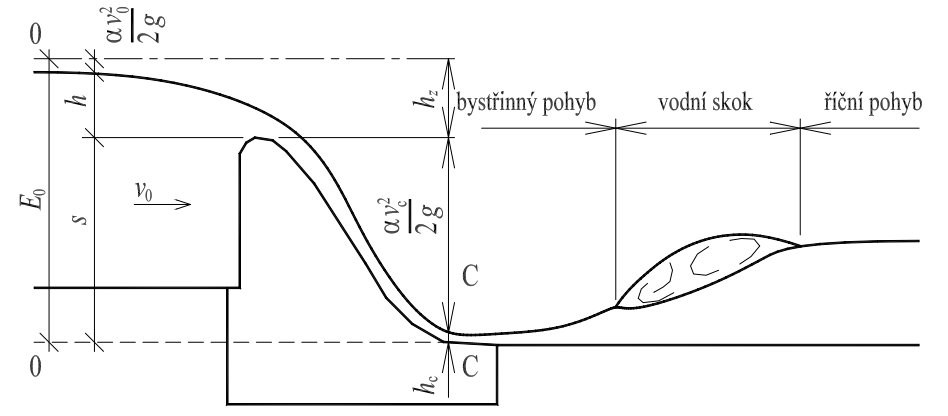
Vodní skok
Spojení hladin vodních zdrží

- délka vodního skoku
  - **Smetana**: $L_s = 6(h_2 - h_1)$
  - **Pavlovsky**: $L_s = 2{,}5(1{,}9\,h_2 - h_1)$
- **ztráta energie** ve vodním skoku: $E_n = E_2 - E_1 = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4\,h_1\,h_2}$

cc BY NC SA

Vodní skok
Spojení hladin vodních zdrží

- pojmem spojení hladin vodních zdrží se označuje komplex hydraulických jevů při přechodu vodního proudu přes vodní dílo, které začínají v horní zdrži a končí v tom místě dolní zdrže, kde se vytváří normální, přirozený odtokový režim, daný hydraulickými a geometrickými parametry koryta
- první etapa zahrnuje hydraulické jevy - ustálený výtok z nádoby otvorem a přepady. Druhá etapa obsahuje hydrauliku vývaru, tj. části stavby, ve které se mění bystřinné proudění na proudění říční pomocí vodního skoku. Ve třetí etapě přechází proud z vývaru do přirozeného odtokového režimu v dolní zdrži.



cc BY NC SA

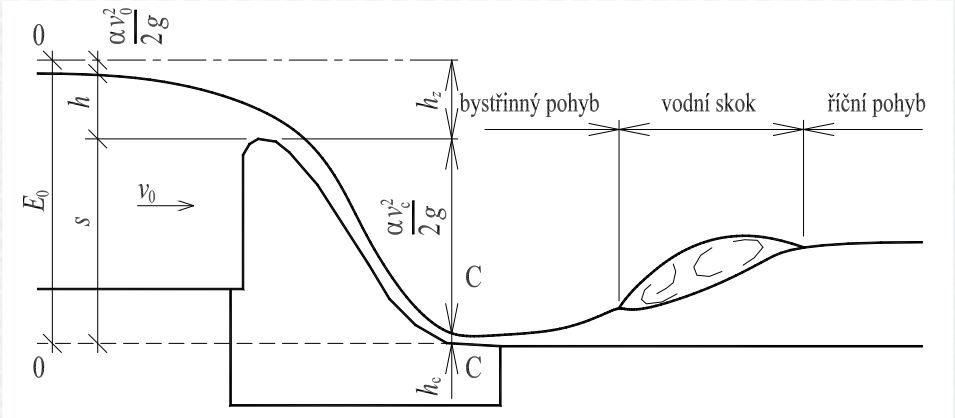
$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \xi}}$$

Vodní skok
Spojení hladin vodních zdrží

$$E_0 = s + h + \frac{\alpha v_0^2}{2g} = h_c + \frac{\alpha v_c^2}{2g} + h_z$$

$$h_z = \xi \frac{v_c^2}{2g}$$

$$E_0 = h_c + \frac{v_c^2}{2g\varphi^2} = h_c + \frac{Q^2}{2g\varphi^2 A_c^2}$$



$$h_c = \frac{Q}{\varphi b \sqrt{2g(E_0 - h_c)}} = \frac{q}{\varphi \sqrt{2g(E_0 - h_c)}}$$

$$E_0 = s + h + \frac{\alpha v_0^2}{2g}$$

BY NC SA

Vodní skok
Spojení hladin vodních zdrží

$$h_c = \frac{Q}{\varphi\, b \sqrt{2\, g\, (E_0 - h_c)}} = \frac{q}{\varphi \sqrt{2\, g\, (E_0 - h_c)}}$$

$$E_0 = s + h + \frac{\alpha\, v_0^2}{2\, g} \qquad q = \frac{Q}{b}$$

cc BY NC SA

Vodní skok
Spojení hladin vodních zdrží

	Druh příslušenství vodního díla	φ
1	výtok otvorem do vzduchu bez přelivné hrany	1,00 - 0,97
2	výtok při dně	1,00 - 0,95
3	přepady bez uzávěru	1,00
4	přepady s uzávěry	1,00 - 0,97
5	přepady s proudnicovými přelivnými plochami bez uzávěrů při hladkém povrchu přelivné plochy:	
	a) při malé délce přelivné plochy,	1,00
	b) při střední délce přelivné plochy,	0,95
	c) při velké délce přelivné plochy,	0,90
6	přepady s proudnicovými přelivnými plochami s uzávěry při hladkém povrchu přelivné plochy	0,95 - 0,85
7	přepady hrubých tvarů	0,90 - 0,80
8	přepady přes širokou korunu	0,95 - 0,85

cc BY NC SA

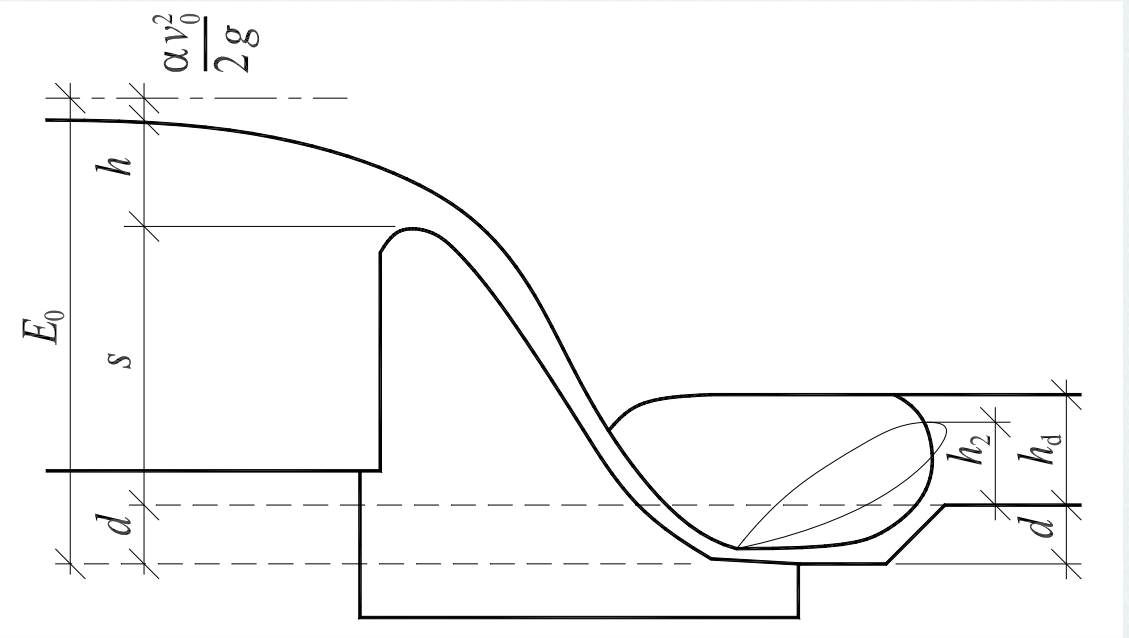
Vodní skok
Spojení hladin vodních zdrží

- část koryta pod přelivy přehrad, jezů, spodními výpustmi se nazývá podjezí – vývar. V podjezí probíhá přechod bystřinného proudění do říčního vodním skokem a z tohoto důvodu je nutné dno opevnit
- cílem je navrhnout podjezí tak, aby se při všech možných průtocích vytvářel vzdutý vodní skok
- většinou je hloubka vody v korytě nepostačující ($h_2 > h_d$ => nastal by oddálený vodní skok a dno v podjezí by bylo namáháno vysokými rychlostmi v delší trase), a proto je zapotřebí podjezí oproti korytu prohloubit
- toto prohloubení se nazývá vývarem a vodní skok v něm lze lokalizovat bezprostředně u paty přelivu jako vzdutý vodní skok
- vývar je část stavby, ve které se mění bystřinné proudění v říční vodním skokem a ve kterém se značná část mechanické energie přemění v její jiné formy (teplo, zvuk atd.). Vytvoří se stavebním prohloubením dna

cc BY NC SA

Vodní skok
Spojení hladin vodních zdrží

- posouzení typu vodního skoku – porovnání vzájemného vztahu mezi hloubkami h_d a h_2, kde hloubka vody v korytě h_d za vodním skokem je pro libovolný průtok Q dána měrnou křivkou koryta $h_d = f(Q)$.
- hloubka $h_2(Q)$ je vzájemná hloubka vodního skoku k hloubce $h_c(Q)$ v průřezu C–C u paty jezu podle obr.



BY NC SA

Vodní skok
Spojení hladin vodních zdrží

- $h_d < h_2$ - u paty jezu nejsou splněny podmínky vzniku vodního skoku a bystřinné proudění pokračuje dále. Při velkých rychlostech nastávají značné ztráty třením, energetická výška E se ve směru pohybu zmenšuje a hloubky bystřinného proudění přibývá. Toto bystřinné proudění pokračuje tak daleko, až dosáhne hloubky h_1, která je vzájemná k hloubce $h_2' = h_d$. V tom místě jsou splněny zákonité podmínky vzniku vodního skoku, který se zde vytvoří. Může to být i velmi daleko od jezu (i několik set metrů). Jedná se o **vodní skok oddálený**
- $h_d = h_2$ - což je případ nahodilý a zcela výjimečný. Pak jsou přímo u paty jezu vytvořeny zákonité podmínky vzniku vodního skoku, vznikne **vodní skok přilehlý**
- $h_d > h_2$ - vodní skok by měl tendenci putovat směrem proti proudu, čemuž ovšem brání jezové těleso. Zůstává lokalizován u paty tohoto tělesa jako **vodní skok vzdutý**. Dolní voda zalije vodní skok

BY NC SA

Vodní skok
Spojení hladin vodních zdrží

- určení míry vzdutí vodního skoku σ ze vztahu: $\sigma = \frac{h_d}{h_2}$

- je–li $\sigma > 1{,}05$ není nutné navrhovat prohloubení dna v podjezí – tzv. **vývar**
- je-li $\sigma < 1{,}05$ je nutno navrhnout prohloubení dna u paty objektu o hloubku vývaru d tak, aby byla pro prohloubené koryto splněna podmínka:

$$h_d + d = \sigma\, h_2$$

při popsaném jednoduchém a bezpečném způsobu výpočtu postačí, je-li σ = 1,05 až 1,10.

cc BY NC SA

Vodní skok
Spojení hladin vodních zdrží

- podle zkušeností je vodní skok v prohloubeném vývaru kratší než vodní skok prostý. Délka vývaru lze vyjádřit například podle Nováka:

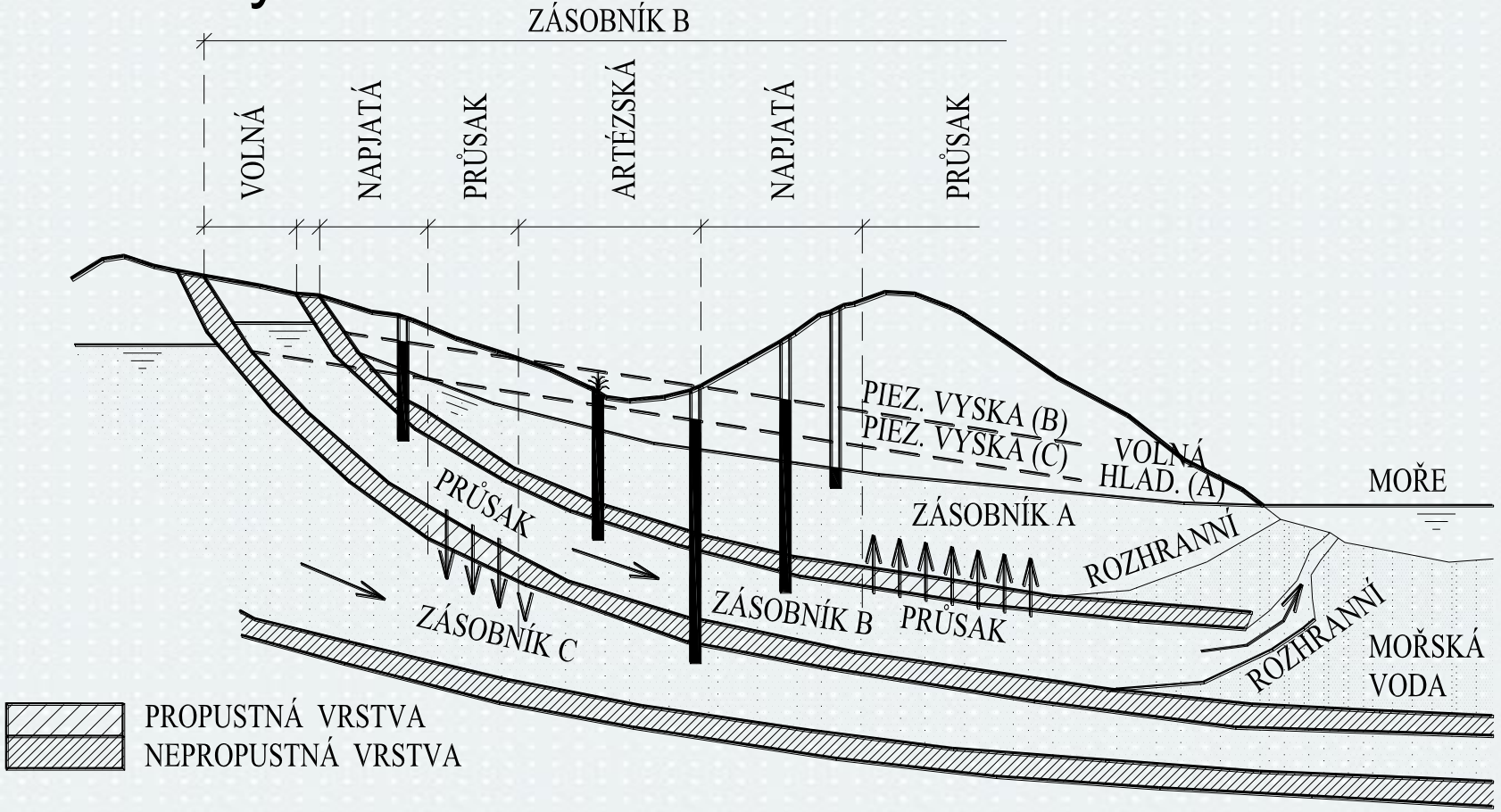
$$L_v = K\,(h_2 - h_1) \quad , \qquad K = f\left(\frac{h_2}{h_1}\right)$$

h_2 / h_1	K
3 - 4	5,5
4 - 6	5,0
6 - 20	4,5
20 a více	4,0

cc BY NC SA

Proudění vody ve filtrech
Proudění podzemní vody

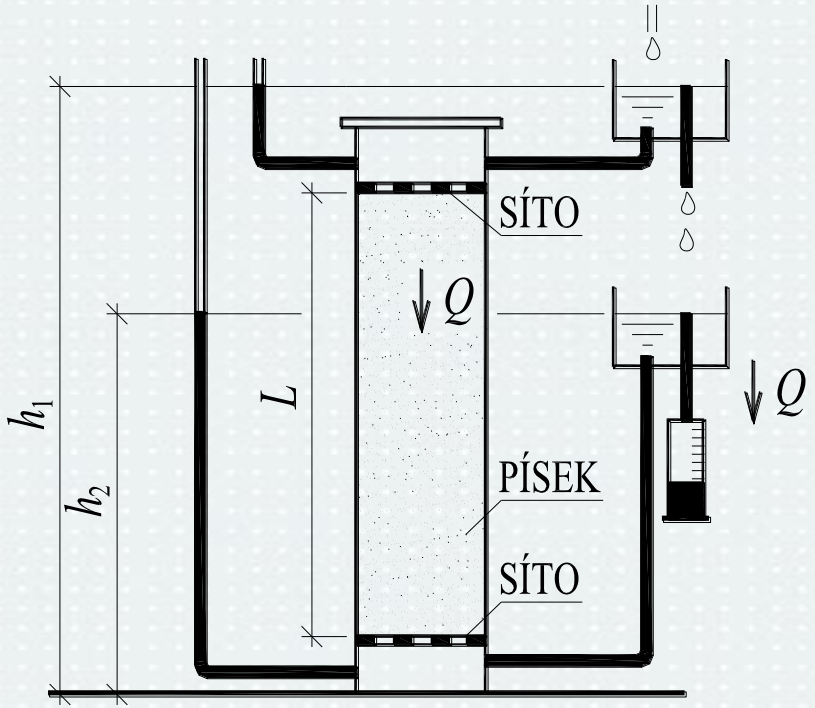
- typy zvodnělých vrstev

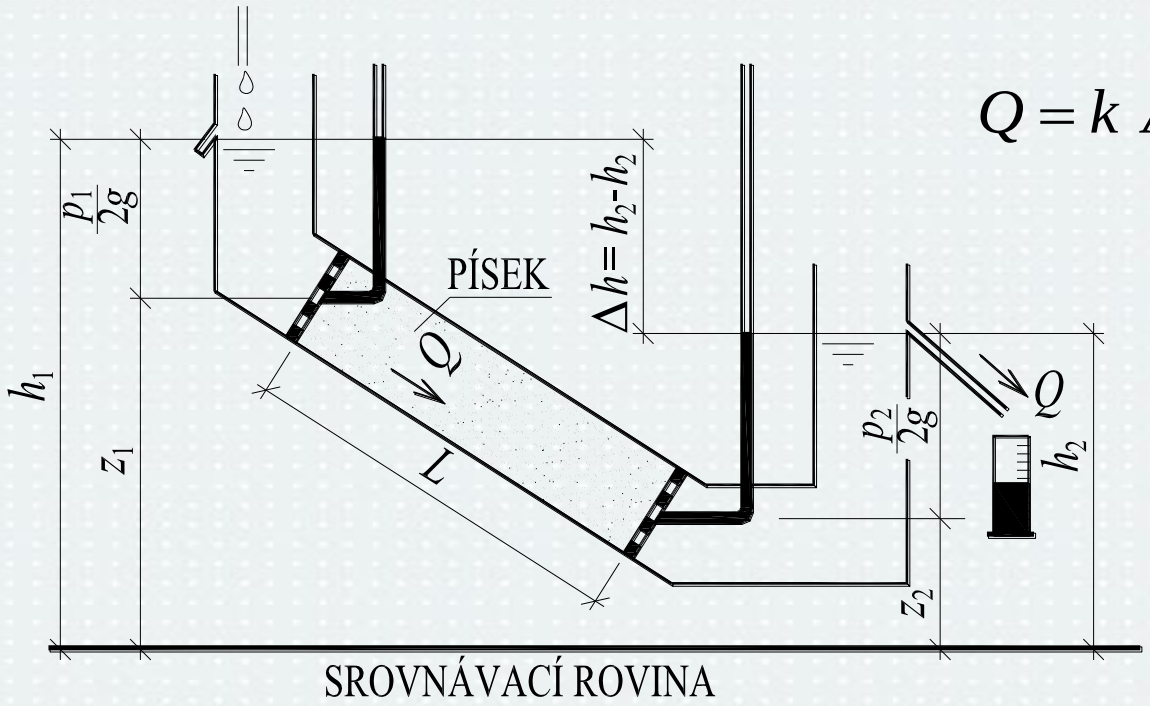


BY NC SA

Proudění vody ve filtrech

Darcyho vztah (Darcy v letech 1852-1855 prováděl první experimenty proudění vody písčitými filtry v Dijonu):





$$Q = k\ A \frac{h_1 - h_2}{L}$$

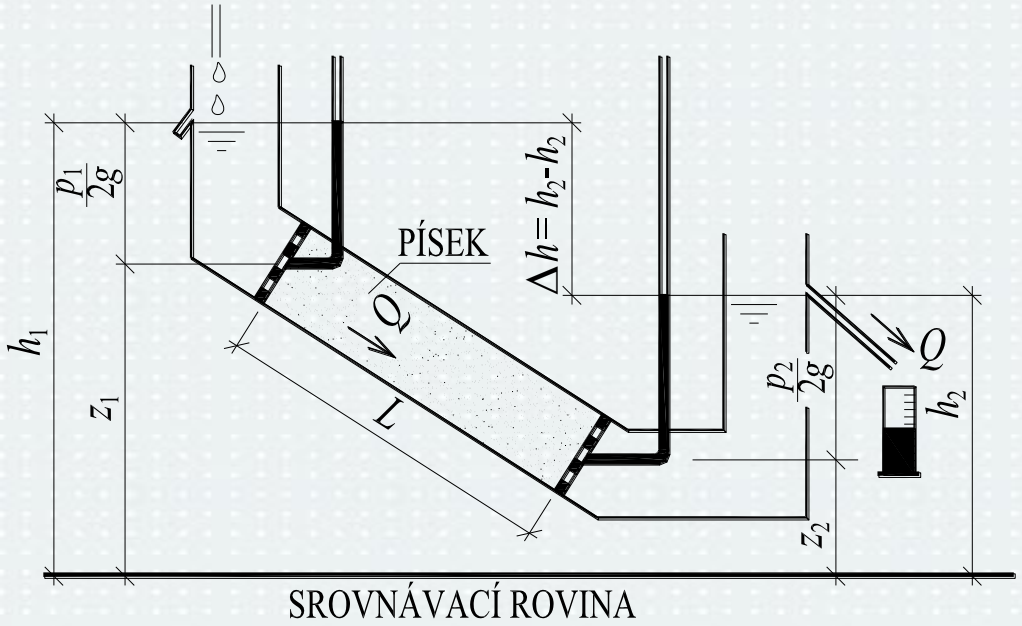
cc BY NC SA

Proudění vody ve filtrech

- Darcyho vztah:

$$Q = k\ A \frac{h_1 - h_2}{L}$$

$$h = \frac{p}{\rho\ g} + z$$



- h se nazývá piezometrická výška a představuje součet tlakové a polohové energie příslušející jednotce tíhy průtoku (kinetickou energii lze zanedbat poněvadž rychlost proudění podzemní vody se pohybuje řádově v hodnotách 10^{-3} m/s a menších)
- k má rozměr m/s a nazývá se součinitel hydraulické vodivosti nebo filtrační součinitel. Filtrační součinitel charakterizuje vlastnost porézního prostředí převádět vodu skrz sebe, charakterizuje tvar a rozložení zrn zeminy a pórů a zohledňuje fyzikální vlastnosti protékající vody

BY NC SA

Proudění vody ve filtrech

- součinitel hydraulické vodivosti k

Druh zeminy	k [m/s]	Druh zeminy	k [m/s]
jíl	10^{-8} a méně	jemný písek	10^{-5} až 5 10^{-5}
písčitá hlína	10^{-6} a méně	hrubozrnný písek	10^{-4} až 5 10^{-4}
písky s jíl. částicemi	10^{-6} až 2 10^{-6}	Štěrkopísek	2 10^{-4} až 10^{-3} i více

cc BY NC SA

Magisterský studijní program JADERNÁ ENERGETIKA vznikl za přispění

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU

NÁRODNÍ PLÁN OBNOVY

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

NPO_VUT_MSMT-16609_2022

CC BY NC SA

VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU

NÁRODNÍ PLÁN OBNOVY

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FAKULTA CHEMICKÁ

FAKULTA STAVEBNÍ

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Přednáška magisterského studijního programu JADERNÁ ENERGETIKA

Vodní hospodářství a vzduchotechnika jaderných elektráren

Doprava vody

Fakulta stavební VUT

prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA; Ing. Jakub Raček, Ph.D.

30. 4. 2023

CC BY NC SA

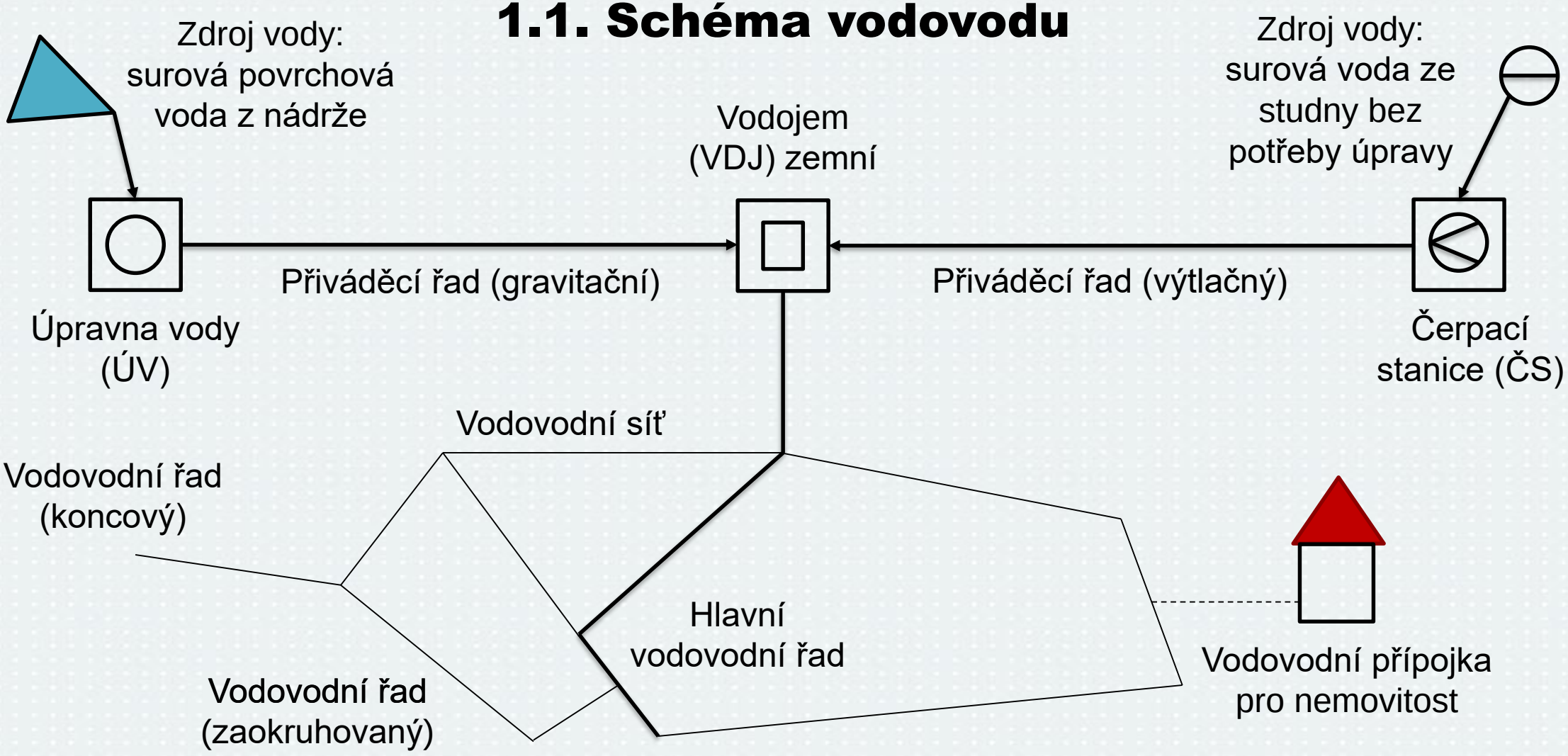
Obsah prezentace

1. Úvod do dopravy vody
2. Čerpací stanice
3. Vodojemy
4. Vodovodní sítě
5. Trubní materiály
6. Armatury a tvarovky

cc BY NC SA

1. Úvod do dopravy vody

1.1. Schéma vodovodu



cc BY NC SA

1. Úvod do dopravy vody

1.2. Terminologie

Vodárenská soustava (water supply system): technicko-plánovací název pro zdroj vody a soustavu skupinových vodovodů, případně oblastní vodovod, zpravidla o velké kapacitě, zajišťující rozsáhlé územní oblasti pitnou vodou,

Vodovod (water supply): soubor objektů a zařízení, zpravidla zahrnující odběrný objekt, úpravnu vody, čerpací stanici, vodojemy, vodovodní řady a vodovodní síť, zabezpečují zásobování vodou pro různé odběratele,

Spotřebiště (consumption area): lokalita (město, obec, sídliště, tlakové pásmo) zásobované vodou,

Skupinový vodovod (group water supply): vodovod dodávající vodu odběratelům více spotřebišť,

cc BY NC SA

1. Úvod do dopravy vody

1.3. Terminologie

Oblastní vodovod (regional water supply): skupinový vodovod nebo soustava vodovodů zásobujících pitnou vodovou zpravidla větší počet spotřebišť na rozsáhlém území,

Tlakové pásmo (pressure zone): část spotřebiště samostatné zásobována vodou v určitém rozmezí přetlaku,

Vodovodní řad (water main, water pipeline): úsek vodovodního potrubí včetně stavební části objektů určený k plnění určité funkce v systému dopravy vody,

Spotřeba vody (water consumption): množství vody skutečně odebrané z vodovodního zařízení za určité časové období,

cc BY NC SA

1. Úvod do dopravy vody
1.3. Terminologie

Potřeba vody (water demand): množství vody udávané za časovou jednotku potřebné ve zdroji pro zajištění dodávky vody pro odběratele, stanovuje se většinou výpočtem, je to návrhová hodnota pro návrh jednotlivých částí (prvků) distribučního systému,

Specifická potřeba vody (water demand per capita per day): množství vody za jednotku času připadající na jednoho obyvatele nebo na jednotku charakterizující určitý výrobní nebo nevýrobní proces,

Potřeba požární vody (firefighting water demand): množství vody potřebné pro požární účely za časovou jednotku, jehož odběr má být zajištěn z vodovodního potrubí,

cc BY NC SA

1. Úvod do dopravy vody

1.3. Terminologie

Průměrná denní potřeba vody - Q_p (average water demand): výpočtová hodnota množství vody za den stanovení ze specifické potřeby vody násobením počtem příslušných jednotek,

Maximální denní potřeba vody – Q_m (maximum water demand per day): průměrná denní potřeba vody násobená součinitelem denní nerovnoměrnosti k_d. Potřeba vody kolísá v průběhu roku i týdnů, hodnoty k_d závisí na velikosti a charakteru spotřebiště,

Maximální hodinová potřeba vody – Q_h (maximum water demand per hour): největší potřeba vody po dobu jedné hodiny ve dnech s maximální denní potřebou, stanoví se z maximální denní potřeby vody násobením součinitelem hodinové nerovnoměrnosti k_h.

BY NC SA

1. Úvod do dopravy vody

1.4. Tlakové poměry ve vodovodu

Normové požadavky (dle ČSN 75 5401, ČSN 73 0873 a ČSN 75 5455) na tlakové poměry ve vodovodní síti ovlivňují výškový návrh vodojemů (VDJ) a koncepční řešení konkrétního vodovodu,

obvyklé tlakové poměry ve spotřebiště v místě napojení vodovodní přípojky na vodovodní řad jsou kolem 0,35 MPa = 3,5 bar = 35 m v.sl., tedy podle následujícího přepočtu:

0,1 MPa = (1 at.) = 1 bar = 10 m v.sl.

Jeli rozdíl nadmořských výšek v zásobovaném spotřebišti větší než 30 metrů, pak se zpravidla spotřebiště rozděluje na více tlakových pásem. Návrh několika tlakových pásem může ovlivnit také i výška zástavy ve spotřebišti,

Rozsáhlá spotřebiště (tlaková pásma) je vhodné zásobovat ze dvou vodojemů z různých stran, vodojemy ideálně umístit na stejné kótě.

cc BY NC SA

1. Úvod do dopravy vody
1.4. Tlakové poměry ve vodovodu

- **0,25 MPa** minimální hydrodynamický přetlak v rozvodné síti v místě přípojky nad 2 podlaží (do 2 podlaží je min. 0,15 MPa),
- **0,60 MPa** je maximální hydrostatický přetlak v nejnižších místech vodovodní sítě (v odůvodněných případech je možné 0,7 MPa),
- **0,20 MPa** je minimální hydrostatický přetlak na hydrantu pro odběr požární vody,
- **0,05 MPa** je minimální hydrodynamický přetlak na hydrantu při odběru požární vody,
- **0,05 MPa** je minimální hydrodynamický přetlak na výtokové armatuře: baterie a sprcha,
- **0,12 MPa** je minimální hydrodynamický přetlak na výtokové armatuře: tlakové splachovače.

cc BY NC SA

1. Úvod do dopravy vody

1.5. Výpočet potřeby vody pro stávající spotřebiště

Výpočet potřeby vody pro stávající spotřebiště se stávajícím vodovodem se provádí k určitému výhledovému časovému horizontu (obvykle 5 až 20 let) a měl by vycházet z podrobné analýzy vývoje spotřeby vody ve spotřebišti v minulosti a ze směrného územního plánu posuzované lokality a předpokládaného vývoje počtu bydlících a zásobovaných obyvatel, kde:

celková průměrná denní potřeba vody Q_p se stanoví podle vztahu:

$$Q_p = VFC + VVO + VNF \ (m^3/den, l/s)$$

kde

VFC: voda fakturovaná celkem, zahrnuje veškerou potřebu vody pro obyvatelstvo, tedy pro obyvatelstvo, průmysl a občanskou vybavenost.

CC BY NC SA

1. Úvod do dopravy vody

1.5. Výpočet potřeby vody pro stávající spotřebiště

VFC se stanovuje pomocí specifické potřeby vody fakturované celkem podle vztahu:

$$\mathbf{VFC} = \mathbf{Q_{sp}} \cdot \mathbf{PO}\ (m^3/den,\ l/s)$$

kde

Q_{sp}: specifická potřeba vody fakturované celkem (l/obyv/den), která se stanoví na základě analýzy spotřeby vody fakturované v spotřebišti. Závisí na velikosti spotřebiště a rozsahu občanské a technické vybavenosti a měla by se pohybovat kolem 120 l/obyv/den,

PO: počet zásobovaných obyvatel (stávající nebo výhledový).

CC BY NC SA

1. Úvod do dopravy vody

1.5. Výpočet potřeby vody pro stávající spotřebiště

VVO je potřeba vody významné výhledové ostatní odběratele, která se stanoví individuálně na základě konkrétních projektů v hodnotách průměrných, maximálních denních a maximálních hodinových potřeb. V případech, kdy nejsou k dispozici konkrétní přehledy potřeb pitné vody pro nestandardní odběratele, doporučuje se provést srovnávací analýzu s potřebami podobných odběratelů. Další možností je přiměřená aplikace směrných čísel spotřeby vody.

CC BY NC SA

1. Úvod do dopravy vody

1.5. Výpočet potřeby vody pro stávající spotřebiště

VNF je voda nefakturovaná, která se stanoví z jednotlivých úniků a výhledové délky vodovodní sítě podle následujícího vztahu:

$$\mathbf{VNF = (JUVNF \cdot L) / (86\,400 \cdot 365)}\ (l/s)$$

kde

JUVNF: jednotkové úniky vody nefakturované (m^3/km/rok) se stanoví na základě analýzy vývoje ztrát vody posuzovaného spotřebiště v uplynulém období a jejich odhad pro výpočet výhledové potřeby vody se upraví s ohledem na předpokládaný vývoj v této oblasti,

L: celková (výhledová) délka vodovodních řadů.

CC BY NC SA

1. Úvod do dopravy vody

1.5. Výpočet potřeby vody pro stávající spotřebiště

Z průměrné denní potřeby vody $\mathbf{Q_p}$ a navržených koeficientů denní a hodinové nerovnoměrnosti se pak stanoví:

i) $\mathbf{Q_m}$ maximální denní potřeba vody,

ii) $\mathbf{Q_h}$ maximální hodinová potřeba vody podle následujících vztahů:

$$\mathbf{Q_m = Q_p \cdot k_d}\ (m^3/den, l/s)$$

a

$$\mathbf{Q_h = Q_m \cdot k_h}\ (m^3/hod, l/s)$$

CC BY NC SA

1. Úvod do dopravy vody

1.6. Výpočet potřeby vody pro nové spotřebiště

V České republice se jedná již o velmi malá spotřebiště, většinou na úrovni malých obcí s malým počtem obyvatel. Nicméně návrh je možné implementovat i na nové zástavby rodinných, bytových domů nebo průmyslových areálů.

Ve výpočtu postupujeme obdobně jako u spotřebišť se stávajícím vodovodem. U malých spotřebišť se doporučuje uvažovat koeficient denní nerovnoměrnosti k_d v intervalu hodnot 1,4 až 1,6 a koeficient hodinové nerovnoměrnosti k_h v intervalu hodnot 1,8 až 2,0.

Jednotkové úniky vody nefakturované JUVNF uvažujeme u těchto vodovodů 3 200 m^3/km/rok.

cc BY NC SA

2. Čerpací stanice

Čerpací stanice jsou součástí vodárenských celků pro zásobování spotřebiště pitnou vodou a je jich využíváno v případě, kdy není možné zajistit dodávku vody gravitačně. Hlavními požadavky na tyto objekty jsou jednoduchost, bezpečnost a hospodárnost. Čerpací stanice jsou v distribučních systémech zařazovány pro čerpání surové vody ze zdrojů nebo zajištění potřebných tlakových poměrů.

cc BY NC SA

2. Čerpací stanice

Na základě výškových poměrů, vydatnosti zdroje, základových podmínek a způsobu dopravy lze čerpací stanice rozdělit na:

i) podzemní a ii) povrchové.

Dále lze čerpací stanice rozdělit dle hloubky hladiny zdroje na:

i) vertikální (jímání podzemní vody) a ii) horizontální (jímání povrchové vody).

Podle stavebního uspořádání lze rozčlenit čerpací stanice do pěti typů: i) čerpací stanice stojící samostatné, ii) u akumulačních vodojemů, iii) nad studnou, iv) nad akumulačními nádržemi a v neposlední řadě v) u úpravny vody.

cc BY NC SA

2. Čerpací stanice

Čerpací stanice samostatné jsou obvykle navrhovány jako podzemní objekty u středních a velkých vodovodů. Jejich součástí je strojovna s čerpadly a ostatním strojním a elektrotechnickým vybavením, a armaturní komora pro sací a výtlačné potrubí. Podobné vystrojení je charakteristické pro čerpací stanice nad akumulačními nádržemi s rozdílem umístění armaturní komory, v tomto případě nad akumulační nádrží nebo vedle ní.

BY NC SA

2. Čerpací stanice

Čerpací stanice u akumulačních vodojemů jsou navrhovány v místech přečerpávání do vyšších tlakových pásem. Jejich vystrojení je podobné jako u samostatných čerpacích stanic, přičemž sací potrubí je zapojeno do nádrže vodojemu.

Čerpací stanice nad studnou jsou menšími stavebními objekty s malým počtem čerpadel. Jsou využívání zejména v místech s nízkou hladinou podzemní vody, a tedy nutností využití vertikálních ponorných čerpadel.

Čerpací stanice u úpravny vody tvoří nedílnou součást celého objektu a její návrh odpovídá dispozici a potřebám úpravny vody.

CC BY NC SA

2. Čerpací stanice

Čerpadla jsou stroje sloužící k dopravě tekutin a kalů. Podle způsobu přeměny mechanické práce (jíž je čerpadlo uváděno do činnosti) na potenciální energii (vytlačování, čerpání vody) rozlišujeme čerpadla na dvě hlavní skupiny:

- i) hydrodynamická,
- ii) hydrostatická.

Třetí skupinou jsou pak ostatní čerpadla kam patří zařízení čerpající a dopravující kapalinu na základě jiných principů než u čerpadel hydrodynamických a hydrostatických (např. Archimédův šroub).

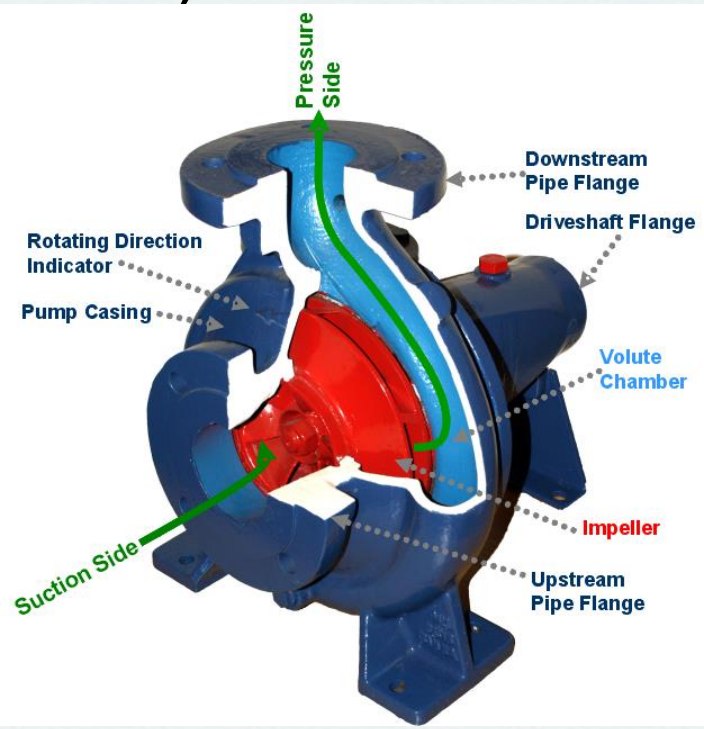
cc BY NC SA

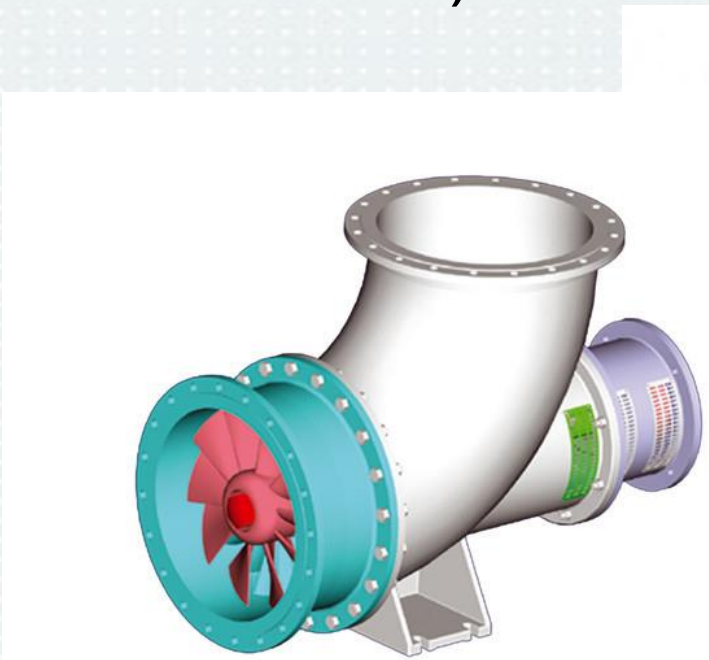
2. Čerpací stanice

i) Hydrodynamická čerpadla jsou čerpadla s nepřímou přeměnou mechanické energie v kinetickou a potenciální energii kapaliny. Mezi nejběžnější hydrodynamická čerpadla řadíme:

a) odstředivá

b) axiální čerpadla.





cc BY NC SA

2. Čerpací stanice

ii) Hydrostatická čerpadla jsou objemová čerpadla s přímou přeměnou mechanické energie v potenciální hydraulickou energii na a) rotační (např. zubová, vřetenová, lamelová, s rotujícími písty), b) s kmitavým pohybem (pístová, plunžrová, membránová), c) hadicová a d) kombinovaná.

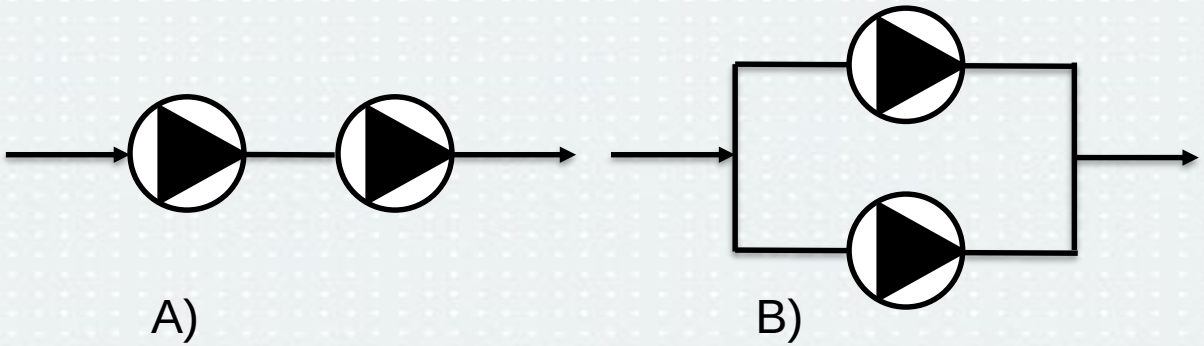
Hydrostatická čerpadla se ve vodárenství používající především jako čerpadla dávkovací. Například pro dávkování různých chemikálií, které slouží k úpravě a desinfekci vody. Pro čerpání (dopravu) vody se běžně nepoužívají.

cc BY NC SA

2. Čerpací stanice

A) Sériové zapojení čerpadel (za sebou)

- Používá se pro zvýšení dopravní výšky čerpadel pro stejném průtoku. Při tomto je nutno zohlednit skutečnost, že následující čerpadlo má na sání tlak, který je roven výtlačnému tlaku čerpadla předchozího. Obecně se tento problém řeší zvýšením tlaku čerpadla řeší čerpadlem vícestupňovým.



B) Paralelní zapojení (vedle sebe)

- Používá se pro sčítání průtoků při konstantním tlaku. Charakteristika paralelně pracujících čerpadel se získá sečtením příslušných průtoků při stejné dopravní výšce. Prakticky je ovšem potřeba dávat pozor na to, že při rostoucím průtoku rostou i tlakové ztráty potrubí a skutečný provozní bod čerpadel leží na vyšší úrovni dopravní výšky (tlaku). To vede menšímu vzrůstu průtoku, než by se očekávalo při prostém sečtení původních průtoků.

cc BY NC SA

3. Vodojemy

Vodojemy jsou samostatné vodárenské objekty pro akumulaci vody skládající se z jedné nebo více akumulačních nádrží a jedné nebo více armaturních komor. Vodojemy mohou plnit funkci zásobní pro zajištění potřebné akumulace vody a také tlakovou pro zajištění tlakových poměrů v síti. Dle stavební dispozice lze rozdělit vodojemy na zemní se dnem pod přirozenou nebo plánovanou kótou terénu, obvykle se zasypanými nádržemi a zpravidla i částečným obsypem armaturní komory, a věžové vodojemy umístěné na nosné konstrukci. Volba konstrukce vodojemu je závislá na konfiguraci terénu a na podmínkách pro zakládání.

CC BY NC SA

3. Vodojemy

Dle účelu, funkce a z hlediska jejich dimenzování lze rozdělit vodojemy do pěti druhů, a to:

- vodojemy zásobní a vodojem tlakového pásma pro zajištění zásobování rozvodné sítě vodou a udržení tlakových poměrů v síti;
- vodojemy přerušovací slouží k přerušení tlaku;
- vodojemy prací vody, které jsou samostatnými objekty úpraven vody pro zajištění zásoby vody pro praní filtrů;
- vodojemy provozní slouží pro zajištění zásoby vody pro provoz vodovodních objektů, zejména úpraven vody;
- vodojemy regulační pro zajištění hydraulické funkce u dlouhých gravitačních přivaděčů.

cc BY NC SA

3. Vodojemy

Objem vody ve vodojemu je stanoven na základě jeho funkce ve vodovodu. Provoz vodojemu je řízen provozním řádem. V armaturní komoře jsou umístěny ovládací armatury, tvarovky, měřící zařízení (měření průtoku, tlaků, hladiny), zařízení pro případnou doplňkovou desinfekci a hygienické zabezpečení kvality vody, často také čerpadla a vybavení čerpacích stanic a v neposledním případě potrubí rozdělené dle účelu…

BY NC SA

3. Vodojemy

… potrubí rozdělené dle účelu:

• přívodní potrubí na přítoku do jednotlivých akumulačních komor vodojemu včetně regulačního ventilu (nebo plovákového uzávěru) vyvedené nad maximální provozní hladinu;

• odběrné potrubí nad úrovní kalové jímky u dna nádrže k odběru vody z vodojemu včetně vodoměrů a uzávěrů na odtoku z jednotlivých akumulačních komor a společném odtokovém potrubí;

• bezpečnostní přepad se stejnou nebo větší jmenovitou světlostí DN než přítokové potrubí bez uzávěrů určující maximální hladinu;

• odpadní potrubí sloužící k vypouštění vodojemu při jeho čištění umístěné v kalové jímce akumulační nádrže.

BY NC SA

3. Vodojemy

- Základní funkce vodojemu: i) zajištění tlakových poměrů ve vodovodní síti, ii) zajištění potřebné akumulace vody,
- maximální hladina: hladina vody v nádrži vodojemu při odtoku vody přelivem, respektive hrana přelivu,
- minimální hladina: uvažuje se na úrovni horní hrany konstrukce dna,
- horní provozní hladina: uvažuje se 50 až 200 mm pod hranou přelivu, vymezuje horní úroveň využitelného objemu vody v nádrži,
- dolní provozní hladina: je stanovena podle čelu a funkce vodojemu, většinou je vymezena provozní akumulací pro vyrovnání rozdílů mezi přítokem a odběrem,
- využitelný objem vodojemu: je tvořen 3 dílčími akumulacemi: A_h provozní akumulace (vyrovnává nerovnoměrnost mezi přítokem vody do vodojemu a odběrem), A_p akumulace požární vody A_r rezervní akumulace vody (pro případ poruchy na přítoku do vodojemu).

cc BY NC SA

3. Vodojemy

Návrh provozní akumulace A_h se nejčastěji stanoví tabelárně porovnáním přítoku a odběru z vodojemu v jednotlivých hodinách dne pro maximální denní potřebu vody. Ze součtové čáry rozdílů mezi přítokem a odběrem v jednotlivých hodinách se sečtou absolutní hodnoty nevětšího záporného a kladného rozdílu. Součet těchto dvou hodnot stanoví potřebný objem provozní akumulace vodojemu A_h. Její velikost závisí na charakteru a počtu hodin přítoku vody do vodojemu a časovém rozdělené odběrů z vodojemu.

BY NC SA

3. Vodojemy

Návrh provozní akumulace A_h se pak pohybuje v rozmezí:

$$\mathbf{A_h = 15 \text{ až } 35\ \% \ Q_m}\ (m^3)$$

Minimálních hodnot z Q_m dosahuje při konstantním gravitačním 24 hodinovém přítoku do vodojemu a malé nerovnoměrnosti v odběrech z vodojemu charakterizovanou hodnotami k_h = 1,5 až 2,0

Maximálních hodnot z Q_m dosahuje při přítoku do vodojemu zajišťovaném čerpáním s dobou kratší než 17 hodin a vysokou nerovnoměrností v odběrech vody z vodojemu charakterizovanou hodnotami k_h = 2,0 až 2,5.

BY NC SA

3. Vodojemy

Návrh akumulace požární vody A_p se stanovuje podle vztahu:

$$A_p = 3,6 \cdot Q_p \cdot t \cdot n \ (m^3)$$

kde

Q_p je odběr požární vody v l/s z odběrného místa dle ČS 73 0873 a pohybuje se v závislosti na charakteru zástavby v rozmezí 7,5 až 40 l/s,

t je doba v hodinách, po kterou je nutno zajistit odběr pro požární účely, minimálně 0,5 hodiny, doporučená hodnota pro bytovou zástavbu je 2 hodiny,

n je počet odběrných míst požární vody, pro běžnou zástavbu n = 1.

cc BY NC SA

3. Vodojemy

Návrh rezervní akumulace A_r pro případ výpadku zdroje vody případně poruchy na přítoku vody do vodojemu se provádí v závislosti na charakteru přítoku vody do vodojemu a významu odběratelů ve spotřebišti. Běžně se rezervní akumulace stanovuje podle vztahu:

$$A_r = 50\%\ Q_m\ (m^3)$$

Návrh celkové akumulace vodojemu Ac se pak stanoví z následujícího vztahu:

$$A_c = A_h + A_p + A_r\ (m^3)$$

Celková akumulace vodojemu musí podle ČSN 73 6650 činit minimálně 60% Q_m.

BY NC SA

4. Vodovodní sítě

Vodovodní sítě jsou nedílnou součástí provozně samostatného souboru staveb a zařízení – vodovodu. Vodovod je soubor objektů a zařízení, zpravidla zahrnující odběrný objekt, úpravnu vody, čerpací stanici, vodojemy, vodovodní řady a vodovodní síť, zabezpečující zásobování vodou pro různé odběratele. Vodovodní řad je úsek vodovodního potrubí včetně stavební části objektů určený k plnění určité funkce v systému dopravy vody ve vnější rozvodné síti.

CC BY NC SA

4. Vodovodní sítě

Vodovodní přípojka je v souladu s dle Zákona o vodovodech a kanalizacích č. 274/2001 Sb. ve znění pozdějších předpisů samostatnou stavbou tvořenou úsekem potrubí od odbočení z vodovodního řadu k vodoměru, a není-li vodoměr, pak k vnitřnímu uzávěru připojenému pozemku nebo stavby. Odbočení s uzávěrem je součástí vodovodu. Vodovodní přípojka není vodním dílem (§ 3 zákona č. 274/2001 Sb.) Vodovodní přípojka spojuje rozvodnou síť vodovodu pro veřejnou potřebu s vnitřním vodovodem nemovitosti.

BY NC SA

4. Vodovodní sítě

Podle území, které vodovody zásobují vodou, rozlišujeme:

- samostatný vodovod (není zapojen do sítě, zásobuje jeden nebo několik objektů z místního zdroje);
- místní síť (zásobují jednu obec nebo město);
- skupinová síť (zásobují několik měst či obcí);
- oblastní síť (zásobují velké množství spotřebišť).

BY NC SA

4. Vodovodní sítě

Dle výškového uspořádání rozlišujeme gravitační a výtlačné vodovody. V případě gravitačního (spádového) vodovodu k dopravě vody není třeba energie na provoz čerpadel, voda stéká samospádem z výše položených vodovodních nádrží (vodojemů) do níže položených míst. Výškový rozdíl mezi vodojemem a vodovodní přípojkou spotřebitele musí být takový, aby byl k dispozici tlak alespoň 250 kPa (v případě jednopodlažní zástavby 150 kPa) a zároveň byl k dispozici tlak na nejvyšší výtokové armatuře alespoň 50 kPa. Mnohem častěji jsou však využívané výtlačné vodovody, jelikož vodní zdroj se nachází často ve stejné výšce jako spotřebiště. V tomto případě je voda ze zdroje čerpadly vháněna do tlakových zásobníků vody. V těchto uzavřených tlakových nádobách je požadovaný tlak vody udržován stlačeným vzduchem.

cc BY NC SA

4. Vodovodní sítě

Podle plošného uspořádání vodovodní sítě lze rozlišit vodovodní sítě na větvené, okruhové a kombinované. V případě větvené vodovodní sítě vede z vodojemu hlavní větev vodovodního řadu, ze které jsou vyvedeny odbočky ke koncovým spotřebitelům. Výhodou tohoto systému jsou malé náklady na výstavbu. Hlavní nevýhodou větvené sítě však je, že v případě poruchy hlavního řadu není voda dodávána velkému počtu obyvatel. Využitím okruhové sítě jsou vodovodní řady zapojeny do kruhu tak, aby bylo možné všechny části rozvodu zásobovat ze dvou stran, což je výhodné při poruchách. Výhodou okruhové sítě je také stálá cirkulace vody a vyrovnanější tlakové poměry v síti.

CC BY NC SA

4. Vodovodní sítě

Dalšími objekty na vodovodní síti jsou:

- čerpací stanice sloužící k vytvoření potřebného přetlaku ve vodovodní síti;
- armaturní šachty, které se zřizují z důvodu přístupu k uzávěrům, odvzdušňovacím a redukčním ventilům nebo vodoměrům;
- vodojemy plnící funkci akumulace vody;
- vzdušníky umožňující odvzdušnění vodovodní sítě umístěné do vrcholových bodů potrubí;
- kalníky umožňující vypouštění kalu z vodovodní sítě umístěné do nejnižších bodů potrubí.

BY NC SA

4. Vodovodní sítě

Základní ustanovení ČSN 75 5401 pro návrh vodovodní sítě:

- Vodovodní potrubí veřejného vodovodu se nesmí propojovat s potrubím užitkové vody a ani s potrubím z jiného zdroje vody, který by mohl omezit jakost vody a provoz vodovodního systému,
- doporučená nejmenší šířka ochranného pásma potrubí vodovodu ve volném terénu je 2,0 m od vnějšího okraje potrubí vodorovně na obě strany (dle zákona č. 274/2001 Sb. je minimálně 1,5 m),
- dimenzování rozvodné vodovodní sítě malých lokalit do 150 přípojek se doporučuje posoudit podle normy ČSN 75 5455,
- u potrubí z nekovových materiálů nebo z kovových materiálu nevodivě spojených je nutné navrhnout kovový vyhledávací vodič spojený s kovovými armaturami a navazujícím kovovým potrubím, aby bylo možné následně zjistit polohu potrubí v zemi,

BY NC SA

4. Vodovodní sítě

Základní ustanovení ČSN 75 5401 pro návrh vodovodní sítě:

- …vodovodní potrubí do DN 200 se navrhuje v podélném sklonu nejméně 0,3 % (tj. převýšení 3 mm na jeden metr délky potrubí), od DN 250 až DN 500 ve sklonu nejméně 0,1 % a pro potrubí nad DN 600 ve sklonu nejméně 0,05 %. Při podélném sklonu potrubí větším než 1 % je potřeba výpočtem doložit stabilitu potrubí proti posunu,
- Potrubí je nutné staticky posoudit na jeho odolnost proti působení sil v podélné ose potrubí, vznikající od přetlaku vody v potrubí a od tepelných změn potrubí. Na odbočky, lomy (oblouky) a konce potrubí se navrhují opěrné bloky, pokud potrubí není odolné proti namáhání v podélném nebo příčném směru,
- Nejmenší doporučené krytí potrubí o světlosti menší než DN 400 je 1,2 až 1,5 v závislosti na druhu zeminy,…

cc BY NC SA

4. Vodovodní sítě

Základní ustanovení ČSN 75 5401 pro návrh vodovodní sítě:

- …vodorovná vzdálenost tepelně izolovaného vodovodního potrubí od zdrojů možného ochlazování nebo oteplování má být nejméně 1,00 m. Krytí vodovodního potrubí nemá být větší než o 1,0 m oproti doporučenému nejmenšímu krytí. V zastavěném území má být krytí vodovodního potrubí nejvíce 2,0 m. Větší krytí je možné připustit ve výjimečných případech se souhlasem majitele vodovodu,
- při převedení vodovodního potrubí pod vodními toky se musí uvažovat i budoucí úprava toku. Uložení potrubí se navrhne tak, aby krytí mezi dnem toku a vnějším povrchem potrubí (včetně izolace anebo chráničky) bylo vždy nejméně a) 0,50 m u nesplavných toků, b) 1,20 m u splavněných toků a u toků, u nichž se uvažuje se splavněním, …

CC BY NC SA

4. Vodovodní sítě

Základní ustanovení ČSN 75 5401 pro návrh vodovodní sítě:

- …křížení vodovodního potrubí s vodními toky samostatným přemístěním se řeší individuálně podle místních podmínek. Uzávěry vodovodních potrubí se mají navrhovat tam, kde je to z provozních důvodů potřebné, např. na odbočujícím potrubí, při potřebě vytvořit úseky, na shybkách splavných toků a pro regulaci průtoku vody,
- Na rozvodné vodovodní síti se navrhují uzávěry: a) v místech rozvětvení sítě tak, aby bylo možné uzavřít úsek s poruchou, b) aby bylo možné rozváděcí potrubí uzavřít samostatně v každé ulici, c) na potrubí okruhové vodovodní sítě za a před odbočením přípojky pro odběratele, u nichž se nesmí přerušit zásobování vodou (např. nemocnice), d) podle potřeby i na odbočkách pro hydranty a výtokové stojany, …

BY NC SA

4. Vodovodní sítě

Základní ustanovení ČSN 75 5401 pro návrh vodovodní sítě:

- …uzávěry nad DN 600 se mají navrhovat s elektropohonem,
- rychlost proudění vzduchu v odbočce a ve vzdušníku nesmí překročit rychlost 25 m/s,
- na nejnižších místech potrubí se umisťují výpustě. Průměr potrubí se má navrhnout tak, aby doba vypouštění vody z přilehlých úseků nepřesáhla 2 hodiny. Redukční ventily musí být osazené v šachtě. Před redukční ventil se osadí uzávěr a manometr, za redukční ventil se osadí manometr, pojistný ventil a uzávěr,
- šachty se navrhují zejména pro vodoměry, průtokoměry, redukční ventily, vzdušníky, sekční uzávěry s elektropohonem a čistící tvarovky. Uzávěry pro vodovodní potrubí shybek pod splavnými toky se umisťují na obou stranách v šachtách, …

cc BY NC SA

4. Vodovodní sítě

Základní ustanovení ČSN 75 5401 pro návrh vodovodní sítě:

- …šachty se doporučuje zřizovat: a) pro umístění uzávěrů DN 500 a větších, b) pro umístění uzávěrů DN 300 a větších v nezastavěném území, c) v uzlech potrubí, kde je umístěno několik uzávěrů a d) v kontrolních místech měření tlaku a průtoku,
- hrdla a příruby nebo i jiné spoje potrubí musí být odsazené od stěn a dna tak, aby byla umožněna montáž a demontáž potrubí a armatur. Rozebíratelné spoje nesmí být zabudované do stavení konstrukce šachet.

BY NC SA

5. Trubní materiály

Všechny části rozvodné vodovodní sítě, které jsou ve styku s pitnou vodou, musí být navrženy a provedeny ze součástí potrubí a z materiálů, které vyhoví odpovídajícím požadavkům, aby nedošlo k nepřijatelnému zhoršení jakosti vody.

Pro výstavbu vodovodního potrubí se používaly a používají trouby kovové a nekovové, které splňují výše uvedený požadavek.

i) kovové: ocel (černá, nerezová ocel), tvárná litina, šedá litina,

ii) nekovové: sklolaminát, beton, železobeton (ŽB), azbestocement, plastické hmoty (polyetylen, polyvinylchlorid).

BY NC SA

5. Trubní materiály

Výběr materiálu pro výstavbu vodovodních sítí je založen na účelu a plánované životnosti díla. Požadovanými vlastnostmi materiálů vodovodních sítí jsou:

- plynotěsnost po celou dobu životnosti potrubí;
- vodotěsnost po celou dobu životnosti potrubí;
- bezpečnost provozu po celou dobu životnosti potrubí;
- hygienickou nezávadnost;
- odolnost materiálu na zkušební přetlak v potrubí;
- odolnost materiálu proti teplotním změnám v potrubí;
- odolnost materiálu proti mechanickému poškození;
- schopnost udržet si původní vlastnosti při stálém tlakovém a teplotním zatížení;
- hladký vnitřní povrch (omezení tlakových ztrát);
- jednoduchá montáž, údržba, oprava a výměna.

CC BY NC SA

5. Trubní materiály

V současné době jsou vzhledem k odolnosti proti korozi a malé pracnosti při montáži často užívána plastová potrubí. Plastové rozvody nejsou odolné proti požáru

a vyznačují se na rozdíl od kovových velkou tepelnou roztažností, kterou je nutno řešit při návrhu trasy a instalací potrubí správným rozmístěním pevných bodů a kompenzací délkových změn.

BY NC SA

6. Armatury a tvarovky

Armatury a tvarovky tvoří společně s troubami ucelený systém vodovodní potrubí. Armatury umožňují řízení a ovládání provozu a změny hydraulických veličin. Tvarovky umožňují změny směru trasy potrubí, přechody mezi různými světlostmi a různými druhy trub a napojení armatur na vodovodní potrubí,

cc BY NC SA

6. Armatury a tvarovky

Armatury představují akční prvky potrubí a přejímají ve vodárnách, úpravnách vody, zásobních sítích: přepojovací, řídící nebo regulační funkci. Provozní bezpečnost, pohotovost a hospodárnost těchto zařízení podstatně závisí na nasazení vhodných armatur.

Všeobecně se uzavírací armatury dělí podle:

- šoupátka,
- kohouty,
- klapky.

cc BY NC SA

6. Armatury a tvarovky

Mezi další **armatury** můžeme zařadit:

- **hydranty** (podzemní, nadzemní): jsou používané pro odběr vody přímo z vodovodní sítě. Vedle původního účelu pro hašení požárů jsou navrhovány k provozním účelům a to pro proplachování, odvzdušňování a vyprazdňování, k tlakovému odlehčení u dílčích úseků, k nouzovému odběru vody a k nouzovému napojení potrubních úseků.

cc BY NC SA

6. Armatury a tvarovky

Mezi další **armatury** můžeme zařadit:

- **vzdušníky:** jsou armatury, které se používají k eliminaci vzduchu, který s hromadí na nejvyšších či jinak specifických místech vodovodní sítě. Jejich funkce spočívá v odvedení (odvzdušnění) tohoto nashromážděného vzduchu. Při vyprazdňování potrubí, při poruchách, výpadku čerpadel a prasknutí potrubí je naopak nutné potrubí zavzdušňovat, aby se zabánilo poklesu tlaku v potrubí.

cc BY NC SA

6. Armatury a tvarovky

Mezi další **armatury** můžeme zařadit:

- **redukční ventily**: umožňují redukci tlaku, regulaci průtoku a regulaci hladiny. Také se osazují pro ochranu čerpadel před vodním rázem, pro uzavření potrubí při havárii, kdy průtok dosáhne takové hodnoty, která neodpovídá limitním provozním podmínkám.

cc BY NC SA

6. Armatury a tvarovky

Tvarovky umožňují změnu trasy potrubí, změnu profilu, připojení armatur, ukončení potrubí, odbočení, přechod mezi různými materiály potrubí apod. V závislosti na materiálu tvarovek a druhu použitých trub se pak liší i způsob zakončení tvarovky (typ spoje). Příklad rozdělení a typy tvarovek z tvárné litiny:

- přírubové (F),
- přírubové s hrdly (E),
- hrdlové (M).

cc BY NC SA

Použitá literatura

- TUHOVČÁK Ladislav, ADLER Pavel, KUČERA Tomáš, RACLAVSKÝ Jaroslav, Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia, Vodárenství, A. Úprava vody, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2006.
- TUHOVČÁK Ladislav, ADLER Pavel, KUČERA Tomáš, RACLAVSKÝ Jaroslav, Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia, Vodárenství, B. Doprava vody, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2006.
- HLAVÍNEK Petr, RAČEK Jakub, CHORAZY Tomáš, VELIKOVSKÁ Kristýna, Souhrnná výzkumná zpráva, Koncepční návrh nouzového zásobování obyvatelstva vodou za krizové situace, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Centrum AdMaS, 2019.
- ODSTŘEDVÉ ČERPADLO, dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Odst%C5%99ediv%C3%A9_%C4%8Derpadlo.
- AXIÁLNÍ ČERPADLA, dostupné z: https://www.sigmet.cz/sortiment/rozdeleni-sortimentu-dle-oboru/cerpadla-hydrodynamicka/axialni.
- VODÁRENSKÉ ARMATURY, dostupné z: https://www.vag-group.com/cz-cs.
- LITINOVÉ TVAROVKY, dostupné z: https://www.hawle.cz.
- Zákon č. 274/2001 Sb. Zákon o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích).
- ČSN 75 5401 Navrhování vodovodních potrubí.
- ČSN 73 0873 Požární bezpečnost staveb - Zásobování požární vodou
- ČSN 75 5455 Výpočet vnitřních vodovodů

cc BY NC SA

Magisterský studijní program JADERNÁ ENERGETIKA vznikl za přispění

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU

NÁRODNÍ PLÁN OBNOVY

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

NPO_VUT_MSMT-16609_2022

CC BY NC SA

VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU

NÁRODNÍ PLÁN OBNOVY

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FAKULTA CHEMICKÁ

FAKULTA STAVEBNÍ

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Přednáška magisterského studijního programu JADERNÁ ENERGETIKA

Vodní hospodářství a vzduchotechnika jaderných elektráren

Úprava vody

Fakulta stavební VUT

prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA; Ing. Jakub Raček, Ph.D.

31. 3. 2023

CC BY NC SA

Obsah prezentace

1. Použitá terminologie
2. Jímání a kvalita vody
3. Úprava vody
4. Legislativní rámec

BY NC SA

1. Použitá terminologie

Surová voda je voda odebraná z přírodního prostředí pro účely úpravy na pitnou vodu. Dle místa odběru lze surovou vodu rozdělit na dva základní druhy vody, a to na podzemní a povrchovou vodu:

- podzemní voda závisí na prostředí, ze kterého je odebíraná. Podzemní vody lze rozlišit na vody průlinové, puklinové, krasové případně vody ze štěrkopískových zvodní,
- povrchovou vodu lze dále rozdělit na tekoucí a stojatou, přičemž tekoucí voda může být bystřinného nebo říčního původu. Voda stojatá je voda z jezer, rybníků, údolních nádrží a moří.

BY NC SA

1. Použitá terminologie

Ze surové vody vyrobená **voda pitná** pak splňuje řadu kvalitativních parametrů, které zabezpečí fyziologické a hygienické potřeby lidí a zároveň v žádném ohledu negativně neovlivní jejich zdraví ani přirozenou existenci.

Zásobování vodou je souhrn činností, jejichž účelem je zabezpečit potřebné množství vody požadované jakosti pro potřeby uživatelů.

Veřejné zásobování pitnou vodou je zásobování vodou z veřejného vodovodu, veřejné studny označené jako zdroj pitné vody, nebo soukromé studny využívané k takové komerční činnosti, kde je vyžadováno užití pitné vody.

CC BY NC SA

1. Použitá terminologie

Individuálním zásobováním pitnou vodou je zásobování vodou z jednoho zdroje, např. domovní studny, s denní produkcí menší než 10 m^3 vody nebo zdroje zásobujícího maximálně 50 osob, pokud tato voda není užívána k takové komerční činnosti, kde je vyžadováno užití pitné vody nebo jako studna veřejná.

Pitná voda je veškerá voda buď v jejím původním stavu nebo po úpravách, určená k lidské spotřebě, tj. k pití, vaření, příprav potravin nebo k jiným účelům v domácnostech, a to bez ohledu na její původ a na to, zda je dodávána z rozvodné sítě, ze zásobníku nebo v lahvích i kontejnerech, voda používaná v jakémkoli potravinářském výrobním zařízení.

CC BY NC SA

1. Použitá terminologie

Vodní zdroj je vodní útvar povrchové nebo podzemní vody, kterou lze použít pro uspokojení potřeb člověka.

Náhradní zásobování vodou (NZV) je činnost, jejímž účelem je zabezpečit potřebné množství vody požadované jakosti pro potřeby uživatelů při přerušení dodávky vody z veřejného vodovodu v důsledku jeho oprav nebo havárií. NZV je způsob řešení zásobování vodou v krizových situacích, jehož účelem je zabezpečení nezbytného množství vody požadované jakosti v případech, kdy stávající systém zásobování vodou je zcela nebo částečně nefunkční. NZV je časově omezeno na dobu nezbytně nutnou.

BY NC SA

2. Jímání a kvalita vody

Základními procesy úpravy vody nebo jejich kombinací je jímaná surová voda upravována na vodu pitnou, užitkovou anebo na vodu pro speciální využití, např. vodu změkčenou nebo zušlechtěnou. Pomocí **základních principů úpravy vody**, ať už fyzikálních, chemických nebo biologických, lze dosáhnout řady technologických procesů. **Takto upravená voda je obvykle čerpána nebo gravitačně přiváděna do vodojemů a následně distribuována prostřednictvím vodovodní sítě do spotřebiště**.

cc BY NC SA

2. Jímání a kvalita vody
2.1. Surová voda z podzemních zdrojů

Pro **jímání surové vody z podzemních zdrojů** jsou navrhována zařízení vertikální (studny), horizontální (zářezy, štoly, galerie), kombinované (radiální studny) nebo systémy podchycování pramenů (pramenní jímky). Podzemní vody jsou pro vodárenské účely vhodnější, jelikož jsou lépe chráněny před znečištěním než povrchové vody. Teplota podzemních vod je stálá a se pohybuje v rozmezí 5 – 13 °C a s hodnotou pH mezi 5,5 – 7,5. Jejich kvalita a chemické složení závisí na hloubce výskytu a vlastnostech prostředí.

CC BY NC SA

2. Jímání a kvalita vody
2.1. Surová voda z podzemních zdrojů

Podzemní vody jsou charakteristické vyššími koncentracemi CO_2 a nízkými nebo nulovými koncentracemi organických látek v důsledku filtrační schopnosti půdy. Tyto vody obsahují vysoké množství hydrogenuhličitanů, síranů, vápníku, hořčíku, sodíku a chloridů. Pokud je zdroj podzemní vody v nízkých hloubkách, bývají vody často obohaceny o dusičnany. Obsah kyslíku je však velmi nízký, často jsou podzemní vody jímány z anoxického prostředí. Vody z hlubších horizontů jsou obvykle charakterizovány vyšší koncentrací kovů.

BY NC SA

2. Jímání a kvalita vody
2.2. Surová voda z povrchových zdrojů

Systémy **jímání surové vody z povrchových zdrojů** se rozlišují dle charakteru zdroje, tj. jedná-li se o vodu tekoucí nebo stojatou. V tekoucích vodách jsou využívány břehová jímadla nebo jímadla řečištní s odběrem vody ve dně nebo nade dnem.

Povrchové vody se, na rozdíl od vod podzemních, vyznačují vyšší chemickou rozmanitostí, vyššími koncentracemi organických látek a rozpuštěného kyslíku. Naproti tomu jsou charakteristické nízkými koncentracemi oxidu uhličitého. Povrchové vody mají velmi nestálou teplotu a zásaditější charakter s hodnotami pH v rozmezí 6,0 – 8,5. Obsah kyslíku je závislý na teplotě, obsahu biologicky rozložitelných látek a fotosyntéze.

CC BY NC SA

3. Úprava vody

Princip úpravy vody je složen z dílčích fyzikálních, chemických a biologických technologických procesů.

Mezi **fyzikální procesy** se řadí cezení vody, hrubé či jemné odlučovače nečistot, aerace, prostá sedimentace, mechanická filtrace a adsorpce vody.

Mezi **chemické procesy** patří koagulace a koagulační filtrace, flokulace, flotace, čiření, chemické odželezování a odmanganování, odkyselení, desinfekce, iontová výměna a další.

Biologické a mikrobiologické technologické procesy zahrnují likvidaci producentů znečištění konzumenty, likvidace organického a anorganického znečištění působením mikroorganismů je nazývána mineralizace znečištění.

CC BY NC SA

3. Úprava vody

Úprava vody a zařazení jednotlivých technologických procesů je založena na kvalitě surové vody a jejím účelu. Dle těchto parametrů jsou navrhovány úpravny vody s odpovídajícím rozsahem úpravy, a to:

- jednoduchá úpravna vody bez separačního stupně;
- úprava vody s jednostupňovou separací;
- úprava vody s dvoustupňovou separací;
- úprava vody s vícestupňovou separací, případně doúpravou vody bez použití třetího stupně separace.

CC BY NC SA

3. Úprava vody
3.1. Jednoduchá úprava vody

Jednoduchá úpravna vody je využívána pro úpravu minimálně znečištěné surové vody bez potřeby separace produktů znečištění. Tento způsob úpravy vody je vhodný především pro úpravu podzemní vody s nízkými koncentracemi železa a manganu. Jednoduchá úprava bývá založena na aeraci, tedy mechanickém provzdušňování. Aerací, kterou jsou z vody odstraňovány plyny a pachy, lze také podpořit oxidaci vody a tím zlepšit její organoleptické vlastnosti a snížit její agresivitu vůči materiálu rozvodného potrubí nebo spotřebičům.

CC BY NC SA

3. Úprava vody
3.1. Jednoduchá úprava vody

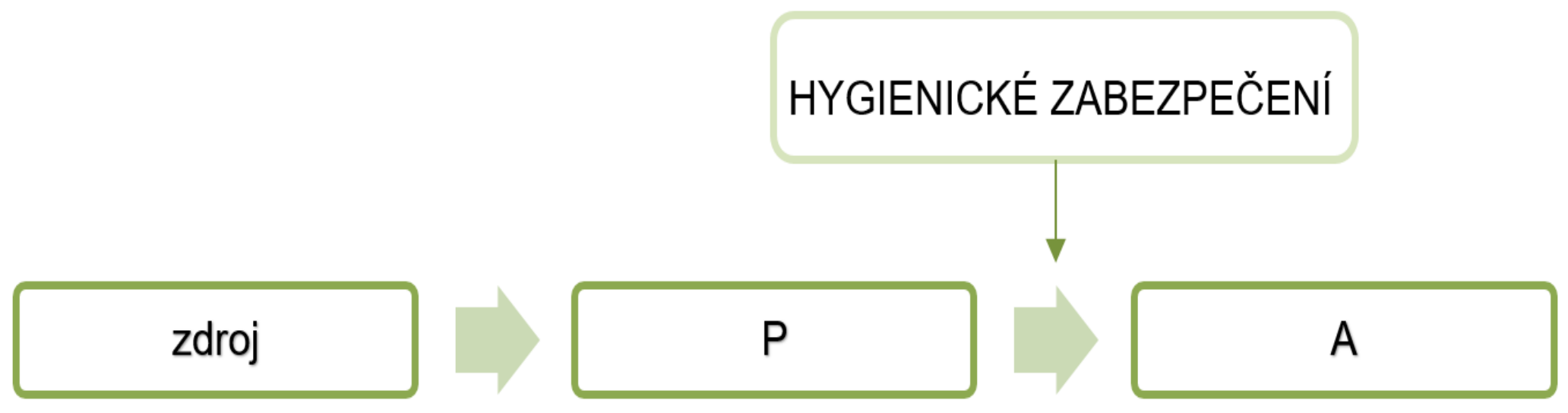


Schéma jednoduché úpravny vody (Legenda: P – provzdušnění, A – akumulace)

BY NC SA

3. Úprava vody
3.2. Úprava vody s jednostupňovou separací

Úprava vody s jednostupňovou separací je založena na zařazení separačního zařízení do technologické linky. V případě pitné vody je tímto stupněm vždy filtrace, kterou může být pomalá biologická filtrace, mechanická prostá filtrace nebo koagulační filtrace.

V případě úpravy podzemí vody je obvykle součástí procesu předúprava aerací nebo dávkování chemikálií s následnou koagulací pro oxidaci dvojmocného železa a manganu do separovatelné podoby. V rámci předúpravy je také možné dávkování alkalizačního činidla pro zvýšení pH a lepší separaci manganu. Takto upravená podzemní voda je v rámci doúpravy desinfikována před její akumulací a distribucí do spotřebiště.

Jednostupňová úprava povrchové vody zahrnuje v rámci předúpravy procesy koagulace a flotace následované koagulační filtrací. Doúprava této vody je obvykle založena na úpravě pH alkalizačním činidlem a desinfekcí.

cc BY NC SA

3. Úprava vody
3.2. Úprava vody s jednostupňovou separací

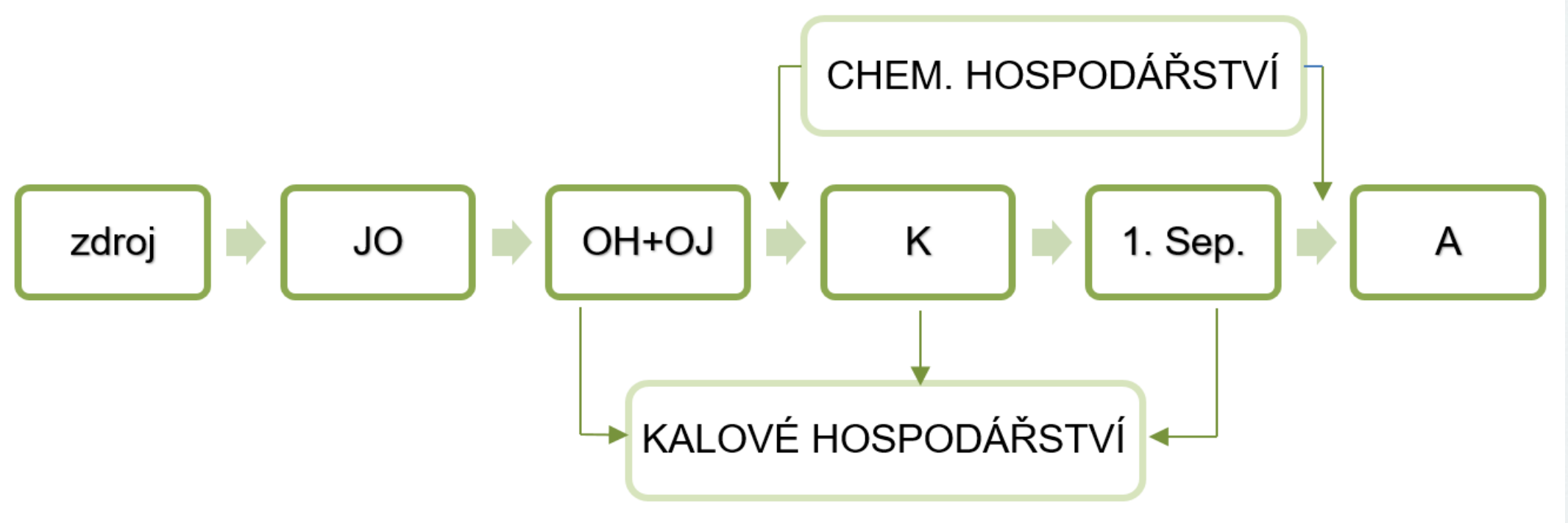


Schéma úpravny vody s jednostupňovou separací (Legenda: JO – jímací objekt, OH+OJ – odlučovače jemné a odlučovače hrubé, K – koagulace, flokulace, 1. Sep. – první separační stupeň - filtrace, A – akumulace)

BY NC SA

3. Úprava vody

3.3. Úprava vody s dvoustupňovou separací

Úprava vody s dvoustupňovou separací je využívaná při vyšších koncentracích suspendovaných a rozpuštěných látek v surové vodě, např. pro vyšší obsah železa a manganu než 5 $mg \cdot l^{-1}$. Tento technologický proces zahrnuje, oproti jednostupňové úpravě, navíc druhý separační stupeň – opět filtrace. Pro první stupeň filtrace je v rámci dvoustupňového technologického postupu využíváno mikrofiltrů, filtrů, sedimentačních nádrží, čiřičů s vločkovým mrakem a flotace vody. Doúprava takto upravené vody je totožná s doúpravou jednostupňové úpravy vody.

cc BY NC SA

3. Úprava vody
3.3. Úprava vody s dvoustupňovou separací

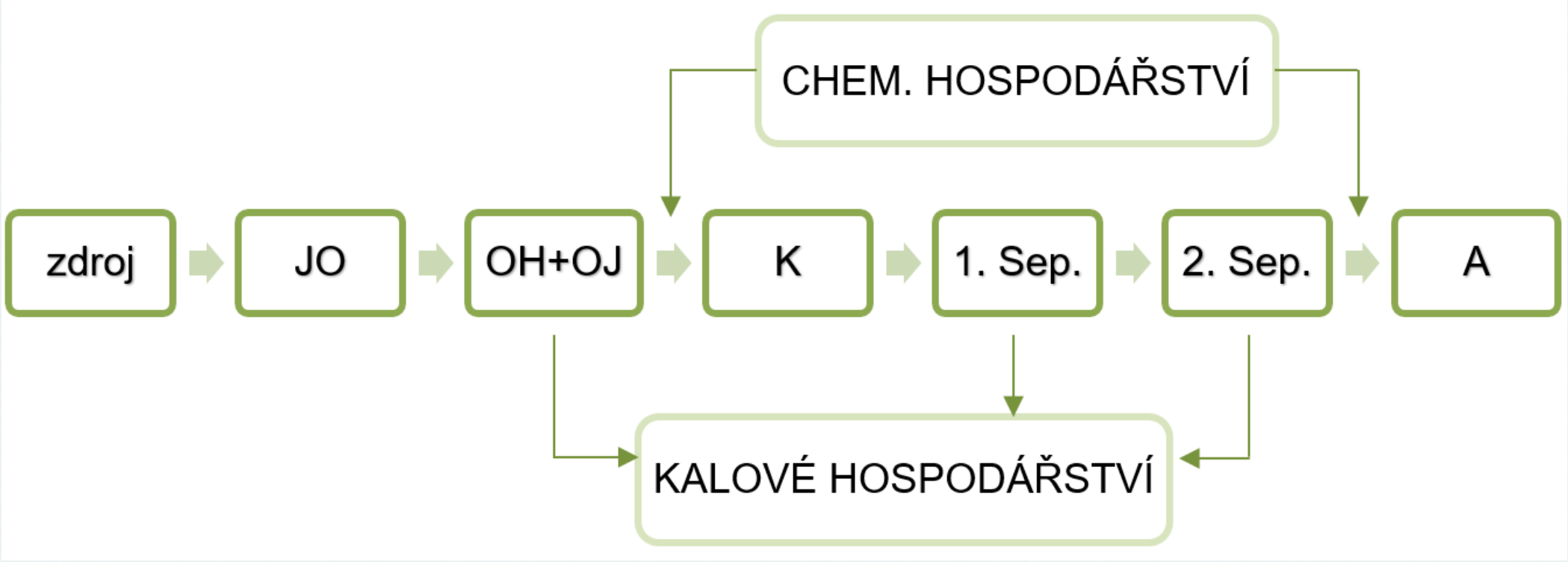


Schéma úpravny vody s dvoustupňovou separací (Legenda: JO – jímací objekt, OH+OJ – odlučovače jemné a odlučovače hrubé, K – koagulace, flokulace, 1. Sep. – první separační stupeň - filtrace, A – akumulace)

BY NC SA

3. Úprava vody
3.3. Úprava vody s vícestupňovou separací

Úprava vody s vícestupňovou separací je využívaná v případě značně znečištěných surových vod nebo při mimořádném požadavku na kvalitu upravené vody. Doúprava je v těchto systémech tvořena doúpravou bez separace (zušlechtěním vody ozonizací, provzdušněním) nebo nahrazena třetím separačním stupněm.

Příkladem **třístupňové úpravy podzemní vody** může být: 1. sedimentace, 2. odželezování filtrací, 3. odmanganování filtrací.

Úprava povrchové vody může zahrnovat: 1. sedimentaci (popř. čiření nebo flotaci), 2. pískovou filtraci, 3. filtraci s aktivním uhlím v rámci doúpravy (popř. pomalá biologická filtrace).

cc BY NC SA

3. Úprava vody
3.4. Předúprava vody

Fáze předúpravy zahrnuje takové technologické procesy, které vedou ke zlepšení upravitelnosti surové vody v dalších fázích úpravy. Procesy předúpravy mohou probíhat přímo ve zdroji, při odběru, v přívodu surové vody nebo na vstupu do úpravny. Konkrétně se jedná o mechanické předčištění, provzdušňování, úpravu pH nebo sezónní opatření.

cc BY NC SA

3. Úprava vody
3.4. Předúprava vody

Mechanické předčištění

Mechanické předčištění je používáno převážně u povrchových zdrojů vod, zřídka u podzemních zdrojů, a to velmi často jako součást jímacího zařízení nebo bezprostředně za ním. Hlavní důvod nasazení mechanického předčištění je odstranění plovoucích a hrubě suspendovaných látek v počátku procesu úpravy, čímž je zajištěna ochrana před poškozením navazujících technologických procesů a zařízení, např. čerpadel, nebo ucpáním trubního vedení. K těmto procesům jsou využívány česle, síta, bubnové mikrosítové filtry a lapáky písku.

cc BY NC SA

3. Úprava vody
3.4. Předúprava vody

Mechanické předčištění

Česle jsou zařízení složená ze svislých tyčí (česlic) osazených obvykle v rámu do betonového žlabu ve vhodných vzdálenostech a sklonu, které slouží k odstraňování větších plovoucích a unášených částic, jako jsou např. listy nebo větve. Podle velikostí průlin mezi česlicemi rozlišujeme hrubé, střední a jemné česle.

Mikrosíta, také nazývané mikrocezy, jsou zařízení tvořená bubnem, jehož povrch je tvořen jemným pletivem. Voda přiváděná do otáčivého bubnu jednou otevřenou základnou vytéká jeho povrchem.

cc BY NC SA

3. Úprava vody
3.4. Předúprava vody

Mechanické předčištění

Lapáky písku jsou osazovány do jímacího objektu nebo bezprostředně za něj pro zachycení hrubozrnných anorganických částic (písku, hlíny, …). Podstatou lapáku písku je snížení rychlosti nebo změna směru proudění tak, aby zachycované částice klesly ke dnu lapáku. Lapáky písku lze rozdělit na vertikální a horizontální.

BY NC SA

3. Úprava vody
3.4. Předúprava vody

Aerace

Mezi procesy předúpravy patří také aerace sloužící k odkyselování vody (odstraňování oxidu uhličitého) a oxidaci (obohacování vody kyslíkem). Veškeré vody nacházející se v přírodním prostředí obsahují jisté množství rozpuštěných plynů. Značný obsah oxidu uhličitého u podzemní vody způsobuje kyselost vody a pH této vody dosahuje často výrazně hodnot pod hranicí pH neutrální. Provzdušňování vody je možné rozdělit dle technického principu do tří kategorií: i) gravitační, ii) trysková a iii) difuzová.

cc BY NC SA

3. Úprava vody
3.5. Koagulace, flokulace

Koagulace a flokulace je proces úpravy vody pro odstranění koloidních a jemně suspendovaných látek, ve kterém dochází k destabilizaci koloidních látek a jejich následného shlukování do větších separovatelných útvarů pod vlivem působení dávkovaných koagulantů. Koagulanty jsou látky, které destabilizují elektrickou dvojvrstvu koloidní částice, což vede k převážení přitažlivých sil mezi částicemi a k jejich shlukování do větších celků. Proces koagulace se skládá ze dvou fází: rychlé (perikinetické) a pomalé (ortokinetické). Rychlá fáze probíhá za rychlého míchání, ve které je nadávkovaný koagulant rychle homogenizován a dodává částicím energii pro jejich přiblížení a rozhoduje o následné tvorbě vloček. Pomalá fáze probíhá za pomalého míchání, kdy se malé vločky postupně shlukují do větších. Při rychlém míchání větších vloček by docházelo vlivem vysoké kinetické energie k jejich negativnímu rozpadu na menší vločky. Takto vytvořené vločky jsou pak odstraněné v separačním stupni.

cc BY NC SA

3. Úprava vody
3.6. Sedimentace

Sedimentace, označované někdy také jako usazování, je významný proces separace tuhé fáze směsi přírodních suspendovaných látek a látek vzniklých při koagulaci tedy od fáze kapalné, tj. upravované vody. Proces sedimentace probíhá dle obecných fyzikálních zákonů. Při sedimentaci na částice působí tři základní síly – tíha, vztlak a odpor prostředí. Tíha a vztlak jsou konstantní. Odpor závisí na hustotě kapaliny, na její viskozitě, na tíhovém zrychlení, na tvaru částice a jejích rozměrech a zvyšuje se s rychlostí klesání. Kapalné prostředí klade značně větší odpor částicím nepravidelného tvaru než částicím kulového tvaru. Sedimentační nádrže lze rozdělit dle dispozice následovně:

- podélné obdélníkové usazovací nádrže s horizontálním průtokem,
- kruhové usazovací nádrže s radiálním horizontálním průtokem,
- kruhové usazovací nádrže s vertikálním průtokem,
- patrové a lamelové.

cc BY NC SA

3. Úprava vody
3.7. Čiřiče

Čiřiče jsou používány pro první stupeň separace nečistot a není zařazen jako finální úpravárenské zařízení. Čiřiče s vločkovým mrakem jsou úpravárenská zařízení, která pro úpravu vody využívají efekt průchodu upravované vody přes vločkový mrak, který je mechanicky nebo hydraulicky udržován ve vznosu. Na vločkovém mraku dochází k zachycení vzniklých částeček při koagulaci. Ty se navzájem nabalují a zvětšují. Z mraku odtéká voda zbavená většiny vloček do přelivných žlabů čiřiče.

cc BY NC SA

3. Úprava vody
3.8. Flotace

Flotace je technologický proces vhodný pro separaci suspendovaných látek, mikroorganismů a částic, které vznikly koagulací, případně koagulací s následnou flokulací z kapaliny. Při úpravě pitné a užitkové vody je tento proces zařazován jako I. separační stupeň v rámci dvoustupňové úpravy. Flotace pro svoji separační činnost využívá pod tlakem rozpuštěný vzduch, jehož pomocí jsou z kapaliny vytěsňovány nežádoucí látky.

cc BY NC SA

3. Úprava vody
3.8. Flotace

Princip separace flotací spočívá v působení pod tlakem rozpuštěného vzduchu na částice, které jsou ve vodě přírodně obsažené, či vzniklé koagulací. Tyto částice, které samy o sobě mají větší specifickou hmotnost (cca 1,005 – 1,05 $g \cdot cm^{-3}$), než voda v důsledku spojení s mikrobublinkami vzduchu o velikosti 30 – 100 mm získají specifickou hmotnost nižší než voda. Takto vzniklé agregáty mají opačnou tendenci pohybu než agregáty těžší než voda s tendencí sedimentační. Opačná tendence spočívá v pohybu části směrem k hladině. Specifická hmotnost agregátů vzniklých spojením látek vzniklých koagulací s bublinou vzduchu je podstatně nižší (dvoutřetinová až poloviční), než specifická hmotnost vody. Tento značný rozdíl je rozhodující pro účinek separace. Čím větší je rozdíl specifických hmotností flotací vzniklých agregátů a vody, tím je vyšší účinnost flotace.

BY NC SA

3. Úprava vody
3.9. Filtrace

Filtrace je významným separačním procesem v rámci úpravy vody. Pokud surová voda obsahuje některé z pevných látek ve formě látek suspendovaných, koloidních, či rozpuštěných, je třeba po jistém zásahu například předúpravy provést jejich odseparování. Pokud je třeba v rámci úpravy vody provádět separaci pevných látek, tak filtrace vždy tvoří jeden ze stupňů separace, a to jak při jednostupňové úpravě, kdy je jediným článkem separace, tak při dvoustupňové a vícestupňové úpravě, kdy je zpravidla druhým, či posledním článkem separace. Filtrace může i při dvoustupňové úpravě tvořit oba články separace. V tomto případě se jedná o dvoustupňovou filtraci.

cc BY NC SA

3. Úprava vody
3.9. Filtrace

Existuje celá řada kritérií pro **rozdělení a členění filtrace**. Jedním ze základních kritérií je členění na:

- filtraci objemovou, tj. filtraci přes vrstvu zrnitého materiálu;
- filtraci na filtrační přepážce, tj. filtraci náplavnou.

Ve vodárenství převažuje využití **objemové filtrace**. Jejím principem je zachycování nečistot v přirozeném stavu nebo po předchozí úpravě (oxidace, koagulace apod.) na filtračním loži ze zrnitého materiálu. Filtrační lože může být složeno z křemičitého písku, kamenného uhlí, antracitu, křemeliny, z plastů apod. Zrnitý filtrační materiál musí splňovat dva významné technické požadavky, kterými jsou dostatečná odolnost proti otěru a chemická stálost.

BY NC SA

3. Úprava vody
3.9. Filtrace

Naproti tomu **filtrace náplavná** se používá především v průmyslové úpravě vody a při úpravě vody pro speciální účely. Principem náplavné filtrace je separace zákalu vrstvou naplavených částic. Nosnou vrstvu, také filtrační přepážku, tvoří filtrační tkanina ze syntetických vláken, jemného drátěného pletiva, plsti apod. Na tuto podložku se naplavuje tzv. mostící vrstva z jemného materiálu 2 – 3 mm. Vlastní filtrační vrstva se takto tvoří za provozu ze zachycených částic a trvale přidávaného naplavovaného materiálu. Naplavovanou hmotu tvoří například rozsivková zemina (diatomit), perlit, celulózové materiály, křemelina, drcený koks apod.

cc BY NC SA

3. Úprava vody
3.9. Filtrace

Dalším významným kritériem pro **členění filtrů je způsob a rychlost separace nečistot z vody**, dle kterého rozlišujeme:

- fyzikální proces filtrace;
- biologický proces filtrace.

Biologickému odbourávání nečistot přísluší pomalá rychlost, a proto se takový způsob filtrace nazývá pomalá biologická filtrace. Filtrace bez využití biologického odbourávání nečistot a s možností využití vyšších filtračních rychlostí se nazývá rychlofiltrace. K oběma způsobům filtrace pak za jistých okolností přistupuje rovněž chemické odbourávání nečistot.

cc BY NC SA

3. Úprava vody
3.9. Filtrace

Dalším typem procesem separace je **membránová filtrace**. Tato filtrace se vyskytuje spíše v oblasti výroby speciálních průmyslových vody nebo v případě nutnosti úpravy vody obohacené přírodními solemi. Mezi membránové procesy patří **i) mikrofiltrace, ii) ultrafiltrace, iii) nanofiltrace a iv) reversní osmóza**, která je přímo vhodná pro odstraňování solí z upravované vody. Jmenované procesy jsou založeny na schopnosti semipermeabilních membrán zachycovat ve vodě přítomné částice určité velikosti.

BY NC SA

3. Úprava vody
3.10. Membránová filtrace

Procesy membránové úpravy poskytují významnou výhodu v aplikacích pro opětovné použití vody díky své prokázané schopnosti poskytovat spolehlivou, předvídatelnou a konzistentní kvalitu vody.
Membránové procesy úpravy vody jsou založené na principu polopropustnosti, tzv. semipermeability. Zařazením membrány do prostředí vzniká bariéra separující nečistoty, také nazývané jako retentát, a propouštějící přečištěnou vodu, tzv. permeát.
Membránovou filtraci je vhodné doplnit předřazeným mechanickým předčištěním pro zvýšení její účinnosti a životnosti. Jako mechanické předčištění lze zvolit např. filtraci s pískovou náplní nebo granulovaným aktivním uhlím.

cc BY NC SA

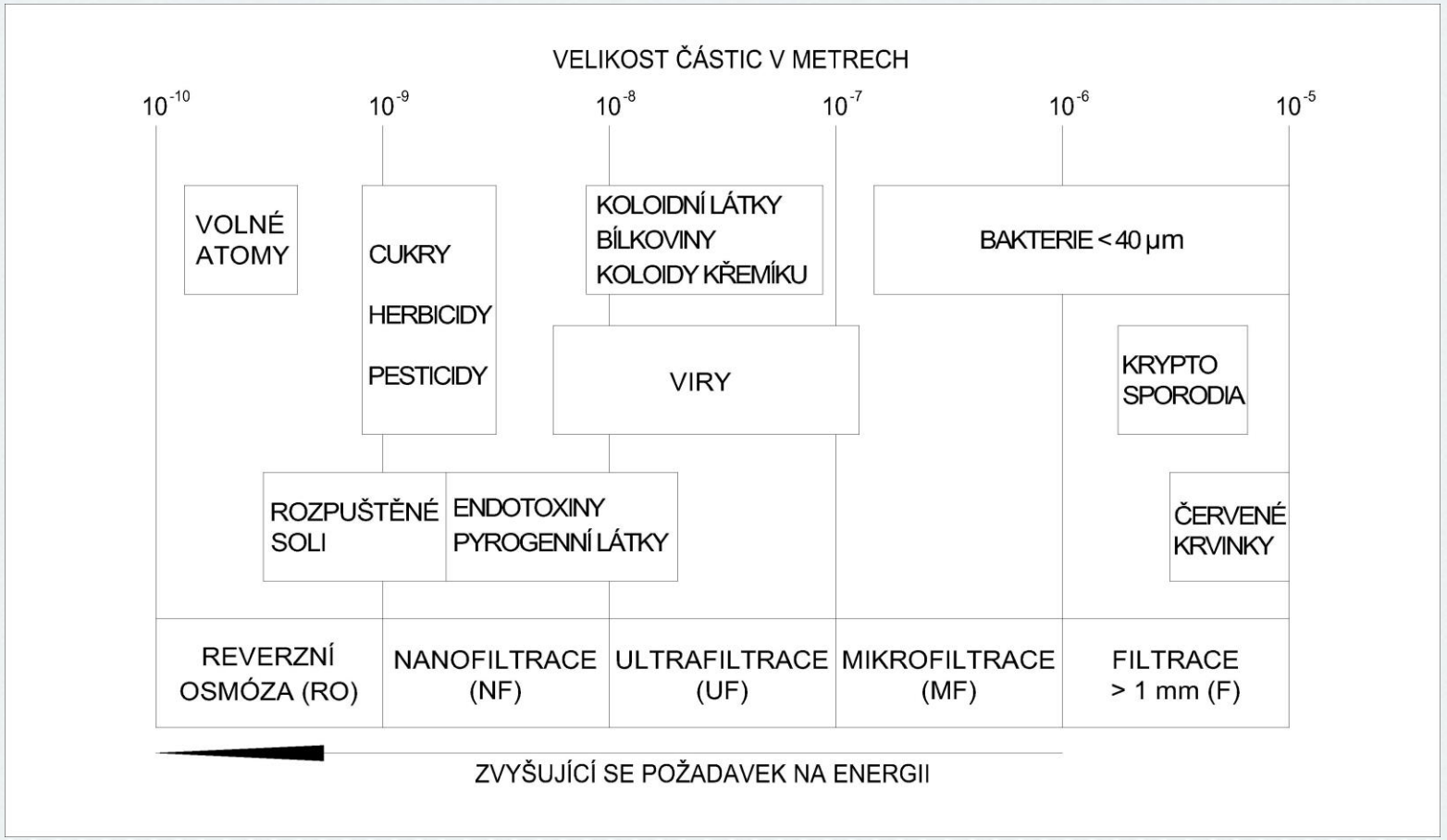
3. Úprava vody
3.10. Membránová filtrace

Membránové technologie lze rozdělit do kategorií dle velikosti pórů, respektive na základě minimální velikosti částic, které jsou schopny zachytit na povrchu membrány. Membránové procesy tedy dělíme následovně:

- mikrofiltrace (MF),
- ultrafiltrace (UF),
- nanofiltrace (NF),
- reverzní osmóza (RO).

cc BY NC SA

3. Úprava vody
3.10. Membránová filtrace



Typy membránové filtrace

BY NC SA

3. Úprava vody
3.10. Membránová filtrace

Membránový proces	MF	UF	NF	RO
Velikost částic [μm]	10 – 0.1	0.1 – 0.01	0.01 – 0.001	< 0.001
Provozní tlak [Mpa]	0.1 – 0.4	0.2 – 0.7	0.6 – 1.0	1.0 – 8.0
Odstraňované látky				
Suspendované látky	*	*	*	*
Prvoci	*	*	*	*
Bakterie	*	*	*	*
Viry	**	*	*	*
Železo, mangan	***	***	*	*
Huminové látky (NOM)	-	**	*	*
$CHSK_{Cr}$ (COD)	-	-	**	*
Syntetické organické látky (pesticidy)	-	-	**	*
Vápník, hořčík	-	-	**	*
Nutrienty	-	-	-	*

*Základní charakteristiky a odstraňované látky v jednotlivých membránových procesech, Pozn: *) celkové odstranění; **) částečné odstranění; ***) odstranění v závislosti na chemické formě*

cc BY NC SA

3. Úprava vody
3.10. Membránová filtrace

Materiál membrán

Při výběru membrány je potřeba zohlednit materiál, z níž je membrána vyrobena. Také on má značný vliv na separační proces v systémech MBR. Membrány lze s ohledem na jejich materiální složení rozdělit na:

- isotropické – jsou homogenní v průřezu,
- anisotropické – v průřezu se liší strukturou a chemicky, někdy jsou nazývány také kompozitní (v současnosti více rozšířené).

Dle materiálu jejich vláken je tedy možné rozdělit membrány na:

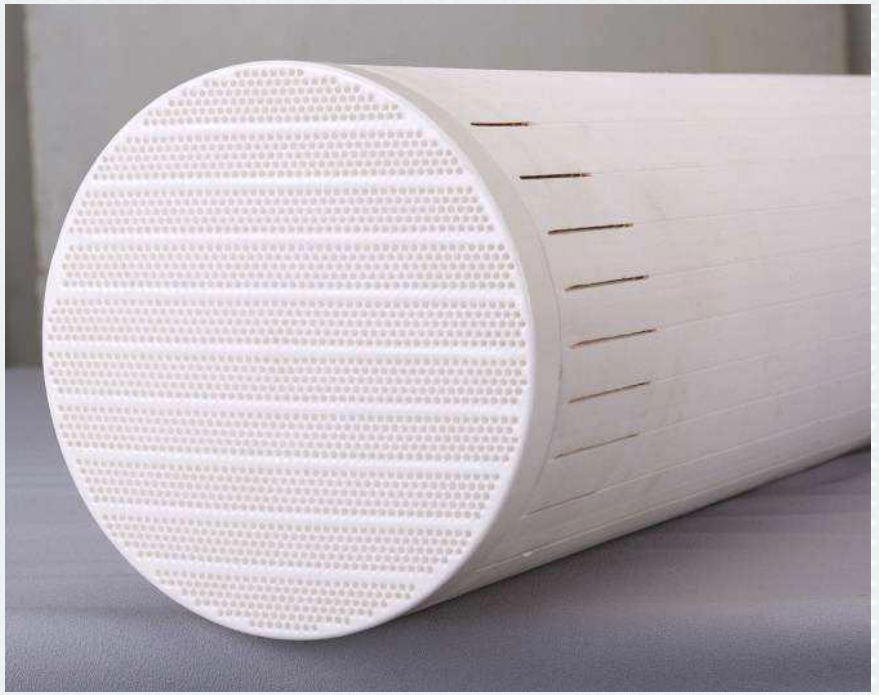
- anorganické (keramické, uhlíkové),
- polymerní,
- a kompozitní.

cc BY NC SA

3. Úprava vody
3.10. Membránová filtrace

Materiál membrán

Keramické membrány jsou charakterizovány dobrým filtračním výkonem, a to zejména kvůli vysoké chemické odolnosti, inertnosti (neaktivitě) a snadnému čištění. Tyto vlastnosti zaručují nízké provozní náklady a jednoduchou údržbu. Jejich odolnost vůči znečistění je zároveň založena na hydrofilních vlastnostech. Hlavní nevýhody aplikace keramických membrán spočívají v jejich vysokých výrobních nákladech a jejich křehkosti. Z ekonomických důvodů prakticky znemožňují využití keramických membrán v systémech MBR.



cc BY NC SA

3. Úprava vody
3.10. Membránová filtrace

Materiál membrán

Nejpoužívanějšími membránami jsou polymerní membrány. Polymerní membrány mají dobrou fyzikální a chemickou odolnost, přestože jsou převážně hydrofobní. Vzhledem k jejich hydrofobní povaze mají tendenci jednodušeji se zanášet. Hlavní výhodou polymerních membrán je snadná výroba pórů. Tyto membrány jsou vyráběny z polyvinylchloridu (PVC), polyethylenu (PE), polyvinylbutyralu (PVB), polyethersulfonu (PES), polysulfonu (PS), polyakrylonitrilu (PAN), acetátu celulózy (PTFE) a podobně.

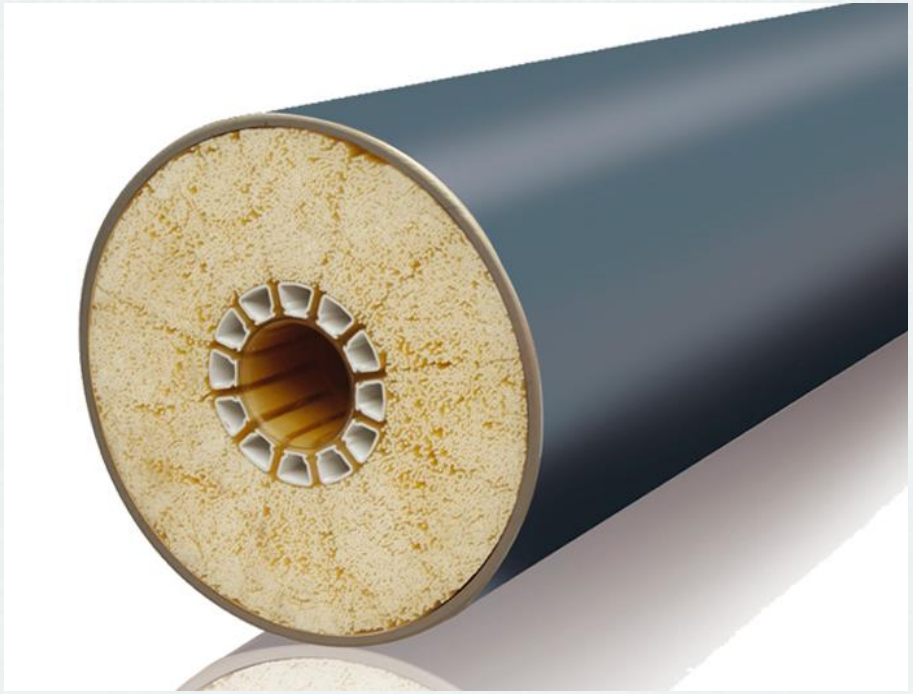
Kompozitní membrány jsou membrány vyrobené kombinací dvou a více materiálů na základě částic znečistění filtrovaného média. Tyto membrány tvoří vrstvy, přičemž hydrofobní vrstvy jsou pokryty hydrofilními.

cc BY NC SA

3. Úprava vody
3.10. Membránová filtrace

Konstrukce a dispozice membrán

Existuje několik typů membránových modulů, avšak pro čištění odpadních vod se využívají zejména membrány deskové (flat plate membrane, flat sheet membrane), membrány z dutých vláken (hollow fibre membrane) a spirálově vinuté membrány. Membrány z dutých vláken jsou tvořeny dlouhými a velmi úzkými vlákny, která mohou mít různá uspořádání. Tyto membrány fungují na principu „zevnitř ven“ nebo „zvenčí dovnitř“, dle uspořádání nátoku. Princip „zevnitř ven“ je založen na vstupu filtrátu do středu vlákna a radiální filtraci přes stěnu vlákna. Při opačném provozu vstupuje voda dovnitř vláken z vnějšku přes filtrační stěnu, vlákny je poté odváděn přefiltrovaný permeát.



BY NC SA

3. Úprava vody
3.10. Membránová filtrace

Konstrukce a dispozice membrán

Deskové membrány, zobrazeny vlevo dole, oproti membránám z dutých vláken, fungují na jednoduchém principu prostupu filtrátu skrze jednotnou filtrační bariéru. Spirálově vinuté membrány jsou znázorněny na obrázku vpravo dole.

BY NC SA

3. Úprava vody
3.10. Membránová filtrace

Konstrukce a dispozice membrán

Membrány lze také rozlišit dle směru nátoku přiváděného filtrovaného média do dvou skupin:

- membrány s klasickou filtrací,
- membrány s příčným tokem.

Membrány s klasickou (přímou) filtrací, na jejichž povrch je kolmo filtrované médium – v zahraniční literatuře je tento způsob nátoku na membránu označován jako „dead – end filtration“ nebo také „direct filtration“. Usazovaný retentát je na těchto membránách zadržován hydraulickými silami působícími kolmo k membráně a vytváří tzv. cake layer, tedy filtrační koláč.

BY NC SA

3. Úprava vody
3.11. Odželezování, odmanganování

Z hlediska organoleptických vlastností je **výskyt železa a manganu nevhodný**. Koncentrace železa či manganu v desetinách $mg \cdot l^{-1}$ způsobují pachové vjemy. Obsah železa či manganu způsobuje také změnu barvy vody. Při praní prádla způsobuje zejména mangan skvrny na prádle. Úprava vody s obsahem železa a manganu spočívá vždy ve dvou fázích. První fáze je oxidace (Fe^{2+}, Mn^{2+}) na vyšší formu (mocenství). Takto vícemocné formy vytváří vločkovitou suspenzi, která je z vody separovatelná. Druhá fáze úpravy spočívá v separaci vysrážené vločkovité suspenze. U železa je to klasická separace na jednom či dvou separačních stupních, mangan je separovatelný při kontaktní oxidaci na zrnitém materiálu za přítomnosti katalyzátoru. Významným činidlem při odstraňování železa a manganu z vody mohou být železité či manganové bakterie (Galionella pro Fe^{2+}, Clenothrix fusca i magnifera, Cladothrix dichtoma a další).

BY NC SA

3. Úprava vody
3.11. Odželezování, odmanganování

Způsoby oxidace pro odstraňování železa a manganu z vody:

- oxidace vzdušným kyslíkem způsobem mechanického provzdušňování,
- oxidace chlorem,
- oxidace manganistanem draselným,
- oxidace ozonem.

cc BY NC SA

3. Úprava vody
3.12. Doúprava vody

Do procesu doúpravy vody lze zařadit **ztvrzování a zušlechťování vody**. **Proces zušlechťování vody** je do úpravy vody zaváděn ze dvou důvodů:

- voda upravená v předcházejícím úpravárenském procesu nesplňuje veškeré požadavky na pitnou vodu, např. má vysokou úroveň organoleptických vlastností vody (chuť, pach, barva atp.);
- zvýšení míry kvalitativní zabezpečenosti upravené vody, a to i pro případ příchodu extrémních podmínek (například změna kvality vody při povodních apod.).

cc BY NC SA

3. Úprava vody
3.12. Doúprava vody

Proces ztvrzování se týká zejména povrchových vod, které jsou v řadě případů měkké, a tedy značně agresivní pro beton i ocel a mají značný deficit volného oxidu uhličitého. Deficit volného CO_2 neumožní zvýšení tvrdosti ani při dávkování vápna a vodu nelze uvést do vápenatouhličité rovnováhy. U takové vody při desinfekci chlorem dochází k poklesu pH a v potrubí, nádržích i technologickém zařízení dochází za spolupůsobení kyslíku ke korozi. Vedle korozivních vlastností vody není měkká voda z hlediska organoleptických vlastností vhodná pro pitné účely. Z těchto důvodů je třeba v rámci úpravy vody, případně doúpravy vody zařadit proces ztvrzování vody. Při procesu ztvrzování dochází k zvýšení pH, tvrdosti a solnosti vody. Upravenou vodu je třeba obohatit o ionty Ca^{2+} a HCO_3^-. Oxid uhličitý lze do vody přidávat přímým, či nepřímým způsobem. Nepřímý způsob se kombinuje s chemickým čiřením.

BY NC SA

3. Úprava vody
3.12. Doúprava vody

Zušlechťování je často využíváno k odstraňování pachů a příchutí, které se v procesu úpravy dostávají do vody upravené. Také jinak nepostřehnutelná chuťová a pachová negativa se projeví například při hygienickém zabezpečení chlorem či jeho sloučeninami tím, že tyto vlastnosti ve spojení s chlórem se zvýrazní. Například vody s obsahem fenolů nachlorováním vytvářejí chlorfenoly s charakteristickým pachem a příchutí po „lyzolu“.

cc BY NC SA

3. Úprava vody
3.12. Doúprava vody

Existují v zásadě dva typy metod pro odstraňování pachů a příchutí z upravené vody:

- metody fyzikální, které využívají těkavosti pachotvorných látek a jejich schopnosti se adsorbovat na povrchově aktivních látkách;
- metody chemické jimiž jsou pachy odstraňovány tzv. překrýváním a tím je měněny v jiné formy,
- metody kombinované, tj. chemické a fyzikální.

BY NC SA

3. Úprava vody

3.13. Hygienické zabezpečení pitné vody, desinfekce

Účelem dezinfekce je hygienické zabezpečení pitné vody, tzn. především odstranění choroboplodných zárodků (bakterie, viry) a také prevence před jejich výskytem v pitné vodě. Pro dezinfekci jsou v rámci ÚV používány zejména roztoky na bázi chlóru, které dezinfikují a vytváření residuum pro zabezpečení pitné vody v procesu její distribuce.

Mezi tyto roztoky patří:

- plynný chlor Cl_2,
- oxid chloričitý (chlordioxid) ClO_2,
- chlornan sodný NaClO,
- chlorové vápno (jednorázově, studny),
- chloramin.

cc BY NC SA

3. Úprava vody

3.13. Hygienické zabezpečení pitné vody, desinfekce

Jednotlivá desinfekční činidla se vyznačují různou účinností, která závisí na vlastnostech vody, na druhu a počtu organismů, bakterií a virů přítomných ve vodě a na jejich odolnosti vůči desinfekčním činidlům. Účinnost je také přímo úměrná dávce a době působení desinfekčního činidla. Použití některých desinfekčních činidel s sebou však přináší i nežádoucí efekty – tvorbu vedlejších produktů, které jsou v pitné vodě nežádoucí. Vznik těchto vedlejších produktů ovlivňuje přítomnost tzv. prekursorů (huminové látky, řasy, amoniak, …) v upravované vodě, dávka desinfekčního činidla, pH a teplota vody. Nejznámější skupinu vedlejších produktů desinfekce vody představují trihalogenmethany (chloroform). Výskyt většiny vedlejších produktů des-infekce v pitné vodě je spojen s použitím chlóru a jeho sloučenin.

cc BY NC SA

3. Úprava vody

3.13. Hygienické zabezpečení pitné vody, desinfekce

Desinfekce dávkováním ozonu

Ozon je nejsilnější desinfekční (i oxidační) činidlo ze všech současně používaných. Za normálních podmínek je nestálý (rozpadá se na O_2), zapáchající, namodralý plyn, škodlivý pro lidský organismus. Jeho přípustná koncentrace v ovzduší je 0,1 ppm, od 0,1 $mg \cdot m^{-3}$ je cítit, při 20 $mg \cdot m^{-3}$ je po dlouhodobém působení smrtelný, 10 $g \cdot m^{-3}$ způsobuje téměř okamžitou smrt), z čehož plynou velmi přísná opatření pro nakládání. Ozón je vyráběn v ozonizátorech z kyslíku (vzdušný, kapalný nebo generovaný).

Z 1 m^3 vzduchu, který obsahuje cca 300 g O_2, lze získat 5-10 g ozónu. Rozpustnost je 3,33 $mg \cdot l^{-1}$ (podle podmínek). Ozón má vysokou účinnost. Baktericidní účinek má při koncentraci 0,1-0,2 $mg \cdot l^{-1}$ s kontaktní dobou 1-2 min, virocidní účinek při koncentraci 0,4 $mg \cdot l^{-1}$ při kontaktu 4 min. Ozón také zlepšuje organoleptické vlastnosti vody.

BY NC SA

3. Úprava vody

3.13. Hygienické zabezpečení pitné vody, desinfekce

Desinfekce dávkováním ozonu

Přibližné dávkování do povrchové vody je 0,3 $mg \cdot l^{-1}$, do podzemní vody 0,15-0,2 $mg \cdot l^{-1}$. Míchání vzduchu, který obsahuje ozón, a upravované vody se provádí v injektorech nebo v tlakových mísičích, které mohou pracovat na různých principech (barbotáž, prstencový vodní skok, …). Po smísení je voda zdržována v kontaktních nádržích, kde doba zdržení je závislá na teplotě. Při 10 °C je to 10 min, při 20 °C pak 5 min. Po použití ozónu je nutné zajistit jeho rozklad (termicky teplotou nad 260 °C nebo chemicky aktivním uhlím). Oproti chlóru nevytváří ozón ve vodě reziduum (zbytkovou koncentraci), účinkuje pouze v místě dávkování, takže pokud má být voda zajištěna proti možné rekontaminaci, je nutné ji dochlorovat. Nevýhodou mohou být i vyšší provozní náklady (cca 5x dražší než chlór). Ozón lze používat i pro oxidaci.

CC BY NC SA

3. Úprava vody

3.13. Hygienické zabezpečení pitné vody, desinfekce

Desinfekce UV zářením

Mezi fyzikální metody desinfekce pitné vody se řadí UV záření. Tato technologie se v poslední době začíná prosazovat na trhu. Desinfekce vody UV zářením probíhá v reaktorech, kde zdrojem UV záření (vlnová délka 254 nm) jsou křemenné nebo rtuťové lampy, kolem kterých v tenké vrstvě proudí voda. Životnost takových lamp je kolem 12 000 hodin. V použití UV záření lze spatřit tyto výhody: nevznikají žádné vedlejší produkty, vysoká účinnost i proti virům a prvokům, do vody není vnášena žádná chemikálie, a tudíž nemůže nastat předávkování. Nevýhodou je opět pouze lokální účinnost (podobně jako u ozonu) a také vyšší nároky na energii.

CC BY NC SA

4. Legislativní rámec

Legislativa ČR pro zásobování pitnou vodou

Zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví definuje pitnou vodu jako zdravotně nezávadnou vodu, jejíž nezávadnost je dána hygienickými limity mikrobiologických, biologických, fyzikálních a chemických ukazatelů. Jakostí surové vody pro účely úpravy na pitnou vodu se zabývá **vyhláška ministerstva zemědělství č. 428/2001 Sb.** Konkrétní hygienické požadavky na pitnou vodu jsou pak stanoveny **vyhláškou ministerstva zdravotnictví č. 252/2004 Sb.** Kvalita pitné vody je touto vyhláškou posuzována podle hodnot následujících ukazatelů:

- mikrobiologické a biologické;
- fyzikální: teplota, barva, chuť, pach, aj.;
- chemické: pH, výskyt železa, manganu, olova, dusičnanů, fenolů, aj.

CC BY NC SA

4. Legislativní rámec
Legislativa ČR pro zásobování pitnou vodou

Pro různé ukazatele kvality jsou definovány různé typy hygienických limitů. Typy limitů jsou stanoveny a rozděleny v přílohou č. 1 vyhlášky č. 252/2004 Sb. do tří druhů:

- **mezní hodnota** (zkr. MH) – překročení tohoto limitu ztrácí pitná voda vyhovující jakost v ukazateli, jehož hodnota byla překročena. Pokud je ve vodě vyšší koncentrace látky, než je její předepsaná MH, neznamená to akutní zdravotní riziko, avšak je ze strany dodavatele pitné vody nutné zajistit příslušná opatření pro splnění limitu. Většina limitů MH stanovuje maximální hodnotu, naopak je tomu např. u vápníku, kde se jedná o hodnotu minimální;
- **nejvyšší mezní hodnota** (NMH) – překročení této hodnoty znamená nevyhovující kvalitu testované vody, která nemůže být dále používaná jako pitná;
- **doporučené hodnoty** (DH) – vyhláškou jsou také definovány nezávazné limity, které stanovují minimální žádoucí nebo přijatelnou koncentraci dané látky. DH vychází ze zákona č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví.

cc BY NC SA

4. Legislativní rámec

Legislativa ČR pro zásobování pitnou vodou

Vybrané limity ukazatelů kvality pitné vody (Vyhláška č. 252/2004 Sb.)

č.	ukazatel	zkratka	jednotka	limit	typ limitu
3	Escherichia coli	-	KTJ/100 ml	0	NMH
		-	KTJ/250 ml	0	NMH
4	koliformní bakterie	-	KTJ/100 ml	0	MH
		-	KTJ/250 ml	0	MH
13	amonné ionty	NH_4^+	mg/l	0,5	MH
16	barva		mg/l Pt	20	MH
20	bor	B	mg/l	1	NMH
22	celkový organický uhlík	TOC	mg/l	5	MH
23	dusičnany	NO_3^-	mg/l	50	NMH
24	dusitany	NO_2^-	mg/l	0,5	NMH
27	hliník	Al	mg/l	0,2	MH
28	hořčík	Mg	mg/l	10	MH
				20-30	DH
29	chemická spotřeba kyslíku	CHSK - Mn	mg/l	3	MH
30	chlor volný	Cl_2	mg/l	0,3	MH
31	chlorečnany	ClO_3^-	µg/l	200	NMH
33	chloridy	Cl^-	mg/l	100	MH
36	chuť	-		přijatelná	MH
38	konduktivita	k	mS/m	125	MH

č.	ukazatel	zkratka	jednotka	limit	typ limitu
40	mangan	Mn	mg/l	0,05	MH
41	měď	Cu	µg/l	1000	NMH
43	nikl	Ni	µg/l	20	NMH
44	olovo	Pb	µg/l	10	NMH
45	ozon	O_3	µg/l	50	NMH
46	pach	-		přijatelný	MH
48	pesticidní látky celkem	PLC	µg/l	0,5	NMH
49	PH	pH		6,5 - 9,5	MH
50	polycyklické aromatické uhlovodíky	PAU	µg/l	0,1	NMH
53	sírany	SO_4^{2-}	mg/l	250	MH
54	sodík	Na	mg/l	200	MH
56	teplota	-	°C	08.XII	DH
58	trihalomethany	THM	µg/l	100	NMH
62	vápník	Ca	mg/l	30	MH*)
				40-80	DH
63	vápník a hořčík	Ca + Mg	mmol/l	2-3,5	DH
64	zákal	-	ZF (n)	5	MH
65	železo	Fe	mg/l	0,2	MH

CC BY NC SA

Použitá literatura

- TUHOVČÁK Ladislav, ADLER Pavel, KUČERA Tomáš, RACLAVSKÝ Jaroslav, Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia, Vodárenství, A. Úprava vody, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2006.
- TUHOVČÁK Ladislav, ADLER Pavel, KUČERA Tomáš, RACLAVSKÝ Jaroslav, Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia, Vodárenství, B. Doprava vody, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2006.
- HLAVÍNEK Petr, RAČEK Jakub, CHORAZY Tomáš, VELIKOVSKÁ Kristýna, Souhrnná výzkumná zpráva, Koncepční návrh nouzového zásobování obyvatelstva vodou za krizové situace, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Centrum AdMaS, 2019.
- AMERICAN MEMBRANE TECHNOLOGY. (2018). Membrane Filtration for Water Reuse. Retrieved from www.amtaorg.com
- MINNESOTA RURAL WATER ASSOCIATION. (2001). Chapter19: Membrane Filtration. Minnesota Water Works Operations Manual, 1–12. Retrieved from http://www.mrwa.com/WaterWorksMnl/Chapter 19 Membrane Filtration.pdf
- RAČEK, Jakub. Metodika návrhu systému využití šedých vod ve vybraných objektech. Brno, 2016. 198 s., 2 přílohy, Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce doc. Ing. Jaroslav Raclavský, Ph.D.
- DOLEJŠ, Petr, Nataša KALOUSKOVÁ a Zuzana NOGOVÁ. Využití membránových procesů při úpravě pitné vody. In: Voda Zlín 2002 [online] Zlín: Moravská vodárenská, a.s., březen 2002. [cit. 2016-02-24]. Dostupné z WWW: http://www.smv.cz/res/archive/014/001646.pdf
- STEPHENSON, T., BRINDLE, K., JUDD, S., & JEFFERSON, B. (2000). Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment, 3. Retrieved from https://www.amtaorg.com/Membrane_Bioreactors_for_Wastewater_Treatment.html
- ForwardOsmosisTech. UK, 2014. Dostupné z: https://www.forwardosmosistech.com/hollow-fiber-forward-osmosis-membrane-modules/

CC BY NC SA

Magisterský studijní program JADERNÁ ENERGETIKA vznikl za přispění

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU

NÁRODNÍ PLÁN OBNOVY

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

NPO_VUT_MSMT-16609_2022

CC BY NC SA

VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU

NÁRODNÍ PLÁN OBNOVY

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FAKULTA CHEMICKÁ

FAKULTA STAVEBNÍ

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Přednáška magisterského studijního programu JADERNÁ ENERGETIKA

Vodní hospodářství a vzduchotechnika jaderných elektráren

Odvádění odpadních vod

Fakulta stavební VUT

prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA; Ing. Jakub Raček, Ph.D.

30. 4. 2023

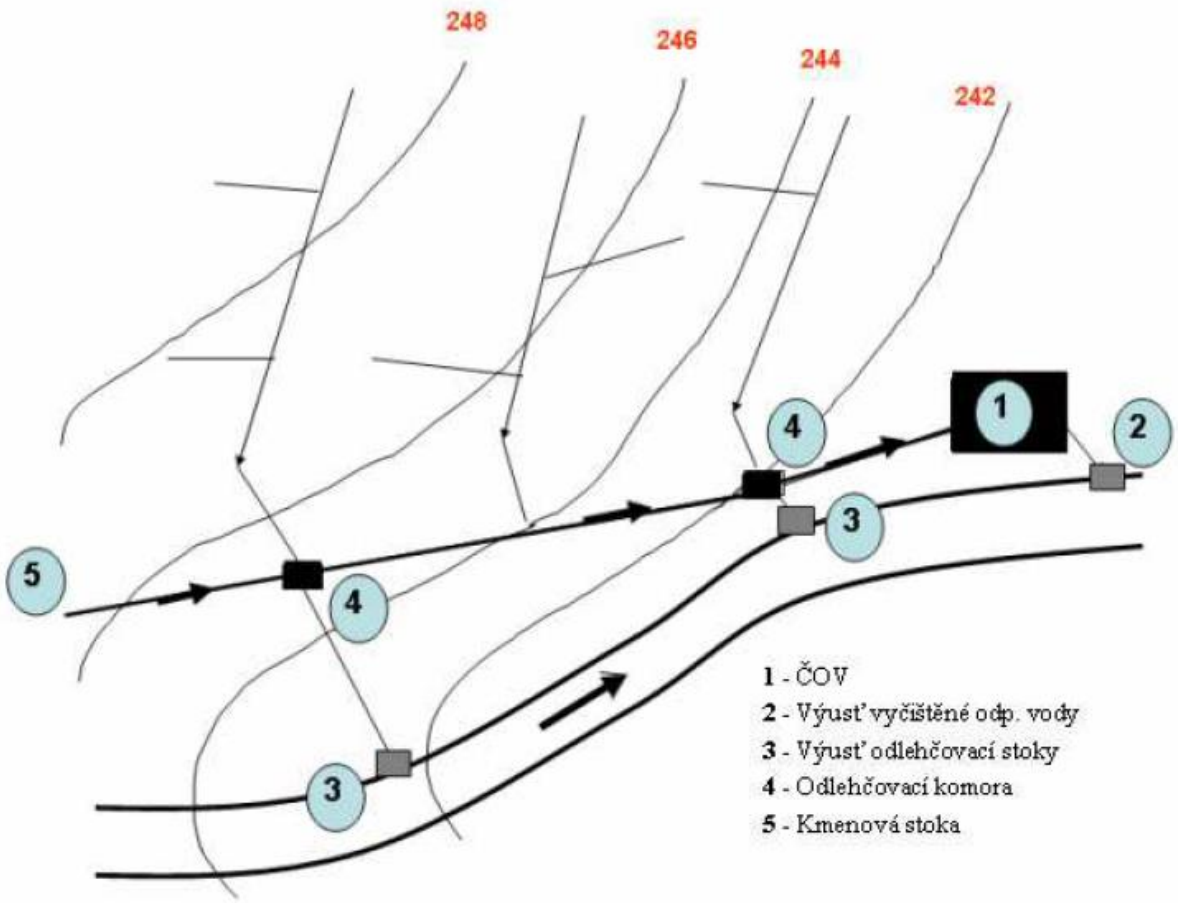
CC BY NC SA

Obsah prezentace

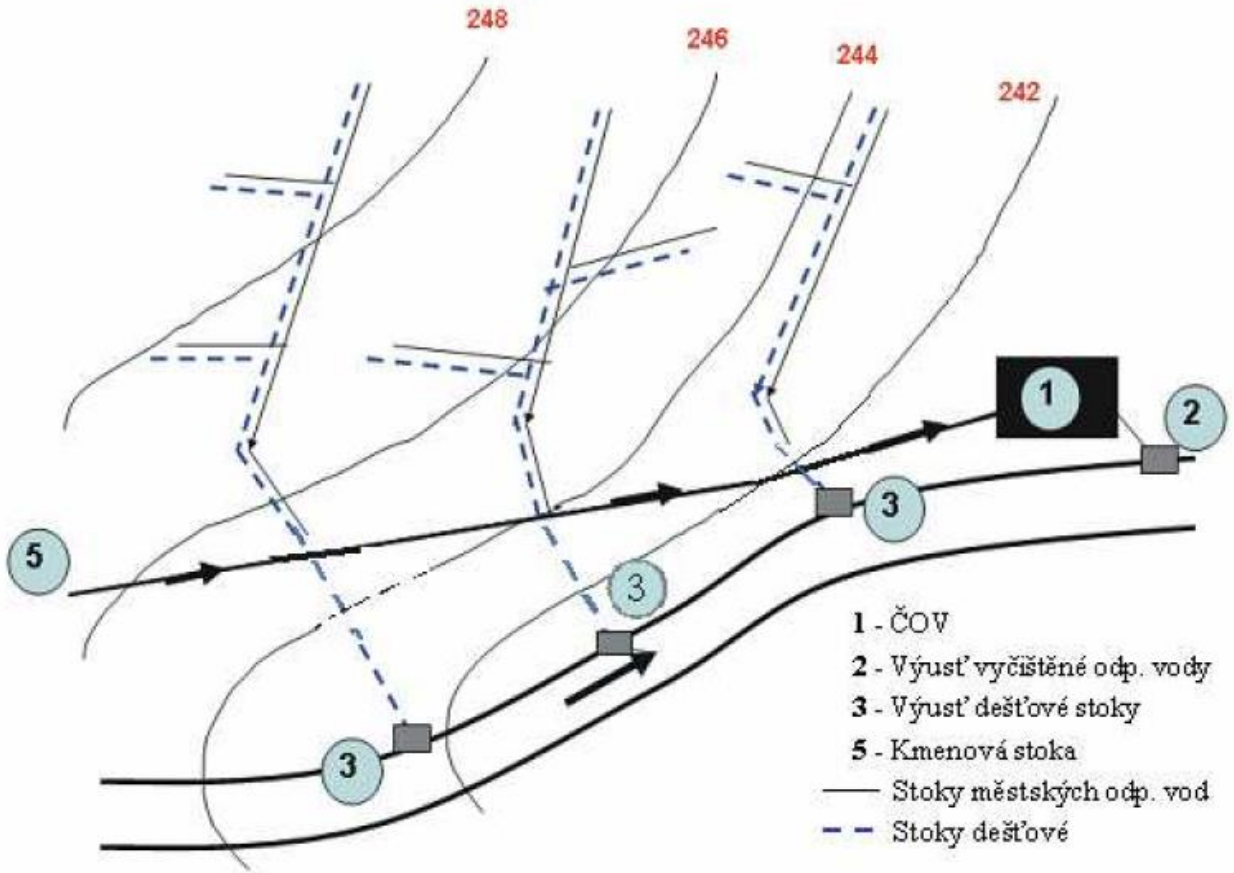
1. Úvod do odvádění odpadních vod
2. Stokové systémy
3. Kanalizační přípojky
4. Vybrané objekty na stokovém systému
5. Čerpací stanice odpadních vod
6. Trubní materiály

cc BY NC SA

1. Úvod do odvádění odpadních vod



Jednotná stoková soustava



Oddílná stoková soustava

BY NC SA

1. Úvod do odvádění odpadních vod

Odpadní voda je veškerá voda, která projde výrobním procesem či jiným využitím, při němž změní své fyzikální či chemické vlastnosti. Podle původu a způsobu znečištění se odpadní vody člení na:

- splaškové odpadní vody obsahující znečištění z kuchyní, koupelen, prádelen, WC, technické občanské vybavenosti atp.;
- infekční odpadní vody z infekčních oddělení nemocnic, tuberkulózních sanatorií, mikrobiologických laboratoří, z výroben očkovacích látek z infikovaných zvířat atp.;
- průmyslové odpadní vody např. z technických provozů nebo chladicích systémů;
- odpadní vody ze zemědělství a zemědělské výroby;
- znečištěné srážkové vody, odpadní vody z drenážních systémů atp.

cc BY NC SA

1. Úvod do odvádění odpadních vod

Vyčištěná odpadní voda je odpadní voda, která projde technologickými procesy čistírny odpadních vod (ČOV), musí splňovat parametry předepsané nařízením vlády

č. 401/2015 Sb. Nařízení vlády o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech. Na základě splnění předepsaných ukazatelů a hodnot přípustného znečištění lze vyčištěnou odpadní vodu vypouštět do povrchových vod, popř. výjimečně zasakovat.

cc BY NC SA

2. Stokové systémy

Stoková síť je zařízení pro sběr, shromažďování a dopravu tekutých odpadů. Tvoří ji uliční stoky, sběrače, kmenové stoky a ČOV. Podle způsobu odvádění odpadních vod rozeznáváme tři základní stokové soustavy:

- jednotná stoková soustava;
- oddílná stoková soustava;
- modifikovaná stoková soustava.

BY NC SA

2. Stokové systémy

V ČR převažuje odvodnění velkých urbanizovaných celků **jednotnou stokovou soustavou**. V rámci této soustavy jsou dopravovány veškeré odpadní vody z území společnou trubní sítí na ČOV. V jednotné stokové soustavě protéká při dešti stokou směs splašků a dešťových odpadních vod, přičemž množství dešťových vod mnohonásobně přesahuje průtok splašků. Tento princip přináší řadu technických a ekonomických výhod, nicméně sebou nese i významné ekologické nevýhody a hygienická rizika ovlivňující životní prostředí, stejně jako provoz ČOV za dešťových průtoků.

CC BY NC SA

2. Stokové systémy

Oddílná stoková soustava, na rozdíl od jednotné, odvádí různé druhy odpadních vod jednotlivě samostatnými trasami stokové sítě. Tato oddílná stoková soustava odvádí samostatně splaškové odpadní vody (popř. i vody z drobných průmyslových provozoven) a samostatně srážkové vody. Na ČOV jsou v tomto případě odváděny pouze splaškové odpadní vody. Avšak dešťové vody nelze ani v tomto případě považovat za hygienicky nezávadné vůči recipientu. Bývají často značně znečištěné splachy minerální a organické povahy, úkapy pohonných hmot, přítomností fekálního znečištění a jiných látek.

cc BY NC SA

2. Stokové systémy

Koncentrace znečištění dešťových odpadních vod závisí především na charakteru dešťové události, tedy intenzitě, době trvání a časovému intervalu mezi jednotlivými srážkami. Znečištění je přímo úměrné trvání deště, klesá se zvyšující se dobou trvání.

BY NC SA

2. Stokové systémy

Existuje varianta kombinace oddílné a jednotné stokové soustavy, tedy modifikovaná stoková soustava. Její princip spočívá v odvádění splaškových vod pomocí hluboko uložených stok a dešťové vody pomocí mělce uložených stok. Při přívalu nejvíce znečištěné dešťové vody na začátku deště se prázdní spojovacím potrubím ze dna dešťových stok v šachtách do stok splaškových. Po jejich zahlcení nad úroveň dna dešťových stok dochází k odtoku srážkové vody dešťovými stokami přímo do recipientu. Největší znečištění z oplachu terénu na začátku deště a z výplachu dešťových stok je takto svedeno splaškovými stokami do ČOV. Do recipientu je odváděna relativně čistá voda.

cc BY NC SA

2. Stokové systémy

Způsob dopravy odpadní vody na ČOV je závislý na mnoha faktorech, především na morfologii terénu a použité soustavě odkanalizování. Systémy uspořádání stokových sítí vychází z konfigurace území, urbanistického řešení zástavby a vzájemné polohy odvodňovaného území a recipientu. Uspořádání stokových sítí může tvořit systém radiální, větevný, úchytný a pásmový.

CC BY NC SA

2. Stokové systémy

Radiální systém je využíván zejména pro odvodnění uzavřených kotlin bez přímého přirozeného sklonu k recipientu. Voda je tímto systémem sváděna gravitačně do nejnižšího místa území a z tohoto místa je přečerpávána přes rozvodí nebo odváděna štolou samospádem na ČOV. Větevný systém je naopak využíván v členitém území s nepravidelnou zástavbou. Stoky jsou vedeny nejkratším směrem do hlavní kmenové stoky, která prochází nejnižším místem území a odvádí odpadní vody na ČOV.

cc BY NC SA

2. Stokové systémy

V případě plochých říčních údolí s mírným sklonem k vodnímu toku jsou navrhovány úchytné odvodňovací systémy. Kmenová stoka úchytného systému je vedena podél vodního toku a do ní ústí sběrače vedené napříč údolím. Na kmenové stoce jsou zařazeny odlehčovací komory, které umožňují snížení stavebních nákladů na výstavbu stoky jednotné soustavy odlehčováním části odpadních vod, dostatečně zředěných dešťovou vodou, do recipientu. Za odlehčovací komorou má pak kmenová stoka značně menší průřez. Recipient musí být dostatečně hluboký, aby bylo možné odlehčení kmenové stoky.

cc BY NC SA

2. Stokové systémy

Pásmový systém se navrhuje při odvodňování rozsáhlejších území s většími výškovými rozdíly. Stoková síť je rozčleněna na několik výškových pásem, v rámci kterých může být jakékoli uspořádání sítě. Odpadní vody z jednotlivých pásem se odvádějí stokami nižších řádů do tzv. pásmových sběračů. Velký význam má tento systém tam, kde nejnižší sběrač vedený podél vodního toku leží pod maximální hladinou v řece a odpadní vody je proto nutné přečerpávat. Pásmový systém umožňuje odvodňovat jednotlivá pásma samostatně gravitačně a přečerpávat pouze odpadní vody připadající na nejnižší pásmo.

cc BY NC SA

2. Stokové systémy

Odvodnění urbanického území lze provést:

- tradičním způsobem dopravy odpadních vod;
- nebo alternativním způsobem dopravy odpadních vod.

Za tradiční způsob dopravy odpadních vod u soustavného odvodnění urbanizovaných území považujeme jednotné či oddílné soustavy s gravitační dopravou odpadních vod. U tradičního způsobu odvodnění je důraz kladen především na jednoduchost a spolehlivost provozování. Zvyšovacích, přečerpávacích stanic, tlakových úseků je u tradičních stokových systémů využito jen v nezbytně nutných případech, na krátkých úsecích. Tato zařízení se vyznačují vysokými dopravními výkony, které plynou především z potřeby odvádění dešťových odpadních vod.

cc BY NC SA

2. Stokové systémy

V současnosti jsou v popředí zájmu oboru stokování, vedle sanace stávajících, přetížených stokových sítí jednotné stokové soustavy také problémy spojené s odkanalizováním území bez soustavného odvodnění. Při pohledu na území bez kanalizace je zřejmé, že se jedná o oblasti malých sídelních celků s velmi roztroušenou zástavbou, nebo příměstské oblasti s plochým či zvlněným reliéfem terénu. V těchto oblastech nejsou odkanalizovány především zdroje znečištění do 1000 $m^3.den^{-1}$ (bezdeštného přítoku). Tyto zdroje jsou rozptýleny na rozloze přesahující polovinu území našeho státu. Jsou to území často těsně spjatá s rekreačními oblastmi, rezervacemi a ochrannými pásmy zdrojů pitné vody…

cc BY NC SA

2. Stokové systémy

Především v tom je nutno spatřovat význam soustavného odkanalizování předmětných oblastí. Ve zmíněných lokalitách se jeví tradiční způsoby odkanalizování jako nehospodárné, těžko realizovatelné až neproveditelné. Na řadu přicházejí alternativní způsoby odkanalizovaní, ty lze členit na:

- kanalizaci tlakovou – čerpací systémy - tlakové odvodňovací a stokové systémy;
- kanalizaci podtlakovou, vakuovou – čerpací systémy - podtlakové odvodňovací a stokové systémy;
- kanalizaci gravitační maloprofilovou.

cc BY NC SA

2. Stokové systémy

Tlakové odkanalizování je nejrozšířenější způsob z alternativních způsobů odvádění odpadních vod, zejména díky pořizovacím nákladům, které jsou z uvedených metod nejnižší. Jejich praktické využití podmínil rozvoj technické a materiálové základny využívané pro kanalizační čerpadla a trubní materiál. Kvalita zahraničních i některých tuzemských čerpadel a trubních materiálů je zárukou bezpečnosti provozu tlakové kanalizace i v rozsáhlých urbanizovaných povodích. Tlakové odkanalizování je založeno na principu přetlaku uvnitř větevné či okruhové trubní dopravní sítě. Dopravované splašky do systému dodávají a vnitřní přetlak (běžný provozní pracovní přetlak cca. 20 - 50 m v. sl.) vyvozují čerpadla umístěná v čerpacích stanicích (dále jen „domovní čerpací jímka“ - DČJ). DČJ jsou umístěny v blízkosti odvodňovaného či odvodňovaných objektů. Systém se doporučuje pro plochá či mírně zvlněná území. Čerpání „přes kopec“ se nedoporučuje. Důvodem jsou možné poruchy stability tlakového režimu v trubní síti.

cc BY NC SA

2. Stokové systémy

Princip podtlakové kanalizace pro potřeby stokování objevil Holanďan Liernur. V současné době existuje pět podtlakových systémů, které jsou vlastně jen dalším vývojem Liljendahlova podtlakového systému. Specifická je pro tuto technologii zejména transportní rychlost kolem 6 - m·s-1 bez ohledu na spád potrubí. Odpadní voda není dopravována jako uzavřený vodní sloupec, ale po jednotlivých dávkách. Tyto dávky tvoří směs kapek unášených proudícím vzduchem ve směru většího podtlaku. Sací tlak o hodnotě 60 - 70 kPa (0,6 do 0,7 baru) oproti atmosférickému tlaku je trvale udržován v podtlakových nádobách podtlakové stanice. Tento podtlak působí prostřednictvím potrubí na speciální sací ventil osazený ve sběrné šachtě (podle typu výrobce). Po otevření sacího ventilu se nasává odpadní voda a vzduch do potrubního systému a společně proudí k podtlakové stanici do podtlakových nádob. Z těchto je pak odpadní voda čerpána konvenčními čerpadly na ČOV. Zdrojem energie pro činnost sacího ventilu je vlastní podtlak v potrubí.

cc BY NC SA

2. Stokové systémy

Maloprofilová gravitační kanalizace byla poprvé publikována již v 19. století v USA. Tento způsob odkanalizování je specifický použitým trubním materiálem velkých délek s malými světlými profily, nízkou drsností a integrovanými dokonale vodotěsnými spoji. Revizní šachty jsou nahrazovány kontrolními šachticemi (inspekční odbočky DN 80, vyvedené na povrch terénu, kde jsou zakončeny hydrantem). Celý systém odvádění odpadních vod je gravitační s možným využitím násoskového efektu v úsecích s negativním spádem nivelety. Centrální sběrný bod s jímkou či ČOV musí být tedy umístěn výrazně níže než ostatní připojované objekty, propojené jedním hlavním, gravitačním sběračem malého profilu. Nevýhodou je nutnost provozování lapačů pevných nečistot (konstrukční obdoba našich septiků), které zabraňují zaústění lehce sedimentujících látek do systému. Pro některé objekty, které nesplňují podmínku gravitačního zaústění nad hydrodynamickou čárou stanovenou výpočtem, je nutno budovat septik osazený čerpadlem.

cc BY NC SA

2. Stokové systémy

Alternativní způsoby odvádění odpadních vod mohou být cestou, vedoucí v řadě případů k snížení investičních nákladů a tím uspíšení realizace investičního záměru. Okolnosti, které přispívají k upřednostnění těchto způsobů, jsou:

- rozptýlená zástavba (venkovského či vilového typu);
- konfigurace terénu;
- zájmové území s několika samostatnými povodími a společnou ČOV;
- terasovitá zástavba, či široké ulice, kde by situace vyžadovala souběh dvou gravitačních stok;
- oblasti s nepříznivými podmínkami pro zakládání stok (vysoká hladina podzemních vod s agresivitou na konstrukční materiál, skalní podloží v malé hloubce, oblasti věčně zmrzlé půdy, poddolovaná území atd.).

CC BY NC SA

2. Stokové systémy

K použití některého z netradičních způsobů odkanalizování mohou ovšem vést i jiné důvody, např. možnost provedení stoky bezvýkopovým způsobem, omezený prostor potřebný pro provádění stok, vysoká hustota již položených inženýrských sítí, nebo jiné překážky, např. vodní toky. Hlavními nevýhodami alternativních způsobů odkanalizování je absence dlouhodobých zkušeností s provozováním v podmínkách ČR, provozní náročnost systému (nároky na vyšší kvalifikaci obsluhy), vyšší nároky na provozní energie, kratší životnost a vyšší četnost provozních poruch, systémy nejsou vhodné pro odvádění dešťových odpadních vod.

cc BY NC SA

2. Stokové systémy

Dalšími objekty na stokové síti jsou:

- vstupní šachty;
- spojné šachty;
- spojné komory;
- rozdělovací komory;
- spadiště;
- skluzy;
- uliční vpusti;
- lapáky splavenin;
- kanalizační přípojky;
- shybky;
- podchody
- proplachovací objekty;
- odlehčovací komory;
- dešťové nádrže;
- větrací zařízení;
- sněhové svrže;
- výustní objekty;
- čerpací stanice.

cc BY NC SA

3. Kanalizační přípojky

Kanalizační přípojky propojují odvodňovací systém nemovitosti (ten je z hlediska správy soukromý) se systémem veřejné kanalizace. Vztahuje se na ně ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky. Pro odvodňovací systém nemovitosti platí v určitých případech a určitém plošném rozsahu tentýž předpis (například průmyslové provozy, sportovní areály), zatímco uvnitř budov (a v jejich bezprostřední blízkosti) je uplatněna ČSN 73 6760 Vnitřní kanalizace.

cc BY NC SA

3. Kanalizační přípojky

Upřednostňuje se (zejména ze strany správce stokové sítě) takové řešení, kdy každá nemovitost má svoji jednu (samostatnou) přípojku. U rozsáhlejších areálů je možno systém nemovitosti propojit s veřejnou stokou (se souhlasem správce sítě) více přípojkami. Obdobně je (teoreticky) možné, napojit na jednu přípojku více nemovitostí, tyto případy by měly však být velmi výjimečné, neboť jsou zdrojem majetkoprávních

a následně provozně technických problémů.

BY NC SA

3. Kanalizační přípojky

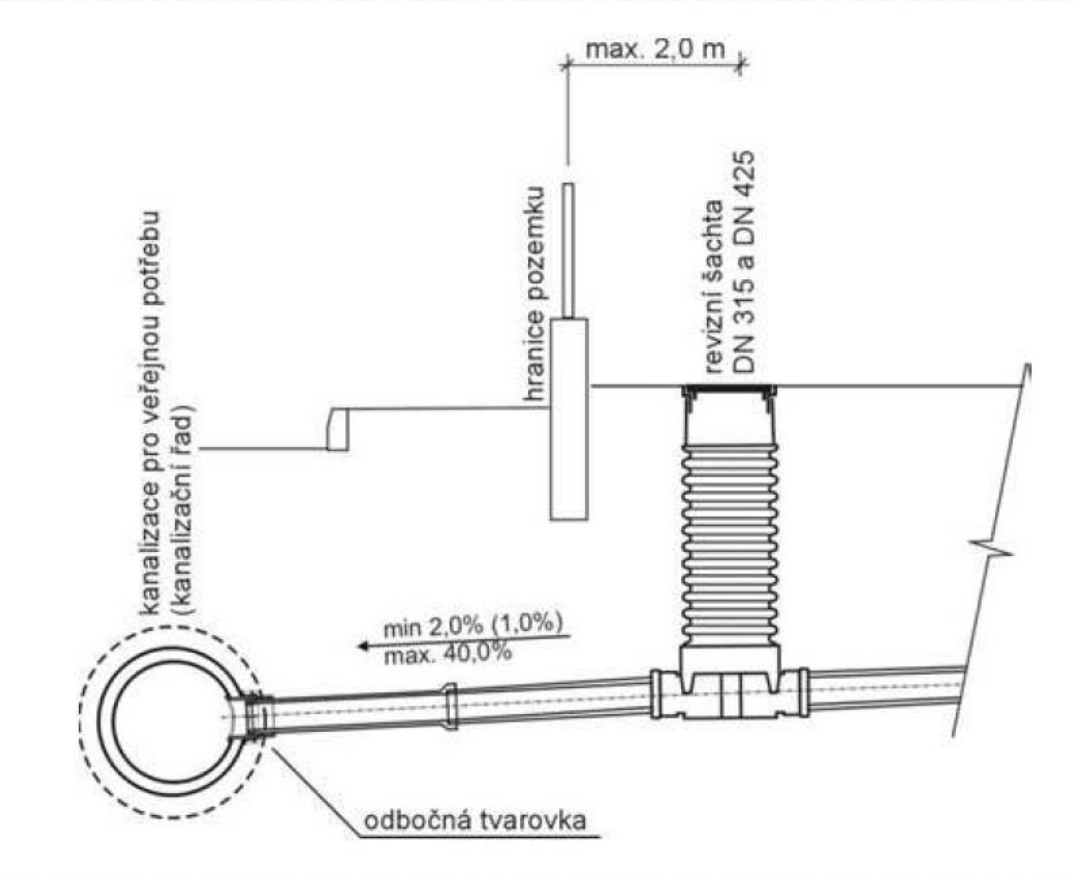


Schéma s revizní šachtičkou na kanalizační přípojce

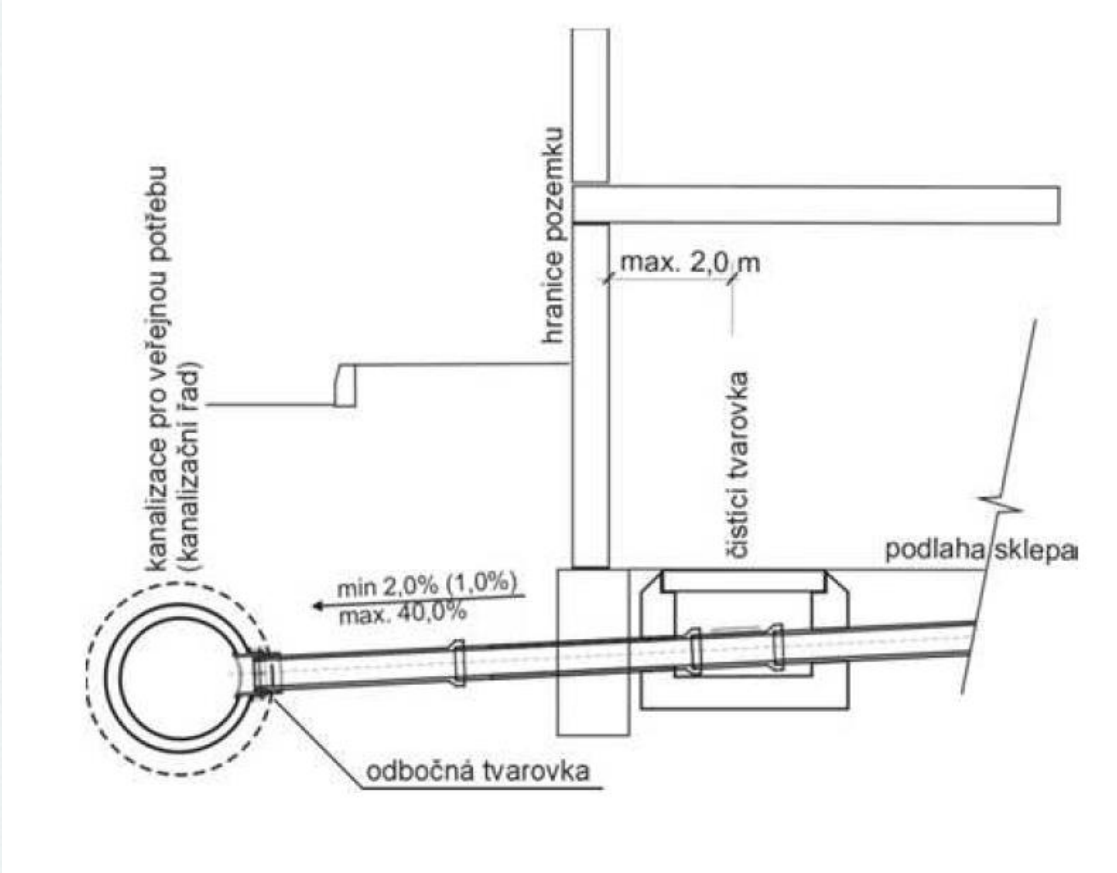


Schéma s čistící tvarovkou na kanalizační přípojce v podlaze

cc BY NC SA

4. Vybrané objekty na stokovém systému

Objekty se navrhují pro zajištění správné funkce stokového systému a pro bezpečné provádění všech prací při kontrole, čištění a údržbě stok. Pro projekční návrh a výstavbu je možné implementovat normový podklad ČSN 73 6701 Stokové sítě a kanalizační přípojky. Z materiálů stokových systémů je běžně používán beton, železobeton, kanalizační kamenina, plasty, kovové prvky (stupadla, poklopy odolné vůči korozi) apod. Vstupní otvory jsou převážně kruhové s minimálním průměrem 600 mm, výškově navrhovány a prováděny v závislosti na umístění (volný terén / komunikace).

cc BY NC SA

4. Vybrané objekty na stokovém systému

4.1. Vstupní kanalizační šachty

Vstupní (někdy nazývány jako revizní) kanalizační šachty se navrhují převážně v místech, kde se:

- mění směr přímých úseků trubních stok,
- mění sklon stoky,
- mění příčný profil stoky,
- ukončují úseky stokové sítě,
- spojují dvě nebo více stok,
- rozdělující dlouhé přímé úseky stok (u neprůleznych stok se doporučuje maximální vzdálenost 50 metrů).

cc BY NC SA

4. Vybrané objekty na stokovém systému

4.1. Vstupní kanalizační šachty

cc BY NC SA

4. Vybrané objekty na stokovém systému

4.2. Spojné šachty a komory

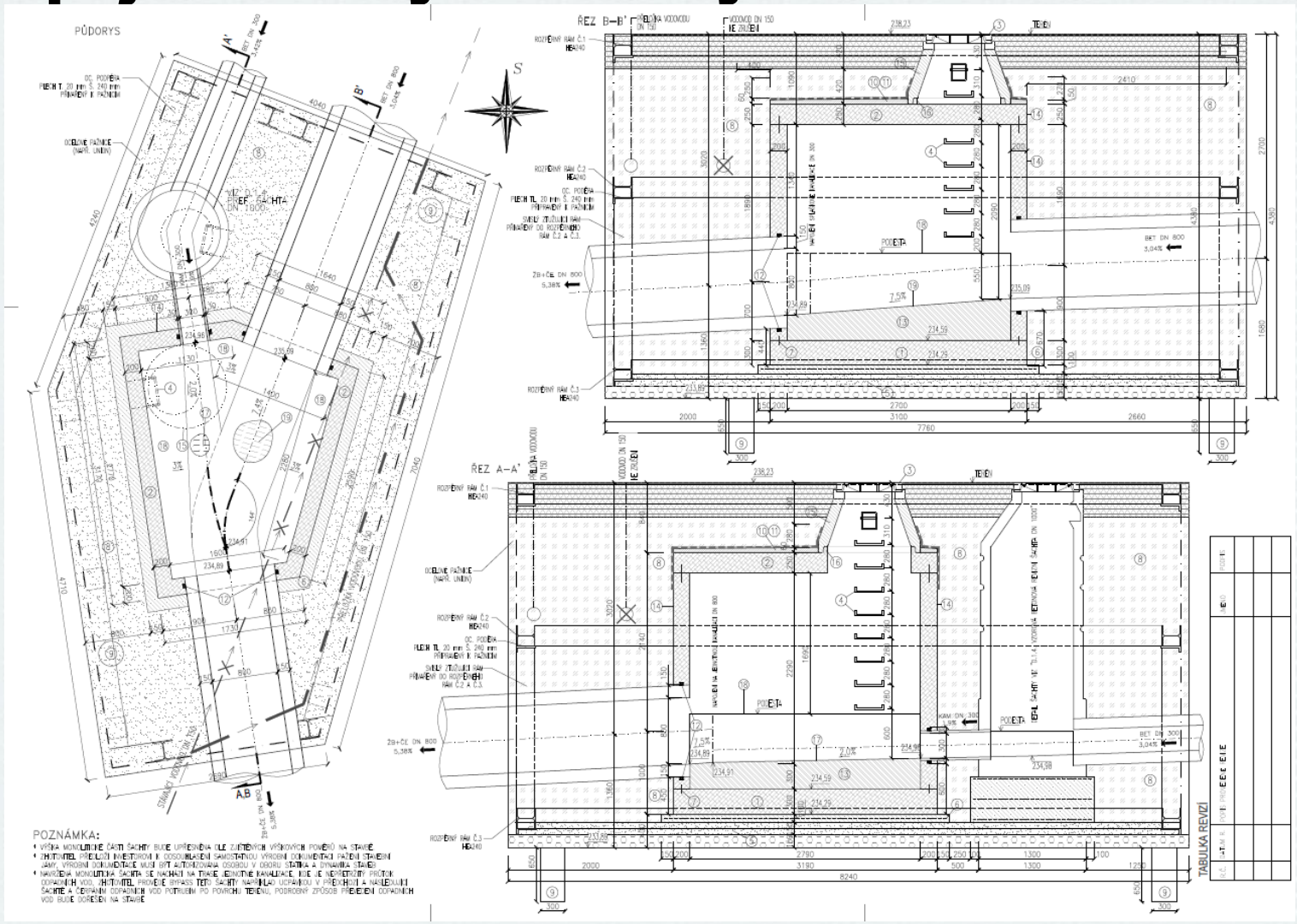
Soutok kanalizačních stok se provádí obvykle ve:

- **vstupních (spojných) kanalizačních šachtách** obvykle kruhového půdorysu a to při spojování stok do vnitřního průměru DN 400,
- **spojných kanalizačních komorách** a to při spojování kanalizačních stok vnitřního průměru DN 500 a větších (u nekruhových stok při min. šířce kanalizačního potrubí DN 600). Rozdíl oproti spojným šachtám je ten, že monolitickou konstrukci tvoří nejen základ objektu, ale i části komory nad úrovní stropu stoky.

cc BY NC SA

4. Vybrané objekty na stokovém systému

4.2. Spojné šachty a komory



CC BY NC SA

4. Vybrané objekty na stokovém systému

4.3. Spadiště / skluzy

Spadiště jsou objekty na stokové síti, jejichž účelem je primárně překonávat stupněm velký sklon (potrubí), při kterém by ve stoce při návrhovém průtoku byly přesahovány maximální povolené (normové) rychlosti odpadní vody. Maximální doporučené výšky spadiště jsou 4 metry pro dimenze potrubí DN 250 až 400, respektive 3 metry pro potrubí DN 450 až 600. Část šachty (minimálně nárazová stěna) a dno spadiště je opatřeno pevným odolným obkladem (obvykle z čediče nebo z kameniny).

Skluzy se navrhují na velmi strmých a dlouhých trasách, kde by budování kaskády spadišť bylo vysoce nákladné.

cc BY NC SA

4. Vybrané objekty na stokovém systému

4.3. Spadiště / skluzy

cc BY NC SA

4. Vybrané objekty na stokovém systému

4.4. Dešťové vpusti

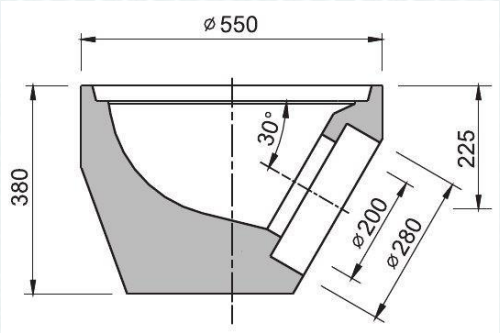
Dešťové vpusti primárně slouží k odvodnění vozovek, chodníků a zpevněných ploch. Zpravidla jsou provozovány provozovatelem stokového systému nebo provozovatelem vozovky. Dešťové vpusti jsou součástí komunikačních staveb a rozdělujeme je následovně:

- uliční vpusť,
- chodníková vpusť,
- horská vpusť.

cc BY NC SA

4. Vybrané objekty na stokovém systému

4.4. Dešťové vpusti



BY NC SA

4. Vybrané objekty na stokovém systému

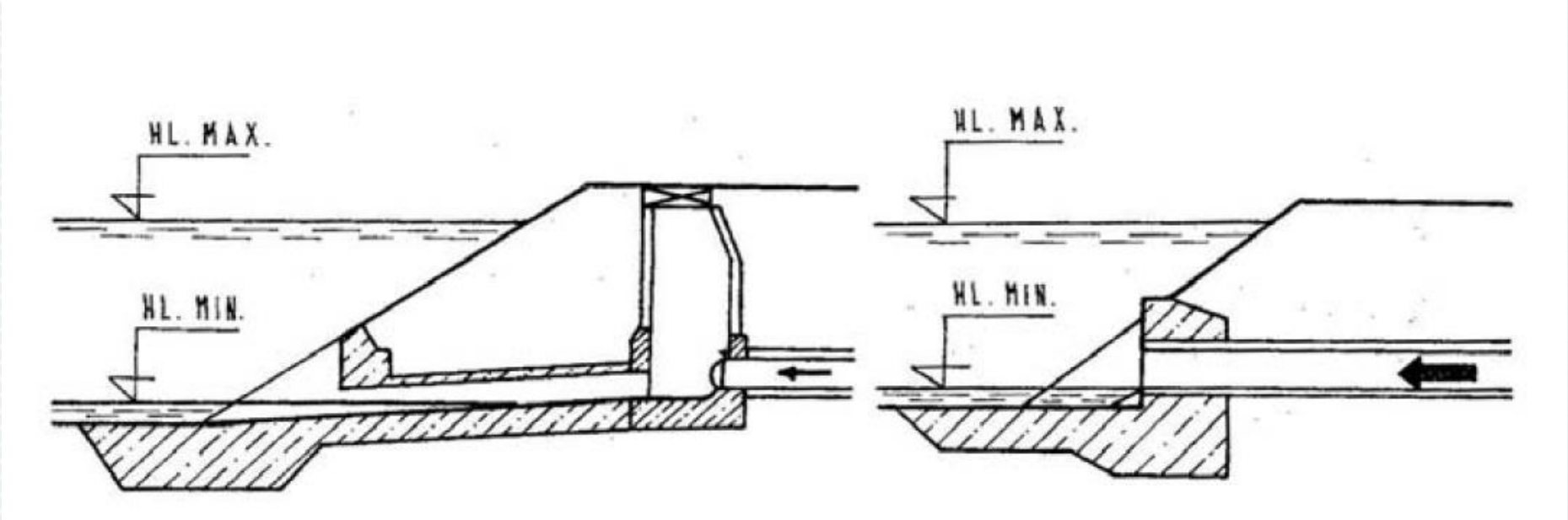
4.5. Vyústní objekty

Výustní objekty jsou zařízení určené pro vypouštění odpadních vod (i vyčištěných odpadních vod) do vodních toků nebo vodních nádrží. Výustní objekty mají podpořit promísení s vodou v recipientu. Pro výustě jsou vhodná místa na konkávním břehu toku s dostatečnou hloubkou vody a dostatečným proudem aby nedocházelo k zanášení stok splaveninami z recipientu. Výustní objekty bývají často vystaveny silným účinkům proudící vody a proto je potřeba věnovat velkou pozornost jejich založení.

CC BY NC SA

4. Vybrané objekty na stokovém systému

4.5. Vyústní objekty



BY NC SA

4. Vybrané objekty na stokovém systému

4.6. Proplachovací objekty

Proplachovací objekty (obvykle šachty) jsou objekty na stokových sítích, které slouží k proplachování stok s výjimkou vrcholových úseků, pro které jsou určeny proplachovací komory. Jejich návrh je potřeba všude tam, kde odpadní voda nemá dostatečnou unášecí sílu (např. dle pokynu uvedeném v provozním řádu kanalizace), takže v ročním průměru dochází k usazování splavenin a zanášení stok. Obvykle na odtoku z objektu (šachty) je osazeno stavítko, kdy náhlým otevřením stavítka se pak vytvoří „povodňová vlna“, která spláchne splaveniny.

CC BY NC SA

4. Vybrané objekty na stokovém systému

4.7. Shybka

Shybky jsou objekty na stokové síti sloužící k převedení odpadních vod pod překážkami (např. jinými stokami, vodními toky, komunikacemi apod.) v těch případech, kdy niveleta stoky je ve stejné úrovni jako překážka a nelze ji snížit tak, aby odpadní vody protékaly pod překážkou samospádem s volnou hladinou.

Kanalizační shybky podle hydraulického hlediska dělíme na:

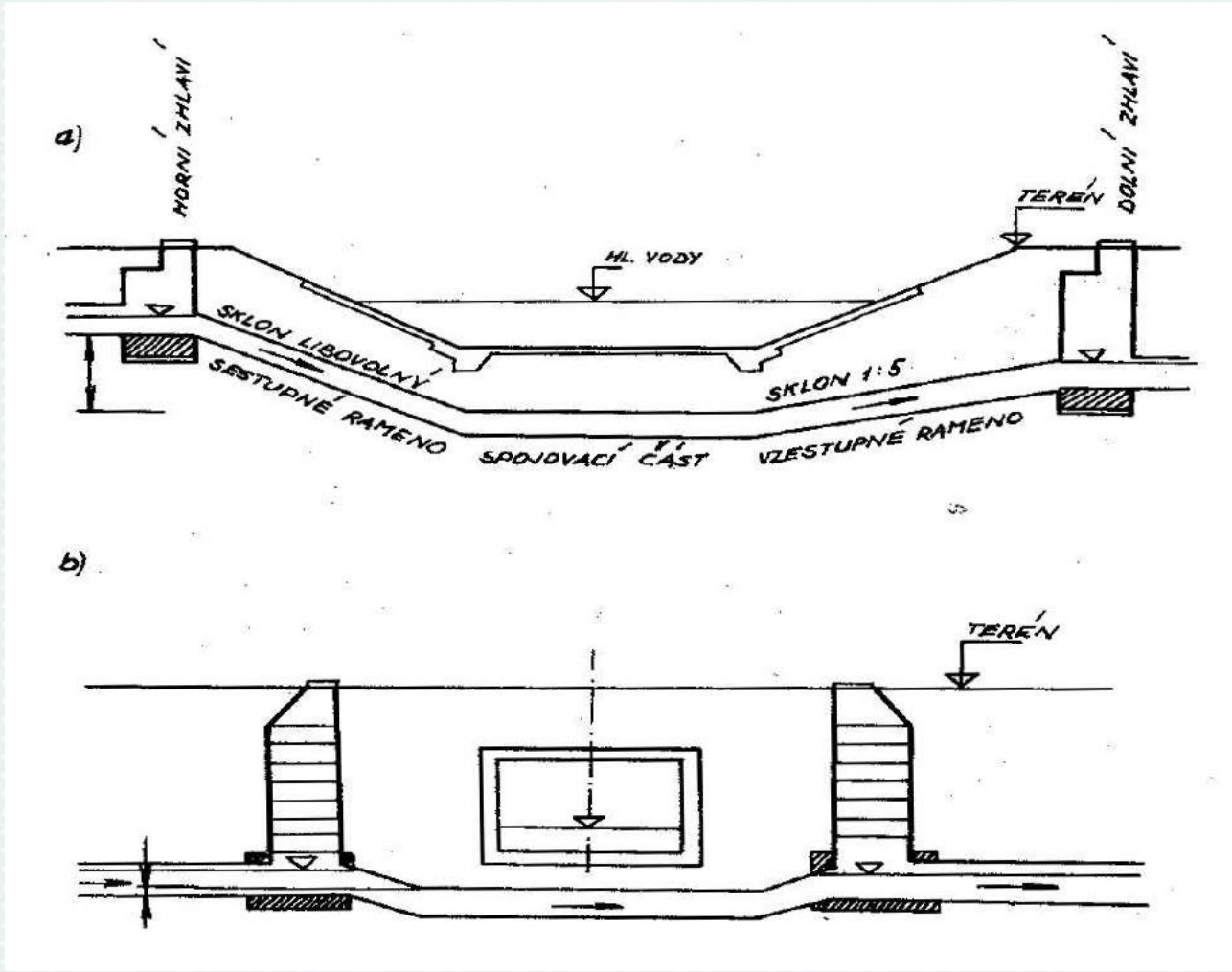
- shybky plné, leželi strop shybky pode dnem přítokové a odtokové stoky,
- shybky neúplné, leží-li strop shybky nade dnem přítokové a odtokové šachty.

Dále podle počtu ramen: i) jednoramenné a ii) víceramenné.

cc BY NC SA

4. Vybrané objekty na stokovém systému

4.7. Shybka



BY NC SA

4. Vybrané objekty na stokovém systému

4.8. Odlehčovací komory

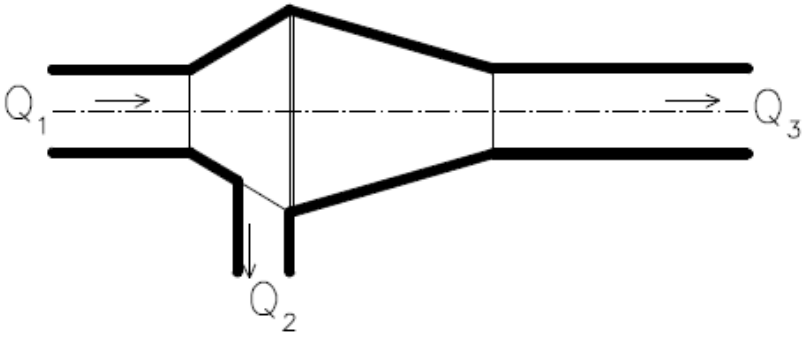
Odlehčovací komory patří u jednotných stokových sítí k nejdůležitějším a zároveň nejsložitějším objektům z hlediska hydraulického, hydrologického, hygienického i konstrukčního, přičemž tato jednotlivá hlediska se vzájemně ovlivňují a úzce spolu souvisejí. Konstrukčně musí být odlehčovací komora uspořádána tak, aby oddělovala z celkového průtoku nad ní množství vody, o které má být průběžná stoka odlehčena, a toto množství aby odváděla odlehčovací stokou do recipientu. Oddělení vody se děje nejčastěji přepadem přes přelivnou konstrukci, jehož koruna je umístěna nade dnem odlehčovacího koryta ve výši odpovídající průtoku, při němž má být odlehčovací komora uvedena v činnost.

cc BY NC SA

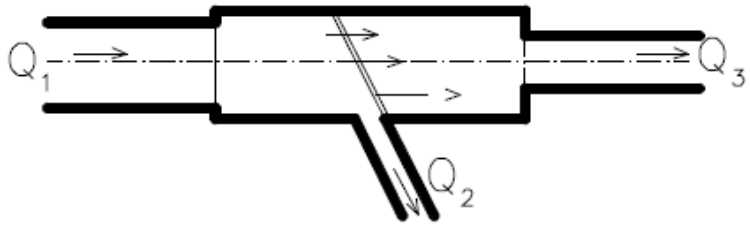
4. Vybrané objekty na stokovém systému

4.8. Odlehčovací komory

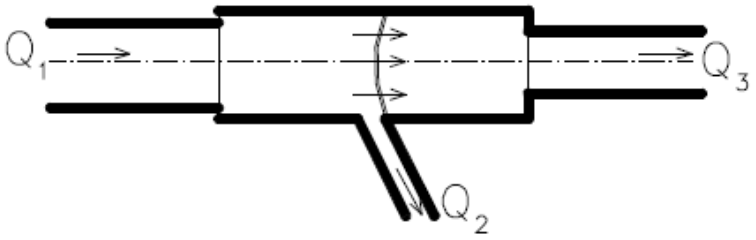
Přímý kolmý přepad



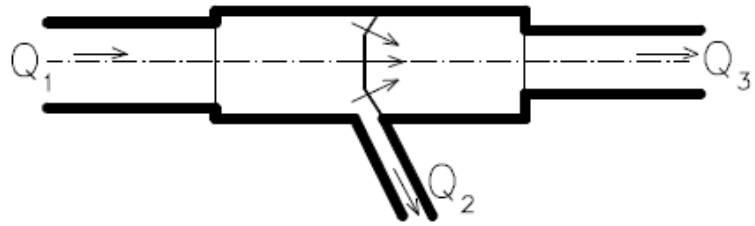
Přímý šikmý přepad



Přímý obloukový přepad



Přímý lomený přepad



BY NC SA

4. Vybrané objekty na stokovém systému

4.9. Zařízení na regulování průtoku odpadní vody

Tato zařízení slouží pro regulaci průtoku vod v jednotných i oddílných stokových systémech. Principiálně jsou všechna založena na plováku vertikálně se pohybujícím v závislosti na výšce okolní vodní hladiny.

Mezi tato zařízení můžeme považovat:

- plovákové regulátory,
- štítový oddělovač,
- zpětné klapky na stokové síti.

BY NC SA

4. Vybrané objekty na stokovém systému

4.10. Akumulační a separační zařízení

Nepříznivý vliv rozkolísanosti průtokového režimu odpadních vod na ČOV i recipient lze významnou měrou ovlivnit akumulačními objekty u všech odvodňovaných stokových soustav či separačním zařízením vhodně instalovaným na jednotné stokové síti.

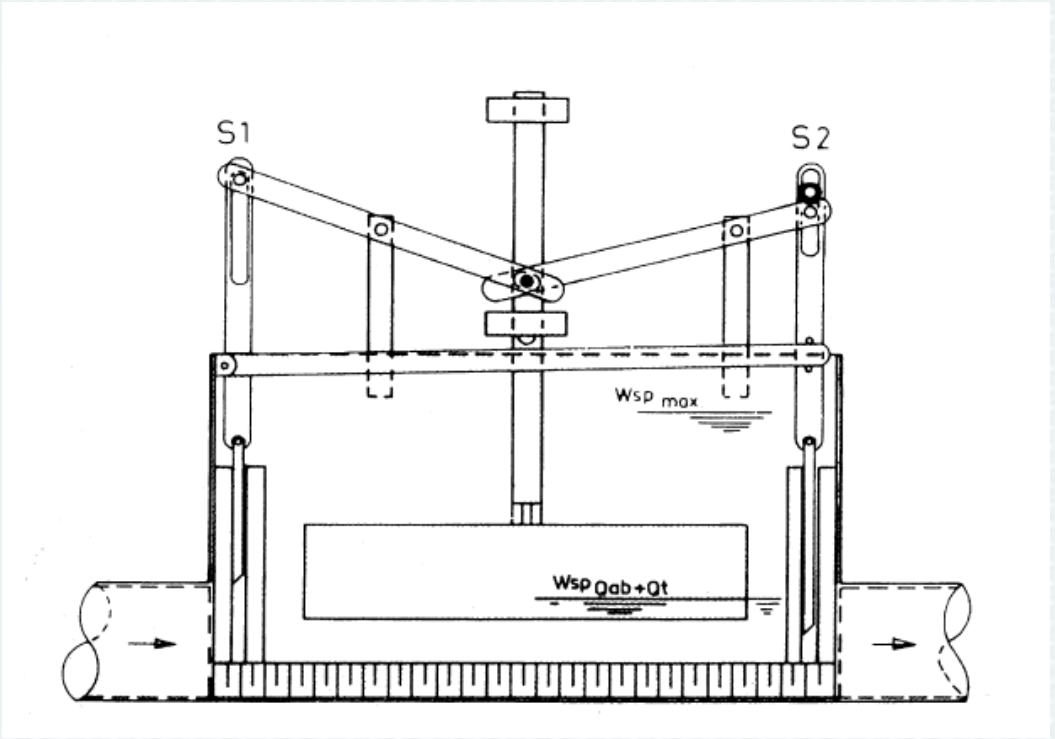
Mezi tyto objekty patří:

- akumulační objekty: i) retenční objekty a ii) dešťové nádrže (záchytné, průtočné nebo kombinované),
- separační objekty: i) vířivé, ii) vírové a iii) obloukové.

cc BY NC SA

4. Vybrané objekty na stokovém systému

4.10. Akumulační a separační zařízení



BY NC SA

5. Čerpací stanice odpadních vod

Čerpací stanice na stokové síti je navrhují a realizují zejména z následujících důvodů:

- odpadní vody je potřeba převést přes rozvodnici do povodí, ve kterém je např. kmenová stoka, ČOV nebo recipient,
- při rozšiřování gravitační sítě není možné výškově umístit nově uvažované stoky do stávající gravitační stoky,
- překonávání překážek na trase, tedy jako alternativa k řešení prostřednictvím kanalizační shybky,
- krytí kmenových stok narůstá nad hospodárnou míru, je tedy pak vhodnější (ekonomiky) navrhnout čerpací stanici odpadní vody.

cc BY NC SA

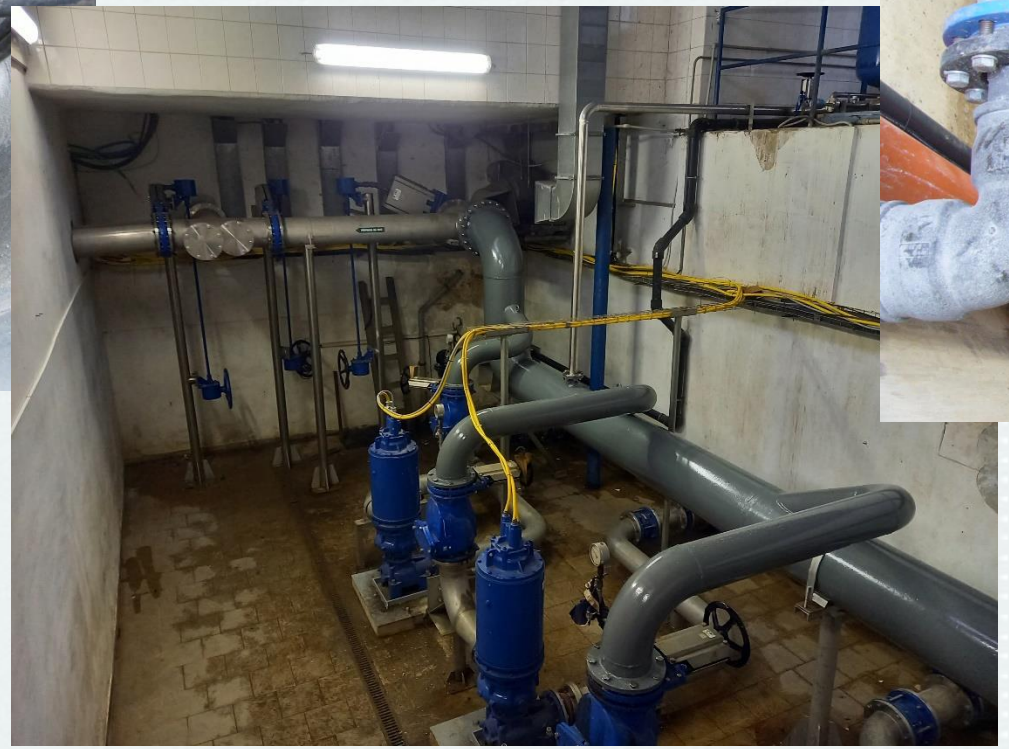
5. Čerpací stanice odpadních vod

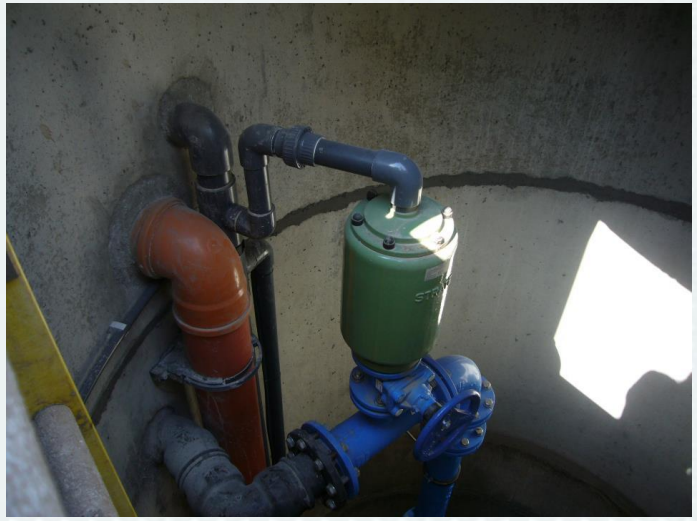
U jednotné stokové soustavy mohou být čerpací stanice použity v návaznosti na dešťové oddělovače a dešťové nádrže pro zachycení „první vlny“ dešťového průtoku, u oddílné soustavy pro převod prvních splachů z dešťové do splaškové soustavy. Čerpání plného dešťového průtoku by mělo být výjimečné.

Čerpací stanice odpadní vody jsou obvykle vystrojovány odstředivými čerpadly. Kromě výjimečných způsobů čerpání (např. pneumatická doprava splaškových odpadních vod) se uplatňují (u menších výkonů) hydrostatická čerpadla vřetenová.

CC BY NC SA

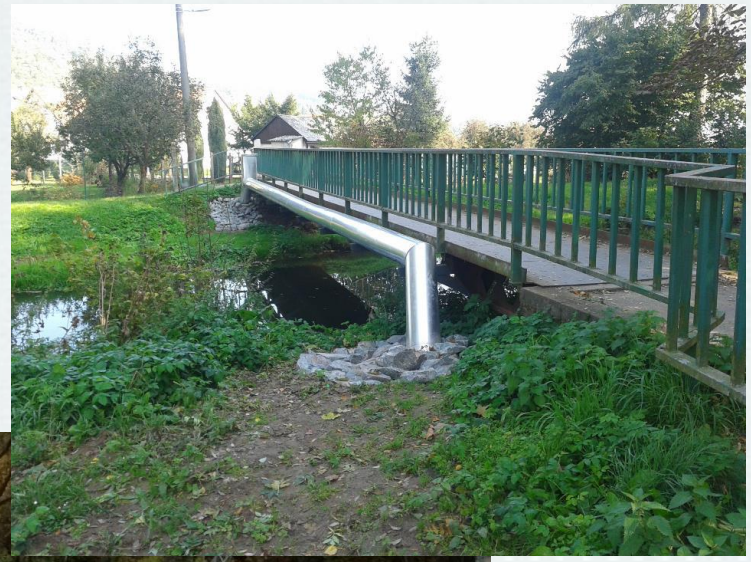
5. Čerpací stanice odpadních vod





cc BY NC SA

5. Čerpací stanice odpadních vod



cc BY NC SA

6. Trubní materiály

Výběr materiálu pro výstavbu stokových sítí je volen na základě účelu a plánované životnosti díla. Požadovanými vlastnostmi materiálů stokových sítí jsou:

- vodotěsnost;
- bezpečná odolnost proti:
  - … mechanickým vlivům;
  - … chemickým vlivům;
  - … biologickým vlivům;
  - … vlivům dopravované odpadní vody;
  - … agresivnímu působení okolního prostředí;
  - … namáhání stok;
- možnost bezpečného a účinného čištění stok.

cc BY NC SA

6. Trubní materiály

Na potrubí jednotné a oddílné stokové soustavy se používají trouby podle platných norem. Materiály, které vyhovují výše uvedeným požadavkům, jsou:

- kamenina;
- beton (doporučuje se pro dešťové stoky);
- železobeton;
- polymerbeton;
- čedič;
- sklolaminát;
- šedá a tvárná litina;
- plasty (PP, PVC, PE);
- vláknocement;
- případně kombinace výše uvedených.

BY NC SA

6. Trubní materiály

CC BY NC SA

6. Trubní materiály

Stoky mohou být trubní, monolitické (betonované na místě nebo zděné), případně ze stavebních dílců z různých výše uvedených materiálů. Zděné stoky jsou konstruovány z kanalizačních cihel na cementovou maltu, z monolitického betonu nebo železobetonu. Na zvýšení odolnosti proti obrusu a chemickým účinkům odpadních vod je možné vnitřní líc zděné nebo betonované stoky opatřit úplným nebo částečným obložením (vyzdívkou, výstelkou, povlakem apod.). Na obložení se používá kamenina, tavený čedič, odolný a houževnatý kámen, sklolaminát (ne vinutý), plasty a podobné materiály. Při obkládání je třeba použít odolné pojivo obkladů a spár a takovou technologii, aby nedošlo k odlupování.

BY NC SA

Použitá literatura

- HLAVÍNEK Petr, MIČÍN Jan, PRAX Petr, HLUŠTÍK Petr, MIFEK Radim, Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia, Stokování a čištění odpadních vod, Modul 1 Stokování, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2006.
- HLAVÍNEK Petr, MIČÍN Jan, PRAX Petr, HLUŠTÍK Petr, MIFEK Radim, Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia, Stokování a čištění odpadních vod, Modul 2 Čištění odpadních vod, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2006.
- HLAVÍNEK Petr, RAČEK Jakub, CHORAZY Tomáš, RACLAVSKÝ, Jaroslav, VELIKOVSKÁ Kristýna, KORYTÁŘ Ivo, Souhrnná výzkumná zpráva, Přehled bezpečnostních opatření pro vodohospodářskou infrastrukturu s bezpečnostním rizikem (teroristické útoky, havárie, klimatické změny, apod.), Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Centrum AdMaS, 2019.
- Zákon č. 274/2001 Sb. Zákon o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích).
- Vodovody a kanalizace Vyškov, a.s., Kanalizační přípojka, Instrukce k jednotnému provádění, verze 20150115.
- KNOTEK Jaroslav, Rekonstrukce kanalizačního systému v území Městské části Praha – Čakovice, https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-rekonstrukce-kanalizacniho-systemu-v-uzemi-mestske-casti-praha-cakovice.html.
- Betonové uliční vpusti, https://dcpraha.cz/ulicni-vpusti.
- Databáze fotografií a výkresové dokumentace projekční společnosti VH atelier, spol. s r.o..
- ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky
- ČSN 75 6909 Zkoušky vodotěsnosti stok a kanalizačních přípojek
- ČSN 01 3463 Výkresy inženýrských staveb - Výkresy kanalizace

CC BY NC SA

Magisterský studijní program JADERNÁ ENERGETIKA vznikl za přispění

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU

NÁRODNÍ PLÁN OBNOVY

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

NPO_VUT_MSMT-16609_2022

CC BY NC SA

VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU

NÁRODNÍ PLÁN OBNOVY

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FAKULTA CHEMICKÁ

FAKULTA STAVEBNÍ

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Přednáška magisterského studijního programu JADERNÁ ENERGETIKA

Vodní hospodářství a vzduchotechnika jaderných elektráren

Čištění komunálních odpadních vod (kvalita odpadních vod, mechanické předčištění, biologické čištění odpadních vod, kalové hospodářství)

Fakulta stavební

Petr Hlavínek

06/2023

CC BY NC SA

Úvod do problematiky čištění komunálních odpadních vod

- Běžné komunální odpadní vody jsou zpravidla zbarveny šedě až šedohnědě a jsou silně zakalené, teplota se v ČR pohybuje od 5 do 20 ˚C v závislosti na ročním období hodnota pH je v rozmezí od 6,8 do 7,5.
- Volba a zařazení jednotlivých procesů do technologické linky záleží na charakteru znečištění a na splnění následujících požadavků:
  - Proces musí být účinný
  - Proces by měl být ekonomicky přijatelný
  - Proces by neměl být příliš náročný na spotřebu energie.
  - Při procesu by se neměly vnášet do čištění odpadní vody další znečišťující látky.

cc BY NC SA

Úvod do problematiky čištění komunálních odpadních vod

- Pro navrhování ČOV je řada kritérií, mezi nejvýznamnější patří:
  - jednoduché a spolehlivé strojní vybavení
  - odolnost vůči hydraulickému přetížení
  - možnost pouze periodické obsluhy a údržby.
- Další zásady zahrnují především problémy
  - hygienické
  - jako pach
  - hluk
  - tvorbu aerosolů
  - problémy se zajištěním souhlasu s výstavbou ČOV v dané lokalitě.

CC BY NC SA

Úvod do problematiky čištění komunálních odpadních vod

- Mechanicko - biologická čistírna začíná hrubým předčištěním, jehož hlavním účelem je ochrana hlavních procesů a zařízení.
  - je tvořeno česlemi, zachycující nejhrubší nečistoty,
  - lapačem písku
  - je-li k tomu zvláštní důvod, zařazuje se lapač tuků.
  - vlastní mechanický stupeň čištění představuje usazování jemnějších částic, provozované v usazovacích (sedimentačních) nádržích.
- Biologický stupeň čištění je založen na rozkladu organického znečištění kulturou mikroorganismů.
  - Kultura se může volně vznášet ve vodním prostředí, pak se hovoří o čištění aktivovaným kalem, (čištění aktivačním) nebo jde o kulturu žijící přisedle na nosiči.

cc BY NC SA

Úvod do problematiky čištění komunálních odpadních vod

- Kalové hospodářství čistírny odpadních vod
  - má zachytit produkované kaly a upravit je do podoby, v níž mohou být dále využity nebo zneškodněny.
  - v malých čistírnách se zpravidla omezuje na pouhý zahušťovací a zásobní prostor nebo kalovou nádrž, v níž kal za dalšího skladování vyhnívá z níž je ve stavu pokud možno zahuštěném odvážen cisternovým vozem.
  - každá čistírna by měla mít dostatečně velkou kalovou uskladňovací nádrž, umožňující překonávat období, kdy není možné kal vyvážet.

cc BY NC SA

Typy ČOV, technologické stupně na ČOV, základní výpočty a parametry

- Vztah kanalizační síť - ČOV (MČOV)
  - oddílná soustava - ČOV dimenzovaná na průtok splašků
  - jednotná soustava - ČOV dimenzovaná na průtok Q max > Qspl

QCOV > QBCOV

QDZ = QCOV – QBCOV

cc BY NC SA

Typy ČOV, technologické stupně na ČOV, základní výpočty a parametry

Cíle:

- koagulovat a odbourat neusaditelné koloidní látky
- stabilizovat organické látky

U komunálních odpadních vod

- redukce organických látek
- redukce nutrientů (N a P)

Téměř všechny odpadní vody mohou být čištěny biologicky

cc BY NC SA

Typy ČOV, technologické stupně na ČOV, základní výpočty a parametry

Názvosloví:

Aerobní procesy - za přítomnosti kyslíku / aerobní bakterie

Anaerobní procesy - za absence kyslíku P/ anaerobní bakterie

Anoxická denitrifikace - NO_3^- → N_2, O_2 / při nepřítomnosti kyslíku

Fakultativní procesy - organismy nejsou závislé na přítomnosti rozpuštěného kyslíku / fakultativní mikroorganismy

Odbourání BSK5 - odstranění uhlíkatých org. látek (vznik buněčné hmoty, plynů ...)

Nitrifikace - NH_4^+ → NO_2^- → NO_3^-

cc BY NC SA

Typy ČOV, technologické stupně na ČOV, základní výpočty a parametry

Suspended-growth = směsná kultura ve vznosu / mikroorganismy jsou v suspenzi ve vodě

Attached-growth = biofilmový systém / mikroorganismy jsou tzv. mobilizované, to jest připojené, přisedlé apod. k nějakému nosiči

Role mikroorganismů - biologické odbourávání znečištění za vzniku různých plynů vody buněčné hmoty se specifickou hmotností o něco vyšší nežli voda, oddělena gravitačně sedimentací.

cc BY NC SA

Typy ČOV, technologické stupně na ČOV, základní výpočty a parametry

Enzymy

- Sehrávají mimořádnou roli v růstu a příjmu energie.
- Organické katalyzátory produkované živými buňkami - jsou to proteiny nebo proteiny kombinované s anorganickými nebo s organickými molekulami.
- Urychlují chemické reakce .
- Extracelulární enzymy - když požadovaná látka neprojde stěnou buňky, je upravena na formu, která může být transportována dovnitř buňky.
- Intracelulární enzymy - podílí se na syntéze uvnitř buněk.
- Enzymy jsou vysoce efektivní, ale zároveň velmi specifické.
- Buňka musí produkovat různé enzymy pro různé substráty.

CC BY NC SA

Typy ČOV, technologické stupně na ČOV, základní výpočty a parametry

Cíle:

- koagulovat a odbourat neusaditelné koloidní látky
- stabilizovat organické látky

U komunálních odpadních vod

- redukce organických látek
- redukce nutrientů (N a P)

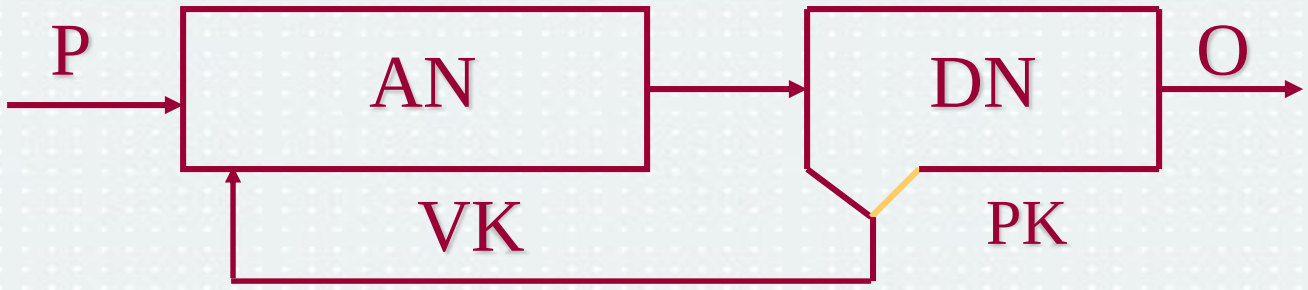
Téměř všechny odpadní vody mohou být čištěny biologicky

cc BY NC SA

Typy ČOV, technologické stupně na ČOV, základní výpočty a parametry

AKTIVAČNÍ PROCES – 1914 Ardern a Lockett (Anglie)

- Jako první začali využívat vločkovité suspenze, vzniklé v dlouhodobě provzdušňované odpadní vodě.
- Pozorovali, že se stoupající koncentrací suspenze se zkracoval proces čištění (ze dnů až na hodiny).
- Kal se choval aktivně ve smyslu odstraňování organického znečištění z odpadních vod - byl nazván aktivovaným kalem (activated sludge).



BY NC SA

Typy ČOV, technologické stupně na ČOV, základní výpočty a parametry

Aktivace s postupným tokem (klasická aktivace)

- dlouhé koryto a relativně malým průtočným profilem
- odpadní voda se mísí s vratným aktivovaným kalem na začátku aktivační nádrže
- koncentrace aktivovaného kalu v nádrži se podstatně neliší
- koncentrace rozpuštěných organických látek po délce nádrže směrem k odtoku klesá
- rychlost spotřeby kyslíku látek po délce nádrže směrem k odtoku klesá

Odstupňovaná aktivace / Postupně zatěžovaná aktivace / Aktivace s oddělenou regenerací kalu / Aktivace s cirkulací aktivační směsi

CC BY NC SA

Typy ČOV, technologické stupně na ČOV, základní výpočty a parametry

Směšovací aktivace

- zpravidla nádrže čtvercového tvaru
- provzdušňované a míchané
- konstantní rozložení koncentrace aktivovaného kalu i rozpuštěného kyslíku v celé nádrži
- odolnost proti toxickým látkám díky okamžitému zředění koncentrace na přítoku
- podporuje růst vláknitých mikroorganismů (nevýhoda)

CC BY NC SA

ČOV Polná

ČOV Nové město na Moravě

BY NC SA

ČOV Bystřice pod Pernštejnem

ČOV Náměšť nad Oslavou

BY NC SA

Mechanické předčištění odpadních vod
ČESLE A SÍTA

Hrubé česle

- velikost průlin - 5 až 20 cm
- slouží obvykle jako ochrana čerpadel před poškozením většími předměty
- obvykle bývají stírány ručně.

Jemné česle

- průliny 6 až 20 mm
- v příčném profilu mají tvar části kruhu
- přímé se sklonem ve směru proudu vody
- zpravidla strojně stírané

cc BY NC SA

Strojně stírané česle FONTÁNA

Bubnové česle HUBER

BY NC SA

Mechanické předčištění odpadních vod
ČESLE A SÍTA

Složení shrabků kolísá podle ročního období.

Shrabky obsahují:

- obsah vody cca 80 %
- hmotnost cca 960 kg/m3,
- obsah min. látek cca 15 – 20 %.
- vz1 = 0.2 – 0.3 m^3/obyv.rok – hrubé česle
- vz1 = 5.0 – 10.0 m^3/obyv.rok – jemné česle
- Shrabky je vhodné zbavit přebytku vody, zmenšit jejich hmotnost i objem, lisováním se sníží obsah vody z cca 80 % na cca 40 %.
- Shrabky je možné kompostovat , skládkovat nebo spalovat.

cc BY NC SA

Mechanické předčištění odpadních vod
LAPÁKY PÍSKU

- Slouží k zachytávání písku a min. částic, aby byla zajištěna ochrana dalších objektů a zařízení ČOV
- Zachycuje částice do velikosti zrn 0,2 - 0,25 mm
- Při návrhu lapáku písku platí ustanovení ČSN 75 6401

Lapáky písku můžeme rozdělit:

- dle způsobu odstraňování písku:
  - ručně (čištění 1 –2x týdně)
  - strojně
- dle směru průtoku písku:
  - horizontální lapáky písku
  - vertikální lapáky písku

cc BY NC SA

Vertikální virový lapák písku

Pračka písku

BY NC SA

Mechanické předčištění odpadních vod
USAZOVÁNÍ

Usazovací nádrže slouží ke gravitační separaci suspendovaných látek obsažených v odpadní vodě.

Usazovací nádrže dělíme:

- dle zařazení v technologické lince:
  - primární - separace suspendovaných částic z odpadní vody (mechanické čištění)
  - sekundární – separace biologického kalu při biologickém čištění (dosazovací nádrže)
- dle tvaru a průtoku v nádrži
  - pravoúhlé s horizontálním průtokem
  - kruhové s horizontálním průtokem
  - kruhové s vertikálním průtokem
  - štěrbinové usazovací nádrže (s kalovým prostorem)

cc BY NC SA

Kruhová usazovací nádrž

Podélná usazovací nádrž

BY NC SA

Biologický stupeň
AERACE

Aerační systémy mají dvě hlavní funkce:

- ❑ Dodat aerobním mikroorganismům potřebné množství kyslíku, obvykle ze vzduchu (oxygenační účinek).
- ❑ Zabezpečit homogenizaci obsahu aktivační nádrže (hydrodynamický účinek).

Obsah nádrží se provzdušňuje následujícími způsoby:

- ❑ stlačeným vzduchem - pneumatická aerace,
- ❑ mechanickými aerátory - mechanická aerace,
- ❑ ejektory a injektory - hydropneumatická aerace,
- ❑ kombinací několika zařízení (např. pneumatická aerace a horizontální ponorná míchadla)

cc BY NC SA

Biologický stupeň
AERACE

Podle průměru vzduchových bublin rozeznáváme tři druhy pneumatické aerace:

- jemnobublinnou aeraci (d = 1 až 4 mm), charakteristické je použití jemnobublinných porézních nebo membránových elementů,
- středobublinnou aeraci (d = 4 až 10 mm), charakteristické je použití děrovaných trubek nebo různých vibračních klapek,
- hrubobublinnou aeraci (d > 10 mm), charakteristické je použití trubek s otevřenými konci bez děrování trubky.

BY NC SA

Biologický stupeň
AERACE

Systém se skládá ze:

- ❑ **zdroje vzduchu, jednotky filtrace vzduchu, hlavního a rozvodného vzduchového potrubí z nekorodujících materiálů, provzdušňovacích roštů osazených jemnobublinnými elementy a odvodňovacího zařízení.**

Jemnobublinné aerační elementy můžeme rozdělit na:

- ❑ **bodové elementy (disky, desky, dómy)**
- ❑ **trubkové elementy (trubice, svíčky)**
- ❑ **velkoplošné elementy (deskové, hadicové)**

cc BY NC SA

Aerační elementy

Povrchová aerace

cc BY NC SA

Separace aktivovaného kalu

Základní funkce dosazovacích nádrží (DN):

- ❑ separace aktivovaného kalu od vyčištěné odpadní vody
- ❑ zahušťování separovaného kalu tak, aby bylo možné recirkulovat
- ❑ akumulace aktivovaného kalu při nárazovém hydraulickém zatížení biologického stupně

Faktory ovlivňující návrh a provoz DN:

- ❑ hydraulické zatížení a tvary nádrže
- ❑ průměrný a maximální bezdeštný průtok, maximální průtok za deště
- ❑ plocha dosazovací nádrže a její zatížení
- ❑ hloubka nádrže u stěny a doba zdržení recirkulační poměr

cc BY NC SA

Separace aktivovaného kalu

TYPY DOSAZOVACÍCH NÁDRŽÍ:

- kruhové
- pravoúhlé
- vertikální - menší kapacity čtvercové (tzv. Dortmundské typy)

Obvyklé návrhové hodnoty při dimenzování:

- maximální hydraulické zatížení
- doba zdržení
- látkové zatížení plochy nerozpuštěnými látkami
- zatížení přepadové hrany

cc BY NC SA

Kruhové dosazovací nádrže

Vertikální dosazovací nádrže

cc BY NC SA

AEROBNÍ REAKTORY S BIOMASOU PŘISEDLOU

Princip aerobního biologického čištění odpadních vod v biofilmových reaktorech:

- ❑ podstatě shodný s čištěním aktivací
- ❑ uplatňují se všechny tři základní faktory tohoto procesu:
  - ❑ aerobní mikroorganismy (především bakterie)
  - ❑ kyslík
  - ❑ organická hmota, která je rozkládána mineralizačními pochody
- ❑ mikroorganismy směsné kultury:
  - ❑ nejsou ve vločkách vznášejících se v aerované nádrži
  - ❑ jsou přisedlé na pevném podkladě (nosiči)
  - ❑ na nosiči vytvářejí biologickou blánu (biofilm)

CC BY NC SA

AEROBNÍ REAKTORY S BIOMASOU PŘISEDLOU

ROZDĚLENÍ BIOFILMOVÝCH REAKTORŮ:

- **podle nosiče biofilmu**
  - s pevným nosičem (volně ložená náplň)
  - s pohyblivým nosičem (rotační disky)
- **podle směru průtoku odpadní vody filtrační náplní**
  - skrápěné
  - ponořené
  - rotační
- **podle druhu filtrační náplně**
  - s objemovou náplní (kamenivo, vápenec, vysokopecní struska)
  - s plošnou náplní (plasty, porcelán)

cc BY NC SA

AEROBNÍ REAKTORY S BIOMASOU PŘISEDLOU

ROZDĚLENÍ BIOFILMOVÝCH REAKTORŮ:

- **podle typu aerace**
  - přirozená aerace
  - nucená aerace
- **podle technologického schématu**
  - jednostupňové
  - dvoustupňové
  - vícestupňové

cc BY NC SA

AEROBNÍ REAKTORY S BIOMASOU PŘISEDLOU

Skrápěné biologické kolony (biofiltry)

- pevným nosičem biofilmu je náplň kolony zkrápěná odpadní vodou
- průtok odpadní vody shora dolů
- aerace je přirozená nebo nucená

Ponořené biologické kolony

- nosičem biofilmu je náplň kolony (pevná nebo ve vznosu)
- průtok odpadní vody zdola nahoru
- aerace je nucená

Rotační biofilmové reaktory

- pohyblivým nosičem jsou disky (rotační diskové reaktory RDR) nebo klece
- nosiče se pomalu otáčejí v korytě s odpadní vodou, do níž jsou částečně ponořeny
- aerace probíhá na styku nosiče se vzduchem při otáčivém pohybu

cc BY NC SA

Skrápěné filtry

Rotační biologické kontaktory

CC BY NC SA

Kalové a plynové hospodářství ČOV

Složení kalu závisí na:

- složení OV
- způsobu čištění
- parametrech provozu

Při vícestupňovém čištění OV jsou z každého stupně produkovány kaly odlišného složení

- v řadě případů je účelné zpracovat je odděleně
- někdy je vhodné zpracovat kaly společně

Technologie zpracování kalu:

- zahušťování kalu
- stabilizace kalu
- odvodnění kalu
- finální likvidace (využití) kalu

cc BY NC SA

Kalové a plynové hospodářství ČOV

ZAHUŠŤOVÁNÍ KALU:

- gravitační
  - **Gravitační zahušťování využívá rozdílu hustoty mezi vodou a částečkami kalu**
  - **Zahušťovací nádrž:**
    - obvykle kruhového tvaru s přívodem suspenze do jejího středu
    - zahuštěný kal je odtahován z jejího dna
    - kalová voda je vracena před usazovací nádrž, z níž je čerpána nezahuštěná suspenze
  - **Zahušťování je úspěšně používáno u kalů:**
    - primárních s obsahem sušiny < 3%
    - z chemického čištění
    - biologických ze systémů s přisedlou biomasou
    - smíšených primárních a biologických ze systémů s přisedlou biomasou
- flotační (tlaková flotace)
- Strojní (odstředivky, sítopásové lisy)

cc BY NC SA

Zahušťovací nádrž

Tlaková flotace

cc BY NC SA

Kalové a plynové hospodářství ČOV

STABILIZACE KALU:

- biologická s rozlišením podmínek za nichž probíhá (aerobní, anaerobní)
- chemická
- termická (pasterizace, sušení)

Anaerobní stabilizace:

- dochází k rozkladu biologicky rozložitelné organické hmoty provázené produkcí bioplynu
- konečnými produkty jsou:
  - vzniklá biomasa
  - stabilizovaná organická hmota
  - NH_4^+, CH_4, CO_2, H_2S, H_2 a N_2.
- provádí se v semikontinuálně provozovaných reaktorech při teplotě:
  - mesofilní (27 - 45 °C)
  - termofilní (45 - 60 °C
  - psychrofilní v nádržích nevyhřívaných

CC BY NC SA

Kalové a plynové hospodářství ČOV

Aerobní stabilizace

- Výhodou aerobní stabilizace je:
  - srovnatelný stupeň rozkladu organické hmoty s anaerobní stabilizací
  - nízké koncentrace BSK5 v kalové vodě
  - přeměna amoniakálního dusíku na dusičnany
  - jednoduchý provoz
  - nízké investiční náklady
- Nevýhodou je:
  - vysoká spotřeba elektrické energie
  - horší energetická bilance - není produkován bioplyn
  - horší odvodňovací vlastnosti
- potřebné množství kyslíku v procesu aerobní stabilizace závisí na množství rozložené organické hmoty
- pro rozložení 1 kg organické hmoty je třeba 1,42 kg O_2 při současné oxidaci amoniakálního dusíku se spotřeba kyslíku zvyšuje na 2 kg.

cc BY NC SA

Vyhnívací nádrž

Aerobní stabilizace kalu

cc BY NC SA

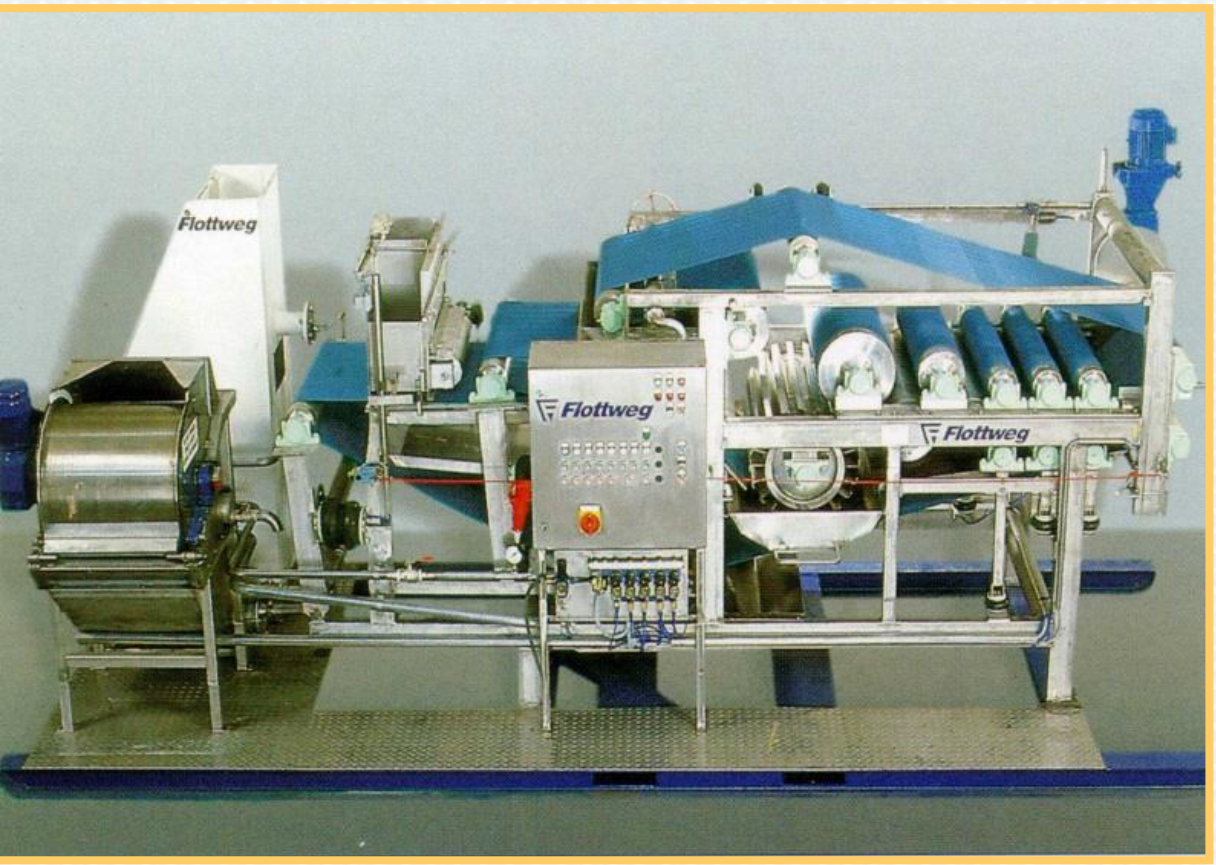
Kalové a plynové hospodářství ČOV

ODVODŇOVÁNÍ KALU

- slouží k dalšímu odstranění vody ze suspenze konsistence kalu je tuhá, kal je rypatelný a lze s ním manipulovat jako se zeminou
- stupeň odvodnění bývá v rozsahu podílu sušiny od 20 do 50 %
- postupy odvodňování jsou:
  - přirozené (odvodňování na kalových polích a lagunách)
  - umělé, které jsou dosahovány pomocí strojního zařízení (pásové lisy, kalolisy, dekantační odstředivky, vakuová filtrace)
- **FINÁLNÍ ETAPY ZPRACOVÁNÍ KALU**
  - skládkování
  - zapracování do stavebních materiálů
  - spalování
  - materiálová transformace
  - použití jako hnojiva

cc BY NC SA

Pásové lisy



Kalolisy

cc BY NC SA

Odstředivky

Odvodněný kal

BY NC SA

Děkuji za pozornost

Magisterský studijní program JADERNÁ ENERGETIKA vznikl za přispění

NPO_VUT_MSMT-16609_2022

CC BY NC SA

VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU

NÁRODNÍ PLÁN OBNOVY

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FAKULTA CHEMICKÁ

FAKULTA STAVEBNÍ

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Přednáška magisterského studijního programu JADERNÁ ENERGETIKA

Vodní hospodářství a vzduchotechnika jaderných elektráren

Čištění odpadních průmyslových vod (filtrace, neutralizace, extrakce, stripování, srážecí reakce, redoxní reakce, adsorpce, iontová výměna, čiření, termické způsoby)

Fakulta stavební

Petr Hlavínek

03/2023

CC BY NC SA

Úvod do problematiky čištění průmyslových odpadních vod

- Složení i vlastnosti průmyslových odpadních vod jsou značně proměnlivé. Jejich znečištění je ovlivněno charakterem a uspořádáním výrobních procesů v průmyslovém podniku.
- Významné je rovněž kolísání koncentrace i množství odpadních vod v krátkých časových intervalech. Těmto faktorům se proto musí čistírny odpadních vod přizpůsobit.
- Návrh technologie čištění průmyslových odpadních vod musí vycházet z podrobné analýzy vodního hospodářství podniku, z posouzení jednotlivých technologických procesů a způsobů, jak se v nich používá voda.

CC BY NC SA

Úvod do problematiky čištění průmyslových odpadních vod

- Cílem této analýzy je hledání možností jak snížit produkci znečištění, omezit potřebu vody nebo zařadit přímo do výrobního procesu vhodné procesy předčištění, které by dovedly recyklovat zachycené složky zpět do výroby nebo recirkulovat předčištěnou vodu.
- Tím se dá dosáhnout omezení produkce znečištění a sníží se objem průmyslových odpadních vod a snižují se investiční i provozní náklady.

cc BY NC SA

KVALITA PRŮMYSLOVÝCH ODPADNÍCH VOD

Z průmyslových závodů a výroben jsou vypouštěny průmyslové odpadní vody, které obsahují:

- technologické odpadní vody
- chladící vody
- splaškové vody
- srážkové vody

Hlavní znečištění je obvykle obsaženo v technologických vodách, kde se voda dostává do styku s výrobky v průběhu výrobního procesu.

CC BY NC SA

KVALITA PRŮMYSLOVÝCH ODPADNÍCH VOD

Technologické vody mohou obsahovat v různých kombinacích:

- organické látky biologicky rozložitelné
- toxické organické nebo anorganické sloučeniny
- ropné látky
- anorganické rozpuštěné soli (neutrální)
- anorganické rozpuštěné látky s kyselým nebo zásaditým chováním (kyseliny nebo louhy a obdobně reagující soli)
- vyšší koncentrace anorganických živin (sloučeniny dusíku nebo fosforu)
- nerozpuštěné látky organické a anorganické
- radioaktivní látky
- tepelné znečištění
- mikrobiologické znečištění

cc BY NC SA

KVALITA PRŮMYSLOVÝCH ODPADNÍCH VOD

- Odpadní vody chladící tvoří často významný podíl z celkového objemu odpadní vody vypouštěné z průmyslového závodu. Jsou jen málo znečistěné, a proto je snaha o jejich opětovné využití v závodě (recirkulace).
- Splaškové vody jsou vody ze sociálních zařízeních podniku, závodních kuchyň, jídelen a podobných zařízení. Jejich složení je typické pro běžné splaškové vody.
- Odpadní vody srážkové, odváděné z areálu závodu jsou zpoplatněné a tedy měřené Jejich kvalita je dána stupněm znečistění povrchu areálu závodu a charakterem srážky (intenzitou, dobou trvání).Takto znečištěné vody se musí před jejich vypuštěním vyčistit na požadovanou kvalitu.

BY NC SA

Způsoby čištění průmyslových odpadních vod

Optimální postup čištění průmyslových odpadních vod vychází z hmotností a koncentrační analýzy tohoto znečištění. Množství průmyslových odpadních vod i jejich složení v čase značně kolísá a proto je před jejich čištěním vyrovnání objemu i kvality.

Hlavní snahou by měla být minimalizace produkce vznikajícího a vypouštěného znečištění. Toho lze dosáhnout následujícími postupy:

- technologická opatření ve výrobě
- úsporná opatření při užívání vody a zmenšení produkce odpadních vod
- segregace jednotlivých proudů odpadních vod a jejich předčištění přímo u zdroje
- opětovné využívání některých proudů buď bezprostředně nebo po úpravě kvality a jejich vyčištění
- zvýšení účinnosti čištění odpadních vod změnou technologie jejich čištění

CC BY NC SA

Vývoj optimální strategie při návrhu čištění průmyslových odpadních vod

- optimalizace výrobního procesu: snížení spotřeby vody, minimalizace odpadů, regenerace a znovuužití vody, segregace materiálu u zdroje
- stanovení zatěžovacích parametrů čistírny odpadních vod, při tom je třeba vzít v úvahu budoucí plány na expanzi výroby a požadavky na odtok
- výběr technologie čištění: vyrovnání průtoků a zatížení, kontrola pH, odstranění pevných látek, odstranění nemísitelných olejů, odstranění CHSK a nitrifikace NH_4
- zpracování technické a ekonomické analýzy provozních a investičních nákladů
- finální návrh čistícího procesu a uspořádání čistírny, detailní projekt stavební a strojní části

cc BY NC SA

Způsoby čištění průmyslových odpadních vod

- zachycení na filtrační přepážce
- sedimentace
- adsorpční procesy pro separaci látek koloidní velikosti ale i větších molekul
- srážení s následnou sedimentací nebo filtrací
- iontová výměna na ionexech
- extrakční postupy separace látek
- neutralizační postupy pro úpravu pH kyselých a alkalických vod
- oxidační a redukční chemické postupy
- termické způsoby
- biologické anaerobní a aerobní čištění

CC BY NC SA

Zachycení látek na filtrační přepážce

Proces, při němž jsou zachycovány částice na přepážce nebo ve vrstvě materiálu se nazývá filtrace.

Podle velikosti průlin rozlišujeme:

- česle a síta (> 1 mm)
- mikrosíta (> 10 μm)
- mikrofiltry (> 0,1 μm)

Filtrací ve vrstvě na pískových rychlofiltrech lze odstranit částice větší než cca 10 μm, náplavnou filtrací částice nad cca 1 μm. Speciálními filtračními postupy s použitím polopropustných membrán lze docílit zachycení částic řádově menších.

BY NC SA

Zachycení látek na filtrační přepážce Mikrosíta

Pro separaci částic velikosti nad desítky μm, v krajním případě od cca 10 μm se užívají mikrosíta. Jejich použití je pro úpravu vody ke chlazení částí vysokých pecí, oceláren, válcoven a v elektárnách, při výrobě papíru, celulosy, potravinářský průmysl, zpracování kovů a umělých hmot.

Filtrační přepážku tvoří u mikrosít:

- filtrační pletivo z ušlechtilé oceli nebo jiného kovu, příp. z umělé hmoty, např.polypropylenu, velikost ok bývá > 10 μm
- štěrbinové síto z drátů vyrobených z ušlechtilé oceli v profilu trojúhelníkového tvaru s velikostí průlin > 50 μm

cc BY NC SA

Zachycení látek na filtrační přepážce
Mikrofiltry

Velikost částic zachycených na mikrofiltrech bývá cca od 1 μm, v některých případech jsou udávány i velikosti od 0,1 až 0,2 μm.

Pro poměrně velký odpor filtračního media je třeba použít při filtraci zvýšený tlak.

Filtrační vrstva je tvořená různými materiály:

- keramická hmota
- kovová vlákna
- umělohmotná vlákna
- vlákna z přirozených materiálů
- kombinované materiály: polyesterové a anorganické vlákna; z celulosy, příp. kombinované se skleněnými vlákny, spojené fenolovou, melaninovou nebo polystyrenovou pryskyřicí

cc BY NC SA

Zachycení látek na filtrační přepážce
Filtrace ve filtrační vrstvě

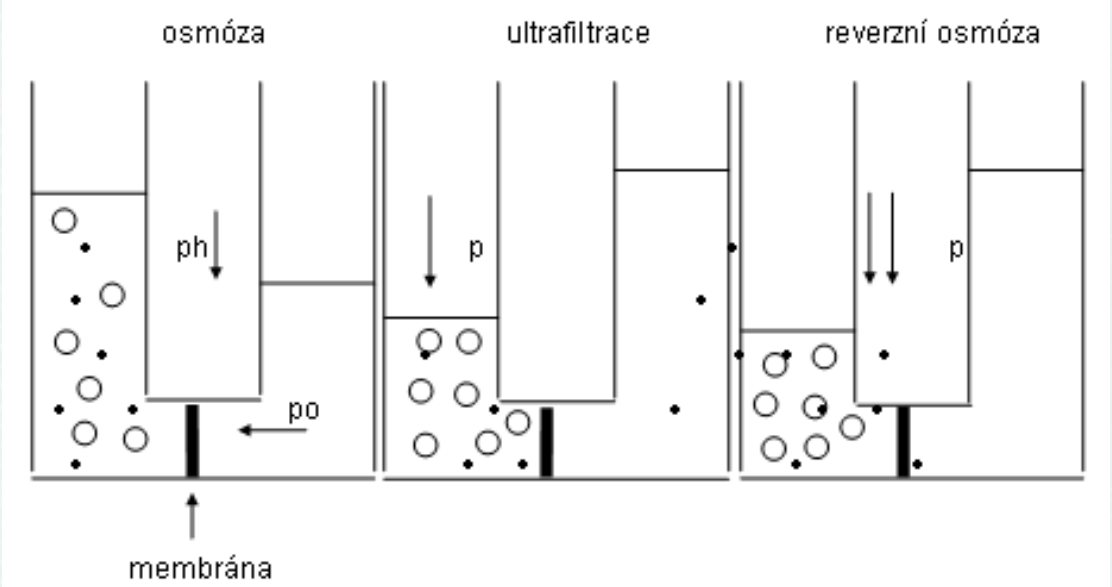
- Filtračním mediem je u tohoto typu filtrů vrstva materiálu, kterou protéká disperze a dispergované částice se zachycují v celé její vrstvě.
- Beztlakové otevřené filtry: filtračním materiálem je obvykle písek
- Tlakové filtry: uzavřené, u nichž je filtrační náplň umístěna v tlakové ocelové nádrži válcového tvaru
- Filtry s filtrační vrstvou ve vznosu: filtrační materiál je lehčí než voda, a proto jsou konstruovány tak, že filtrovaná voda jím protéká zdola nahoru
- Náplavní filtrace: filtrační vrstvu tvoří, materiál naplavený v suspenzi na filtrační přepážku (septum: tkaniny ze syntetických materiálů, aktivní uhlí, celulosa, bavlna, len)

BY NC SA

Dělící metody na principu polopropustných membrán

- Polopropustné membrány jsou charakterizovány především velikostí pórů, které určují i velikost částic jimi procházejících.

proces	velikost zachycených částic	tlakový rozdíl
mikrofiltrace	> 0,1 μm	100 - 400 kPa
ultrafiltrace	10 - 100 nm	500 - 1000 kPa
nanofiltrace	1 - 10 nm	2 - 4 MPa
reverzní osmóza	0,1 - 1 nm	3 - 6 MPa



cc BY NC SA

Dělící metody na principu polopropustných membrán

Pro zajištění technicky přijatelného a ekonomického provozu je třeba, aby měly membrány tyto vlastnosti:

- vysokou rozdělovací schopnost (selektivitu)
- velkou průtočnost (permeabilitu)
- vysokou mechanickou pevnost
- chemickou a bakteriologickou odolnost,
- odolnost vůči čištění
- dlouhou dobu životnosti,
- nízkou cenu

Jako materiál jsou používány:

- upravené přírodní látky (acetáty celulosy)
- syntetické organické polymery (polyamid, polyakryláty, polypropylen, polyvinylchlorid, nylon, fluoroplasty aj.)
- anorganické látky

CC BY NC SA

Dělící metody na principu polopropustných membrán- ultrafiltrace

- Ultrafiltrace je vhodná pro zachycení částic od cca 5 μm do 0,1 μm; vhodná pro čištění koloidních roztoků, např. olejových emulzí, pro separaci hydroxidů kovů, vyloučených v koloidní formě, odpadní vody z elektrochemického lakování, při čištění odpadních vod z textilního průmyslu, z prádelen, z výroby kosmetiky aj.
- Principem separace je screeningový efekt, tj. mechanické zachycení částic větších než je velikost pórů.
- Membrány používané pro mikrofiltraci a ultrafiltraci v tubulárních modulech lze čistit:
  - periodicky nárazovým zpětným proplachem
  - chemicky, proplachem roztokem HCl, příp. roztokem detergentu

CC BY NC SA

Dělící metody na principu polopropustných membrán- nanofiltrace

- Její zastoupení je mezi utrafiltrací a reverzní osmózou, je vhodná pro zachycení částic od 1 do 10 nm; umožňuje současné zakoncentrování roztoků organických látek a jejich částečné odsolení.
- Membrány pro nanofiltraci se vyrábí jako tubulární, vinuté i deskové moduly.
- použití napr. pro čištění odpadní vody z organických syntéz, odsolení barviv, které přítomností solí ztrácejí na kvalitě

cc BY NC SA

Dělící metody na principu polopropustných membrán- reverzní osmóza

- Reverzní neboli vratná osmóza je tlakový membránový proces pro oddělení částic v rozsahu 0,1 až 1 nm.
- Nutná tlaková diference před a za membránou je 1 až 10 MPa, to je dva až třikrát více než činí osmotický tlak v čištěné kapalině.
- Separační mechanizmus je založen na rozdílech v rozpustnosti a difuzi rozpouštědla i rozpuštěných látek v membráně.
- Membránu tvoří homogenní polymerní matrice, moduly jsou jednak z dutých vláken, nejčastěji z celuloso-acetátových nebo polyamidových membrán, jednak z vinutých membrán z acetátu celulosy nebo z polyamidu.
- Voda přiváděná na zařízení nanofiltrace a reverzní osmózy musí být předem zbavena suspendovaných látek. Vhodné je předřazení mikrofiltrace.

cc BY NC SA

Neutralizace

- Odpadní vody z některých průmyslových výrob mají kyselý nebo zásaditý charakter, obsahují kyseliny nebo zásady.
- Odpadní vody vypouštěné do veřejné kanalizace a tím spíše do vodních recipientů nesmí být ani příliš kyselé ani příliš zásadité.
- Rozsah povoleného pH je od 6,0 do 8,5 až 9,0. Pokud odpadní vody tento požadavek nesplňují, musí být předem neutralizovány.

kyselé vody

výroba	kyseliny
umělá vlákna, benzin, ropné produkty	H_2SO_4
celulosa sulfitová	H_2SO_4, H_2SO_3, HCOOH, CH_3COOH
nitrocelulosa, výbušniny	H_2SO_4, HNO_3
makromolekulární látky	H_2SO_4, HCl
textilie	H_2SO_4, HCl, CH_3COOH
umělá hnojiva	H_2SO_4, HNO_3, H_3PO_4
barviva, chemikálie	H_2SO_4, HNO_3, HCl
kůže	HCOOH, CH_3COO

alkalické vody

výroba	zásady
celulosa sulfátová	NaOH
umělá vlákna, barviva	NaOH, KOH, NH_4OH
umělá hnojiva	NH_4OH

cc BY NC SA

Neutralizace

Pro neutralizaci kyselých vod se používá roztok NaOH nebo levnější suspenze $Ca(OH)_2$ zvané vápenné mléko.

Pro neutralizaci alkalických vod se používá:

- roztok H_2SO_4 nebo HCl
- kouřové plyny, obsahující CO_2, příp. i SO_2

Neutralizační stanice pracují na principu:

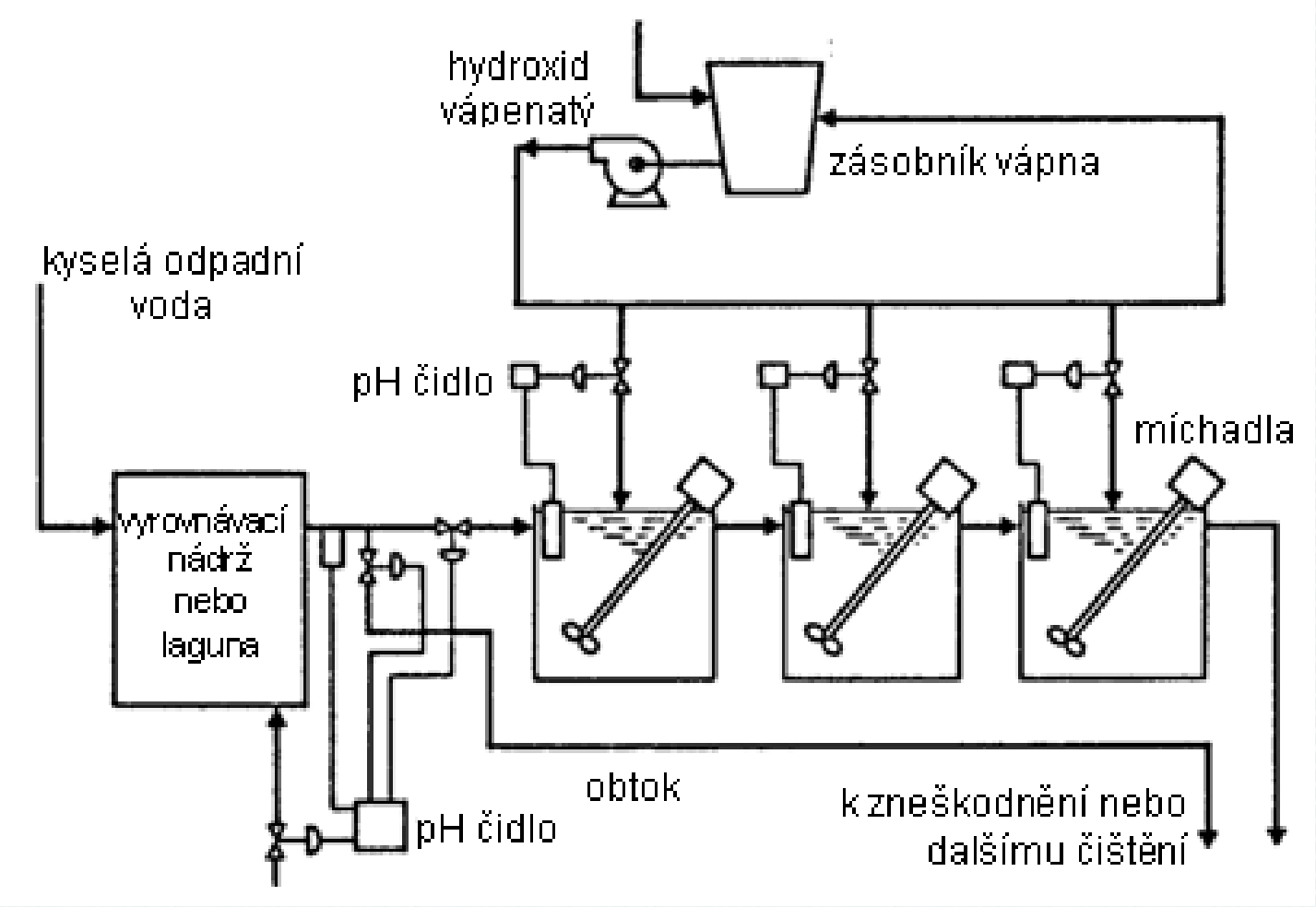
- odstavném - neutralizace se provede jednorázově v nádrži, jejíž obsah se pak vypustí
- průtočném - neutralizace probíhá v průtočné nádrži průběžným přidáváním neutralizačních činidel

- Při tvorbě sraženin se dosáhne lepší využitelnosti činidla a lepší usaditelnosti kalu; sraženina se odstraní sedimentací.

cc BY NC SA

Neutralizace

- Výhodné je postupné přidávaní chemikálií, ve dvou až třech stupních jak to vyplývá z příkladu neutralizace kyselé odpadní vody.



cc BY NC SA

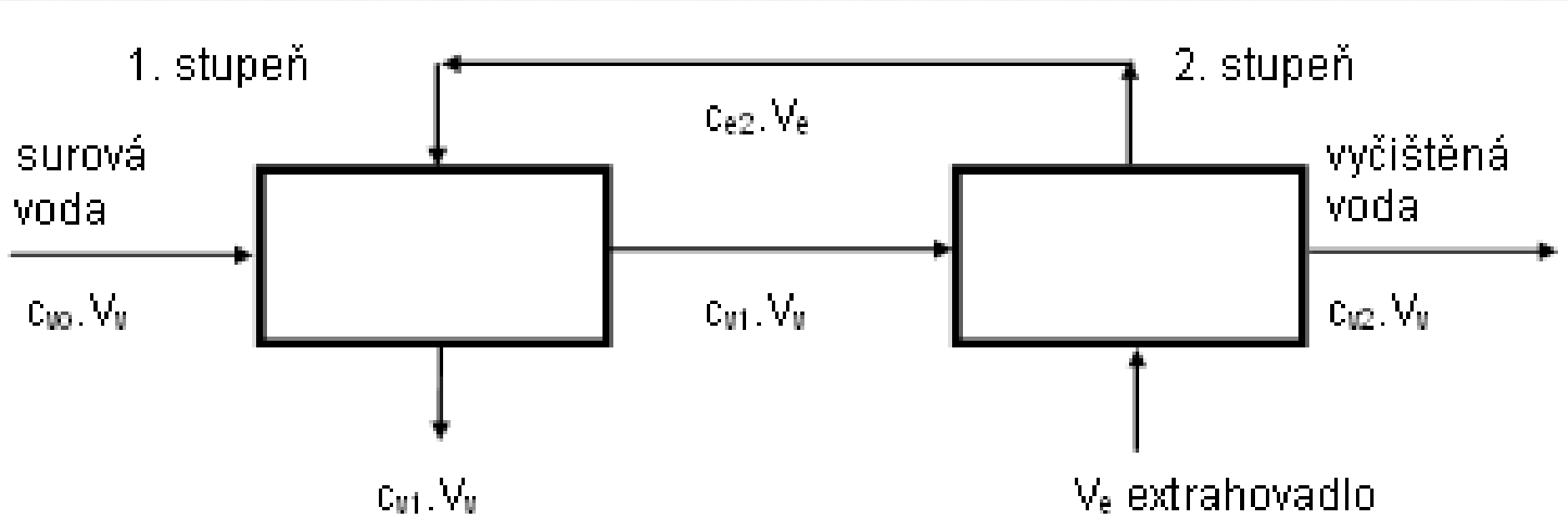
Extrakce

- Extrakce je postup, kterým se z jedné kapaliny převádí látka do jiné kapaliny na základě rozdílné rozpustnosti této látky v obou kapalinách.
- Jednou kapalinou je v našem případě vodný roztok, druhou jiné rozpouštědlo, zpravidla organické, které se s vodou nemísí, což je podmínkou úspěšné extrakce.
- Čím je rozpustnost látky v tomto rozpouštědle větší než ve vodě, tím je extrakce účinnější.
- Extrakce může být jednostupňová nebo vícestupňová, která je účinnější i při použití stejného množství extrahovadla.
- Vícestupňová extrakce může být uspořádána protiproudově, při čemž vodný roztok a extrahovadlo postupují v protiproudu

cc BY NC SA

Extrakce

- Schéma protiproudové dvoustupňové extrakce



cc BY NC SA

Extrakce

- Rozpustnost extrahovadla ve vodě má být co nejmenší. Rozpustnost některých extrahovadel ve vodě: benzen - 0,17 %, toluen - 0,04 %, fenosolvan - 0,05 až 0,07 %.
- Hustota extrahovadla má být odlišná od hustoty vody, aby se obě fáze doře dělily. Zpravidla je extrahovadlo lehčí než voda. Nesmí s ní tvořit emulzi.
- Extrahovadlo nesmí být toxické vůči mikroorganizmům při biologickém čištění odpadní vody a musí být biologicky rozložitelné.
- Extrahovadlo musí být ekonomicky dostupné.
- Důležité je možnost opětovného použití extrahovadla. Regeneraci extrahovadla lze provést jednak destilací, což je energeticky náročné nebo reextrakcí, to je jeho promytím vodným roztokem o takových vlastnostech, které podmíní převedení extrahované látky z organického rozpouštědla zpět do vodného roztoku.

cc BY NC SA

Stripování

- Stripováním jsou z kapaliny odháněny proudem procházejícího plynu těkavé látky.
- Pro tento účel lze použít vzduch, kouřové plyny, obsahující cca 10 % CO_2 (které lze proto použít současně pro neutralizaci alkalických vod nebo pro okyselování vody) a vodní páru.
- Stripování lze realizovat:
  - v diskontinuálním procesu: jedná se o nádrž, která se napustí upravovanou vodou a po vystripování nežádoucích látek se vypustí a proces se opakuje.
  - kontinuálním procesem, realizovaný nejčastěji v koloně, do níž je přiváděna shora voda a do její dolní části plyn. Kolona bývá dělená přepážkami, síty nebo výplňovými tělísky (Rashigovy kroužky), aby se zdokonalil styk mezi kapalnou a plynnou fází a zmenšilo se mísení kapaliny ve směru proudu. V daném případě se jedná o protiproudový systém.

cc BY NC SA

Stripování

Stripováním lze odstranit z vody těkavé látky:

a) organické, a to především
- alifatické a aromatické uhlovodíky
- jejich chlorované a nitrované sloučeniny
- fenoly a jejich deriváty
- pesticidy

b) anorganické sloučeniny v jejich nedisociované formě
- amoniak, sulfan, oxid uhličitý, kyanovodík
- Volba plynu se řídí druhem sloučeniny. Nejobvyklejší je vzduch. Pokud se požaduje současné okyselení vody, je možno použít kouřové plyny. Pro stripování fenolů a jejich derivátů se používá vodní pára.

- Je třeba dbát na to, aby nedocházelo k nepřípustnému znečistění ovzduší.

cc BY NC SA

Stripování

- Rychlost desorpce organických sloučenin je určena jejich rozpustností ve vodě a těkavostí. Pro uhlovodíky, příp. chlorované uhlovodíky lze použít stripování vzduchem.
- Stripování lze použít pro odstranění látek z vodného prostředí, které jsou za normálních podmínek plynné. K takovým patří radioaktivní plyn radon, přítomný v některých podzemních vodách, dále amoniak, sulfan, oxid uhličitý aj.
- Této sloučeniny jsou však ve vodě disociovány - jsou slabými zásadami (amoniak), nebo slabými kyselinami (H_2S, CO_2). Stripováním lze odstranit jen jejich nedisociované formy, jejichž podíl závisí na hodnotě pH roztoku.

BY NC SA

Srážecí reakce

- Srážecími reakcemi lze převést některé látky z rozpuštěné formy do formy nerozpustné a pak je separovat od kapalného prostředí sedimentací, filtrací a podobně.
- K vysrážení látky z vodného roztoku dochází z různých příčin. Např. při zvýšené teplotě, změnou pH nebo přídavkem dehydratačních činidel, jako je ethanol, neutrální sůl aj.
- U anorganických sloučenin je nejčastější příčinou jejich vysrážení překročení součinu rozpustnosti.

cc BY NC SA

Srážecí reakce

- kationty většiny kovů (vyjma kovů alkalických a částečně i kovů alkalických zemin) vytvářejí málo rozpustné sloučeniny s těmito látkami:
  - hydroxidy (poměrně dobře rozpustné jsou hydroxidy alkalických zemin)
  - uhličitany
  - fosforečnany
  - sulfidy (rozpustné jsou též sulfidy kovů alkalických zemin, sulfid hliníku a chromu nevzniká)
- Podmínkou úspěšného odstranění látky je tedy vytvoření sraženiny ve formě, v níž ji lze následně separovat (sedimentací, filtrací nebo flotací).

cc BY NC SA

REDOXNÍ REAKCE

- Redoxní reakce jsou takové, jimiž se mění oxidační číslo sloučeniny, prvku nebo iontu. Děje se tak příjmem nebo odevzdáním jednoho, příp. více elektronů molekule nebo atomu.
  - Prvý děj - příjem elektronů látkou - nazýváme redukcí této látky.
  - Druhý děj - odevzdání elektronů látkou - nazýváme oxidací této látky.
- Schematicky:
  - redukce $A_{ox} + n\ e^- \longrightarrow A_{red}$ redukce látky A
  - oxidace $B_{red} \longrightarrow B_{ox} + m\ e^-$ oxidace látky B
- Oxidace a redukce nemohou probíhat odděleně, ale vždy v závislosti na sobě. Jestliže jedna látka elektrony přijímá, musí současně existovat jiná látka, která je odevzdává. Při tom prvá je redukována (nazýváme ji oxidovadlem) a druhá je oxidována (nazýváme ji redukovadlem).

cc BY NC SA

REDOXNÍ REAKCE - Oxidační látky - Chlor

- Vedle oxidačního a desinfekčního účinku má chlor účinky:
  - chlorační - chlor se váže v molekule, zpravidla organické sloučeniny, aniž ji rozloží (chlorování fenolů na chlorfenoly)
  - oxidačně chlorační - při této reakci se uplatňují oba děje, oxidace i chlorace. Příkladem je oxidační štěpení humátů a chlorování vzniklých štěpů na sloučeniny typu chloroformu $CHCl_3$
- Dávkování chloru do vody se provádí pomocí chlorátorů, v nichž je plynný chlor odebraný z tlakové nádoby nejdříve rozpuštěn ve vodě z odvětvené části jejího hlavního proudu na poměrně koncentrovaný vodný roztok chloru a teprve tato chlorová voda je dávkována do hlavního proudu vody.

cc BY NC SA

REDOXNÍ REAKCE - Oxidační látky - Ozón

Je to za normálních podmínek plyn vznikající z kyslíku podle rovnice:

$$3\ O_2 = 2\ O_3$$

Pro technické potřeby se vyrábí ozón v místě spotřeby v ozonizátorech ze vzduchu zbaveného vlhkosti (jinak se tvoří oxidy dusíku korodující elektrody), vedeného do prostoru, v němž probíhá při napětí 8 000 až 15 000 V tichý výboj, při kterém dochází k přeměně kyslíku na ozón.

Oxidační působení ozónu probíhá dle rovnice:

$$O_3 + 2\ H^+ + 2\ e^- \leftrightarrow O_2 + H_2O \qquad + 1.9\ V$$

Standardní elektrický potenciál dokládá jeho vysoký oxidační účinek. Rozkládá fenoly bez tvorby látek zhoršujících chuť a pach vody. Oxiduje Fe(II) na Fe(Fe(III), Mn^{2+} na MnO_4^-. Redukcí ozónu vzniká neškodný kyslík.

☐Použití ultrafialového světla (UV) aktivuje molekuly O_3 a zlepšuje rozklad organických látek. Kombinace ozón - UV je efektivní pro destrukci pesticidů.

cc BY NC SA

REDOXNÍ REAKCE - Oxidační látky

Manganistan draselný

- Manganistan draselný $KMnO_4$ je silným oxidovadlem. Jeho oxidační účinek, ale i produkty jeho redukce jsou závislé na koncentraci vodíkových iontů.

Peroxid vodíku

- Peroxid vodíku je silným oxidovadlem
- Je velice citlivý vůči kovovým katalyzátorům, které urychlují jeho rozklad, u koncentrovaných roztoků explozivně.
- K takovým katalyzátorům patří především železo, měď a jejich soli. Redukcí H_2O_2 vzniká neškodná voda.

cc BY NC SA

REDOXNÍ REAKCE - redukční látky

- Jako redukovadla se používá v technické praxi nejčastěji plynný oxid siřičitý SO_2 a sloučeniny od něj odvozené - siřičitan sodný Na_2SO_3, dodávaný obvykle jako heptahydrát $Na_2SO_3.7H_2O$, hydrogensiřičitan sodný $NaHSO_3$ a disiřičitan sodný $Na_2S_2O_5$.

cc BY NC SA

ADSORPCE

- Látky z kapalného nebo plynného prostředí jsou přitahovány k povrchu tuhé fáze, při čemž se na jeho povrchu hromadí. Tento děj nazýváme adsorpce.
- Adsorbované látky se nazývají adsorbát a adsorbující látka adsorbent. Koncentrace adsorbátu na povrchu adsorbentu je po proběhnutí adsorpce mnohonásobně větší než v prostředí, z něhož je látka adsorbována.

- Příčinou adsorpce jsou:
  - mezimolekulární síly (van der Waalsovy) - fyzikální adsorpce
  - chemická vazba - chemická adsorpce
  - elektrické síly - iontová adsorpce

cc BY NC SA

ADSORPCE

- Fyzikální adsorpce je vratná, molekuly adsorbátu nejsou při ní vázány na určité místo povrchu adsorbentu a mohou tvořit i více vrstev. Děj opačný adsorpci se nazývá desorpce.
- Chemická adsorpce bývá nevratná. Adsorbovaná látka je při ní vázána na určitá místa povrchu adsorbentu, kde dochází k chemické reakci.
- Iontová adsorpce může být nevratná nebo vratná, kterou nazýváme iontovou výměnou.
- V rovnovážném stavu, který se dostaví po určité době styku adsorpčního prostředí s adsorbentem dochází k rozdělení adsorbované látky mezi adsorbent a prostředí. Tento vztah vyjadřuje adsorpční izoterma, odvozená ve dvojím tvaru, při čemž každý se podle podmínek více nebo méně blíží skutečnosti.

cc BY NC SA

ADSORPCE

- Adsorpce je výsledkem na sebe navazujících dějů, a to:
  - transportu látky k povrchu adsorbentu
  - průnik do mikropórů částice
  - vlastní adsorpce.

- U kontaktních nádrží s vysokým stupněm promíchávání, zvláště pak při adsorpci ze zředěných roztoků a výměnné iontové adsorpci, je nejčastějším limitujícím krokem rychlost difuze v pórech, kdežto u kontinuálních průtočných systémů, u nichž prochází voda vrstvou adsorbentu, bývá časově limitujícím dějem rychlost difuze k povrchu částice.

cc BY NC SA

ADSORPCE

- Základními charakteristickými vlastnostmi adsorbentů jsou:
  - zrnitost, charakterizovaná křivkou zrnitosti - sestrojenou jako závislost hmotnostního podílu částic menších než je určitá velikost ok síta k celkové hmotnosti adsorbentu
  - pórovitost, určená objemem pórů v hmotnostní jednotce látky [$m_3.g^{-1}$]
  - specifický povrch, udávající plochu povrchu hmotnostní jednotky adsorbentu [$m_2.g^{-1}$]
  - chemické vlastnosti, z nichž má význam zejména polarita adsorbentu, určující do jaké míry bude ovlivňovat polarita adsorbátu schopnost jeho adsorpce. Čím je adsorbent polárnější, tím větší bude mít tendenci adsorbovat látky polárního charakteru a naopak čím je méně polární, tím menší vliv bude mít polarita adsorbátu na dosažený výsledek adsorpce

cc BY NC SA

ADSORPCE

- Vliv adsorbátu a rozpouštědla
  - Adsorptivita látky se u homologických řad organických sloučenin zvyšuje s klesající rozpustností adsorbátu v roztoku z něhož je látka adsorbována
  - Adsorpce látek stejného typu na nepolárním adsorbentu roste s jejich relativní molekulovou hmotností (Mr) až do její určité výše, podle charakteru adsorbentu, zejména jemnosti jeho struktury.
- Vliv pH
  - Nejsou-li v molekule adsorbátu přítomny charakteristické skupiny schopné disociace, nemá pH roztoku na adsorpci prakticky vliv (např. u polyetylenoxidu na aktivním uhlí). Obsahuje-li však adsorbát skupiny schopné disociace, má pH rozhodující vliv na adsorpci.
- Vliv teploty
  - Vliv teploty na rychlost adsorpce je pozitivní. neboť se snižuje viskozita kapaliny a zvyšuje se rychlost difuze.

cc BY NC SA

ADSORPCE

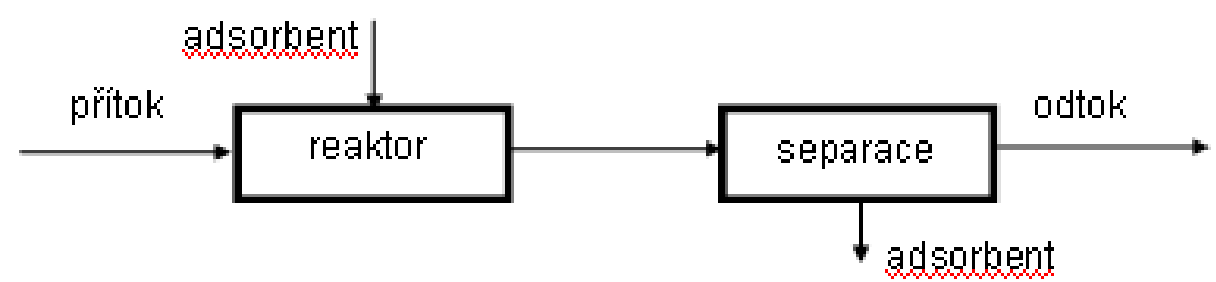
- Adsorbent v práškovém stavu je možno dávkovat do upravované vody v promíchávané kontaktní nádrži (reaktoru), z níž se po určité době, potřebné pro dosažení rovnováhy, nebo alespoň stavu této rovnováze blízkému, dispergovaný adsorbent separuje sedimentací, filtrací, centrifugací a pod.
- Lepších výsledků lze dosáhnout protiproudovou adsorpcí, sestávající také ze dvou nebo více stupňů. Na rozdíl od vícestupňové adsorpce není do každého stupně přidáván čerstvý adsorbent, ale adsorbent z následujícího stupně je po adsorpci a separaci přidáván do stupně předchozího. Čerstvý adsorbent je přidáván pouze do posledního stupně.
- Provoz s dávkováním adsorbentu může být diskontinuální, u něhož může být každý stupeň realizován jednou nádrží, v níž proběhne adsorpce a po ní separace sedimentací. Naproti tomu v kontinuálním provozu protéká voda reaktorem a adsorbent je do ní průběžně dávkován a také separační proces probíhá kontinuálně mimo reaktor.

cc BY NC SA

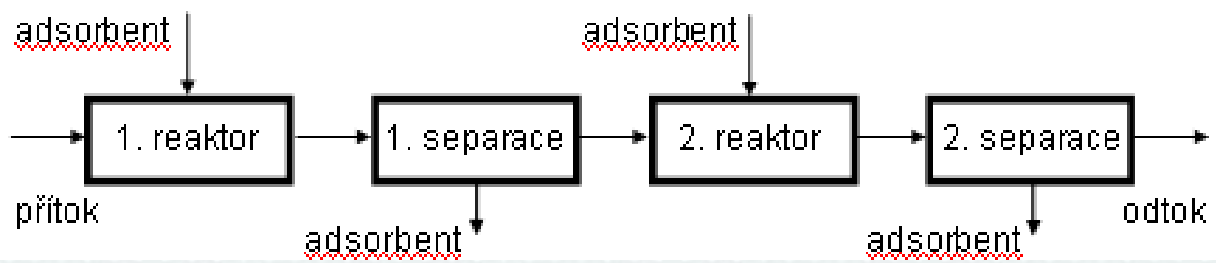
Adsorbce

Systémy provozu:

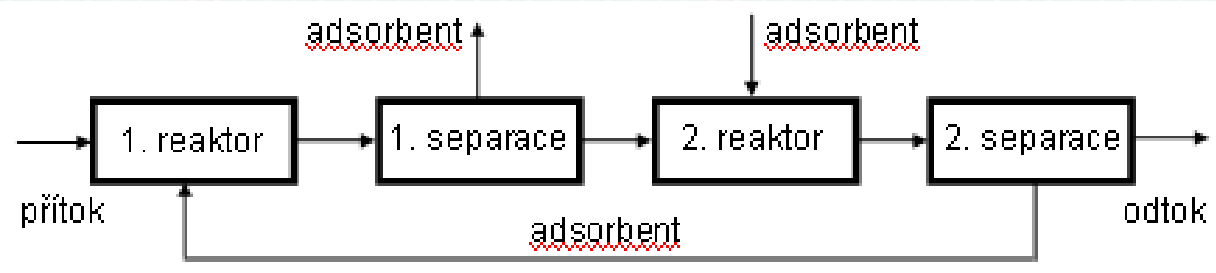
- Jednostupňový systém provozu



- Dvoustupňový systém provozu



- Protiproudový (dvoustupňový) systém provozu



BY NC SA

Iontová výměna

- Měniče iontů (ionexy) jsou vysokomolekulární látky, nesoucí na svém skeletu funkční skupiny, které jsou disociovatelné. Při disociaci těchto funkčních skupin se uvolňují jednoduché ionty, zvané protiionty, kdežto funkční skupiny jsou pak nabity nábojem opačným.

- Ionexy se dělí na:
  - katexy, u nichž je protiiontem kation (nabitý kladně)
  - anexy, u nichž je protiiontem anion (nabitý záporně)

cc BY NC SA

Iontová výměna

Afinita iontů k měniči iontů vzrůstá:

a) s rostoucím nábojovým číslem iontu

b) se zvětšujícím se poloměrem iontu (při stejném náboji)

Pro kationty platí řada:

$$(H^+) < Na^+ < K^+ < Mg^{2+} < Ca^{2+} < Fe^{2+} < Al^{3+} < Fe^{3+}$$

Pro anionty platí řada:

$$(OH^-) < HCO_3^- < Cl^- < Br^- < I^- < NO_3^- < SO_4^{2-}$$

cc BY NC SA

Iontová výměna

Nosiče funkčních skupin

- Nosiči funkčních skupin syntetických ionexů jsou polymerní makromolekuly na bázi polystyrenu, fenolformaldehydových pryskyřic, polyakrylátů, příp. polyamidu.

- Nejčastěji používané nosiče:

	pro typ ionexu:
polystyren	silně kyselé katexy
	silně zásadité anexy
fenolformaldehyd	slabě zásadité anexy
polyakrylát	slabě kyselé katexy

cc BY NC SA

Iontová výměna

K regeneraci se většinou používá:

- HCl nebo H_2SO_4 (5-10 %) u katexů pracujících v H^+ cyklu,
- NaOH (3-5 %) u anexů pracujících v OH^- cyklu,
- NaCl (5-10 %) u ionexů pracujících v Na^+ nebo Cl^- cyklu.

Ionexy pracují v následujících cyklech:

1) výměna iontů - při filtrační rychlosti 5 až 10 $m.h^{-1}$
2) praní ionexu vodou
3) regenerace ionexu
4) vymytí regeneračního činidla

Ionexy se prodávají pod různými obchodními názvy, jako např. Amberlite, Ostion, Wofatit, Zerolit, Lewatit aj..

cc BY NC SA

Čiření

Podle svého charakteru se koloidní částice rozdělují na:

- hydrofilní vyznačující se afinitou (přitažlivostí) k polárním molekulám vody, které kolem koloidní částice, vytvářejí solvátový obal, při tom mezi koloidní částicí a vodným prostředím není vytvořena ostrá hranice, neboť makromolekula jakoby prolínala mezi pohyblivými asociáty vody; k takovým koloidům patří např. molekuly bílkovin, polysacharidů, huminových látek, organických flokulantů aj.
- hydrofobní nemají afinitu k vodném prostředí a vytvářejí víceméně ostré rozhraní, mezi kapalnou a pevnou fází, příp. mezi dvěma kapalnými fázemi různé kvality; taková koloidní disperze se nazývá koloidní sol a její částice nesou elektrický náboj kladný nebo záporný; hydrofobní koloidy tvoří hydroxidy kovů, jílové částice, bakterie aj.

cc BY NC SA

Čiření

- Čiření je proces používaný pro odstranění koloidních, příp. jemně suspendovaných částic z vody. Jeho podstatou je převedení malých částic na větší, které lze separovat sedimentací, filtrací a pod.
- Tohoto cíle se dosáhne destabilizací koloidních částic a vytvořením podmínek pro jejich spojování (aglomeraci). Prostředkem k tomu je přídavek sloučenin zvaných koagulanty a proces destabilizace se nazývá koagulací.
- Aglomerace koloidních částic do mikrovloček a následně do objemných vloček se nazývá flokulace.
- Lze ji urychlit přídavkem látek zvaných flokulanty neboli pomocné koagulanty.
- Často se celý proces koagulace, flokulace a separace vloček nazývá čiření nebo koagulace.

cc BY NC SA

Čiření

- Nejobvyklejšími anorganickými koagulanty jsou soli železa a hliníku, jejich přídavkem do vody dochází k hydrolýze za tvorby příslušných hydroxidů.
- Obvyklými používanými koagulanty jsou také: síran hlinitý, síran železitý, chlorid železitý, síran železnatý
- Přírodní anorganické flokulanty: určité typy jílů (bentonit. kaolin), srážený uhličitan vápenatý, křemelinu (diatomit), práškové aktivní uhlí a jemný písek.
- Organické přírodní flokulanty: alginát sodný vznikající z kyseliny alginové, získané extrakcí z mořských řas. Hlavními složkami tohoto polymeru jsou kyselina manuronová a glukuronová. Používa se v kombinaci s železitou nebo hlinitou solí.
- Dalšími organickými flokulanty, používanými hlavně ve specifických průmyslových procesech jsou: škrob, galaktomanáty, pektiny, xantáty aj.

cc BY NC SA

Čiření

Proces čiření lze rozdělit na tyto na sebe navazující etapy:

- Dávkování chemikálií a jejich promísení s vodou. Při tom proběhne hydrolýza koagulantu za vzniku koloidních částic.
- Neprodleně po promísení dochází ke koagulaci, to je destabilizaci koloidního systému
- Výsledkem destabilizace koloidního systému je flokulace, při níž vznikají nejdříve mikrovločky.
- Tato první fáze flokulace se nazývá perikinetická a časově je spojena s destabilizací. Proto bývá nazývána také perikinetická koagulace. Trvá jen několik minut a v jejím průběhu je vhodné rychlé míchání disperze.

cc BY NC SA

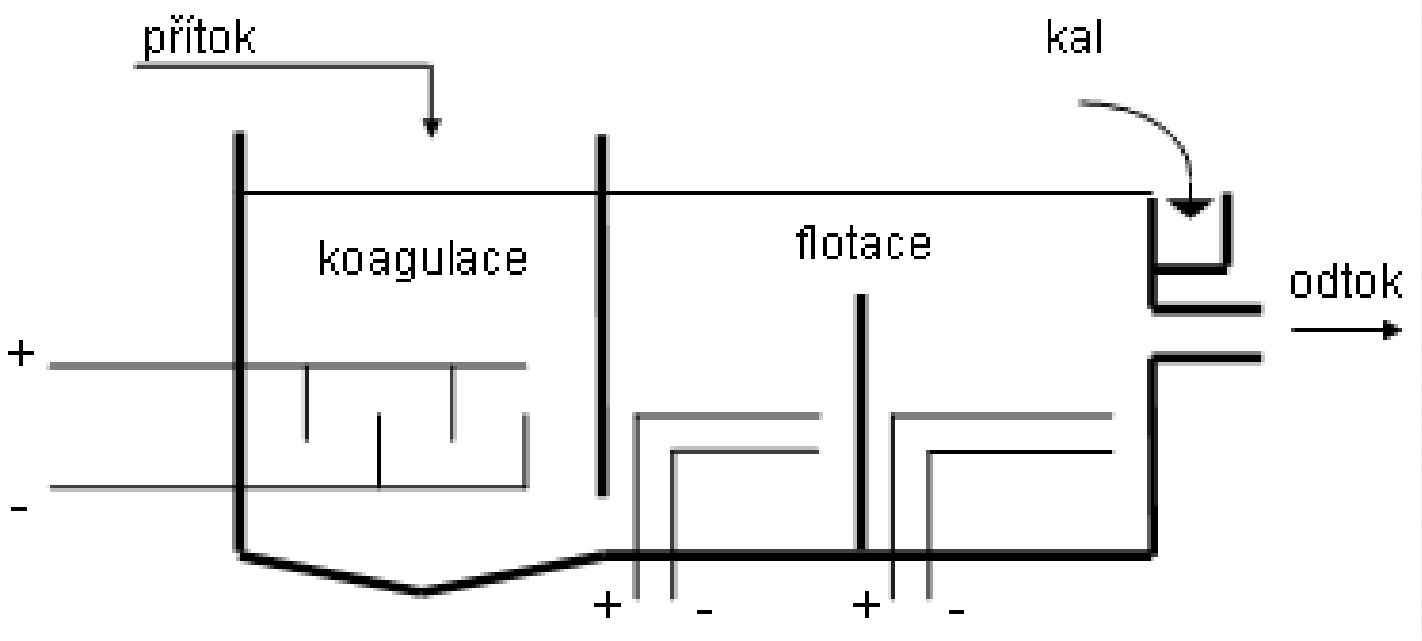
Čiření

- V další etapě flokulace, kdy částice dosahují velikosti nad 1mm, dochází k jejich další agregaci za tvorby makrovloček. Tato etapa trvající 20 až 30 minut se nazývá ortokinetická a v jejím průběhu nesmí být míchání příliš intenzivní, aby se vytvořené vločky nerozbily.
- Poslední etapou je oddělení vloček koagulantu s adsorbovanými nečistotami od vyčiřené vody. Děje se tak obvykle sedimentací, příp. s následnou filtrací uniklých vloček.
- Proces koagulace odpadních vod se provádí v reaktorech míchaných mechanicky nebo pneumaticky.
- Dávky koagulantu závisí na kvalitě čištěné vody a stanovují se empiricky koagulačním pokusem s odstupňovanými dávkami při sledování dosaženého výsledku.

cc BY NC SA

Čiření - Elektrokoagulace

- Proces elektrokoagulace se při čištění odpadních vod s obsahem tuků nebo minerálních olejů spojuje často s procesem elektroflotace. Vzniklé hydroxidy jsou při tom separovány od vody elektroflotací. Proces může být realizován v jednom prostoru, nebo odděleně. Dosažené účinnosti při čištění uvedených odpadních vod byly u tuků 90 - 95 %, u nerozpuštěných látek a CHSK 70 %.



cc BY NC SA

Rozráženi stabilizovaných emulzí

- Někdy bývají minerální oleje ve vodní disperzi záměrně stabilizovány přídavkem povrchově aktivních látek, zvaných emulgátory. Svým charakterem a složením se ke stabilizovaným emulzím řadí i odpadní vody z odmašťovacích lázní, z mytí motorů a podvozků motorových vozidel.
- Základní opatření, omezující množství těchto odpadů spočívá v prodloužení upotřebitelnosti emulzních kapalin odstraněním suspendovaných látek. K tomu se používá filtrace, hydrocyklony a k zachycení kovových úlomků magnetická separace. Přídavkem baktericidních látek se zamezuje mikrobiálnímu rozkladu některých součástí emulze, zvláště za bezkyslíkatých podmínek.
- Ke stabilizaci olejových emulzí se používají tenzidy aniontové nebo neiontové. Destabilizaci emulze nazýváme jejím rozrážením.

cc BY NC SA

Rozrážení stabilizovaných emulzí

Rozrážení emulzí stabilizovaných aniontovými tenzidy

- Koagulací přídavkem čiřících látek a adsorpcí emulgovaných látek na vzniklém hydroxidu (železitém nebo hlinitém)
- Okyselením, při čemž přechází aniontový tenzid na nedisociovanou kyselinu. Tím se zruší náboj emulgovaných částic, což vede k uvolnění solvátového obalu
- Adsorpcí na vhodné sorbenty

BY NC SA

Termické způsoby

Destilace

- Destilaci lze použít při čištění odpadních vod pro odstránení těkavých látek. Často se k tomuto účelu používá vodní pára, kterou se prohání čištěná voda. Takto lze vydestilovat z vodného roztoku např. jednomocné fenoly.

´Odpařování

- Je použitelné tam kde se z koncentrátů získá využitelný produkt, nebo, lze zakoncentrováním vody zvýšit obsah organických látek tak, že je možné potom zbytek spálit.
- Měrné výparné teplo vody je při normální teplotě varu vody (100 °C) 2,2554 $MJ.kg^{-1}$. Odpařování se provádí v odparkách, většinou za sníženého tlaku, při němž je teplota varu i výparné teplo nižší. Bod varu vodného roztoku je ovlivněn také koncentrací látek v ní obsažených (zákon Raoultův). Pro odpařování jsou vhodné ponorné hořáky u nichž plyny vzniklé spálením předávají teplo přímo ohřívané kapalině.

cc BY NC SA

Termické způsoby

Spalování

- Spalování se provádí většinou u zvlášť škodlivých odpadů, odpadajících z různých výrob v chemickém průmyslu. Princip spalování spočívá v tom, že odpadní voda se nastřikuje do spalin, majících teplotu 1500 až 2000 °C, vzniklých spálením paliva (např. odpadního oleje). Voda se při tom odpařuje a tím teplota spalin klesá. Odpadní vody se spalují většinou v cyklonových komorách, do nichž se spolu s palivem (kapalným nebo plynným) rozprašuje vzduchovými nebo parními tryskami.
- Při použití tuhého paliva jsou vhodné fluidní pece, v nichž se palivo spaluje ve vznosu a do této fluidní vrstvy se nastřikuje odpadní voda.
- Další možností je spalování odpadní vody v ohništi parních kotlů, které jsou většinou v produkčním závodě provozovány.
- Zvláštním způsobem je tak zvané mokré spalování, při němž je odpadní voda za přívodu vzduchu zahřáta na teplotu 255 °C až 347 °C (kritická teplota vody) při tlaku 5 až 15 MPa a těmto podmínkám vystavena po dobu cca 30 minut.

cc BY NC SA

Děkuji za pozornost

Magisterský studijní program JADERNÁ ENERGETIKA vznikl za přispění

NPO_VUT_MSMT-16609_2022

CC BY NC SA

VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU

NÁRODNÍ PLÁN OBNOVY

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FAKULTA CHEMICKÁ

FAKULTA STAVEBNÍ

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Přednáška magisterského studijního programu JADERNÁ ENERGETIKA

Vodní hospodářství a vzduchotechnika jaderných elektráren

Hospodaření s dešťovou vodou (generely odvodnění, retence dešťových vod, zasakování dešťových vod, znovuvyužití dešťových vod)

Fakulta stavební

Petr Hlavínek

09/2023

CC BY NC SA

Typy atmosferických srážek

- Konvektivní – stoupání vzduchových vrstev po předchozím ohřátí nestejnorodého povrchu (lokální, krátkodobé)
- Orografické – stoupání vzduchu při přechodu překážky (pohoří)
- Frontální – hlavní zdroj dešťových srážek (deště delšího trvání, zasahující větší plochu)

cc BY NC SA

Příklad klasifikace dešťů

Název	Doba trvání deště = 1 hodina		
	Množství srážky v mm	Průměrná intenzita 1/s·ha	Odhadovaná periodicita rok^{-1}
Déšť slabý	1 mm	≤ 3 mm	–
Déšť mírný	1,1 – 5,0	3 – 14	> 5
Déšť silný	5,1 – 10,0	14 – 28	5 – 2
Déšť velmi silný	10,1 – 15,0	28 – 42	2 – 1
Liják	15,1 – 23,0	42 – 64	1 – 0,3
Příval	23,1 – 58,0	64 – 160	0,3 – 0,03
Průtrž mračen	≥ 58,1	≥ 160	< 0,03

cc BY NC SA

Historické deště

- Základní forma dešťových dat, která se dále zpracovávají pro úlohy městské hydrologie
- V ČR existují v různé kvalitě a kompletnosti
- Systematický dešťový monitoring dle požadavků městské hydrologie probíhá na některých lokalitách až v posledních letech

cc BY NC SA

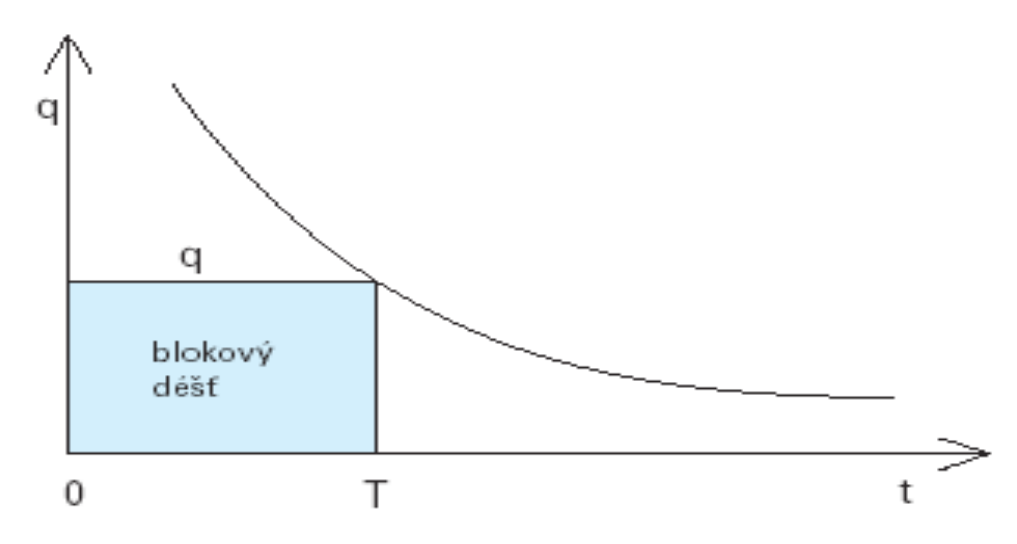
Syntetické deště

- Různým zpracováním historických dešťů se „modeluje“ návrhový déšť
- Ze skutečných dešťů se vytváří déšť „syntetický“
- Zpravidla se používá pro dimenzování profilů kanalizace, to znamená, že se jedná o krátkodobé deště s extrémně vysokou intenzitou
- Touto metodikou se postupovalo po několik posledních desetiletí při návrhu prakticky všech stokových sítí v ČR
- Tento postup je stále v souladu s ČSN

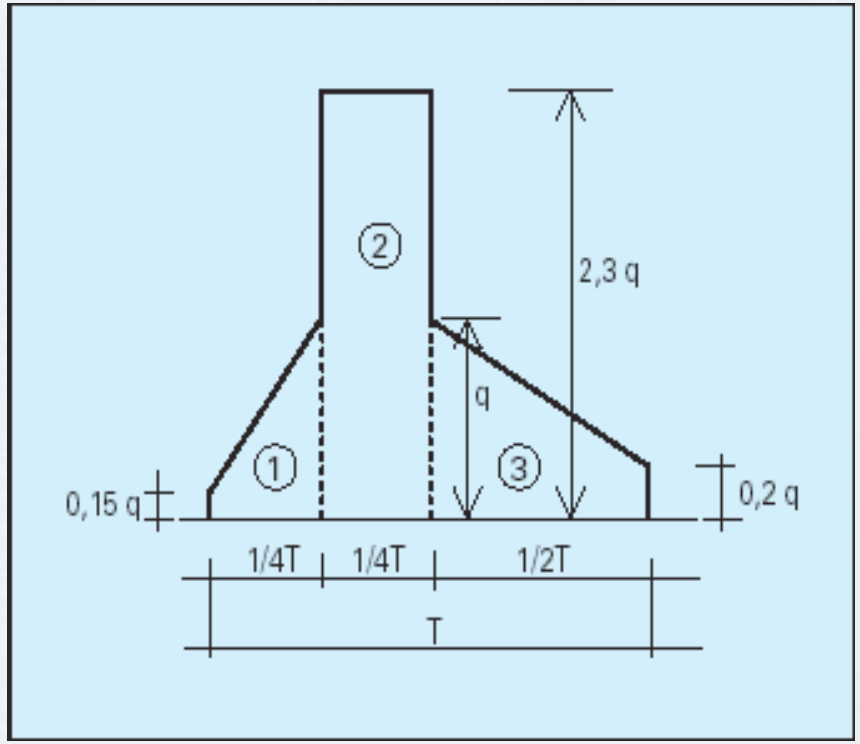
CC BY NC SA

Syntetické deště

- Blokový déšť



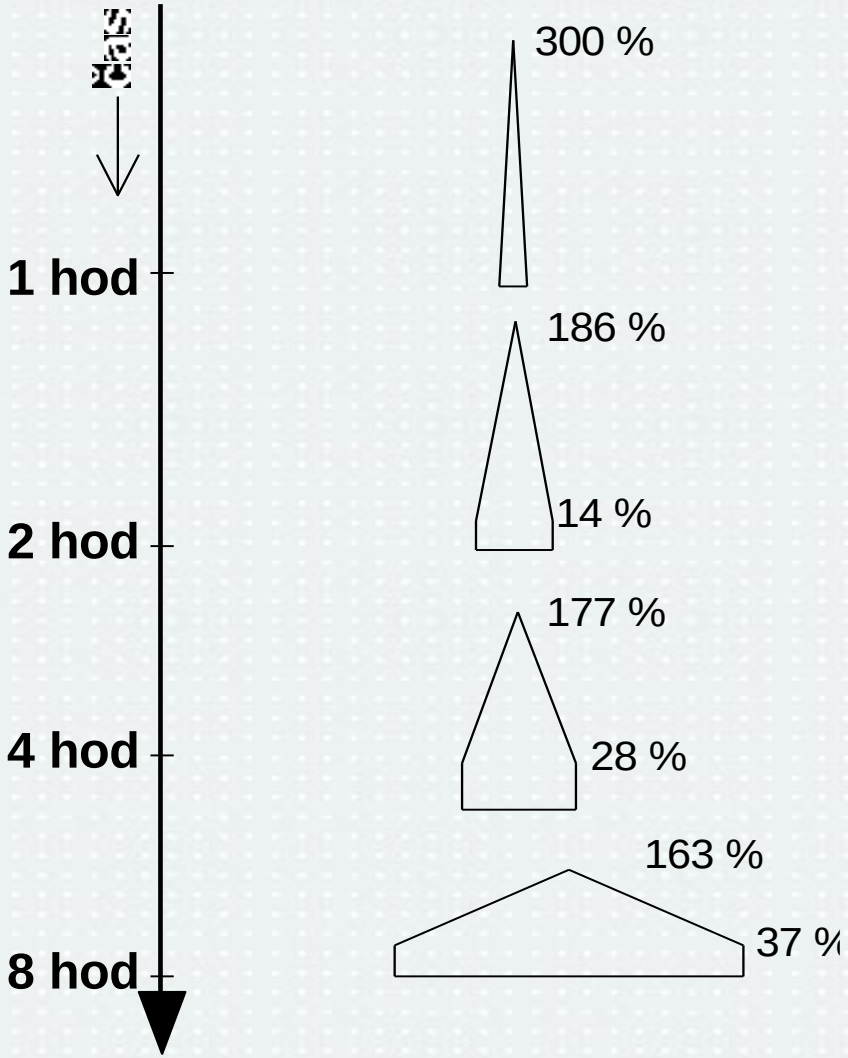
- Šifaldův déšť



BY NC SA

Syntetické deště

- Dešťový katalog



cc BY NC SA

Délka historické dešťové řady

- Pro výpočet návrhových průtoků je třeba řada dlouhá min. 5 let (navrhuje se na četnost 2), není-li k dispozici je výhodnější použít syntetický déšť odvozený z čáry náhradních vydatností
- Pro simulaci znečištění je dešťová řada minimálně 1 letá, případně i ze vzdálenější stanice
- Pro kalibraci a verifikaci výpočtového modelu postačí několikaměsíční řada s dostatečným počtem naměřených dešťových událostí

CC BY NC SA

Snížení vlivu urbanizace

- Situační plán komunikací a budov by měl sledovat charakter krajiny.
- Přírodní cesty odvodnění a přírodní retenční oblasti by měly být zachovány a komunikace by měly být budovány podél nich.
- Budovy by měly být umístěny tak, aby bylo využito přírodního odstupňování terénu a odtoku dešťových vod a zabráněno narušení vegetace a půdy.
- Oblasti dalšího rozvoje urbanizovaných území by měly být situovány do méně citlivých míst nebo do oblastí, které mají menší hodnotu
- Mýcení a odstupňování území by mělo být minimalizováno
- Plocha staveb by měla být co nejmenší, aby byl minimalizován vliv na přirozené území.
- Redukovat plochu a zachovat maximum přirozeného otevřeného prostoru pro ochranu vodních zdrojů.
- Umožnit výstavbu zón, které se liší od standardní výstavby

cc BY NC SA

Využití přirozených vlastností terénu

- Nenarušené přírodní plochy mohou být použity pro kontrolu odtoku dešťových vod z okolních oblastí. Plochy přirozeného poklesu území mohou vytvářet retenční nádrže pro dešťovou vodu.
- Využití přirozených cest pro odtok dešťových vod redukuje cenu výstavby stokových sítí a může redukovat nezbytnost zásahů do krajiny. Přirozené cesty pro odtok dešťových vod jsou méně efektivní než umělá vedení, což vede k prodloužení doby toku a nižším špičkovým průtokům.
- Tam kde to dovoluje hustota osídlení, topografie, druh půdy a sklony vegetační kanály mohou být vhodnou alternativou k odvádění a čištění dešťových vod z komunikací.
- Tam kde je to možné, je vhodné odtok z nepropustných ploch jako jsou střechy, komunikace a parkoviště odvádět na nezpevněné plochy, do otevřených kanálů nebo ploch s vegetací pro čištění těchto vod a jejich zasakování.

cc BY NC SA

Redukce nepropustných povrchů

- Plochy nepropustných povrchů jsou stěžejním faktorem pro HDV.
- Délky a šířky komunikací je nutno minimalizovat všude kde je to možné.
- Použití alternativních propustných povrchů cest může výrazně redukovat podíl nepropustných ploch v urbanizovaném území.
- Použitím vyšších budov je možno redukovat plochy střech a tím snížit množství dešťových vod.
- Parkovací místa je vhodné budovat z propustných povrchů. Většina parkovišť u nových staveb je předimenzována.
- Umístěním nemovitostí blíže hlavních komunikací je možno omezit plochy příjezdových cest a tím snížit množství odtékajících dešťových vod. Snížením rozestupů mezi nemovitostmi je možno redukovat celkovou délku ulic.
- Dešťové odtoky z parkovišť je vhodné zachytávat přímo v místě.

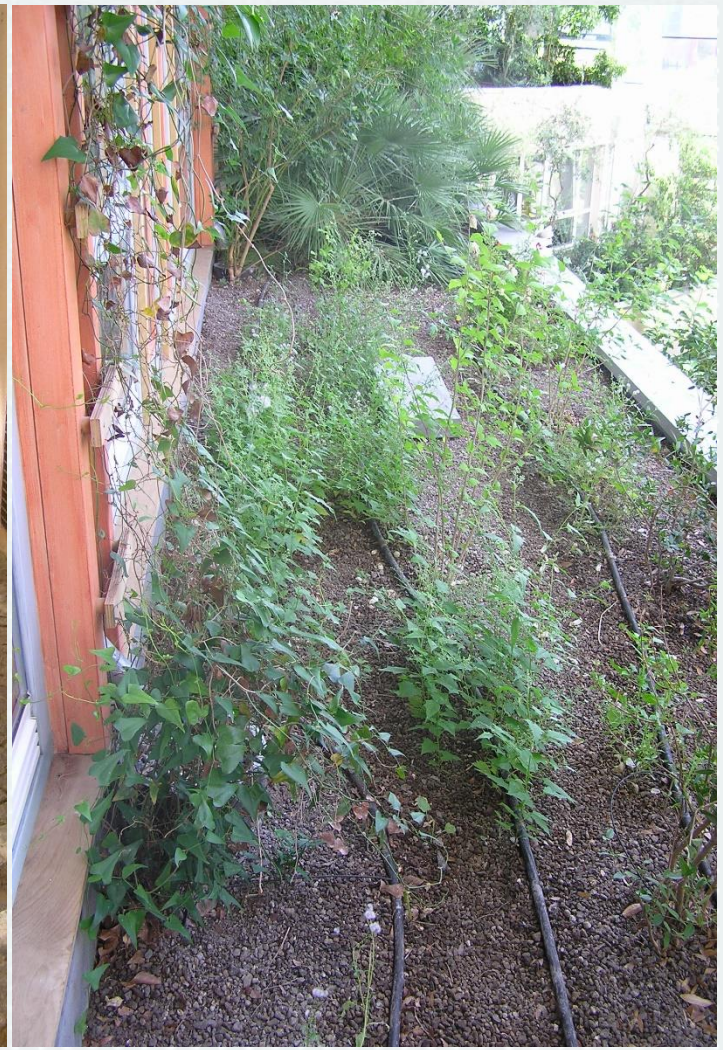
cc BY NC SA

cc BY NC SA

BY NC SA

cc BY NC SA

cc BY NC SA



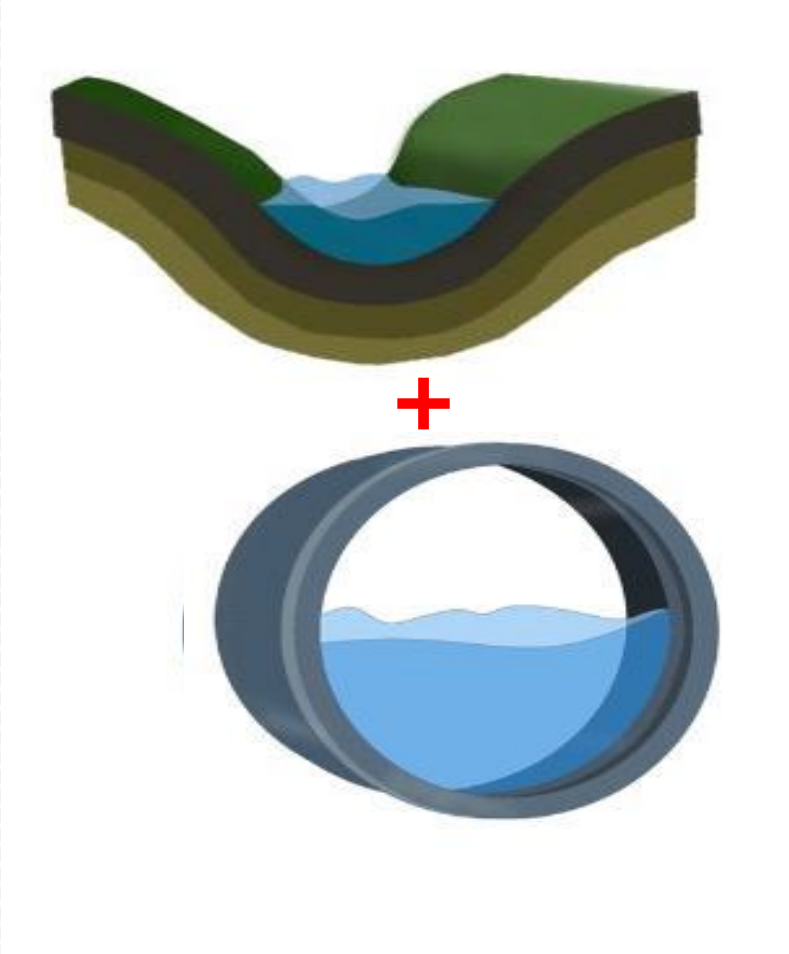
cc BY NC SA

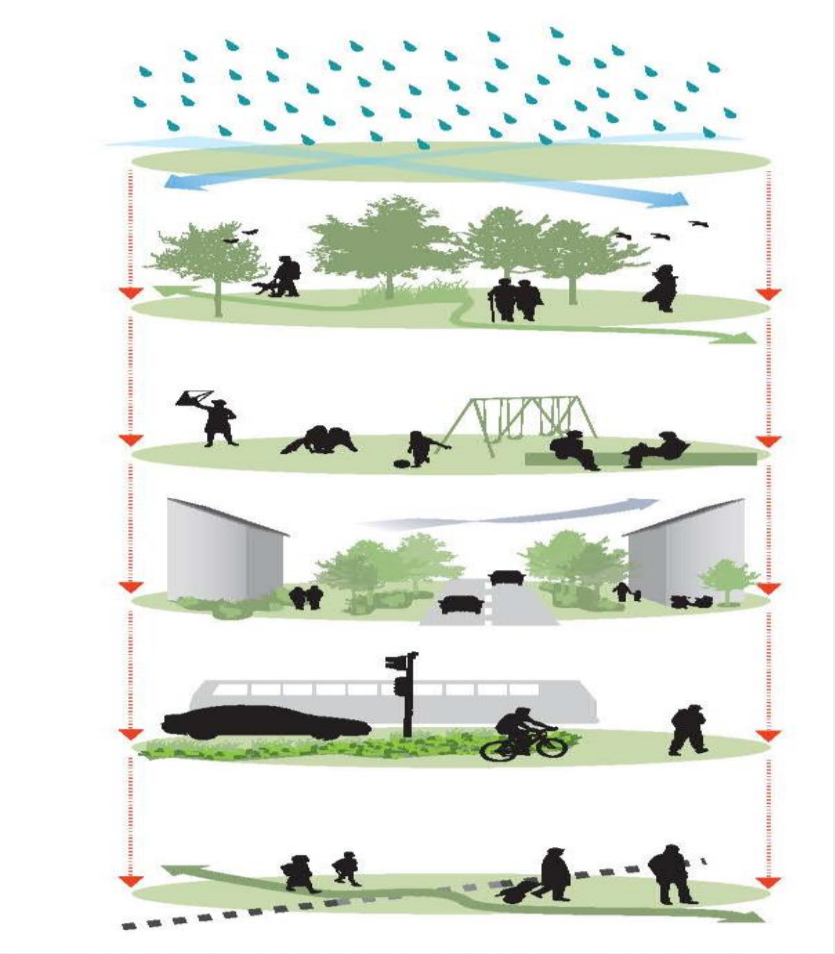
Princip řešení adaptace na přívalové srážky

- Stávající infrastruktura pro odvodnění je schopna odvodnit 10 až 15 leté deště
- Stávající infrastruktura neposkytuje mnoho možností pro zkapacitnění odvodnění
- Extremicita srážek bude v následujících desetiletích dále růst.
- Řešení ochrany před extrémními srážkami je třeba hledat v optimalizaci funkce stávajících odvodňovacích systémů a nové infrastruktury na povrchu povodí…
- …..a zároveň vytvořit nová místa volnočasových aktivit, multifunkční modro-zelenou infrastrukturu a zvýšit rekreační hodnotu, biodiversitu a mikroklima

CC BY NC SA

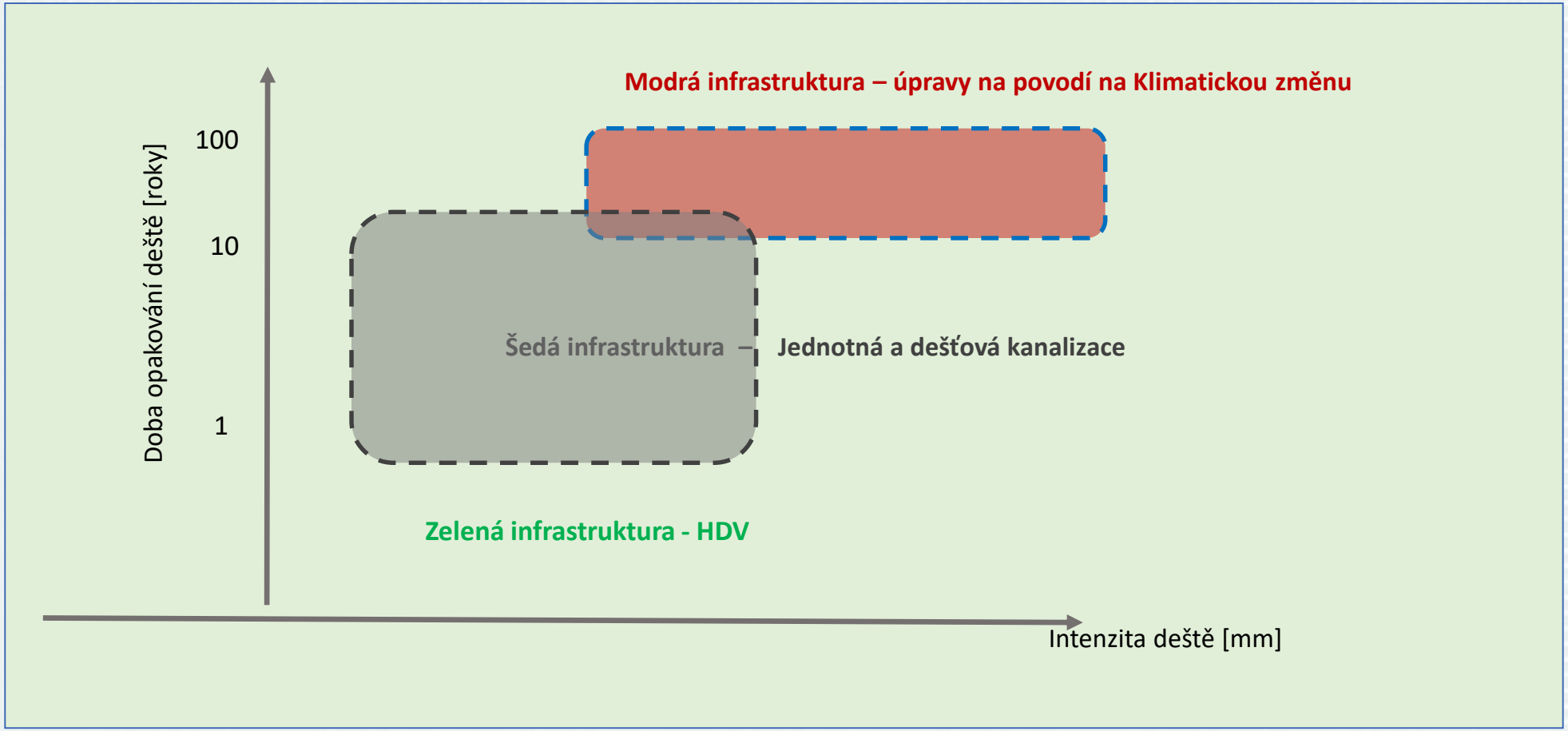
Princip řešení adaptace na přívalové srážky





CC BY NC SA

Hospodaření s dešťovou vodou přívalových dešťů



BY NC SA

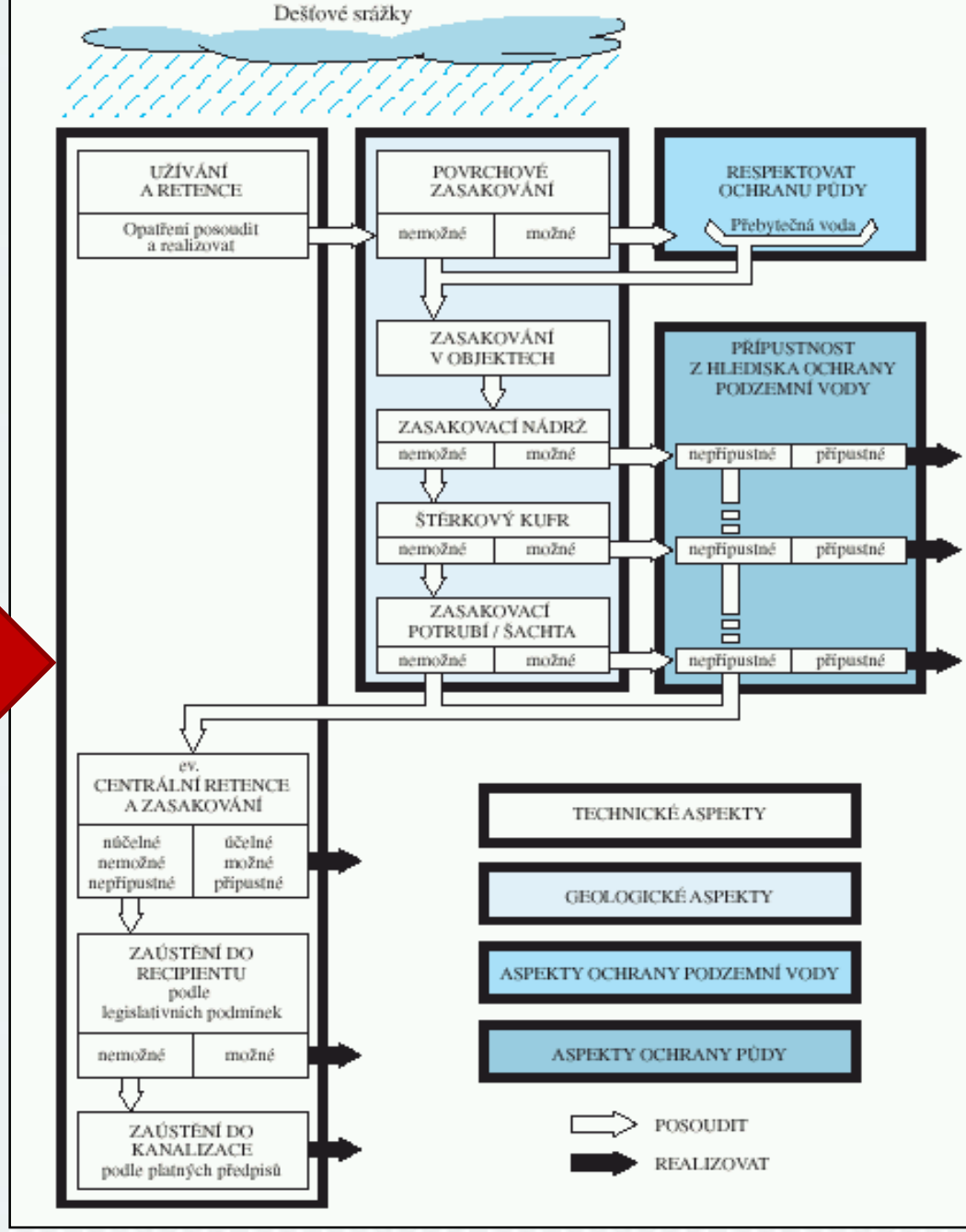
Důvody pro omezení odtoku dešťové vody

- možnost využívání dešťové vody jako užitkové vody
- snížení průtoku v kanalizaci za deště
- snížení hydraulického zatížení a látkového znečištění na ČOV za deště
- snížení hydraulického (mechanického) vlivu na organizmy v malých vodních tocích
- látkového znečištění z přepadů jednotné kanalizace za deště
- podpora obnovy podzemní vody apod.

BY NC SA

Postup při rozhodování o volbě jednotlivých opatření

Rozhodovací diagram pro jednotlivá opatření v souvislosti s odváděním dešťových vod z jednotlivých nemovitostí



Možnosti užívání dešťové vody

- zavlažování zelených ploch na sídlištích, zahrádkách, sportovních areálech
- mytí aut, stavebních strojů, mytí průmyslových ploch
- použití v domácnostech (splachování WC, praní prádla)
- použití v živnostenských provozech a v průmyslu

BY NC SA

Užíváním dešťové vody nesmí dojít

- k ohrožení zdraví uživatele
- k ohrožení kvality pitné vody
- k omezení komfortu užívání vody
- ke kontaminaci životního prostředí

cc BY NC SA

Retence na vodorovných a šikmých střechách a na terasách

- V podstatě se střešní zahrady rozdělují podle druhu vegetace a tím i dle celkové skladby vegetačního souvrství na:
  - extenzivní zeleň
  - polointenzivní zeleň
  - intenzivní zeleň

BY NC SA

Retence na vodorovných a šikmých střechách a na terasách

- výhody
  - esteticky působící možnosti zahradní architektury
  - regulace teploty v horním podlaží budovy
  - zmírnění dilatačních problémů
  - snížení hladiny hluku
- nevýhody
  - intenzivní péče o rostliny těsně po jejich vysazení
  - častější proplachování dešťových rour u střech s rostlinným pokryvem

cc BY NC SA

Retenční nádrž

- výhody
  - zpravidla nízké pořizovací náklady
  - možné esteticky působící uspořádání (zahradní architektura)
  - jednoduchá a levná zařízení na omezení odtoku
  - nepatrné nároky na látkové složení dešťového odtoku
- nevýhody
  - potřebná plocha
  - bezpodmínečně nutná pravidelná údržba

cc BY NC SA

Zasakování dešťového odtoku

- výhody
  - málo intenzivní srážky – možná příčina akutních toxických znečištění vodních toků
  - vliv na snížení chronického znečištění vodních toků
  - na ČOV je přiváděno větší množství znečišťujících látek
  - snižování nákladů na investice a provoz městského odvodnění
- problémy
  - dešťové srážky obsahují znečišťující látky z atmosféry
  - tyto látky mohou způsobovat znečištění půdy a podzemní vody
  - kolmatace – technický problém zasakovacích zařízení
  - změny obsahu vody v půdě

BY NC SA

Odtoky ze zpevněných ploch jsou z hlediska koncentrace látkového znečištění a možného ovlivnění spodních vod členěny

- Neškodné - Nezávadné odtoky srážkových vod mohou být vsakovány nenasycenou zónou bez předúpravy. Tyto odtoky však nejsou látkově nezatížené. Koncentrace jsou však považovány za tak malé, že není nutno se obávat škodlivého znečištění spodních vod, či zhoršení jejich kvality.
- Tolerovatelné - odtoky mohou být vsakovány po vhodné předúpravě a s využitím čisticích procesů ve vsakovacím zařízení. Vsakování přes zatravněný povrch může v závislosti na vlastnostech plochy povodí a době zdržení vsakovacím prostoru dostačovat.
- Netolerovatelné - odtoky srážkových vod mají vsakovány pouze po vhodné předúpravě nebo mají být zavedeny do stokové sítě.

cc BY NC SA

Hlavní technické principy pro vsakování

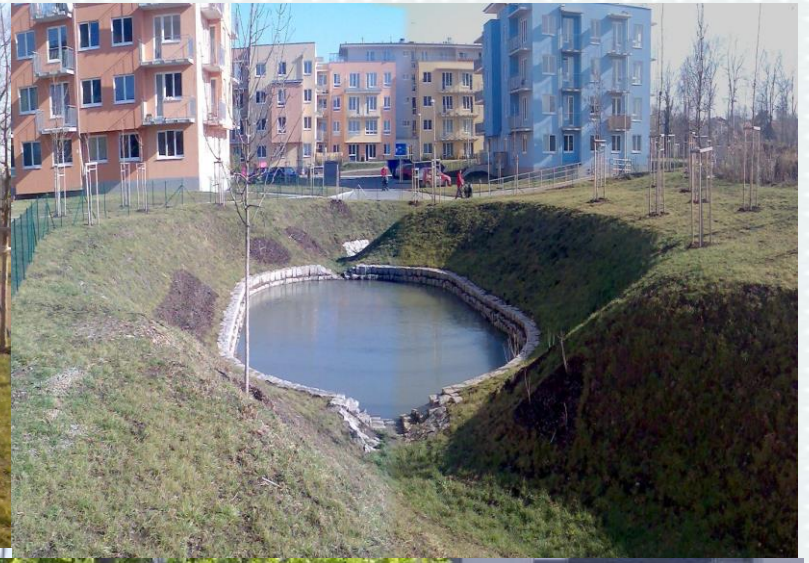
- plošné vsakování
- průlehové vsakování
- kombinace průlehu a rýhy (víceslożkový vsakovací prvek)
- rýhové a trubní vsakování
- šachtové vsakování
- vsakovací nádrže
- víceslożkový systém

cc BY NC SA

Příklady nakládání se srážkovými vodami

CC BY NC SA

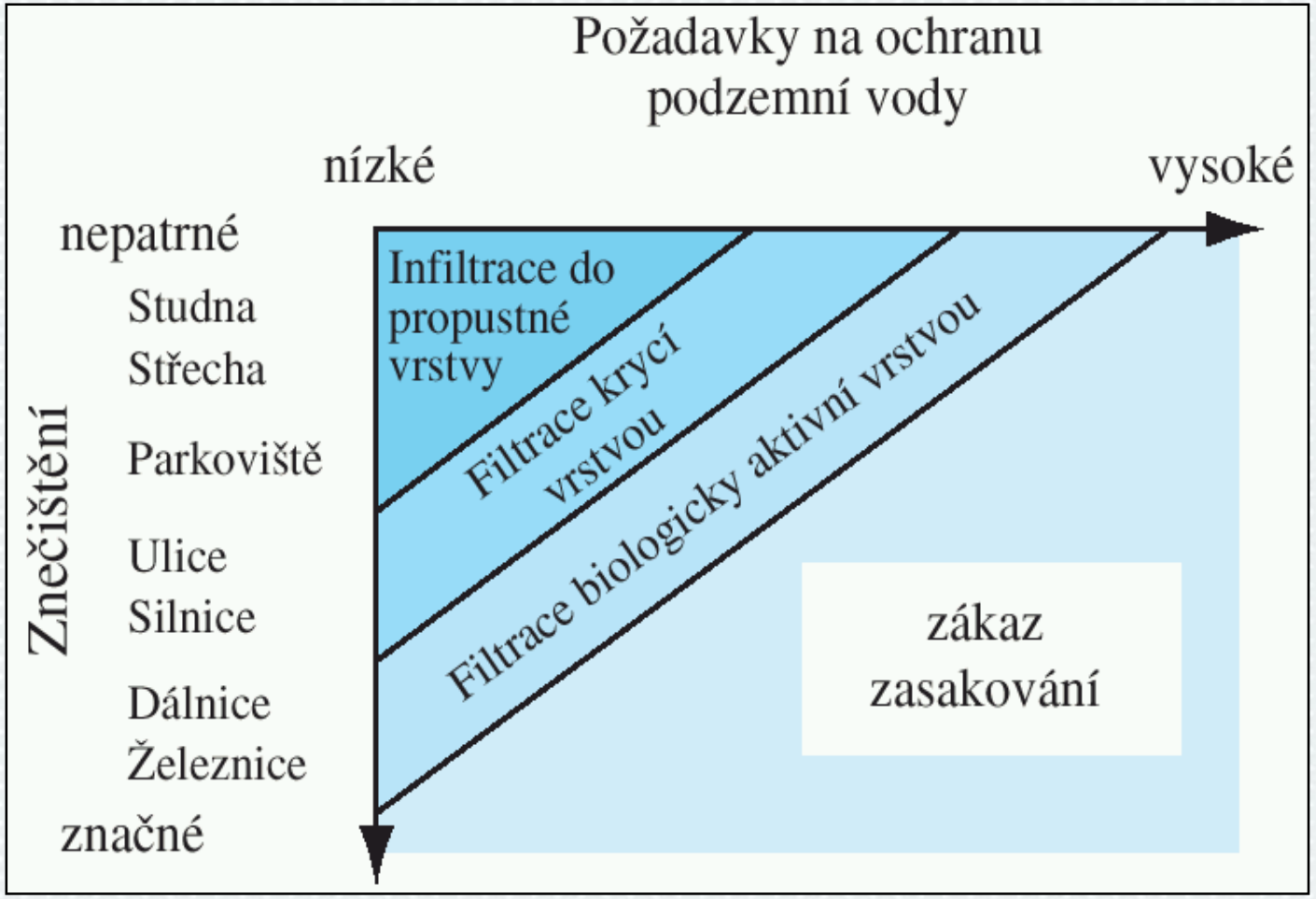
Příklady nakládání se srážkovými vodami



BY NC SA

Okrajové podmínky zasakování

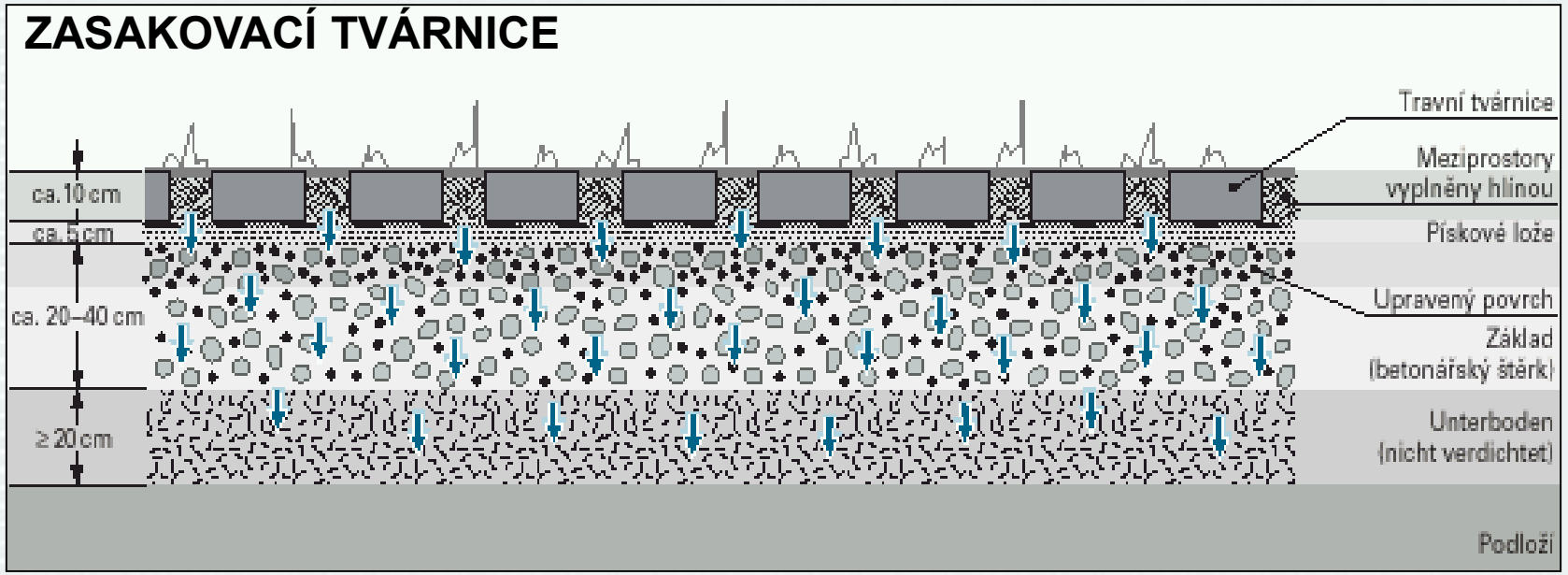
- Hlavní okrajové podmínky:
  - znečištění dešťového odtoku
  - požadavky na ochranu podzemní vody
  - požadavky na ochranu půdy
  - způsob zasakování



cc BY NC SA

Plošná infiltrace

- Dešťový odtok je přímo odváděn na plochu, určenou pro zasakování

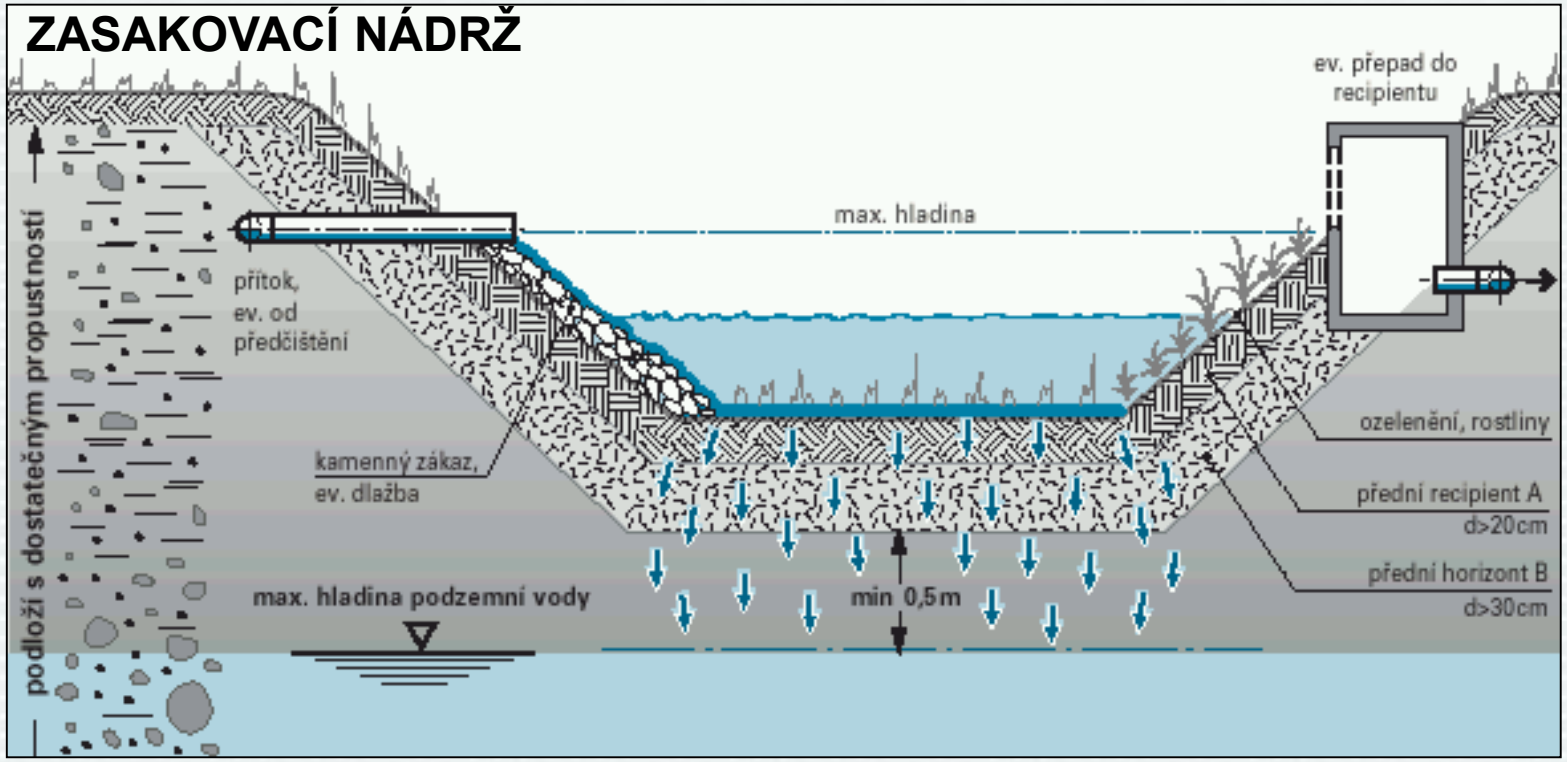


- Tento způsob zasakování je aplikován u:
  - málo frekventovaných parkovišť aut
  - dvorů
  - sportovních ploch…

cc BY NC SA

Zasakování v muldách a v infiltračních nádržích

- plošná infiltrace doplněna i retencí
- používá se tam, kde není k dispozici plocha pro plošnou infiltraci



BY NC SA

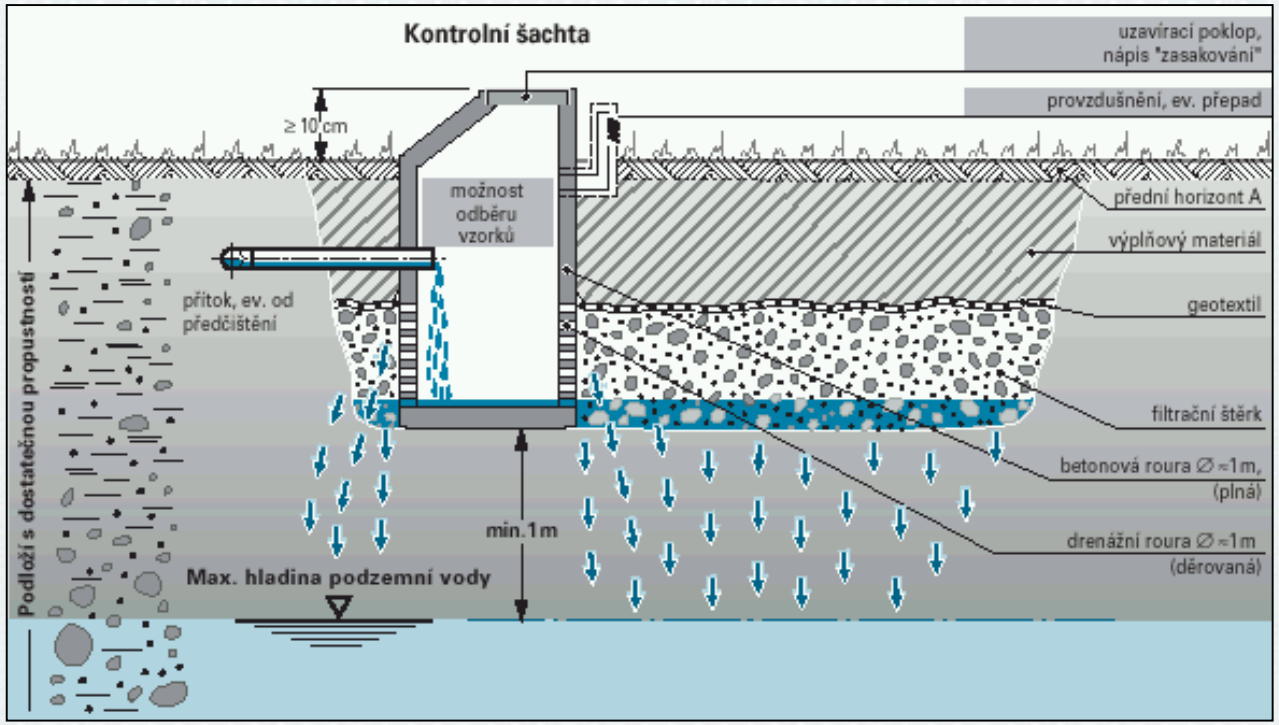
Podpovrchová infiltrace

- povrchová část půdního horizontu (krycí vrstva) je odstraněna
- dešťový odtok je přímo zaústěn do spodních půdních horizontů
- tyto vrstvy vykazují podstatně nižší schopnost zachycení látkového znečištění
  - stoupá nebezpečí kontaminace podzemní vody
  - může být nezbytné předčištění dešťového odtoku
- nízké nároky jak na provoz, tak i na údržbu

BY NC SA

Štěrkové těleso

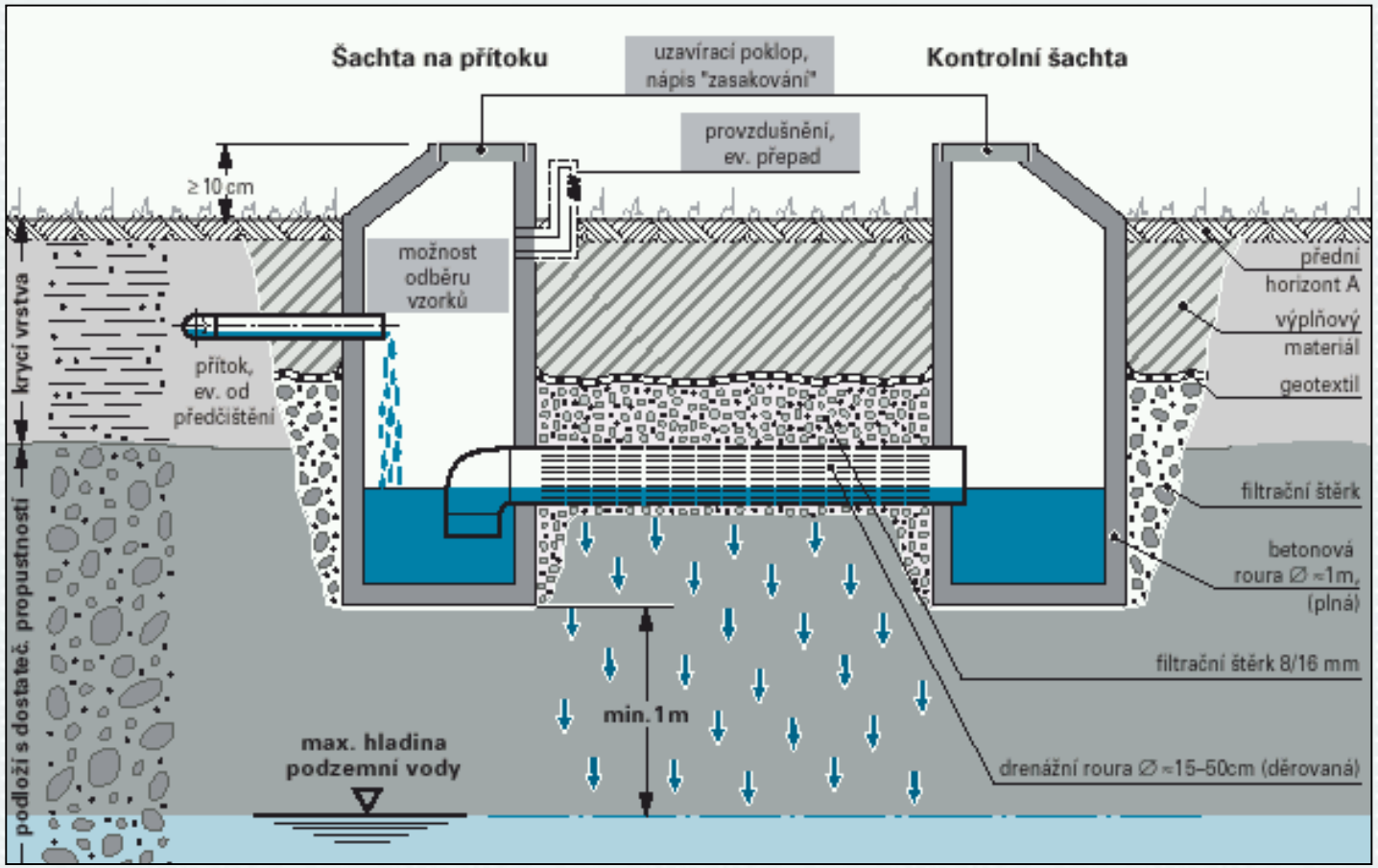
- dešťový odtok ze štěrkového tělesa zasakuje do okolního podloží
- využívá se značný povrch na rozhraní mezi vlastním štěrkovým tělesem a okolní půdní vrstvou
- využívá se značný retenční objem tohoto objektu



cc BY NC SA

Zasakovací příkopy (galerie)

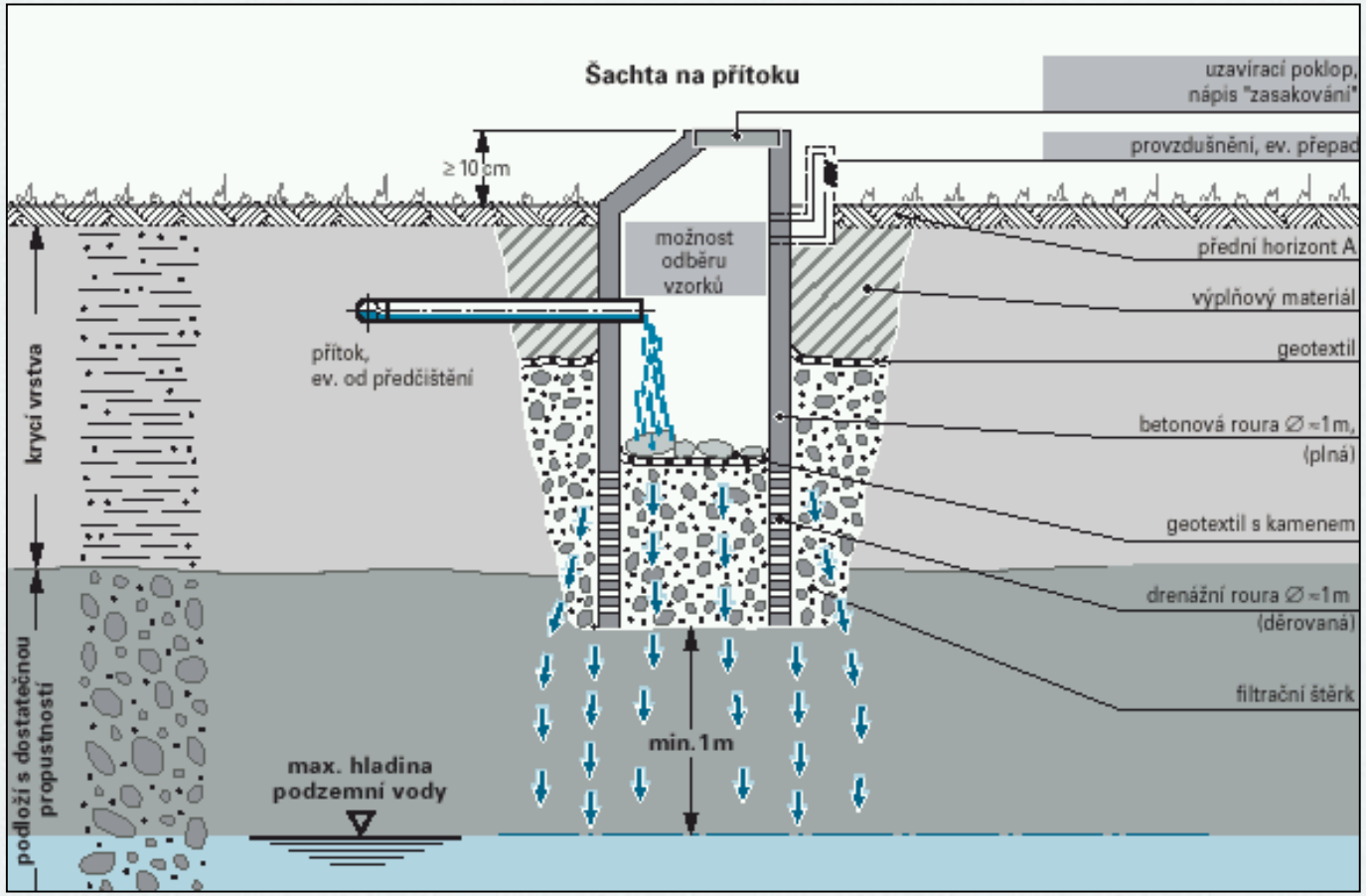
- dešťový odtok je rozváděn perforovanými rourami, uloženými do štěrkem vysypaných a následně zakrytých příkopů



cc BY NC SA

Zasakovací šachta

- dochází zde k bodovému, podpovrchovému zasakování



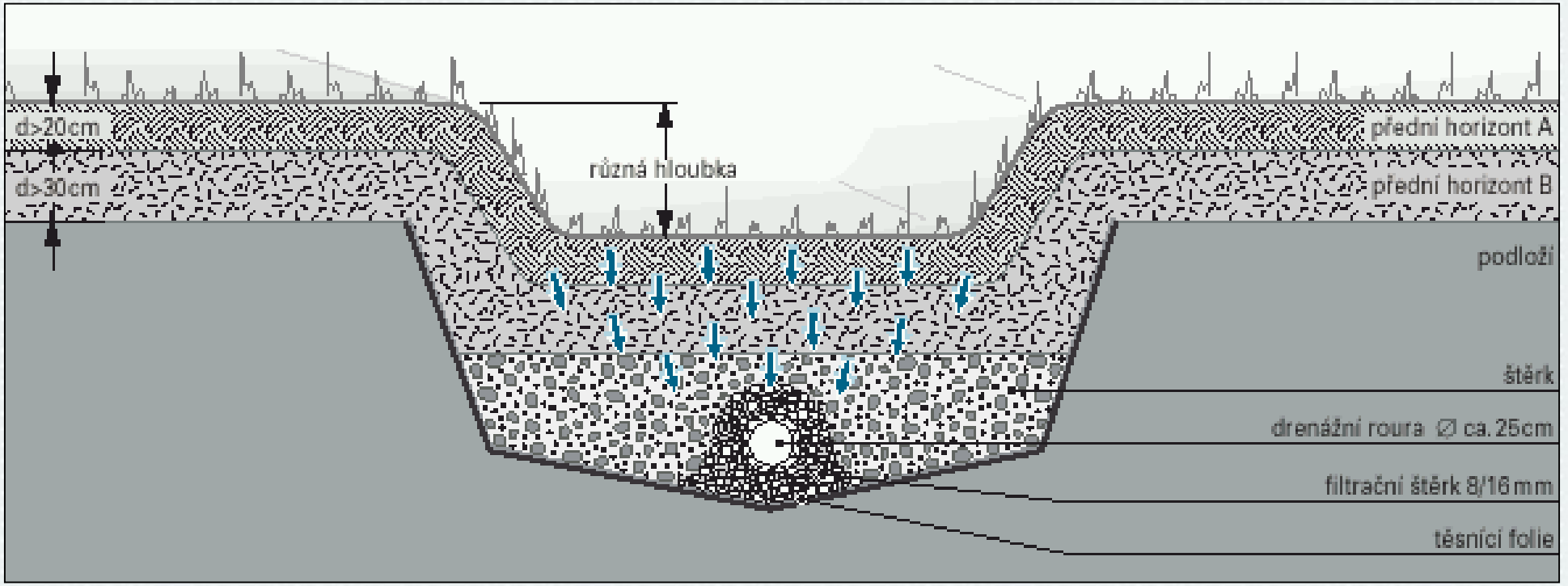
CC BY NC SA

Předčištění zasakované vody

- Je nutné v případech:
  - významného znečištění v dešťové vodě
  - ohrožení podzemní vody
  - u obou faktorů současně

BY NC SA

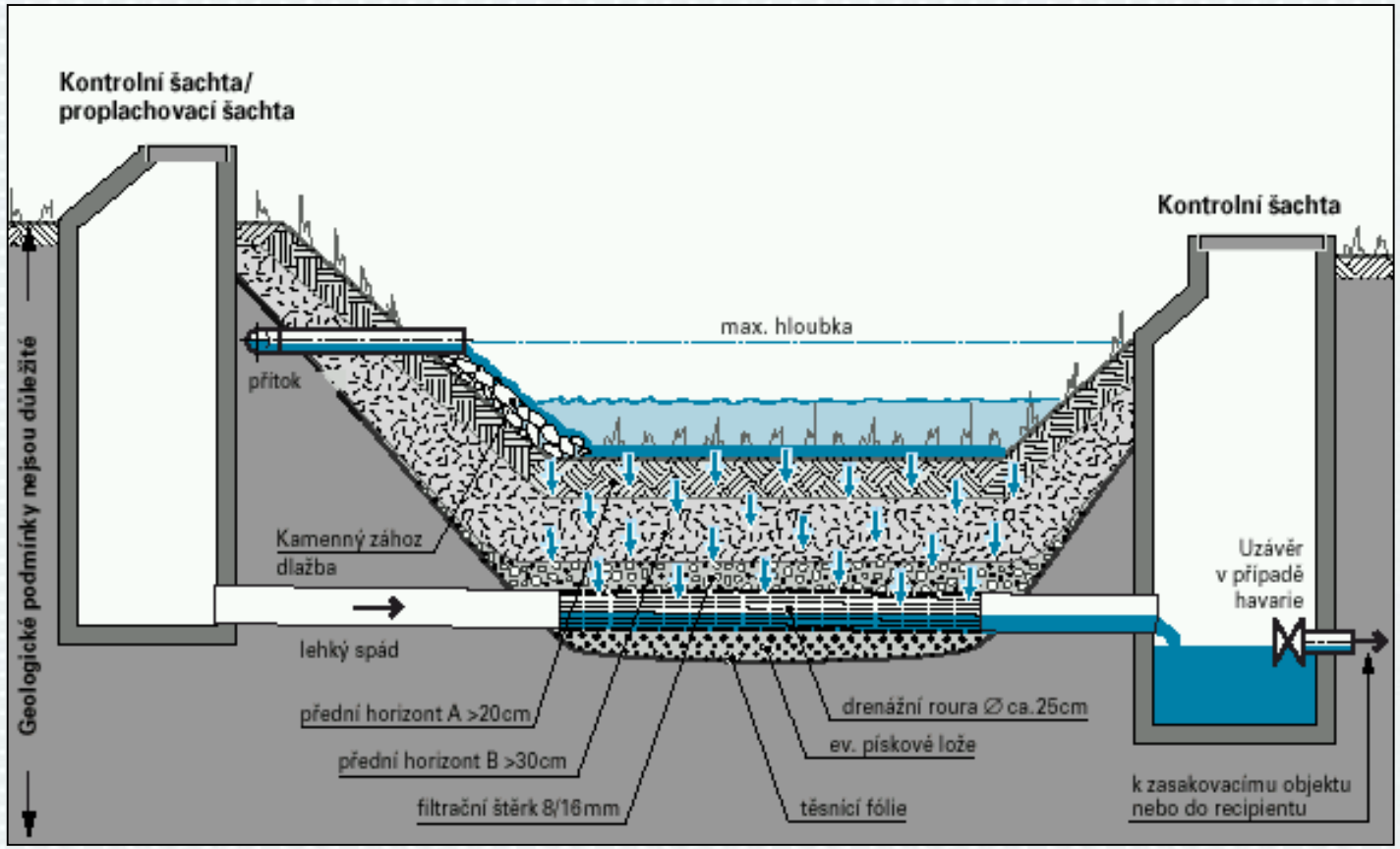
Zasakování v muldách, kombinované s retencí v zakrytých příkopech



BY NC SA

Kombinace retenční a filtrační nádrže

- ošetření probíhá v biologicky aktivní půdní vrstvě nádrže



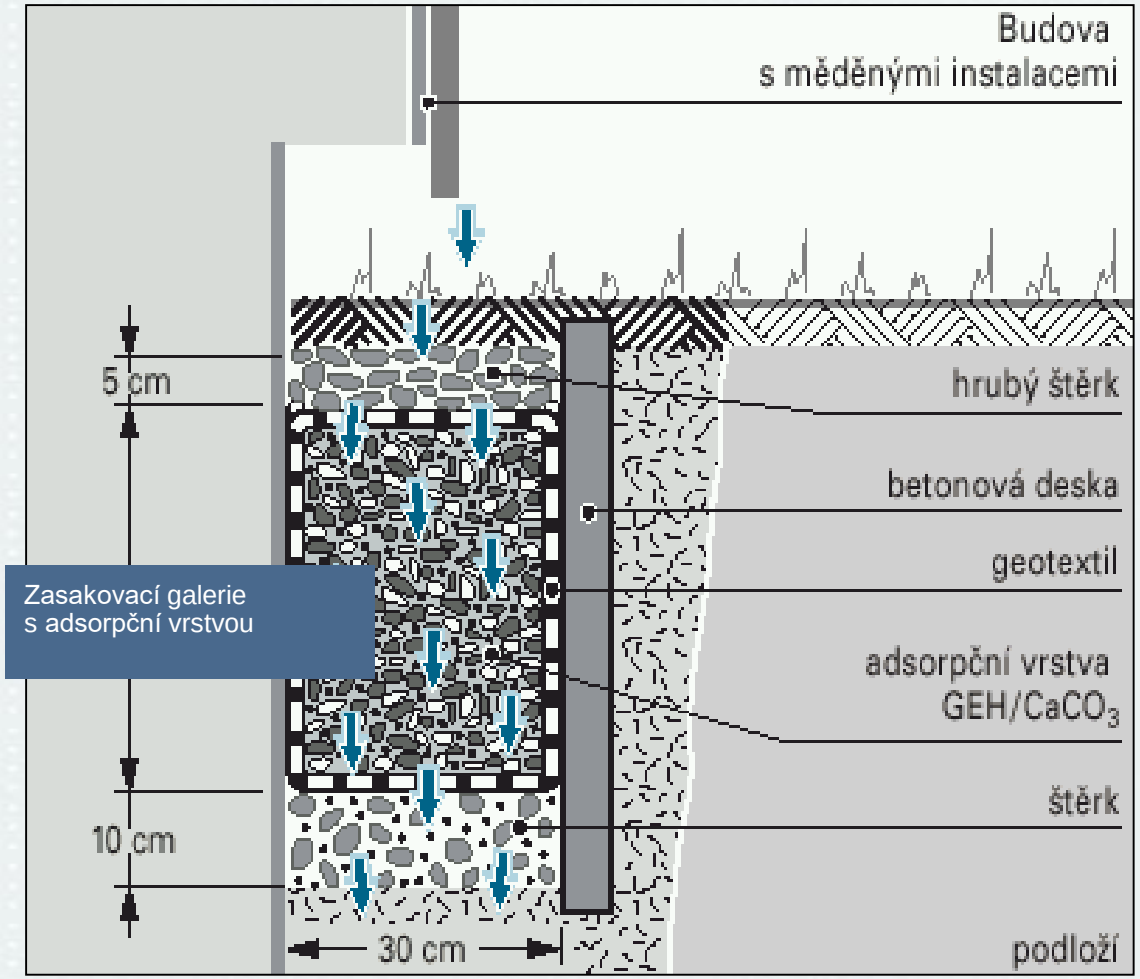
CC BY NC SA

Ošetření pomocí umělého adsorpčního materiálu

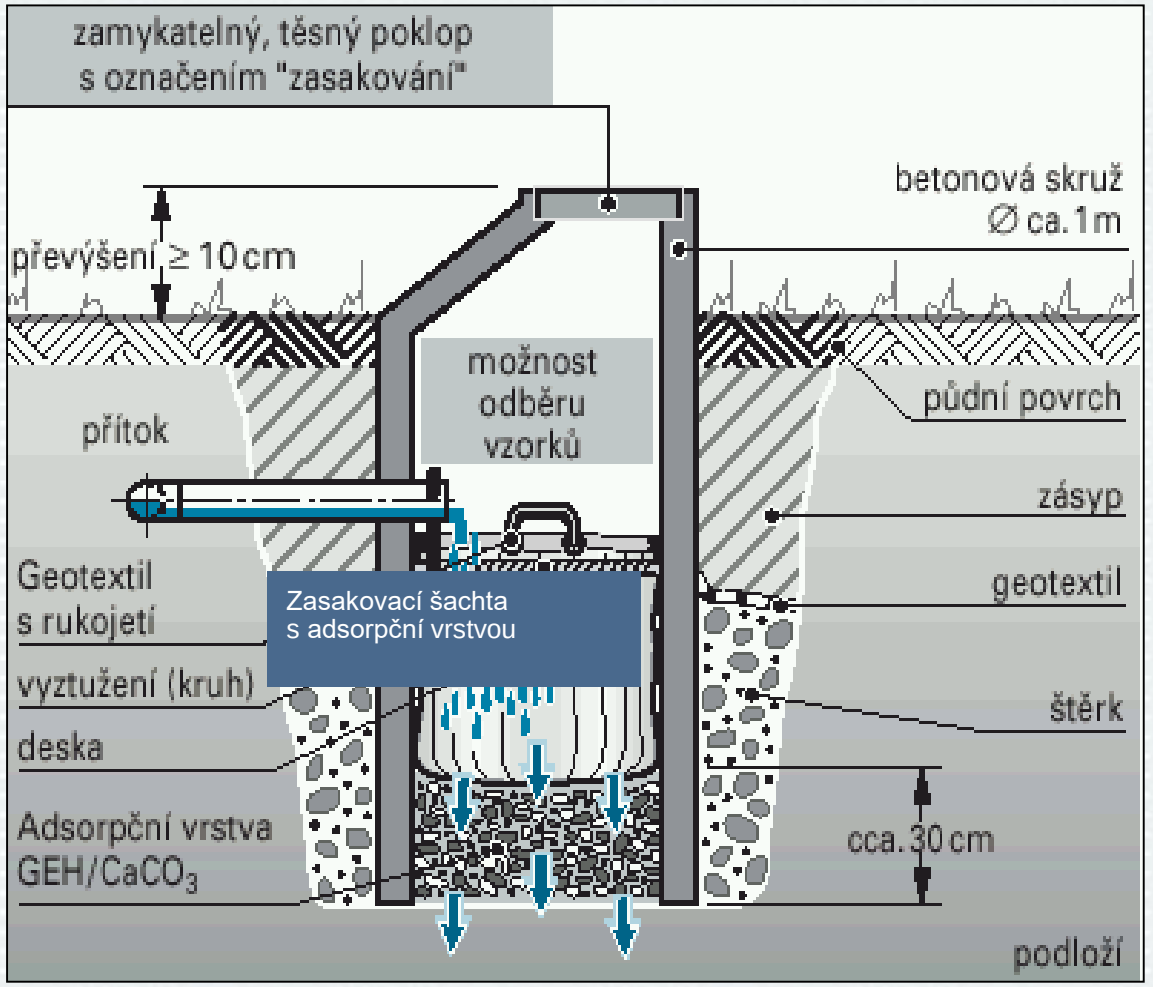
- nové materiály s podstatně vyšším čistícím účinkem
  - materiály musí splňovat podmínky:
  - vyhovující hydraulické propustnosti
  - vysoké adsorpční kapacity
  - vyhovující selektivitě vůči kritickým znečišťujícím látkám
- nejvhodnější vlastnosti vykazují hydroxidy železa (GEH-Adsorber) a hliníku

BY NC SA

Zasakování s adsorpční vrstvou



Zasakovací galerie
s adsorpční vrstvou



Zasakovací šachta
s adsorpční vrstvou

BY NC SA

Plánování a realizace zasakování

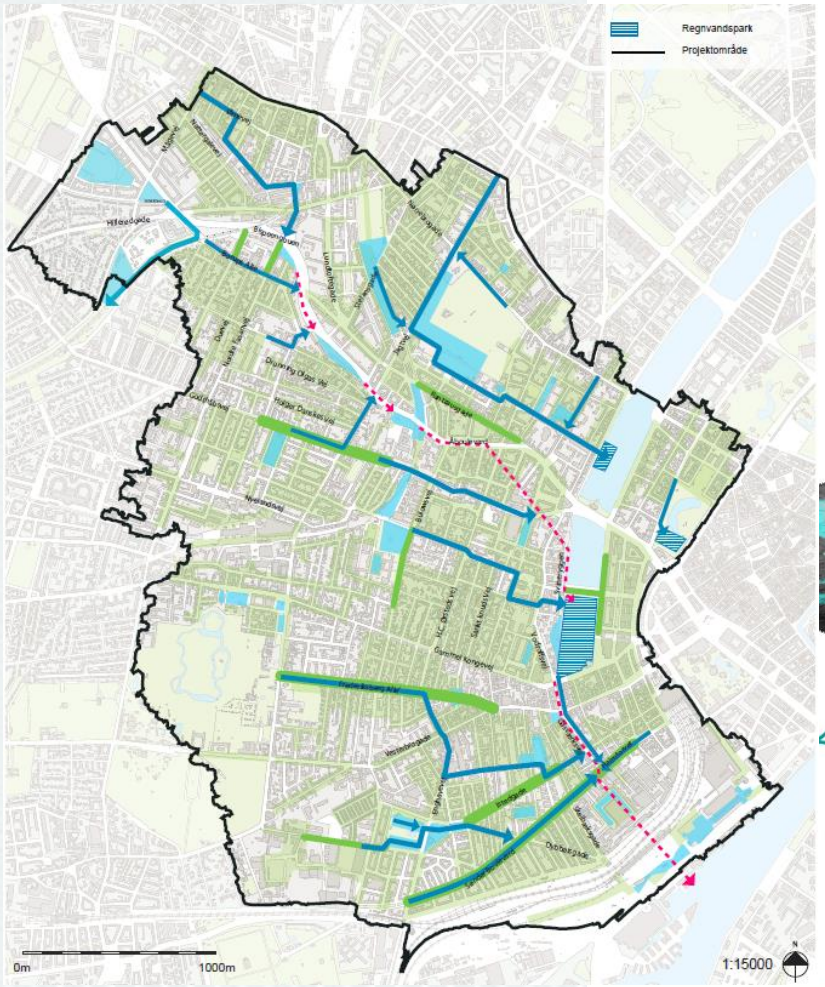
- Plánování je možno rozdělit do dvou částí:
  - vypracování konceptu zasakování v jednotlivých obcích a městech
  - plánování a realizace jednotlivých objektů
- Plánování je spojeno s objasněním místních podmínek:
  - posouzení vhodnosti podloží
  - stanovení propustnosti
  - mocnosti málo propustných nebo nepropustných krycích vrstev
  - výšky hladiny podzemní vody a jejího kolísání

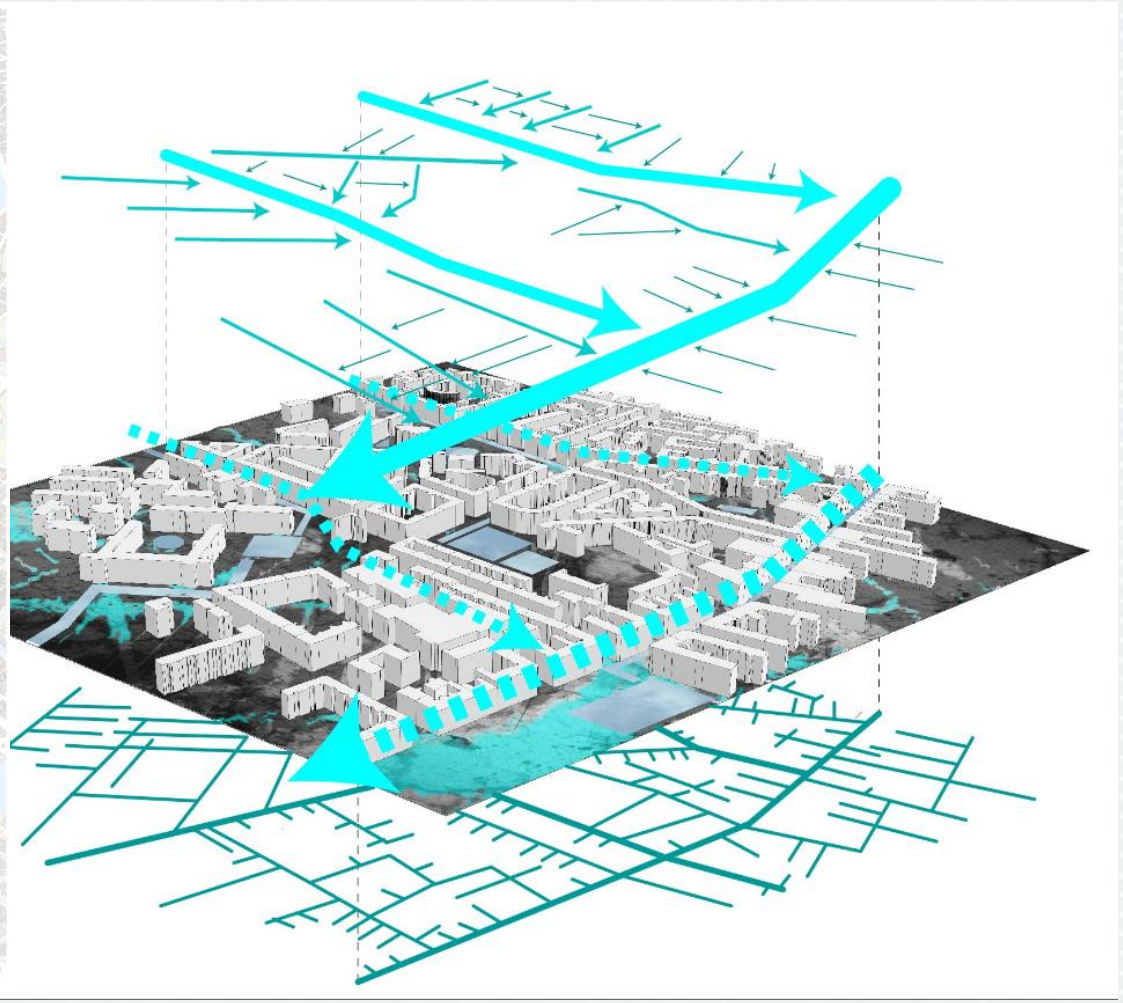
BY NC SA

Koncept odvodnění extrémních dešťů

cc BY NC SA

Kodaň - plán Adaptace na změnu klimatu



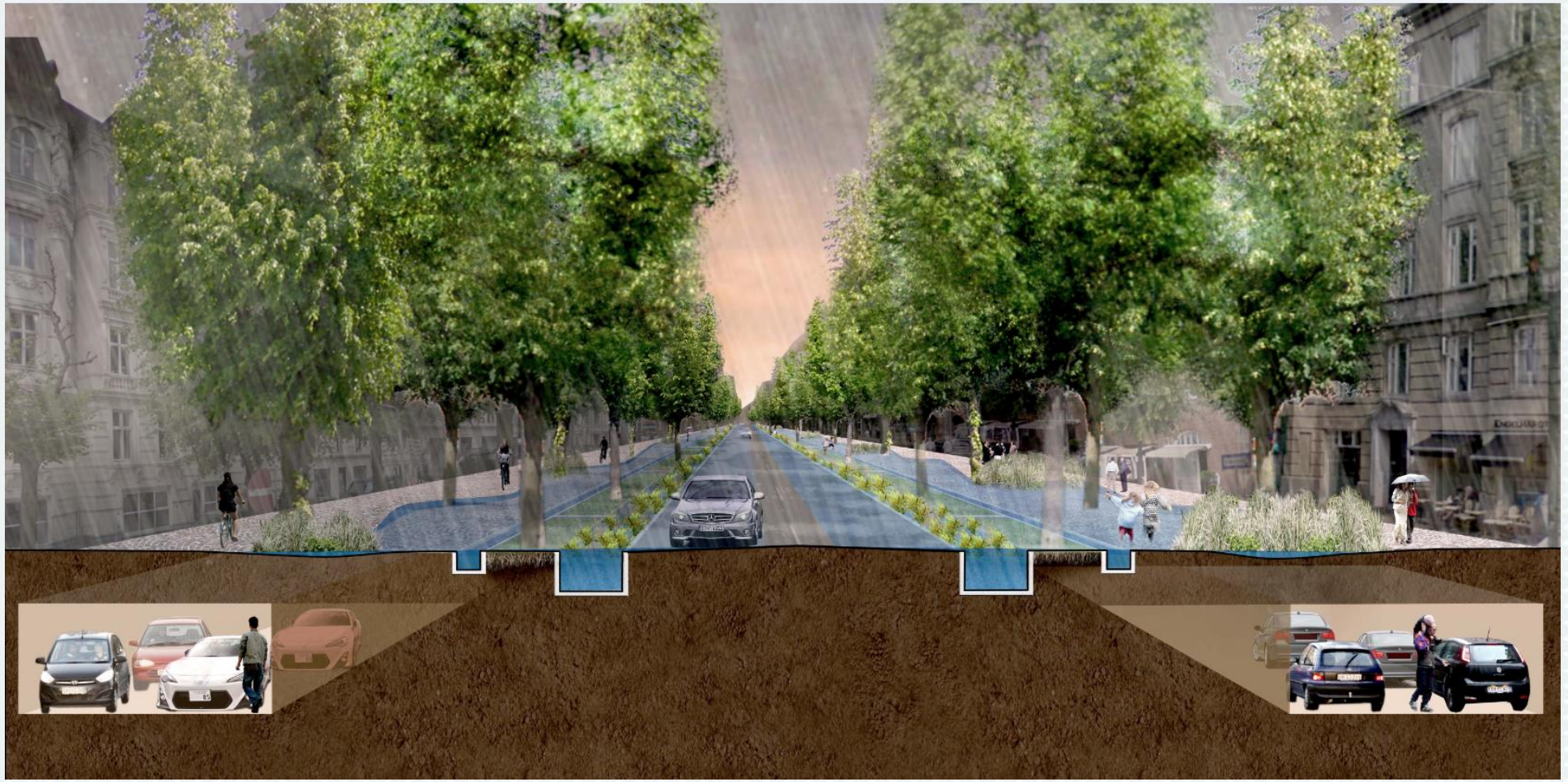


BY NC SA

Územní a urbanistické řešení

BY NC SA

Územní a urbanistické řešení

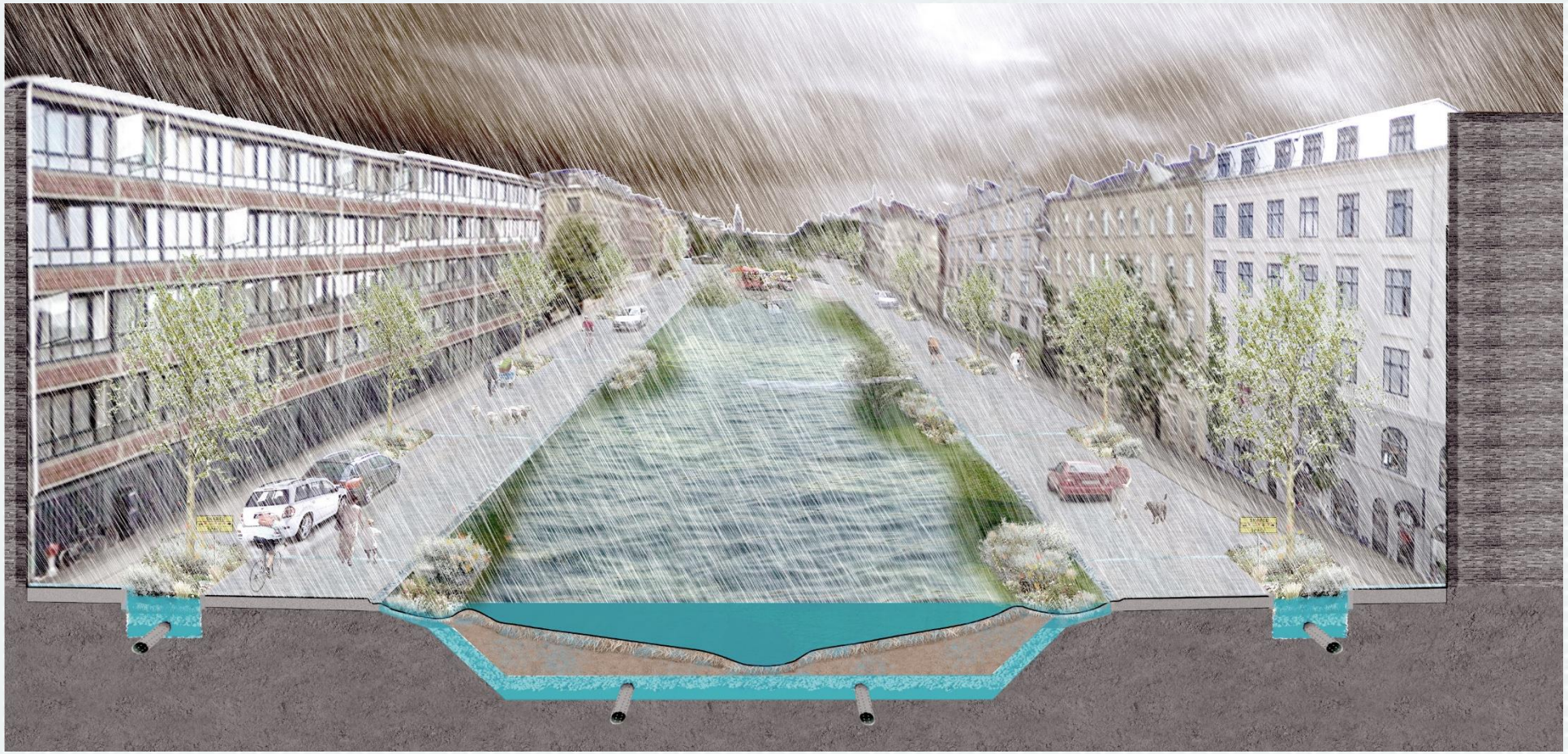


cc BY NC SA

Územní a urbanistické řešení

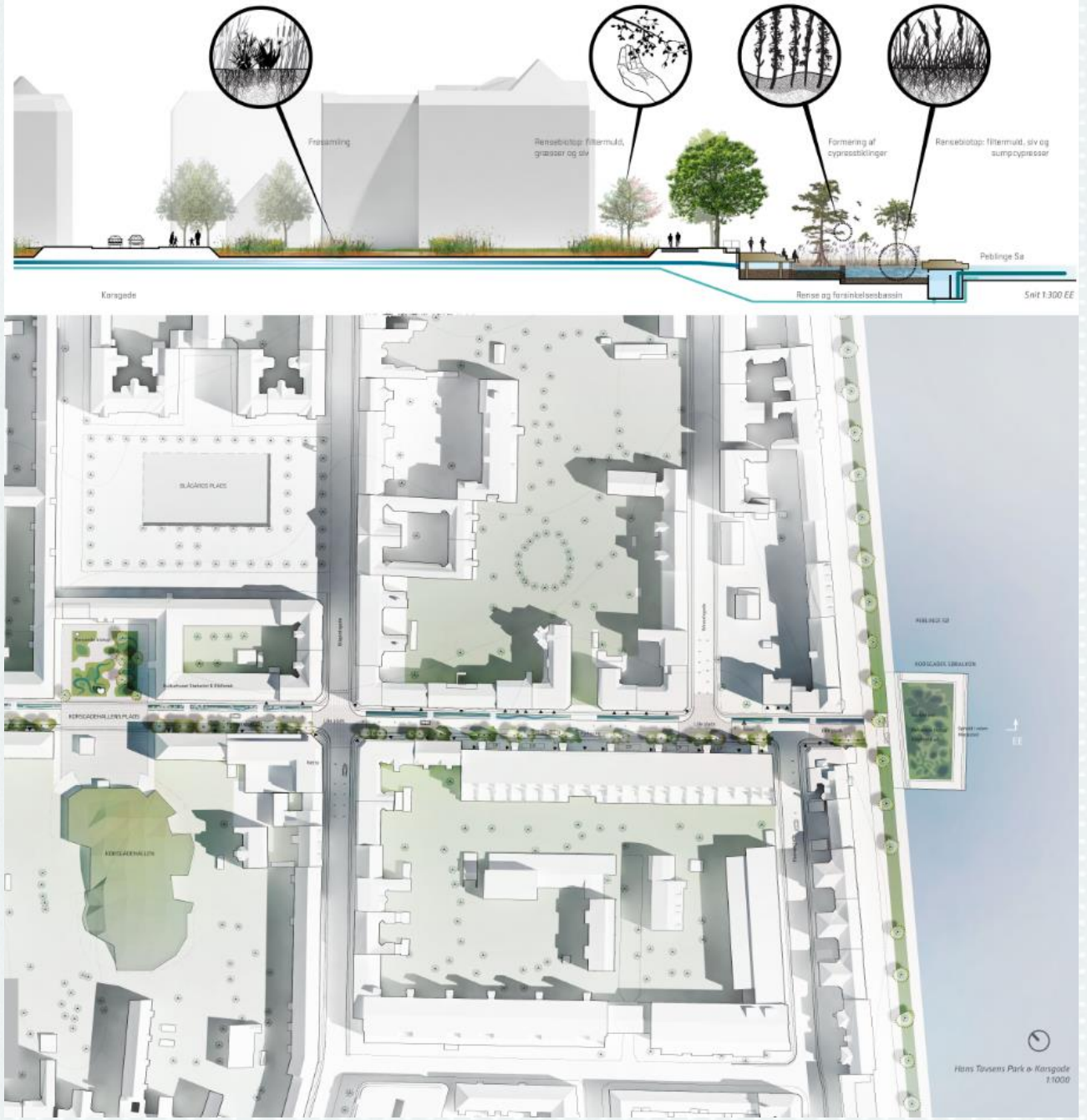
BY NC SA

Územní a urbanistické řešení



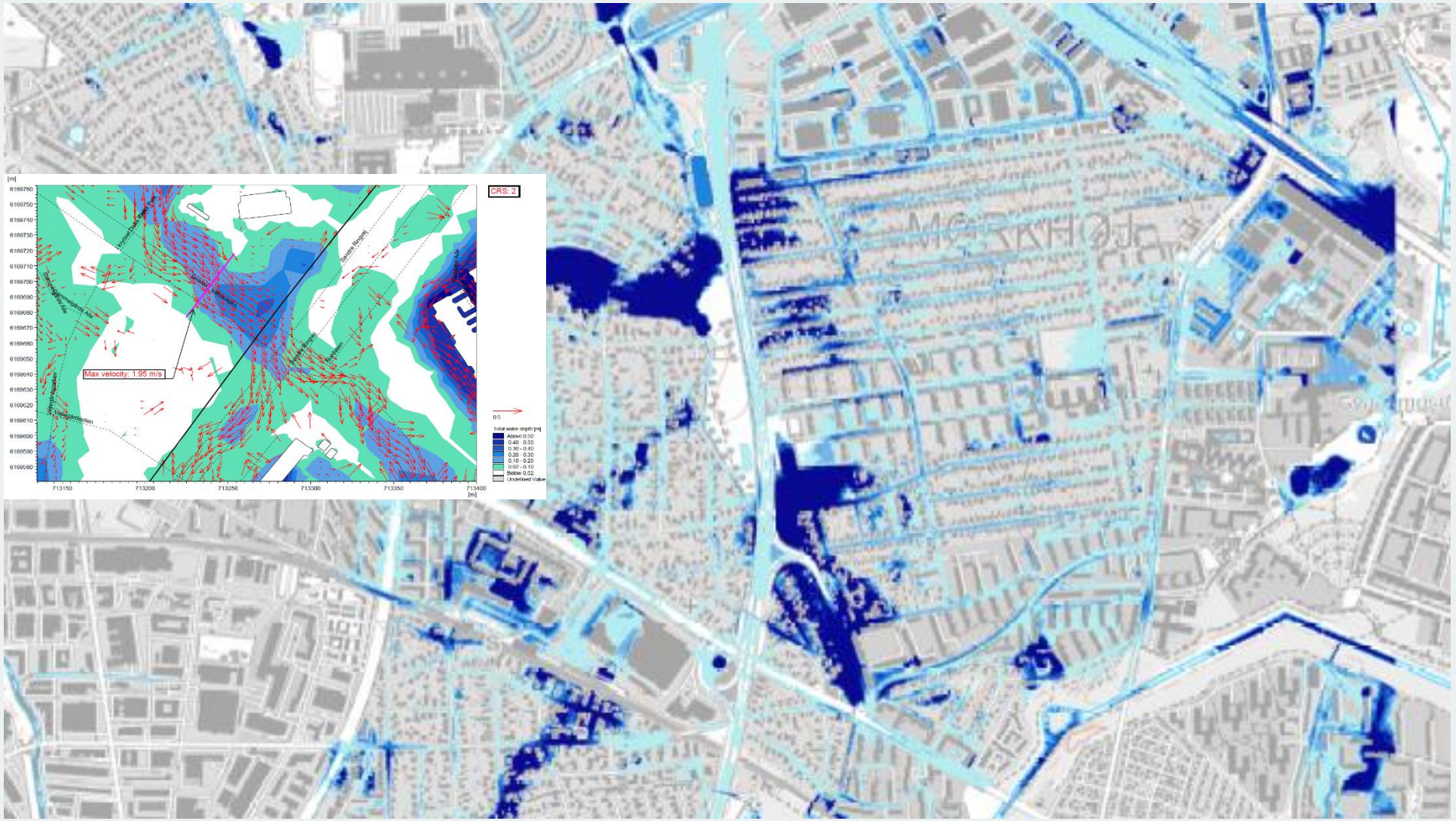
cc BY NC SA

Územní a urbanistické řešení



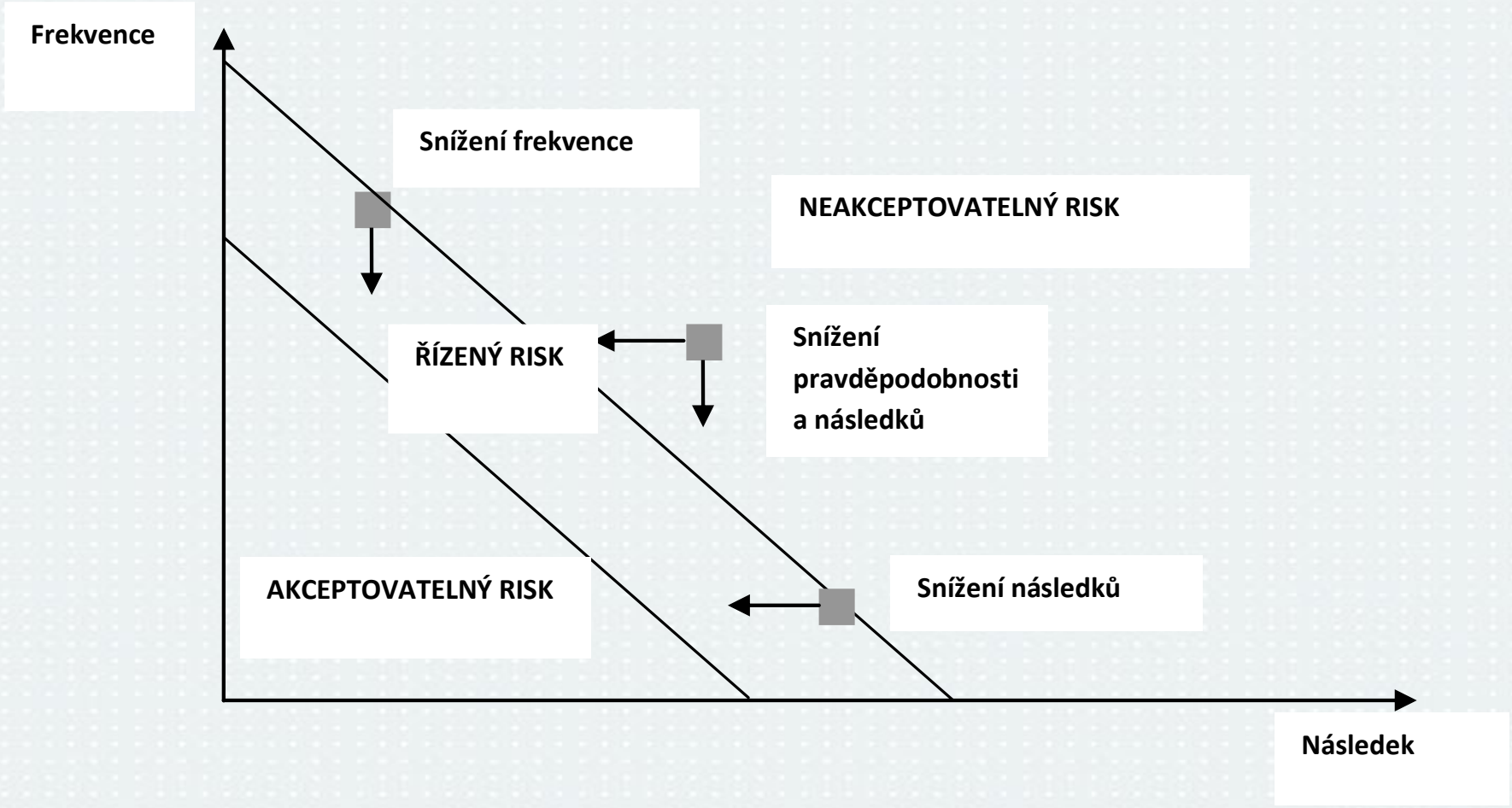
CC BY NC SA

Analýza usměrnění dešťových vod na povrchu



cc BY NC SA

Řízení rizik v odvodnění



cc BY NC SA

Shrnutí a závěry

- Budoucí vodohospodářská infrastruktura bude udržována a rozvíjena v podmínkách důsledků klimatických změn, omezených (vodních) zdrojů a rostoucích cen energií.
- Zároveň bude zvyšován tlak na komfort odvodnění a multifunkční vodohospodářská řešení.
- Dále poroste potřeba dat, informací a obecně vliv informačních technologií
- Stabilita a robustnost systémů odvodnění bude klíčovým faktorem řízení a plánování
- Cena za nicnedělání bude vysoká

cc BY NC SA

Děkuji za pozornost

Magisterský studijní program JADERNÁ ENERGETIKA vznikl za přispění

NPO_VUT_MSMT-16609_2022

CC BY NC SA

VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU

NÁRODNÍ PLÁN OBNOVY

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FAKULTA CHEMICKÁ

FAKULTA STAVEBNÍ

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Přednáška magisterského studijního programu JADERNÁ ENERGETIKA

Vzduchotechnika

Mikroklima vnitřních prostorů, tvorba vnitřního prostředí vzduchotechnikou, aplikace

Fakulta stavební

doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D., Ing. Olga Rubinová, Ph.D.

březen 2023

CC BY NC SA

Publikace k předmětu

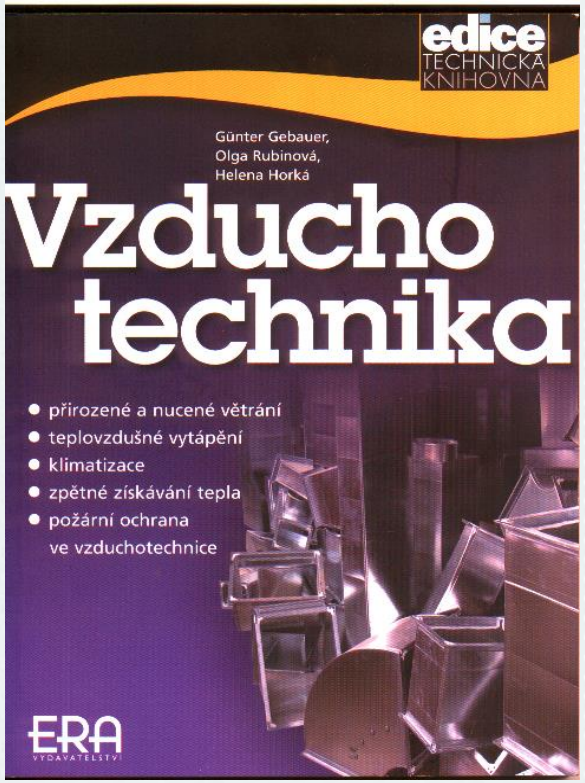
Rubina a kol. VUTIUM r. 2015
Tvorba prostředí budov vzduchotechnikou
ISBN: 978-80-214-5104-9

Rubina a kol. VUTIUM r. 2015
Klimatizační systémy
ISBN: 978-80-214-5405-6

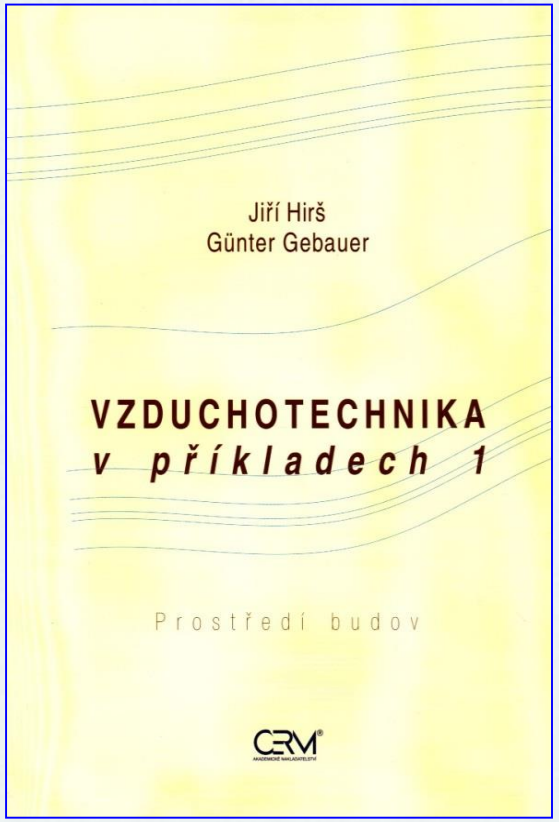
BY NC SA

Publikace k předmětu

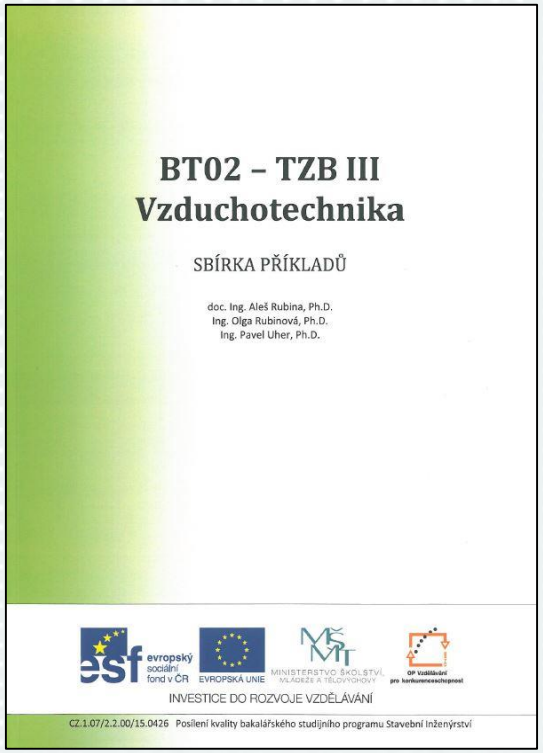
Gebauer, Rubinová, Horká:
Vzduchotechnika
ERA 2005



Hirš, Gebauer
Vzduchotechnika v příkladech 1



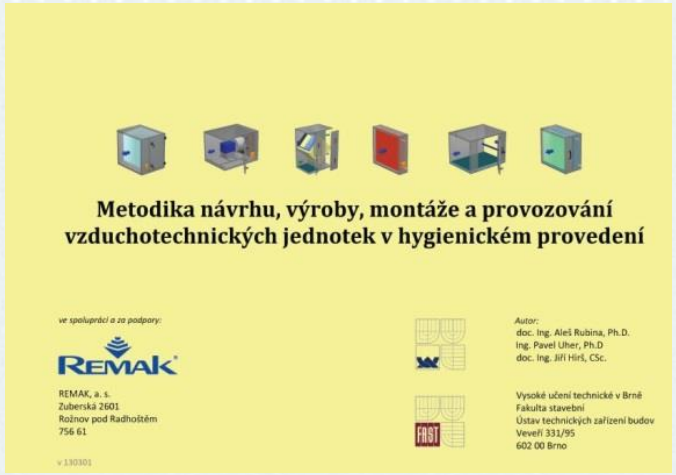
Rubina, Rubinová, Uher
BT02 Vzduchotechnika
Sbírka příkladů
ISBN 80-903586-6-7



BY NC SA

Další literatura / časopisy / internet

- knihy, skripta
- časopisy
- internet
- specializovaný software



TZB ve studijním programu Stavební inženýrství

Bakalářská práce dle zaměření

STUDIJNÍ PROGRAM → STUDIJNÍ OBOR → STUDIJNÍ ZAMĚŘENÍ → STUDIJNÍ SPECIALIZACE

- ZDRAVOTNÍ TECHNIKA
- VYTÁPĚNÍ
- VZDUCHOTECHNIKA

cc BY NC SA

Uplatnění v praxi

Projektant v oboru **vzduchotechnika**

Autorizace dle zákona č. 360

3 roky praxe **autorizovaný technik** (ÚT a VZT)

5 let praxe **autorizovaný inženýr TZB**

Samostatný projektant s možností podnikání v TZB

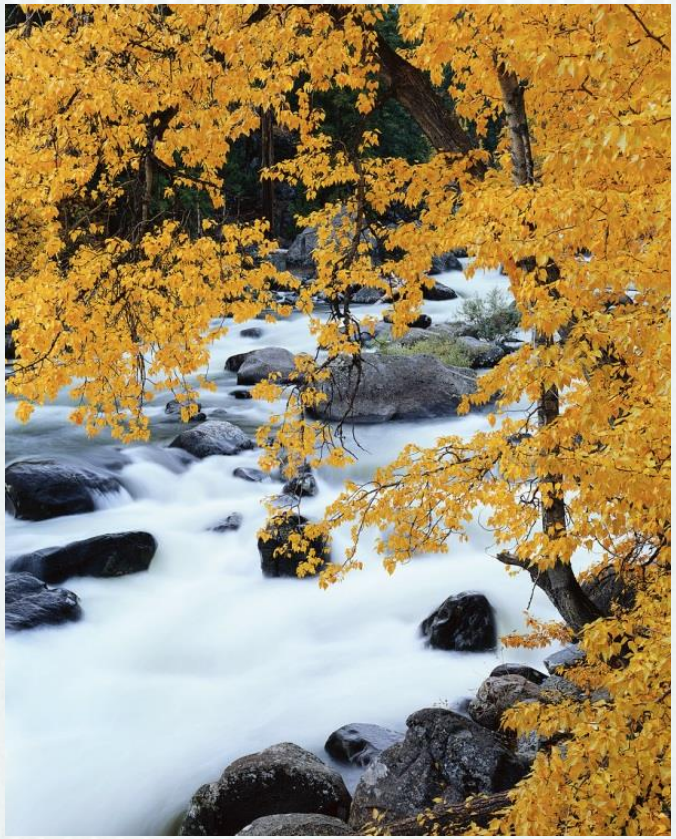
Podmínky stanoví zákon č. 360 – web - ČKAIT …..

Ve smyslu znění zákona č. 360/1992 Sb. o výkonu povolání autorizovaných architektů, inženýrů a techniků ve výstavbě je VZT součástí oboru ***Techniky prostředí staveb***.

cc BY NC SA

Životní prostředí člověka

1.Vnější



2. Vnitřní

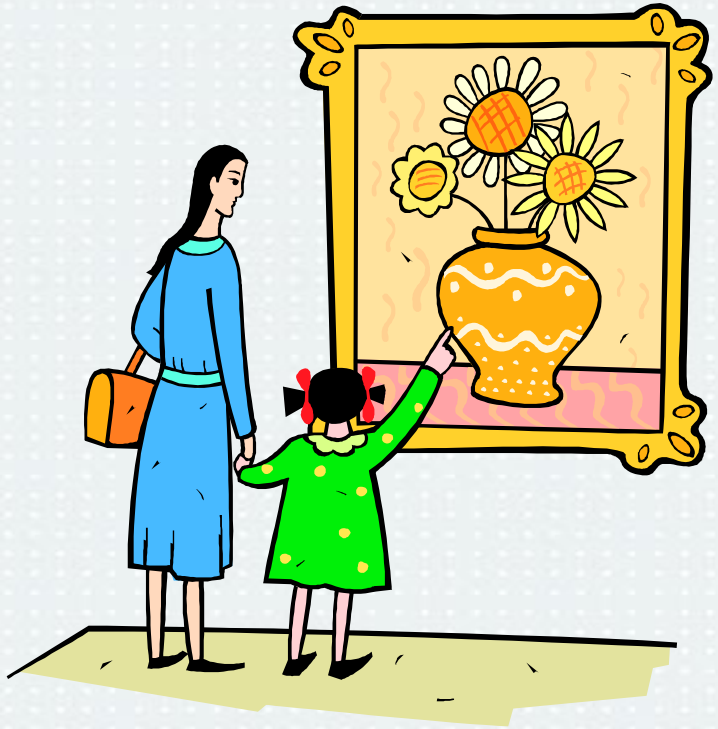
- pracovní
- obytné

BY NC SA

Životní prostředí člověka

Vnitřní prostředí – omezená část ŽP

Interní mikroklima = prostředí ve stavbách

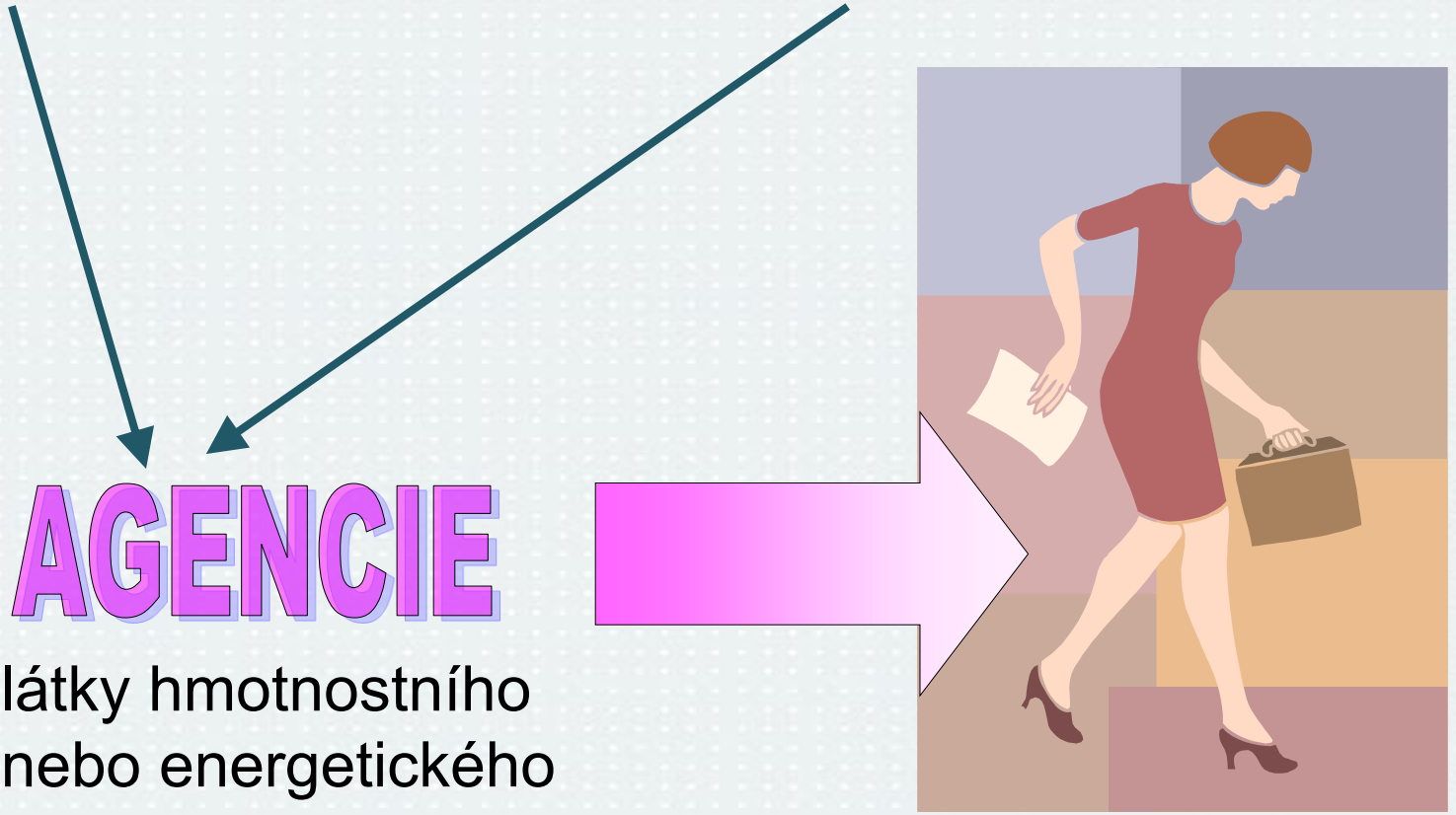


cc BY NC SA

Faktory utvářející vnitřní prostředí

Vnitřní prostředí je utvářeno toky hmoty a energie

Hmota (stavba, voda, vzduch) + **Energie** (světlo, teplo, zvuk)



látky hmotnostního nebo energetického charakteru působící na subjekt

cc BY NC SA

Faktory utvářející vnitřní prostředí

plynné látky
pevný aerosol
toxické plyny
mikroby
odéry

ODÉROVÉ
TOXICKÉ
MIKROBIÁLNÍ
AEROSOLOVÉ

KVALITA VZDUCHU

TEPELNĚ VLHKOSTNÍ

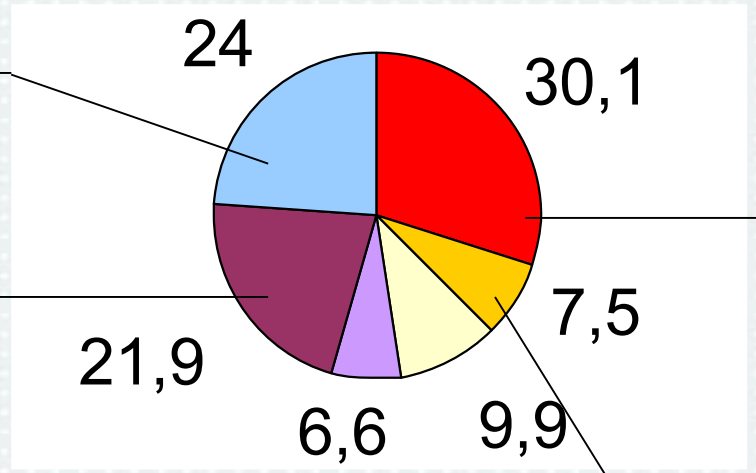
ELEKTROMAGNETICKÉ
ELEKTROSTATICKÉ
ELEKTROIONTOVÉ

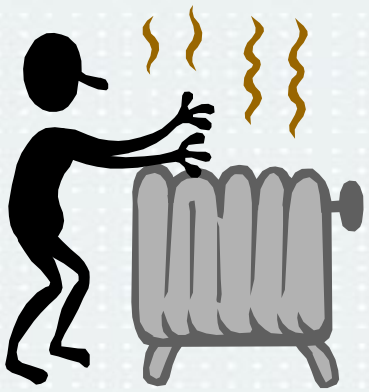
AKUSTICKÉ
SVĚTELNÉ
IONIZAČNÍ

BY NC SA

Význam jednotlivých složek prostředí (mikroklimatu)

SVĚTELNÉ





TEPELNĚ VLHKOSTNÍ

AKUSTICKÉ

ODÉROVÉ

BY NC SA

Tvorba vnitřního prostředí staveb

vnější faktory
klimatické podmínky
čistota venkovního vzduchu
hluk

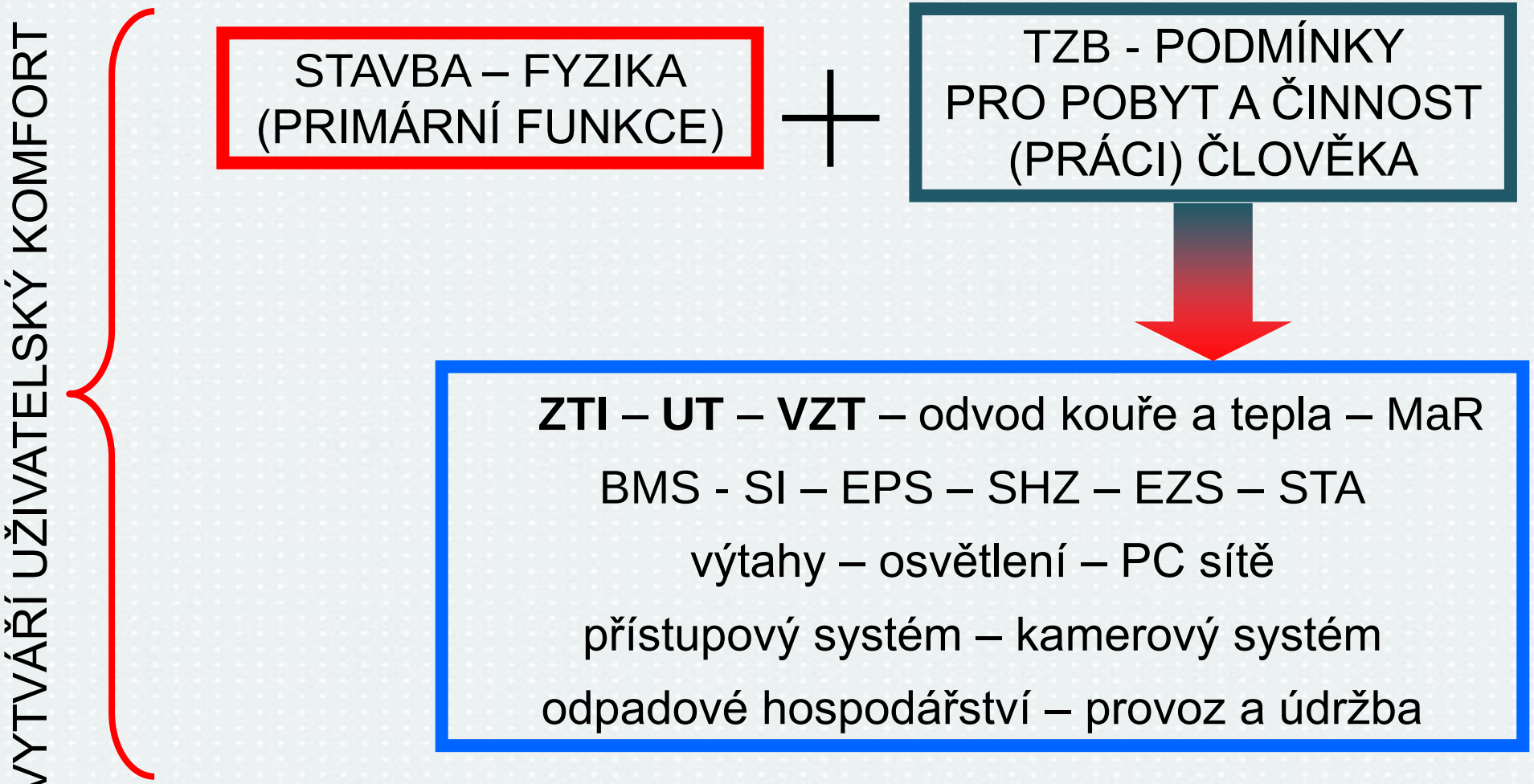
VĚTRÁNÍ
VYTÁPĚNÍ
KLIMATIZACE

stavební konstrukce

vnitřní faktory
člověk
technické vybavení budovy
provoz budovy

CC BY NC SA

Význam vzduchotechniky a její místo ve 21. století



BY NC SA

Význam vzduchotechniky a její místo ve 21. století

Nároky na vnitřní prostředí

tvorba interního mikroklimatu místností a budov s cílem formovat vnitřní prostředí pro optimální **pobyt a činnost jeho uživatelů**

zajištění prostředí pro **průběh technologických procesů** s případnou likvidaci doprovodných škodlivin

Technické prostředky k jeho tvorbě

cc BY NC SA

Požadavky na stavby a TZB v budovách

137/1998 Sb. VYHLÁŠKA Ministerstva pro místní rozvoj ze dne 9. června 1998 o obecných technických požadavcích na výstavbu

Stavba musí být navržena a provedena tak, aby byla při respektování hospodárnosti vhodná pro zamýšlené využití a aby současně splnila základní požadavky, kterými jsou:

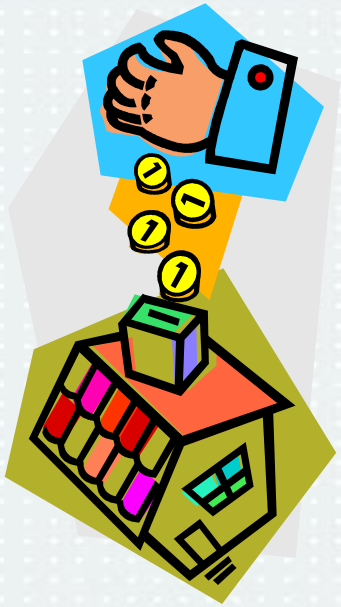
- mechanická odolnost a stabilita,
- požární bezpečnost,
- **ochrana zdraví, zdravých životních podmínek a životního prostředí,**
- ochrana proti hluku,
- bezpečnost při užívání,
- úspora energie a ochrana tepla.

BY NC SA

Vzduchotechnické zařízení

Provoz VZT se vyznačuje

- bezprostředním dopadem na stav vnitřního prostředí, příp. venkovní ovzduší (ekologie)
- investiční a zejména provozní náročností
- vysokými prostorovými nároky
- sociologickými faktory souvisejícími s provozem



cc BY NC SA

Vzduchotechnika kolem nás - příklady

Vzduchotechnické zařízení může být umístěno vně nebo uvnitř stavby.

cc BY NC SA

Vzduchotechnika kolem nás - příklady

Vzduchotechnika se vyznačuje vysokými prostorovými nároky.

BY NC SA

Vzduchotechnika kolem nás - příklady

Typické umístění VZT zařízení je ve strojovnách VZT.

cc BY NC SA

Vzduchotechnika kolem nás - příklady

Vzduchotechnika je funkční součástí budovy.

BY NC SA

Právní předpisy, vztahující se ke vzduchotechnice

- **Zákon č. 86/2002 Sb.** - o **ochraně ovzduší** a související předpisy (emisní, imisní limity)
- **Zákon č. 183/2006 Sb.** - **stavební zákon** a související předpisy (obecné technické požadavky na výstavbu, dokumentace staveb), **ve znění pozdějších předpisů**
- **Vyhláška č. 268/2009 Sb**. o technických požadavcích na stavby
- **Zákon č. 3/2020**, kterým se mění zákon č. **406/2000 Sb.,** o hospodaření energií (inspekce KLM), ve znění pozdějších předpisů
- **Zákon č. 17/1992 Sb.** o životním prostředí posuzování vlivu projektované stavby na životní prostředí
- **Zákon č. 258/2000 Sb.** - o **ochraně veřejného zdraví** mikroklimatické podmínky pro vnitřní prostředí staveb
- **Zákon č. 309/2006 Sb**. o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci
- **Zákon č. 262/2006 Sb.** - **Zákoník práce** mikroklimatické podmínky pracovního prostředí
- **NV č.272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, novela 217/2016 Sb., a novela 241/2018Sb.**

CC BY NC SA

Právní předpisy, vztahující se ke vzduchotechnice

Vyhláška č. 92/2012 Sb. o požadavcích na věcné a technické vybavení zdravotnických zařízení (aseptické prostředí, mikrobiální čistota)

Vyhláška č. 84/2008 Sb. o správné lékárenské praxi, bližších podmínkách a zacházení s léčivy v lékárnách, zdravotnických zařízeních a u dalších provozovatelů a zařízení vydávajících léky

Vyhláška 264/2020 Sb. o energetické náročnosti budov,

Vyhláška 193/2013 Sb. o kontrole klimatizačních systémů

NV č. 361/2007 Sb. - kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci **novel. NV č. 68/2010 Sb., 93/2012 Sb., 9/2013 Sb., 32/2016 Sb., 246/2018 Sb., 41/2020 Sb., 467/2020 Sb.** – reakce na Cov-19, biologičtí činitelé

Vyhláška č. 6/2003 Sb. ,kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb

Vyhláška č. 62/2013 Sb. ,kterou se mění vyhláška č. 499/2006 Sb. o dokumentaci staveb

CC BY NC SA

Normy, vztahující se ke vzduchotechnice

ČSN EN 1886 Větrání budov – Potrubní prvky – Mechanické vlastnosti, (**Červen 2008**)

ČSN EN 15780 Větrání budov – Vzduchovody - čistota vzduchotechnických zařízení (**květen 2012**)

ČSN EN 15727 Větrání budov – Výpočtové metody pro stanovení průtoku vzduchu v budovách včetně filtrace (**Prosinec 2007**)

ČSN EN 779 Filtry na odlučování částic pro všeobecné větrání - Stanovení filtračních parametrů (**Říjen 2012**)

ČSN EN 1822 Vysoce účinné filtry vzduchu HEPA a ULPA (**Duben 2010**)

ČSN 730540 Tepelná ochrana budov (díl 2 – **Říjen 2011**)

ČSN EN 13053+A1 Větrání budov – Vzduchotechnické manipulační jednotky – Hodnocení a provedení jednotek, prvků a částí (**Prosinec 2011**)

ČSN EN 15251 Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky (**Únor 2011**)

ČSN EN 13779 Větrání *nebytových* budov – Základní požadavky na větrací a klimatizační systémy (**Červenec 2010**)

cc BY NC SA

Hygienické předpisy v ČR

PRACOVNÍ PROSTŘEDÍ

Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci - **novel. NV č. 93/2012 Sb.** a následná změna 9/2013, platná od 1.2.2013, změna 32/2016, platná od r. 2016 a změna 467/2020 Sb. platná od r. 2020.

OBČANSKÉ STAVBY

Vyhláška č. 6/2003 Sb.

Hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí některých staveb – mikroklimatické parametry a limity znečištění vnitřního vzduchu.

CC BY NC SA

POZOR!

Nejdůležitější zákon ?

zákon č. 134/2016 Sb., o zadávaní veřejných zakázek....

v novele č. 309/2019 Sb. a 277/2019 Sb.(platnost od 1.1.2022)

KVALITA
FUNKČNOST
TRVANLIVOST
BEZPEČNOST
ÚSPORNÝ PROVOZ …

cc BY NC SA

Hygienické předpisy v ČR

Třída práce	M [W.m^{-2}]	Operativní teplota t_o [°C]			v_a [m.s^{-1}]	Rh [%]
		$t_{o\ min}$	$t_{o\ opt}$	$t_{o\ max}$		
I	≤ 80	20	22 ± 2	28	0,1 až 0,2	30 až 70
IIa	81 až 105	18	20 ± 2	27	0,1 až 0,2	
IIb	106 až 130	14	16 ± 2	26	0,2 až 0,3	
IIIa	131 až 160	10^{+}	12 ± 2	26^{+}	0,2 až 0,3	
IIIb	161 až 200	10^{++}	12 ± 2	26^{++}	0,2 až 0,3	

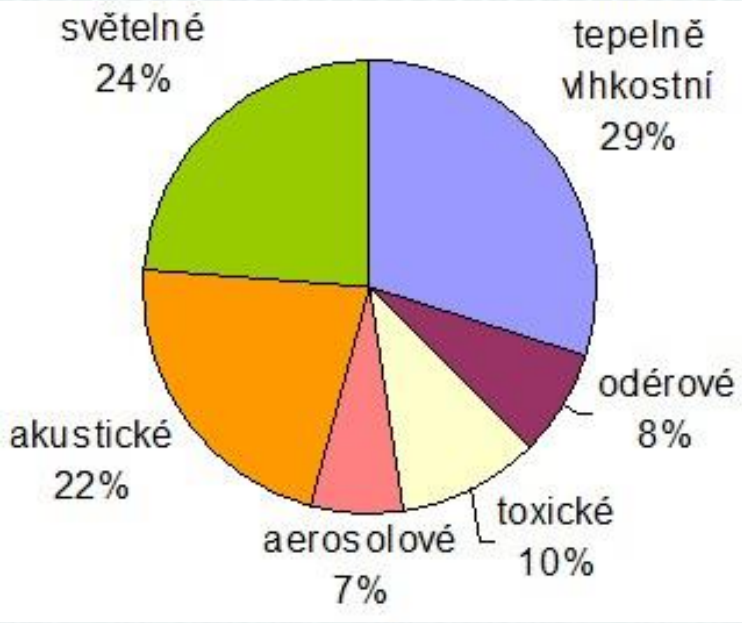
Celoročně a celosměnově přípustné mikroklimatické podmínky pro jednovrstvý až třívrstvý oděv, tj. tepelný odpor oděvu R = 0,5 až 1 clo a relativní vlhkost vzduchu 30-70 % podle
NV č. 361/2007 Sb. ve znění pozdějších předpisů… 93/2012 Sb.

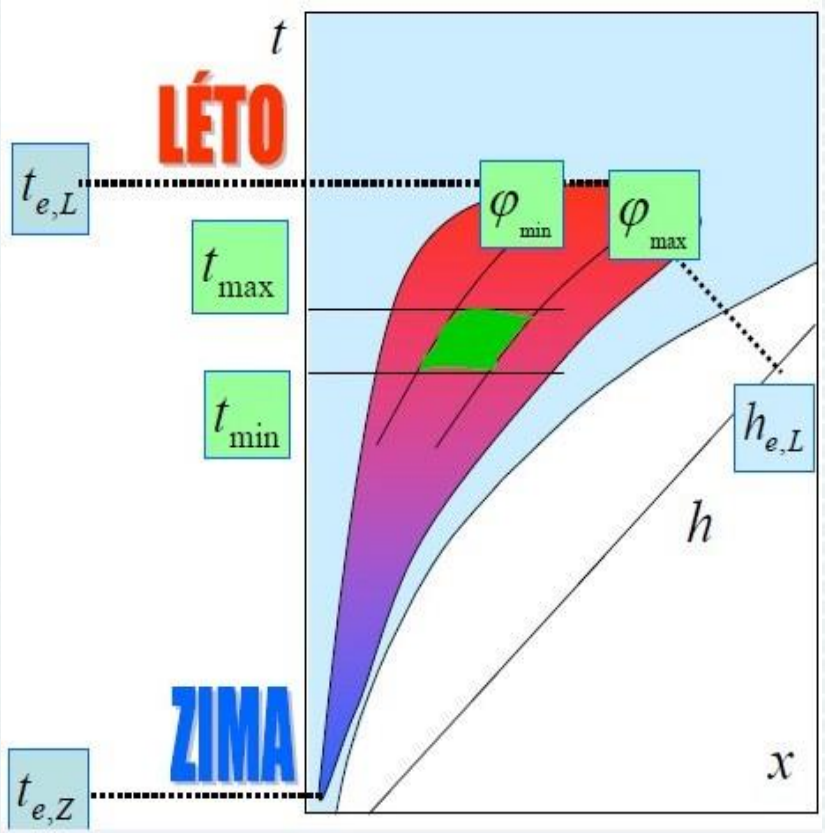
cc BY NC SA

Optimální mikroklima? Fyziologie a metabolismus člověka

Optimální mikroklima – SZÚ / VUT FAST:

operativní teplota vzduchu	**22 – 26 °C**
relativní vlhkost vzduchu	**kolem 40 % (30 až 65 %)**
rychlost proudění vzduchu	**do 0,1 m/s**
teplé období roku	0,16 – 0,25 m.s-1
chladné období roku	0,13 – 0,20 m.s-1





VZDUCHOTECHNIKA

cc BY NC SA

Vyhláška o technických požadavcích na stavby 268/2009 Sb.

§3 Definice pojmů

§23 **Pobytové místnosti** musí mít zajištěno **přímé nebo nucené větrání** a musí být dostatečně vytápěny s možností regulace tepla.

§28 Budovy s požadovaným stavem vnitřního prostředí musí být navrženy a provedeny tak, aby byly zaručeny požadavky na:

a) **tepelnou pohodu uživatelů**,

b) požadované tepelně technické vlastnosti konstrukcí,

c) stav vnitřního prostředí pro technologické činnost,

d) **nízkou energetickou náročnost při provozu stavby**.

Tepelně technické vlastnosti budov jsou dány normovými hodnotami.

§48 Vzduchotechnické zařízení musí zajistit takové parametry vnitřního ovzduší větraných prostorů, aby vyhovělo hygienickým a technologickým požadavkům. Jeho provoz musí být bezpečný, **hospodárný**, nesmí ohrožovat životní prostředí a zdraví a musí splňovat požadavky na nejvýše přípustné hodnoty hluku a vibrací.

CC BY NC SA

Technické normy ve VZT - ČSN tř. 73, 06

- ČSN EN 13xx Zkoušení požární odolnosti …
- ČSN EN ISO 12569
  Tepelné vlastnosti budov - Stanovení výměny vzduchu v budovách - Metoda změny koncentrace indikačního plynu
- ČSN 73 0548 Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů
- ČSN 73 0872 Požární bezpečnost staveb. Ochrana staveb proti šíření požáru vzduchotechnickým zařízením
- ČSN 73 6058:2011 Jednotlivé, řadové a hromadné garáže
- ČSN 73 0540 1 až 3 - Tepelná ochrana staveb
- ČSN EN 12831Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu
- ČSN EN 15251 Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky

cc BY NC SA

Technické normy ve VZT
ČSN tř. 00, 12, 14

- **ČSN 01 3454** Technické výkresy - Instalace - Vzduchotechnika, klimatizace
- **ČSN EN 12792** Větrání budov - Značky, terminologie a grafické značky.
- ČSN EN tř. 12,13,14 - potrubí (celkem 10 norem), zkoušení výkonu …

NOVÉ RESPEKTIVE UPRAVENÉ

- **ČSN EN ISO 14644-1** až 8 Čisté prostory a příslušné řízené prostředí
- **ČSN EN 13779** Větrání nebytových budov - Základní požadavky na větrací a klimatizační zařízení
- **ČSN EN ISO 7730** Mírné tepelné prostředí – Stanovení ukazatelů PMV a PPD a popis podmínek tepelné pohody

cc BY NC SA

Normy, vztahující se ke vzduchotechnice - aktualizace

ČSN EN 1886 Větrání budov – Potrubní prvky – Mechanické vlastnosti, (**Červen 2008**)

ČSN EN 15780 Větrání budov – Vzduchovody - čistota vzduchotechnických zařízení (**květen 2012**)

ČSN EN 15727 Větrání budov – Výpočtové metody pro stanovení průtoku vzduchu v budovách včetně filtrace (**Prosinec 2007**)

ČSN EN 16890 Vzduchové filtry pro všeobecné větrání, část 1 – technické specifikace a klasifikační metody založené na odlučování částic (ePM)

ČSN EN 1822 Vysoce účinné filtry vzduchu HEPA a ULPA (**Duben 2010**)

ČSN 730540 Tepelná ochrana budov (díl 2 – **Říjen 2011**)

ČSN EN 13053+A1 Větrání budov – Vzduchotechnické manipulační jednotky – Hodnocení a provedení jednotek, prvků a částí (**Prosinec 2011**)

ČSN EN 15251 Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky (**Únor 2011**)

ČSN EN 13779 Větrání *nebytových* budov – Základní požadavky na větrací a klimatizační systémy (**Červenec 2010**)

a další…

CC BY NC SA

ČSN EN 12792 větrání budov
výběr z obsahu

- termíny: názvy typu vzduchu
- dávky vzduchu na osobu, výpočet průtoku podle koncentrace škodlivin
- vnitřní prostředí (pobytová zóna, návrhové teploty, rychlosti proudění)
- hladiny hluku
- podklady pro výpočet tepelné zátěže: člověk, osvětlení
- popis procesu od projektu do provozu

PŘÍLOHY

- **umístění otvorů pro sání a výfuk vzduchu**
- **použití vzduchových filtrů**
- recyklace tepla
- **použití oběhového vzduchu**
- izolace potrubí
- vzduchotěsnost budovy
- tlakové poměry v budově s VZT
- požadavkové větrání - automatické řízení provozu
- prostorové nároky VZT zařízení
- ekonomické aspekty

cc BY NC SA

Technické normy ve VZT - praktické aplikace

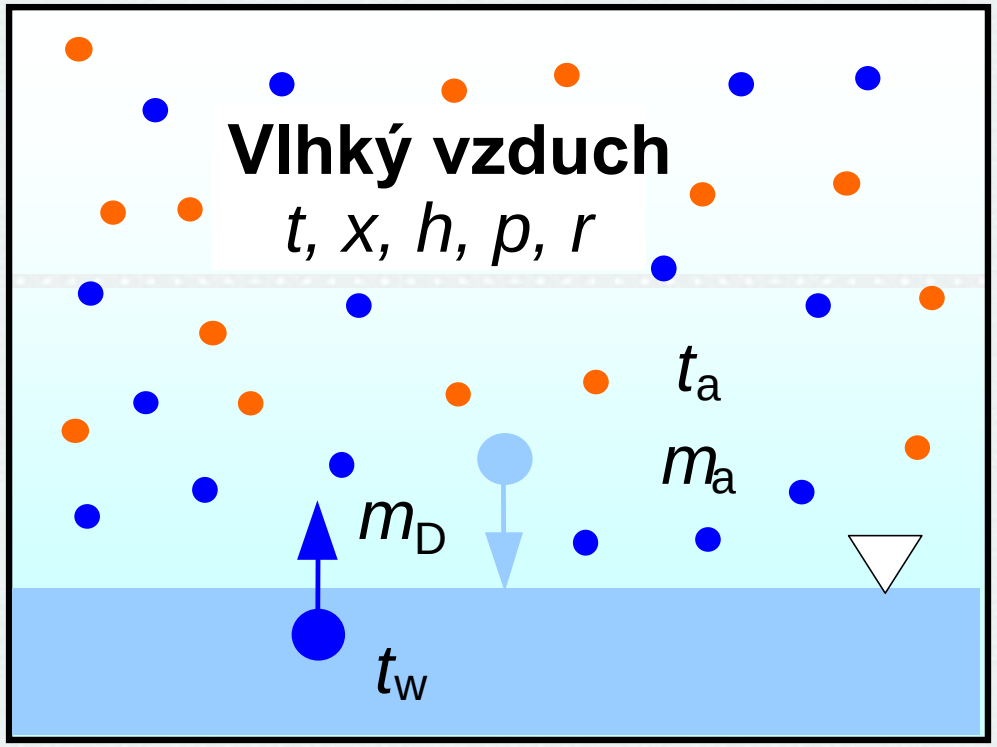
norma = nezávazný předpis

norma = kvalifikované doporučení

norma = odlišné parametry od zákonných předpisů

cc BY NC SA

Vlhký vzduch



- molekula vzduchu
- molekula vody

m_D – hmotnostní tok vodní páry

m_a – hmotnostní tok suchého vzduchu

Stavové veličiny

t – teplota x – vodní obsah

p – tlak h – entalpie

r – plynová konstanta

Složky = suchý vzduch a vodní pára (mlha, jinovatka)

Suchý vzduch = směs plynů

Atmosférický vzduch = směs plynů, pevného a kapalného aerosolu (příměsi – prach apod.)

BY NC SA

Veličiny vlhkého vzduchu

$a[kg/m^3]$

Absolutní vlhkost vzduchu *a, ρV*

Hmotnost vodní páry v objemu *1 m3*. Jednotky jsou *kg/m³* a dá se proto také hovořit o *hustotě vodní páry* ρ_V

$\varphi[\%]$

Relativní vlhkost *φ*

Udává míru nasycení vzduchu. *φ = 100 %* znamená nasycený vzduch; *pV = pV''*.

$$\varphi = \frac{p}{p_V''} \cdot \frac{x}{(0,622 + x)}$$

$p[Pa]$

Parciální tlak par *pV*

Tlak, odpovídající příslušné absolutní vlhkosti (viz stavová rovnice). Parciální tlak par není závislý na teplotě (při konstantním tlaku).

$$\ln p_V'' = 23,58 - \frac{4044,2}{235,6 + t}$$

$p''[Pa]$

Parciální tlak syté páry *p''*

Parciální tlak syté páry *p''V* je závislý pouze na teplotě, pro t (0-80°C) :

cc BY NC SA

Veličiny vlhkého vzduchu

$x[g/kg]$

Měrná vlhkost vzduchu x

Udává hmotnost vodní páry v kg, připadající na 1 kg suchého vzduchu [kg/kgA]. Vzhledem k nízkým řádům se spíše používají jednotky [g/kgA]. Spolu s relativní vlhkostí je toto určení vlhkosti vzduchu ve vzduchotechnice nejběžnější.

$$x = 0,622 \frac{p_v}{p - p_v} \Rightarrow p_v = p \frac{x}{0,622 + x}$$

$t_r[°C]$

Teplota rosného bodu t_r

Teplota, při které je vzduch nasycen. Při dalším ochlazování začíná vodní pára kondenzovat.

$$p_v = p_v'' - A \cdot p \cdot (t_A - t_{WB})$$

$t_m[°C]$

Teplota mokrého teploměru t_m

Je to taková teplota vody, při níž je teplo potřebné k vypařování vody do vzduchu odebíráno přestupem tepla konvekcí z okolního vzduchu (při izobarickém ději). Je také označována jako mezní teplota adiabatického chlazení.

cc BY NC SA

Veličiny vlhkého vzduchu

$\rho\left[kg/m^3\right]$ **Hustota vlhkého vzduchu ρ**

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{M_A + M_V}{V} = \frac{M_A}{V} + \frac{M_V}{V} = \rho_A + \rho_V = \frac{p_A}{r_A \cdot T} + \frac{p_V}{r_V \cdot T} = \frac{p - \varphi \cdot p_V''}{r_A \cdot T} + \frac{\varphi \cdot p_V''}{r_V \cdot T} =$$

$$\frac{1}{T} \cdot \left(\frac{p}{r_A} - \frac{\varphi \cdot p_V''}{r_A} + \frac{\varphi \cdot p_V''}{r_D} \right) = \frac{1}{T} \cdot \left[\frac{p}{r_A} + \varphi \cdot p_V'' \left(\frac{1}{r_V} - \frac{1}{r_A} \right) \right] = \frac{1{,}316 \cdot 10^{-3}}{T} \cdot \left(2{,}65 \cdot p + \varphi \cdot p_V'' \right)$$

cc BY NC SA

Veličiny vlhkého vzduchu

Entalpie vlhkého vzduchu *h*

$h[kJ/kg]$

Entalpie je fyzikální veličina, která vyjadřuje tepelnou energii uloženou v jednotkovém množství látky

$$h = h_v + x.h_p = l + c_v.t \cong 1010.t + (2500 + 1{,}84.t)x$$

SUCHÝ VZDUCH

VODNÍ PÁRA

l…. výparné teplo vody při 0°C (kJ/kg)

Cv.. Měrná tep.kapacita vzduchu (kJ/kgK)

cc BY NC SA

Psychrometrický (Molierův) diagram

Základní osy

(vyneseny pod úhlem 135°)

entalpie h [kJ/kgA]

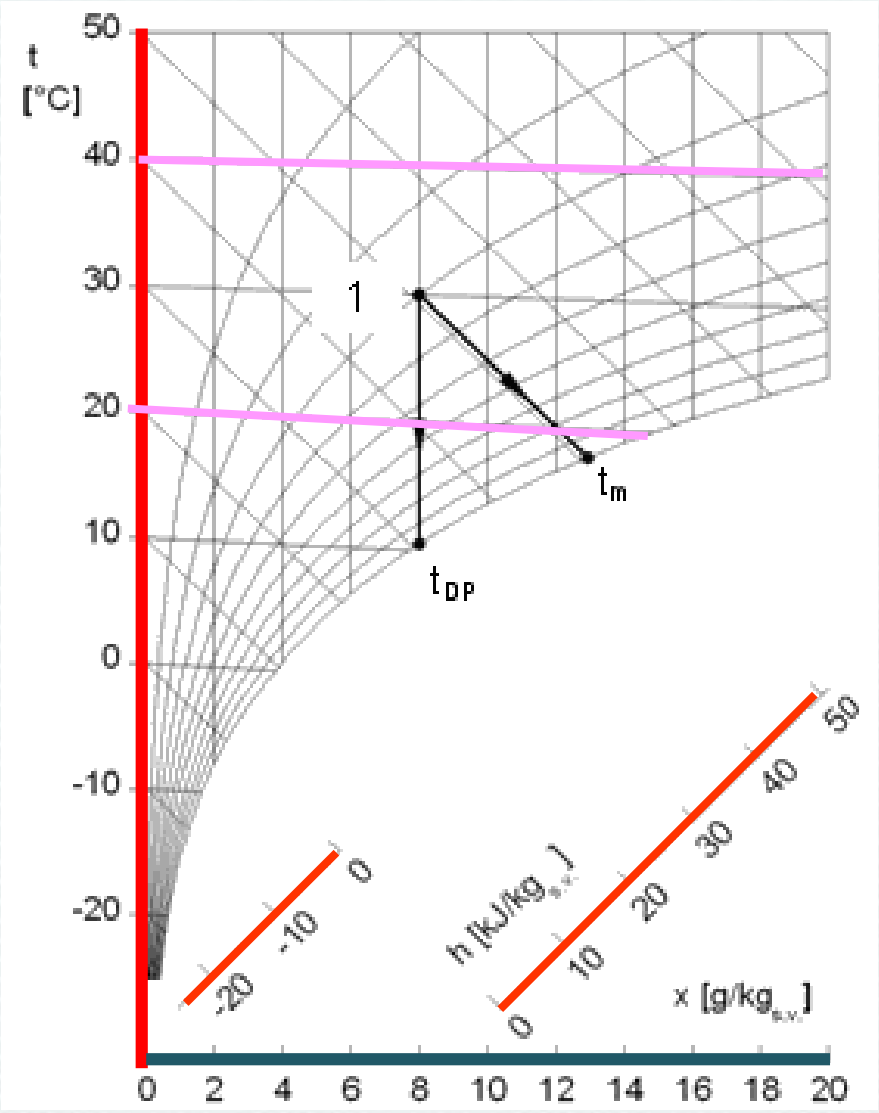
měrná vlhkost x [g/kg]

další osy se dopočítávají:

teplota **t [°C]**

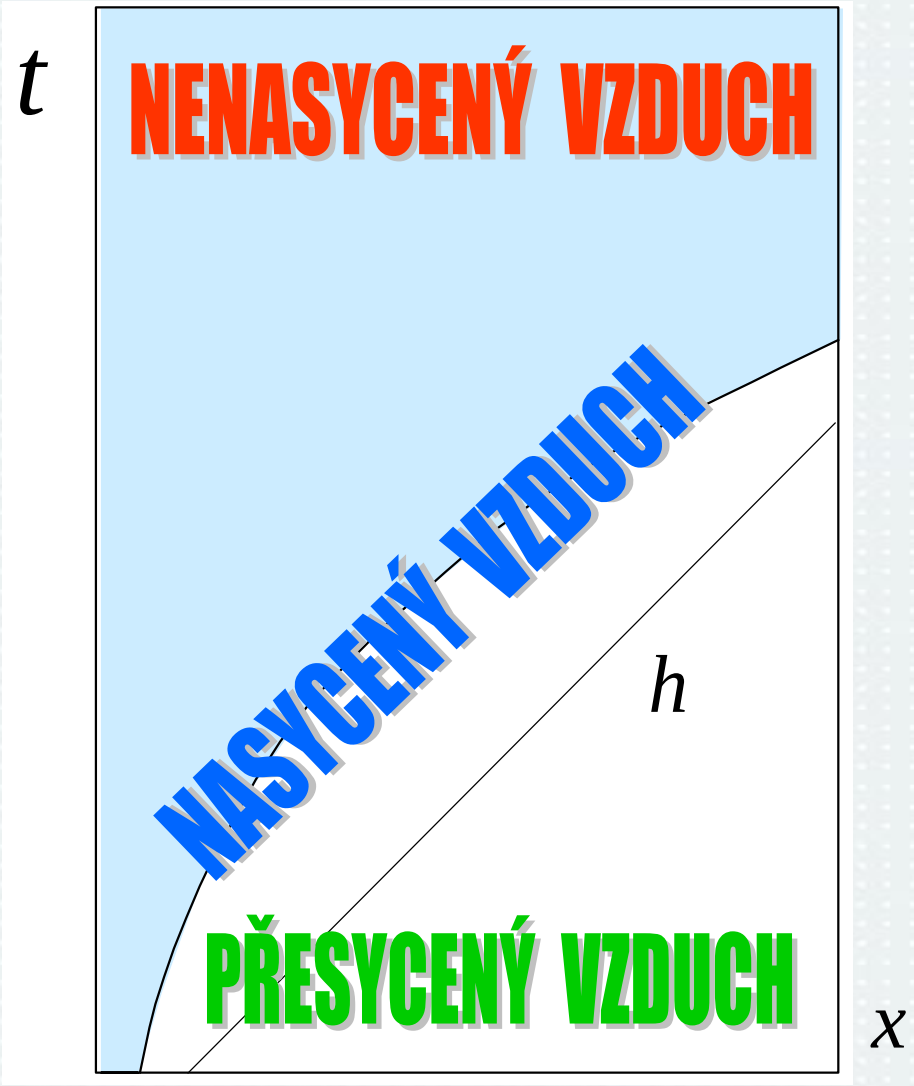
relativní vlhkost φ [-]

hustota vlhkého vzduchu [kg/m³]



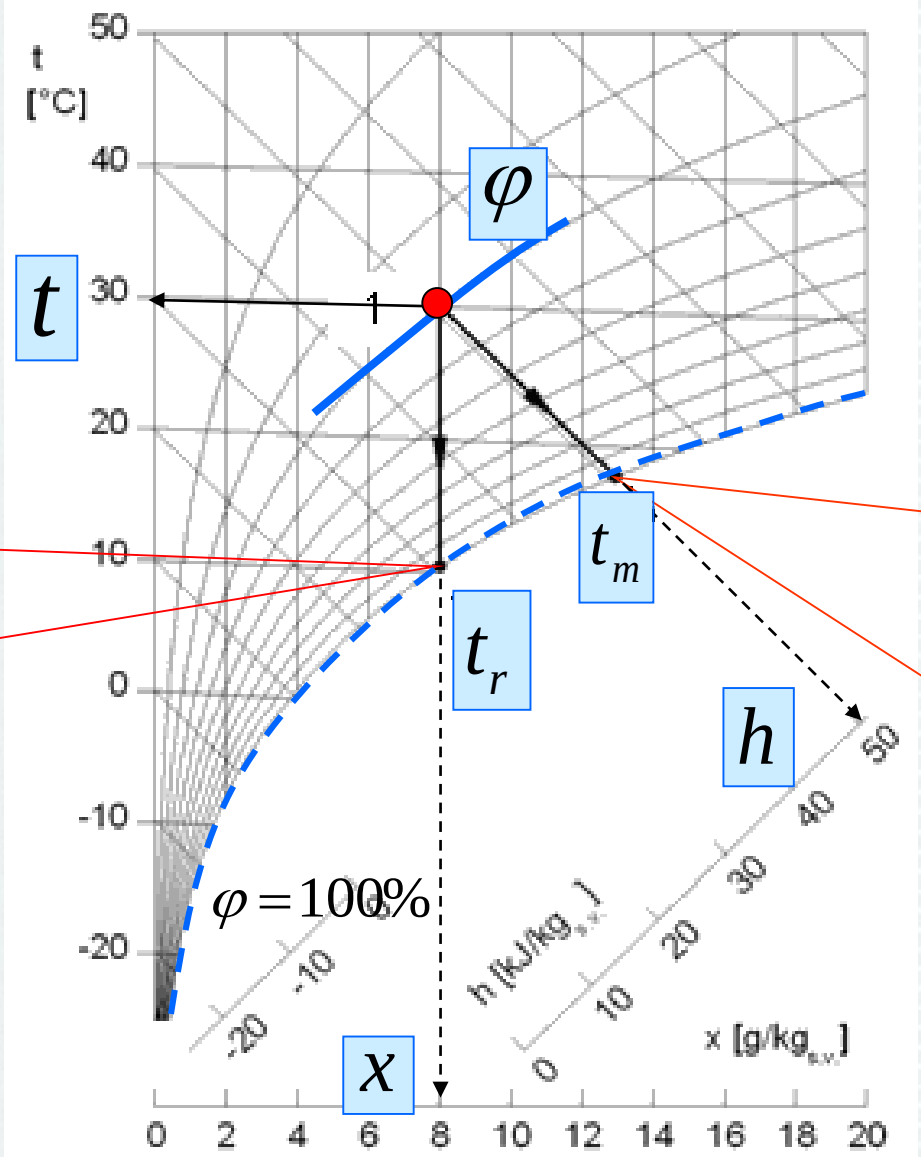
BY NC SA

H-x diagram – oblasti vlhkého vzduchu



BY NC SA

Rosný bod a teplota mokrého teploměru



Teplota rosného bodu
Teplota, při které je vzduch nasycen. Při dalším ochlazování začíná vodní pára kondenzovat

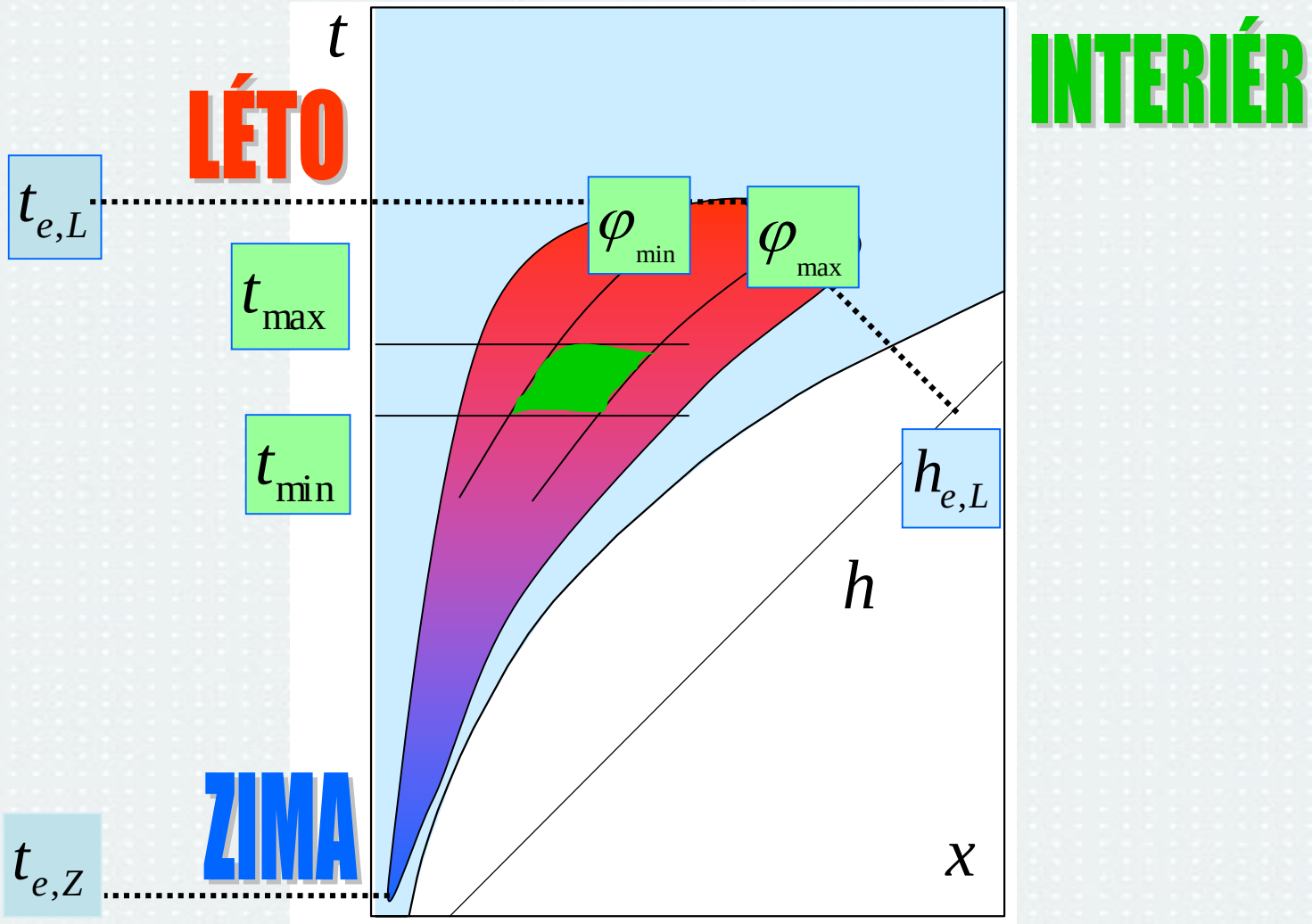
Teplota mokrého teploměru t_m
Je to taková teplota vody, při níž je teplo potřebné k vypařování vody do vzduchu odebíráno přestupem tepla konvekcí z okolního vzduchu (při izobarickém ději). Je také označována jako mezní teplota adiabatického chlazení.

$$p_v = p''_v - A.p.(t_A - t_m)$$

A … psychrometrická konstanta

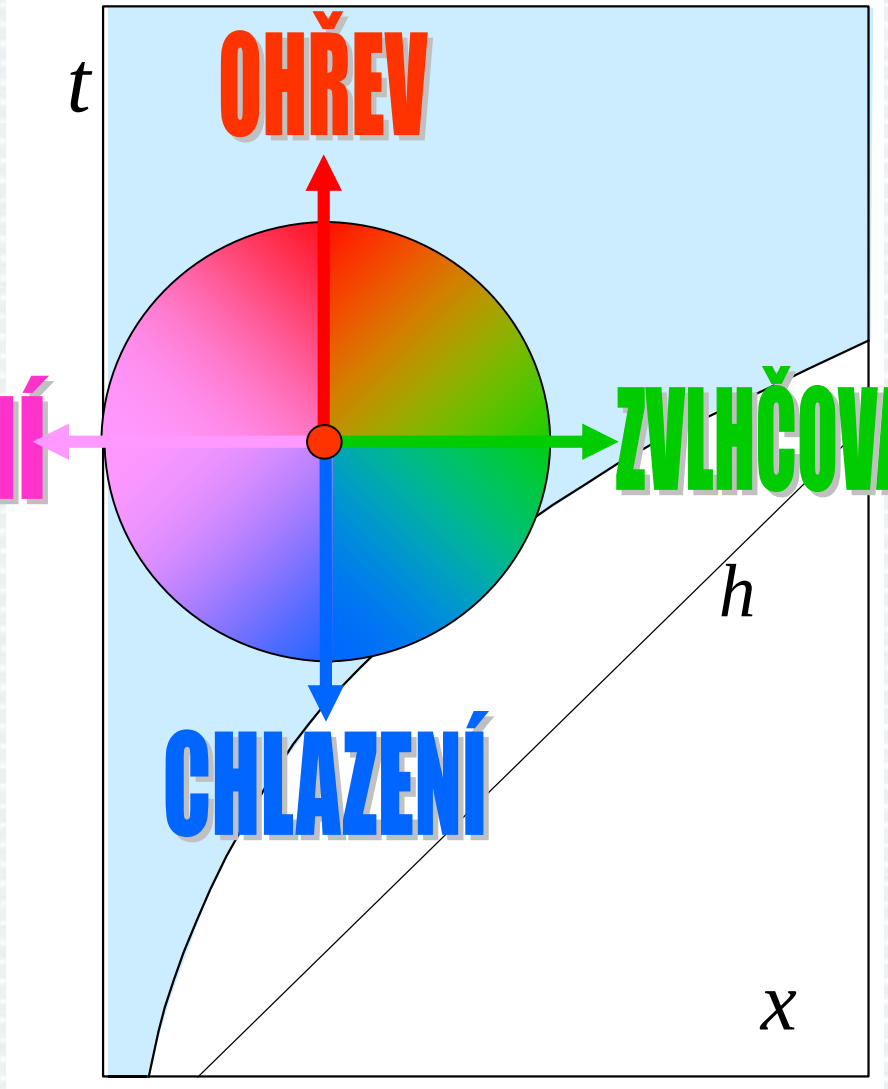
cc BY NC SA

H-x diagram - teplotní oblast interiéru a exteriéru



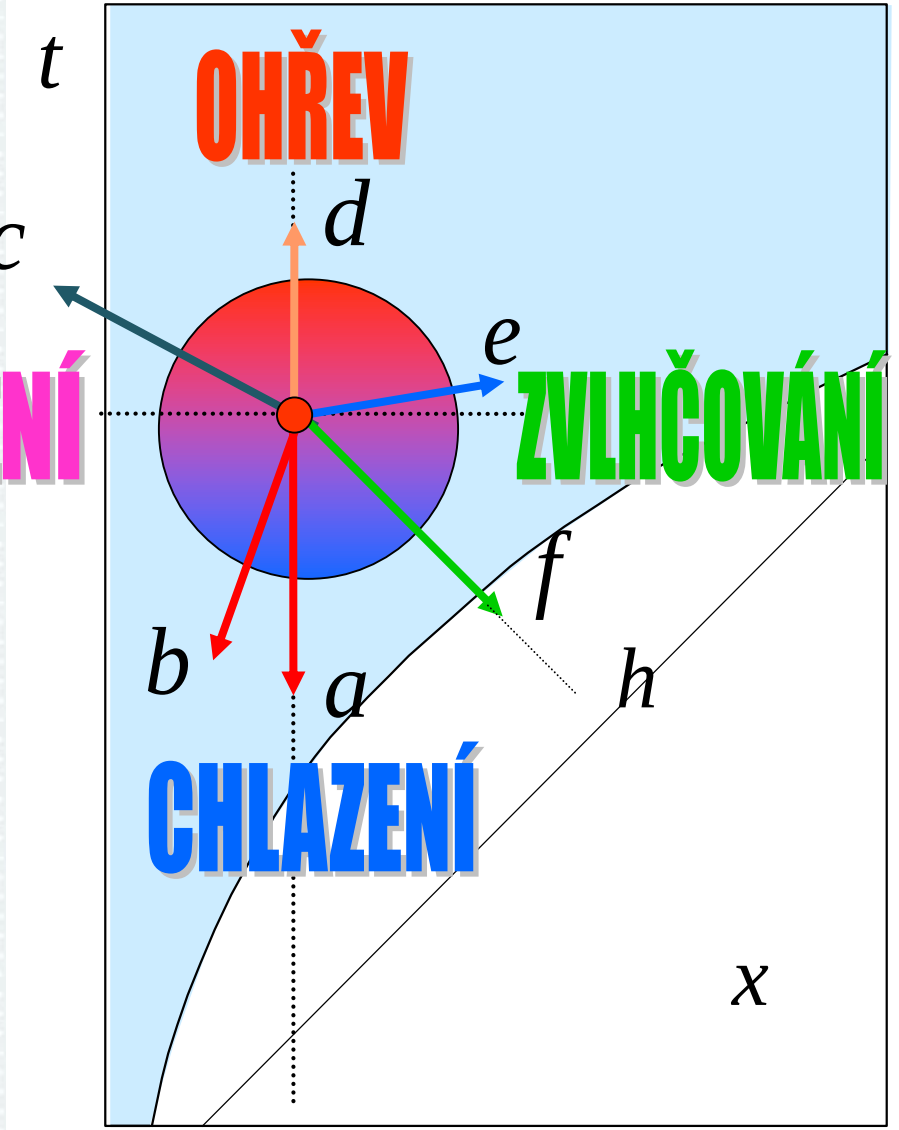
cc BY NC SA

H-x diagram - základní úpravy vzduchu



cc BY NC SA

H-x diagram - základní úpravy vzduchu



a – suché chlazení

b - chlazení s odvlhčováním, tzv. chlazení mokré

c – sušení vzduchu se zvýšením teploty

d - ohřev vzduchu

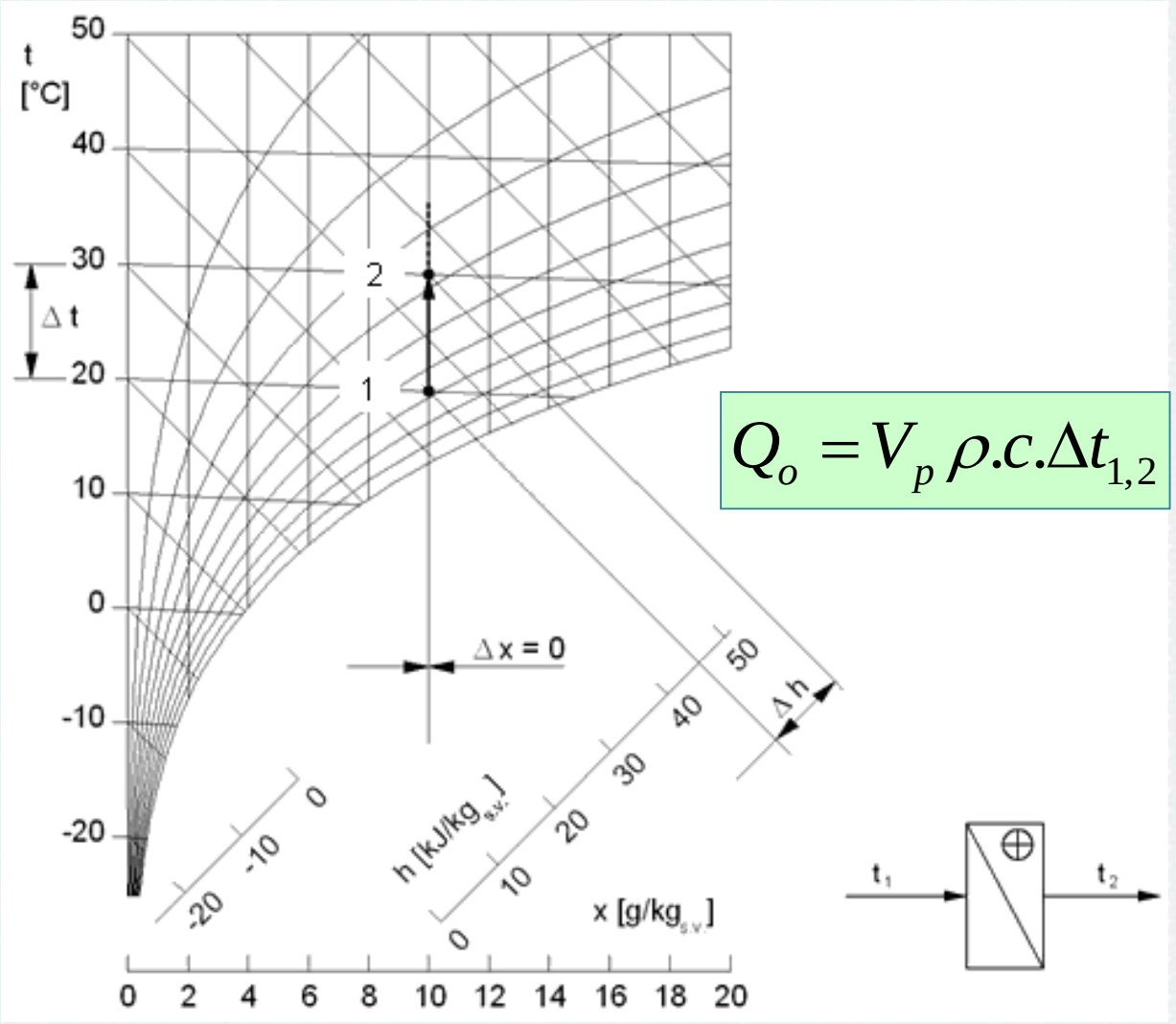
e - parní vlhčení

f - adiabatické vlhčení (chlazení) vodou s teplotou t_m

Vlhčení a ohřev obecného směru v závislosti na teplotě vody se nazývají polytropické.

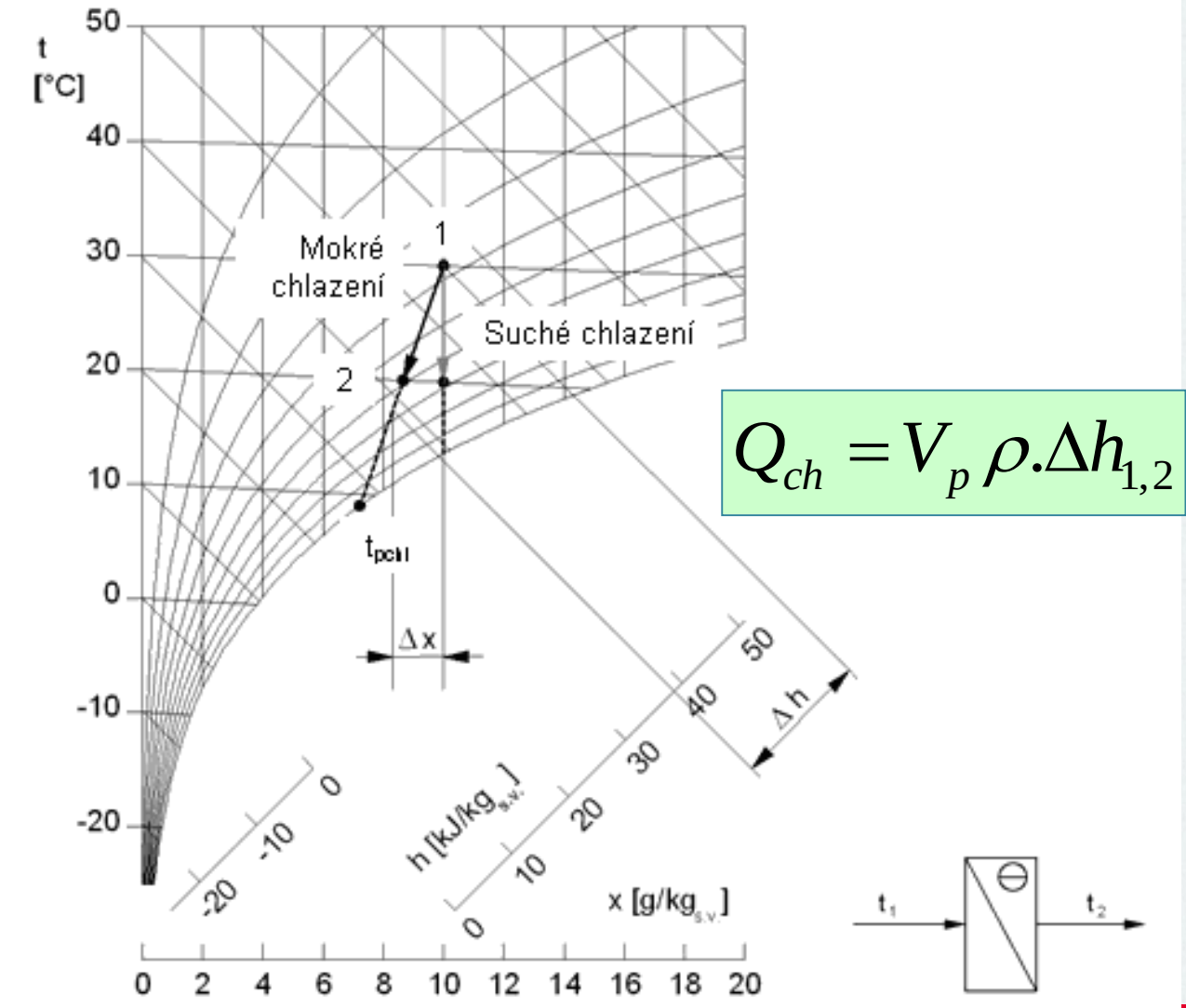
BY NC SA

H-x diagram - základní úpravy vzduchu
OHŘEV



$$Q_o = V_p \, \rho . c . \Delta t_{1,2}$$

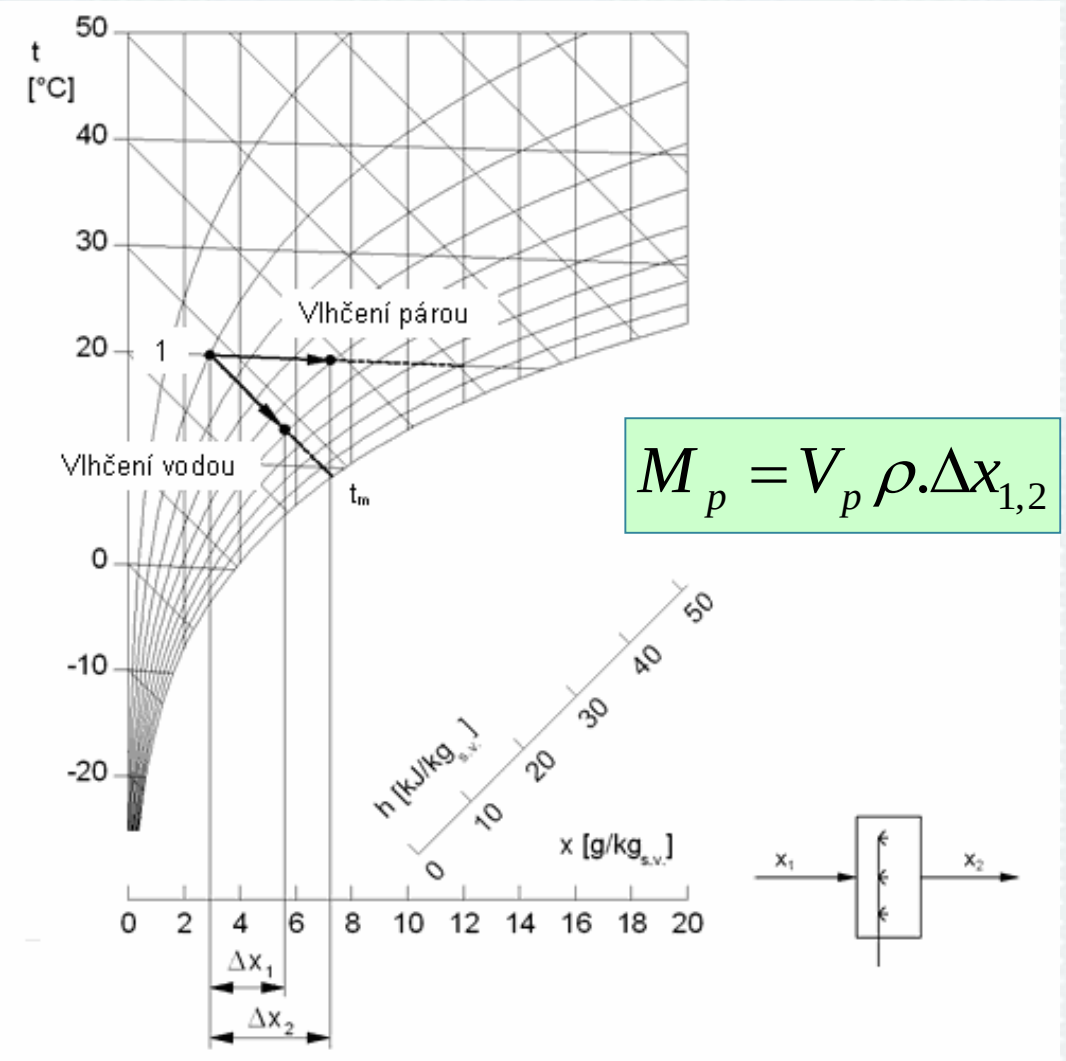
H-x diagram - základní úpravy vzduchu
CHLAZENÍ



$$Q_{ch} = V_p \rho . \Delta h_{1,2}$$

cc BY NC SA

H-x diagram - základní úpravy vzduchu
VLHČENÍ

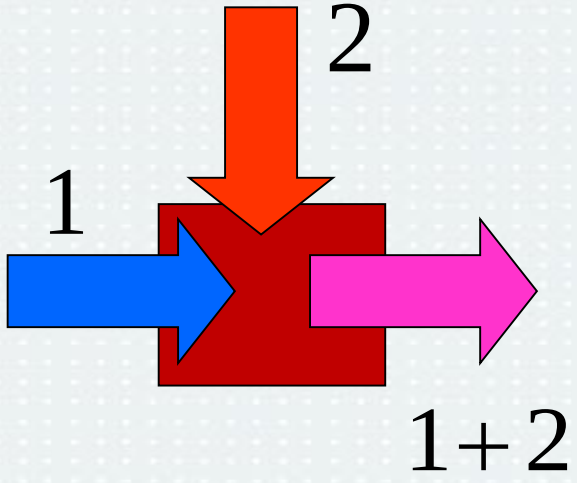


$$M_p = V_p \rho . \Delta x_{1,2}$$

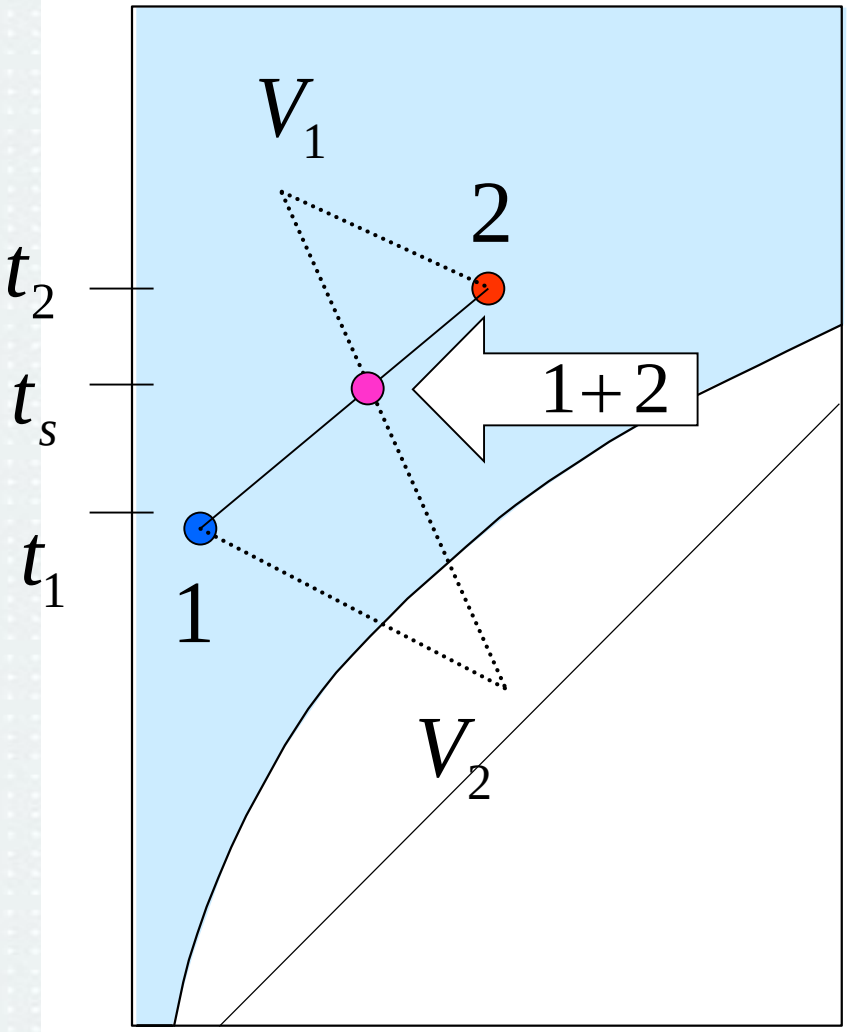
BY NC SA

H-x diagram - základní úpravy vzduchu
SMĚŠOVÁNÍ

$$t_1.V_1 + t_2.V_2 = t_s.(V_1 + V_2)$$

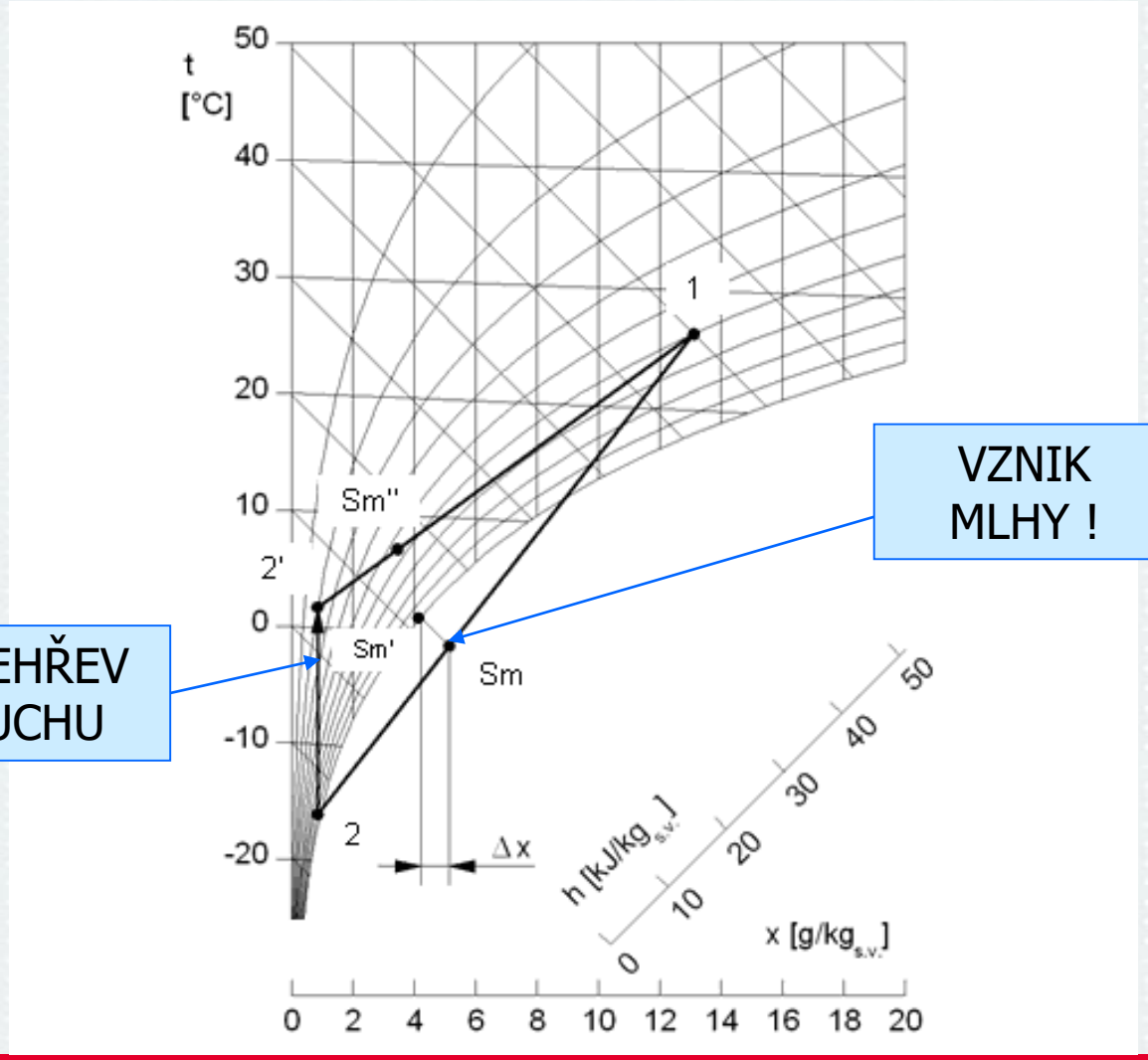


SMĚŠOVACÍ KOMORA



cc BY NC SA

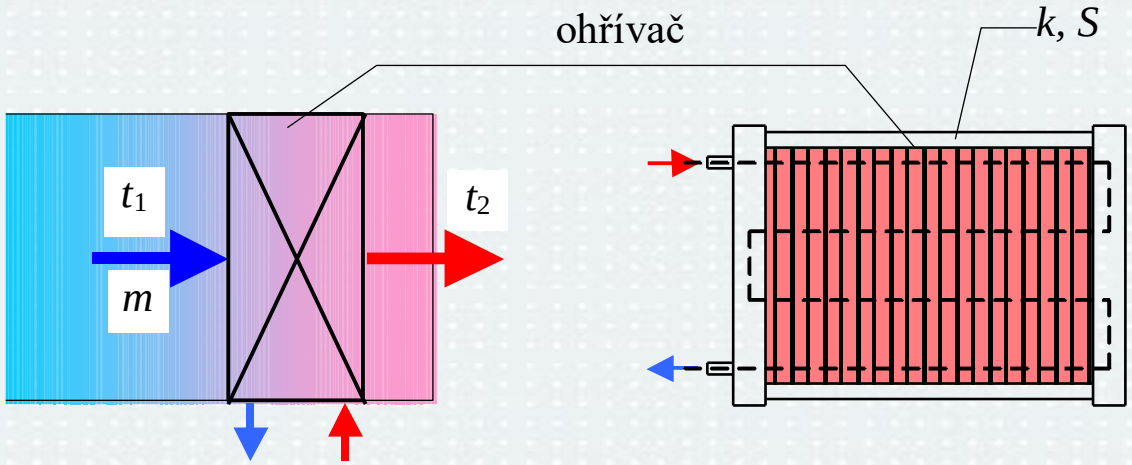
H-x diagram - základní úpravy vzduchu
SMĚŠOVÁNÍ

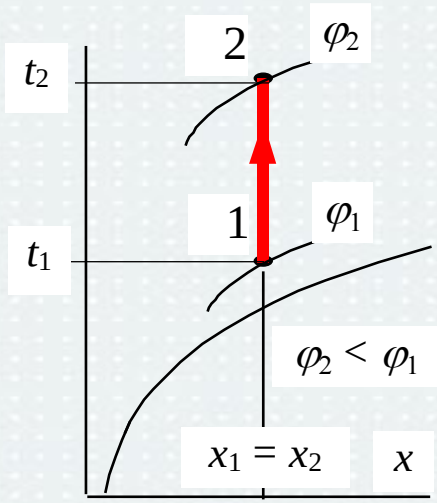


BY NC SA

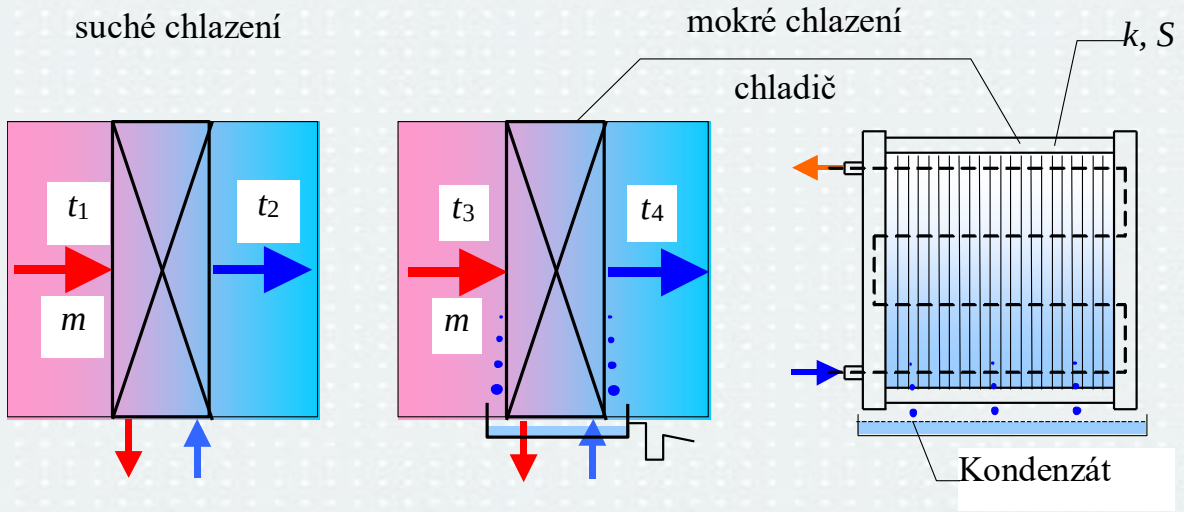
H-x diagram - ohřívač a chladič

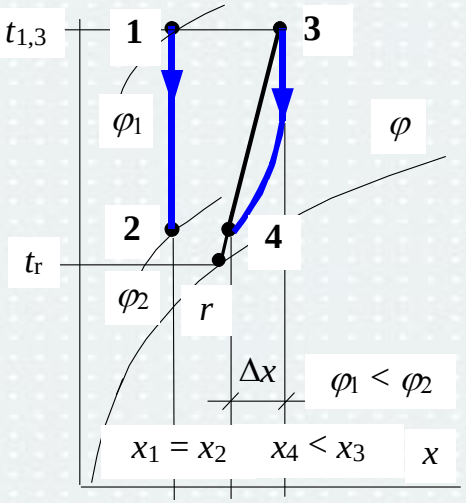
OHŘEV





CHLAZENÍ





cc BY NC SA

Stanovení průtoku vzduchu pro větrání

KONCENTRACE ŠKODLIVIN

$$V = \frac{M_s}{k_i - k_e}$$

v interiéru se nachází výrazný zdroj agencie (látky, energie), jejíž obsah ve vzduchu je nutno regulovat

DÁVKY VZDUCHU

$$V = x.D$$

ukazatelem znečištění vzduchu je člověk

(nebo jiný známý zdroj)

VÝMĚNA VZDUCHU

$$V = O.n$$

místnost má charakteristický provoz

zásadní je obraz proudění a provětrání

prostor je obsazen proměnlivě

cc BY NC SA

Stanovení průtoku vzduchu pro větrání

KONCENTRACE ŠKODLIVIN

při významné expozici škodlivinám vznikajících při užívání budov, při různých technologických procesech a v přírodě.

$$V = \frac{M_s}{k_i - k_e}$$

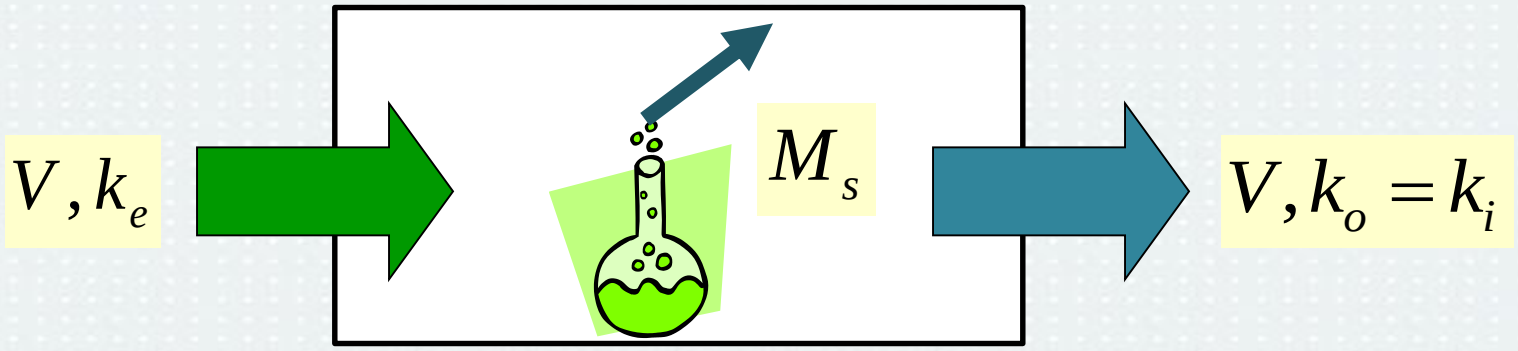
V – objemový průtok přiváděného vnějšího a odváděného vzduchu (m^3s^{-1})

k_e, k_i – koncentrace škodlivin přiváděného vnějšího a vnitřního (odváděného) vzduchu ($mg.m^{-3}$)

M_s – hmotnostní tok škodlivin ($kg.s^{-1}$)

O … objem místnosti (m^3)

Základní agencie v obytných a občanských budovách mající charakter škodliviny jsou oxid uhličitý CO_2, odéry, prach, oxid siřičitý $S0_2$, oxid uhelnatý CO, oxidy dusíku NO_x a formaldehyd.



cc BY NC SA

Stanovení průtoku vzduchu pro větrání - pracovní prostředí

361/2007 Sb. NAŘÍZENÍ VLÁDY, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci

PEL Přípustné expoziční limity jsou celosměnové časově vážené průměry koncentrací plynů, par nebo aerosolů v pracovním ovzduší, jimž mohou být podle současného stavu znalostí vystaveni zaměstnanci při osmihodinové pracovní době, aniž by u nich došlo i při celoživotní pracovní expozici k poškození zdraví, k ohrožení jejich pracovní schopnosti a výkonnosti.

NPK Nejvyšší přípustné koncentrace chemických látek v pracovním ovzduší jsou koncentrace látek, kterým nesmí být zaměstnanec v žádném časovém úseku pracovní směny vystaven (max. doba průměru 10 min.)

cc BY NC SA

Stanovení průtoku vzduchu pro větrání

ODVOD
TEPELNÉ ZÁTĚŽE

$$V = \frac{Q}{\rho.c.\Delta t} = \frac{Q}{1300.\Delta t}$$

Pro prostory nenáročné na teploty; kotelny, výměníkové stanice, elektrorozvodny, sklady

Q … tepelná zátěž (W)

Δt … pracovní rozdíl teplot (K, °C)

venkovní teplota cca 30°C

BY NC SA

Stanovení průtoku vzduchu pro větrání

ODVOD
VODNÍ PÁRY

$$V = \frac{M}{\rho.\Delta x}$$

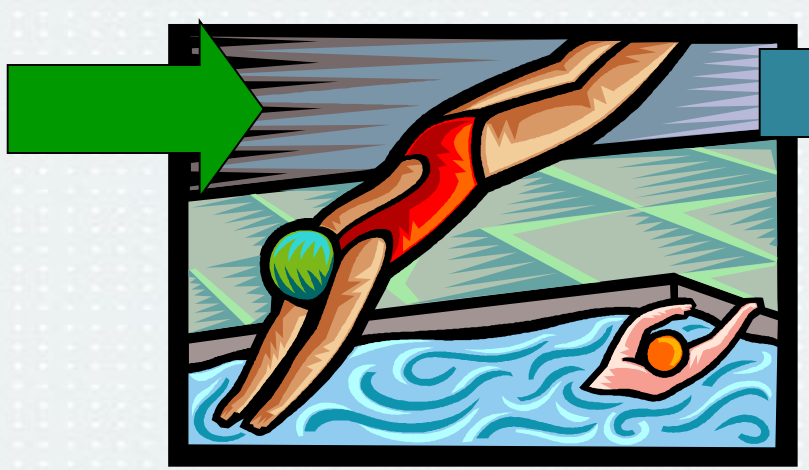
Pro bazény, vodoléčby, kuchyně, obecně prostory s vývinem vodní páry

M … vlhkostní zátěž (g/h)

Δx … pracovní rozdíl měrných vlhkostí (g/kg)

venkovní vlhkost v létě cca 10 g/kg

V, x_p



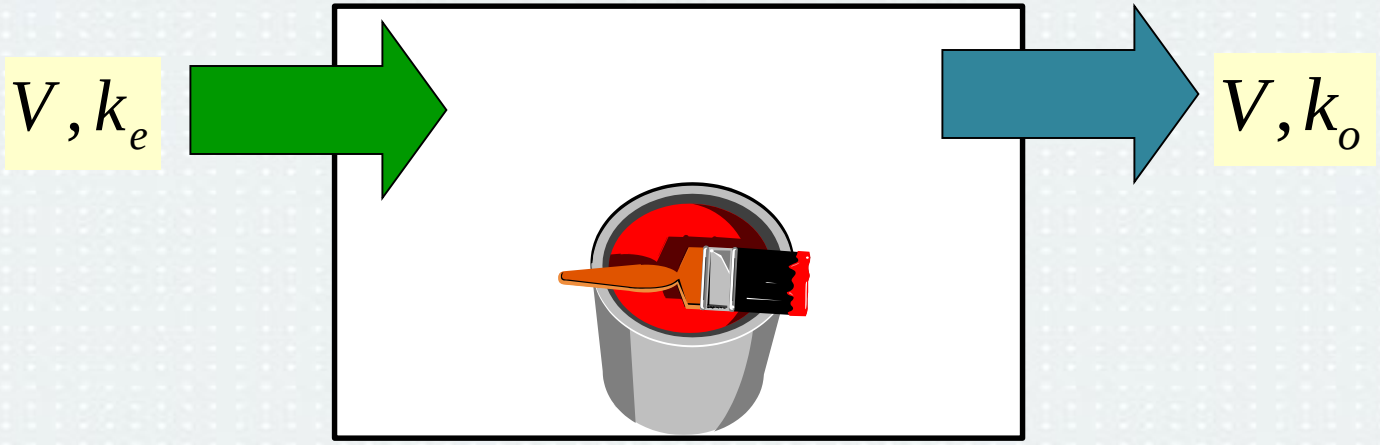
V, x_o

cc BY NC SA

Stanovení průtoku vzduchu pro větrání

KONCENTRACE ŠKODLIVIN

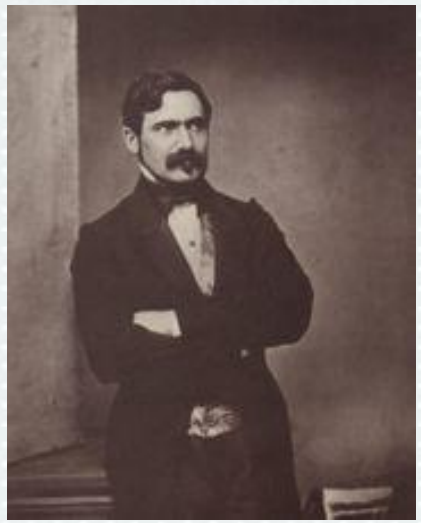
V prostorech, kde se vyskytují hořlavé látky **nebezpečné výbuchem**, nesmí koncentrace těchto látek ve vzduchu překročit dolní mez výbušnosti (nejnižší koncentraci, při které za vzniku zápalné teploty, může dojít k výbuchu). Z důvodů bezpečnosti jsou limitní hodnoty koncentrací výbušných látek stanovovány v rozmezí 10 až 20 % koncentrace dolní meze výbušnosti).



BY NC SA

Stanovení průtoku vzduchu pro větrání

DÁVKA VZDUCHU



Max Josef von Pettenkofer (1818-1901) německý chemik a lékař.

Výchozím podkladem při stanovení dávky čerstvého vzduchu pro osoby v prostoru větraném venkovním vzduchem je podmínka, kterou stanovil Max von Pettenkofer v roce 1877: koncentrace oxidu uhličitého ve vnitřním vzduchu nemá překročit **0,1 % obj**. (Pettenkoferovo číslo). Odpovídající dávka venkovního vzduchu pro osoby nevykonávající fyzickou činnost je cca **25-34 m3/h.os**.

cc BY NC SA

Stanovení průtoku vzduchu pro větrání

DÁVKA VZDUCHU

Vyhláška č.6/2003 Sb.

umyvadlo	30 m^3/h.ks
sprcha	35 - 110 m^3/h.ks
WC pisoár	50 m^3/h.ks 25 m^3/h.ks

Vyhláška č. 410/2005 Sb.

žáci ve školách	20 - 30 m^3/h.os
šatní místo	20 - 25 m^3/h.os
sprcha	150 - 200 m^3/h.os

Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., novela 93/2012 Sb.

Třída práce I, IIa **bez zdrojů znečištění**	25 m^3/h.os
Třída práce I, IIa	50 m^3/h.os
Třída práce IIb, IIIa	70 m^3/h.os
Třída práce IV, V	90 m^3/h.os

cc BY NC SA

Stanovení průtoku vzduchu pro větrání

VÝMĚNA VZDUCHU

přirozeně větrané obytné místnosti	< 1,5
obytné místnosti	0,5 - 2
kino	3
kanceláře	2 - 4
tělocvičny, bazény	2 - 4
chodby	2 - 3
restaurace	6
obchody	5 - 8
jídelny	8
bary s kouřením	10 - 15
kuchyně	15 - 20 (25)
operační sály aj. čisté prostory	20 - 30

jedná se o obvykle doporučované hodnoty

cc BY NC SA

Koncentrace chemických látek a prachu

	Imisní limit	Vyhl.č.6	Faktor přepočtu na ppm	PEL	1/3 PEL	NPK-K
	µg.m-3	µg.m-3		µg.m-3		
Amoniak		200	1,438	14 000	4 500	36 000
Benzen	5	7	0,313	3 000	1	10
Benzo(a)pyren	1-2 ng/m3		0,097	5	2	25
etylbenzen		200	0,230	200 000	67 000	500 000
Oxid siřičitý	350/125		0,382	5 000	1 670	10 000
Formaldehyd		60	0,814	500	167	1000
Olovo	0,5		x	50	17	200
Nikotin				500	167	2 500
ozón	120	100	0,509	100	30	200
Oxid uhličitý			0,556	9 000 mg/m3	3 000 (1 670 ppm)	45 000 mg/m3
oxid dusičitý	200/40	100	0,532	10 000	3 340	20 000
toluen	30-160	300	0,266	200 000	67 000	500 000
Oxid uhelnatý	10 000	5 000	0,873	30 000	10 000	150 000
styren		40	0,235	100 000	3 400	400 000
frakce prachu PM10	50/40	150	x	10 000	3 400	

cc BY NC SA

Prach - aerosol

PM 10 Vdechovatelná frakce prachu = soubor částic polétavého prachu, které mohou být vdechnuty nosem nebo ústy.

PM 2,5 Respirabilní frakcí se rozumí hmotnostní frakce vdechnutých částic, které pronikají do té části dýchacích cest, kde není řasinkový epitel, a do plicních sklípků.

BY NC SA

Základní členění

1 TLAKOVÉ POMĚRY

rovnotlaké větrací zařízení utváří tlakové poměry mezi jednotlivými místnostmi

PŘETLAKOVÉ | PODTLAKOVÉ | ROVNOTLAKÉ

Ventilační nebo kombinovaný provoz

2 DISTRIBUCE VZDUCHU

CELKOVÉ | MÍSTNÍ

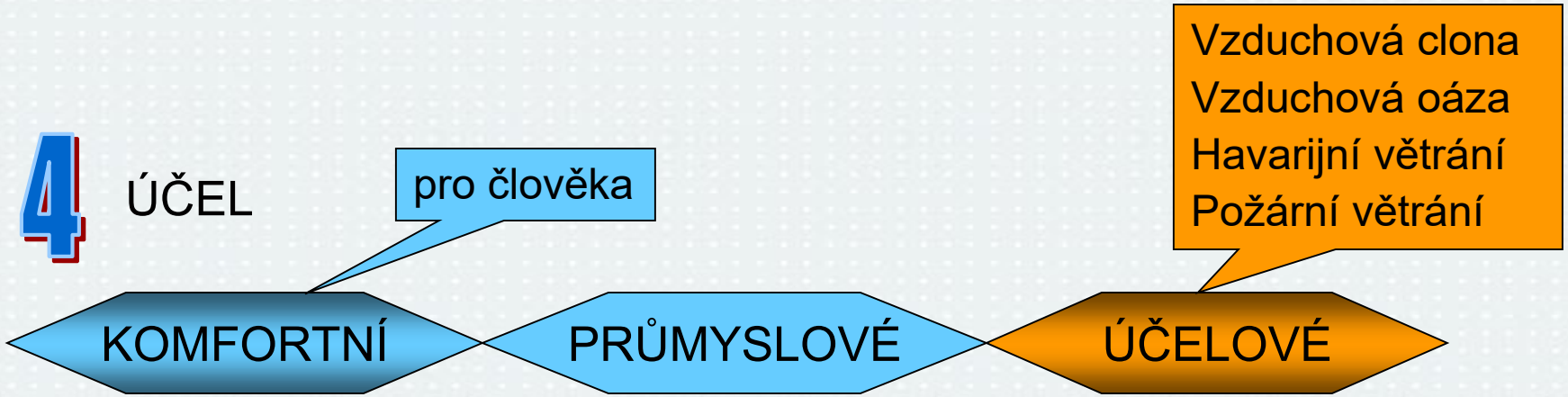
cc BY NC SA

Základní členění

3 UMÍSTĚNÍ (vzhledem k obsluhované místnosti)

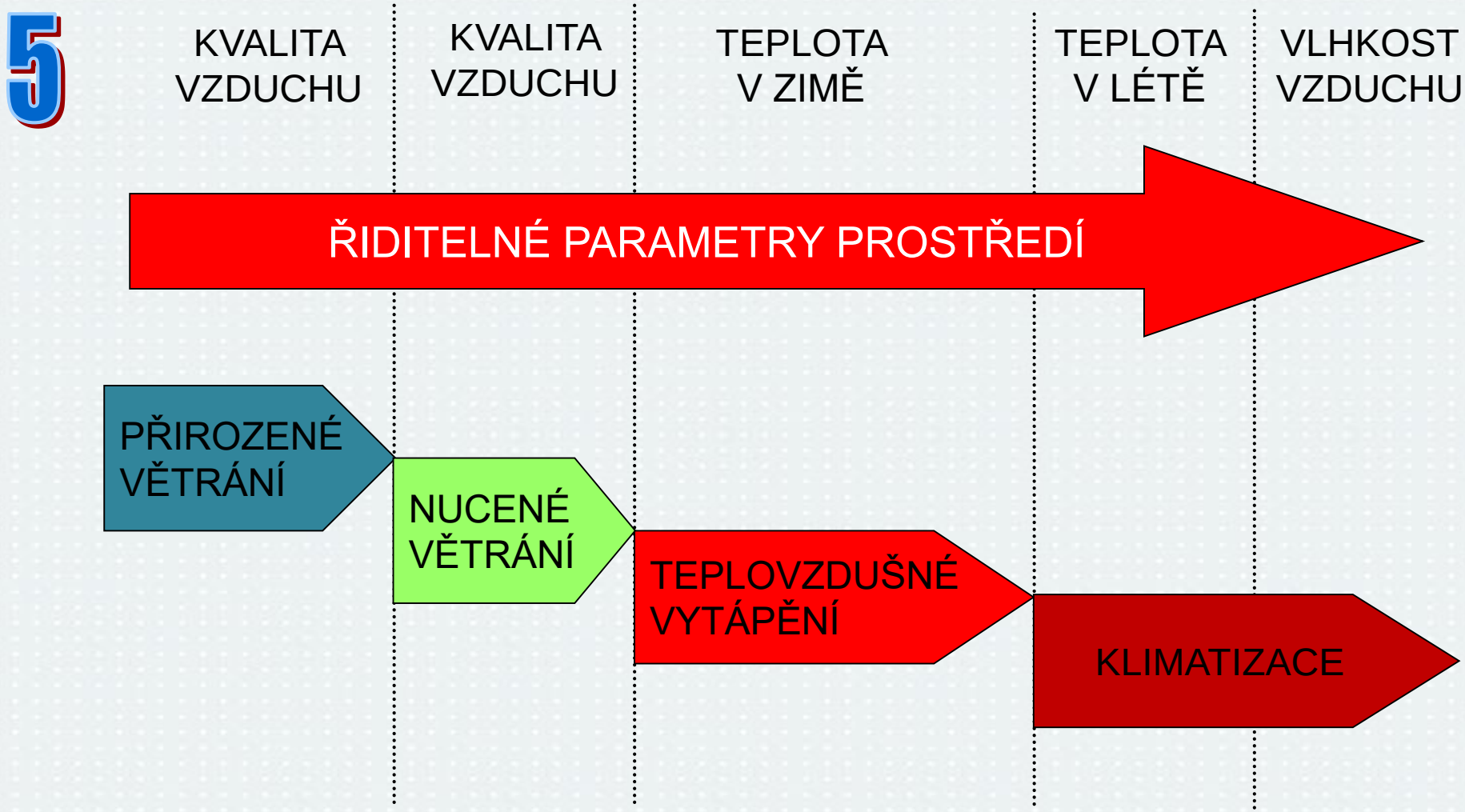
(CENTRÁLNÍ) (JEDNOTKOVÉ)

4 ÚČEL



BY NC SA

Základní členění - možnosti různých VZT systémů



BY NC SA

Návrh systému nuceného větrání

1. Výchozí hodnoty a vstupní požadavky
2. Koncepční řešení, volbu systému a jeho dispoziční řešení (centrální, decentrální, tlakové poměry)
3. Hmotnostní příp. energetické bilance škodlivin
4. Určení objemových průtoků vzduchu
5. Distribuce vzduchu (distribuční prvky a jejich rozmístění)

---

6. Strojovna VZT (skladba, velikost a umístění VZT jednotky, sání a výfuk vzduchu)
7. Potrubí a jeho součásti (regulační klapky)
8. Ochranné prvky potrubí (požární klapky, tlumiče)
9. Regulace provozu, požadavky na MaR a energetické nároky

cc BY NC SA

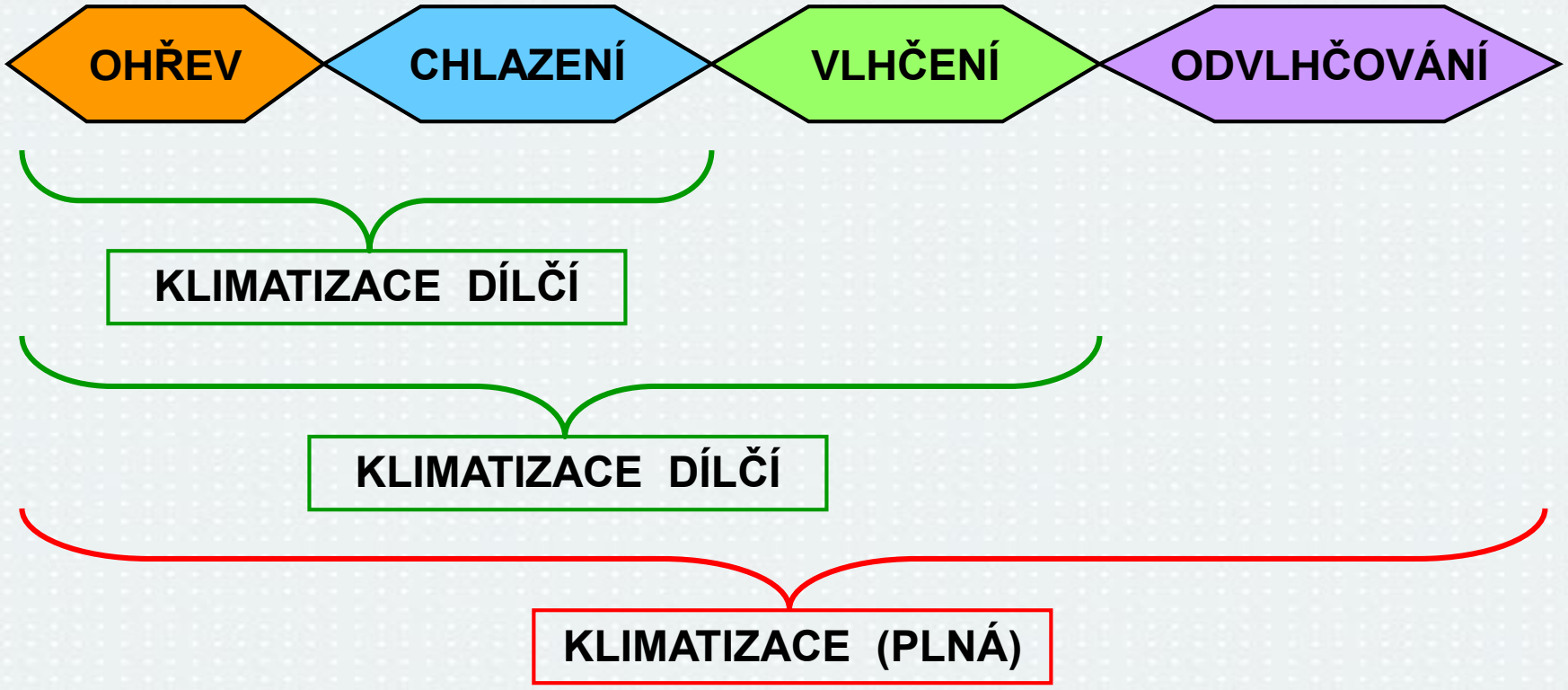
Nucené větrání – členění podle tlakových poměrů

větrání rovnotlaké	větrací systém při rovnosti průtoků nuceně přiváděného a nuceně odváděného vzduchu
větrání nuceným přívodem vzduchu	způsob větrání s nuceným přívodem a přirozeným odvodem vzduchu
větrání přetlakové	větrací systém s větším průtokem nuceně přiváděného vzduchu do prostoru vzhledem k průtoku vzduchu nuceně odváděného
větrání nuceným odvodem vzduchu	způsob větrání s nuceným odvodem a přirozeným přívodem vzduchu
větrání podtlakové	větrací systém s větším průtokem nuceně odváděného vzduchu z prostoru, vzhledem k průtoku vzduchu nuceně přiváděného

cc BY NC SA

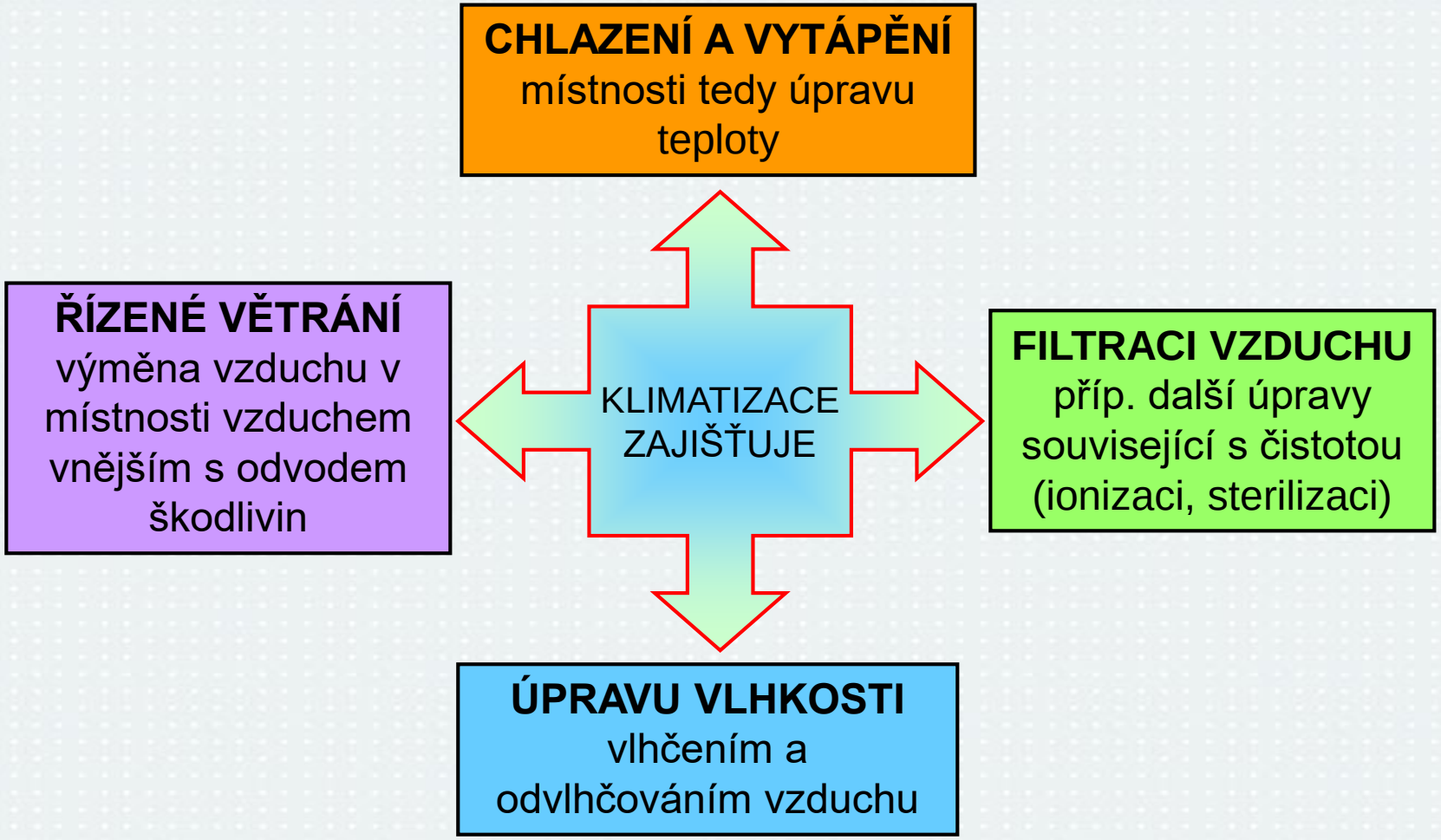
Základní členění - možnosti různých VZT systémů

7 KLIMATIZACE = úprava vzduchu k zajištění požadované ČISTOTY, TEPLOTY A VLHKOSTI VZDUCHU v obsluhovaných místnostech. K tomu slouží klimatizační zařízení, které plní 4 termodynamické funkce:



cc BY NC SA

Vzduchové systémy - možnosti



BY NC SA

Členění klimatizace dle teplonosné látky

Podle teplonosné látky, kterou se tepelná energie dopraví do obsluhované místnosti se klimatizační systémy člení:

VZDUCHOVÉ

Teplonosnou látkou zprostředkující je vzduch vedený vzduchovody. Z důvodu malé tepelné kapacity vzduchu → *větší průtoky* → nutné větší výměny vzduchu v místnostech.

VYŽADUJÍ PRO SVŮJ PROVOZ ZDROJ STUDENÉ (CHLADÍCÍ VODY)

ÚSTŘEDNÍ

VODNÍ

s fancoily
- dvoutrubkové
- třítrubkové
- čtyřtrubkové

chladicí stropy

DECENTRÁLNÍ

KOMBINOVANÉ

voda + vzduch indukční jednotky

CHLADIVOVÉ

OBSAHUJÍ CELÝ CHLADÍCÍ OKRUH

cc BY NC SA

Výpočet průtoku vzduchu

POZNÁMKA: Požadovaná teplota interiéru ti se může pro léto a zimu lišit.

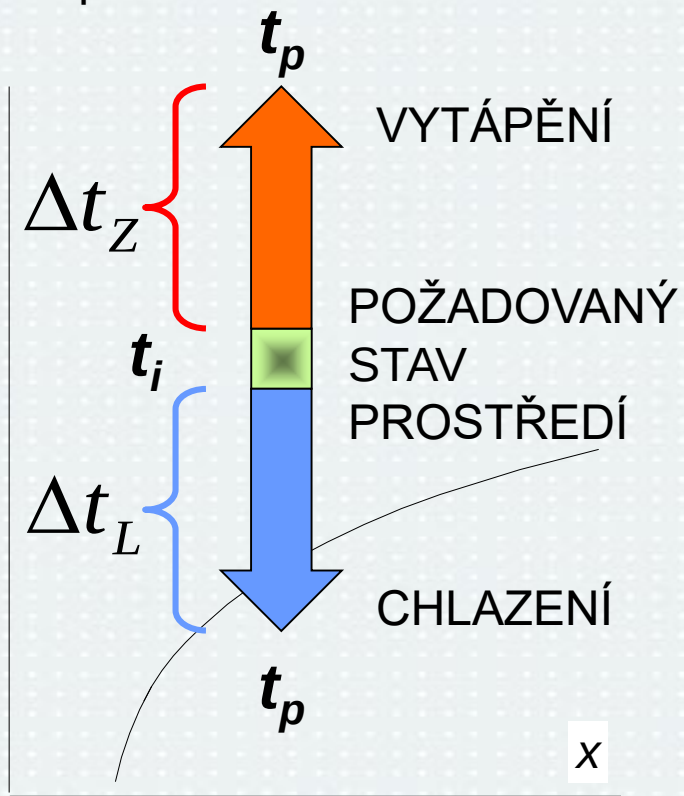
$$V_p = \frac{Q}{\rho.c.\Delta t}$$

PRACOVNÍ ROZDÍL TEPLOT

$$\Delta t = 6-12(20)K$$

PRACOVNÍ ROZDÍL TEPLOT

$$\Delta t = 6-8K$$



$$\Delta t = \frac{Q}{\rho.c.V_p}$$

PRAC.ROZDÍL TEPLOT PRO LÉTO → PRŮTOK VZDUCHU → PRAC.ROZDÍL TEPLOT PRO ZIMU

BY NC SA

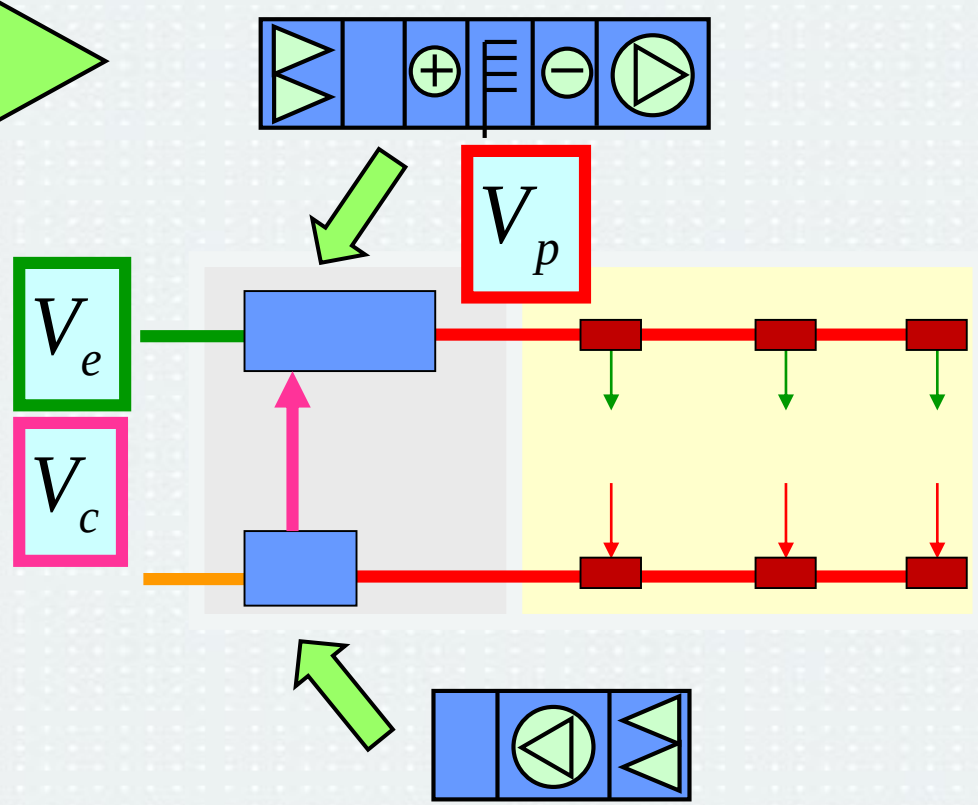
Venkovní a oběhový vzduch

VZDUCHOVÉ ÚSTŘEDNÍ

Soustava pracuje celoročně s konstantním průtokem vzduchu, regulace výkonu se provádí změnou teploty.

$$V_p = V_e + V_c$$

Průtok venkovního vzduchu se stanoví podle potřeby vzduchu pro větrání.

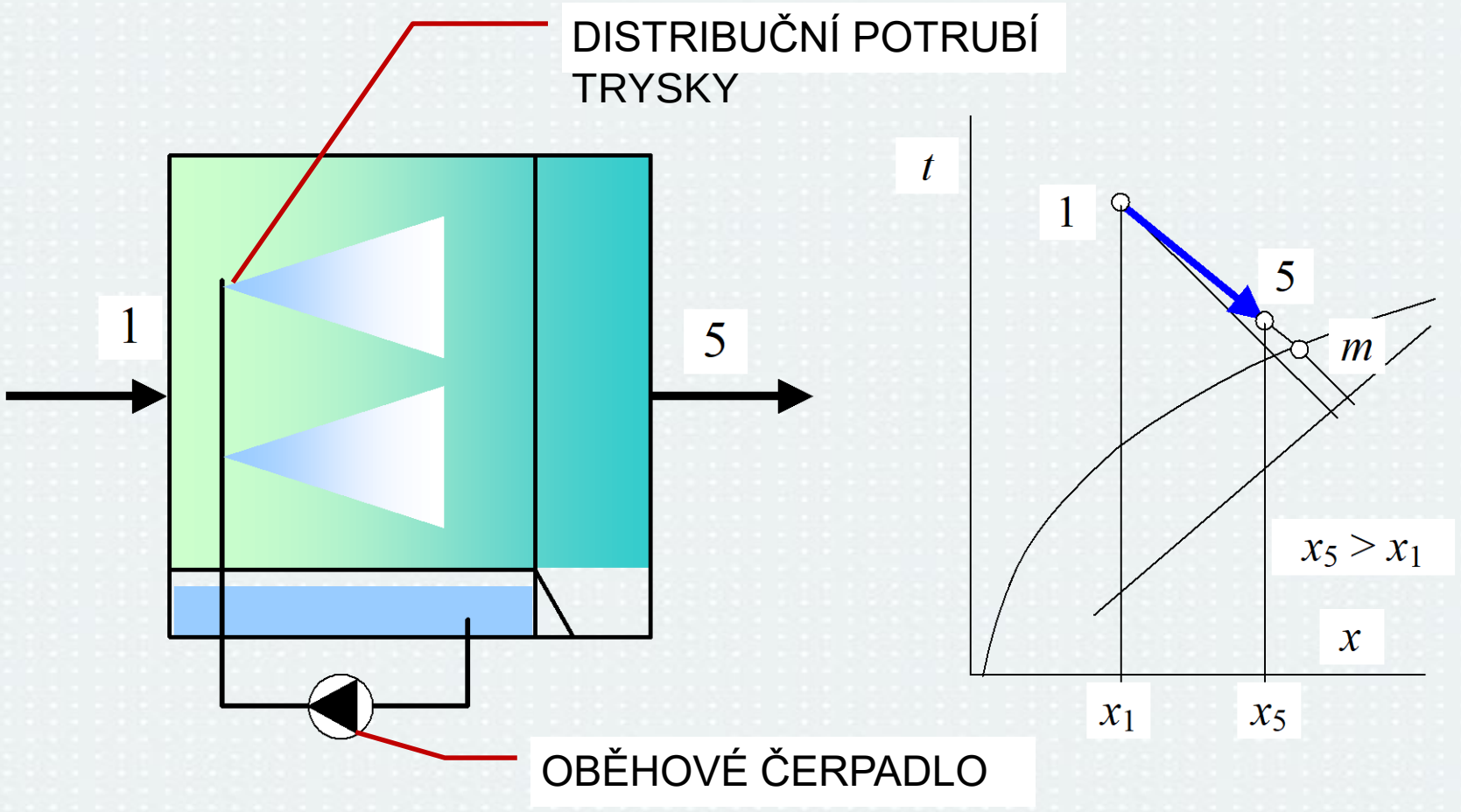


PRŮTOK VZDUCHU → PRŮTOK VENKOVNÍHO VZDUCHU → PRŮTOK CIRKULAČNÍHO VZDUCHU →

BY NC SA

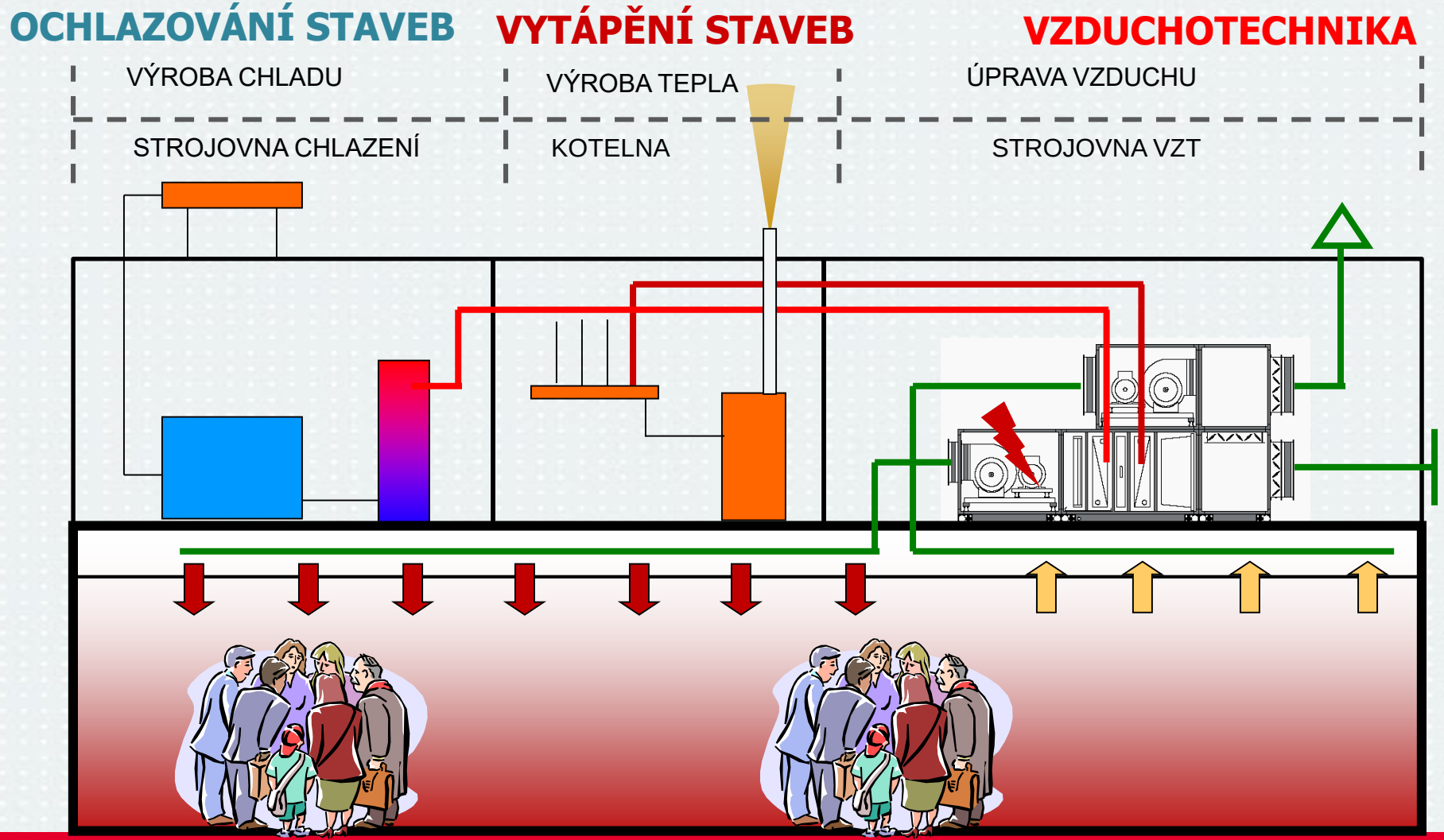
Vlhčení vodou - úprava vzduchu v hx diagramu

IZOENTALPICKÝ DĚJ – ENTALPIE KONSTANTNÍ



cc BY NC SA

Vzduchové systémy - skladba, energetické zdroje



cc BY NC SA

Magisterský studijní program JADERNÁ ENERGETIKA vznikl za přispění

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU

NÁRODNÍ PLÁN OBNOVY

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

NPO_VUT_MSMT-16609_2022

CC BY NC SA

VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU

NÁRODNÍ PLÁN OBNOVY

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FAKULTA CHEMICKÁ

FAKULTA STAVEBNÍ

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Přednáška magisterského studijního programu JADERNÁ ENERGETIKA

Vzduchotechnika

Doprava a úprava vzduchu, specifické řešení vzduchotechnických jednotek, aplikace

Fakulta stavební

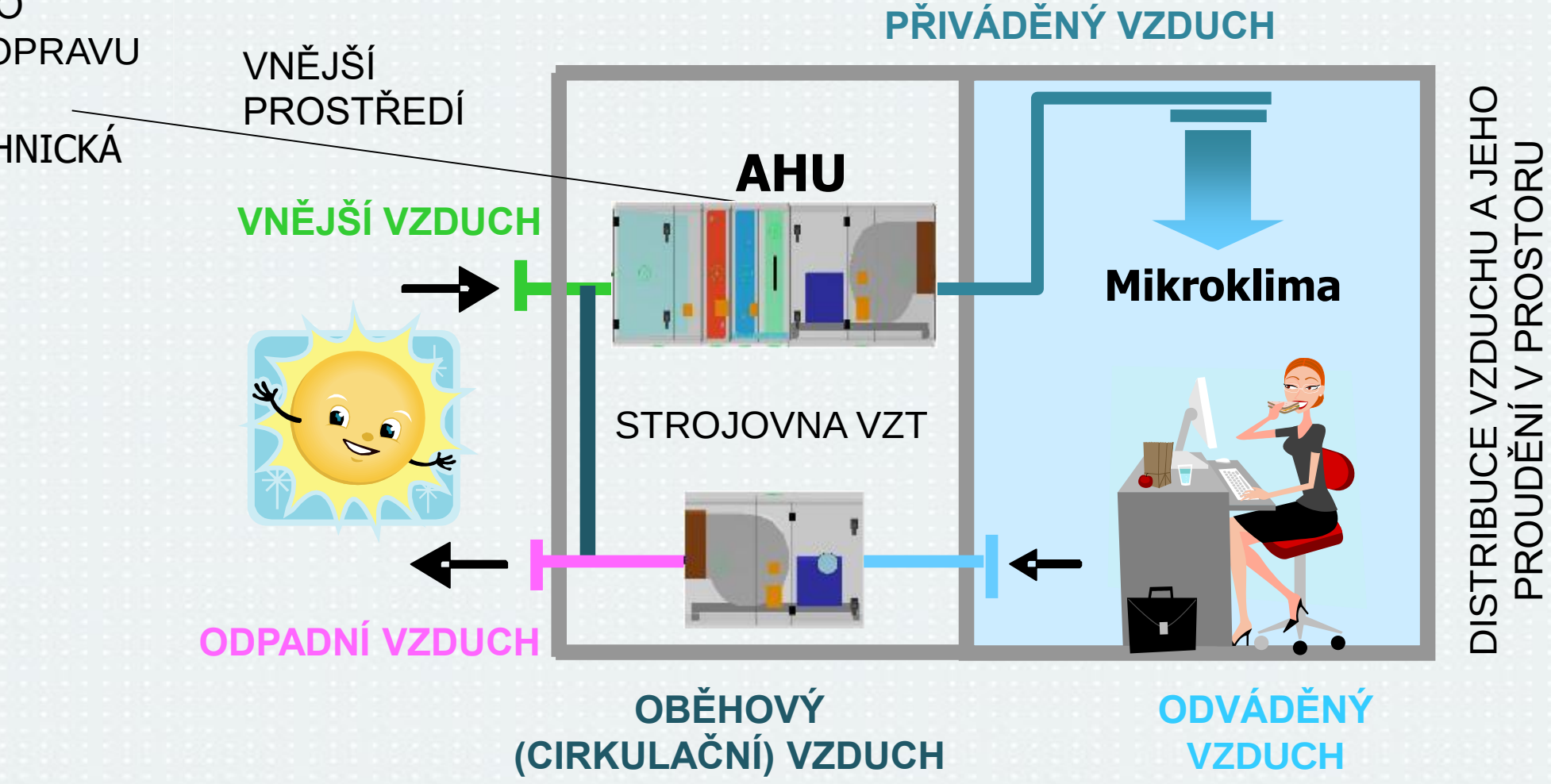
doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D., Ing. Olga Rubinová, Ph.D

duben 2023

CC BY NC SA

Základní prvky VZT systému, názvosloví

ZAŘÍZENÍ PRO
ÚPRAVU A DOPRAVU
VZDUCHU
VZDUCHOTECHNICKÁ JEDNOTKA



CC BY NC SA

Základní prvky VZT systému

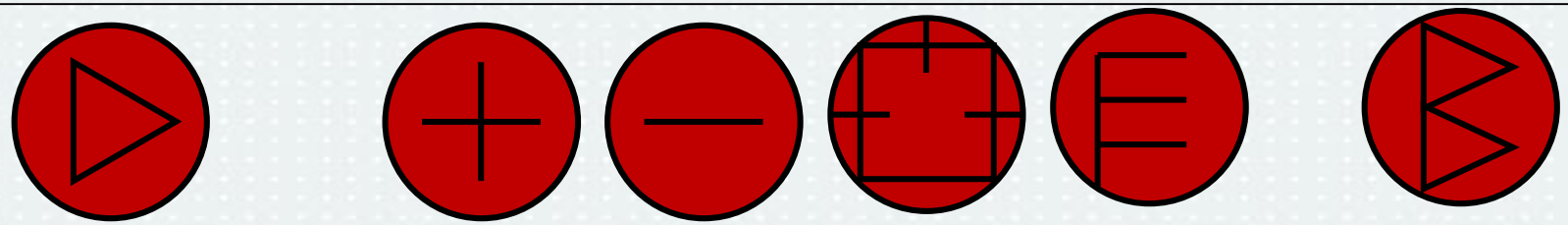
..... ŘÍDÍCÍ SYSTÉM | VZDUCHOTECHNIKA | VYTÁPĚNÍ | CHLAZENÍ .....

- VZT jednotky
- VZT potrubí a jeho součásti, izolace
- Koncové prvky

cc BY NC SA

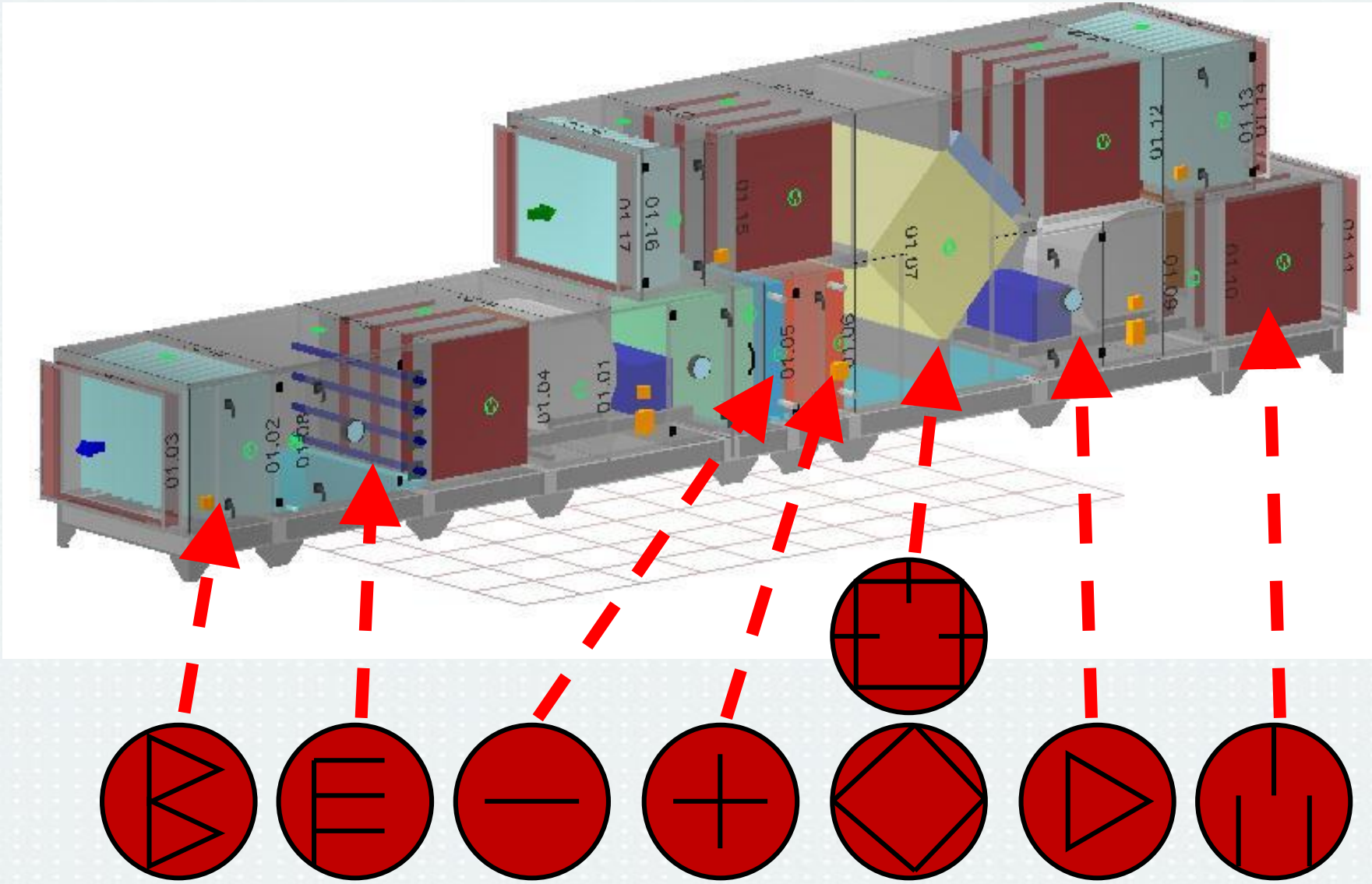
Základní prvky VZT systému, názvosloví

1	2	3
VENTILÁTORY	VÝMĚNÍKY	FILTRY
Radiální	Ohřívač (vodní, parní, elektrický, plynový)	Vzduchový filtr (hrubý, jemný, elektrostatický, s aktivním uhlím)
Axiální	Chladič (vodní, výparník)	
…..	Směšovací komora	
	Zvlhčovač (parní, vodní)	



cc BY NC SA

Základní prvky VZT systému, názvosloví

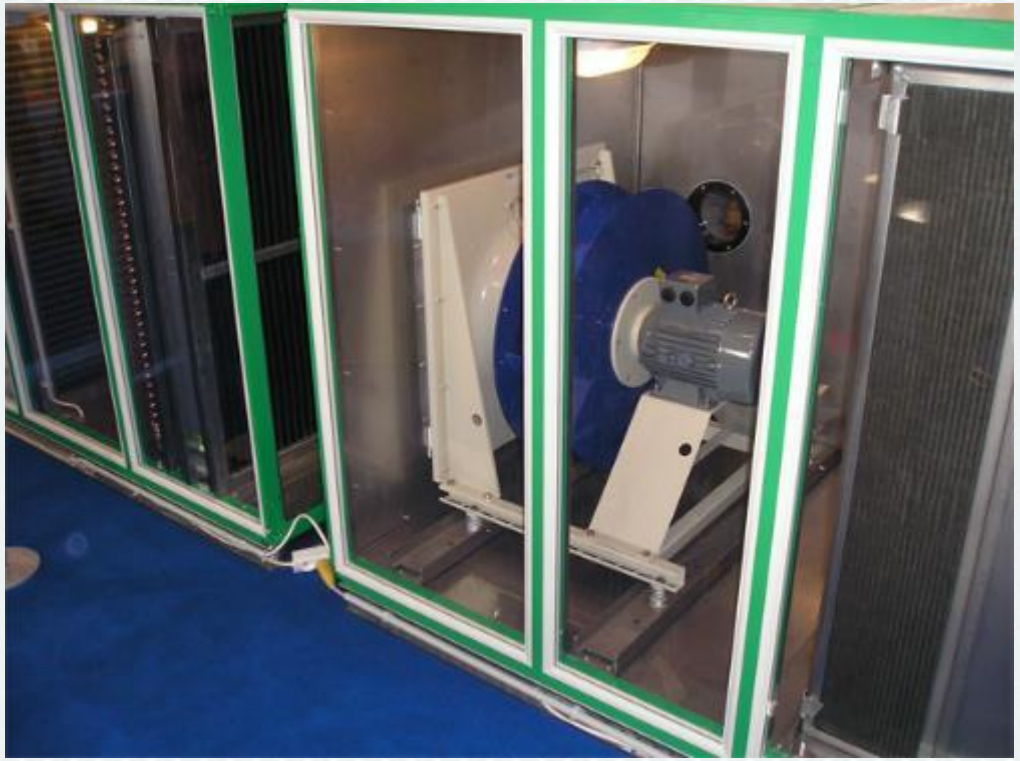


BY NC SA

Základní prvky VZT systému, názvosloví

2 VÝMĚNÍKY

VENTILÁTOR 1



3 FILTR

cc BY NC SA

Lamelové výměníky

= lamelové výměníky z vnější strany obtékané vzduchem. V trubkách proudí teplonosná látka (studená nebo teplá voda, pára, příp. chladivo), potrubí výměníku je zpravidla měděné s hliníkovými lamelami, které zvětšují teplosměnnou plochu na straně vzduchu (označované jako provedení Cu/Al). Pro dosažení potřebného výkonu se skládají do více řad

cc BY NC SA

Ohřívač vzduchu

- **teplovodní ohřívač** s teplotním spádem vody nejčastěji 80/60°C
- **parní ohřívač** se využívá pouze v průmyslu, kde je k dispozici pára i k jiným technologickým účelům nebo pro dosažení velmi vysoké teploty ohřívaného vzduchu.
- **elektrický ohřívač**, který je sestaven z hladkých topných tyčí a používá se spíše jako zónový dohřívač.
- **plynový ohřívač** je zpravidla řešen jako výměník vzduch - spaliny.

ohřívač musí být napojen na topnou vodu a opatřen regulací

CC BY NC SA

Ohřívač vzduchu – teplota přiváděného vzduchu

TEPLOTA PŘIVÁDĚNÉHO VZDUCHU SE URČÍ:

TEPLOVZDUŠNÉ VĚTRÁNÍ	$t_p = t_i (+1 až +2)$	tepelnou ztrátu prostupem pokrývá systém vytápění
TEPLOVZDUŠNÉ VYTÁPĚNÍ	$\Delta t = \frac{Q}{V \rho c}$ $V = \frac{Q}{\rho c \Delta t}$	z tepelné bilance pro pokrytí tepelných ztrát část tepelné ztráty může pokrývat systém vytápění, část VZT

cc BY NC SA

Zvlhčovače vzduchu

- Parní zvlhčovač

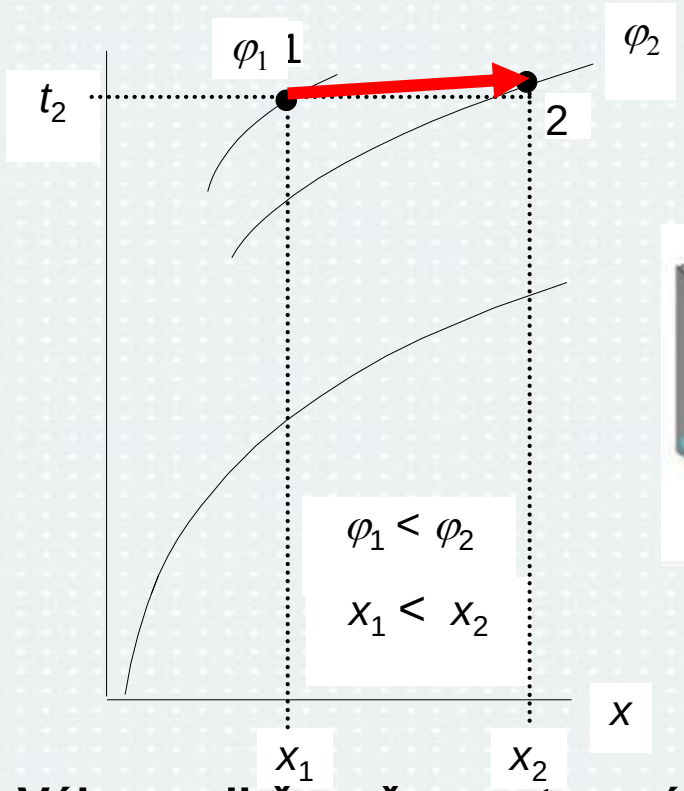
rozstřikuje VODNÍ PÁRU

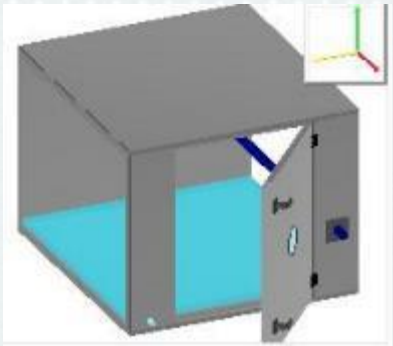
- Vodní pračka
- Pneumatický zvlhčovač
- Ultrazvukový zvlhčovač

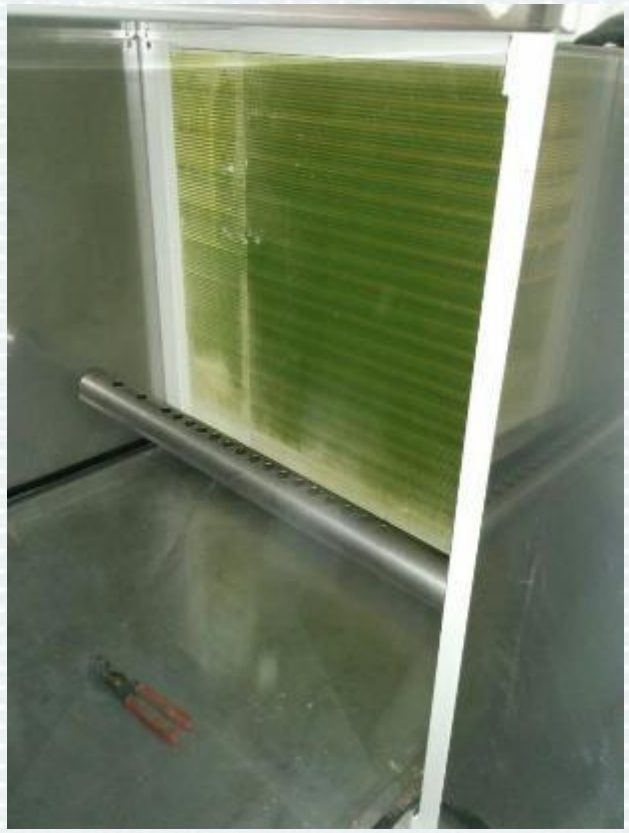
rozstřikuje VODNÍ MLHU

cc BY NC SA

Zvlhčovač – parní







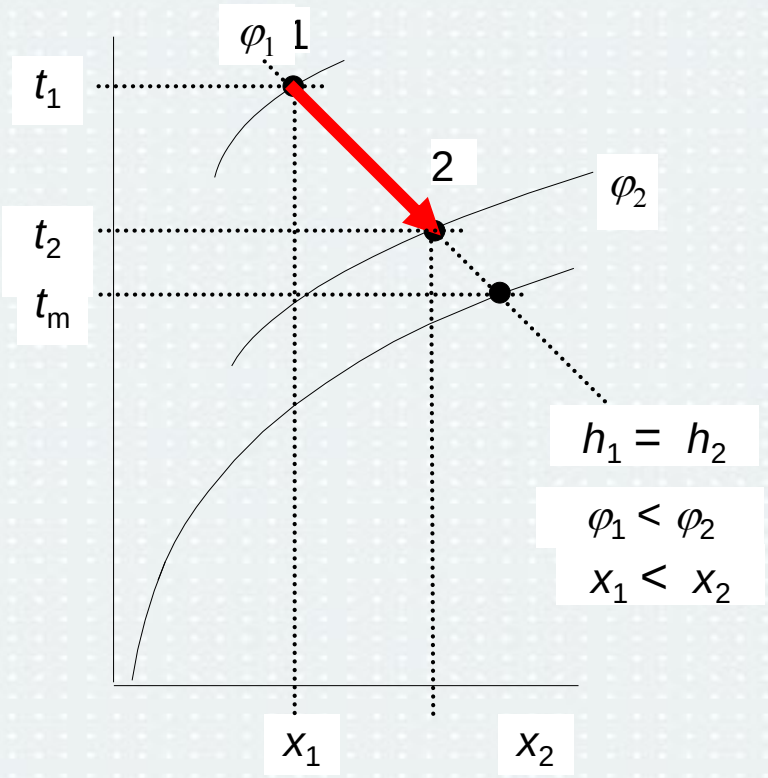
Výkon zvlhčovače se stanoví podle vztahu:

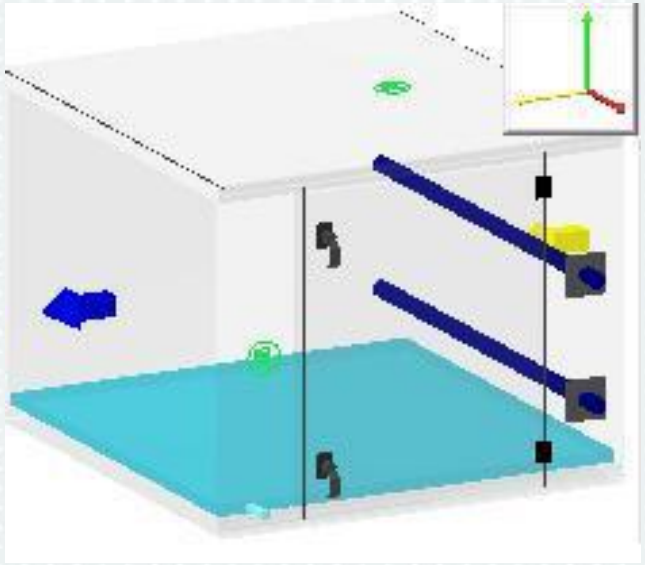
$$M_w = V\rho(x_2 - x_1)$$

$$M_W = m\ .dx$$

cc BY NC SA

Zvlhčovač – vodní





Výkon zvlhčovače se stanoví podle vztahu:

$$M_w = V\rho(x_2 - x_1)$$

$$M_W = m\ .dx$$

Parní zvlhčovač

nový ....

po letech provozu ....

cc BY NC SA

Filtry – rozdělení podle způsobu filtrace

- mechanické
  - tkaninové
  - vodní - biopračky, biofiltry, rostliny (účinné u látek, které se váží na vodu, např. čpavek)
- elektrostatické
- adsorpční - aktivní uhlí

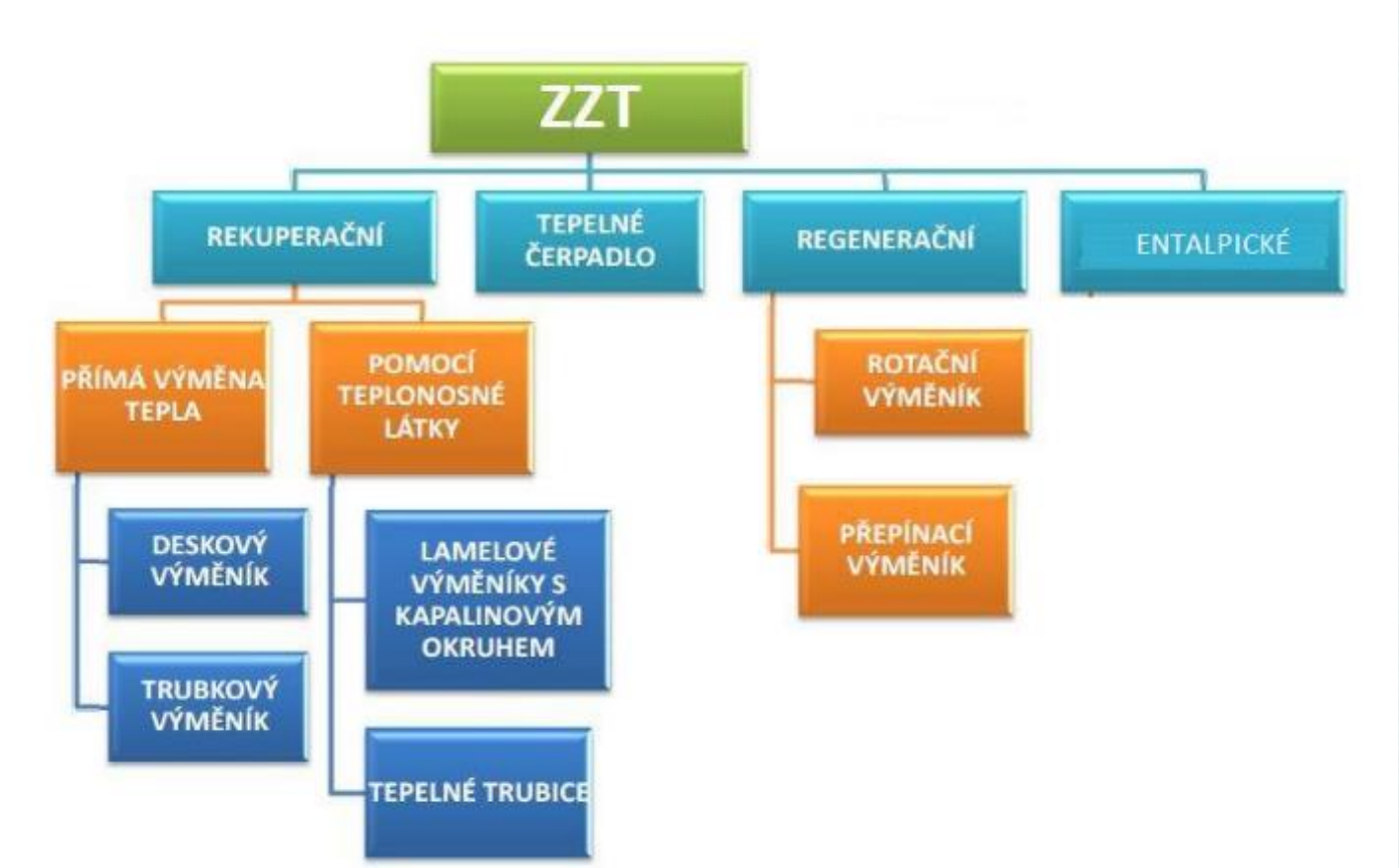
cc BY NC SA

Zpětné získávání tepla - rozdělení

ZZT využití tepla odváděného znehodnoceného vzduchu

ZZT pracuje na principu přenosu tepla konvekcí bez či se skupenskými změnami

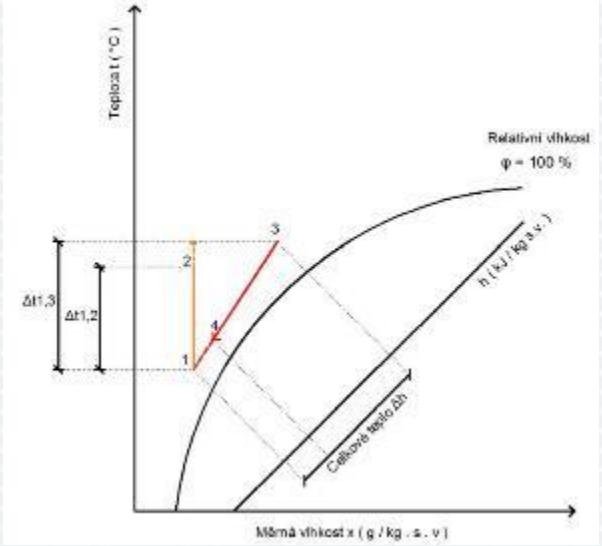
„systémem zpětného získávání tepla" se rozumí část obousměrné větrací jednotky vybavené výměníkem tepla určeným pro přenos tepla obsaženého ve (znečištěném) odváděném vzduchu zpět do (čerstvého) přiváděného vzduchu – definice podle NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) č. 1253/2014 požadavky na ekodesign větracích jednotek



cc BY NC SA

ÚČINNOST matematicko - fyzikální

TEPLOTNÍ ÚČINNOST



$$\eta_{Rt} = \frac{t_{e2} - t_{e1}}{\frac{V_i \cdot \rho_i \cdot c_{pi}}{V_e \cdot \rho_e \cdot c_{pe}} \cdot t_{i1} - t_{e2}} = \frac{t_{e2} - t_{e1}}{t_{i1} - t_{e1}} \quad \text{pro } V_i = V_e,\ \rho_i = \rho_e,\ c_{pi} = c_{pe}$$

TEPLOTNÍ PŘÍVODNÍ ÚČINNOST

$$\eta = \frac{\Delta t_{1,2}}{\Delta t_{1,3}} = \frac{t2 - t1}{t3 - t1} \cdot 100 \ (\%)$$

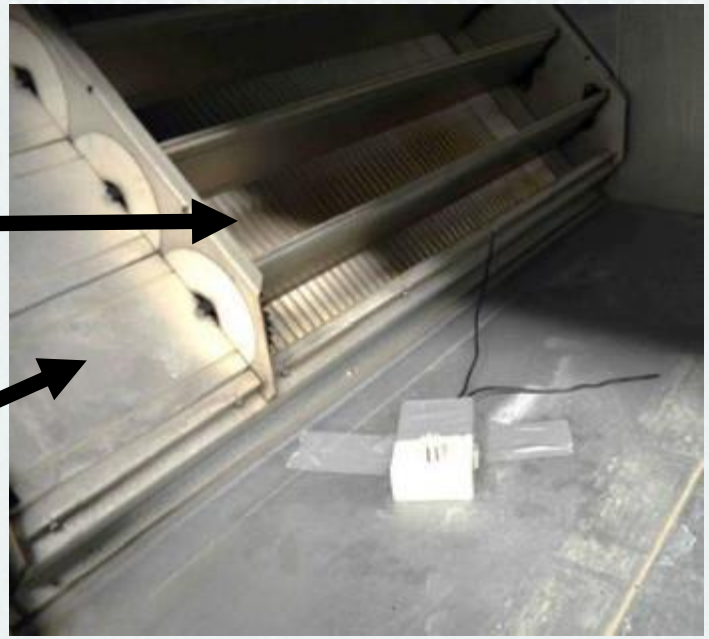
TEPLOTNÍ ODVODNÍ ÚČINNOST

$$\eta = \frac{\Delta t_{5,3}}{\Delta t_{5,1}} = \frac{t3 - t4}{t3 - t1} \cdot 100 \ (\%)$$

lamely výměníku ze strany přiváděného vzduchu

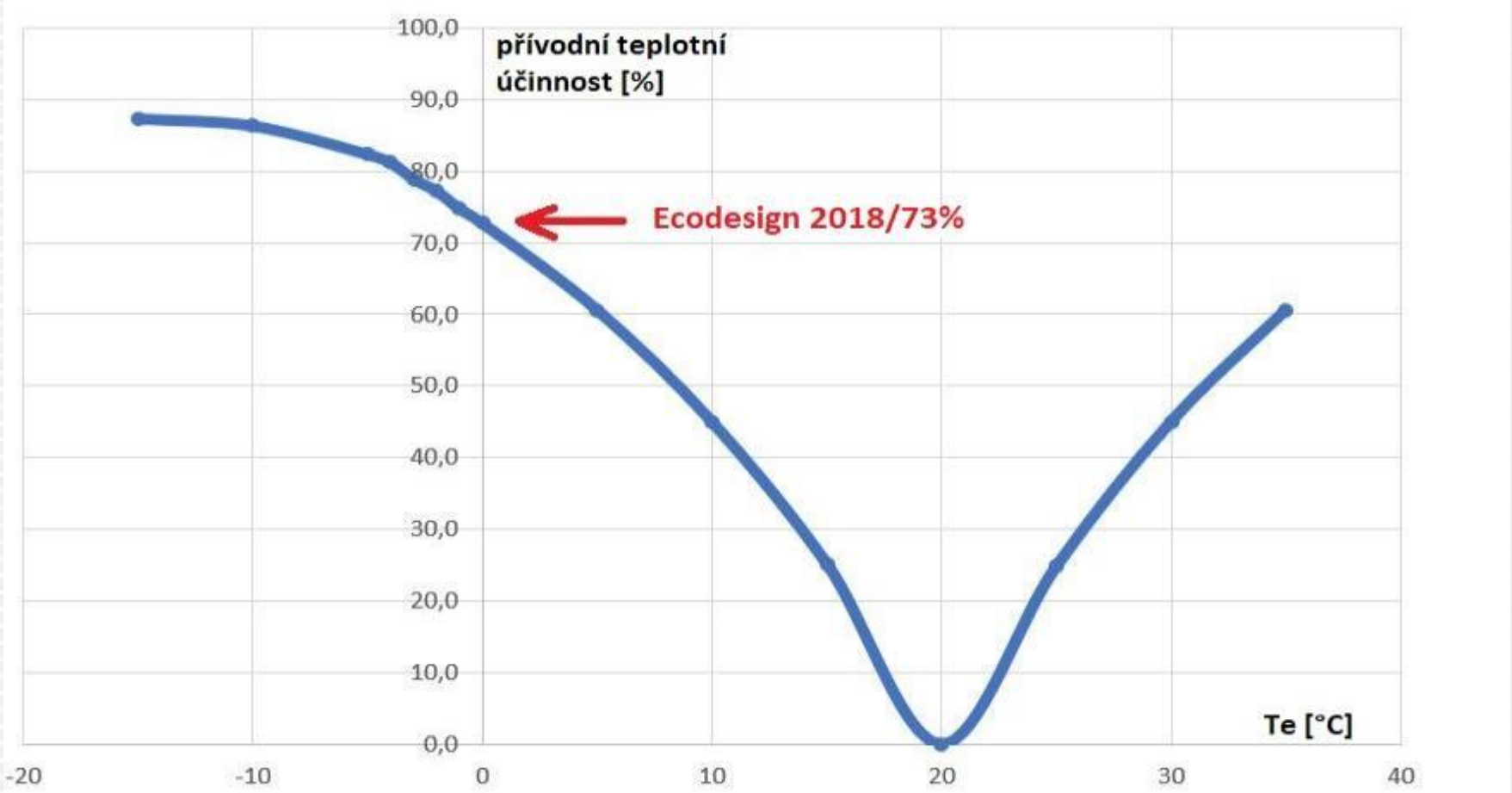
Teplotní účinnost je měřítkem efektivnosti přenosu citelného tepla, jedná se o nejčastěji používanou účinnost

obtok deskového křížového výměníku



BY NC SA

ÚČINNOST
podle NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) č. 1253/2014
ideální průběh teplotní účinnosti



Simulovaná teoretická závislost přívodní teplotní účinnosti rekuperačního výměníku **pro stav odváděného vzduchu 20°C/35%, tedy při Te =0°C, účinnost = 73%** Závislost přívodní účinnosti rekuperačního výměníku na rozdílu teplot [Te – To] odpovídá reálnému průběhu z provedených měření.

cc BY NC SA

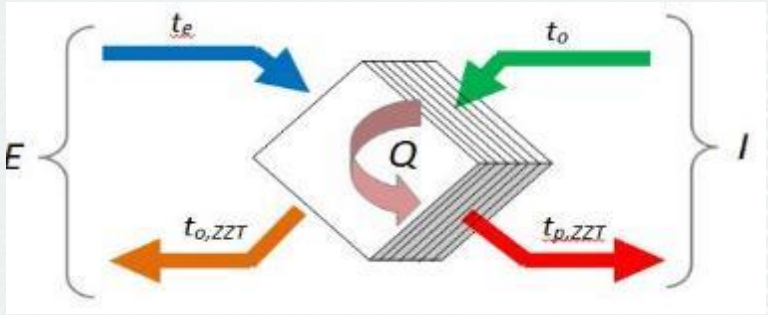
Výpočet teplotní účinnosti s ohledem na okrajové podmínky

$$\eta_{ZZT,o} = \frac{t_o - t_{o,ZZT}}{t_o - t_e} 100$$

$$V_p \rho c (t_{p,ZZT} - t_e) = V_o \rho c (h_o - h_{o,ZZT})$$

$$V_p \rho c (t_{p,ZZT} - t_e) = V_o \rho c (t_o - t_{o,ZZT}) + M_k . L_v$$

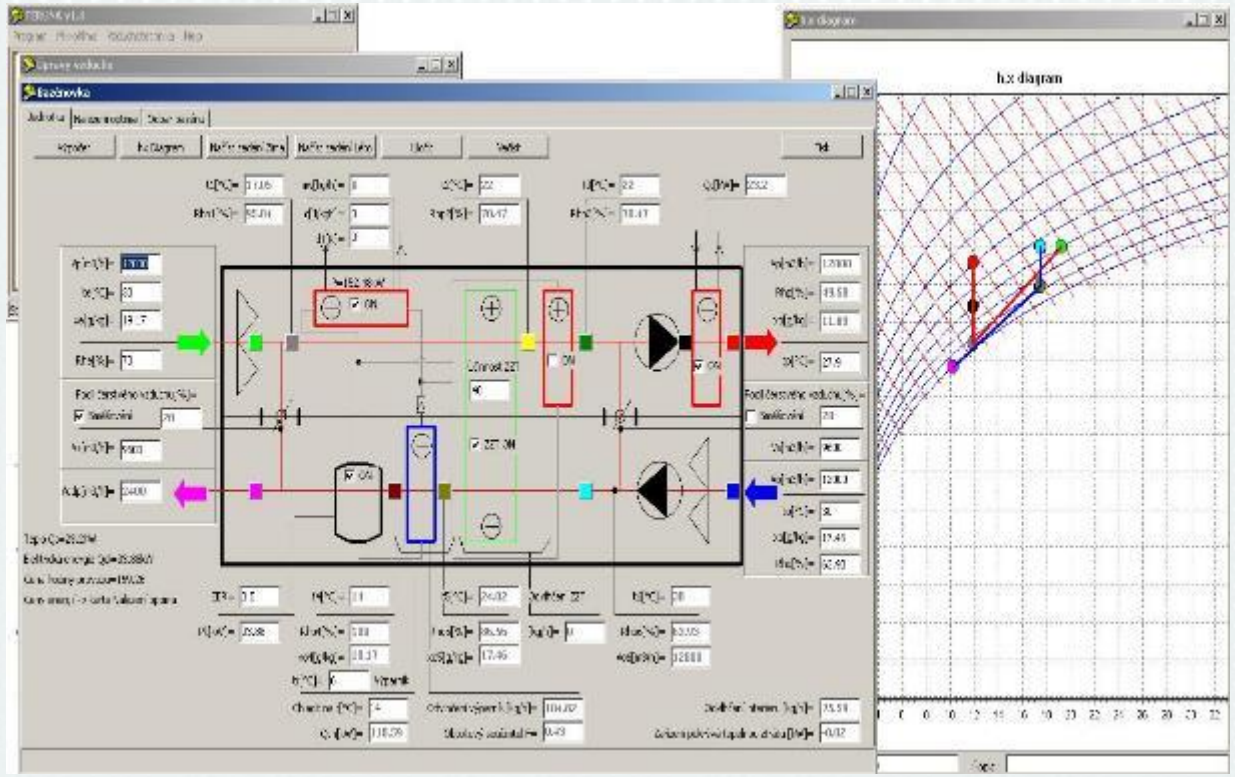
Z hlediska MaR je efektivní odečítat účinnost na odváděném vzduchu



SOFTWARE

TERUNA 1.5b

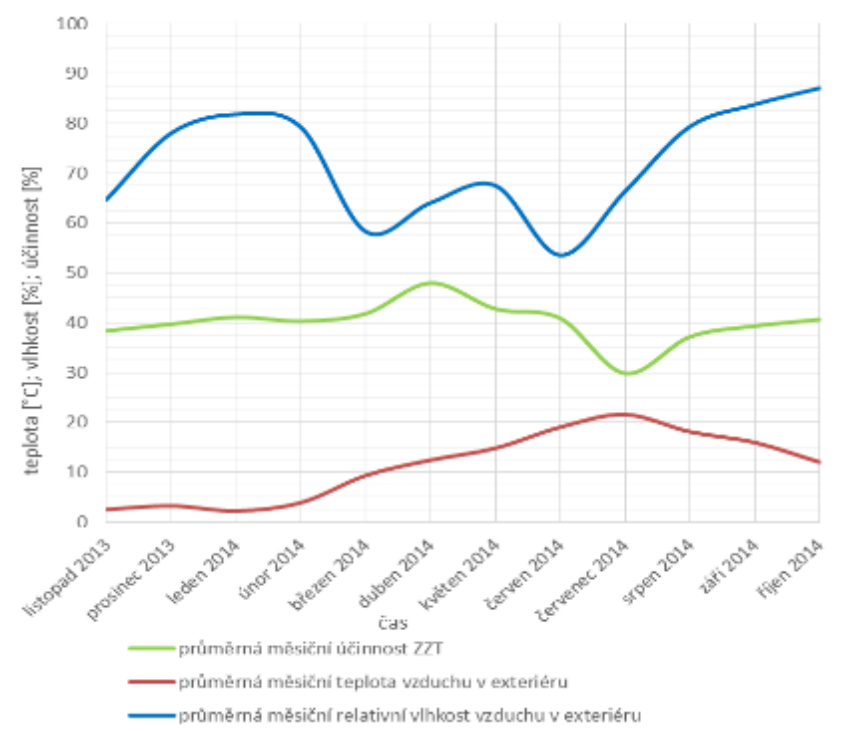
Pro přesný výpočet je nutné brát v úvahu výparné teplo a množství kondenzátu

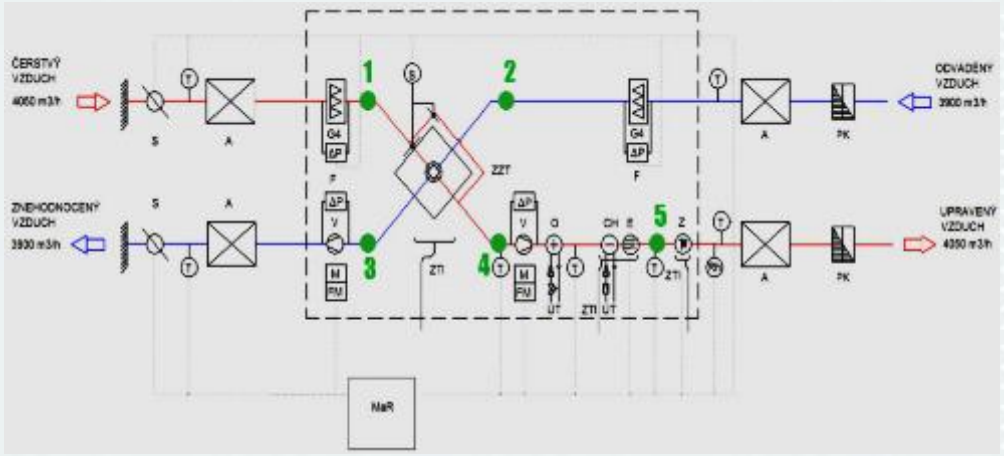


BY NC SA

ÚČINNOST – rekuperační výměníky

Výrobci současně vyráběných deskových výměníků uvádějí hodnoty teplotní účinnosti v závislosti na konkrétním provedení v intervalu 40-80 %. Nejdůležitějším faktorem pro dosažení vyšších účinností ZZT bývá délka výměníku a schopnost kondenzace vodní páry v odváděném vzduchu (využití výparného tepla v odváděném vzduchu při skupenské změně). Při větších teplosměnných plochách je možné pomocí dostatečně dlouhých komor dosáhnout některými výrobci teoretické teplotní účinnosti i přes 90 %. Nicméně s délkou komory roste i tlaková ztráta výměníku včetně prostorové náročnosti.





průměrná reálná měřená přívodní teplotní účinnost deskového výměníku ZZT se pohybuje podle ročního období v intervalu od 30% do 48%

$V_p = V_o = 5.000\ m^3/h$

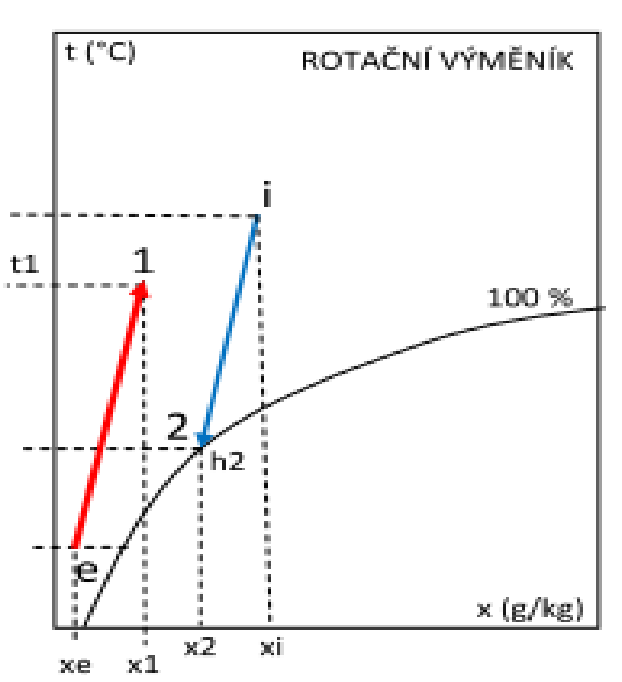
Ecodesign: 63% ?

BY NC SA

ÚČINNOST – rotační výměníky - regenerace

v praxi používají dva typy rotačních výměníků nehygroskopický / hygroskopický

fyzikální vlastnost výměníku - při zvyšování teploty exteriéru k teplotě odváděného vzduchu se mění i teplotní a prakticky i entalpická účinnost, při změně hmotnostních vlastností interiéru a exteriéru - mění se i vlhkostní účinnost



ENTALPICKÁ ÚČINNOST

$$\eta_{Rt} = \frac{h_{e2} - h_{e1}}{\frac{V_i \cdot \rho_i}{(1+x_{i1})} \cdot \frac{(1+x_{e1})}{V_e \cdot \rho_e} \cdot h_{i1} - h_{e2}}$$

Entalpická účinnost představuje provozní efektivnost přenosu tepla vzhledem k parciální kondenzaci vodní páry

pro Vi = Ve:

$$\eta_{CT} = \frac{h_{1z} - h_{ez}}{h_{iz} - h_{ez}} = \frac{h_{el} - h_{1l}}{h_{el} - h_{il}}$$

VLHKOSTNÍ ÚČINNOST

$$\eta_{VT} = \frac{x_{1z} - x_{ez}}{x_{iz} - x_{ez}} = \frac{x_{el} - x_{1l}}{x_{el} - x_{il}}$$

BY NC SA

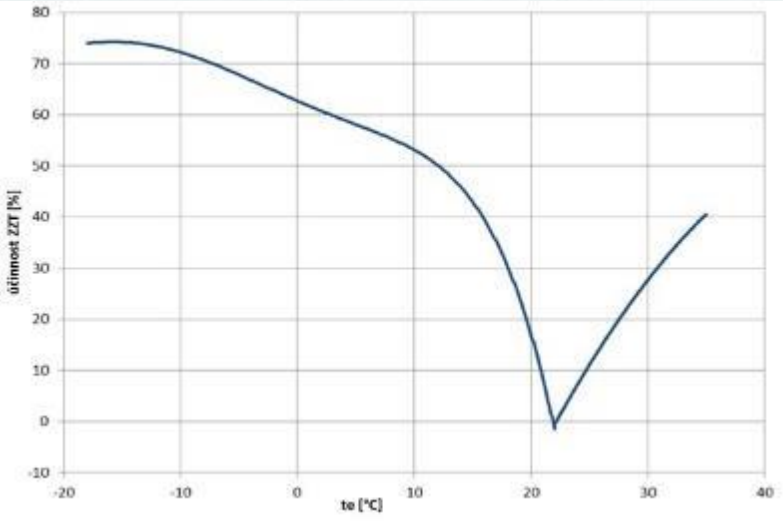
ÚČINNOST rotační výměníky - regenerace

Podle akumulační hmoty rotačního výměníku hygroskopický materiál - s teplem se přenáší i vlhkost (to znamená, že kromě citelného tepla se přenáší i vázané teplo, přičemž obě tepla se podílejí na změně entalpie ochlazovaného a odvlhčovaného, jakož i ohřívaného a zvlhčovaného vzduchu), plasty s hygroskopickými vlastnostmi, tvrzená papírovina napuštěná lítiumchloridem nebo hliníkový plech opatřený hygroskopickou vrstvou. Tyto úpravy umožňují kombinaci přenosů tepla a vlhkosti, a to s dosahovanou maximální entalpickou účinnosti až 85%

nehygroskopický materiál – prakticky pouze přenos citelného tepla + minimálně hmoty (hliníkového plechu), teplotní účinnost až 75%.

cc BY NC SA

ÚČINNOST rotační výměníky - regenerace



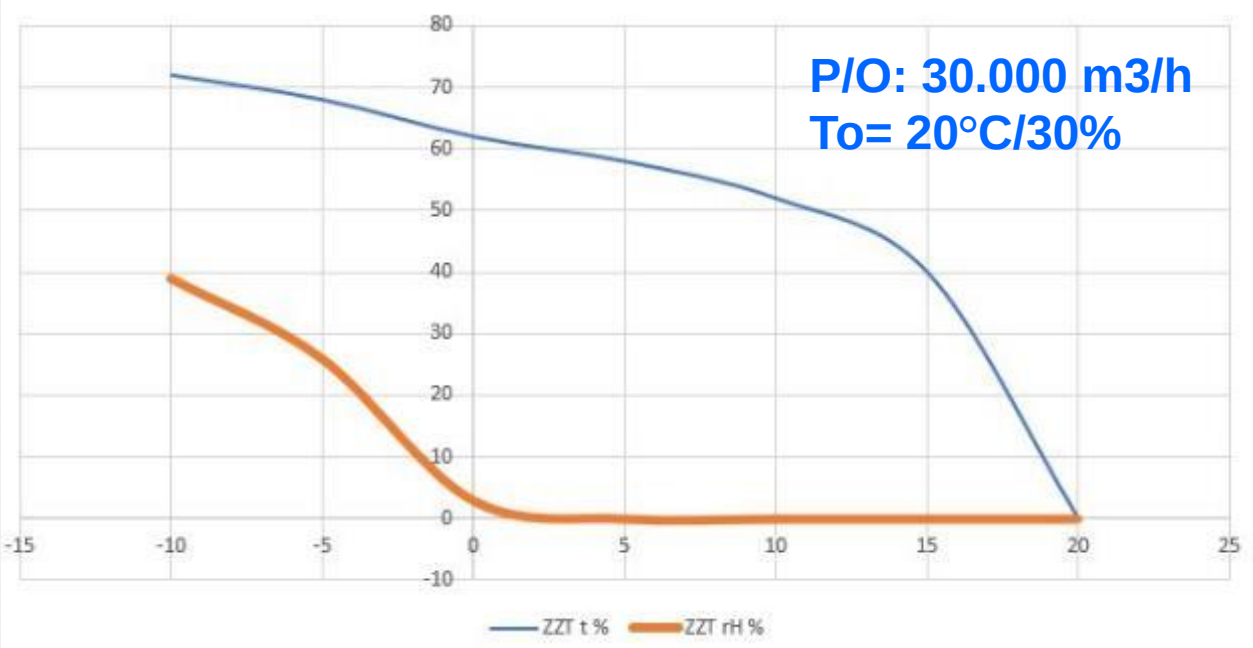
Závislost teplotní přívodní účinnosti rotačního výměníku na teplotě exteriéru.

Při nízkých teplotách exteriéru (te < -5°C) je hodnota účinnosti zásadně ovlivňujícím faktorem výpočtu ve smyslu vlivu účinnosti na teplotu přiváděného vzduchu po regeneraci. Při vyšších teplotách exteriéru (přibližně > +10°C) je vliv hodnoty teplotní účinnosti na praktický dopad teploty přiváděného vzduchu za výměníkem minimální.

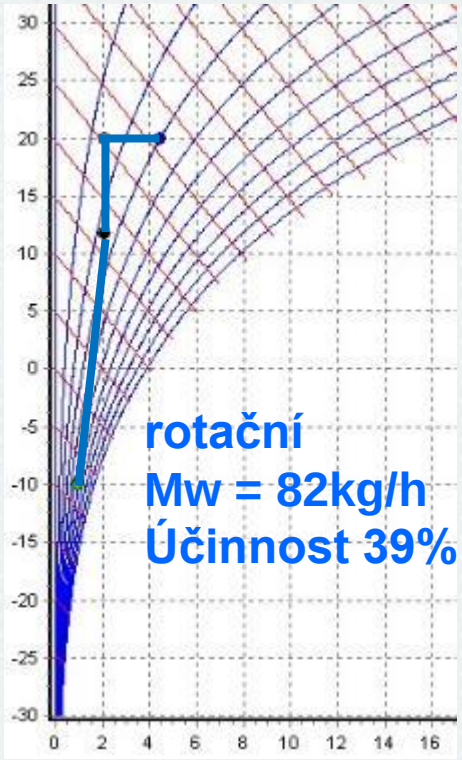
Např. při +17°C teploty nasávaného venkovního vzduchu je při účinnosti 30% teplota za výměníkem tp = 18°C, a při účinnosti 50% je teplota tp = 18,5°C. Samozřejmostí je, že při stejné teplotě odváděného vzduchu +22°C a teplotě nasávaného vzduchu z exteriéru taktéž +22°C, je teplotní účinnost rotačního výměníku 0%. Taktéž při teplotním extrému -18°C v exteriéru odpovídá teplotní účinnost 74% (účinnost udávaná výrobcem s teplotou přiváděného vzduchu na výstupu výměníku +10,2°C.

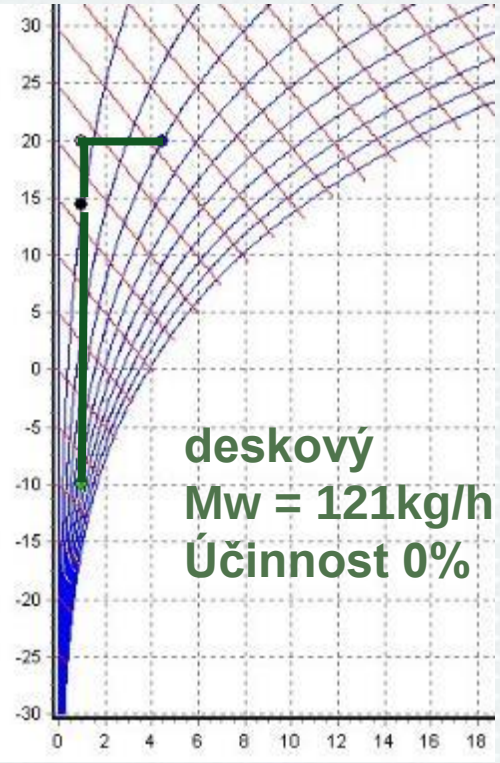
ÚČINNOST rotační výměníky - regenerace

Reálná vlhkostní přívodní účinnost / tabulka parametrů



°C	ZZT t %	ZZT rH %	tp po ZZT	to po ZZT	xp po ZZT	xo po ZZT	Rh po ZZT	Rh odvod po ZZT
-10	72	39	12,6	-2,5	2,35	3,12	25	99,5
-5	68	26	10,5	-0,4	2,23	3,6	29	99,4
0	62	3	12,4	7,6	2,5	4,3	29	67
5	58	0	13,7	11,3	4	5	42	62
10	52	0	15,2	14,8	5	5	47	49
15	40	0	17	18	7	5,8	59	46
20	0	0	20	20	8,5	5,8	58,4	40



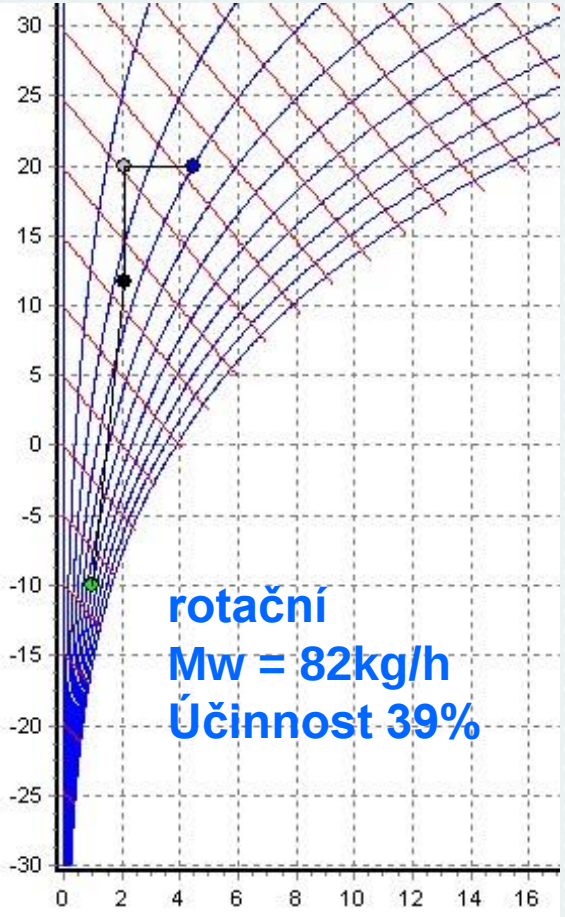


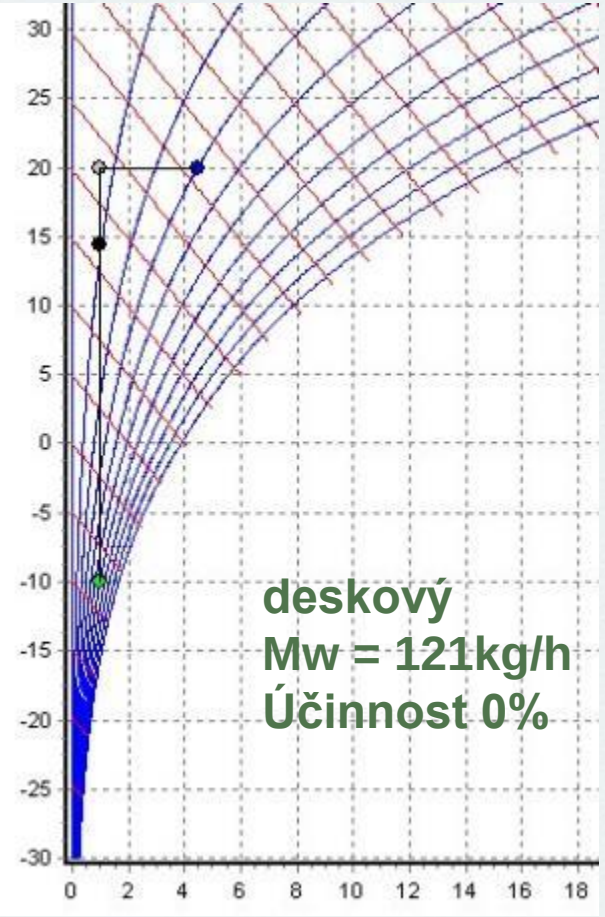
Závislost vlhkostní přívodní účinnosti rotačního výměníku na teplotě exteriéru, bez speciálních hygroskopických materiálů
- rotační uspoří za zimní období cca

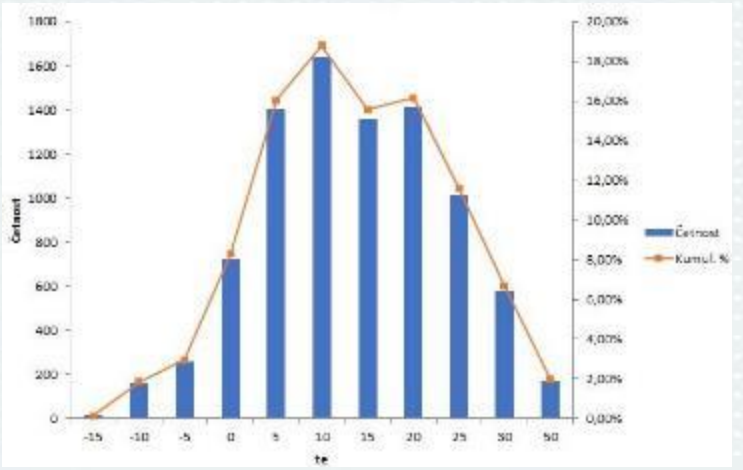
CC BY NC SA

ÚČINNOST rotační výměníky - regenerace

P/O: 30.000 m3/h To= 20° C/30 %







-15	12	0,14%
-10	162	1,86%
-5	258	2,95%
0	724	8,29%
5	1402	16,06%
10	1640	18,78%
15	1359	15,56%
20	1410	16,15%
25	1014	11,61%
30	581	6,65%

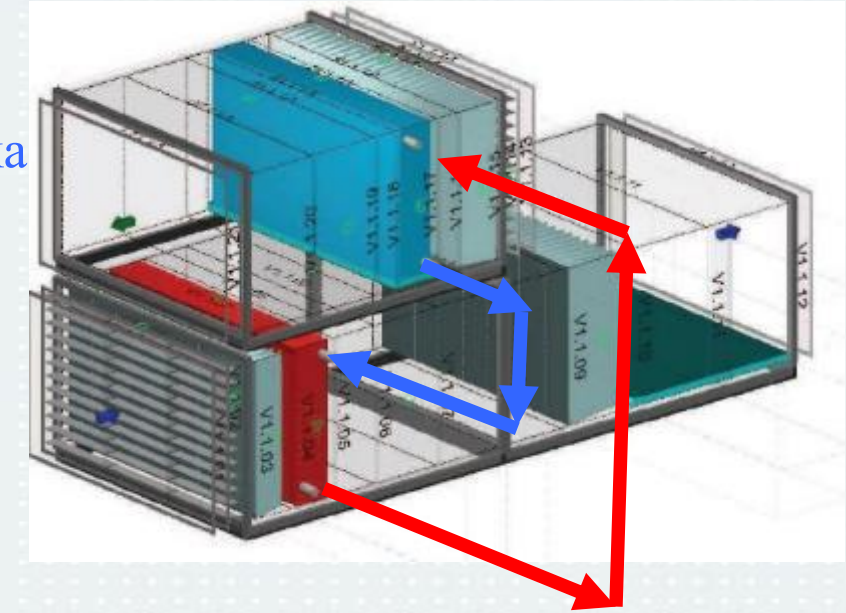
Výskyt teplot - četnost po hodině během roku

- za daných podmínek rotační systém ZZT oproti deskovému systému uspoří za zimní období cca 9100 kg/h páry, tj. cca 7,8 MWh elektřiny

Moderní glykolové okruhy + hydroboxy

Zcela oddělené proudy vzduchu. Samostatné zařízení pro přívod a odvod vzduchu.

odvodní jednotka



přívodní jednotka

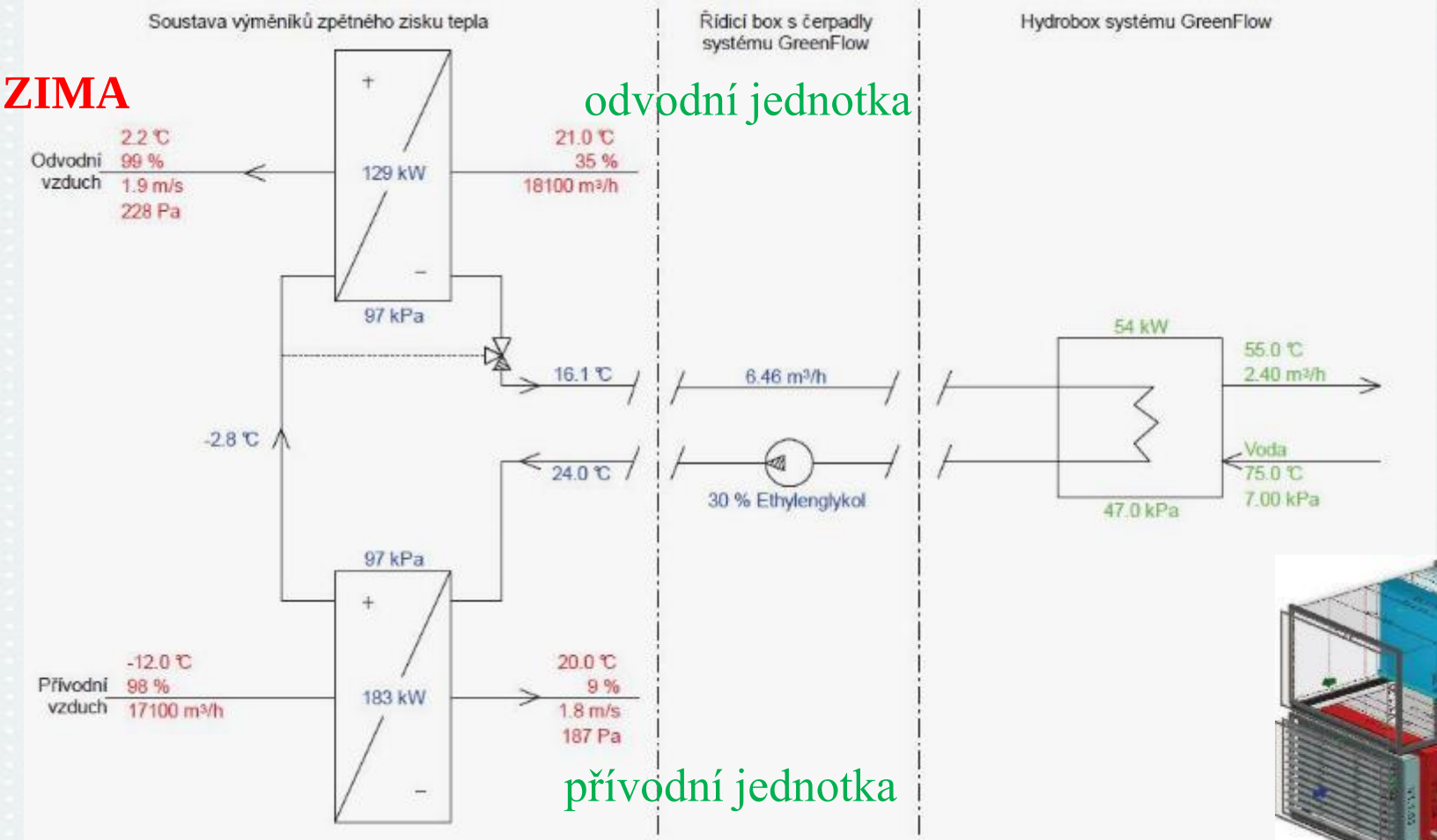
1. část - rekuperační nízkoteplotní okruh ZZT s nuceným oběhem nemrznoucí směsí zajišťuje výměnu tepla mezi výměníkem na odsávaném vzduchu a výměníkem vestavěným do jednotky přívodu čerstvého vzduchu.

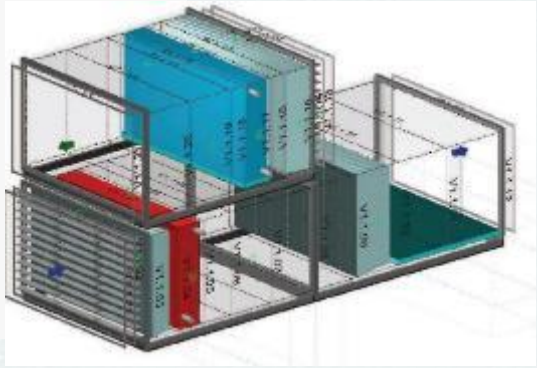
2. část – doplňkový okruh je tvořený externím hydroboxem, sestava uzavíracích vyvažovacích, filtračních, zpětných, vypouštěcích, odvzdušňovacích a pojistných armatur, expanzním zařízením, regulačními prvky a snímači MaR, dále dvěma dodatkovými deskovými výměníky tepla (ohřívačem a chladičem) napojenými na rozvody tepla a chladu a čerpadlem

cc BY NC SA

Moderní glykolové okruhy + hydroboxy

FUNKCE - ZIMA



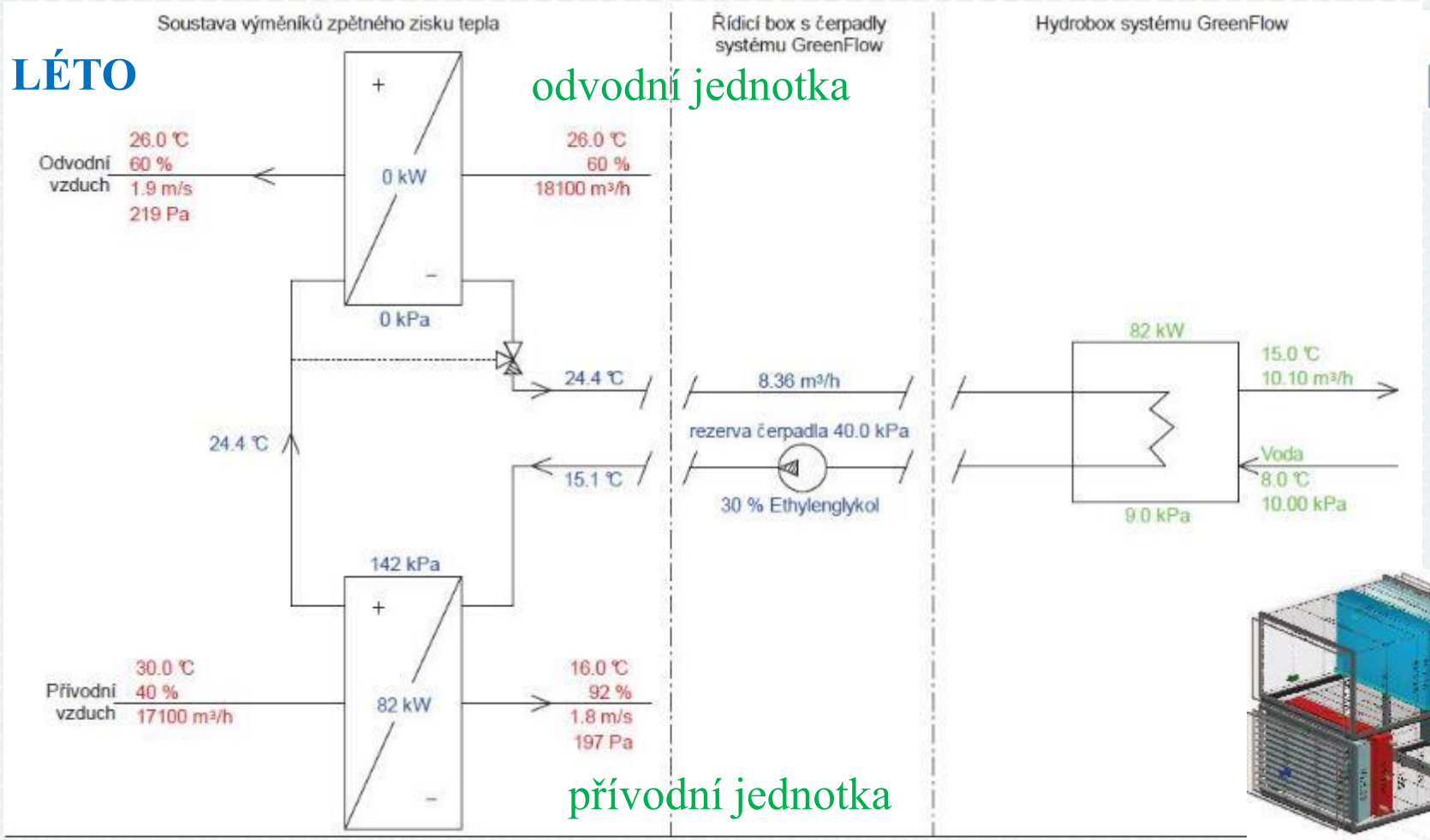


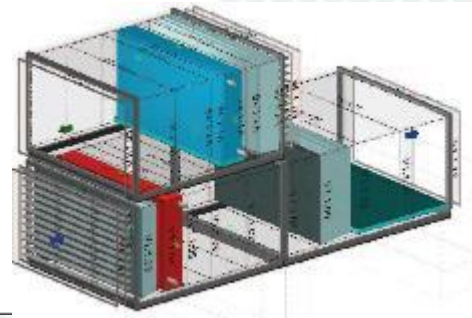
přívodní teplotní účinnost systému ZZT udávaná výrobcem – až 65%

27

Moderní glykolové okruhy + hydroboxy

FUNKCE - LÉTO

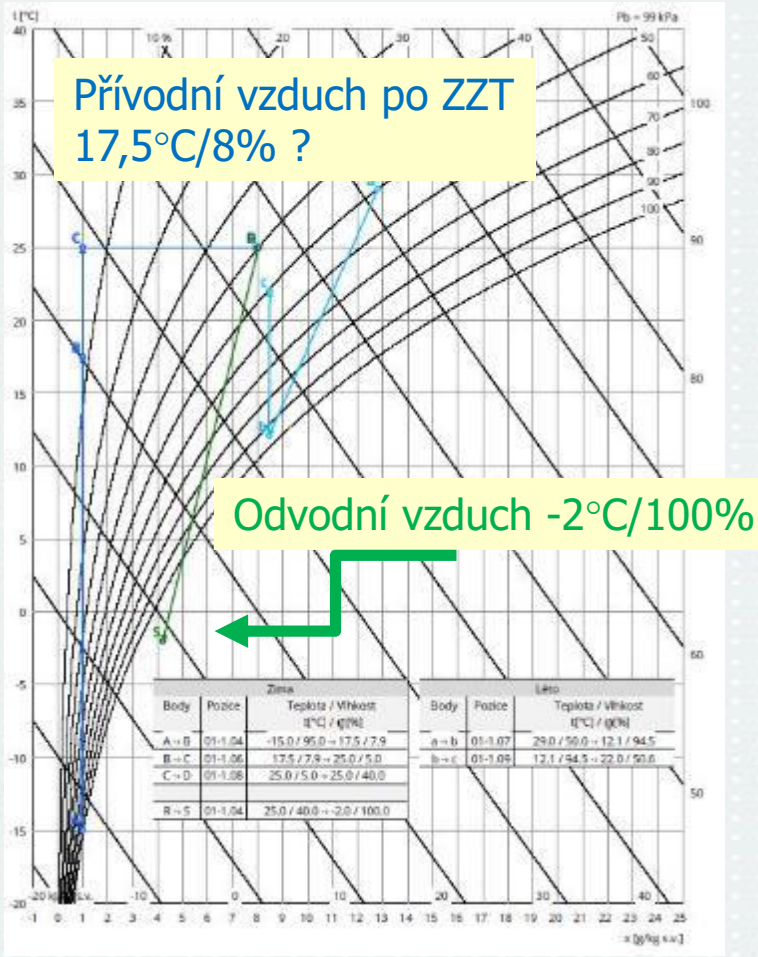




cc BY NC SA

Ecodesign 2018 a účinnost ZZT

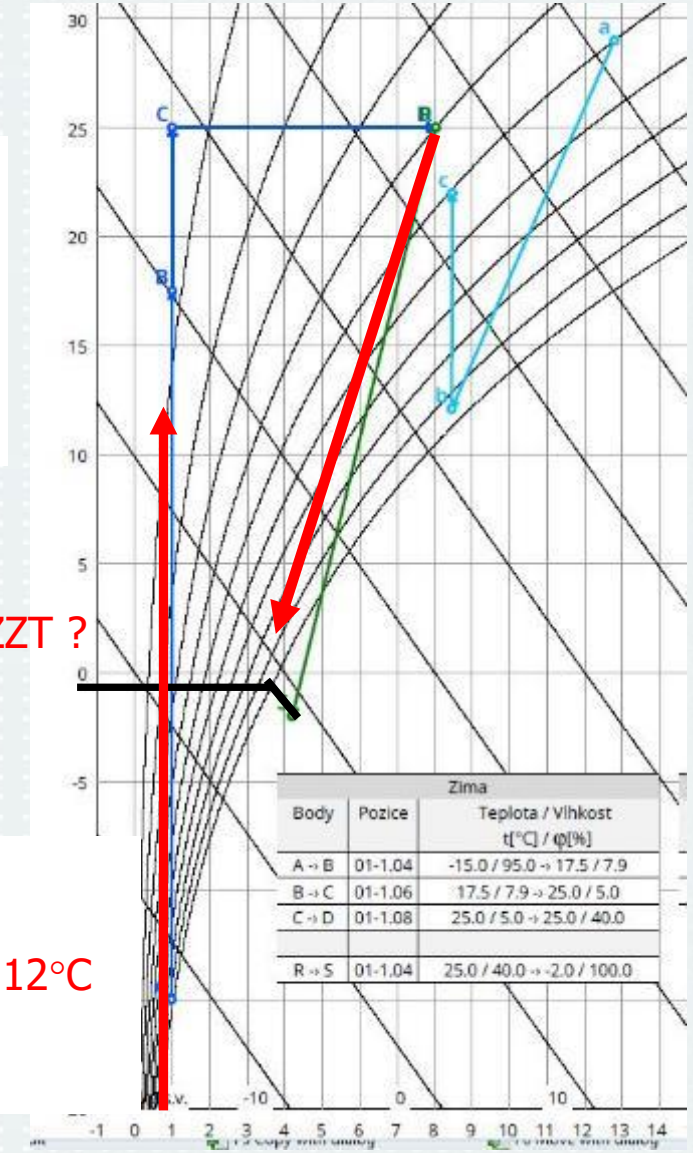
Jednotka s řízeným odvlhčováním, v průřezu 1,6 m/s; 6.675 m³/h; dp 950 Pa



TECHNIKA

- účinnost ZZT 81%
- realita na odvodu ?
- zamrznutí ?
- matematicky ANO
- fyzicky NE
- výkon ohřívače 17 kW

- účinnost ZZT 68%
- teplota na odvodu +3°C
- teplota po ZZT na přívodu 12°C
- výkon ohřívače 30 kW
- Ecodesign - NE

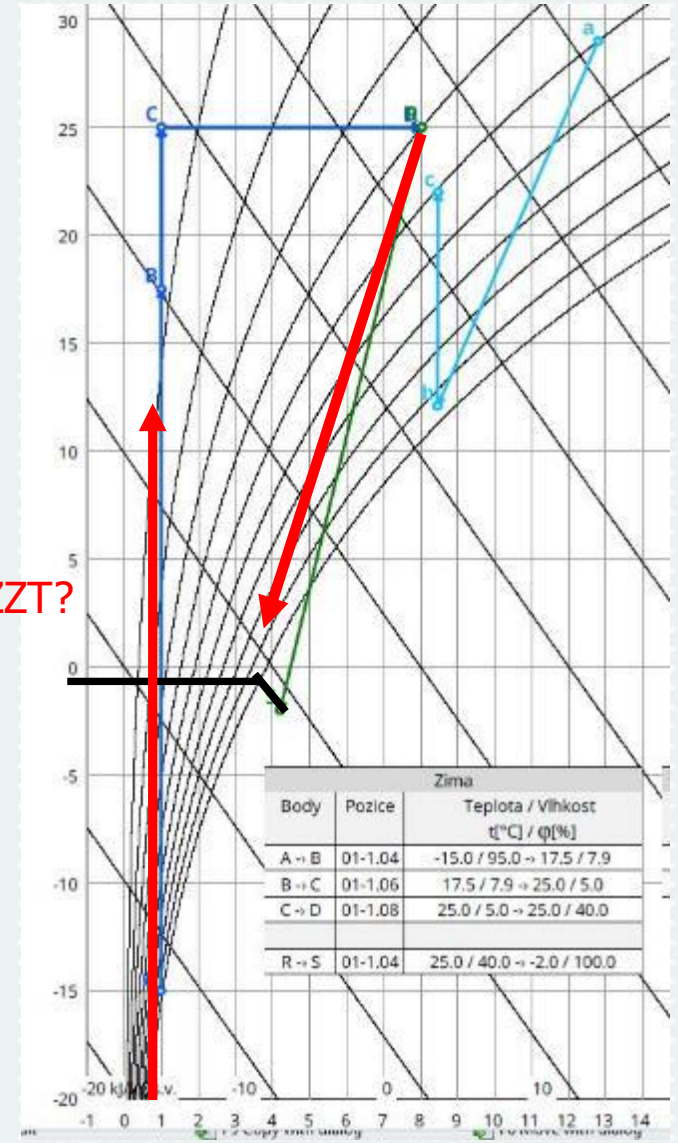


29

Ecodesign 2018 a účinnost ZZT

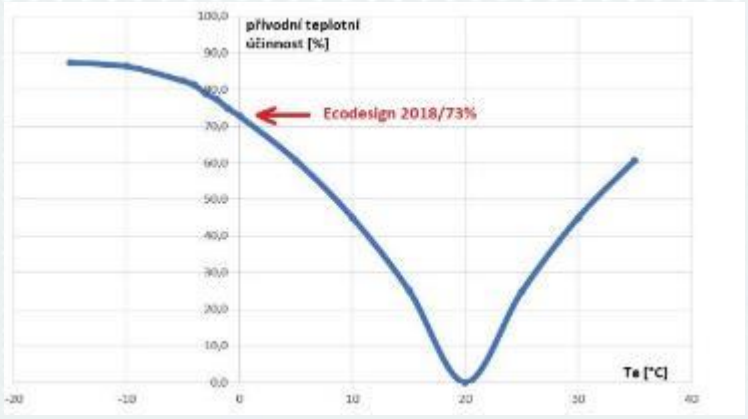
Zamrznutí – destrukce - realita

Zamrznutí ZZT?



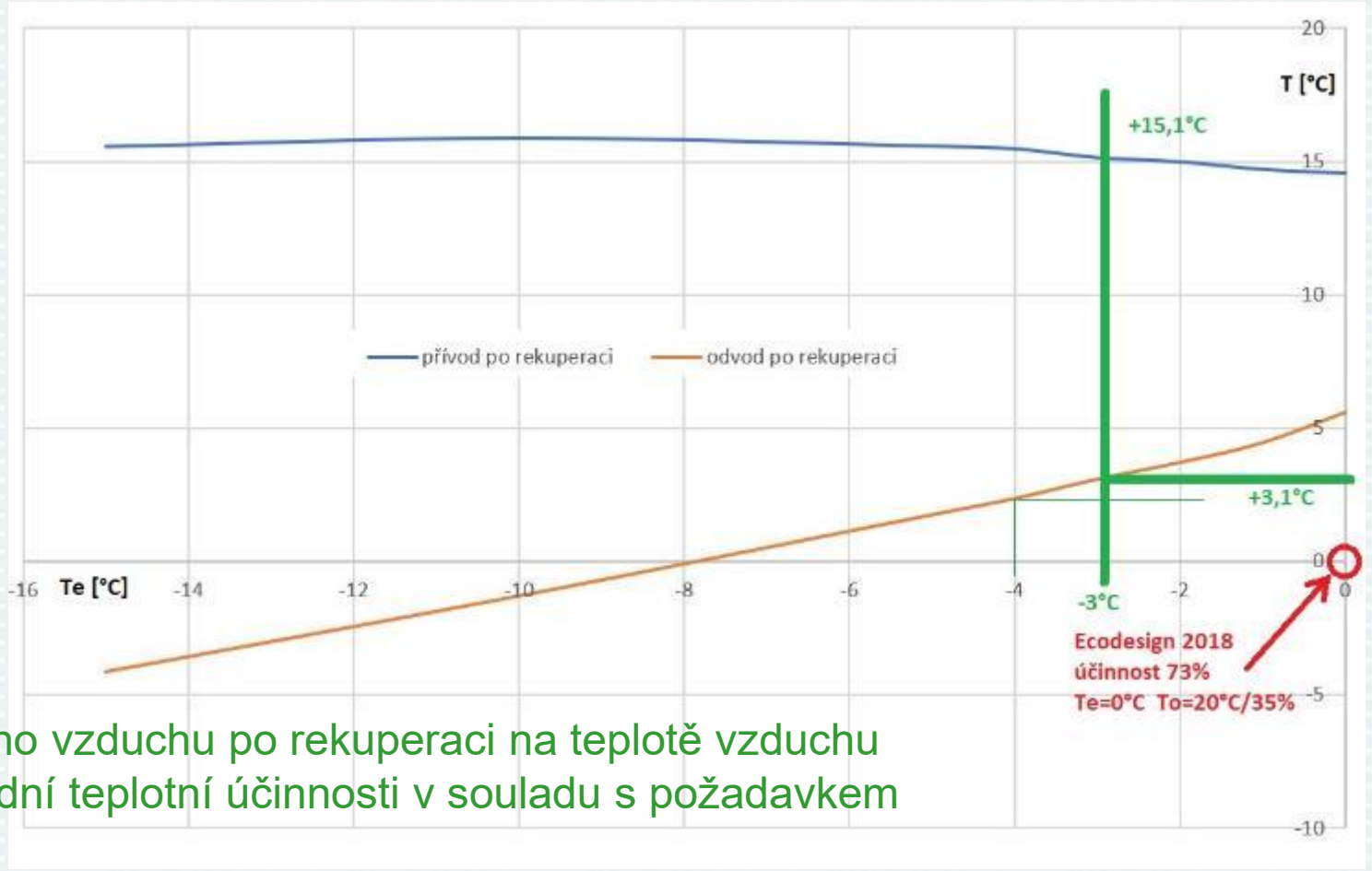
CC BY NC SA

Reálné využití vysoké účinnosti v souladu s NAŘÍZENÍM KOMISE (EU) č. 1253/2014



pro Te
0 °C - To=5,6 °C kondenzace 0 kg/h
-1 °C - To=4,5 °C kondenzace 0 kg/h
-2 °C - To=3,7 °C kondenzace 1,3 kg/h
-3 °C - To=3,1 °C kondenzace 2,5 kg/h
-5 °C - To=1,8 °C kondenzace 5,1 kg/h
-10 °C - To= -1,3 °C kondenzace 10,3 kg/h
-15 °C - To= -4,1 °C kondenzace 14,6 kg/h

stav odváděného vzduchu 20°C/35%, P=O=5000m³/h



Simulovaná závislost teploty odváděného vzduchu po rekuperaci na teplotě vzduchu v exteriéru a idealizovaném stavu přívodní teplotní účinnosti v souladu s požadavkem EC 2018, dT =20°C, účinnost 73%

BY NC SA

Rozdělení ventilátorů

Podle směru proudění
- **radiální**
- **axiální**
- **diagonální**
- **diametrální**

Podle dopravního tlaku
- **nízkotlaké** s tlakem do 1kPa
- **středotlaké** s tlakem do 3 kPA
- **vysokotlaké** s tlakem větším jak 3 kPa

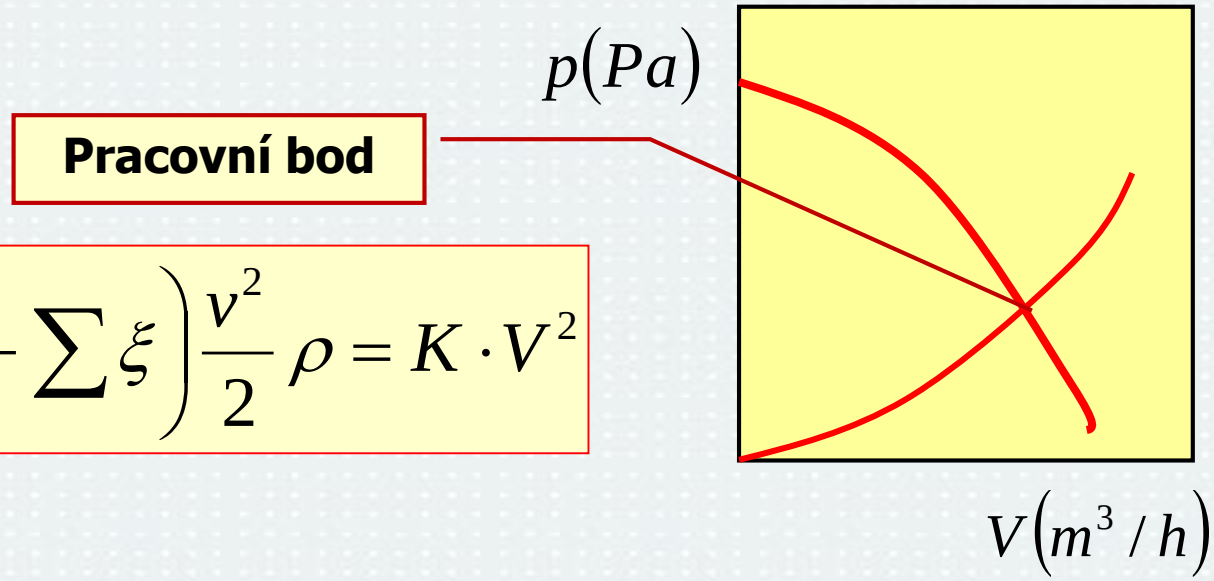
Podle připojení motoru
- **s pohonem na přímo**, kdy je hřídel oběžného kola ventilátoru spojená i pro elektromotor
- **na spojku**
- **s převodem**, nejčastěji řemenovým

cc BY NC SA

Charakteristika ventilátoru

Křivka udávající vztah mezi průtokem vzduchu a dopravním tlakem se nazývá charakteristika ventilátoru.
Úkolem ventilátoru je překonávání hydraulických ztrát v potrubní síti při dopravě vzduchu. Tím je určena charakteristika sítě **K** (Pa.s2.m6) ze vztahu

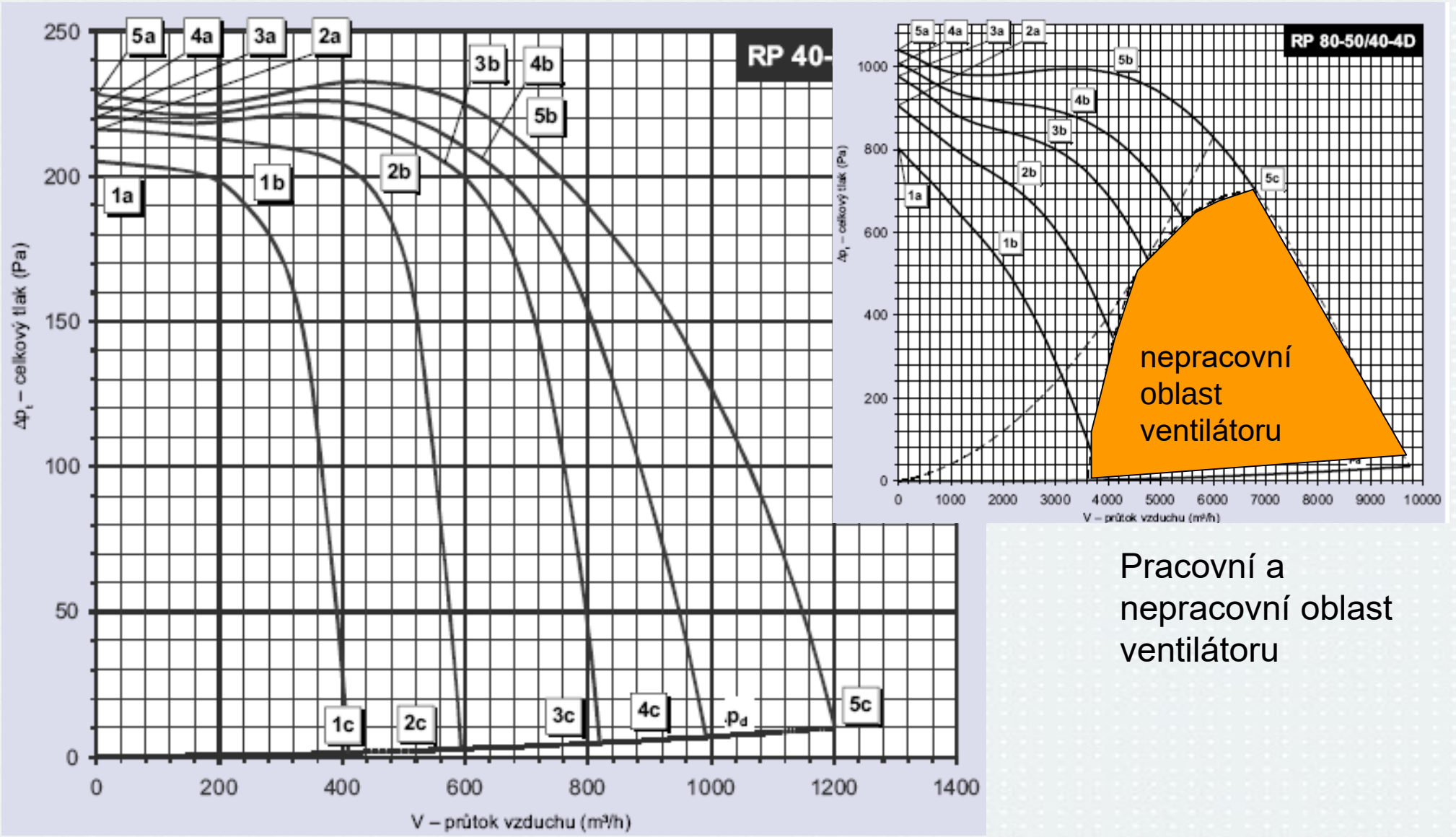
$$p_z = \left(\frac{\lambda L}{d} + \sum \xi \right) \frac{v^2}{2} \rho = K \cdot V^2$$



Součinitel ξ představuje vřazené odpory, L celkovou délku potrubí, d rovnocenný průměr potrubí, v rychlost proudícího vzduchu a ρ jeho hustotu.

cc BY NC SA

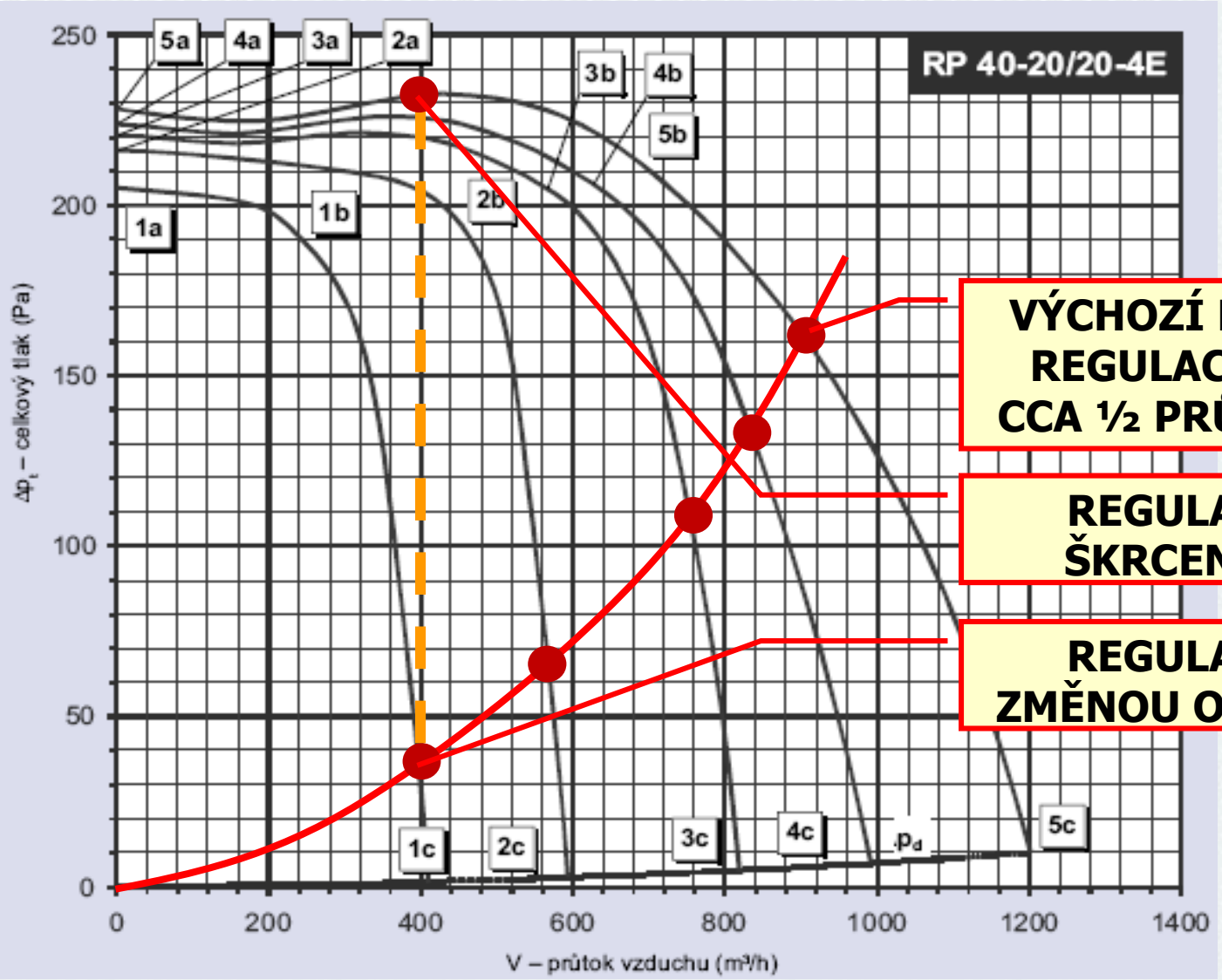
Charakteristika ventilátoru



Pracovní a nepracovní oblast ventilátoru

cc BY NC SA

Regulace ventilátoru



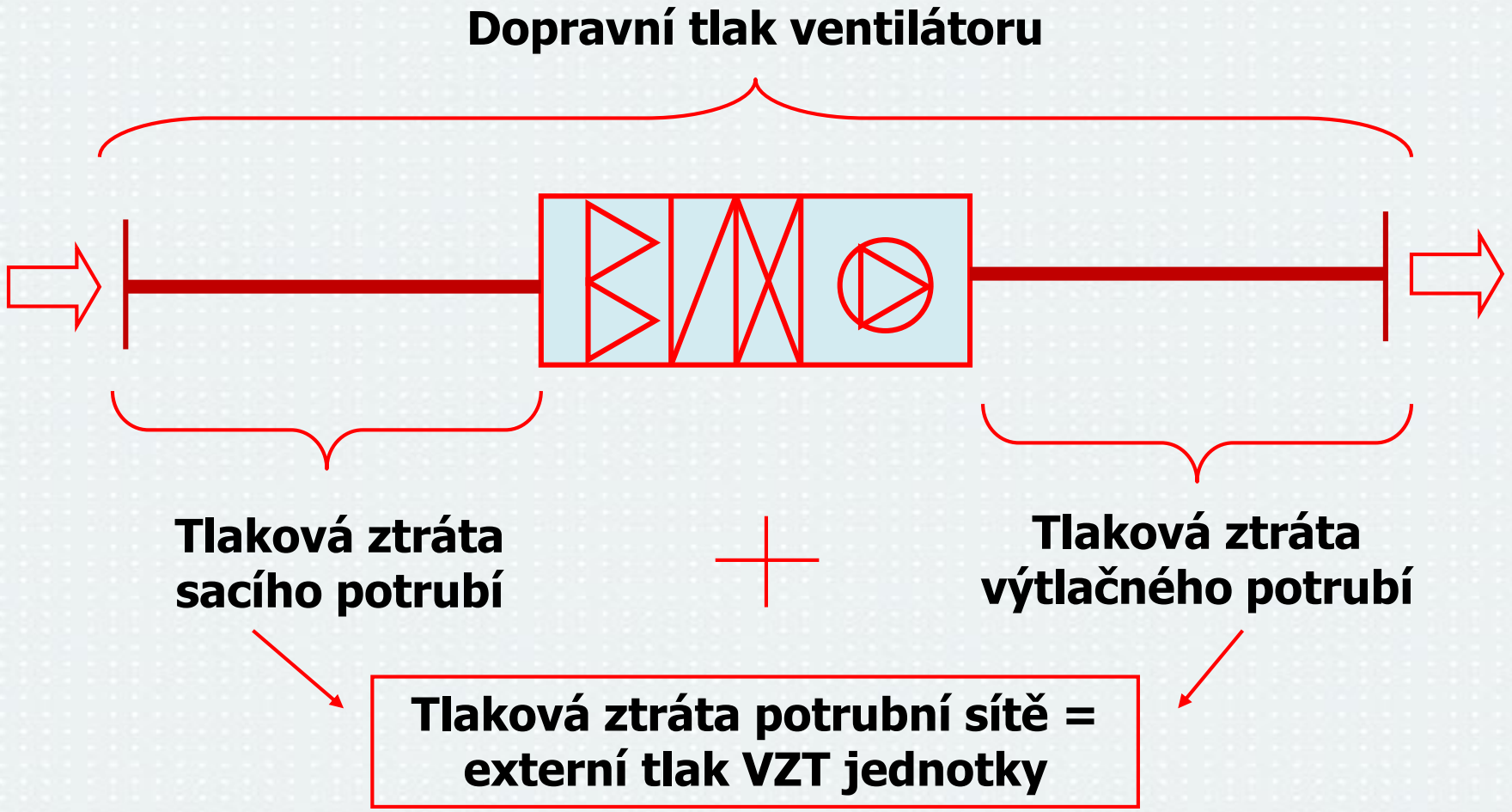
VÝCHOZÍ BOD – REGULACE NA CCA ½ PRŮTOKU

REGULACE ŠKRCENÍM

REGULACE ZMĚNOU OTÁČEK

CC BY NC SA

Návrh ventilátoru – tlaková ztráta a dopravní tlak

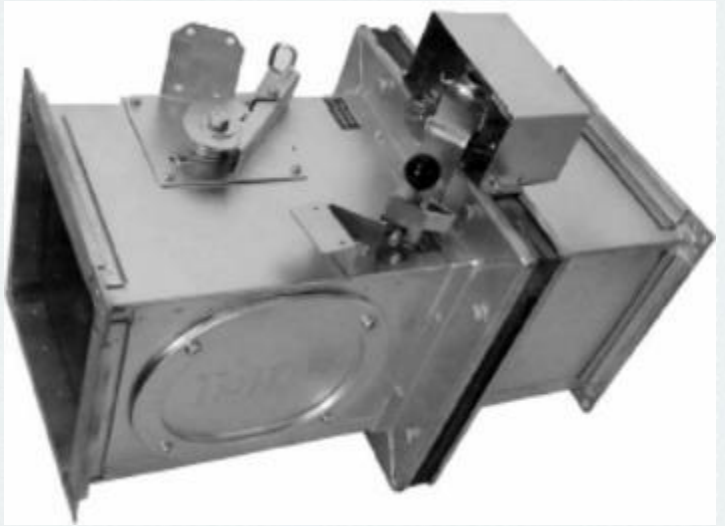


Příslušenství VZT rozvodů

Regulační klapka vícelistá – ovládání ruční nebo servopohonem

Zpětná klapka (samotížná)

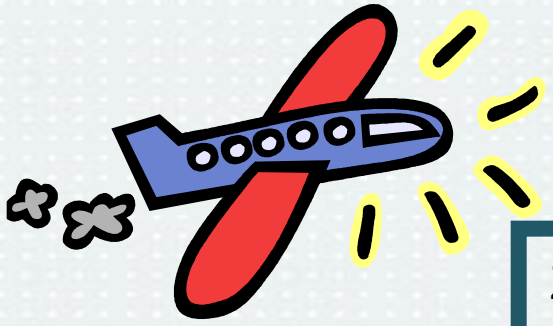
Regulátor průtoku



Požární klapka

cc BY NC SA

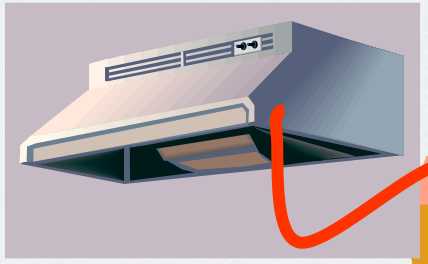
Akustika ve vzduchotechnice



ZDROJE HLUKU
VNĚ STAVBY

Akustické mikroklima

ZDROJE HLUKU
UVNITŘ STAVBY



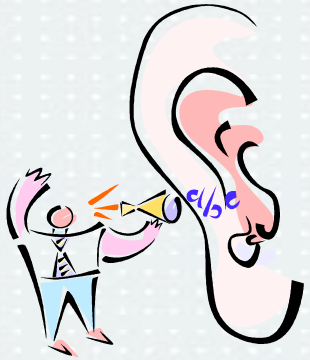
ŠÍŘENÍ HLUKU

hluk =
nepříjemný zvuk

cc BY NC SA

Akustika ve vzduchotechnice

Zvuk je každé podélné mechanické vlnění v látkovém prostředí, které je schopno vyvolat v lidském uchu sluchový vjem



ZVUK

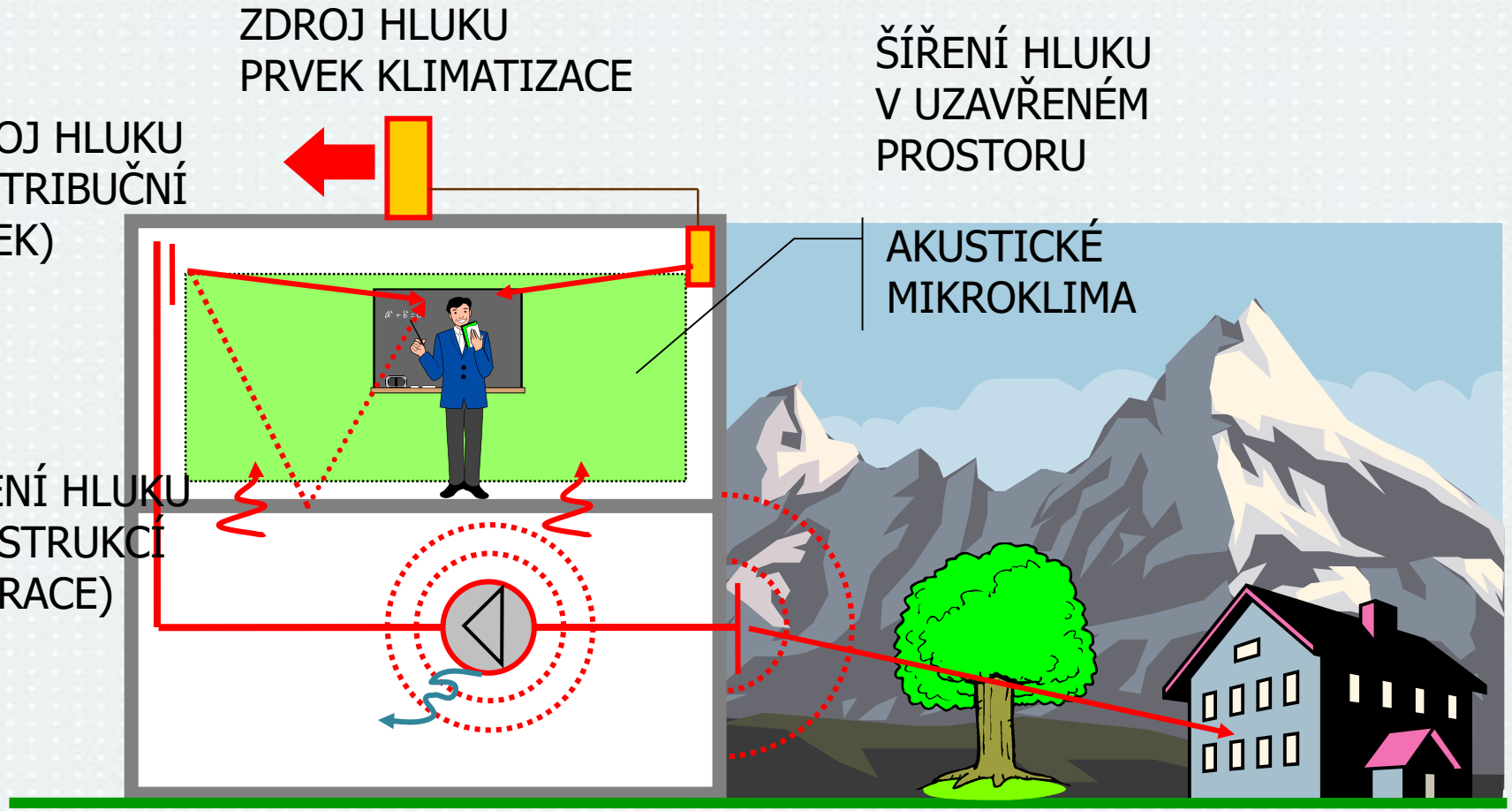
- TÓN
  - VÝŠKA (FREKVENCE)
  - DÉLKA
  - SÍLA (INTENZITA)
- HLUK

Akustické spektrum - souboru hodnot sledované akustické veličiny uváděný v závislosti na kmitočtu

Doba dozvuku T - čas, za který hladina akustického tlaku nebo hladina hluku v uzavřeném prostoru klesne po skončení činnosti zdroje zvuku (po zániku přímého zvuku) o 60 dB

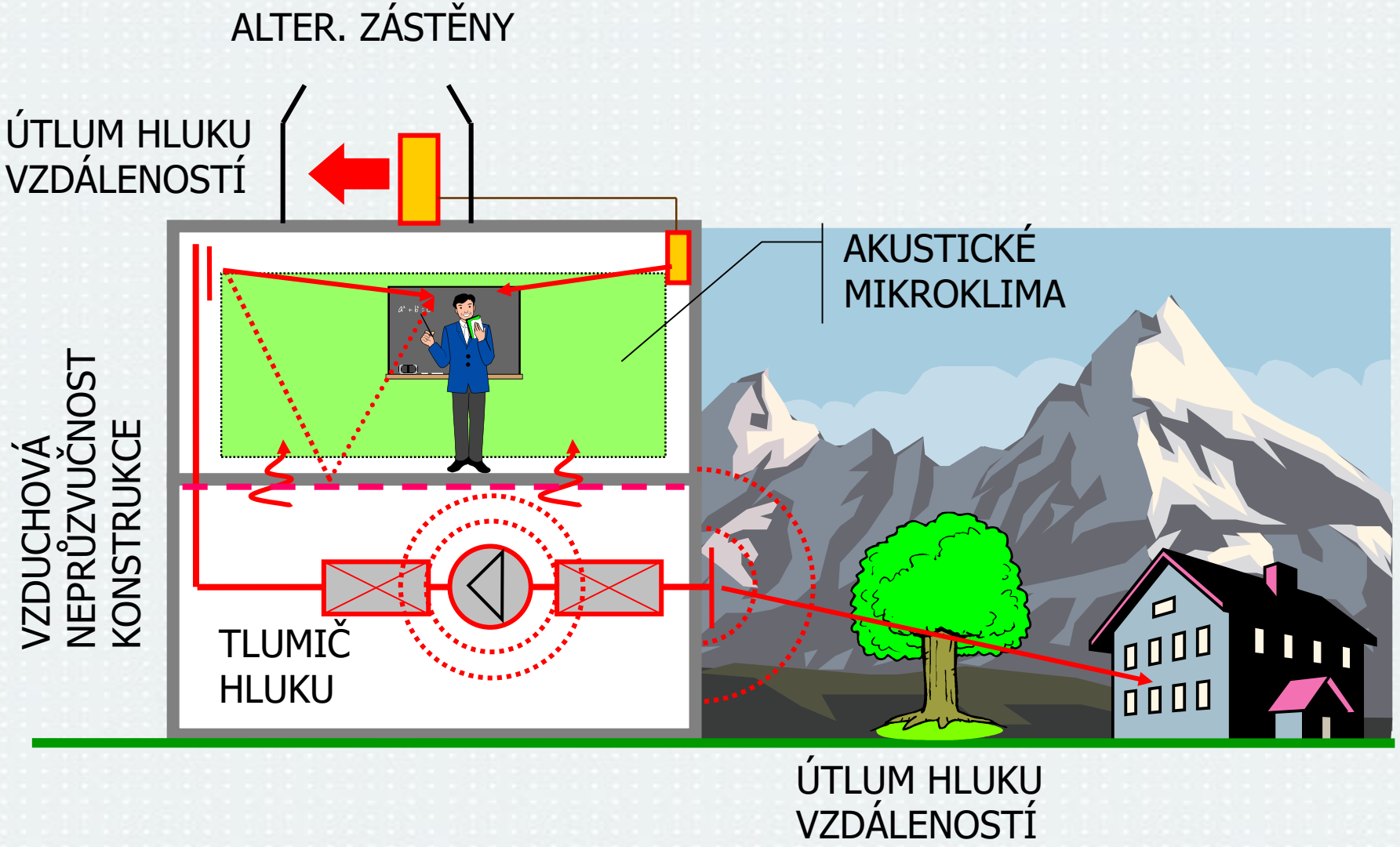
CC BY NC SA

Akustika ve vzduchotechnice - šíření



cc BY NC SA

Akustika ve vzduchotechnice - eliminace



cc BY NC SA

Akustika ve vzduchotechnice - eliminace

Akustický výkon ***W*** (W) = veličina popisující zdroj hluku

Akustický tlak ***P*** (Pa) = změna tlaku vzduchu.

Intenzita zvuku ***I*** (W/m^2) charakterizuje sílu zvuku v určité vzdálenosti od zdroje; energie, která za 1s dorazí na plochu $1m^2$

Pro přizpůsobení veličin lidskému vnímání zvuku se používají hladiny (B, dB)

Referenční hodnoty: $W_o = 10^{-12}$ W; $p_o = 2.10^{-5}$ Pa; $I_o = 10^{-12}$ Wm^{-2}

ČLOVĚK:	20 - 20 000 Hz
PES:	40 - 46 000 Hz
KŮŇ:	31 - 40 000 Hz
SLON, SKOT:	16 - ? Hz

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{r_2}{r_1} \qquad \frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2 \qquad I_{st} = \frac{I}{4.\pi.r^2}$$

Základní veličiny

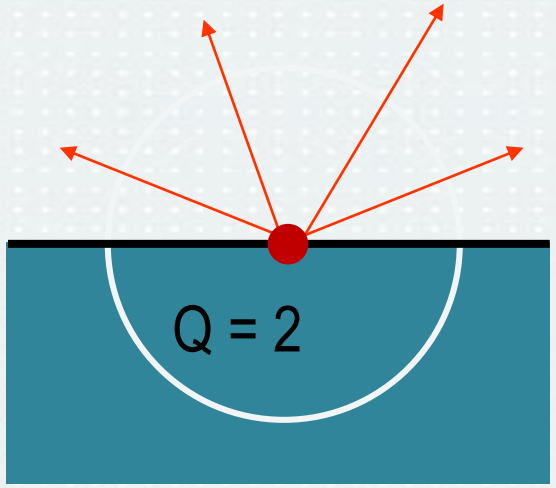
$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{f}$$

$$L_W = 10\log\frac{W}{W_0} \qquad L_p = 20\log\frac{p}{p_0}$$

Odvozené veličiny = hladiny

cc BY NC SA

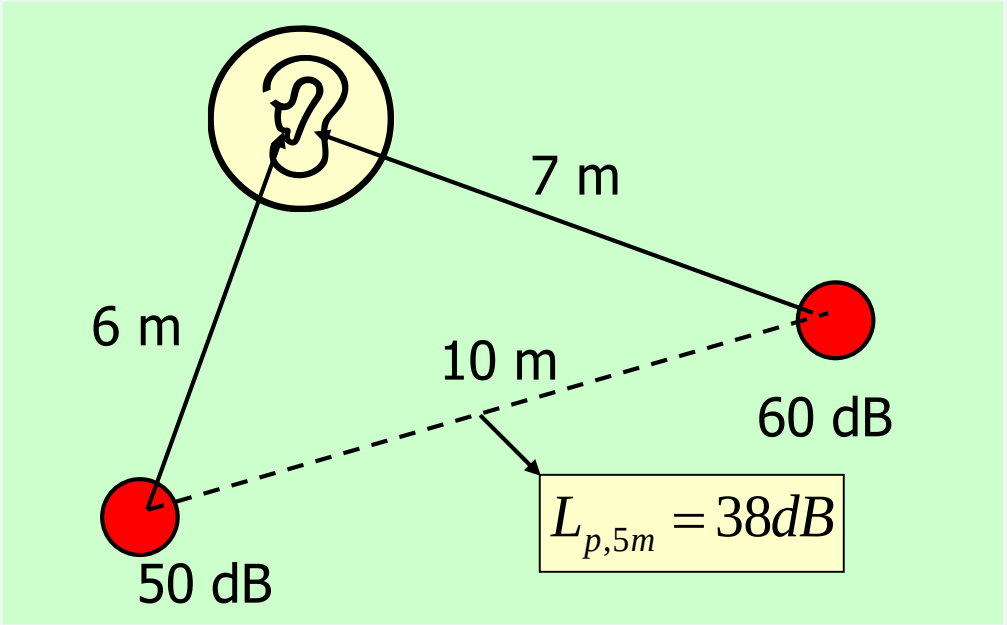
Zvuk - šíření ve volném prostoru



$$L_{p1} = 50 + 10 \cdot \log\left(\frac{2}{4\pi 6^2}\right) = 50 - 23 = 27dB$$

$$L_{p2} = 60 + 10 \cdot \log\left(\frac{2}{4\pi 7^2}\right) = 60 - 25 = 35dB$$

Na střeše jsou umístěny 2 nástřešní ventilátory. Zjistěte celkový akustický tlak v místě posluchače a uprostřed spojnice obou ventilátorů



$$L_p = L_{p1} + L_{p2} = 27 + 35 = 35dB$$

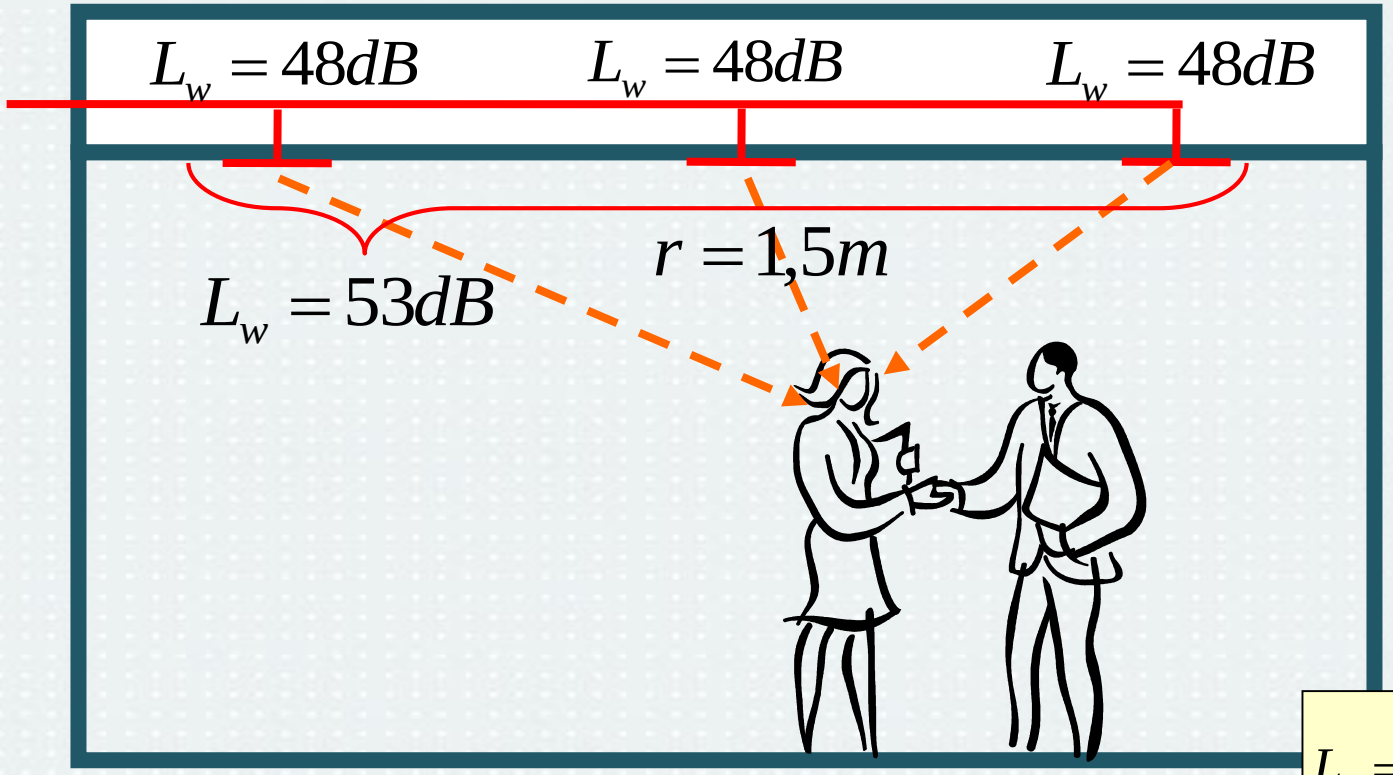
cc BY NC SA

Zvuk - šíření v uzavřeném prostoru

$$L_p = L_w + 10\log\left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{A}\right)$$

$$S = 500m^2; \quad \alpha = 0{,}14; \quad 10osob$$

$$A = 0{,}14.500 + 10.0{,}4 = 70 + 4 = 74m^2$$

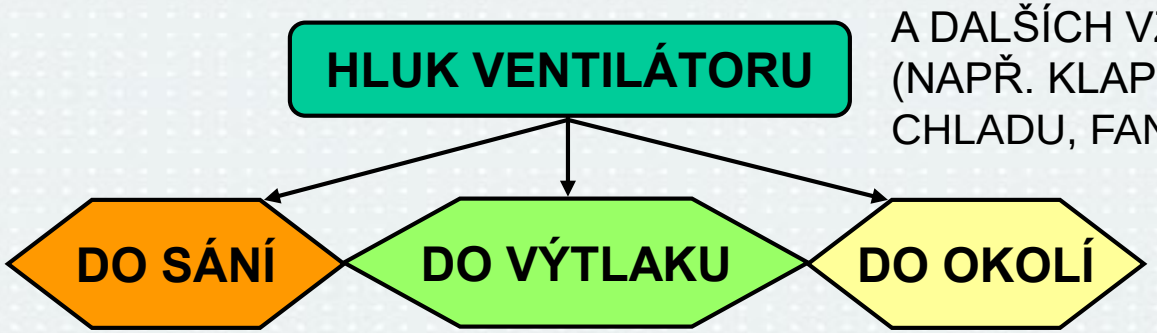


AKUSTICKY TVRDÉ MATERIÁLY	Mramor	0,010
	Beton	0,015
	Sklo	0,027
	Omítnutá stěna	0,025
	Neomítnutá stěna	0,032
	Stěna obložená dřevem	0,10
	Dřevěná podlaha	0,10
	Linoleum	0,12
AKUSTICKY MĚKKÉ MATERIÁLY	Obrazy	0,28
	Koberce	0,29
	Plyš	0,59
	Celotex	0,64

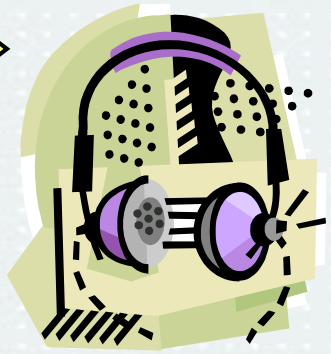
$$L_p = L_w + 10\log\left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{A}\right) = 53 + 10\log\left(\frac{2}{4\pi 1{,}5^2} + \frac{4}{74}\right)$$

$$= 53 + 10\log(0{,}07 + 0{,}05) = 53 - 9 = 44dB$$

Zvuk – útlum ve VZT



A DALŠÍCH VZT PRVKŮ (NAPŘ. KLAPKY), ZDROJŮ CHLADU, FANCOILU APOD.



L_W

ÚTLUM HLUKU V POTRUBÍ

ÚTLUM HLUKU V POTRUBÍ

L_p

POSOUZENÍ HLUKU V MÍSTĚ POSLUCHAČE

POSOUZENÍ HLUKU V OKOLÍ VENTILÁTORU

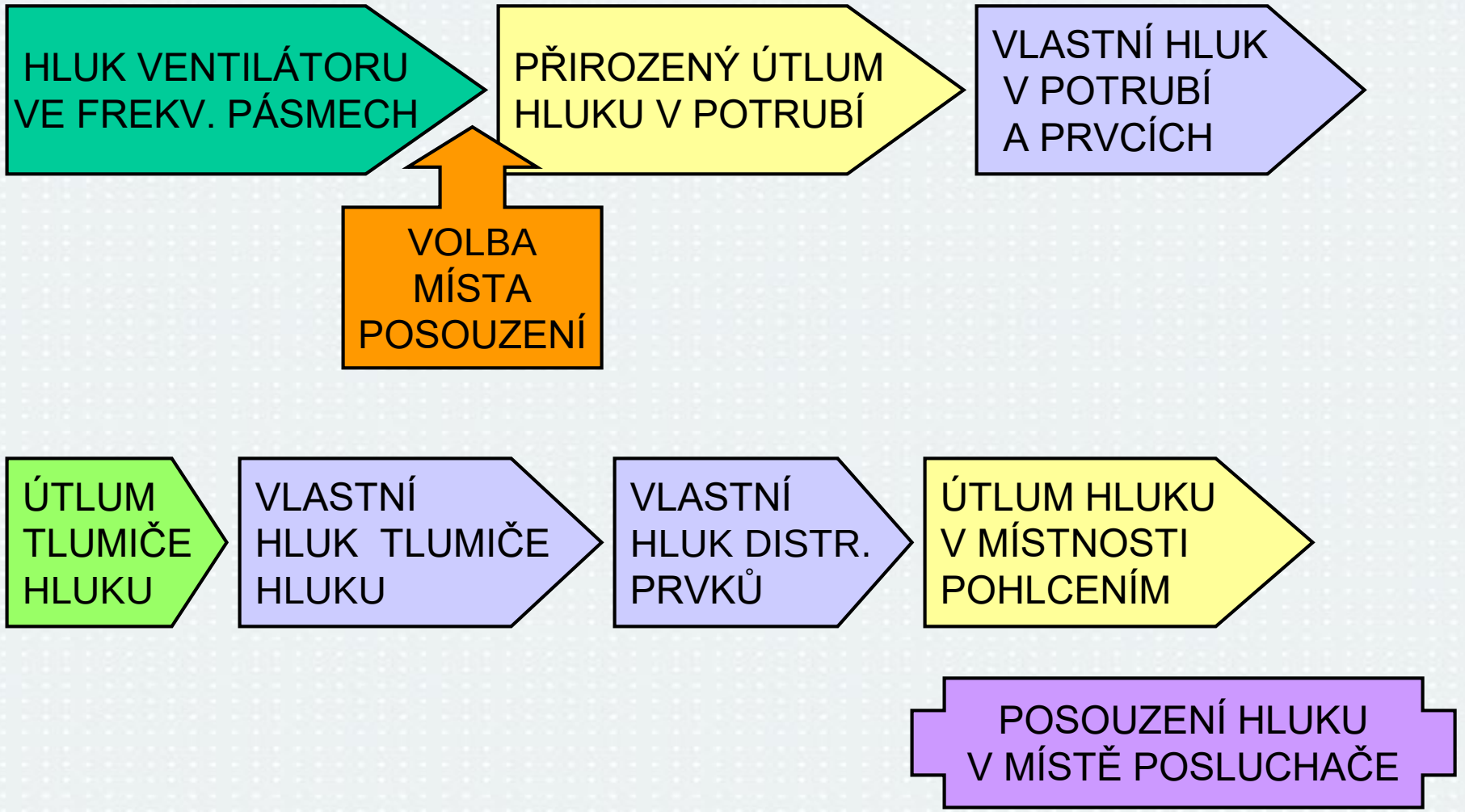
POSOUZENÍ HLUKU VE VENKOVNÍM PROSTORU

NÁVRH AKUSTICKÝCH OPATŘENÍ

NÁVRH TLUMIČE HLUKU

cc BY NC SA

Zvuk – útlum ve VZT



cc BY NC SA

Zvuk – právní předpisy - limity

vnitřní prostředí staveb	ČSN EN 16798-1	den (6-22h)	noc (22-6h)
nemocniční pokoje	20-35	0 (40)	- 15 (25)
operační sál	30-48	0 (40)	x
ložnice	20-35	X	X
obytné místnosti	25-40	0 (40)	-10 (30)
hotelové pokoje	25-40	10 (50)	0 (40)
učebny, přednáškové síně, jesle, MŠ	30-38	5 (45)	x
kina	30-35	10 (50)	x
čekárny, vestibuly, restaurace	35-50	15 (55)	x
prodejny	35-50	20 (60)	x

272/2011 Sb.
NAŘÍZENÍ VLÁDY ze dne 1. září 2011
O ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací

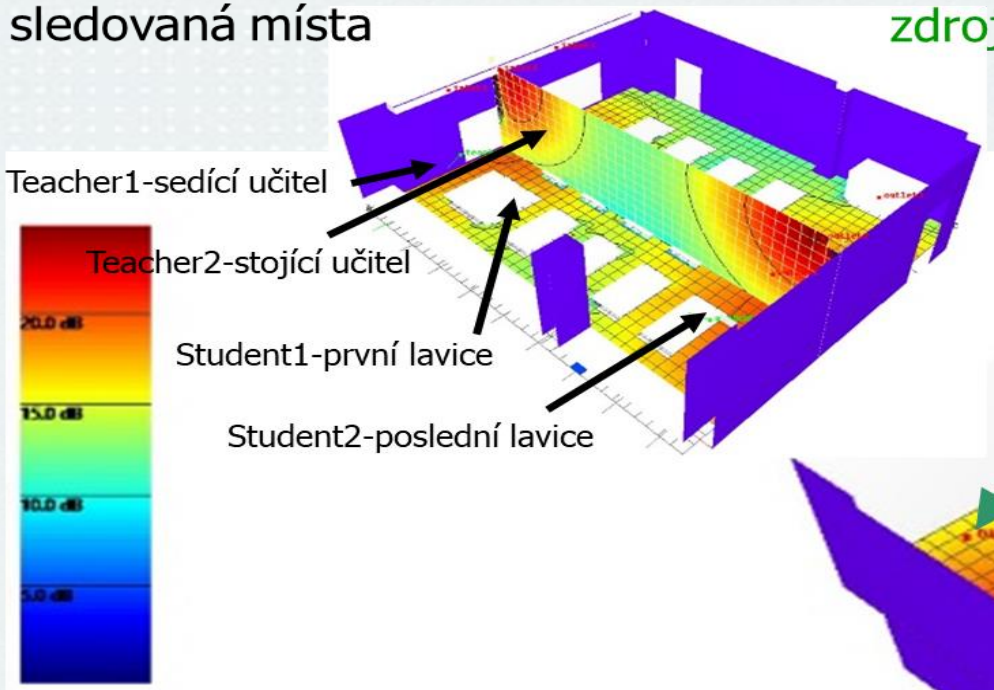
ČSN EN 16798–Energetická náročnost budov-Větrání budov-Část 1: Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posuzování energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky-Modul M1-6.

Doporučené hodnoty hladiny akustického tlaku příloha E (informativní), jsou zpravidla nižší, než hygienické limity dle NV 272/2011 Sb.

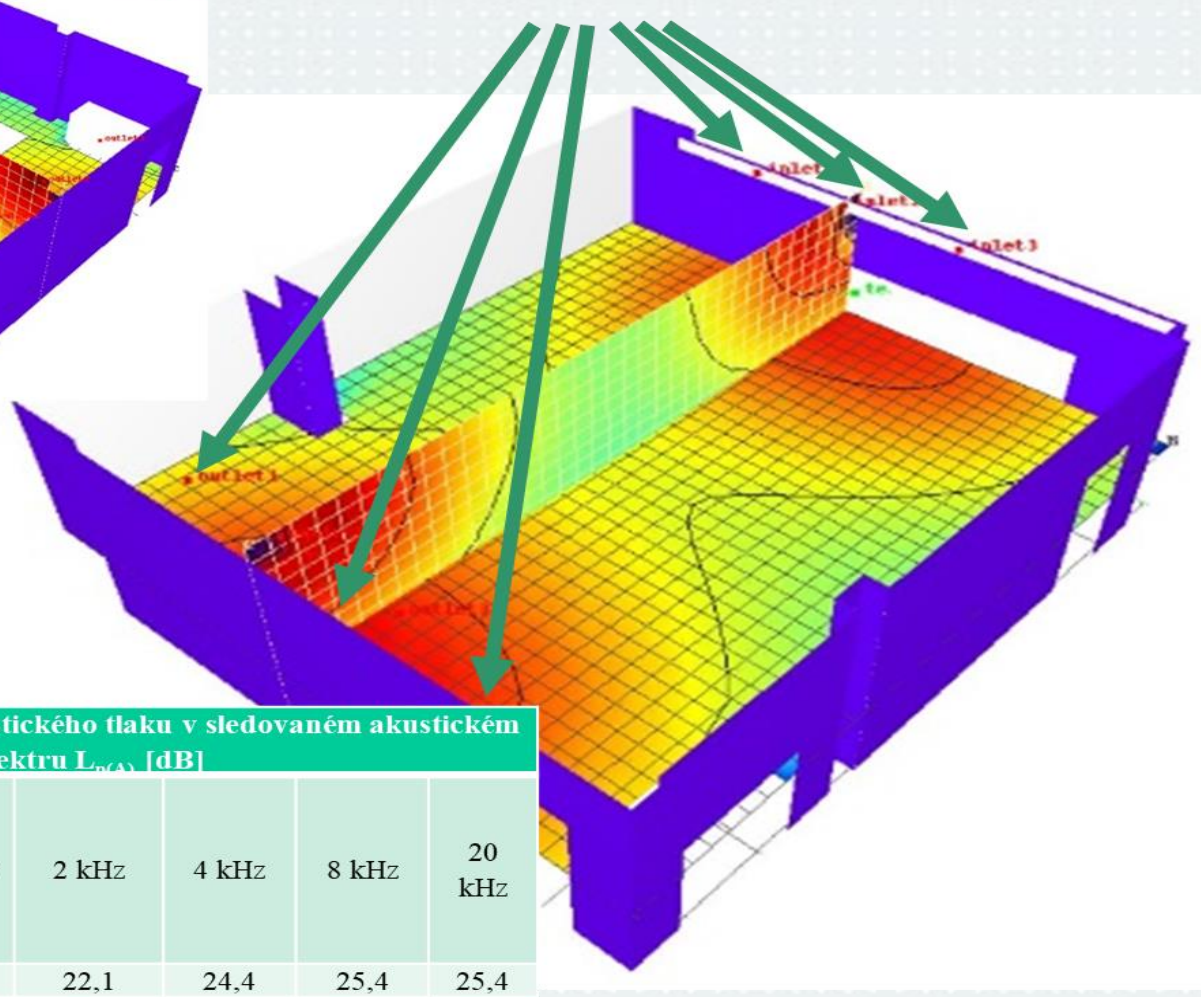
cc BY NC SA

Akustické pole

sledovaná místa



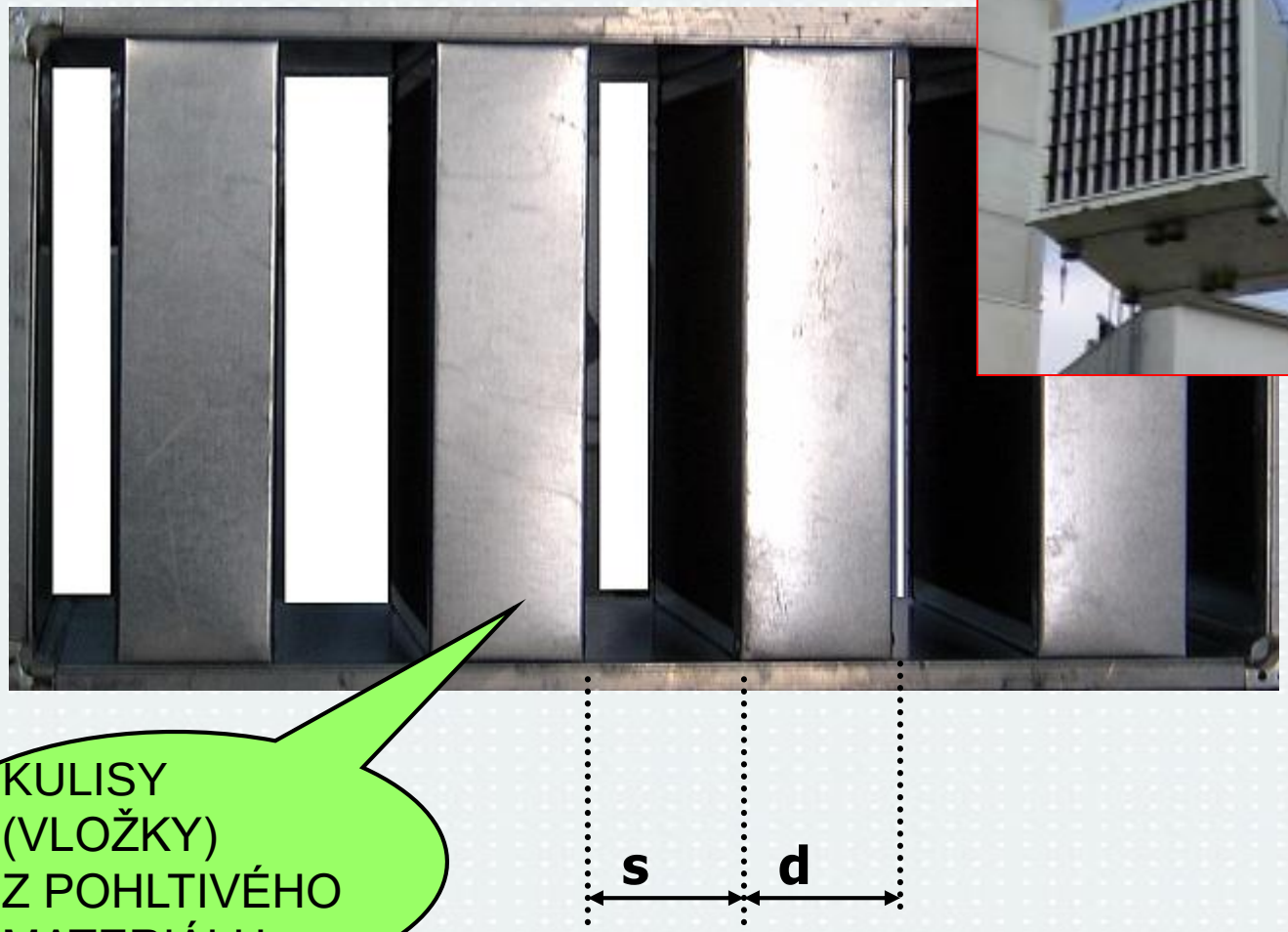
zdroje zvuku VZT - přívodní a odvodní vyústky



sledované místo	posuzovaná ekvivalentní hladina akustického tlaku [dB] $L_{Aeq,nT}$	dílčí hodnota hladiny akustického tlaku v sledovaném akustickém spektru $L_{p(A)}$ [dB]						
		50 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	20 kHz
teacher 1	**35,8**	3,3	15,3	18,9	22,1	24,4	25,4	25,4
teacher 2	**36,1**	3,5	15,5	19	22,2	24,5	25,6	26,0
student 1	**35,6**	3,2	15,3	18,8	22,0	24,3	25,3	25,1
student 2	**35,8**	3,3	15,3	18,8	22,1	24,3	25,4	25,3

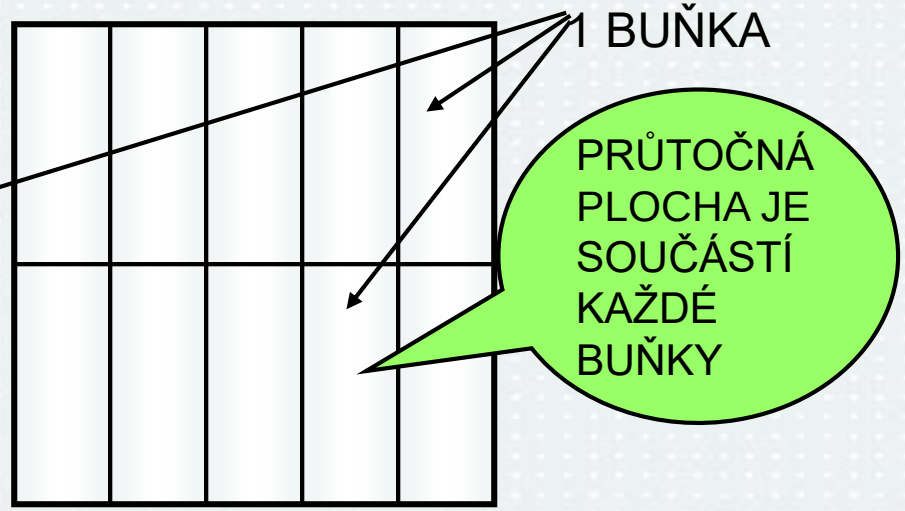
CC BY NC SA

Tlumiče hluku - kulisové



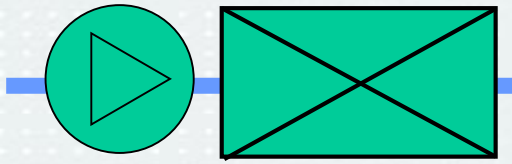
BY NC SA

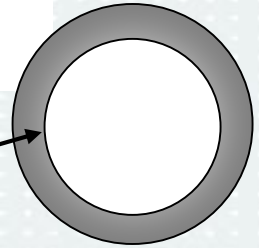
Tlumiče hluku - buňkové



cc BY NC SA

Tlumiče hluku - kruhové



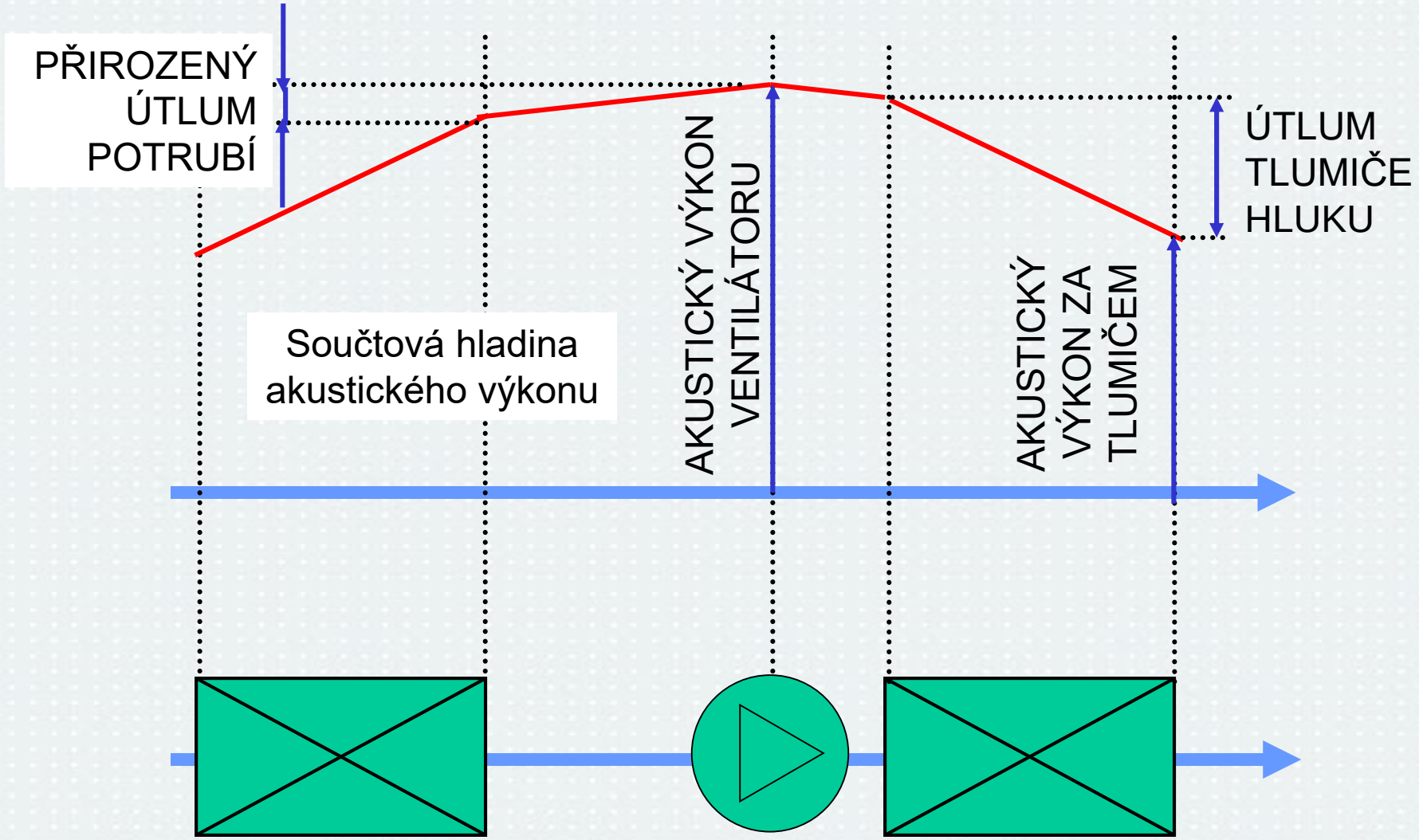


POHLTIVÝ MATERIÁL

www.greif.cz

BY NC SA

Útlum hluku v potrubí



cc BY NC SA

Útlum hluku v potrubí

Výpočet vlastního hluku tlumiče:

$$L_{w\,oct} = B + \left[10 \cdot \log\left(p \cdot c \cdot \frac{S}{W_0}\right) + 60 \cdot \log Ma + 10 \cdot \log\left(1 + \left(\frac{c}{2 \cdot f \cdot H}\right)^2 + 10 \cdot \log\left(1 + \left(\frac{f \cdot \Delta}{w_i}\right)^2\right)\right)\right]$$

verze 1.0.1
platná od 1. 10. 2011

Tlumiče hluku

Mart

Mart s.r.o. | IČO: 25510584 | třída Bří Čapků 2857/4, PSČ 695 05 Hodonín | info@mart.cz | +420 518 390 111

Vstupní hodnoty

Typ tlumiče: buňkový

Geometrie

šířka buňky:	a	300	mm	tloušťka izolace:	50 mm		
výška buňky:	d	500	mm	počet buněk:	e	2	x 2
délka tlumiče:	l	1000	mm	průtočná mezera:	g	200	mm

Parametry proudění

průtok vzduchu: Q = 10000 m³/h; hustota vzduchu: ρ = 1,2 kg/m³

Vybrané frekvence

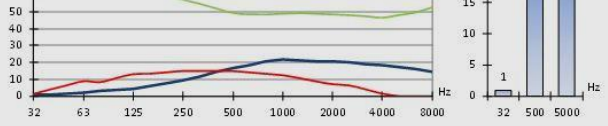
frekvence: f = 32 Hz; 500 Hz; 5000 Hz

Akustický výkon ventilátoru

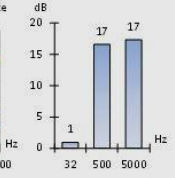
frekvence:	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	součtová hladina	
hl. akust. výkonu s váhovým filtrem A:	60	65	70	67	66	71	69	65	67	77	dB(A)

Výsledné vlastnosti

Útlum hluku



Vybrané frekvence



	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	součtová hladina	
přenosový útlum:	1	2	4	10	17	22	20	18	14	-	dB
vlastní hluk tlumiče:	1	9	13	15	15	12	7	1	0	21	dB(A)
hl. akust. výkonu za tlumičem s váh. filt.	59	63	66	57	49	49	49	47	53	69	dB(A)

Tlaková ztráta tlumiče

tlaková ztráta: 6 Pa
plocha tlumiče: 0,60 m²

Rychlost proudění

v celkovém průřezu: 4,6 m/s
ve volné ploše: 6,9 m/s

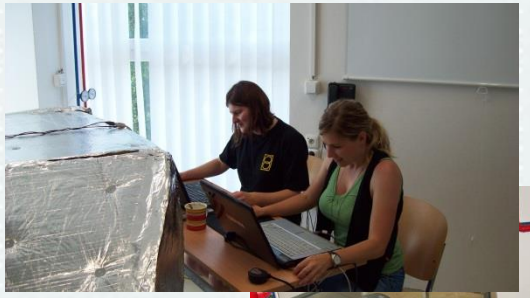
Kód objednávky

celkový rozměr: 600 x 1000 x 1000 mm - 4x BTH.300.500.1000

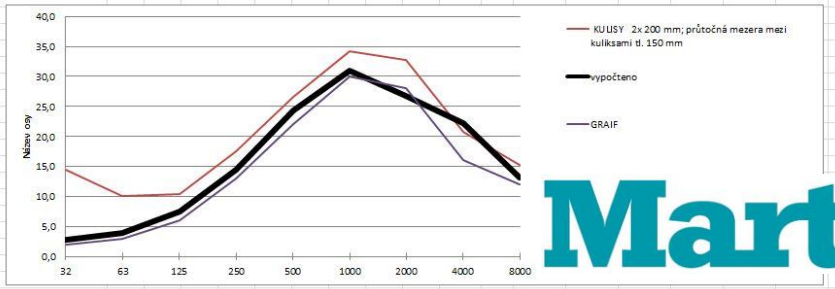
Všechny uvedené hodnoty jsou vypočteny s tolerancí ± 15%.

Technické řešení: FAST VUT v Brně - Fakulta stavební - Ústav technických zařízení budov

9.12.2011



	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Elektrodesign - poloviční intenzita zdroje
kulisový	14,5	10,1	10,4	17,5	26,6	34,3	32,7	20,7	15,3	KULISY 2x 200 mm; průtočná mezera mezi kuliksami tl. 150 mm
700x500-1000	2,8	3,9	7,5	14,5	24,3	31,0	26,8	22,2	13,1	vypočteno
	2	3	6	13	22	30	28	16	12	GRAIF



FAKULTA stavební ústav technických zařízení budov

Teoretická analýza, přenosový útlum, experiment - software

CC BY NC SA

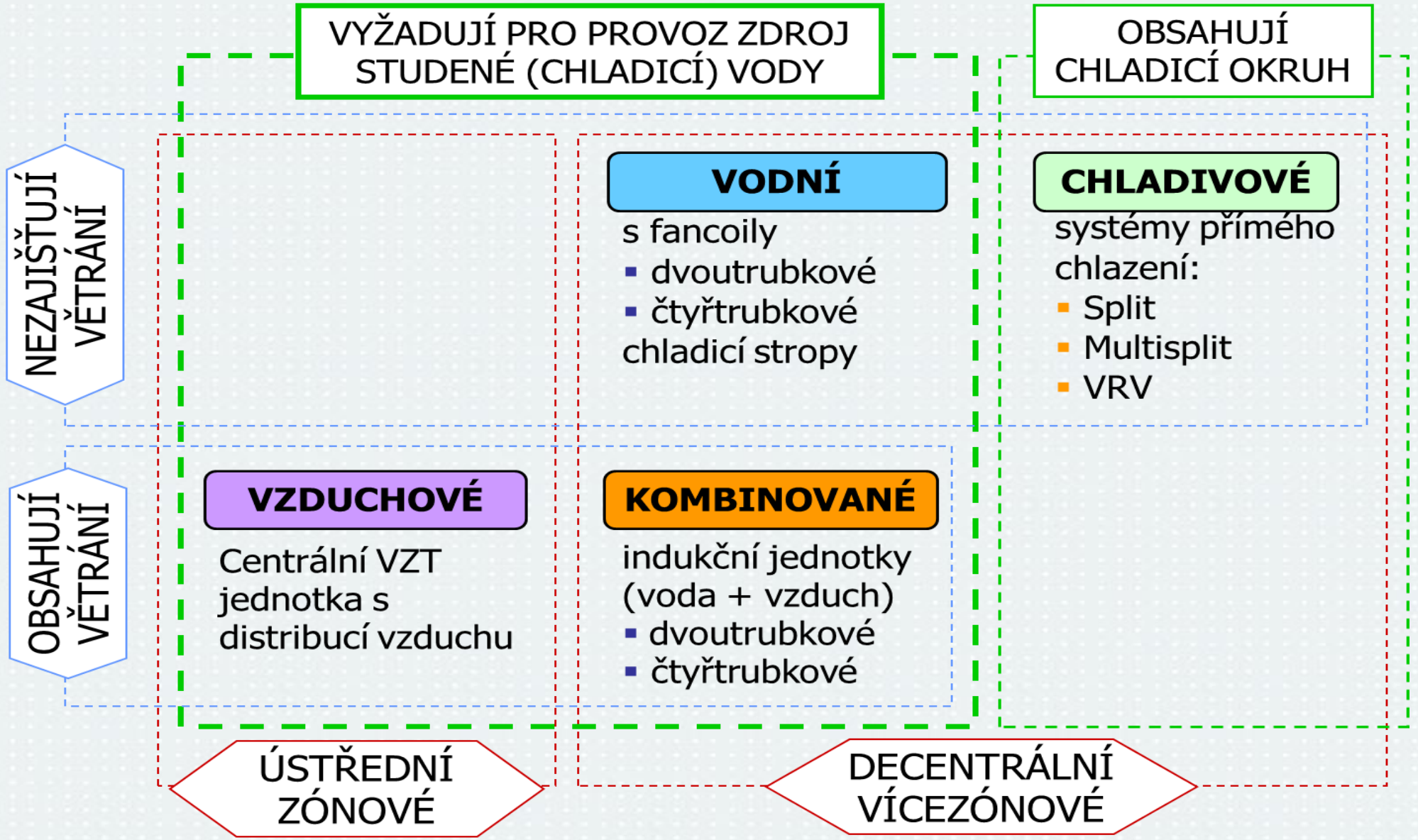
Posouzení útlumu hluku

Útlum hluku vzduchotechnického zařízení jméno:

ozn.	veličina	Hladiny akustického tlaku a výkonu a útlumy v oktávových pásmech							
		125	250	500	1000	2000	4000	součtová hladina	výpočet
L_{vv}	**Hluk ventilátoru**								
L_{vv}	Hladina akustického výkonu ventilátoru (dB)	85,0	80,0	82,0	78,0	75,0	68,0	**86**	podklady výrobce
K_a	Korekce váhového filtru A (dB)	-16,0	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0		Pokud výrobce udává hladinu bez váhového filtru A, je nutno váhový filtr připočítat.
L_{vv}	Hladina akustického výkonu ventilátoru (dB/A)	69,0	71,4	78,8	78,0	76,2	69,0	**83**	Pokud výrobce udává přímo hladinu ak.výkonu v (dB/A), pak vepíšeme bez další úpravy sem.
D_p	**Přirozený útlum**								
	úsek 1 - rovné potrubí, oblouky, rozbočka	2	2	1	1	0	0		tab. 1
	úsek 2 - rovné potrubí, oblouky, rozbočka	5	5	5	5	5	5		tab. 1
	úsek 3 - rovné potrubí, oblouky, rozbočka								tab. 1
	Útlum koncovým odrazem	7	6	5	4	3	2		obr. 1
D_p	Přirozený útlum celkem	14	13	11	10	8	7		
	Tlumič hluku 1	6	13	18	31	29	19		tlumič hluku v potrubí (čtyřhraný nebo kruhový), umístěný co nejblíže ventilátoru
	Tlumič hluku 2								2. tlumič hluku (např. 1. tlumič nestačí, nebo jsou distribuční prvky připojeny zvukově izolačním potrubím)
L_{v1}	**Hladina akustického výkonu ve vyústce**	49	45	50	37	39	43	**54**	
L_{vy}	Hladina akustického výkonu vyústky							**52**	údaj výrobce z úlohy nucené větrání, distribuce vzduchu
K	Korekce na počet vyústek	$L_k = 10 \cdot \log(n_2)$			počet vyústek:		8	9	Zohlední se vliv dalších (stejně hlučných) vyústek v místnosti
L_s	Hladina akustického výkonu všech vyústek	$L_S = 10.\log\left(10^{Lv1/10} + 10^{Lvy/10}\right) + K$						65	hladina akustického výkonu zdrojů v místnosti - vliv více zdrojů a vlastního hluku vyústky
Q	směrový činitel							2	nabývá hodnoty 2 až 8 podle umístění vyústky v prostoru
r	vzdálenost od vyústky k posluchači							2,5	nejmenší vzdálenost mezi vyústkou a osobami v místnosti
A	pohltivá plocha místnosti	$A = \alpha.S$						375	α...poměrná pohltivost povrchů místnosti (tab.) S...součet všech ploch obklopujících místnost
L_{so}	Hladina akustického tlaku v místě posluchače	$L_o = L_{v1} + 10 \cdot \log\left(\frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot r^2} + \frac{4}{A}\right)$						**51**	Hodnota, která se posuzuje s hygienickými předpisy
L_{pA}	Předepsaná hodnota hladiny akustického tlaku v místnosti							**50**	Směrodatné hodnoty určuje nařízení vlády o ochraně před hlukem a vibracemi

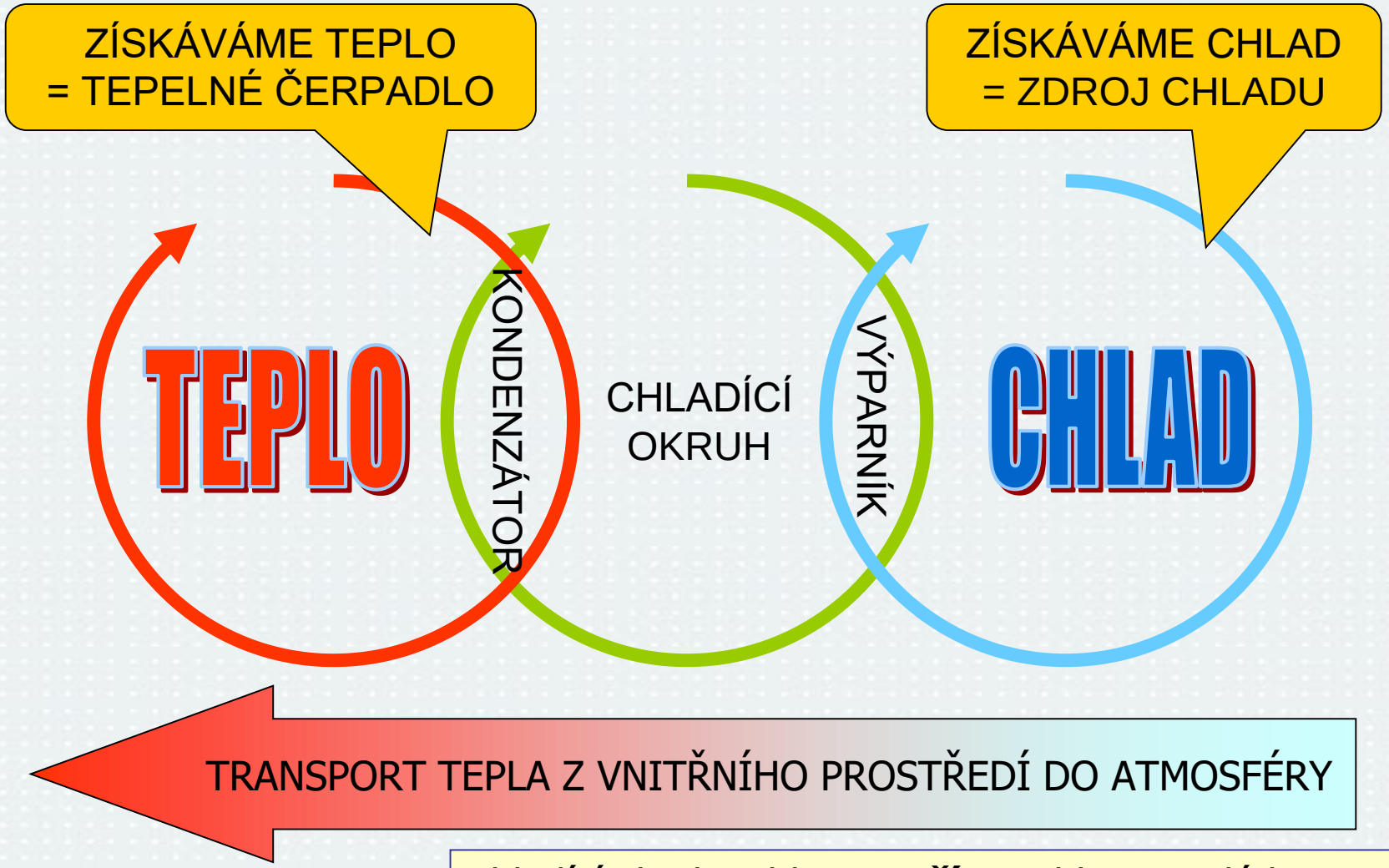
cc BY NC SA

Chlazení vzduchu - přehled



cc BY NC SA

Chlazení vzduchu – chladící okruh



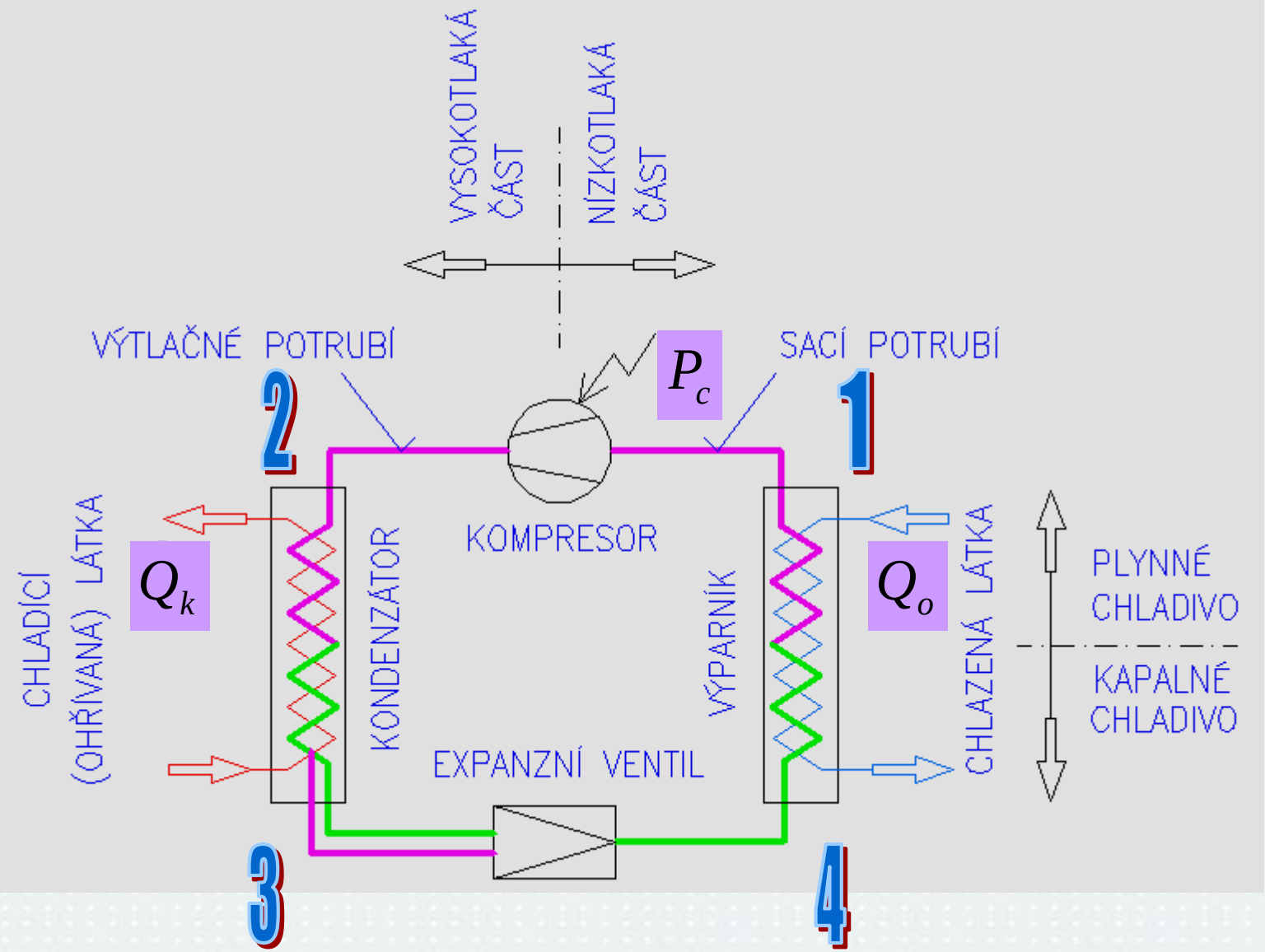
TRANSPORT TEPLA Z VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ DO ATMOSFÉRY

Chladící okruh ochlazuje **přímo** chlazenou látku = CHLAZENÍ PŘÍMÉ

Chlazení látky se děje přes **pomocnou teplonosnou** látku = CHLAZENÍ NEPŘÍMÉ

BY NC SA

Chladící okruh – tepelná bilance

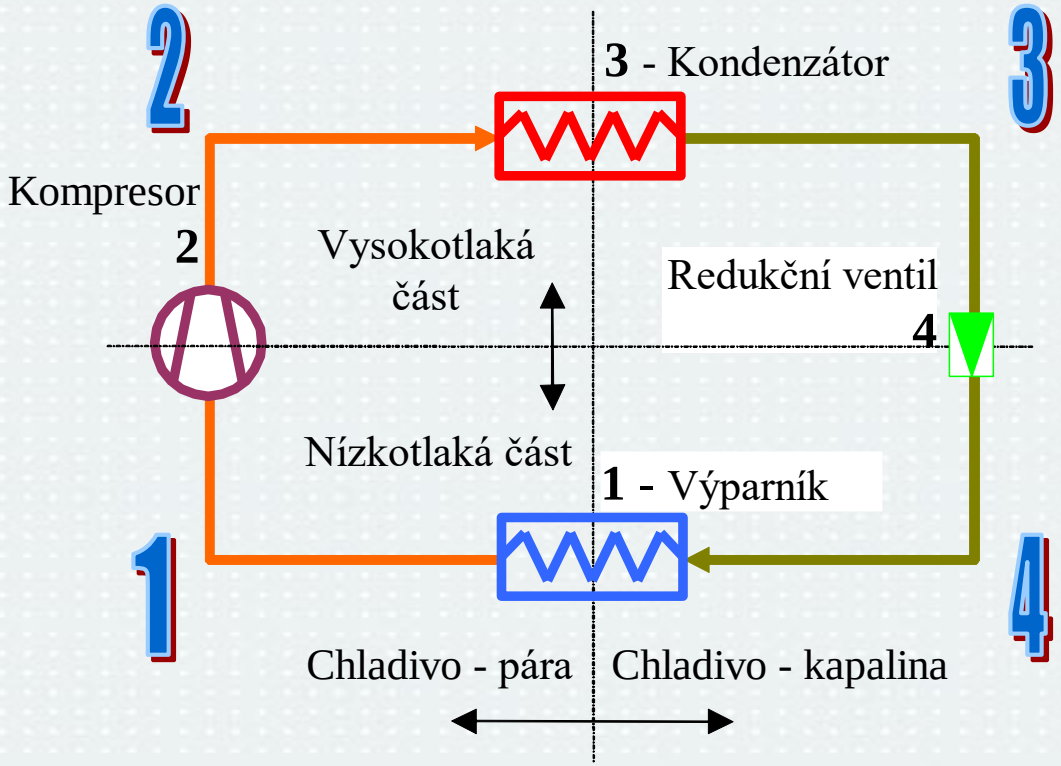


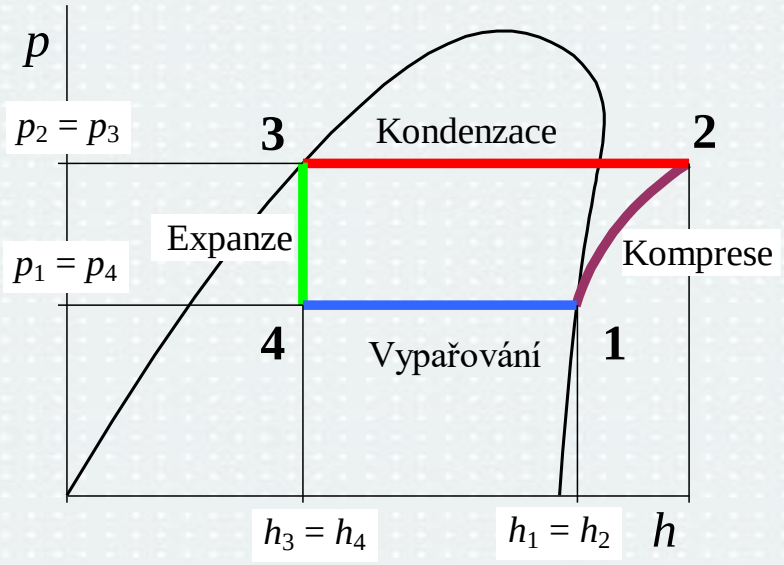
Základní idealizovaná tepelná bilance chladícího okruhu:

$$Q_k = Q_o + P_c$$

cc BY NC SA

Chladící okruh - kompresorový





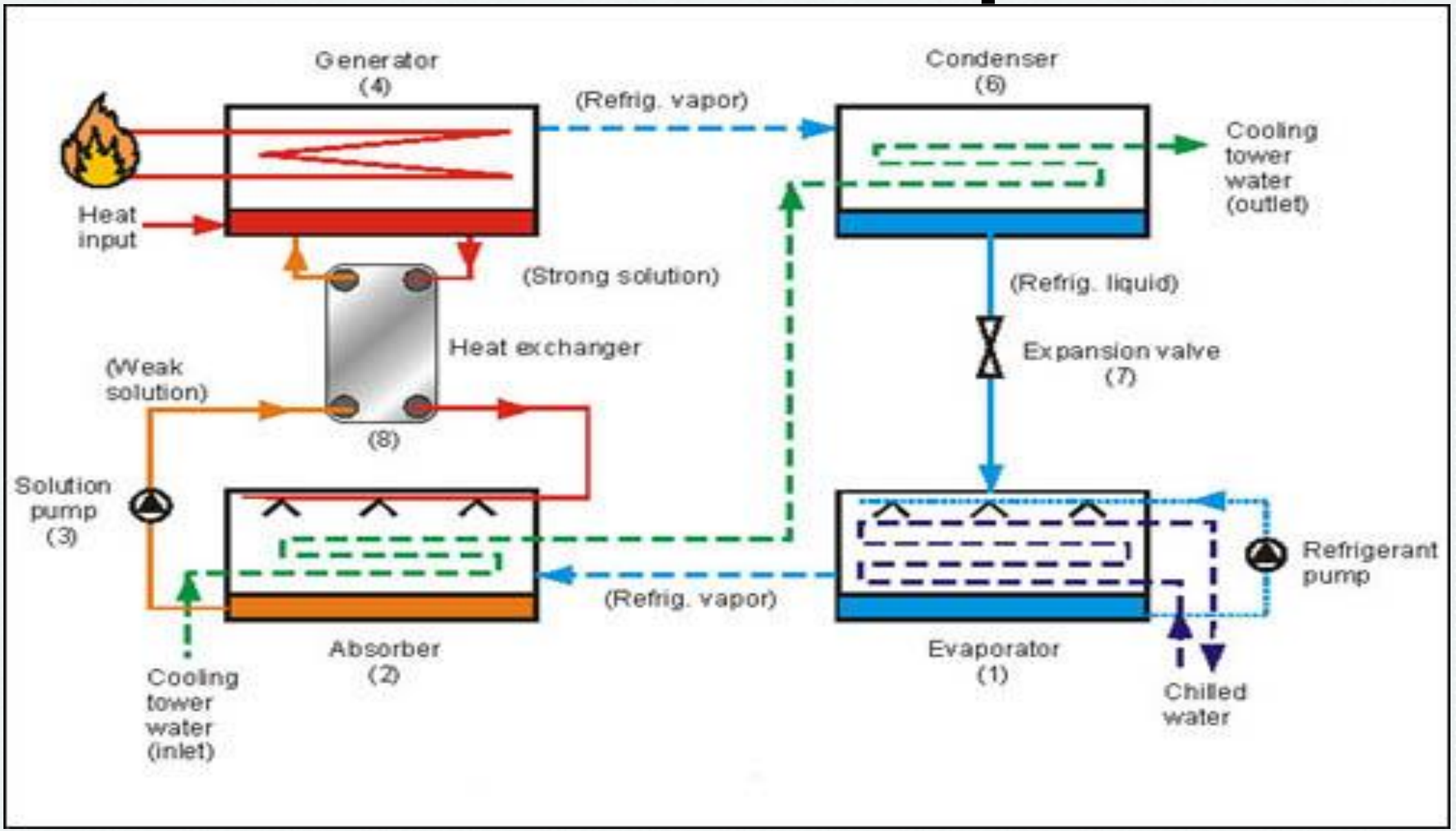
Hmotnostní průtok chladiva

$$m = \frac{Q_o}{h_1 - h_4}$$

Příkon kompresoru	Výkon kondenzátoru	Chladící faktor oběhu
$P_c = h_2 - h_1$	$Q_k = m(h_2 - h_3)$	$\varepsilon = \frac{Q_o}{P_c}$

cc BY NC SA

Chladící okruh - absorpční



BY NC SA

Chlazení vzduchu – chladiva

Tabulka vybraných chladiv

ODP – Potenciál poškozování ozonové vrstvy (Ozone Depleting Potential)
GWP – Potenciál globálního oteplování (Global Warming Potential)

Regulované látky

Látka			Skupina	ODP	GWP
Chladiva CFC					
R11	$CFCl_3$		Skupina I	1,0	4000
R12	CF_2Cl_2			1,0	8500
R113	$C_2F_3Cl_3$			0,8	
R114	$C_2F_4Cl_2$			1,0	
R115	C_2F_5Cl			0,6	
R13	CF_3Cl		Skupina II	1,0	
Směsi obsahující CFC chladiva					
R500	R12 / R152a	73,8 / 26,2%		0,605	
R502	R22 / R115	48,8 / 51,2%		0,221	16200
R503	R23 / R13	40,1 / 59,9%		0,599	

Regulované látky

Látka			Skupina	ODP	GWP
Chladiva HCFC					
R22	CHF_2Cl		Skupina VIII	0,055	1700
R123	$C_2HF_3Cl_2$			0,020	
R124	C_2HF_4Cl			0,022	620
R142b	CH_3CF_2Cl			0,065	2400
Směsi obsahující HCFC chladiva					
R401A	R22 / R152a / R124	53 / 13 / 34%		0,037	1130
R401B	R22 / R152a / R124	61 / 11 / 28%		0,040	1220
R402A	R22 / R125 / R290	38 / 60 / 2%		0,021	2690
R402B	R22 / R125 / R290	60 / 38 / 2%		0,033	2310
R403A	R22 / R218 / R290	75 / 20 / 5%		0,040	2520
R403B	R22 / R218 / R290	56 / 39 / 5%		0,031	4310
R408A	R22 / R143a / R125	47 / 46 / 7%		0,026	3020
R409A	R22 / R142b / R124	60 / 15 / 25%		0,048	1540
R409B	R22 / R142b / R124	65 / 10 / 25%		0,050	1270

Fluorované skleníkové plyny

Látka			ODP	GWP
Chladiva HFC				
R23	CHF_3		0	14800
R32	CH_2F_2		0	675
R125	C_2HF_5		0	3500
R134a	CH_2FCF_3		0	1430
R152a	$C_2H_4F_2$		0	124
R143a	$C_2H_3F_3$		0	4470
R227ea	C_3HF_7		0	3220
R236fa	$C_3H_2F_6$		0	9810
Směsi obsahující HFC chladiva				
R404A	R125 / R134a / R143a	44 / 4 / 52%	0	3922
R407A	R32 / R125 / R134a	20 / 40 / 40%	0	2107
R407B	R32 / R125 / R134a	10 / 70 / 20%	0	2804
R407C	R32 / R125 / R134a	23 / 25 / 52%	0	1774
R410A	R32 / R125	50 / 50%	0	2088
R417A	R125 / R134a / R600	46,6 / 50,0 / 3,4%	0	2346
R422D	R125 / R134a / R600	65,1 / 31,5 / 3,4%	0	2729
R427A	R32 / R125 / R143a / R134a	15 / 25 / 10 / 50%	0	2138
R437A	R134a / R125 / R600 / R601	78,5 / 19,5 / 1,4 / 0,6%	0	1805
R507	R125 / R143a	50 / 50%	0	3985
R508A	R23 / R116	39 / 61%	0	13214
R508B	R23 / R116	46 / 54%	0	13396

Přírodní chladiva

Látka			ODP	GWP
R170	Ethan	C_2H_6	0	6
R290	Propan	C_3H_8	0	3
R600a	Isobutan	$CH(CH_3)_2CH_3$	0	3
R717	Amoniak (čpavek)	NH_3	0	0
R744	Oxid uhličitý	CO_2	0	1
R1270	Propylen	C_3H_6	0	2

GWP – potenciál globálního oteplování
EN 378 – bezpečnostní třídy chladiv

A – nepatrná toxicita, B vyšší toxicita

1 žádné šíření plamene, žádná vznětlivost

2 menší hořlavost

3 větší hořlavost

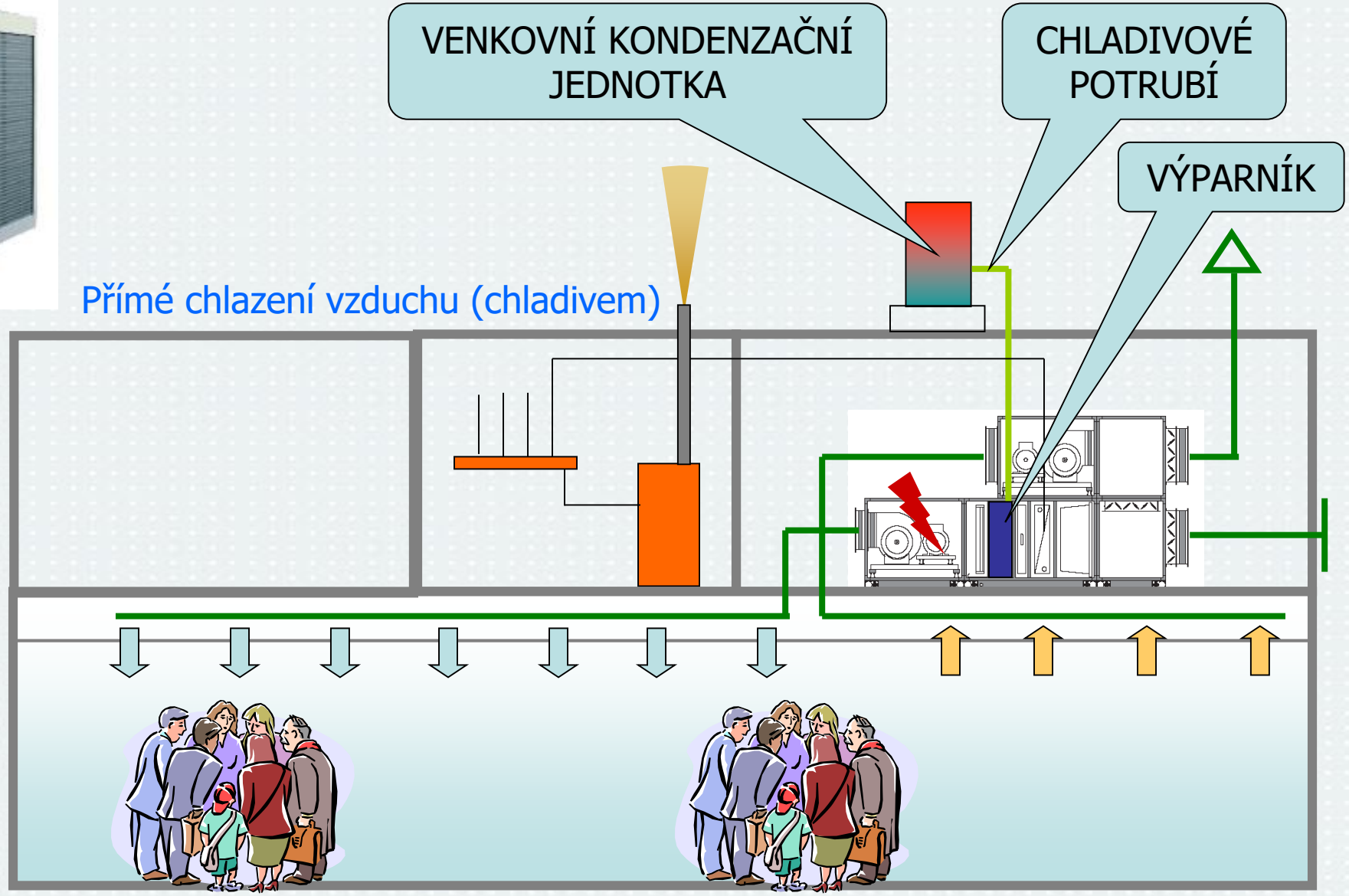
CO2 – vysoké tlaky, - GWP 1

www.kas.cz

CC BY NC SA

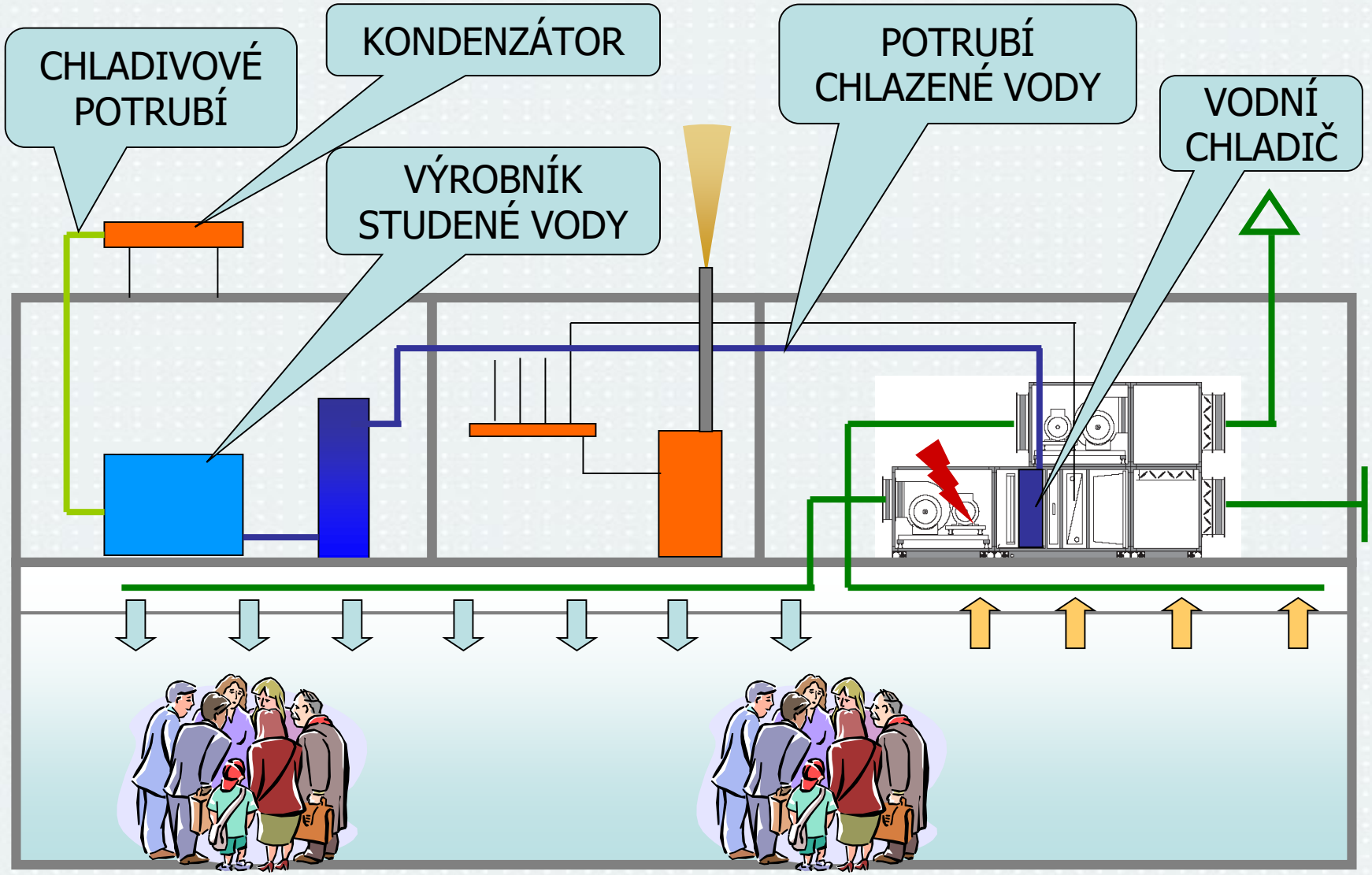
Chlazení vzduchu – typy zdroje chladu

Přímé chlazení vzduchu (chladivem)



cc BY NC SA

Chlazení vzduchu – typy zdroje chladu

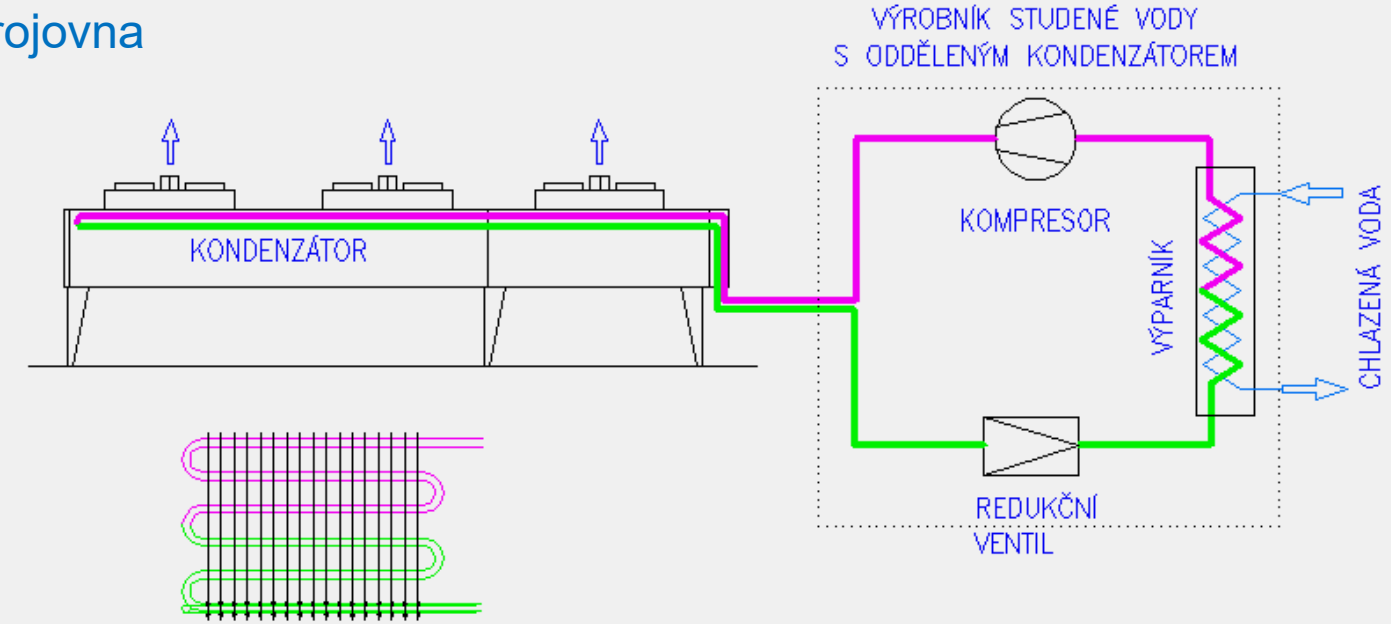


Nepřímé chlazení vzduchu (vodou), oddělený kondenzátor

cc BY NC SA

Chlazení vzduchu – typy zdroje chladu

Interiér strojovna

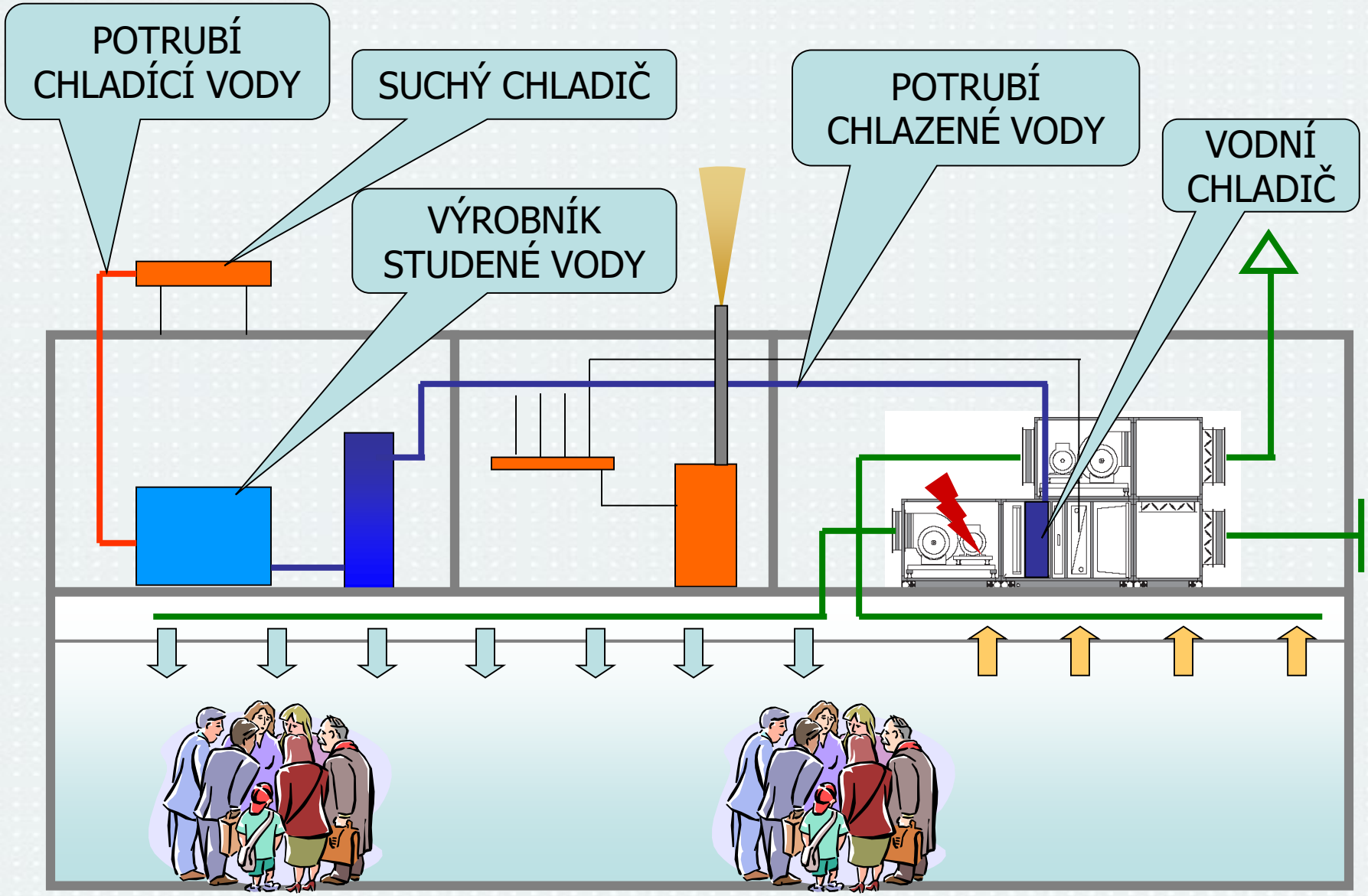


Exteriér střecha

ODDĚLENÝ VZDUCHEM
CHLAZENÝ KONDENZÁTOR

cc BY NC SA

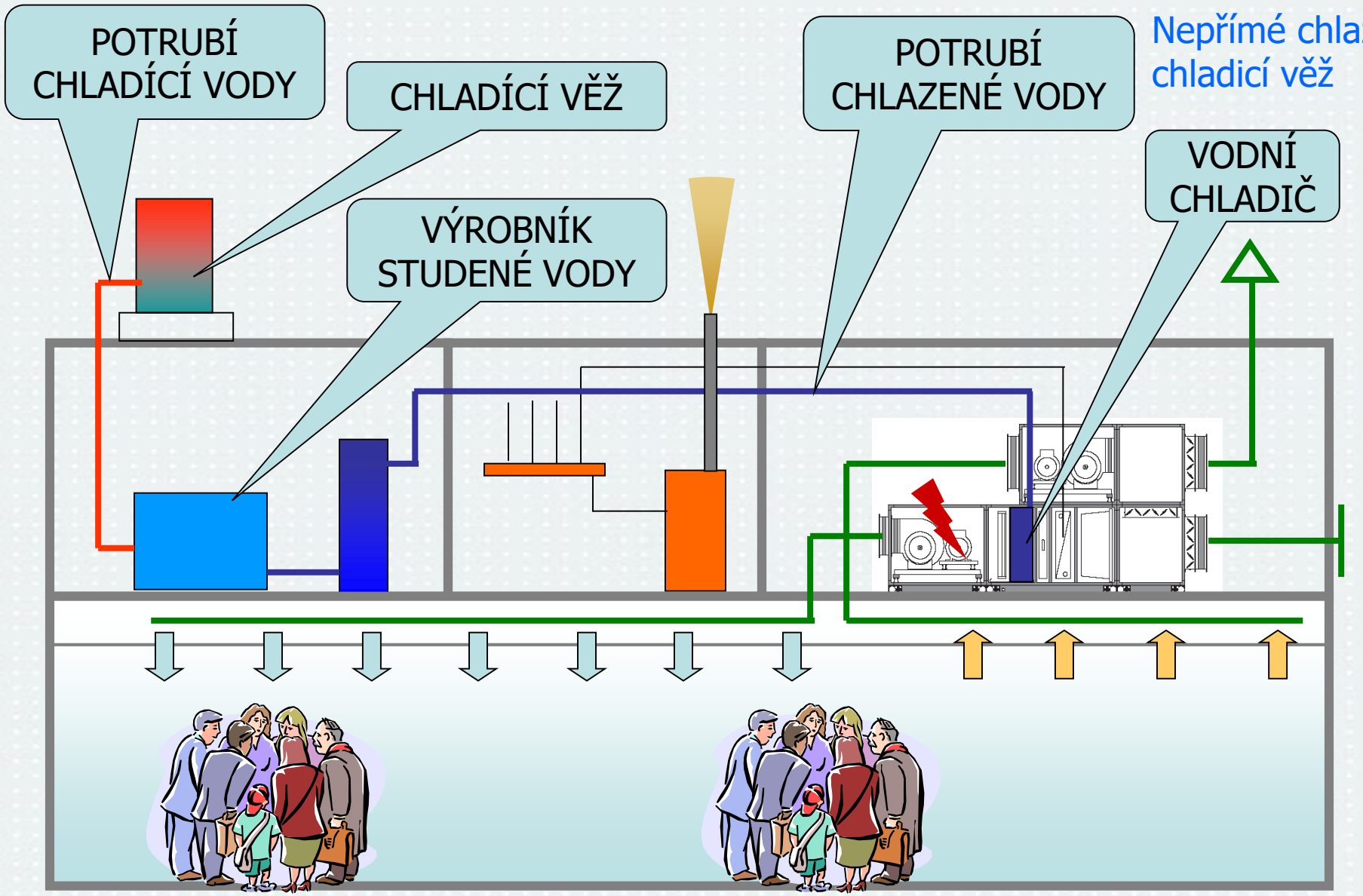
Chlazení vzduchu – typy zdroje chladu



Nepřímé chlazení vzduchu (vodou), suchý chladič – odvod kondenzačního tepla do exteriéru nemrznoucí směsí

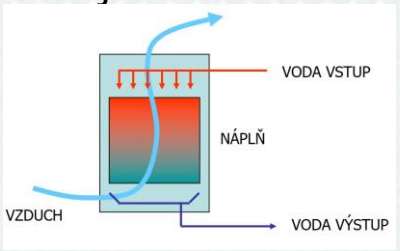
cc BY NC SA

Chlazení vzduchu – typy zdroje chladu

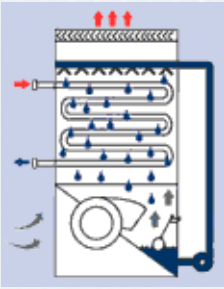


Nepřímé chlazení vzduchu (vodou), chladicí věž

Otevřené systémy (chlazená voda je rozstřikována na výplň)

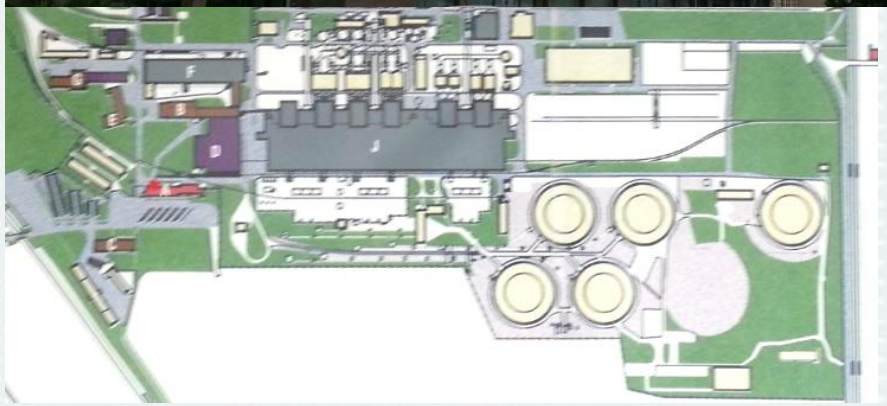


Uzavřené systémy - Chlazené médium proudí uzavřeným tepelným výměníkem a nepřichází do přímého styku s okolním vzduchem. Rozprašovací systém sekundárního okruhu stříká chladící vodu na tepelný výměník a rovněž využívá odvodu tepla vlivem výparu chladící vody.



cc BY NC SA

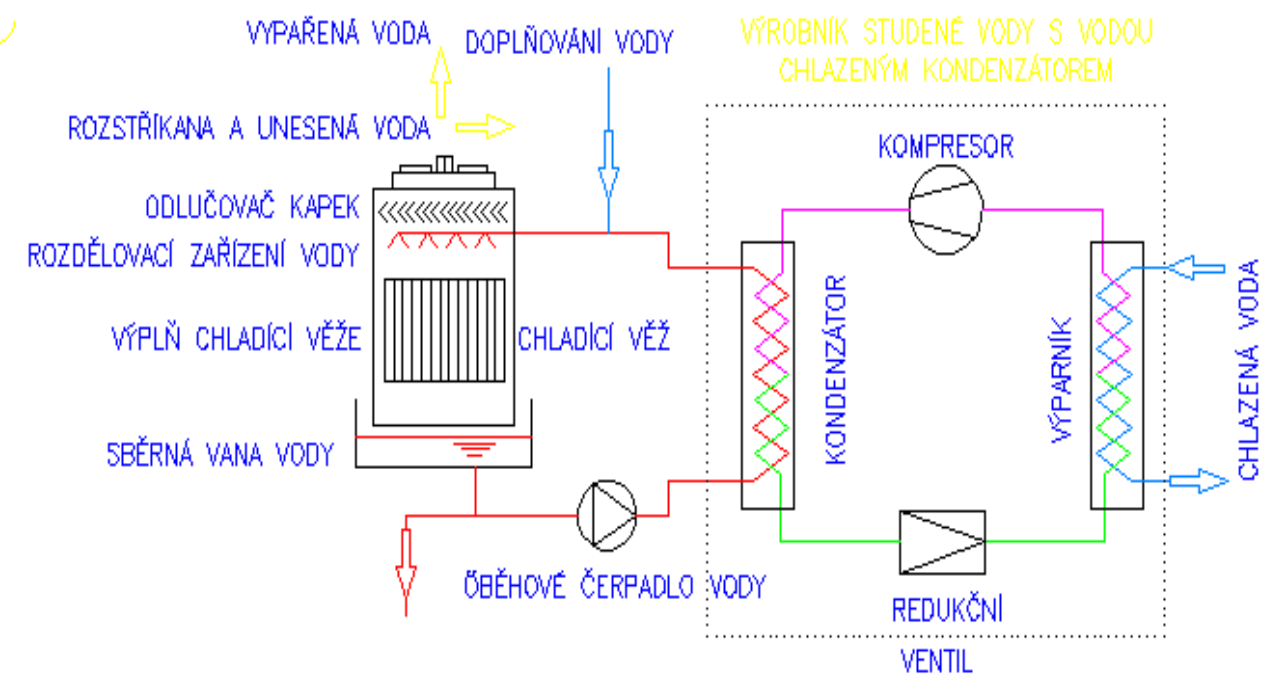
Chlazení vzduchu – typy zdroje chladu



Princip otevřených „velkých" chladících věží je stejný - ochlazovaná voda se rozstřikuje na náplň, po které stéká dolů a zespodu proudící vzduch ji ochlazuje

BY NC SA

Chlazení vzduchu – typy zdroje chladu



CHLADÍCÍ VĚŽ

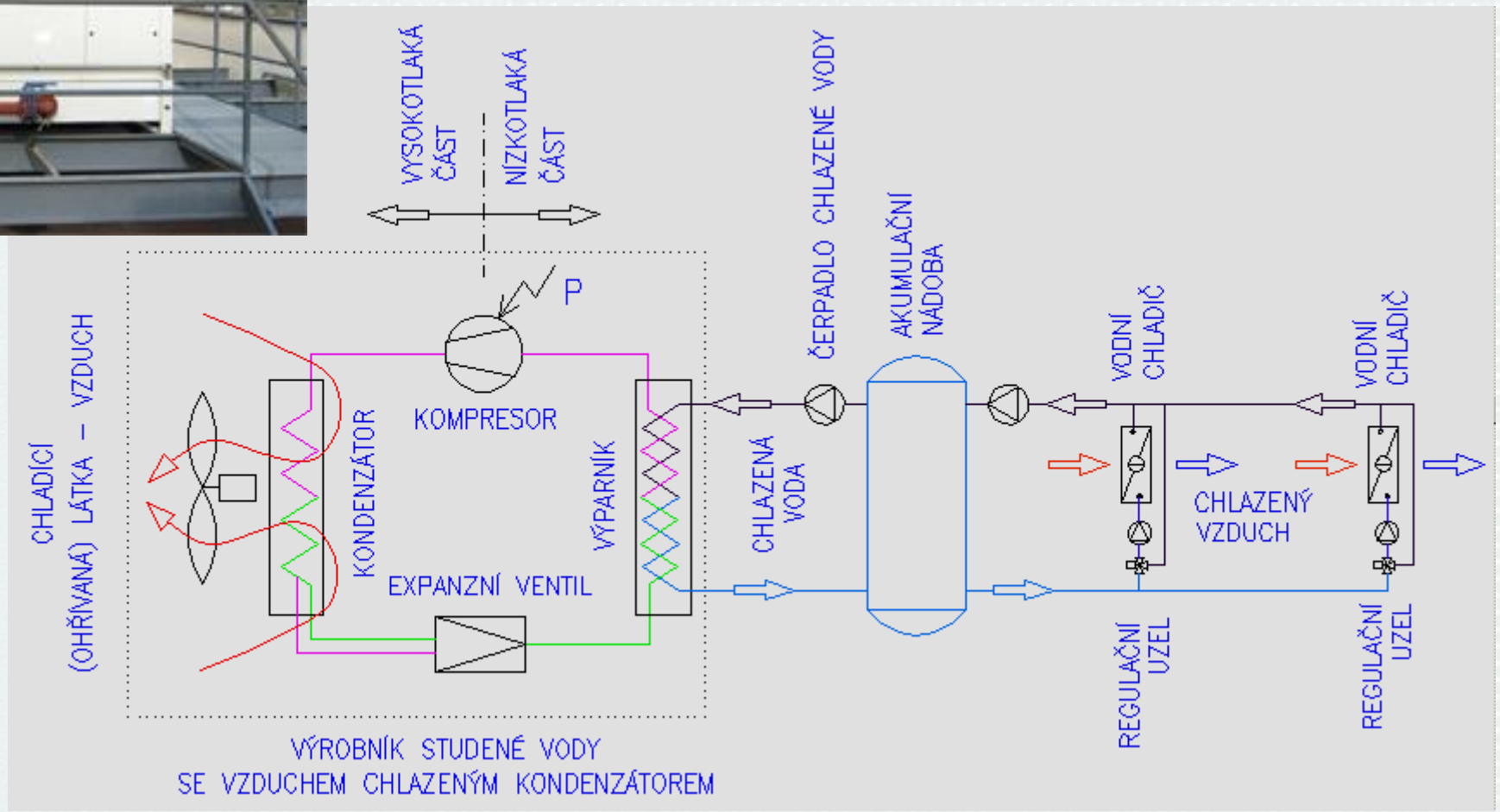
Vodou chlazený kondenzátor + chladící věž

ZDROJ CHLADU

BY NC SA

Chlazení vzduchu – typy zdroje chladu

KOMPAKTNÍ VÝROBNÍK
STUDENÉ VODY



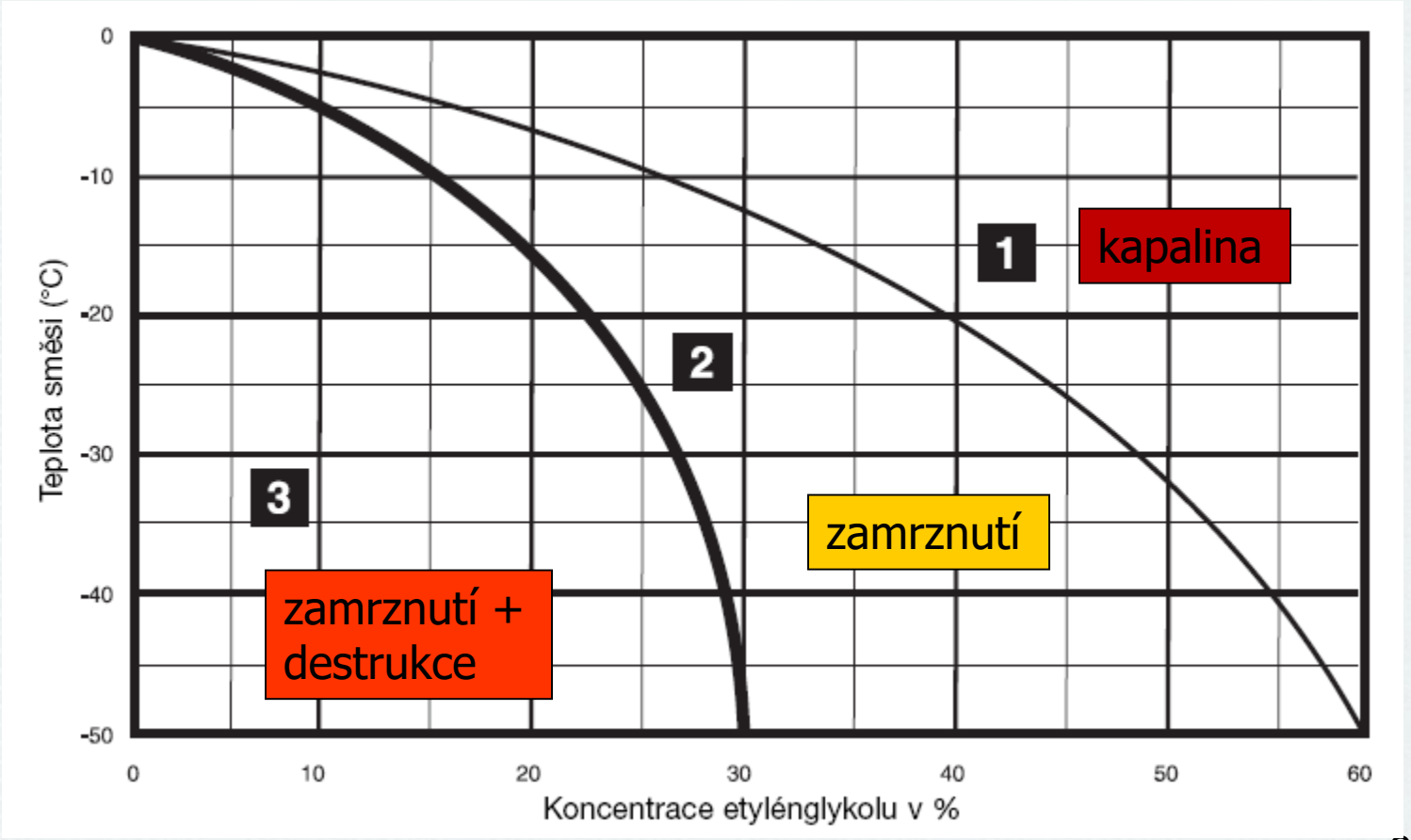
Kompaktní výrobník se vzduchem chlazeným kondenzátorem

cc BY NC SA

Chlazení vzduchu – typy zdroje chladu

1. Elektrický ohřev potrubí ve venkovním prostoru (vč. nádrže)
2. Chod čerpadla chlazené vody při záporných teplotách
3. Použití nemrznoucí směsi (glykoly)
4. Vypuštění systému (provázeno korozí)

Ochrana proti zamrznutí – náhrada vody směsí vody a glykolu – teplota tuhnutí až -50°C



cc BY NC SA

Magisterský studijní program JADERNÁ ENERGETIKA vznikl za přispění

NPO_VUT_MSMT-16609_2022

BY NC SA

VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU

NÁRODNÍ PLÁN OBNOVY

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FAKULTA CHEMICKÁ

FAKULTA STAVEBNÍ

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Přednáška magisterského studijního programu JADERNÁ ENERGETIKA

Vzduchotechnika

Hydraulika vzduchovodů, materiálové specifikace, spoje vzduchovodů, aplikace

Fakulta stavební

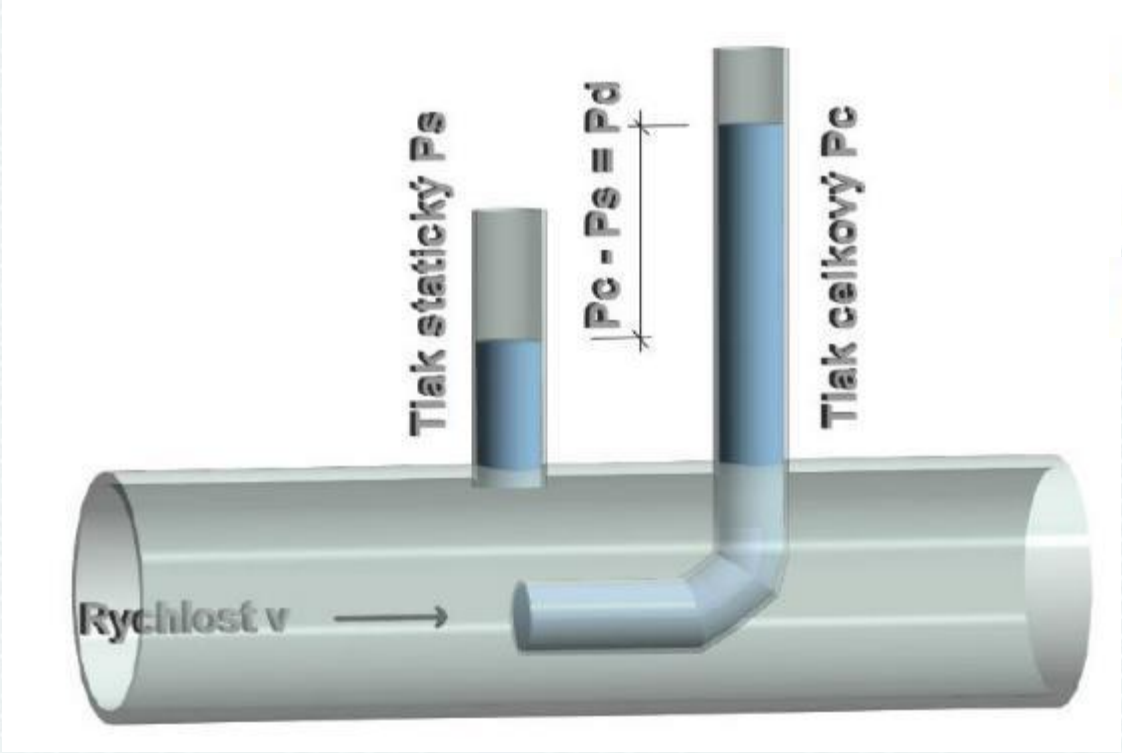
doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D., Ing. Olga Rubinová, Ph.D.

březen 2023

CC BY NC SA

Tlaková ztráta

Dynamický tlak - odečtením tlaku statického od celkového



$$p_d = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$$

$$p_d = p_c - p_s$$

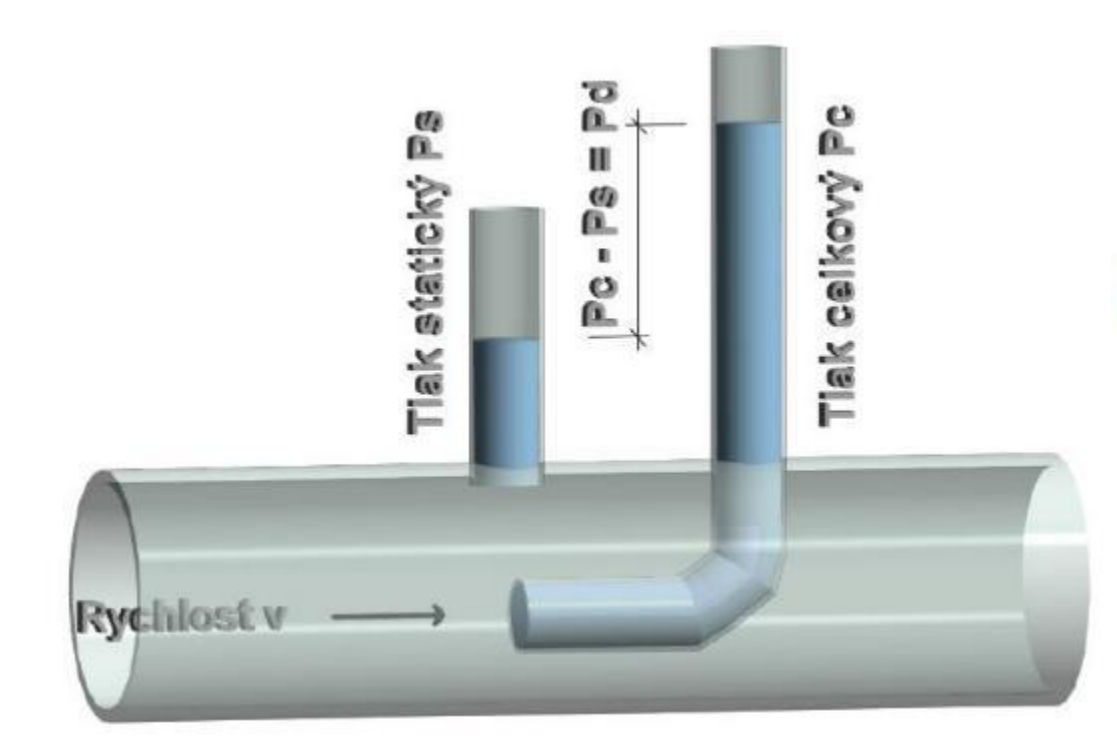
$$p_c = p_d + p_s = konst.$$

Dynamický tlak - je závislý na rychlosti proudění daného média. Lze měřit pouze za pohybu kapaliny či plynu a to poklesem nebo růstem statického tlaku, který se následně odečte od tlaku celkového

BY NC SA

Tlaková ztráta

Statický tlak – měření statického tlaku – p ext



$$p_s = h \cdot \rho \cdot g$$

$$p_d = p_c - p_s$$

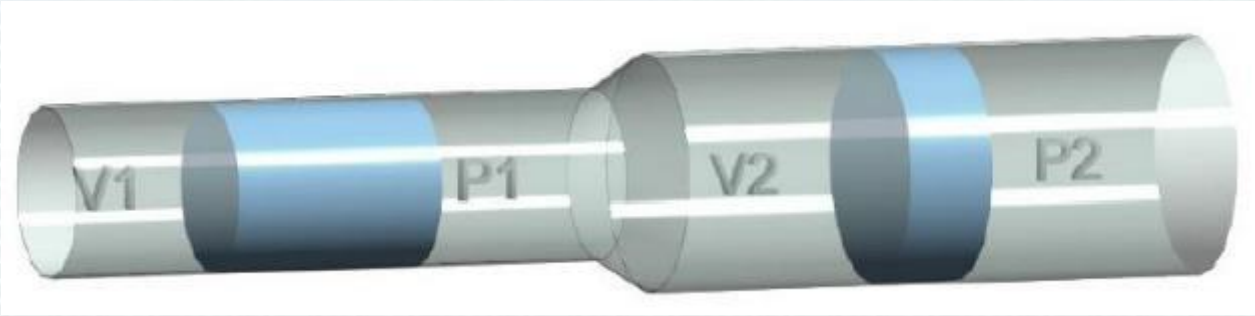
$$p_c = p_d + p_s = konst.$$

Na povrchu každého tělesa působí tlak statický, jehož velikost je ovlivněna rychlostí proudění média obtékajícího daný objekt. Jestliže rychlost proudění kapaliny, či plynu okolo tělesa je nulová dosahuje téměř nulové hodnoty i složka dynamického tlaku a to má za následek maximální hodnoty statického tlaku. Statický tlak je ve všech částech konstantního úseku stejný.

CC BY NC SA

Tlaková ztráta

Bernoulliho rovnice – aerodynamická aplikace pro rozvody vzduchotechniky



Je-li potrubí pro proudění vodorovné, lze rovnici zapsat jednodušeji:

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 + p_1 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 + p_2$$

- Dynamický tlak + Statický tlak = celkový tlak
- Statický tlak – energie pro překonání tlakové ztráty prvků VZT – i filtrů
- Tlaková ztráta filtru – závisí na dynamickém tlaku v místě filtru a jeho vřazeném odporu – vlastnosti filtru (např. textilie)

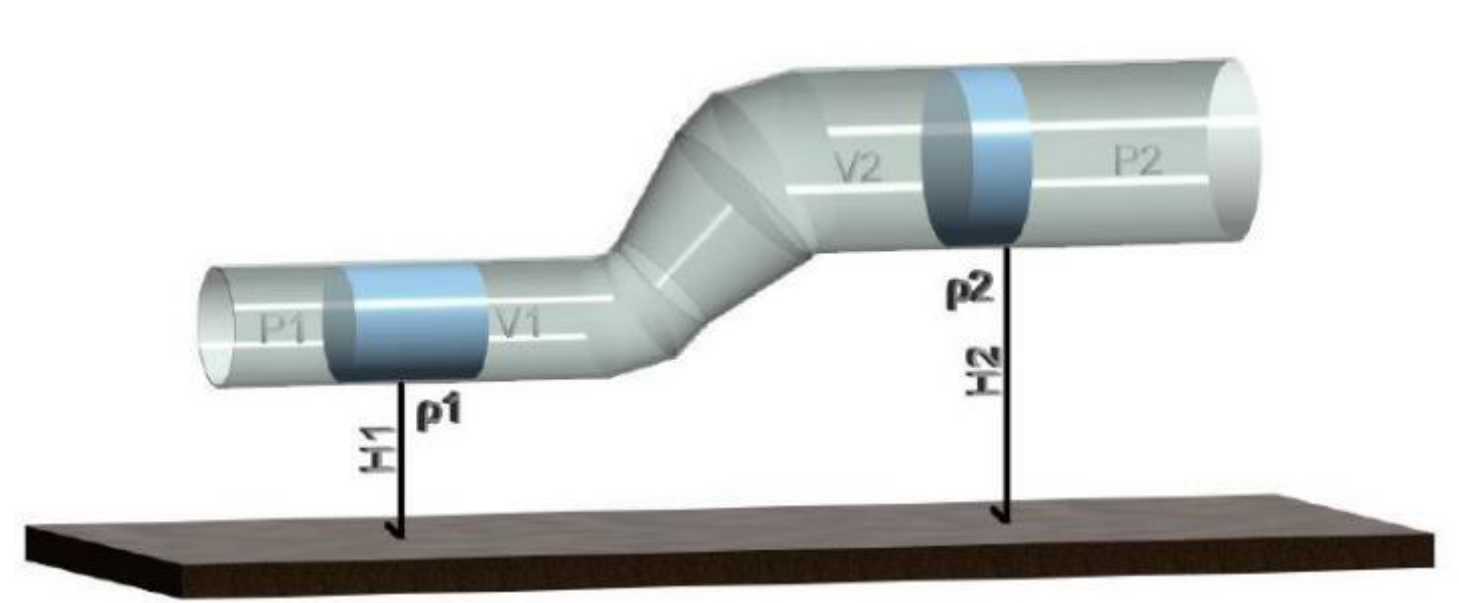
Počáteční tlaková ztráta

- ztráta v [Pa] při průtocích rovných 50 %, 75 %, 100 % a 125 % jmenovitého objemového průtoku vzduchu filtrem, zjištěná hodnota se koriguje na hustotu vzduchu 1,2 kg/m^3 .
- křivka závislosti počáteční tlakové ztráty filtru na objemovém průtoku vzduchu.

cc BY NC SA

Tlaková ztráta

Obecná Bernoulliho rovnice – Daniel Bernoulli - rovnice zachování mechanické energie pro ustálené proudění ideální kapaliny

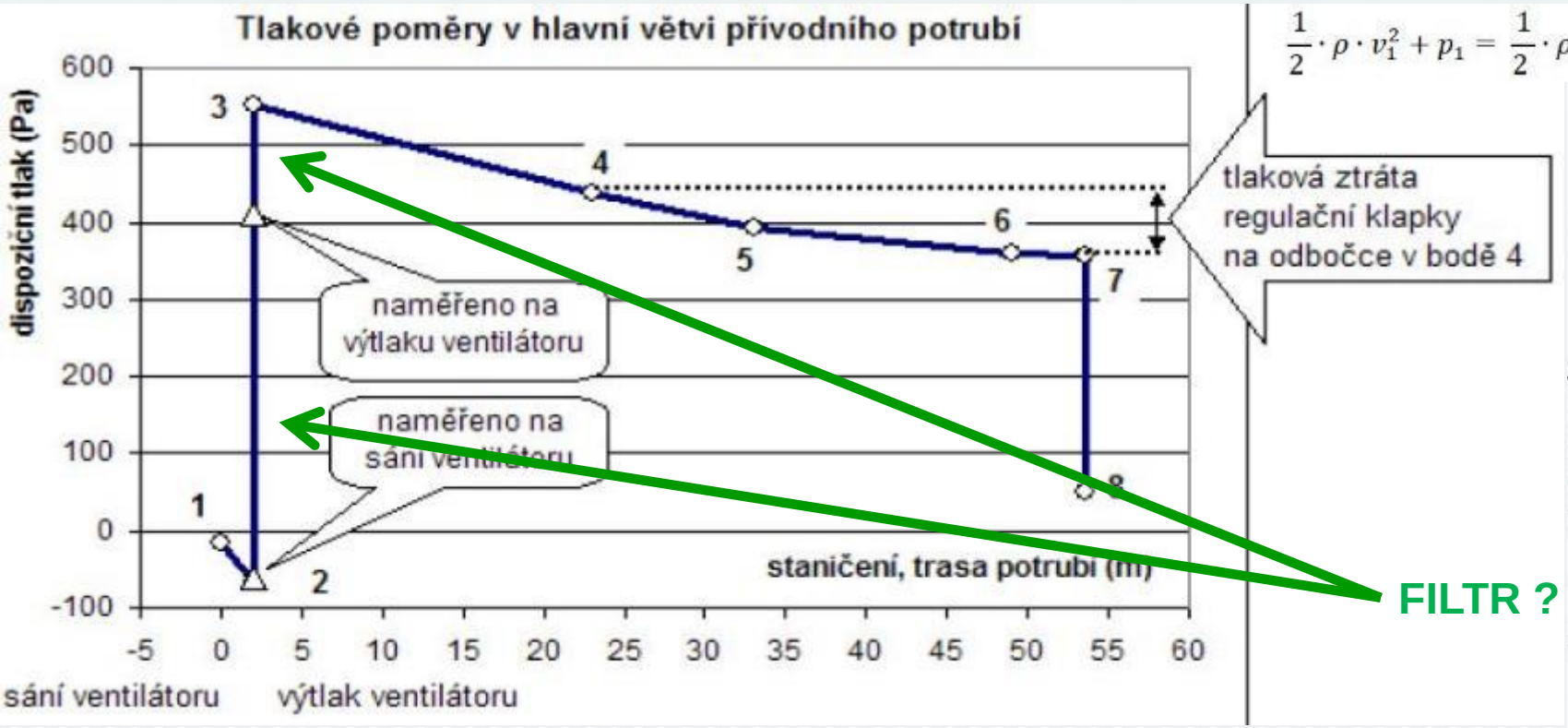


$$\frac{1}{2}\cdot\rho\cdot v_1^2 + h_1\cdot\rho\cdot g + p_1 = \frac{1}{2}\cdot\rho\cdot v_2^2 + h_2\cdot\rho\cdot g + p_2$$

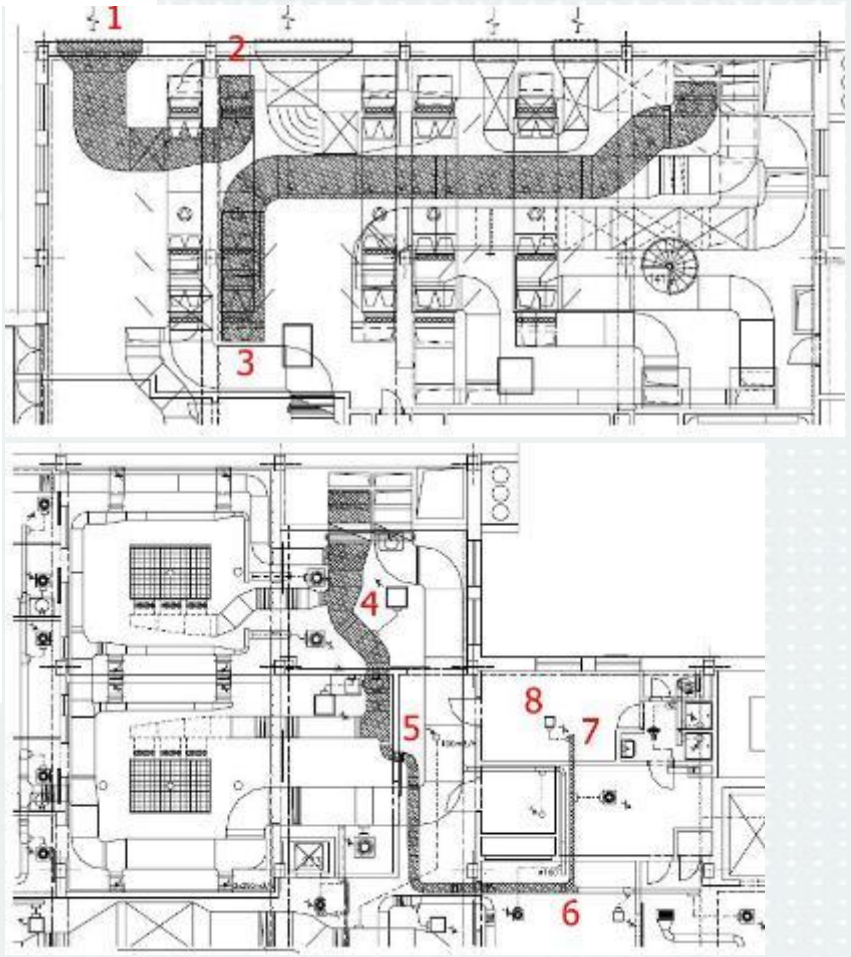
Kapalina proudící potrubím má svou kinetickou energii, které je závislá na rychlosti proudění kapaliny. Další složkou je tlaková energie potenciální a vnější. Tyto složky energií se navzájem ovlivňují a jedna ze složek roste, když druhá složka klesá.

cc BY NC SA

Tlaková ztráta potrubní sítě



$$\frac{1}{2}\cdot\rho\cdot v_1^2 + p_1 = \frac{1}{2}\cdot\rho\cdot v_2^2 + p_2$$



cc BY NC SA

VZT potrubí - rozměry

BY NC SA

Materiál VZT potrubí

- plechové z pozinkovaného plechu čtyřhranné a kruhové SPIRO
- ohebné z hliníkové plechu nebo plastů, textilí
- stavební – zděné, betonové
- z tvrzených desek z minerální vlny nebo polyuretanu
- plastové
- ze silikátových desek

VZDUCHOVODY = ROVNÉ TROUBY + TVAROVKY

PŘÍSLUŠENSTVÍ ROZVODŮ = KLAPKY (REGULAČNÍ, UZAVÍRACÍ, ZPĚTNÉ, POŽÁRNÍ), REGULÁTORY PRŮTOKU

cc BY NC SA

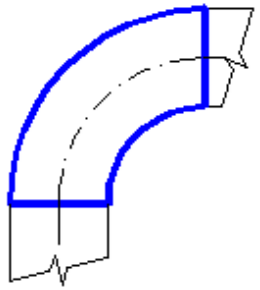
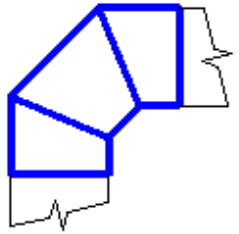
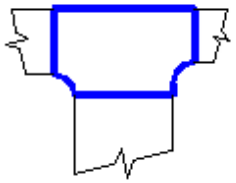
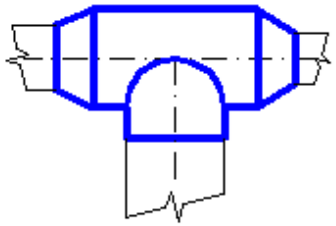
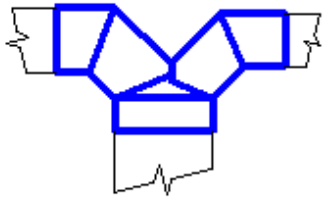
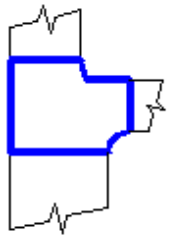
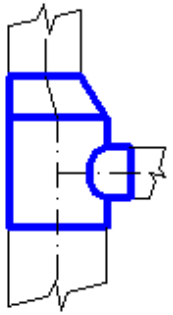
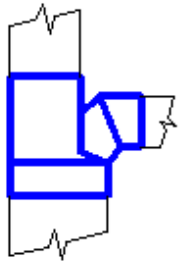
Skupiny plechového potrubí – použití a tl. plechu

Skupiny potrubí z plechu a jejich použití

Skupina	Rozměr potrubí (mm)	Tloušťka plechu (mm)	použití
I	80 – 400 450 – 1600 1800 - 2000	0,6 0,8 1,3	**Doprava vzduchu bez mechanických příměsí do teploty 100°C**, max. podtlak 500Pa, přetlak 1000Pa. Větrání a klimatizace
II	90 – 400 450 – 1000 1120 – 2000 2240 - 2500	1,0 1,5 2,0 2,5	Odsávání od dřevoobráběcích strojů, textilního a zemědělského prachu s malou obrazí a teploty do 300°C. Max. podtlak nebo přetlak 6kPa
III	125 – 200 225 – 1120 1250 - 2500	2,0 3,0 4,0	Odsávání prachu ve slévárnách, energetice, hutích, cementárnách, abrazivní prachy do teploty 350°C. Max. podtlak nebo přetlak 6kPa

cc BY NC SA

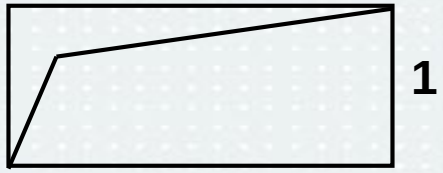
Tvarovky ve VZT potrubí dle materiálu

PŘÍKLAD TVAROVKY	PLECHOVÉ ČTYŘHRANNÉ	PLECHOVÉ KRUHOVÉ SPIRO	TUHÉ DESKY	SOUČINITEL VŘAZENÉHO ODPORU
OBLOUK				0,6
ROZBOČKA				1,5 1,5
ODBOČKA				0,6 0,8 1,0

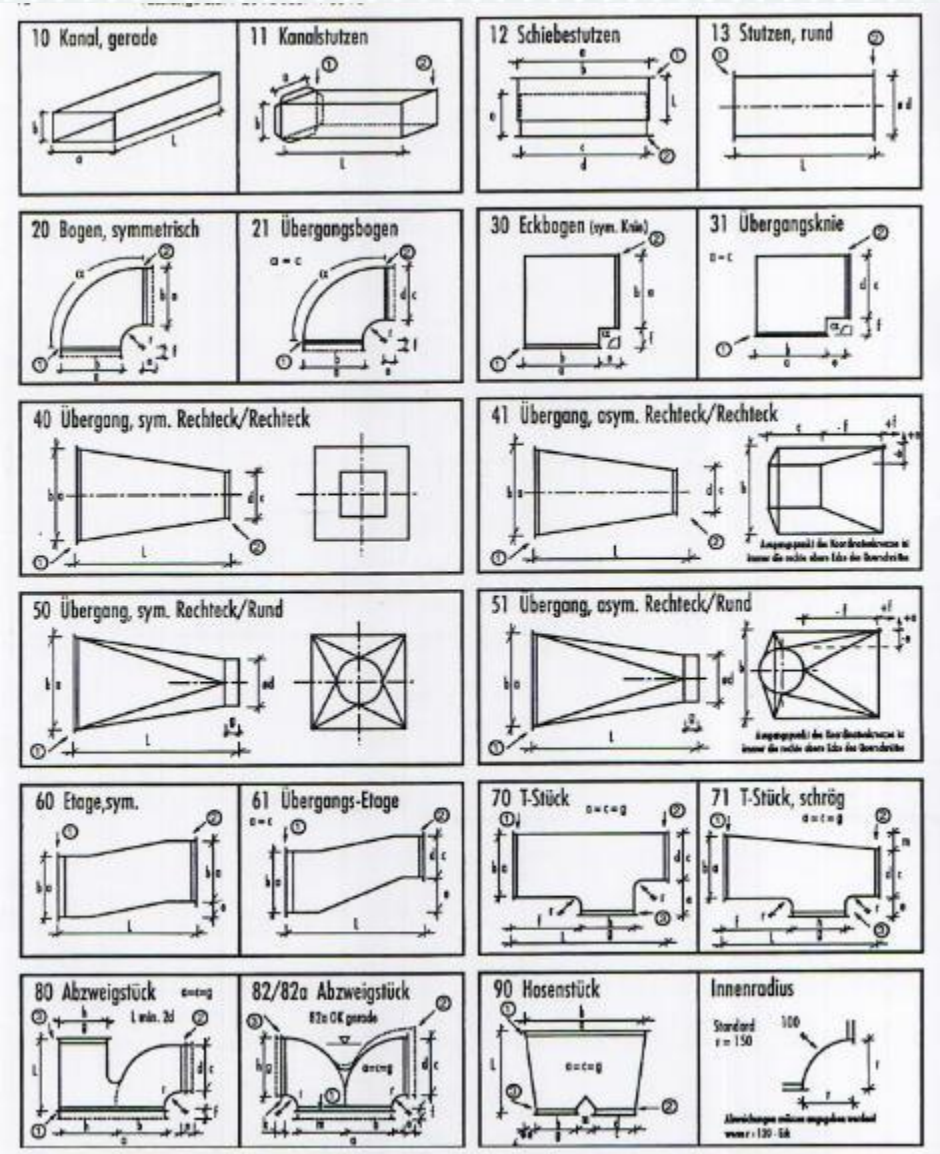
cc BY NC SA

VZT potrubí čtyřhranné

Potrubí a tvarovky pro čtyřhranné vzduchovody



MAX. POMĚR STRAN 1:4



CC BY NC SA

Čtyřhranné potrubí

cc BY NC SA

Čtyřhranné potrubí – umístění rozměrných rozvodů v budovách

BY NC SA

Čtyřhranné potrubí

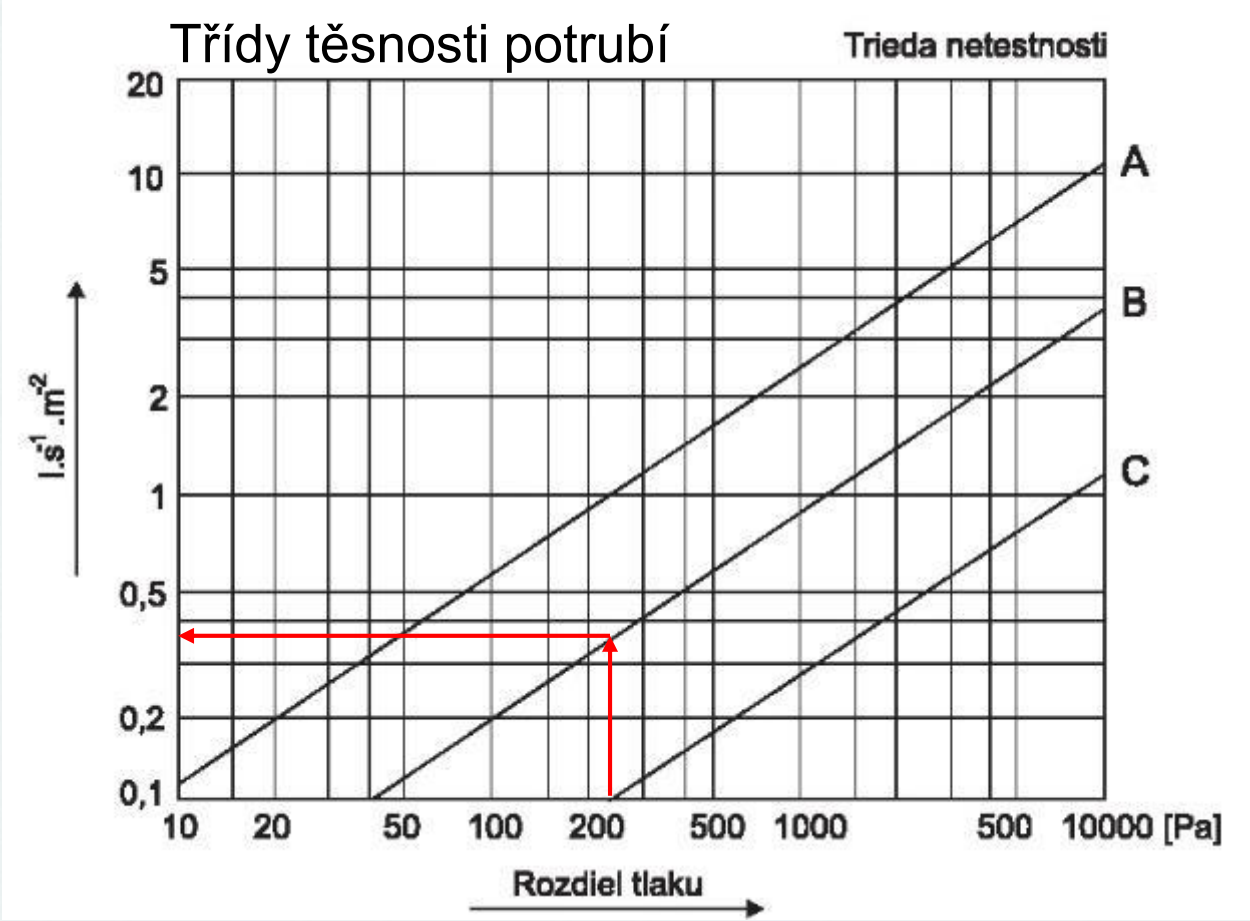
cc BY NC SA

Kruhové a ohebné potrubí

BY NC SA

Těsnost potrubí

A – odvod vzduchu, přívod s jednoduchou filtrací
B - přívod vzduchu s filtrací a ohřevem
C - přívod vzduchu s filtrací, ohřevem a chlazením
D - přívod vzduchu s filtrací, ohřevem, chlazením a zvlhčováním nebo pro dvou a vícestupňovou filtraci vzduchu, VTK
E – klimatizace s vysokými nároky na čistotu, pro čisté prostory apod



cc BY NC SA

Těsnost vzduchovodů

Těsnost vzduchovodů?

Instalace anemostatů?

Kdo nevidí - neuvěří

CC BY NC SA

Dimenzování VZT potrubí – tlaková ztráta

Vstupní údaje

- materiál (plech, tvrzená minerální vlna, zdivo)
- tvar (čtyřhranné, kruhové)
- účel (požadavky na tlakovou ztrátu a hluk)

Výstup

- rozměry potrubí
- tlaková ztráta potrubní sítě

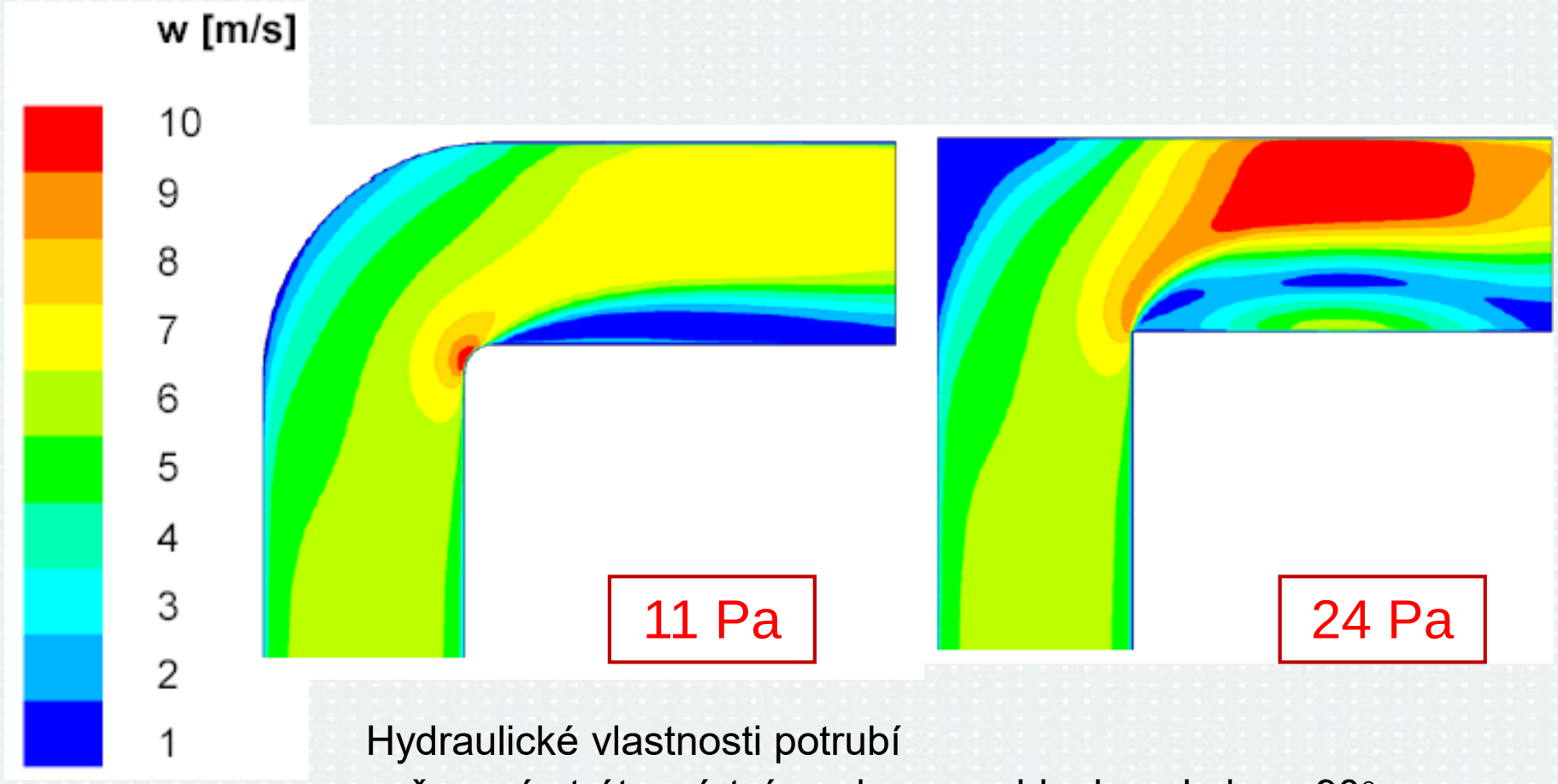
$$p_z = \left(\frac{\lambda L}{d} + \sum \xi \right) \frac{v^2}{2} \rho$$

TLAKOVÁ ZTRÁTA TŘENÍM

TLAKOVÁ ZTRÁTA MÍSTNÍMI ODPORY

cc BY NC SA

Tvarovky ve VZT potrubí – tlaková ztráta



Hydraulické vlastnosti potrubí

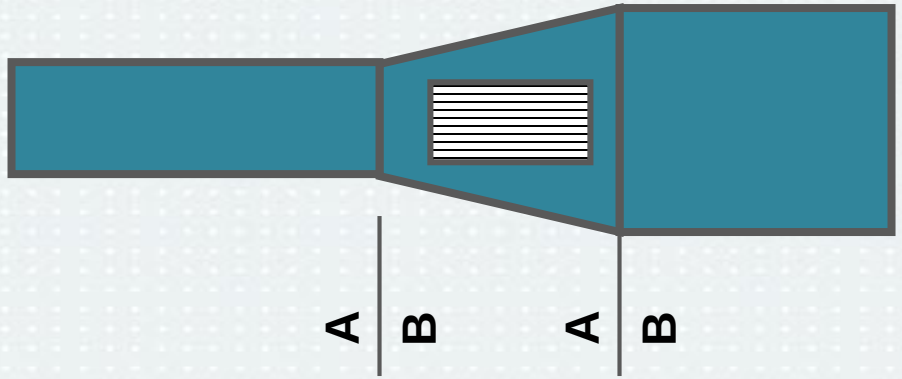
- vřazená ztráta místním odporem oblouku a kolena 90°
- rychlostní pole

BY NC SA

Dimenzování VZT potrubí – tlaková ztráta

ROZMĚROVÁ ŘADA POTRUBÍ

125, 140, 150, 160, 200, 225, 250, 315, 355, 400, 450, 500, 630, 710
800, 1000, 1120, 1250, 1400, 1600 …. (mm)



UMÍSTĚNÍ VYÚSTKY DO PŘECHODU,

ZNAČENÍ ROZMĚRU POTRUBÍ

$$p_z = \sum \xi \frac{v^2}{2} \rho$$

$$p_z = L.R$$

TLAKOVÁ ZTRÁTA MÍSTNÍMI ODPORY → TLAKOVÁ ZTRÁTA TŘENÍM → SOUČET TLAKOVÝCH ZTRÁT ÚSEKU → TLAKOVÁ ZTRÁTA POTRUBNÍ VĚTVE

cc BY NC SA

Dimenzování VZT potrubí – rychlosti proudění

Příklad použití	rychlost vzduchu s ohledem na tlakovou ztrátu a hluk (m/s)			Průměrný tlakový spád při 40% tvarovek (Pa/m)
	Ve strojovně	Stoupačky hlavní rozvody	Na konci větve	
Byty - trvalé větrání	4	3	2	3
lůžkové pokoje nemocnic Byty - nárazové větrání	4	3 - 4	3	4
Kanceláře, knihovny, kina, divadla, restaurace apod.	5	4 - 4,5	3	4,5
Průmyslové provozy	10	6 - 9	5	15

BY NC SA

Izolace potrubí – základní druhy

minerální vlna s hliníkovou fólií

IZOLACE **TEPELNÉ** - **PROTIHLUKOVÉ** - **PROTIPOŽÁRNÍ**

při dopravě vzduchu s jinou teplotou než okolí

cc BY NC SA

Izolace potrubí – izolace z minerálních desek

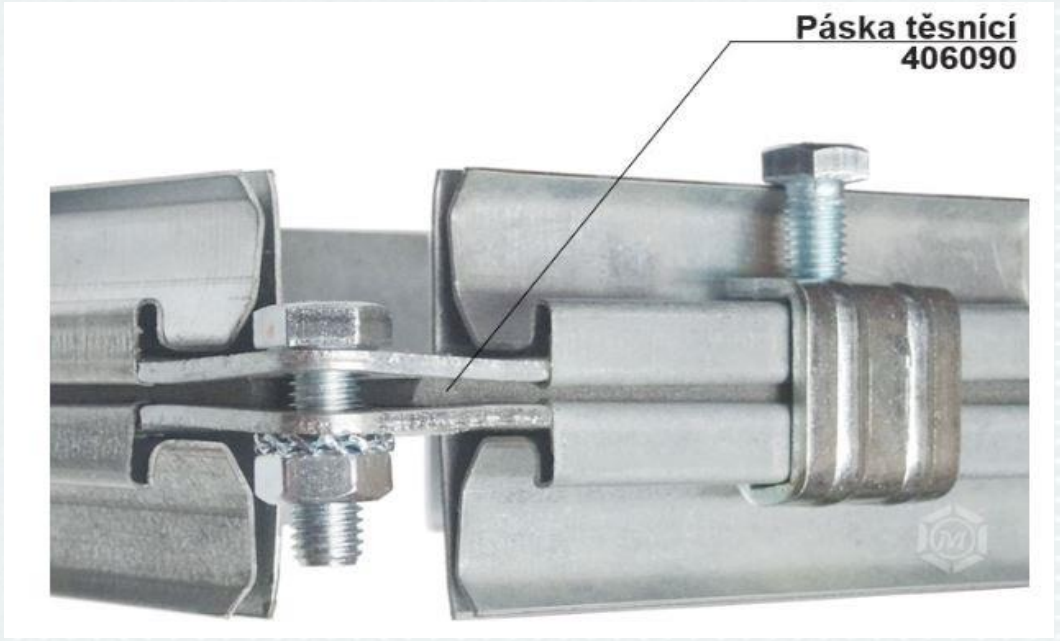
BY NC SA

Izolace potrubí – pěnový polyuretan

cc BY NC SA

Spoje VZT potrubí

HRANATÉ – UHELNÍKY, ROHOVNÍKY, LIŠTY ,
SVORKY, TĚSNĚNÍ – SAMOLEPÍCÍ PÁSKA, SVARY



https://www.metalfix.cz/pasky_c29927332118576/tesnici-paska-vitolen-do-prirubovych-list_p3713

cc BY NC SA

Spoje VZT potrubí

KRUHOVÉ – SPOJKY, OBJÍMKY, SVARY, TĚSNĚNÍ, TEXOVÁNÍ

Lindab Safe & Click

Tento velmi kvalitní vzduchotechnický komplexní systém s vysokou třídou těsnosti a s krátkou dobou montáže šetří Váš čas i peníze. Díky úsporám energie současně přispíváte k udržitelné budoucnosti.

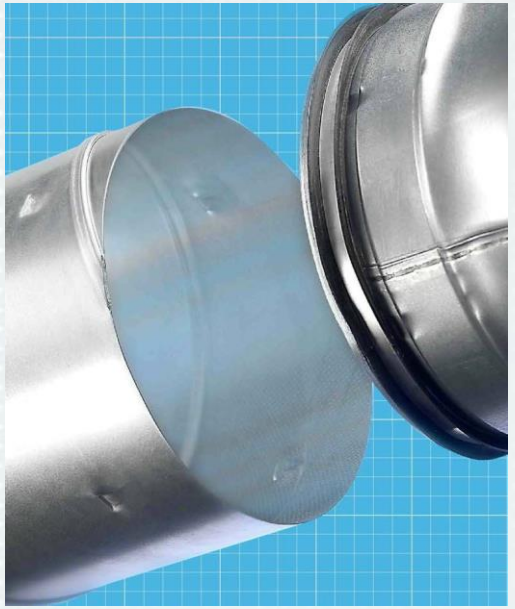
•Systém Safe je systém kruhového vzduchotechnického potrubí umožňující rychlou montáž.

•Systém Safe má vysokou třídu těsnosti D prokázanou certifikátem Eurovent.

•Celý sortiment se vyrábí v rozměrech podle normy EN 1506

•Základem systému je těsnění se dvěma břity z EPDM pryže. Těsnění, které odolává i neopatrné manipulaci na stavbě a není citlivé na změny teploty vytváří velmi těsný vzduchotechnický systém.

•Systém zahrnuje potrubí, tvarovky, tlumiče hluku, vzduchové výusti.



•konec potrubí se samčím hrdlem má otevřený, dozadu ohnutý okraj (pertlování)

•konec potrubí se samičím hrdlem má potřebný počet nacvakacích noků

https://www.lindab.cz/o-produktech/vzduchotechnika2/ads-potrubni-systemy/

cc BY NC SA

Zakreslování VZT

PŮDORYS

- znázornění pohledu seshora („odklopí se strop“)
- stavba zjednodušeně (bez kót, šrafování), tence
- viditelné potrubí tlustě plně
- u kruhového potrubí se kreslí tence čerchovaně osa
- zakryté potrubí (neviditelné) tence čárkovaně
- příruby (spoje) u tvarovek
- rozměry potrubí u příruby (spoje), kde se mění rozměr
- koncové prvky, klapky, tlumiče - grafické značky

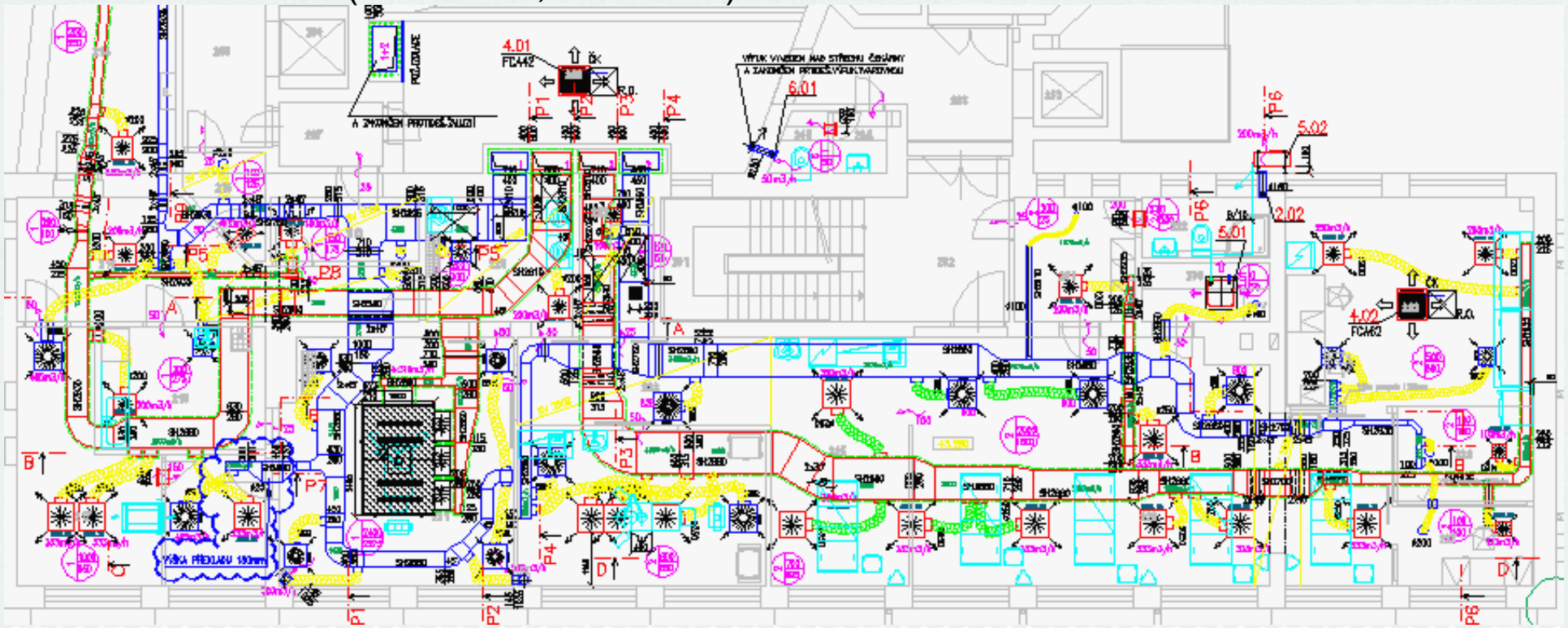
ŘEZY, POHLEDY

- doplňuje půdorys všude, kde se kříží potrubí, mění výšku apod. a kde půdorys dostatečně nezobrazuje situaci
- kreslí se podle stejných zásad

cc BY NC SA

Výkresy vzduchotechniky - půdorys

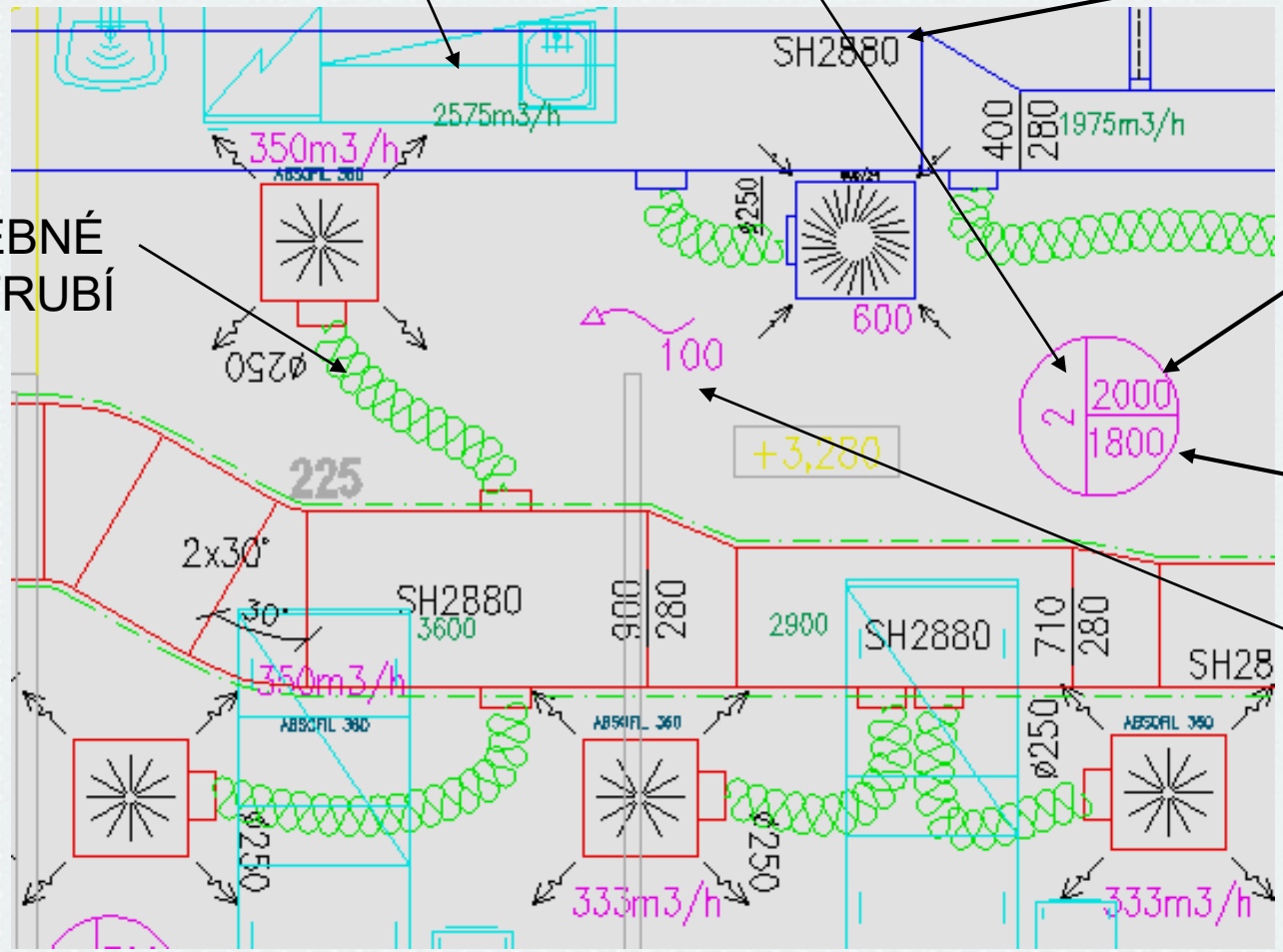
VÝZNAM ZNAČEK (VYÚSTKY, IZOLACE) - LEGENDA



- POLOHA, TYP A VELIKOST KONCOVÝCH ELEMENTŮ (PŘÍVOD - ODVOD)
- POLOHA, DRUH (TVRDÉ, OHEBNÉ), TVAR (KRUH - OSA) A ROZMĚR POTRUBÍ, VIDITELNOST PŘI KŘÍŽENÍ, IZOLACE
- PRŮTOKY VZDUCHU PO MÍSTNOSTECH NEBO JEDNOTLIVÝMI ELEMENTY

BY NC SA

Výkresy vzduchotechniky - půdorys



ČTYŘHRANNÉ POTRUBÍ

OZNAČENÍ ZAŘÍZENÍ Č.

SPODNÍ HRANA POTRUBÍ

OHEBNÉ POTRUBÍ

PŘÍVOD VZDUCHU

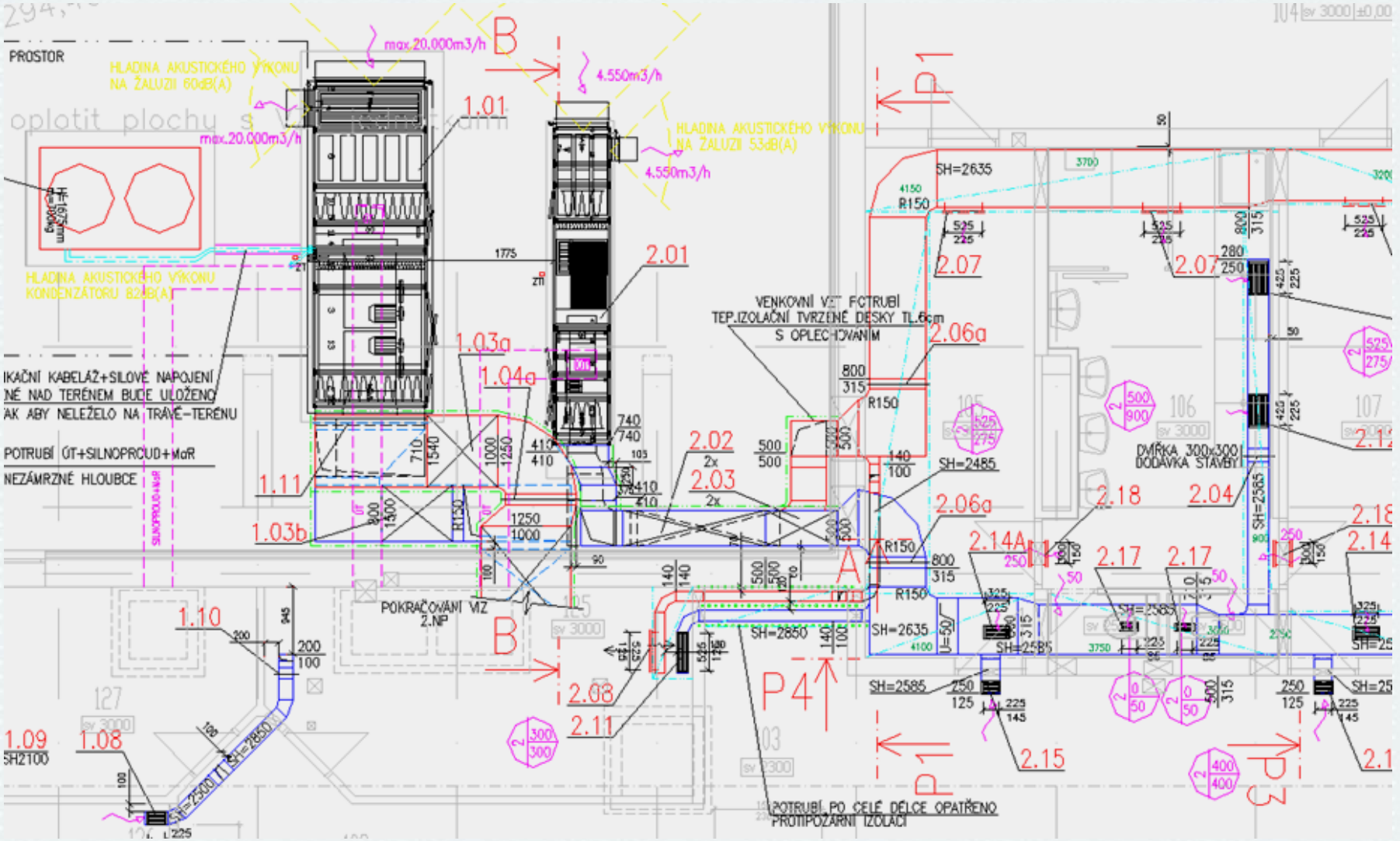
ODVOD VZDUCHU

SMĚR PROUDĚNÍ VZDUCHU

(PŘEFUK)

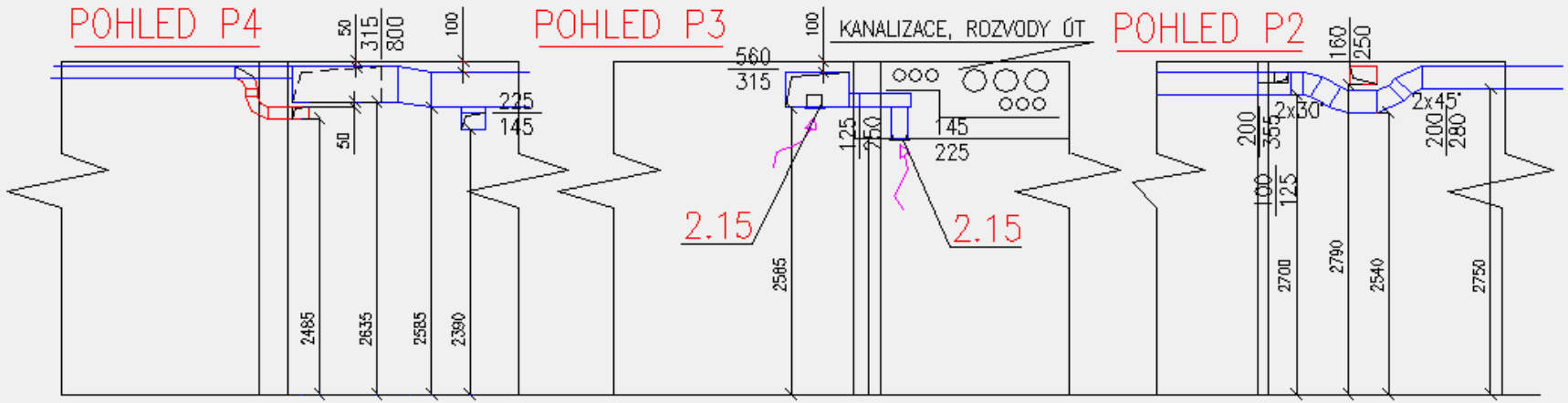
BY NC SA

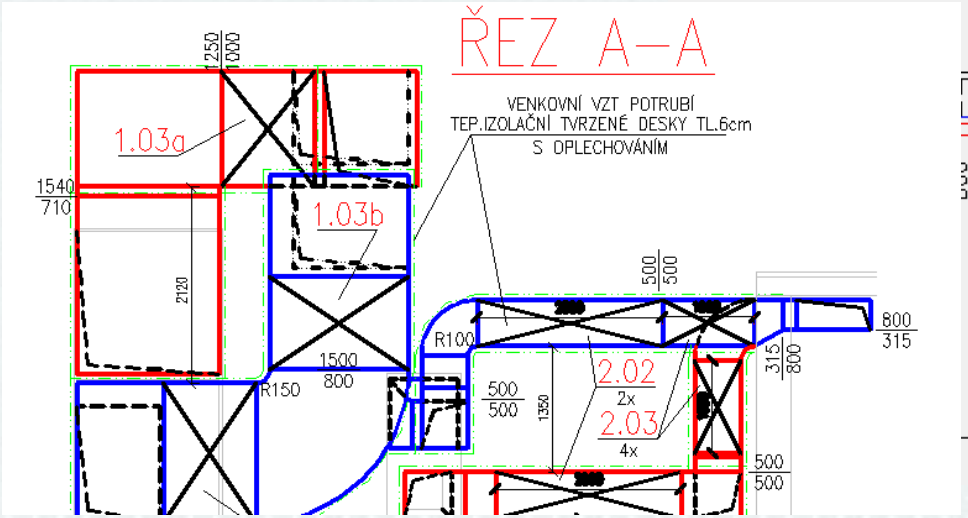
Výkresy vzduchotechniky - půdorys

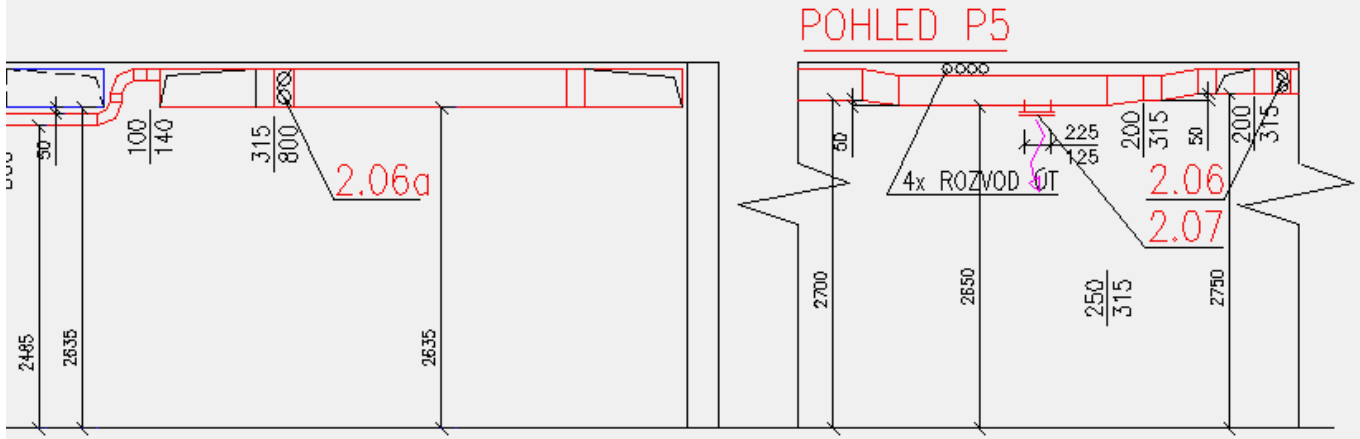


CC BY NC SA

Výkresy vzduchotechniky – pohledy (řezy)

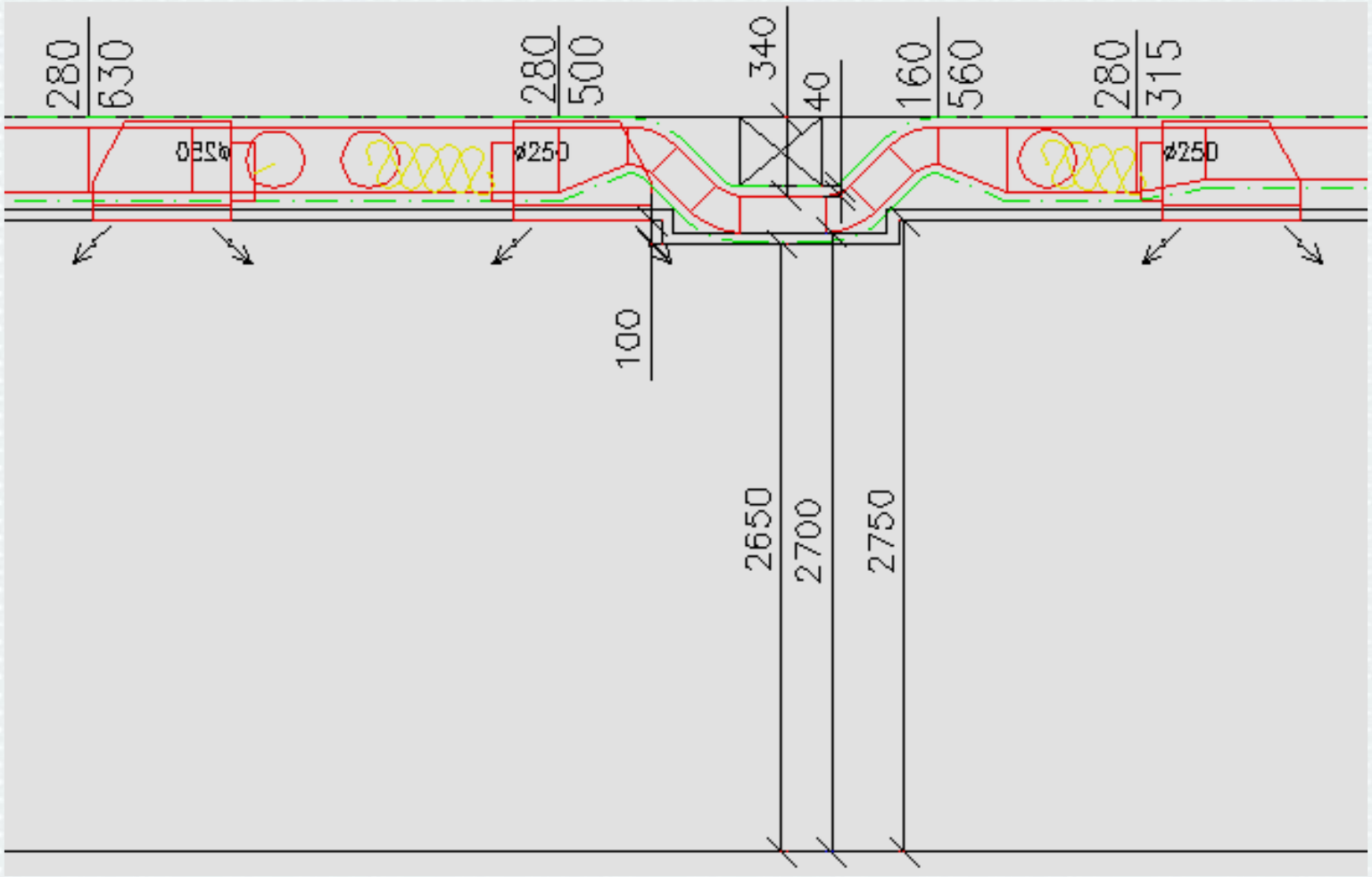






BY NC SA

Výkresy vzduchotechniky - řez

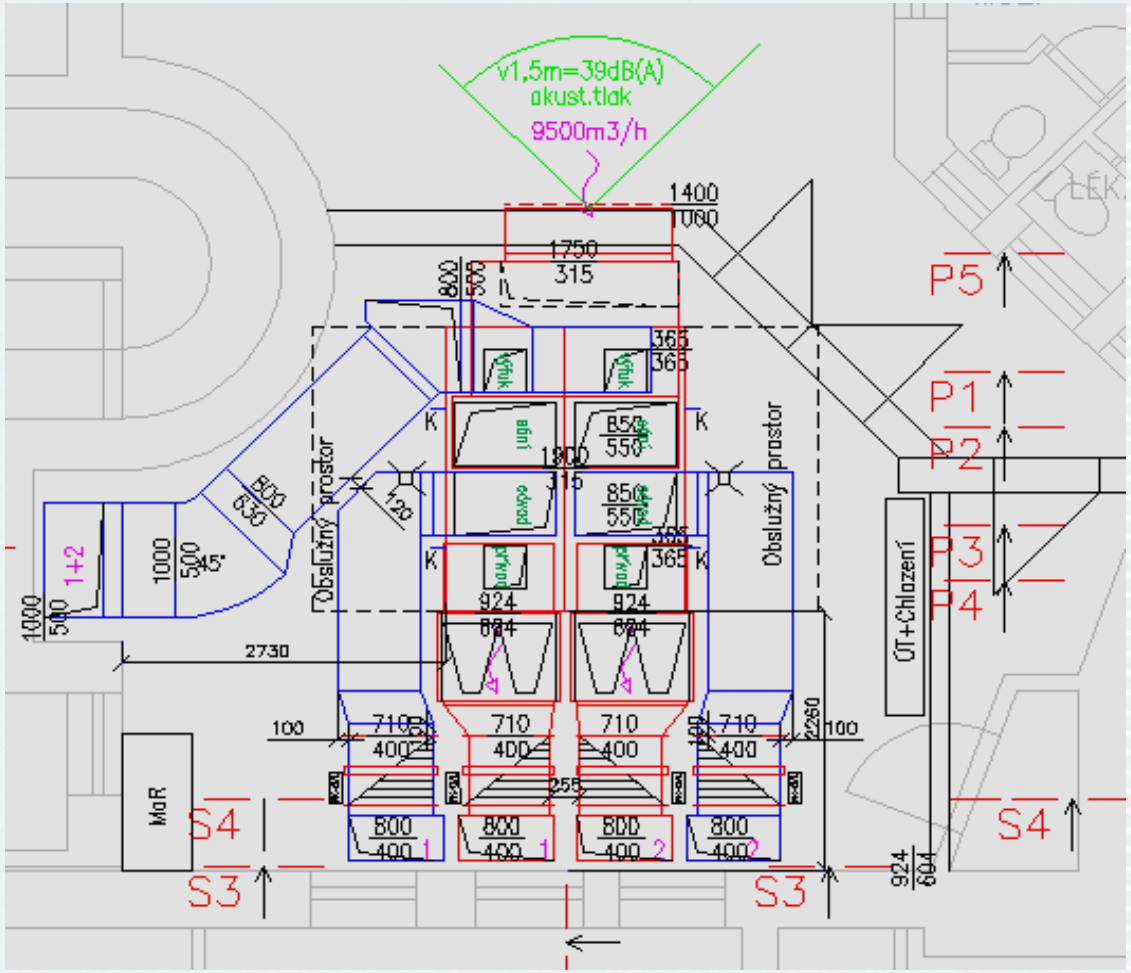


BY NC SA

Výkresy vzduchotechniky - strojovna VZT, půdorys

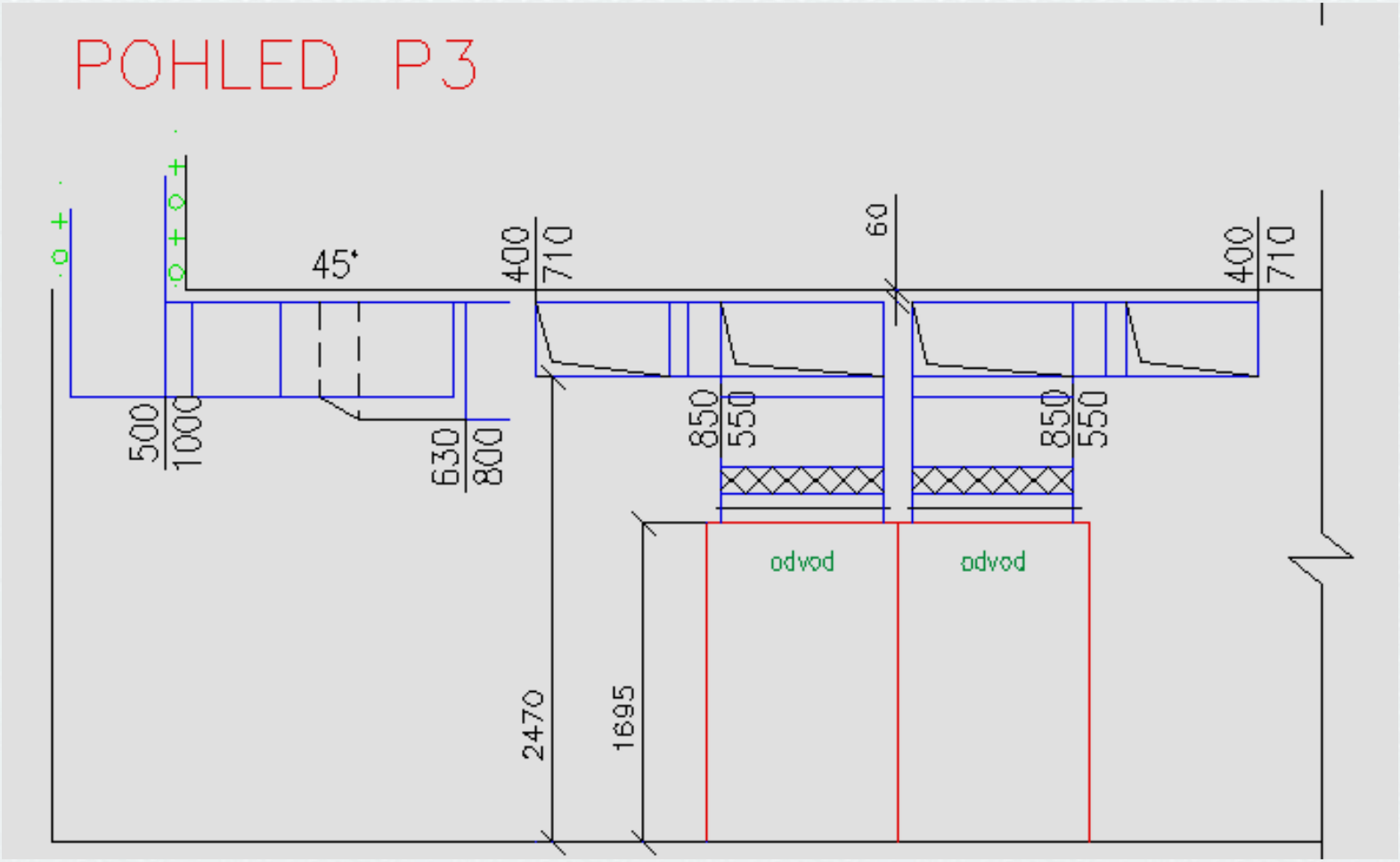
PŮDORYS STROJOVNY
DISPOZIČNÍ ŘEŠENÍ

- POLOHA, SKLADBA (ZNAČKY) A VELIKOST VZT JEDNOTEK, VENTILÁTORŮ (ZÚV), JEJICH PŘIPOJOVACÍ ROZMĚRY
- POTRUBÍ A JEHO PŘÍSLUŠENSTVÍ, KONCOVÉ PRVKY V EXTERIÉRU
- PRŮTOKY VZDUCHU KONCOVÝMI PRVKY, HLUKOVÉ ÚDAJE



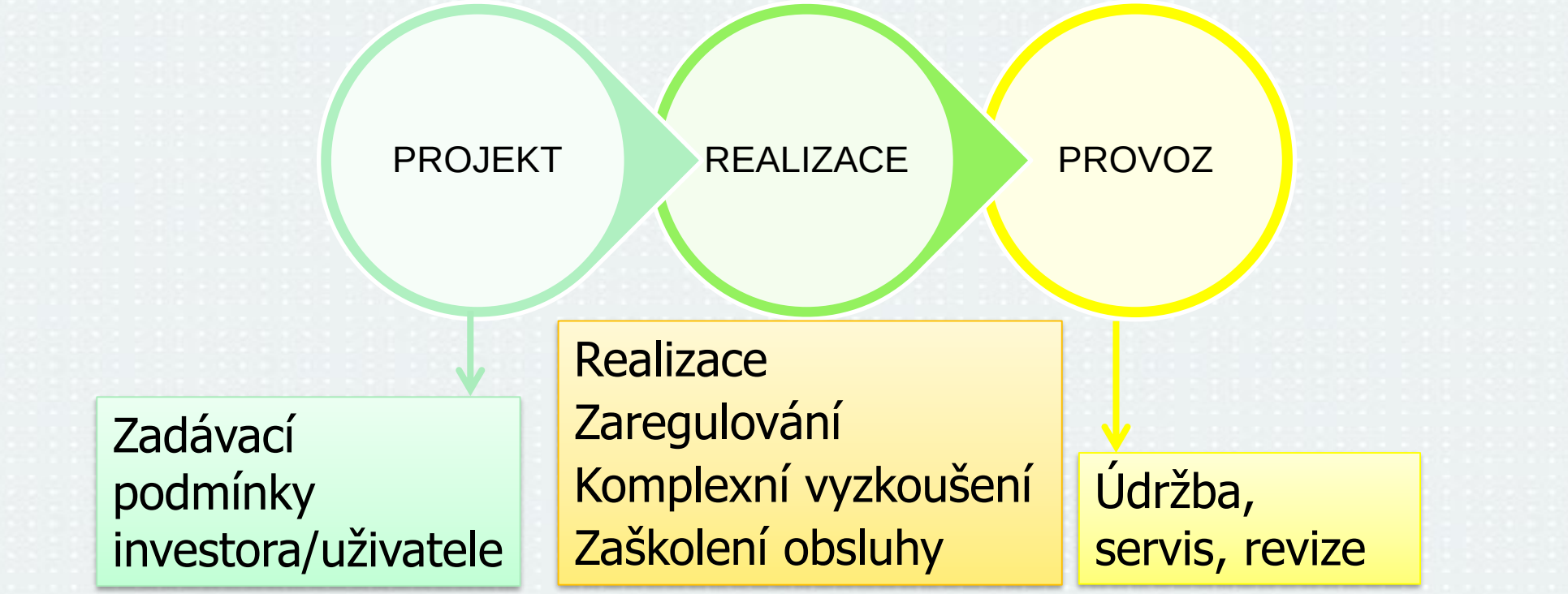
BY NC SA

Výkresy vzduchotechniky - strojovna VZT, řez



BY NC SA

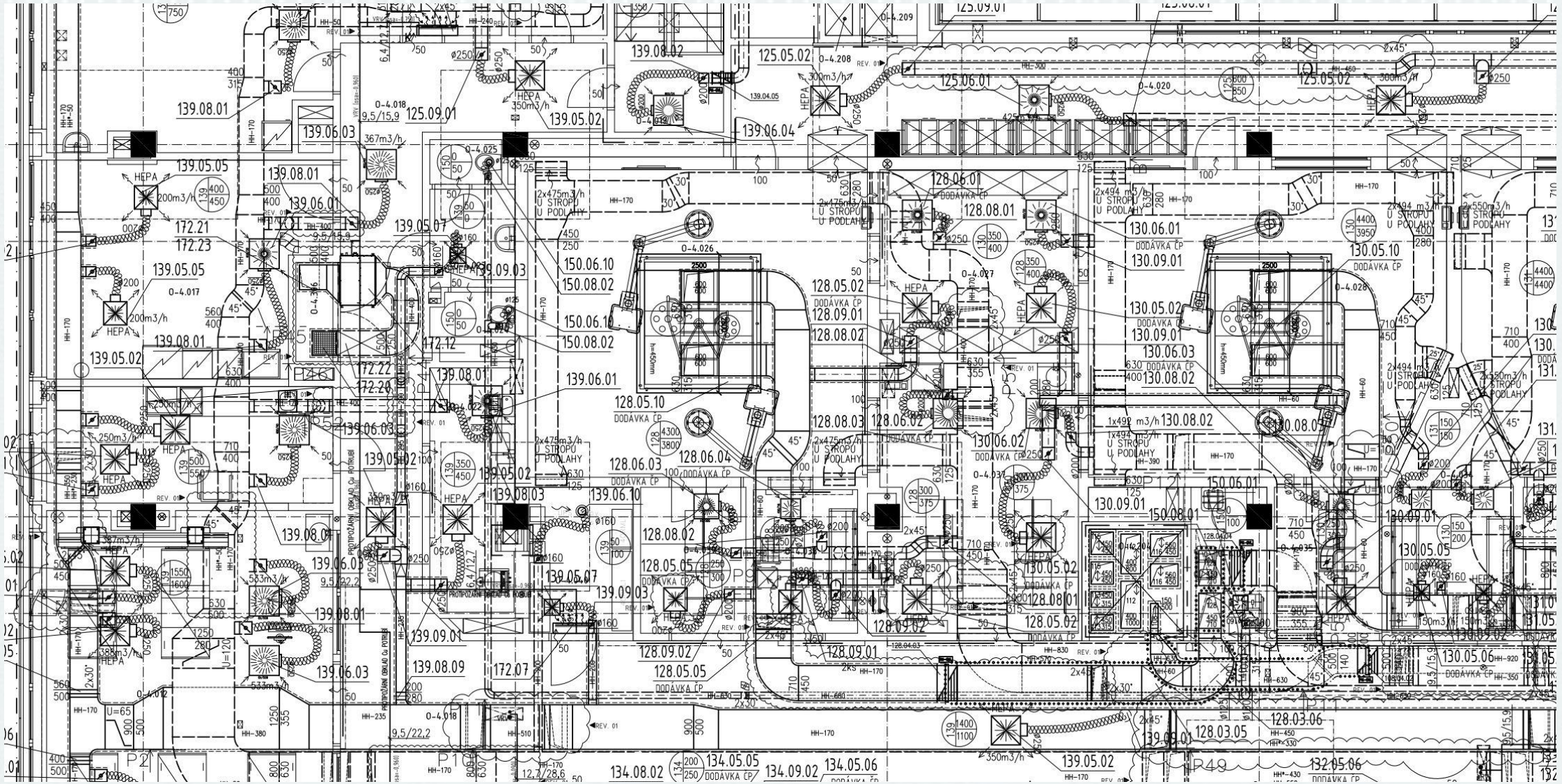
Aplikace ve vzduchotechnice



KVALITA
FUNKČNOST
TRVANLIVOST
BEZPEČNOST
ÚSPORNÝ PROVOZ …

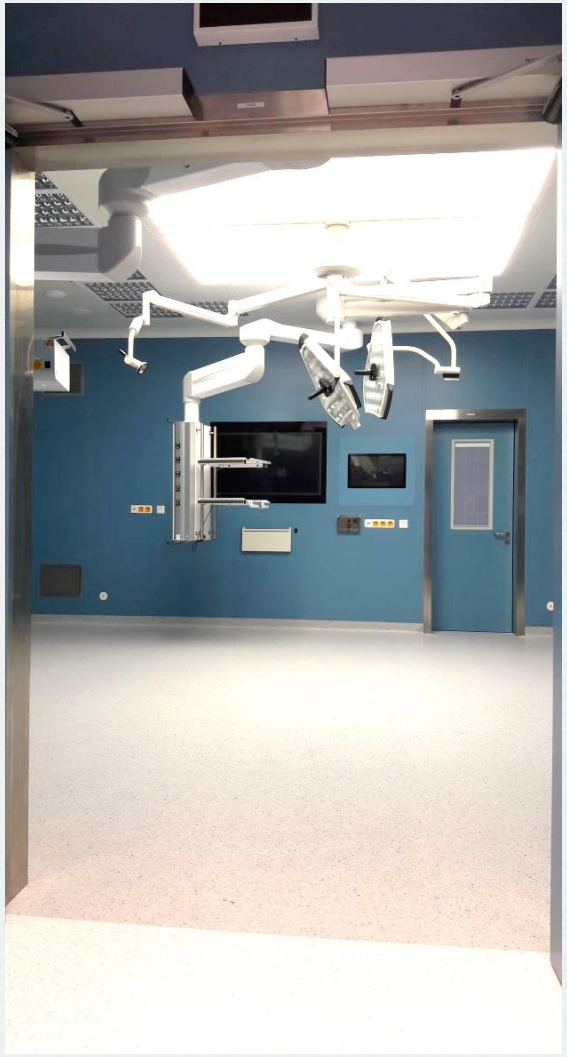
BY NC SA

Výkresy a realita VZT



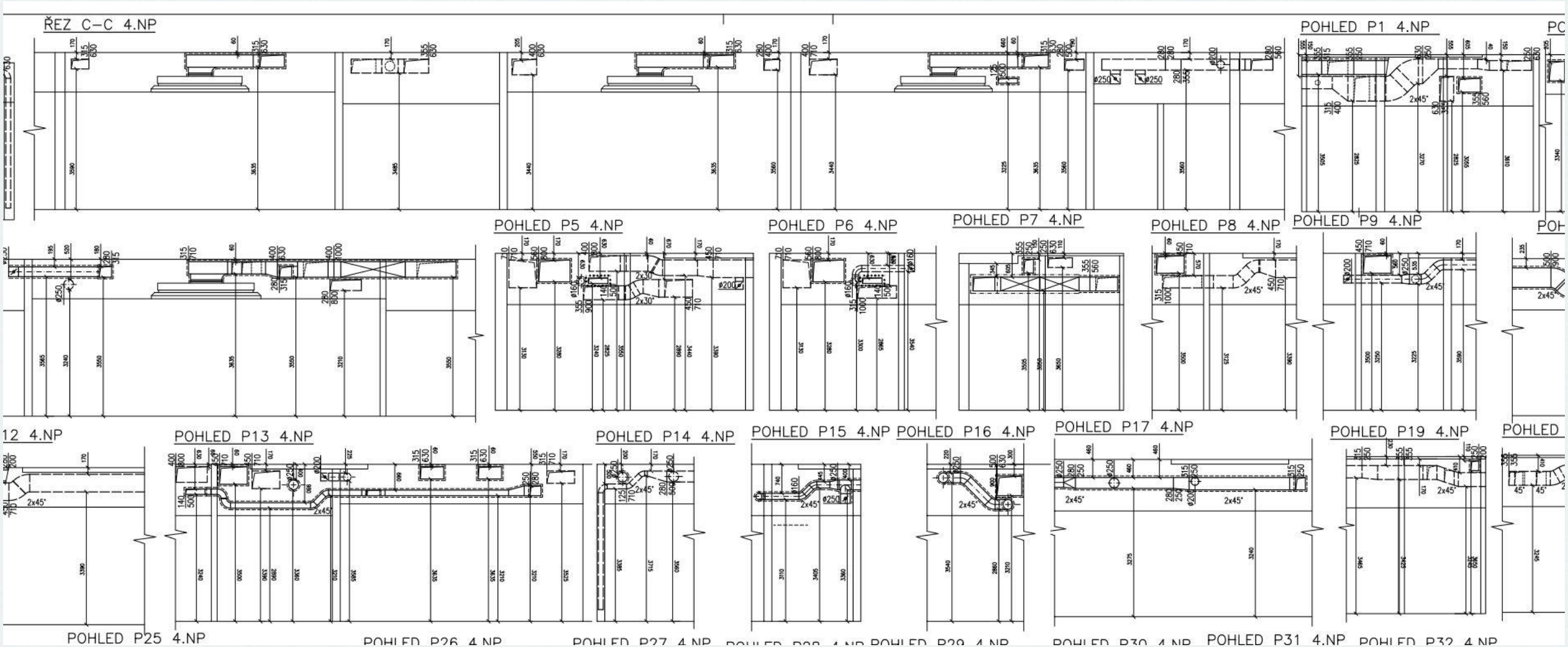
CC BY NC SA

Výkresy a realita VZT



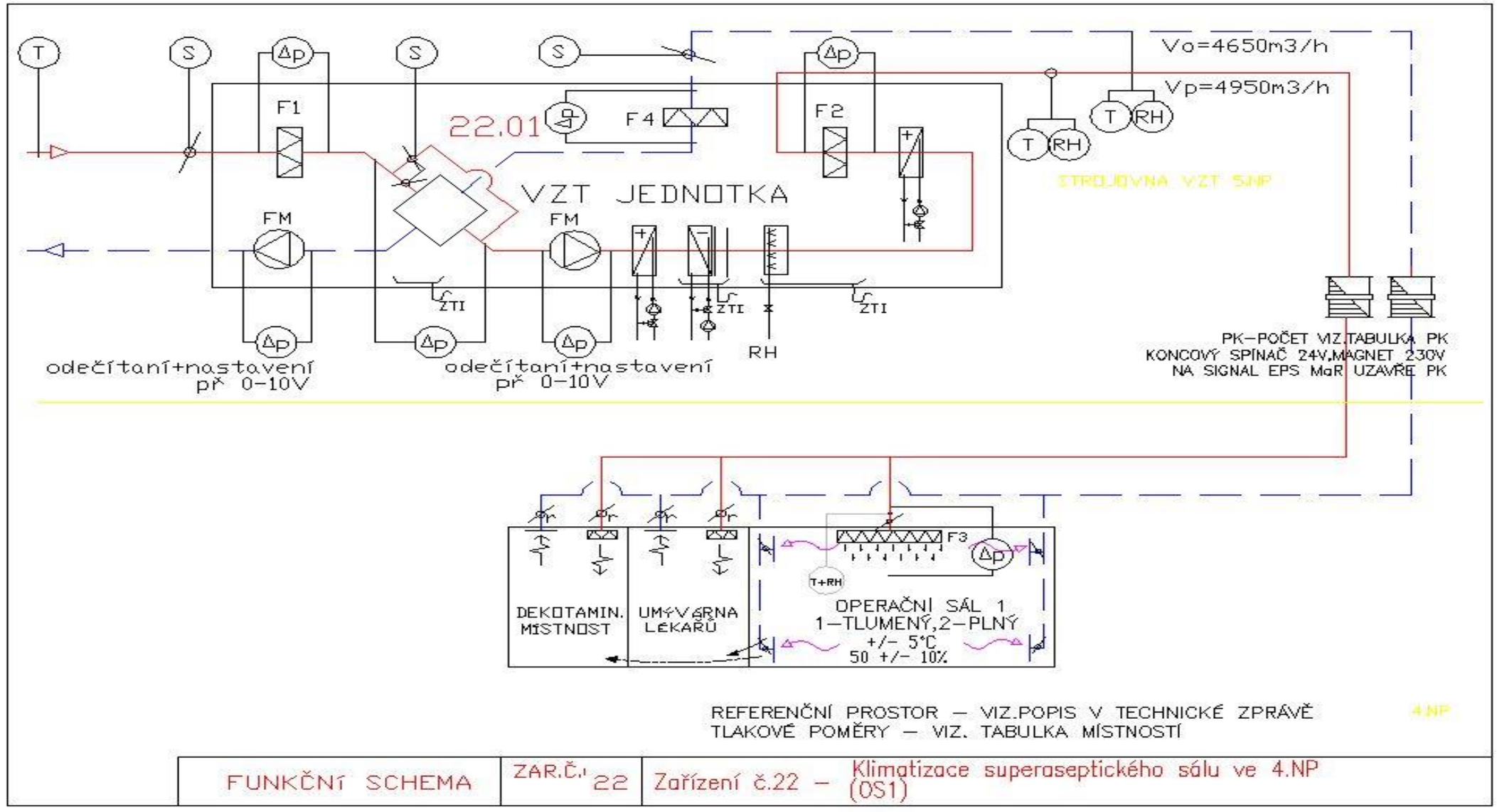
BY NC SA

Výkresy a realita VZT



CC BY NC SA

Výkresy schéma funkčního celku VZT

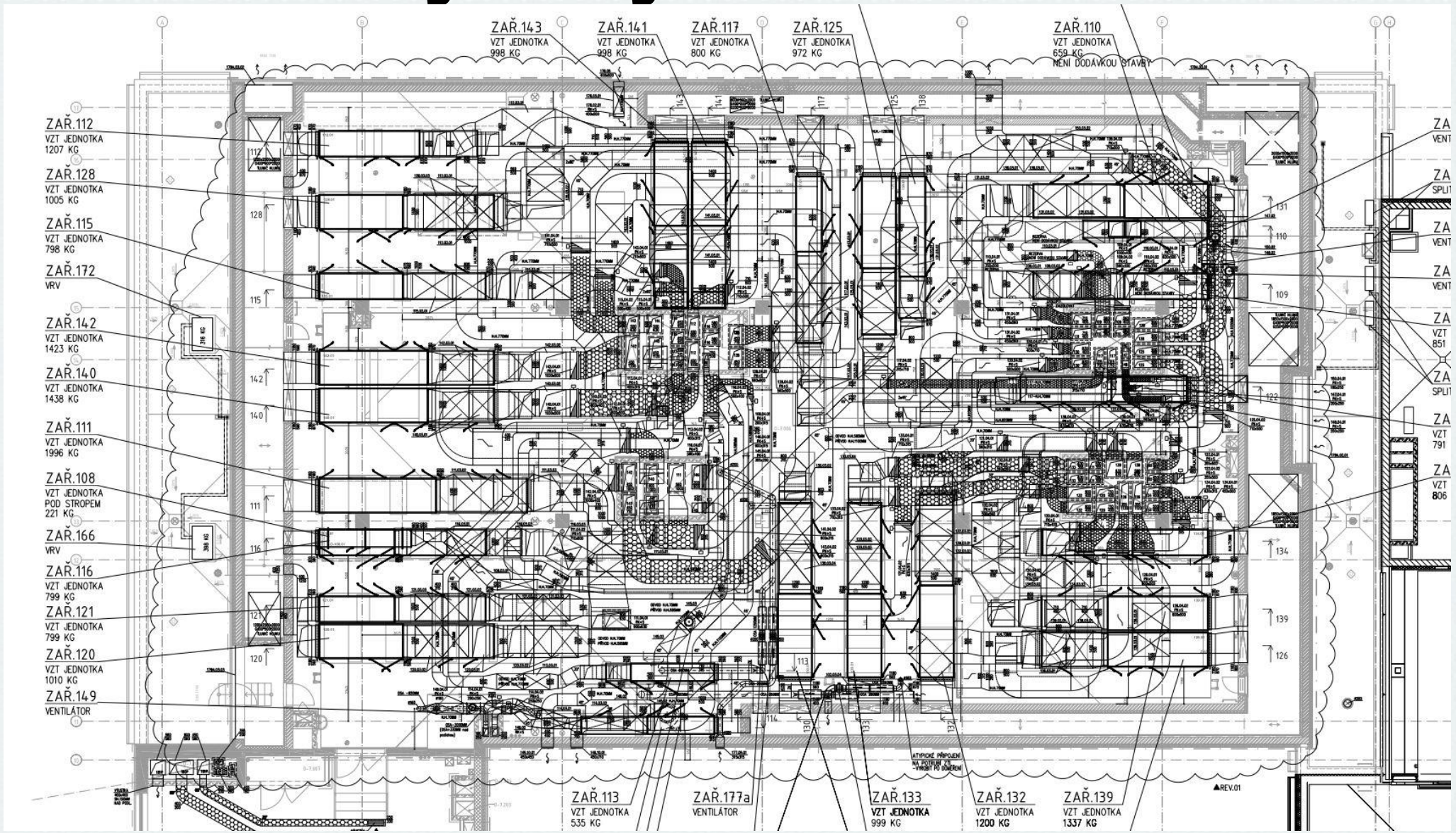


CC BY NC SA

Výkresy a realita VZT

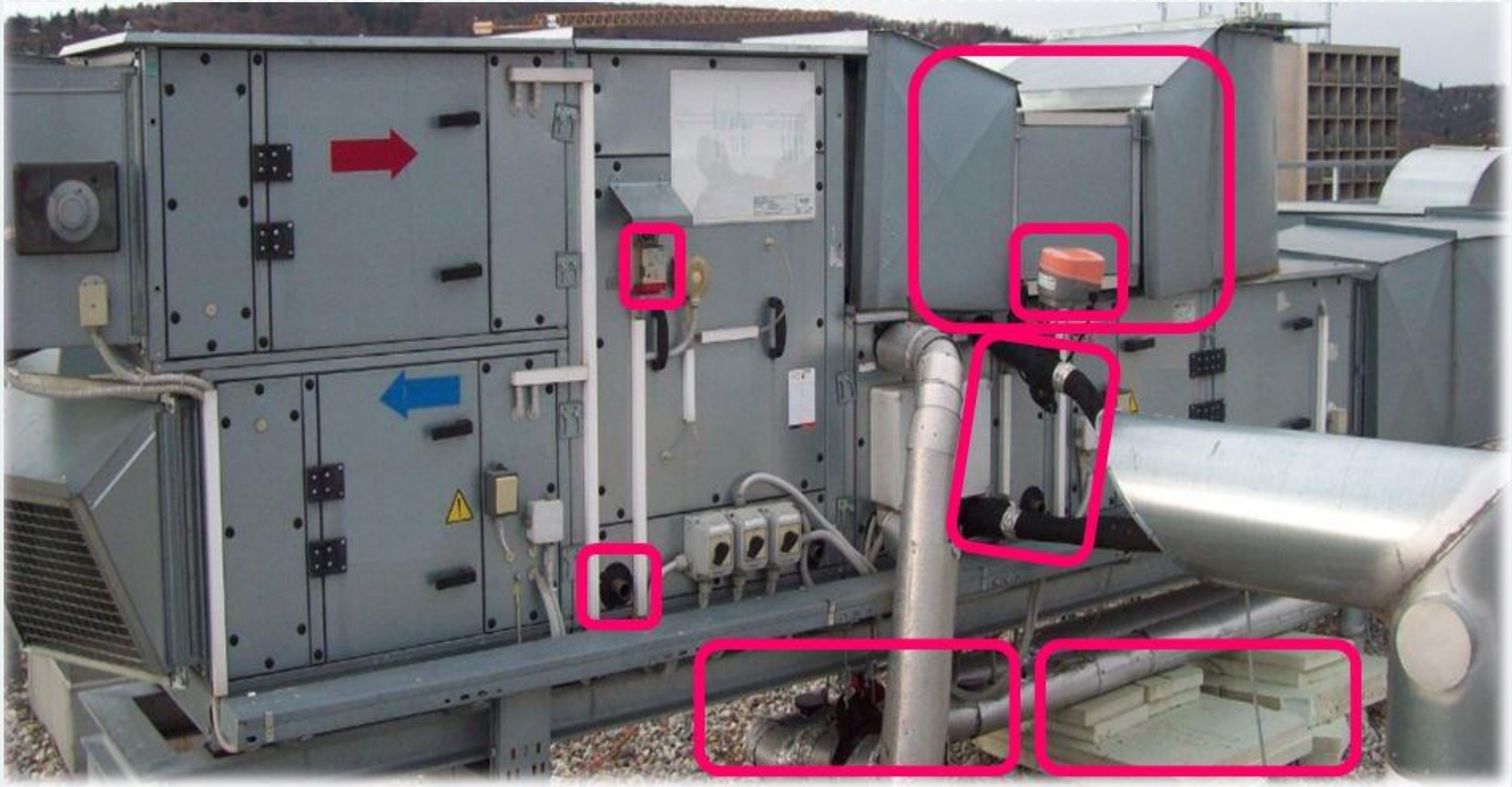
cc BY NC SA

Výkresy a realita VZT



BY NC SA

Výkresy a realita VZT – bezpečný provoz



Zařízení navržené do vnitřního prostoru umístěné ve venkovním

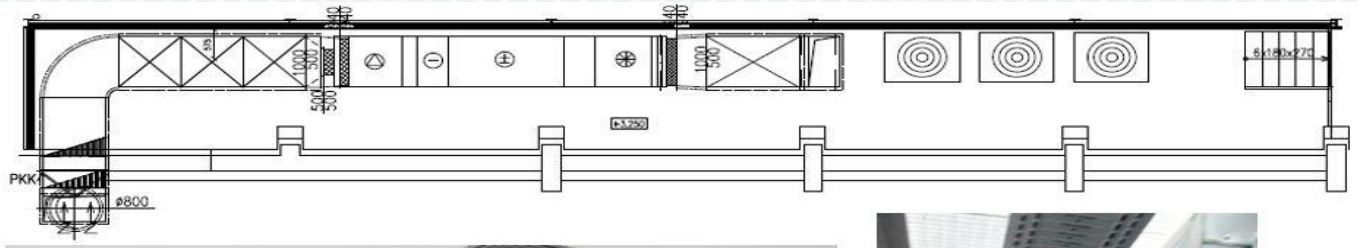
BY NC SA

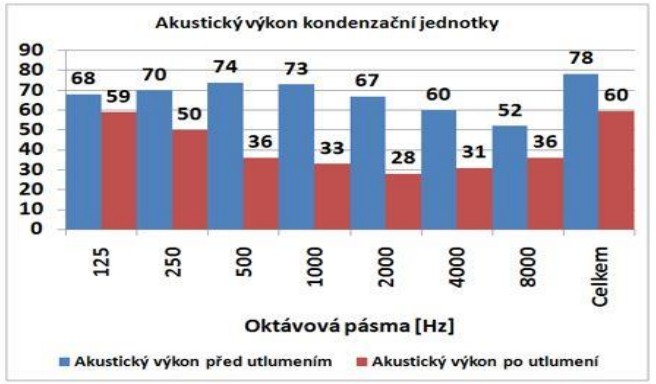
Výkresy a realita VZT – bezpečný provoz

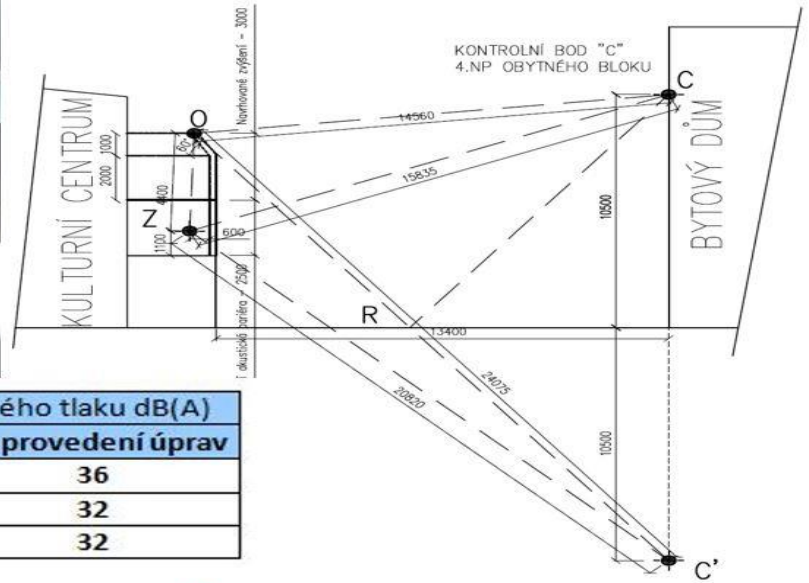
Sofistikovaná oprava – výměna

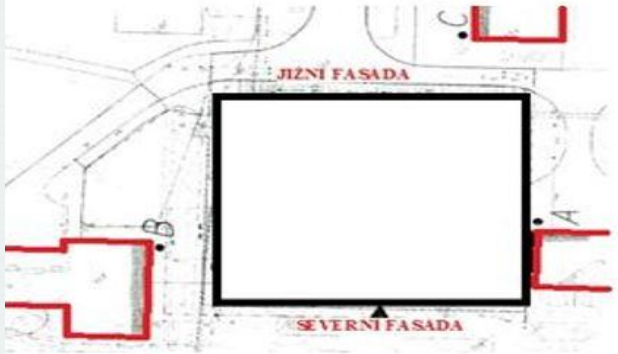
cc BY NC SA

VZT – bezpečný provoz – akustika !









Kontrolní bod	Ekvivalentní hladina akustického tlaku dB(A)	
	Před provedením úprav	Po provedení úprav
A	52	36
B	46	32
C	49	32

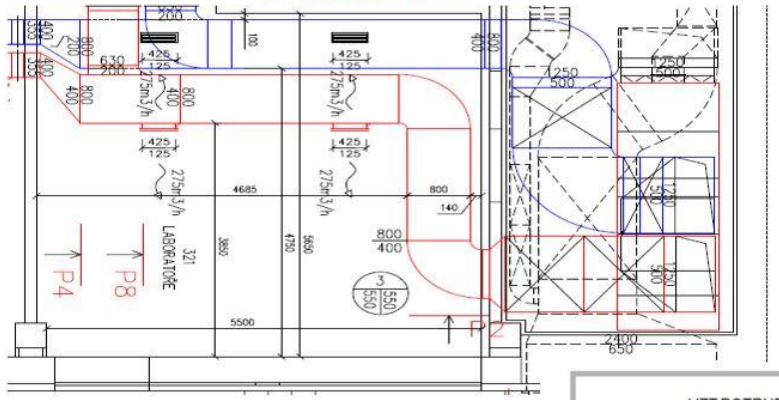
Akustika venkovního prostoru – na co ?
důležitější je „KRÁSNO" !!!

NÁKLAD NA OPRAVU
cca 900.000,- Kč

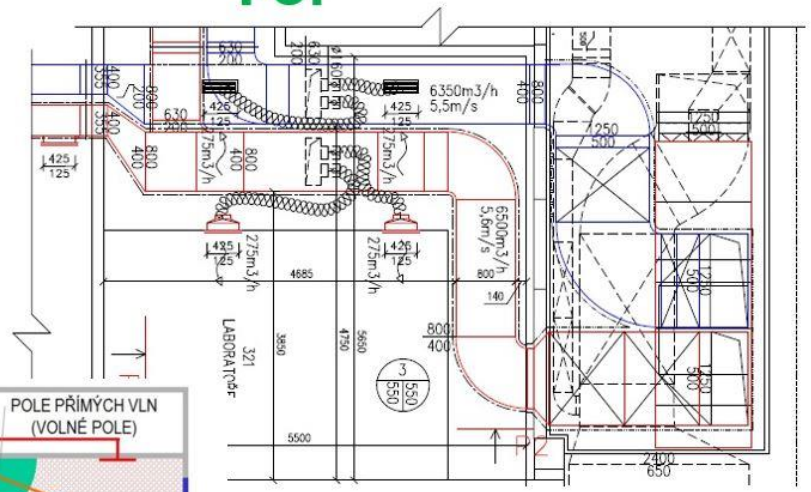
CC BY NC SA

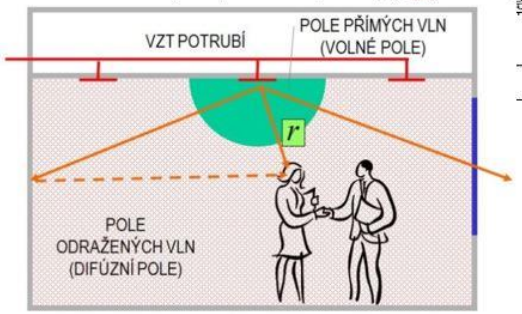
VZT – bezpečný provoz – akustika !

PŘED:



PO:





	Ekvivalentní hladina akustického tlaku L_p[dB(A)] přívodního ventilátoru.	Ekvivalentní hladina akustického tlaku L_p[dB(A)] odvodního ventilátoru.	Součtová hladina akustického tlaku L_p [dB(A)] pro přívodní i odvodní ventilátor.
Stav dle PD.	63	56	63
Stav po aplikaci opatření.	42	49	50

Akustika vnitřního prostoru – proč to počítat?

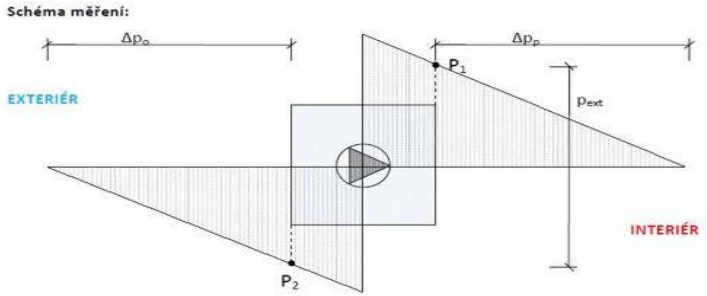
.....dyť už to vyšlo.

NÁKLAD NA OPRAVU
cca 900.000,- Kč

Tlumiče: vždyť buňka je stejná jako kulisa, jenom je 2x dražší.....!?

BY NC SA

VZT – reálný provoz – dopravní tlak



Nový fenomén spojený s volným oběžným kolem

přívod OK, odvod nedosahuje předkládaných parametrů závislosti Vo-dPext

tab. č. 1: Tabulka naměřených hodnot:

VZT jednotka	Bod	Odvod		Přívod		Bod	Odvod		Přívod		Externí tlak jednotky - naměřený [Pa]	Externí tlak jednotky - VÝROBCE [Pa]	REÁLNÝ TLAK V [%]
		Frekvence [Hz]	Tlak [Pa]	Frekvence [Hz]	Tlak [Pa]		Frekvence [Hz]	Tlak [Pa]	Frekvence [Hz]	Tlak [Pa]			
9	P1	42	135			P2	42	85			220	?	
	P1			53	190	P2			53	95	285	?	
9	P1	55	220			P2	55	152			375	500	-25
	P1			59	230	P2			59	203	433	450	OK
9	P1	49	122			P2	49	183			305	?	
	P1			53	190	P2			53	95	285	?	
9	P1	52	136	-	-	P2	52	200	-	-	O: 336	500	-33
	P1	-	-	66	245	P2	-	-	66	215	P:460	450	+ 2

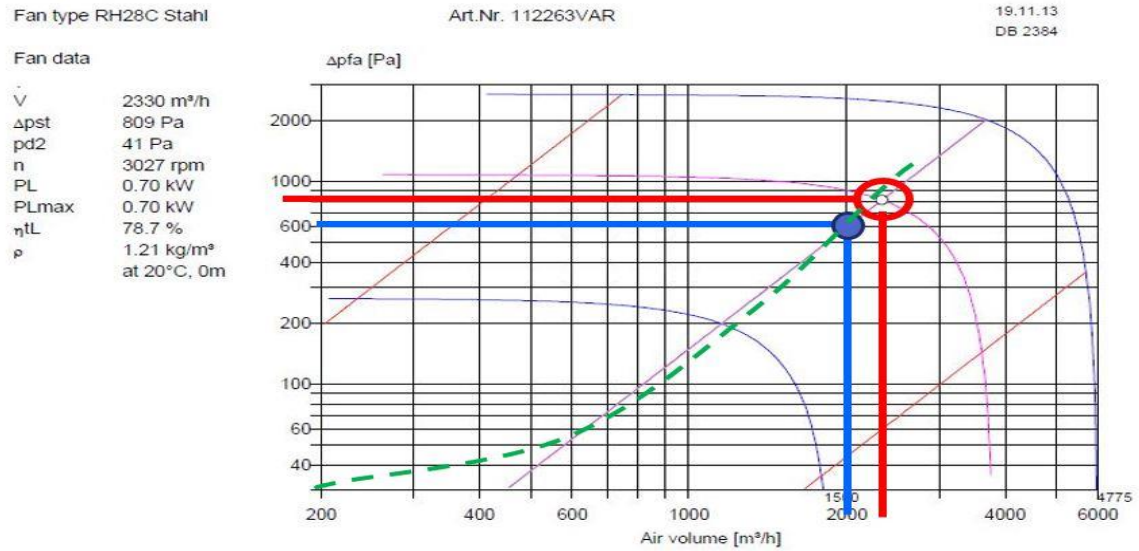
Vzduchový výkon jednotky?
Vždyť výrobce v technice uvádí parametry.
Jsou tyto parametry pravdivé ?

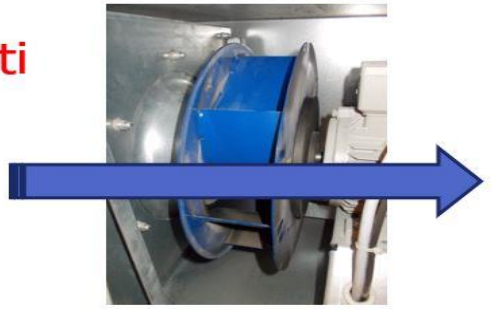
NÁKLAD NA OPRAVU
cca 60.000,- Kč

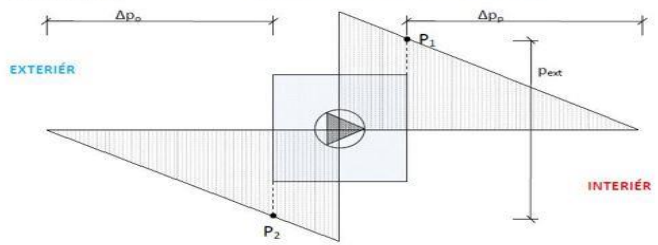
BY NC SA

VZT – reálný provoz – dopravní tlak

odvod nedosahuje předkládaných parametrů – závislosti V-p







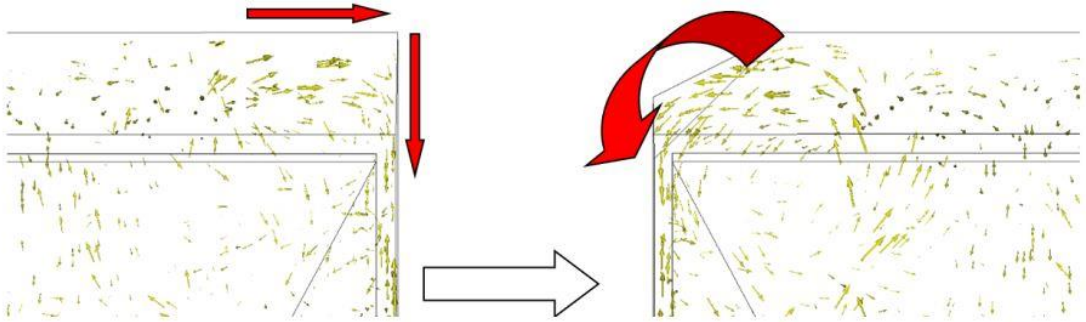
Pext = P1 + P2
P2 výrobce = 500 Pa
P2 změřeno = 375 Pa.

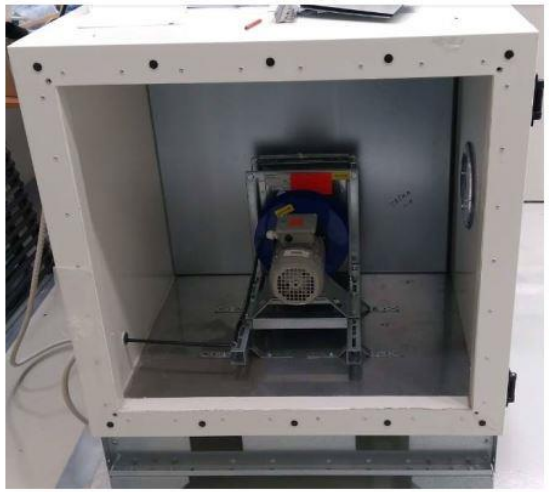
Pcelk - tlaková ztráta VZT jednotky na odvodu podle výrobce je 309 Pa + Pext.
Výrobce deklaruje Pext 500Pa – 2330 m³/h
Při zaregulování – zjištěn Pext 375 Pa – průtok 1900 m³/h

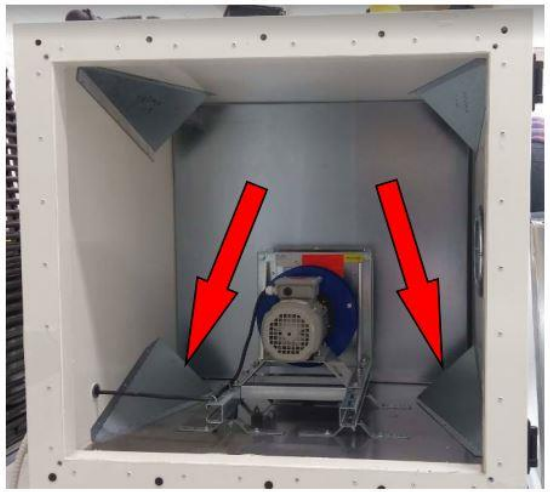
Vyjádření výrobce: v příloze zasílám pracovní bod odvodního ventilátoru při celkovém tlaku 809 Pa, což odpovídá požadovaným ext.tl. ztrátám 500Pa. Ventilátor musí dávat projektované parametry. Pokud tomu tak není, extérní tlakové ztráty jsou vyšší, než 500 Pa.
Znalec: Pext změřený na jednotce je 375 Pa, se ztrátami v potrubí toto nesouvisí. Ventilátor nedává požadovaný výkon – chybí 150Pa a 430 m³/h !!!

BY NC SA

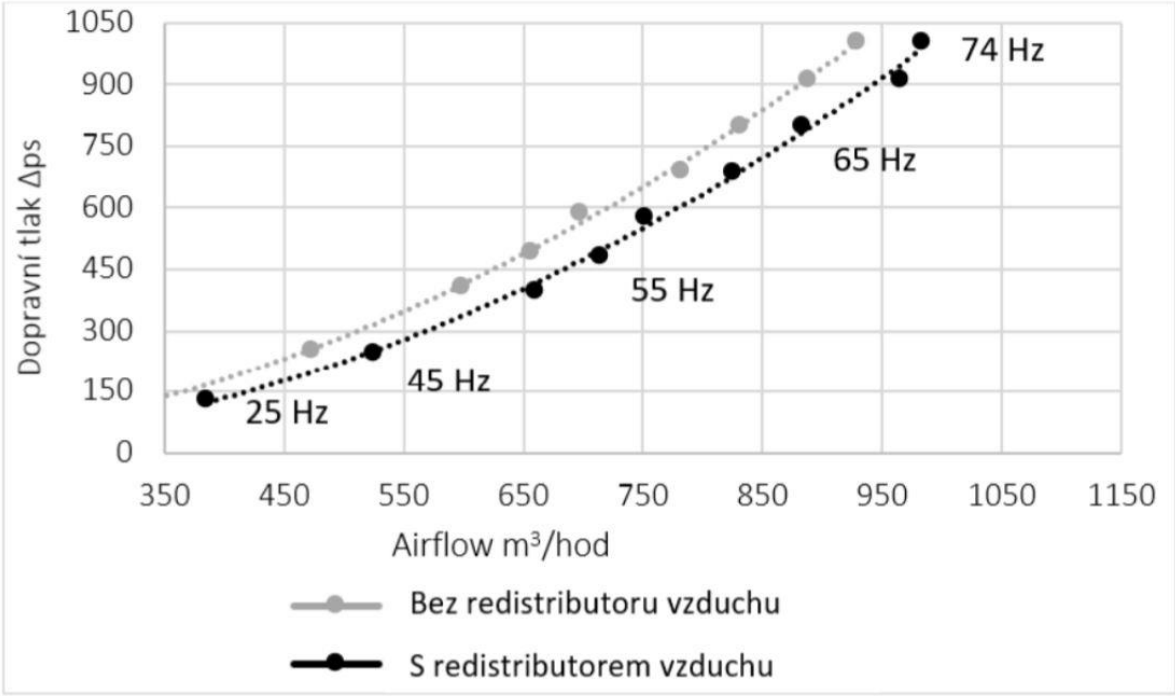
VZT – reálný provoz – dopravní tlak







Měření a dílčí výsledky



$$V = K \,.\, C_R \,.\, \sqrt{\Delta p}\,, \text{ kde}$$

V…….. je průtok vzduchu ventilátorovou komorou [m³/h]

K…….. je charakteristické číslo daného běžného kola udaného výrobcem [-]

Δp…… je tlakový rozdíl na volném oběžném kole [Pa]

C_R…….. je redukční parametr korespondující s geometrií ventilátorové komory [-]

cc BY NC SA

Magisterský studijní program JADERNÁ ENERGETIKA vznikl za přispění

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU

NÁRODNÍ PLÁN OBNOVY

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

NPO_VUT_MSMT-16609_2022

CC BY NC SA

VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Financováno Evropskou unií
NextGenerationEU

NÁRODNÍ PLÁN OBNOVY

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FAKULTA CHEMICKÁ

FAKULTA STAVEBNÍ

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Přednáška magisterského studijního programu JADERNÁ ENERGETIKA

Vzduchotechnika

Filtrace vzduchu, aplikace

Fakulta stavební

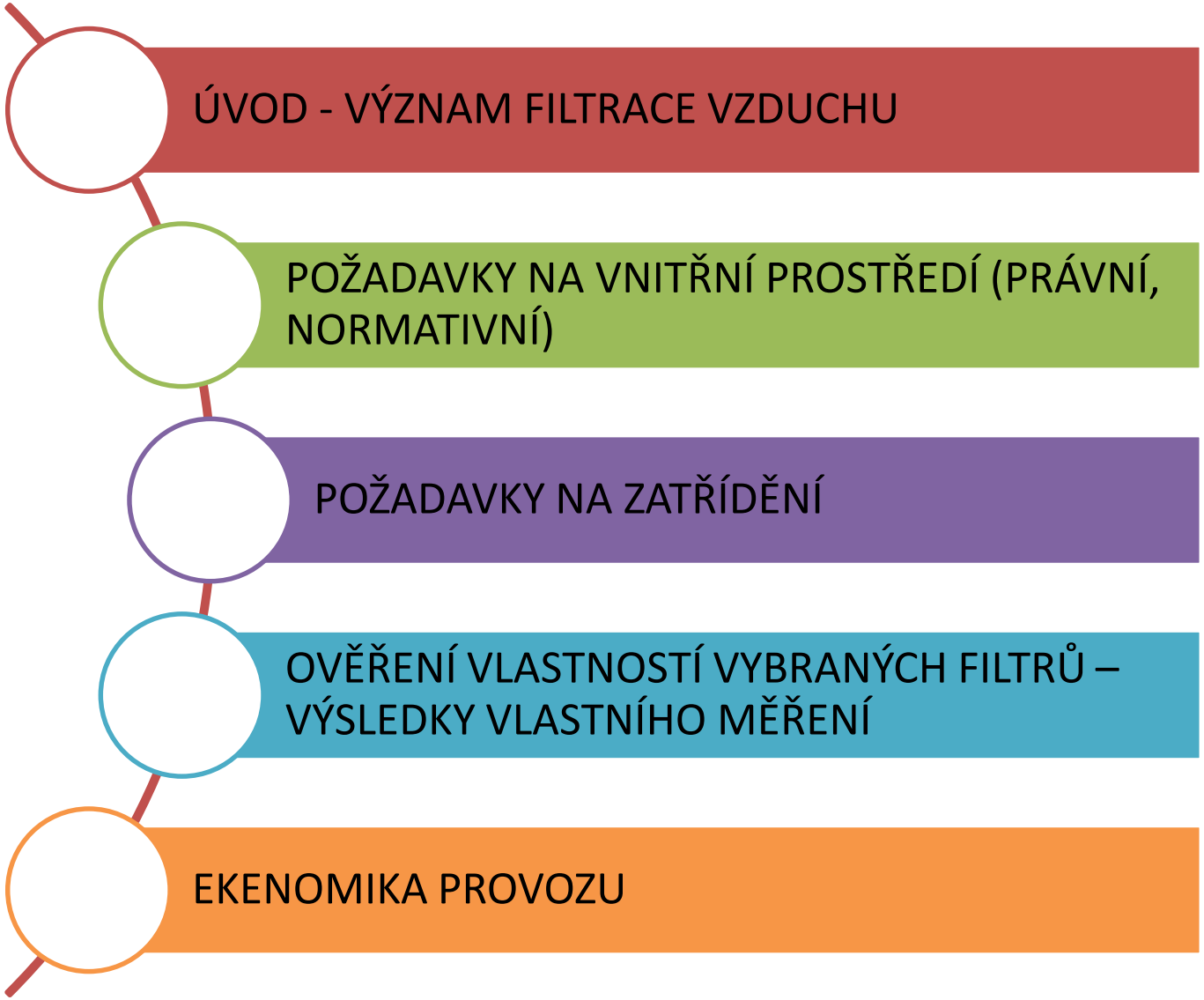
Ing. Petr Blasinski, Ph.D.

červen 2023

CC BY NC SA

Vzduchové filtry

OBSAH

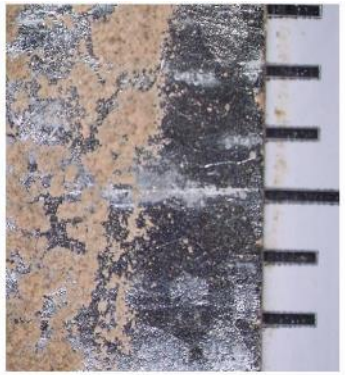


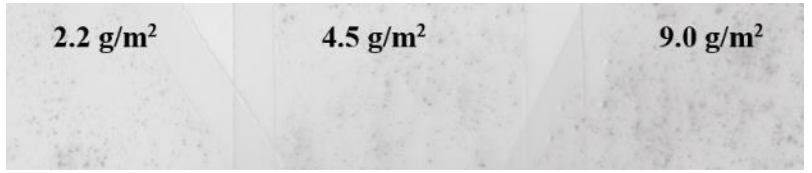
CC BY NC SA

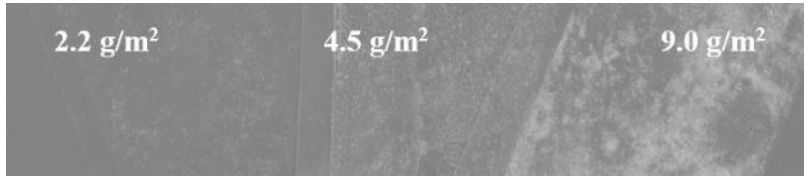
ÚVOD - VÝZNAM FILTRACE VZDUCHU

Vzduchové filtry - význam

ANORGANIC MATERIAL







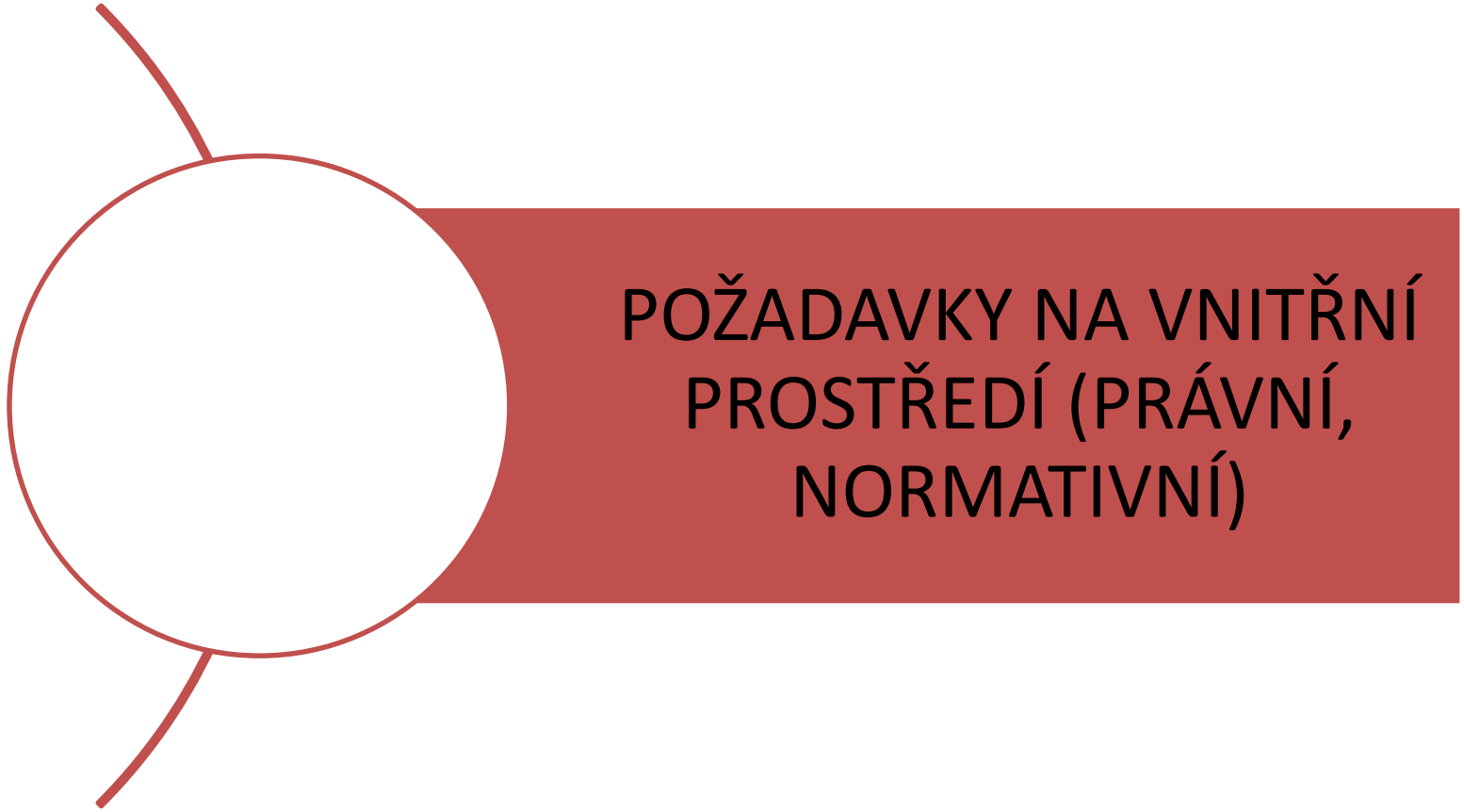
ORGANIC MATERIAL

Colony of bacteria

Colony of moulds

cc BY NC SA

Vzduchové filtry - aplikace



Vzduchové filtry - právní předpisy

Vyhláška č. 268 / 2009 Sb. o technických požadavcích na stavby.

§ 8 Základní požadavky
(1) Stavba musí být navržena a provedena tak, aby byla při respektování hospodárnosti vhodná pro určené využití a aby současně splnila základní požadavky, kterými jsou:
a) mechanická odolnost a stabilita,
b) požární bezpečnost,
c) ochrana zdraví osob a zvířat, zdravých životních podmínek životního prostředí
d) ochrana proti hluku,
e) bezpečnost při užívání,
f) úspora energie a tepelná ochrana.

(§ 10) Stavba musí být navržena a provedena tak, aby neohrožovala život a zdraví osob nebo zvířat3), bezpečnost, zdravé životní podmínky jejích uživatelů ani uživatelů okolních staveb a aby neohrožovala životní prostředí nad limity obsažené v jiných právních předpisech…

M5 / ISO ePM10 60
F9 / ISO ePM1 85

G3 / ISO Coarse 50

cc BY NC SA

Vzduchové filtry - právní předpisy

NV č. 361/2007 Sb. kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci se změnami: 68/2010 Sb.

§ 42 Nucené větrání

(1) Nucené větrání musí být použito vždy, pokud přirozené větrání prokazatelně nepostačuje k celoročnímu zajištění ochrany zdraví zaměstnance podle § 41 odst. 2 až 5.

(2) Vzduch přiváděný na pracoviště vzduchotechnickým zařízením musí obsahovat……Při nuceném větrání musí být přiváděný vzduch filtrován a v zimě ohříván. Oběhový vzduch musí být vyčištěn tak, aby zpětný vzduch přiváděný na pracoviště neobsahoval chemické látky nebo aerosoly včetně prachů v koncentraci vyšší než 5 % jejich přípustného expozičního limitu. Při použití teplovzdušného větrání nebo klimatizace nesmí podíl venkovního vzduchu poklesnout pod 15 % celkového množství přiváděného vzduchu.

(3) Chemická látka nebo aerosol včetně prachů musí být podle technických možností zachyceny přímo u zdroje…….. Vývody odváděného vzduchu do venkovního prostoru musí být umístěny tak, aby nedocházelo k zpětnému nasávání chemické látky nebo aerosolu včetně prachů do prostoru pracoviště větracím zařízením. Při místním odsávání s odvodem vzduchu do venkovního prostoru musí být zajištěn přívod venkovního vzduchu tak, aby byly dodrženy požadavky na mikroklimatické podmínky a na tlakové poměry ve větraném prostoru. Přiváděný vzduch nesmí zhoršovat kvalitu pracovního ovzduší.

CC BY NC SA

Vzduchové filtry - právní předpisy

Vyhláška č. 6/2003 Sb. kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb

§ 3 Mikroklimatické podmínky

(4) Pobytové místnosti musí mít zajištěno přímé nebo nucené větrání.

(5) Množství vyměňovaného vzduchu ve větraném prostoru se stanovuje s ohledem na množství osob a vykonávanou činnost tak, aby byly dodrženy mikroklimatické podmínky a hygienické limity chemických látek a prachu.

(6) Nucené větrání se použije tam, kde přímé větrání je nedostačující k odvodu vznikajících škodlivin a tepelně-vlhkostní zátěže prostoru.

(7) Vývody odváděného vzduchu do venkovního prostředí se umísťují tak, aby nedocházelo ke zpětnému nasávání znečištěného vzduchu do okolních vnitřních prostorů.

§ 4 Chemické faktory a prach

(1) Limitní koncentrace chemických faktorů a prachu ve vnitřním prostředí staveb jsou stanoveny jako jednohodinové a jsou uvedeny v příloze č. 2.

cc BY NC SA

Vzduchové filtry - právní předpisy

Ukazatelé	jednotka	limit [4)]
oxid dusičitý	$\mu g \cdot m^{-3}$	100
frakce prachu PM10 [1)]	$\mu g \cdot m^{-3}$	150
frakce prachu PM2,5 [2)]	$\mu g \cdot m^{-3}$	80
oxid uhelnatý	$\mu g \cdot m^{-3}$	5000
ozón	$\mu g \cdot m^{-3}$	100
azbestová a minerální vlákna [3)]	počet vláken$\cdot m^{-3}$	1000
amoniak	$\mu g \cdot m^{-3}$	200
benzen	$\mu g \cdot m^{-3}$	7
toluen	$\mu g \cdot m^{-3}$	300
suma xylenů	$\mu g \cdot m^{-3}$	200
styren	$\mu g \cdot m^{-3}$	40
etylbenzen	$\mu g \cdot m^{-3}$	200
formaldehyd	$\mu g \cdot m^{-3}$	60
trichloretylen	$\mu g \cdot m^{-3}$	150
tetrachloretylen	$\mu g \cdot m^{-3}$	150

Příloha č. 2 k vyhlášce č. 6/2003 Sb.
Limitní koncentrace chemických ukazatelů ve vnitřním prostředí staveb
Tabulka č. 5: Limitní hodinové koncentrace chemických ukazatelů a prachu

1) Frakce prachu PM10 - prachové částice s převládající velikostí částic o průměru 10 mikrom, které projdou speciálním selektivním filtrem s 50% účinností.
2) Frakce prachu PM2,5 - prachové částice s převládající velikostí částic o průměru 2,5 mikrom, které projdou speciálním selektivním filtrem s 50% účinností.
3) Průměr vlákna <3mikrom, délka vlákna >/=5mikrom, poměr délky a průměru vlákna je >3:1.
4) Limity jsou stanoveny pro koncentrace látek vztažené na standardní podmínky.

cc BY NC SA

Vzduchové filtry – normativní předpisy

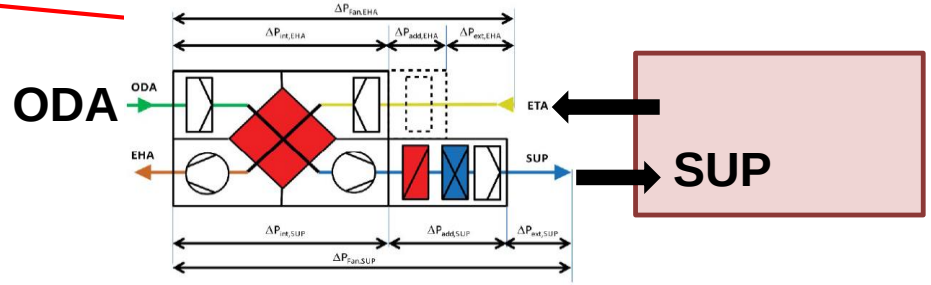
Norma ČSN EN 15665 Větrání budov – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov, změna Z1
NA.3.3. Nucené rovnotlaké větrání
…Použije se všude tam, kde není z hyg. důvodů možné zajistit přívod vzduchu pod tlakem z obvodové stěny, např. kde je venkovní prostředí zatíženo nadměrným hlukem nebo při výrazném znečištění venkovního ovzduší.
Větrací jednotka pro nucený přívod vzduchu musí být vybaven filtrací vzduchu a ohřívačem resp. předehřívačem vzduchu…..

CC BY NC SA

Vzduchové filtry – normativní předpisy

~~ČSN EN 13779 Větrání nebytových budov – Základní požadavky na větrací a klimatizační systémy~~

ČSN EN 16798-3 Energetická náročnost budov - Větrání budov - Část 3: Pro nebytové budovy - Výkonové požadavky na větrací a klimatizační systémy místností (Moduly M5-1, M5-4) (2020)



Tabulka 8 – Třídy venkovního vzduchu (ODA)

Třída	Charakteristika
ODA 1	Čistý vzduch s dočasnou přítomností prachu (např. pyl)
ODA 2	Venkovní vzduch s vysokou koncentrací prachových částic a/nebo plynných emisí
ODA 3	Venkovní vzduch s velmi vysokou koncentrací plynných emisí a/nebo částic

Tabulka 9 – Třídy přiváděného vzduchu (SUP)

Třída	Charakteristika
SUP 1	Přiváděný vzduch s velmi nízkou koncentrací částic a/nebo plynů
SUP 2	Přiváděný vzduch s nízkou koncentrací částic a/nebo plynů
SUP 3	Přiváděný vzduch se středně vysokou koncentrací částic a/nebo plynů
SUP 4	Přiváděný vzduch s vysokou koncentrací částic a/nebo plynů
SUP 5	Přiváděný vzduch s velmi vysokou koncentrací částic a/nebo plynů

CC BY NC SA

Vzduchové filtry – normativní předpisy

Tabulka 16 – Minimální filtrační odlučivost založená na kvalitě vzduchu podle obsahu hmotných částic

Kvalita venkovního vzduchu	Třída přiváděného vzduchu				
	SUP 1	SUP 2	SUP 3	SUP 4	SUP 5
ODA (P) 1	88 %[a]	80 %[a]	80 %[a]	80 %[a]	nespecifikováno
ODA (P) 2	96 %[a]	88 %[a]	80 %[a]	80 %[a]	60 %
ODA (P) 3	99 %[a]	96 %[a]	92 %[a]	80 %[a]	80 %

[a] Kombinovaná průměrná odlučivost filtrace při jednostupňové nebo vícestupňové filtraci na základě průměrné odlučivosti filtrace uvedené v EN 779.

Tabulka 17 – Použití filtru plynných látek jako doplňku k atmosférickým filtrům na základě kvality venkovního vzduchu

Kvalita venkovního vzduchu	Třída přiváděného vzduchu				
	SUP 1	SUP 2	SUP 3	SUP 4	SUP 5
ODA (G)1	doporučeno				
ODA (G) 2	požadováno	doporučeno			
ODA (G)3	požadováno	požadováno	doporučeno		

G = Pokud navrhovaná třída kvality SUP je nad návrhovou třídou kvality ODA, měla by být uvažována filtrace plynů. Dimenzování by mělo být provedeno ve shodě s EN ISO 10121-1 a EN ISO 10121-2.

Tabulka B.3 – Doporučené minimální třídy filtrů filtrační sekce (definice tříd filtrů podle ČSN EN 779)

Kvalita venkovního vzduchu					
	SUP 1	SUP 2	SUP 3	SUP 4	SUP 5
ODA 1	M5 + F7	F7	F7	F7	–
ODA 2	F7 + F7	M5 + F7	F7	F7	M5
ODA 3	F7 + F9	F7 + F7	M6 + F7	F7	F7

cc BY NC SA

Zatřídění prostoru s ohledem na počet živých organismů

Kritérium kvality vzduchu pro pobytové místnosti z mikrobiálního hlediska Vyhláška č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb:

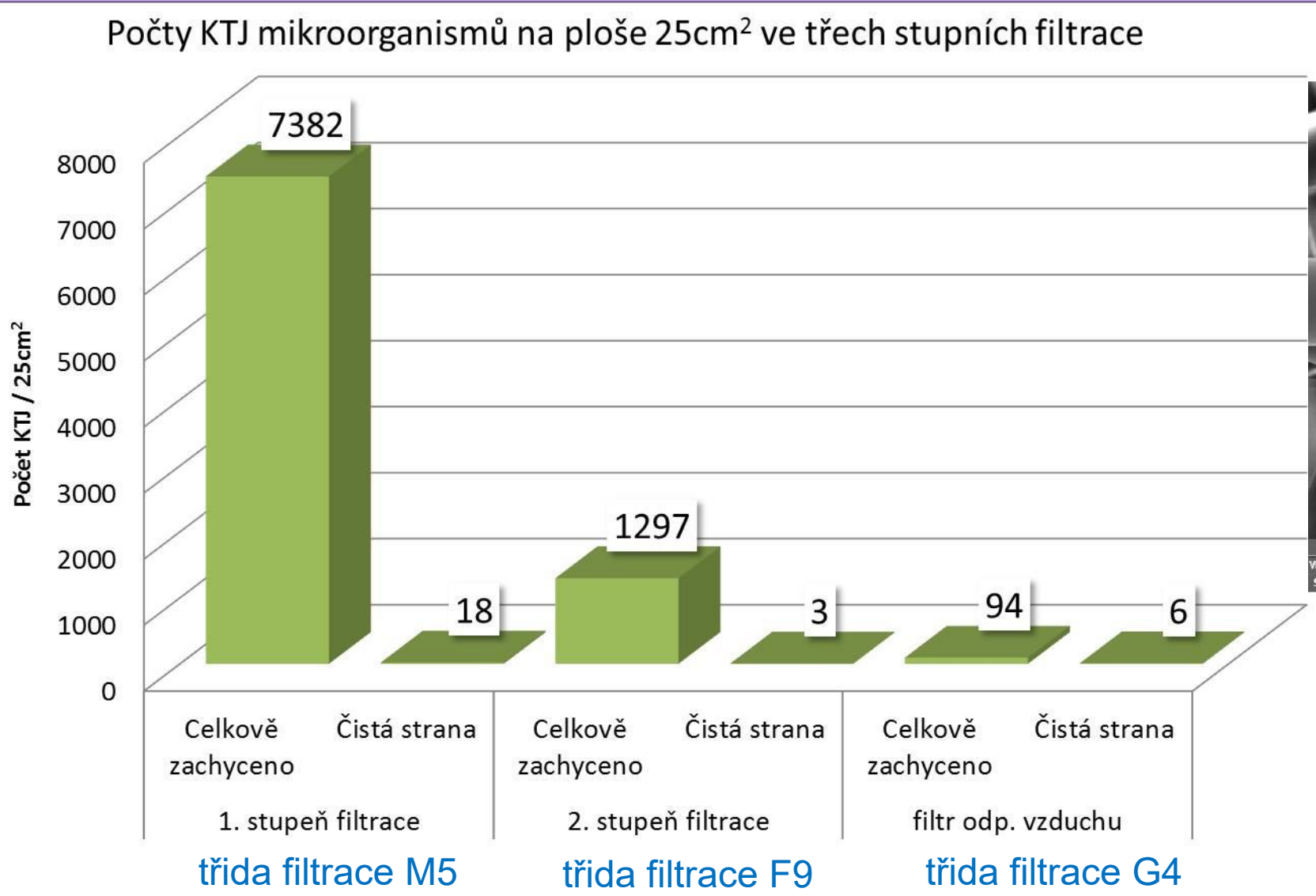
*„Požadavky na kvalitu vnitřního prostředí staveb **s výjimkou prostorů vyžadujících zvýšené nároky na jeho čistotu** se pokládají za splněné, nepřekročí-li koncentrace bakterií 500 kolonie tvořících jednotek na 1 m3 vzduchu (dále jen "KTJ.m-3 vzduchu") a koncentrace plísní vyšší než 500 KTJ.m-3 vzduchu při stanovení koncentrace mikroorganismů aktivním nasáváním vzduchu aeroskopem standardním operačním postupem podle přílohy č. 3 a kultivací na živné půdě provedené v souladu s "ČSN ISO 4833 Mikrobiologie“.*

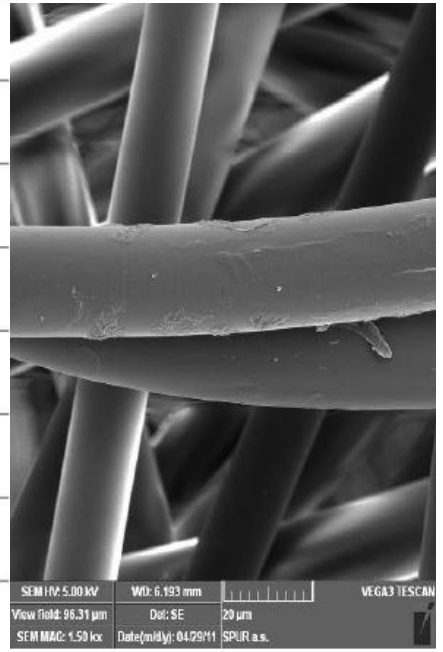
Evropský předpis ECA No. 12 Indoor air quality and its impact on man (Biological particles in indoor environments EUR 14988 EN:

Kategorie znečištění	Mikroorganismy [KTJ/m^3]	Plísně [KTJ/m^3]
Velmi nízké	< 50	< 25
Nízké	< 100	< 100
Střední	**< 500**	**< 500**
Vysoké	< 2000	< 2000
Velmi vysoké	> 2000	> 2000

CC BY NC SA

Zatřídění prostoru s ohledem na počet živých organismů





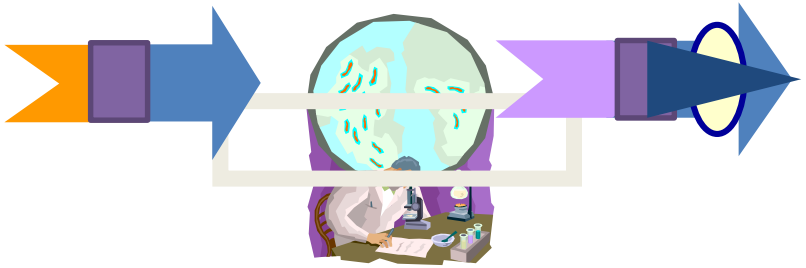
třída filtrace M5 třída filtrace F9 třída filtrace G4

Specifický výzkum FAST – doktorské práce

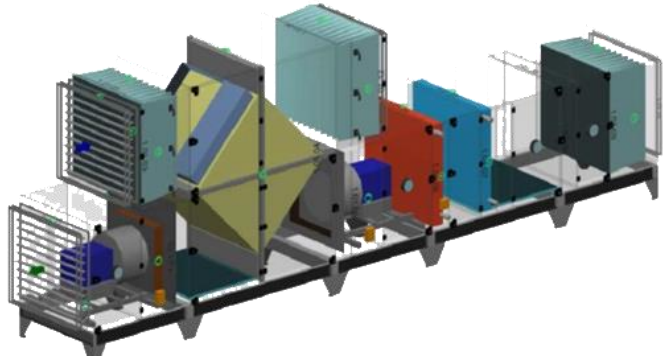
cc BY NC SA

Vzduchové filtry

Vzduchové filtry - aplikace



- přívod čerstvého vzduchu
- odvod znehodnoceného vzduchu
- ochrana vzduchotechnických zařízení



ČSN EN 779

2016 2017 2018 2019

ČSN EN 16890

Hrubá a jemná filtrace

~~ČSN EN 779~~ → filtry skupiny G, M a F

ČSN EN ISO 16890 → ePM_X; $ePM_{X,min}$

Vysoce účinná filtrace

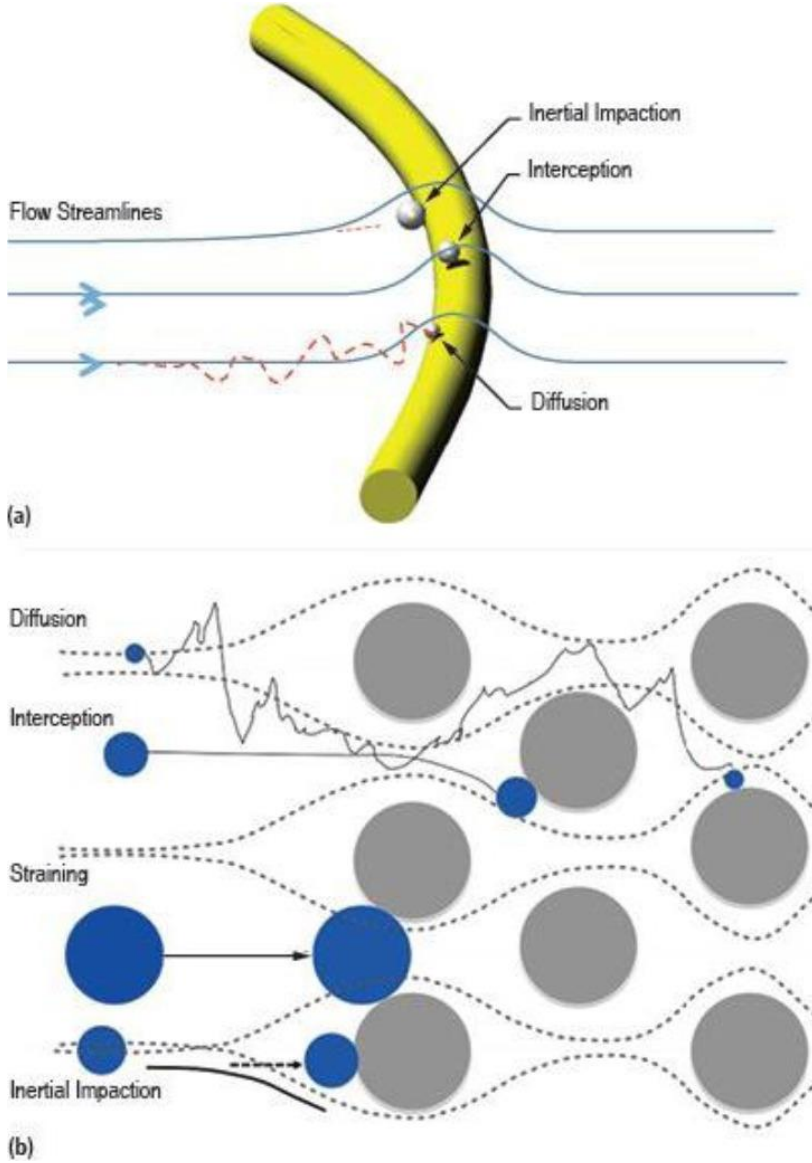
ČSN EN 1822-1 (2019) → HEPA a ULPA

ČSN EN 1822 – zachovaný třídící systém normy z 2009
zkoušky dle ISO 29463

CC BY NC SA

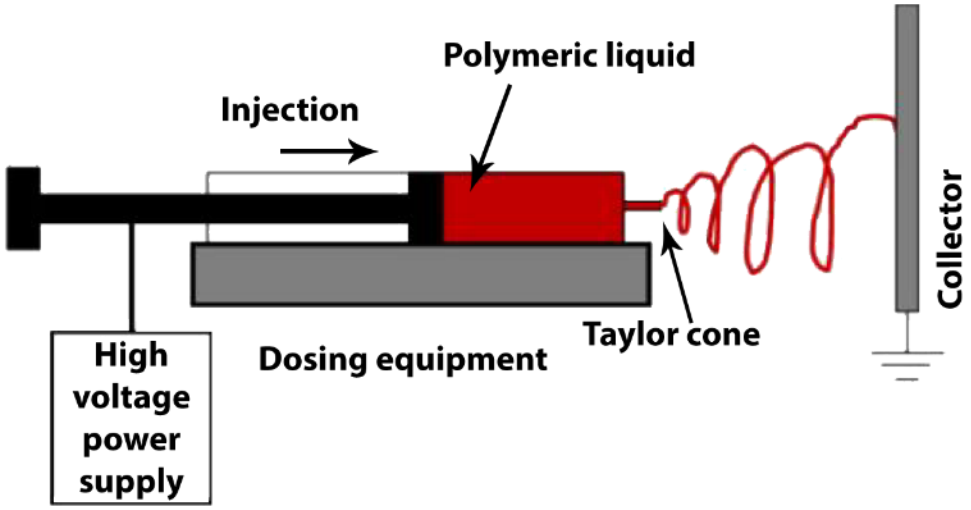
Vzduchové filtry – mechanizmus záchytu

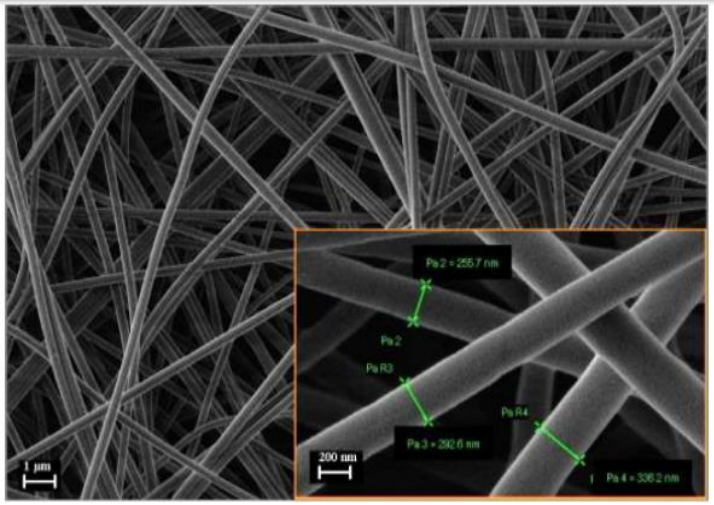
Mechanismus odlučování (jevy se vyskytují v různé míře současně)
- setrvačnost (inertial impaction), kinetická energie částice – setrvačnost udržuje částici v přímém pohybu , tato nekopíruje proud vzduchu, zachycení nárazem na strukturu filtračního materiálu
- přímé zachycování (intercepce), střed částice s poloměrem a/2 při svém pohybu se přiblíží na vzdálenost a/2 od vlákna s kruhovým průřezem a poloměrem d/2, zachytí se, nezávisí na rychlosti proudění
- difuze, Brownův pohyb odchýlení částice od proudu vzduchu, čím jemnější částice a intenzivní turbulentní pohyb vzduchu, vyšší účinnost mechanismu
- elektrostatické síly (kladné / záporné ….. částice/vlákno filtru)
- sedimentace, síťový efekt, adheze



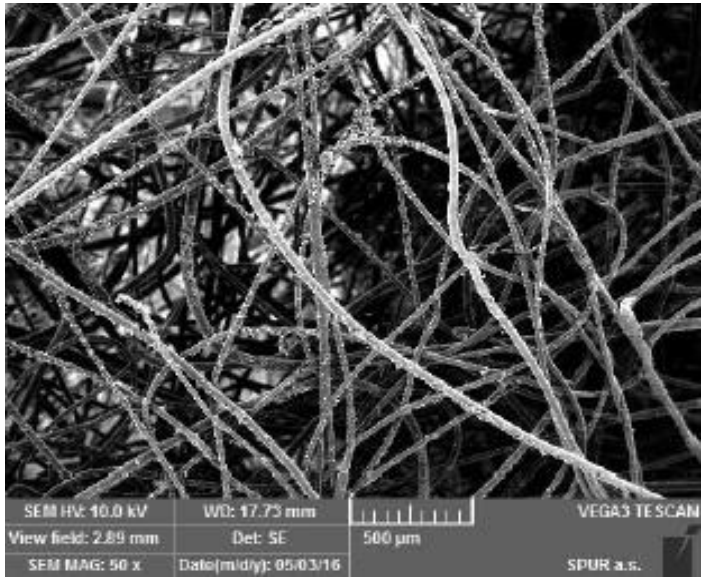
Zdroj: Perry J. L., Agui J. H., Vijayakumar R., Submicron and Nanoparticulate Matter Removal by HEPA-Rated Media Filters and Packed Beds of Granular Materials, NASA STI, Alabama, May 2016, NASA/TM—2016–218224

Vzduchové filtry - výroba

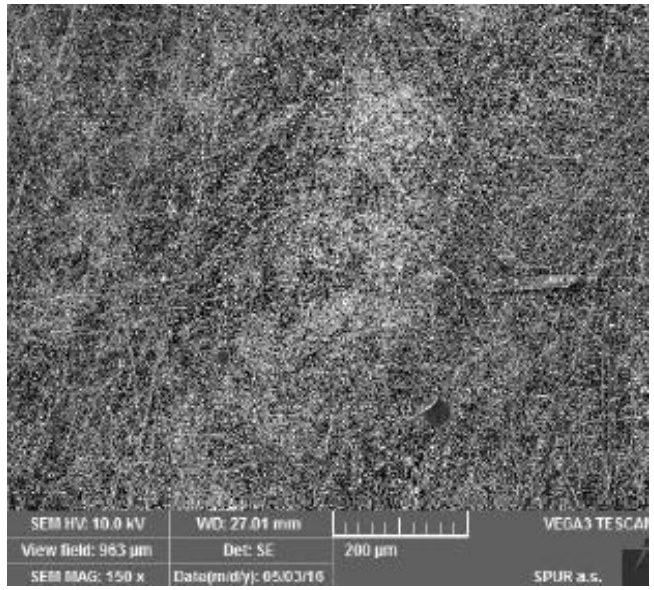




Standard filter 195x195 mm



Nanofilter 195x195 mm



CC BY NC SA

Vzduchové filtry - konstrukce

- Rámečkový - Z - line

- Kapsový
- Kompaktní

cc BY NC SA

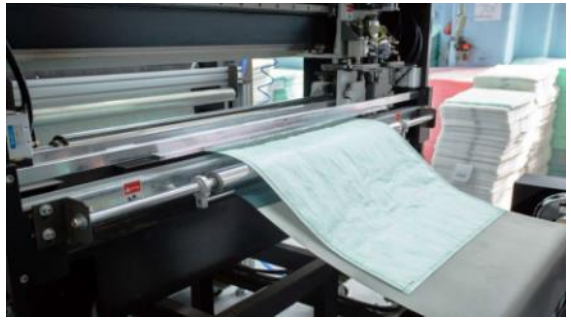
Vzduchové filtry - konstrukce

Rám filtru:

- Kovový rám
- **Plastový rám**
- Rám z tvrzeného papíru

Spoje tkaniny:

- **šité textilní nití**
- **svařované ultrazvukem**



cc BY NC SA

Vzduchové filtry - zatřídění

Hrubá a jemná filtrace

~~ČSN EN 779~~

EN 779		Střední stupeň odlučivosti (Am) syntetického prachu ()	Střední stupeň účinnosti (Em) částic 0,4 µm ()	Minimální účinnost (Me u částic 0,4 µm ())
Skupina filtrů	Třída filtrace			
Hrubý prach	G1	50 < Am < 65	–	–
	G2	65 < Am < 80	–	–
	G3	80 < Am < 90	–	–
	G4	90 < Am	–	–
Středně hrubý prach	M5	–	40 < Em < 60	–
	M6	–	60 < Em < 80	–
Jemný prach	F7	–	80 < Em < 90	35
	F8	–	90 < Em < 95	55
	F9	–	95 < Em	70

cc BY NC SA

Vzduchové filtry - zatřídění

Hrubá a jemná filtrace

→ ČSN EN ISO 16890

Označení skupiny	Požadavek			Uváděná hodnota u třídy
	ePM1, min	ePM2,5, min	ePM10	
ISO ePM1	≥ 50			ePM1
ISO ePM2,5		≥ 50		ePM2,5
ISO ePM10			≥ 50	ePM10
ISO Hrubý			< 50	Počáteční gravimetrická odlučivost

Účinnost filtrace jemného prachu

ePMx →

ePM_1 (0,3 um až 1 um)
$ePM_{2,5}$ (0,3 um až 2,5 um)
ePM_{10} (0,3 um až 10 um)
popisují **interval velikosti částic** na který se účinnost filtrace vztahuje.

Minimální účinnost filtrace jemného prachu

ePMx,min →

pouze pro filtrace jemného prachu pro skupiny **ePM_1 a $ePM_{2,5}$** - pro stanovení této hodnoty je účinnost odloučení filtru zjišťována **v elektrostaticky vybitém stavu**.

ISO ePM_1 70 →

Průměr nejnižší a počáteční účinnosti odloučení leží mezi 70 a <75 (zaokrouhlení na celé 5 kroky).

CC BY NC SA

Vzduchové filtry - zatřídění

Výpočet účinnosti odlučivosti dle ČSN EN 16890

$$ePM_1 = \sum_{i=1}^{n} E_{A,i} \cdot q_{3u}(\bar{d}_i) \cdot \Delta ln\, d_i / \sum_{i=1}^{n} q_{3u}(\bar{d}_i) \cdot \Delta lnd_i$$

$$ePM_{2,5} = \sum_{i=1}^{n} E_{A,i} \cdot q_{3u}(\bar{d}_i) \cdot \Delta ln\, d_i / \sum_{i=1}^{n} q_{3u}(\bar{d}_i) \cdot \Delta lnd_i$$

$$ePM_{10} = \sum_{i=1}^{n} E_{A,i} \cdot q_{3r}(\bar{d}_i) \cdot \Delta ln\, d_i / \sum_{i=1}^{n} q_{3r}(\bar{d}_i) \cdot \Delta lnd_i$$

$$\bar{d}_i = \sqrt{d_i \cdot d_{i+1}}$$

Kde:

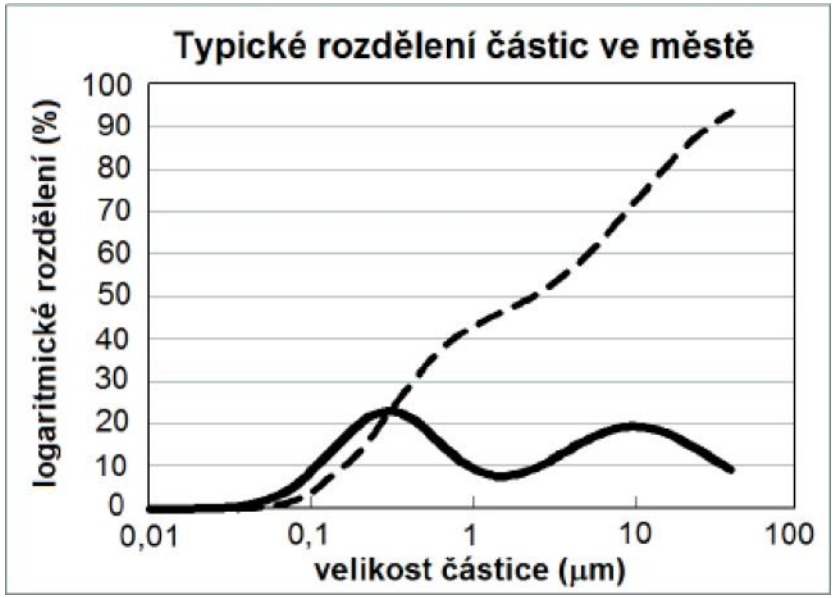
$E_{A,i}$ – Střední frakční účinnost velikostního intervalu částic i

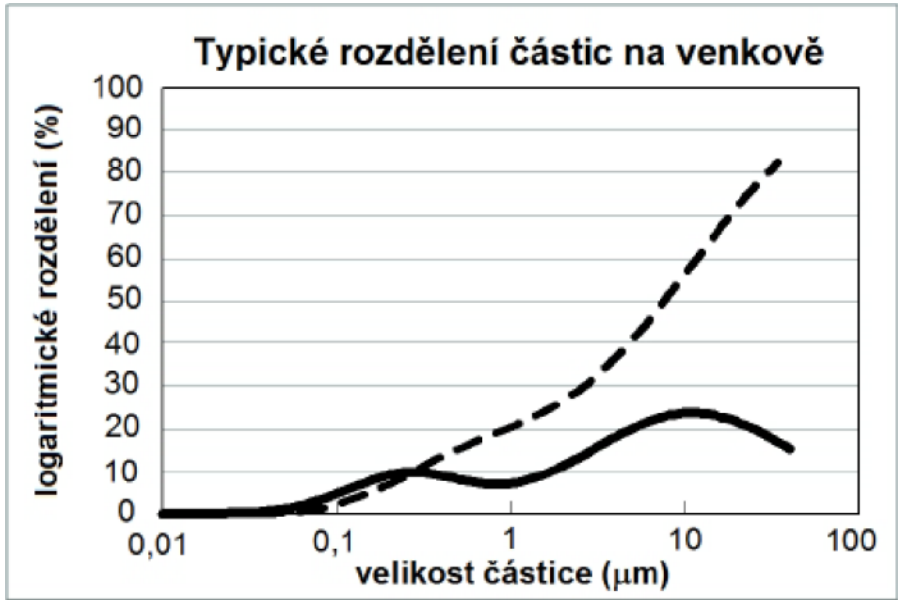
$q_{3u}(\bar{d}_i)$ – Diskrétní rozdělení částic dle objemu

$\Delta ln\, d_i$ – Logaritmická šířka velikostního intervalu průměru částic i

d_i – Dolní mez průměru částice ve velikosti intervalu i

d_{i+1} – Horní mez průměru částice ve velikosti intervalu i





ePM_1 (0,3 um až 1 um)
$ePM_{2,5}$ (0,3 um až 2,5 um)

ePM_{10} (0,3 um až 10 um)

NÁVRH PŘEVODU ČSN EN 779 -> ČSN EN ISO 16890

PM1 - Fine Dust Hazard to Health, Clean Air Solutions, Camfil, 2017

Třída filtrů	Odlučivosti pro frakce atmosférického prachu PM1, PM2,5 a PM10		
ČSN EN 779	PM1	PM2,5	PM10
M5	<20%	<40%	>50%
M6	<40%	50-60%	>60%
F7	50-75%	>70%	>80%
F8	70-85%	>80%	>90%
F9	> 85 %	>90%	>95%

cc BY NC SA

NÁVRH PŘEVODU ČSN EN 779 -> ČSN EN ISO 16890

Německá norma VDI3804 - 4 a švýcarská norma SWKIVA101-01

Třídy filtrů		Poznámky
EN 779:2012	EN IS0 16890-1:2016	
M5	ePM10 ≥ 50	
F7	ePM2,5 ≥ 65	V případě, že se nejedná o poslední stupeň filtrace.
F7	ePM1 ≥ 50	V případě, že se jedná o poslední stupeň filtrace.
F9	ePM1 ≥ 80	

cc BY NC SA

NÁVRH PŘEVODU ČSN EN 779 -> ČSN EN ISO 16890

FGK Status Report Nr. 44 (materiály TROX Technik)

totožný jako
EVIA (European Ventilation Industry Association)

Třída filtru dle EN779	ISO ePM1	ISO ePM2,5	ISO ePM10	ISO hrubý
G2				> 30 %
G3				> 45%
G4				> 60 %
M5			≥ 50%	
M6		≥ 50%		
F7	≥ 50%			
F8	≥ 70%			
F9	≥ 80 %			

cc BY NC SA

NÁVRH PŘEVODU ČSN EN 779 -> ČSN EN ISO 16890

Převodní tabulka podle fy Systemair

Tabulka roztřídění							
PM1		PM2,5		PM10		Coarse	
ISO ePM1 95	F9	ISO ePM2,5 95	F7	ISO ePM10 95	M6	ISO Coarse 95	G4
ISO ePM1 90		ISO ePM2,5 90		ISO ePM10 90		ISO Coarse 90	
ISO ePM1 85		ISO ePM2,5 85		ISO ePM10 85		ISO Coarse 85	
ISO ePM1 80		ISO ePM2,5 80		ISO ePM10 80		ISO Coarse 80	
ISO ePM1 75	F8	ISO ePM2,5 75		ISO ePM10 75		ISO Coarse 75	
ISO ePM1 70		ISO ePM2,5 70		ISO ePM10 70		ISO Coarse 70	
ISO ePM1 65	F7	ISO ePM2,5 65		ISO ePM10 65		ISO Coarse 65	
ISO ePM1 60		ISO ePM2,5 60	M6	ISO ePM10 60	M5	ISO Coarse 60	
ISO ePM1 55		ISO ePM2,5 55		ISO ePM10 55		ISO Coarse 55	G3
ISO ePM1 50		ISO ePM2,5 50		ISO ePM10 50		ISO Coarse 50	
						ISO Coarse 45	
						ISO Coarse 40	G2
						ISO Coarse 35	
						ISO Coarse 30	
Jemný fitr		Střední fitr				Hrubý filtr	

cc BY NC SA

Vzduchové filtry - zatřídění

DOPORUČENÍ EUROVENT 4/23 (2018)

EN 779	V souladu s normou EN ISO 16890			
	ISO Coarse	ISO ePM10	ISO ePM2,5	ISO ePM1
G2	30-50 %			
G3	45-65 %			
G4	60-85 %			
M5	80-95 %	40-70 %	10-45 %	5-35 %
M6	>90 %	45-80 %	20-50 %	10-40 %
F7	>95 %	80-90 %	50-75 %	40-65 %
F8	>95 %	90-100 %	75-95 %	65-90 %
F9	>95 %	90-100 %	85-95 %	80-90 %

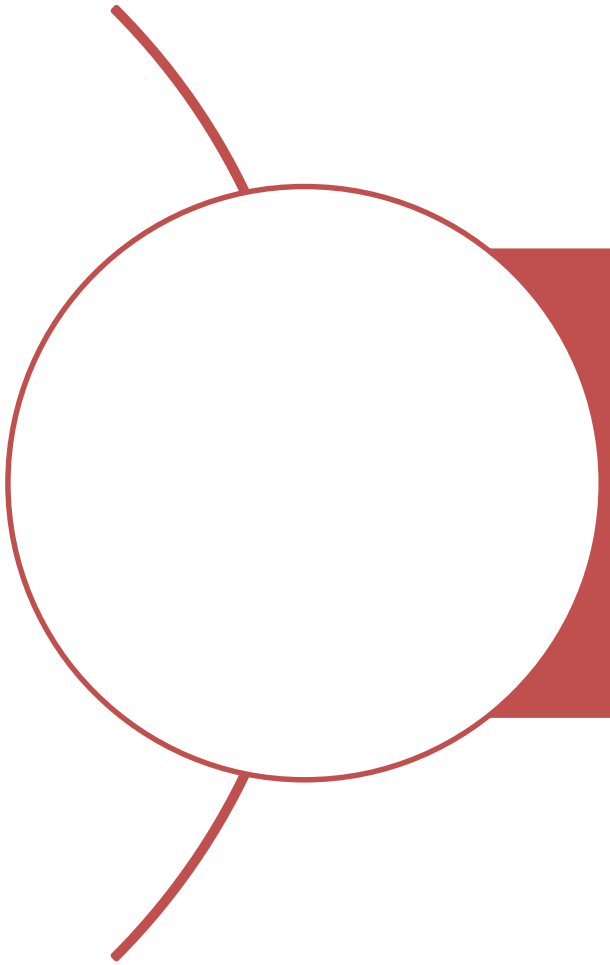
cc BY NC SA

Vzduchové filtry - zatřídění

Vysoce účinná filtrace → ČSN EN 1822-1

EN 1822		Celková hodnota pro MPPS částice (0.1–0.3 µm)		Integrální hodnota pro MPPS částice (0.1–0.3 µm)	
Skupina filtrů	Třída filtrace	Účinnost v	Průnik v	Účinnost v	Průnik v
E – EPA	E 10	≥ 85	≤ 15	–	–
	E 11	≥ 95	≤ 5	–	–
	E 12	≥ 99.5	≤ 0.5	–	–
H – HEPA	H 13	≥ 99.95	≤ 0.05	≥ 99.75	≤ 0.25
	H 14	≥ 99.995	≤ 0.005	≥ 99.975	≤ 0.025
U – ULPA	U 15	≤ 99.999 5	≤ 0.0005	≥ 99.997 5	≤ 0.002 5
	U 16	≤ 99.999 95	≤ 0.000 05	≥ 99.999 75	≤ 0.000 25
	U 17	≤ 99.999 995	≤ 0.000 005	≥ 99.999 9	≤ 0.0001

CC BY NC SA



OVĚŘENÍ VLASTNOSTÍ VYBRANÝCH FILTRŮ – VÝSLEDKY VLASTNÍHO MĚŘENÍ

BY NC SA

Ukázka z popisu měřených vzorků

číslo vzorku	třída filtrace ČSN EN 779	š [m]	d [m]	h [m]	**kapsy [ks]**	A eff [m^2]	A čelní [m^2]
1	M5	0,552	0,552	0,430	**6**	3,102	0,305
2	M5	0,552	0,552	0,430	**6**	3,102	0,305
3	F9	0,552	0,552	0,560	**8**	5,264	0,305
4	F9	0,552	0,552	0,560	**8**	5,264	0,305
5	G3	0,552	0,552	0,340	**6**	2,460	0,305
6	G3	0,552	0,552	0,340	**6**	2,460	0,305
7	M5	0,552	0,552	0,430	**6**	3,102	0,305
8	M5	0,552	0,552	0,430	**6**	3,102	0,305
9	M5	0,552	0,552	0,430	**6**	3,102	0,305
10	M5	0,552	0,552	0,430	**6**	3,102	0,305
11	G3	0,552	0,552	0,340	**6**	2,460	0,305
12	G3	0,552	0,552	0,340	**6**	2,460	0,305
13	G3	0,552	0,552	0,340	**6**	2,460	0,305
14	G3	0,552	0,552	0,340	**6**	2,460	0,305
15	M5	0,552	0,552	0,430	**6**	3,102	0,305
16	M5	0,552	0,552	0,430	**6**	3,102	0,305
17	M5	0,552	0,552	0,430	**6**	3,102	0,305
18	M5	0,552	0,552	0,430	**6**	3,102	0,305
19	M5	0,247	0,552	0,430	**3**	1,537	0,136
20	M5	0,247	0,552	0,430	**3**	1,537	0,136
21	M5	0,247	0,552	0,430	**3**	1,537	0,136
22	G3	0,247	0,552	0,340	**3**	1,218	0,136
23	G3	0,247	0,552	0,340	**3**	1,218	0,136
24	M5	0,247	0,552	0,430	**3**	1,537	0,136

8 ks G3

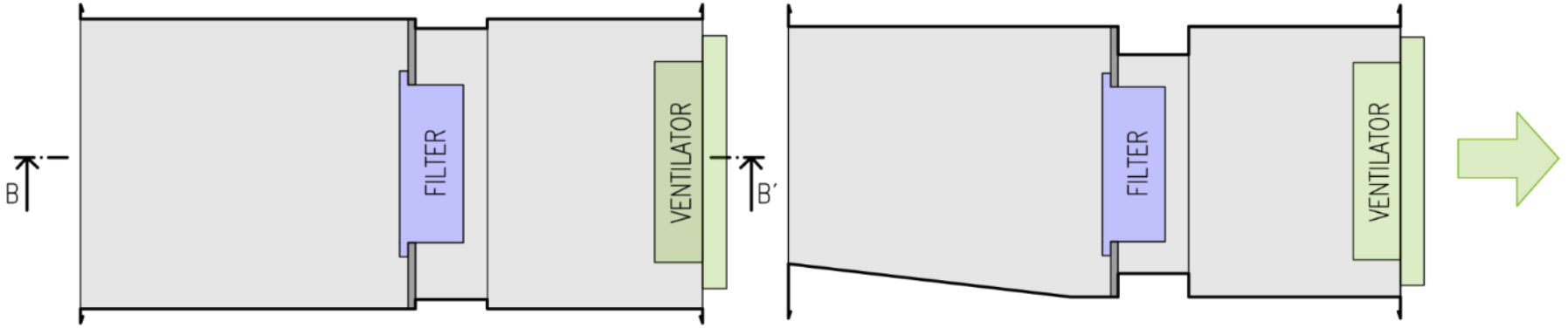
14 ks

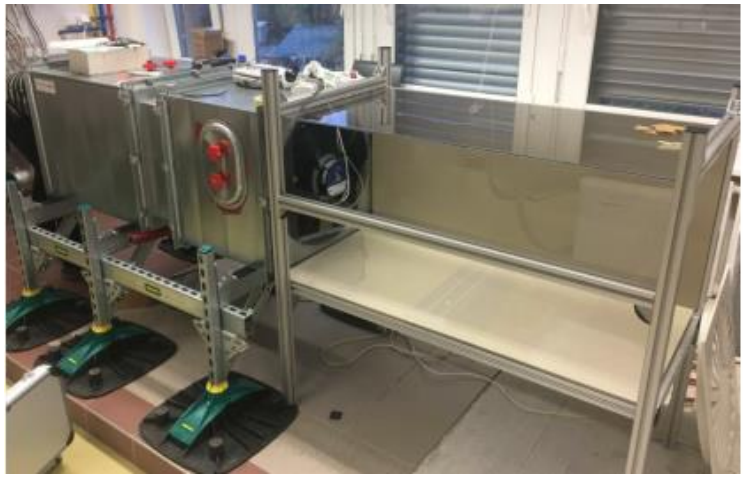
M5

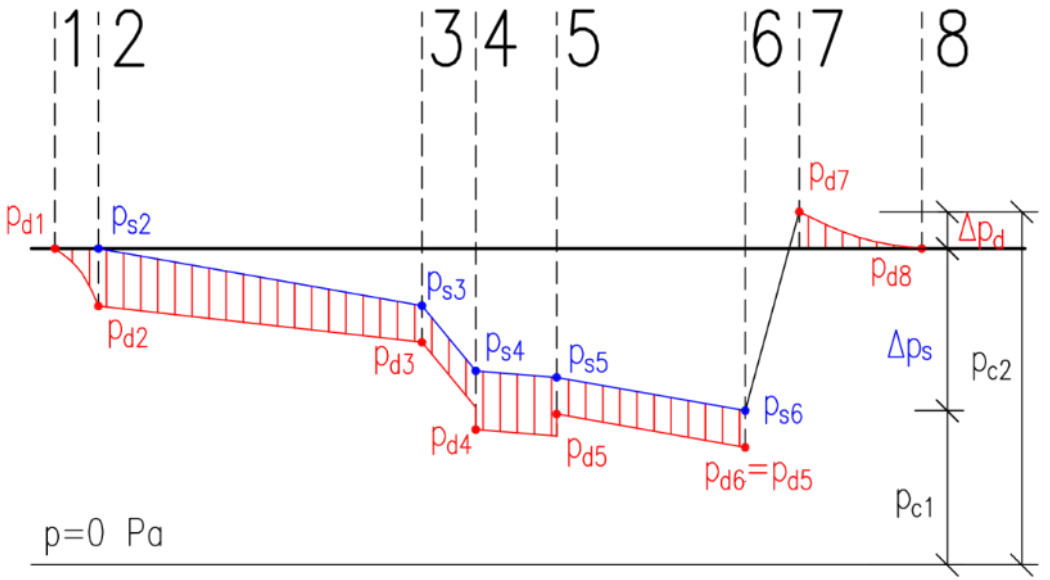
2 ks F9

cc BY NC SA

Testovací trať







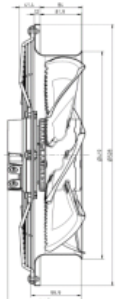
Testovací trať

Balometr Prohood PH 721 / Testo 420

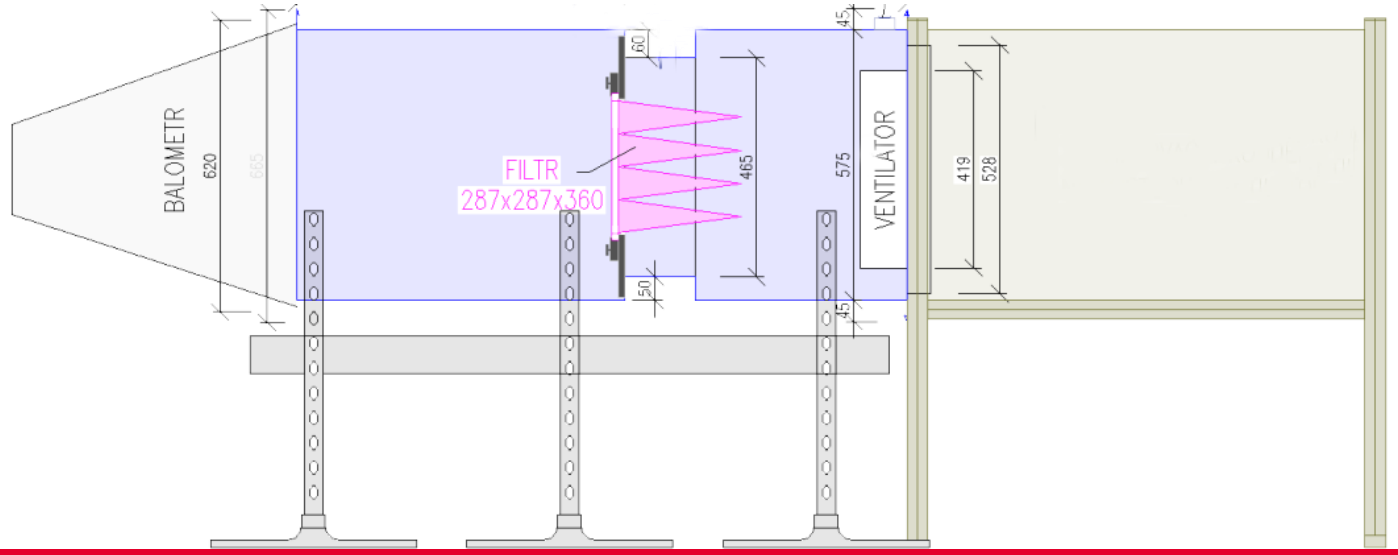
Testovaný vzorek

Testo 435-4 / Testo 400

ZIEHL-ABEGG FN040-6IH.BD.V7P1



FLUKE 985



BY NC SA

Zkušební aerosol

Test materiál: běžný domovní prach

Test material – Aerosol: DEHS (DiEthylHexylSebacate $C_{26}H_{50}O_4$)

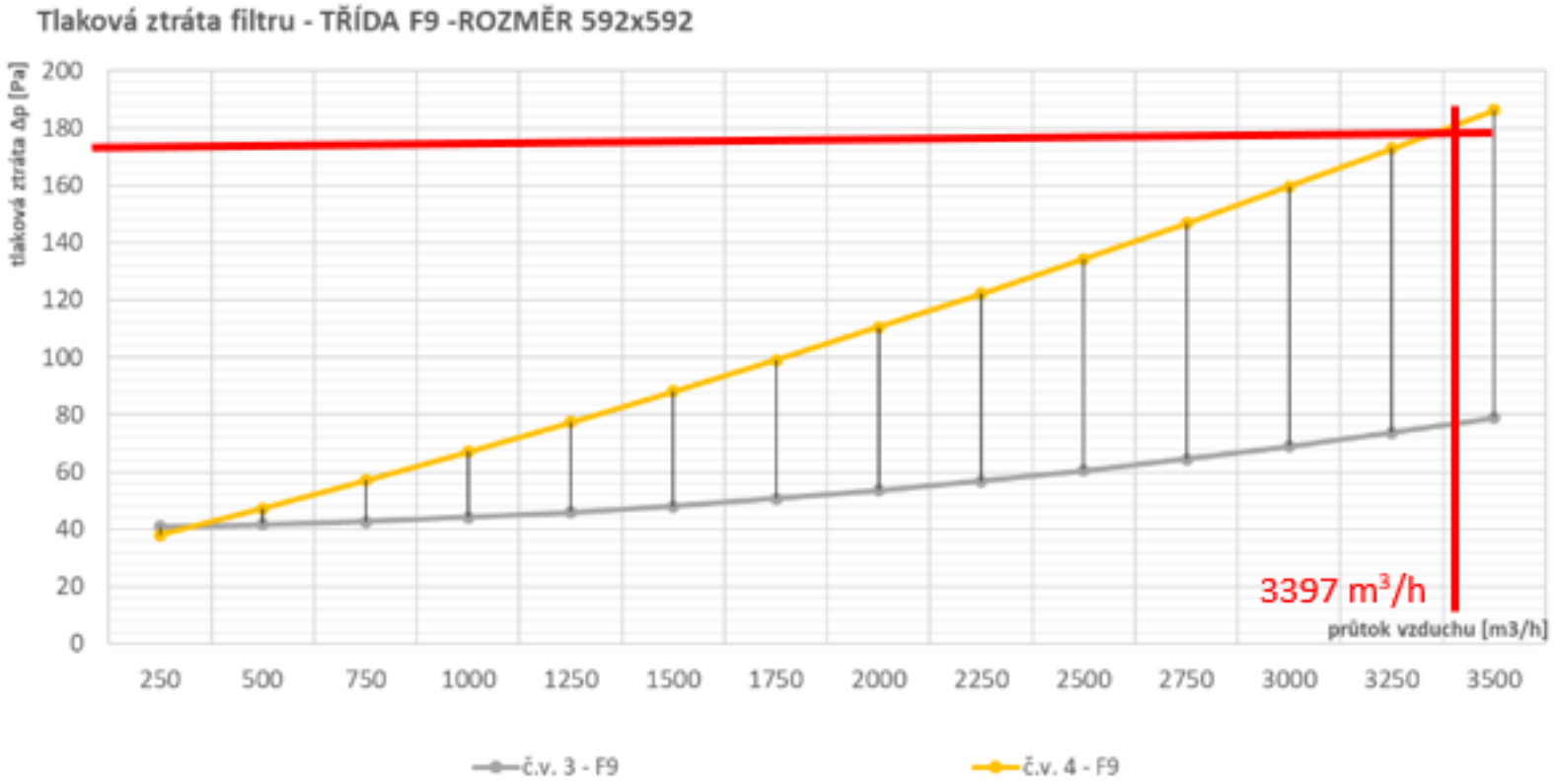
- Density 912 kg/m³
- Melting point 225 K
- Boiling point 529 K
- Dynamic viscosity 0.022 kg/m.s up to 0.024 kg/m.s

CC BY NC SA

Fotky z měření

cc BY NC SA

Výsledky měření tlakové ztráty

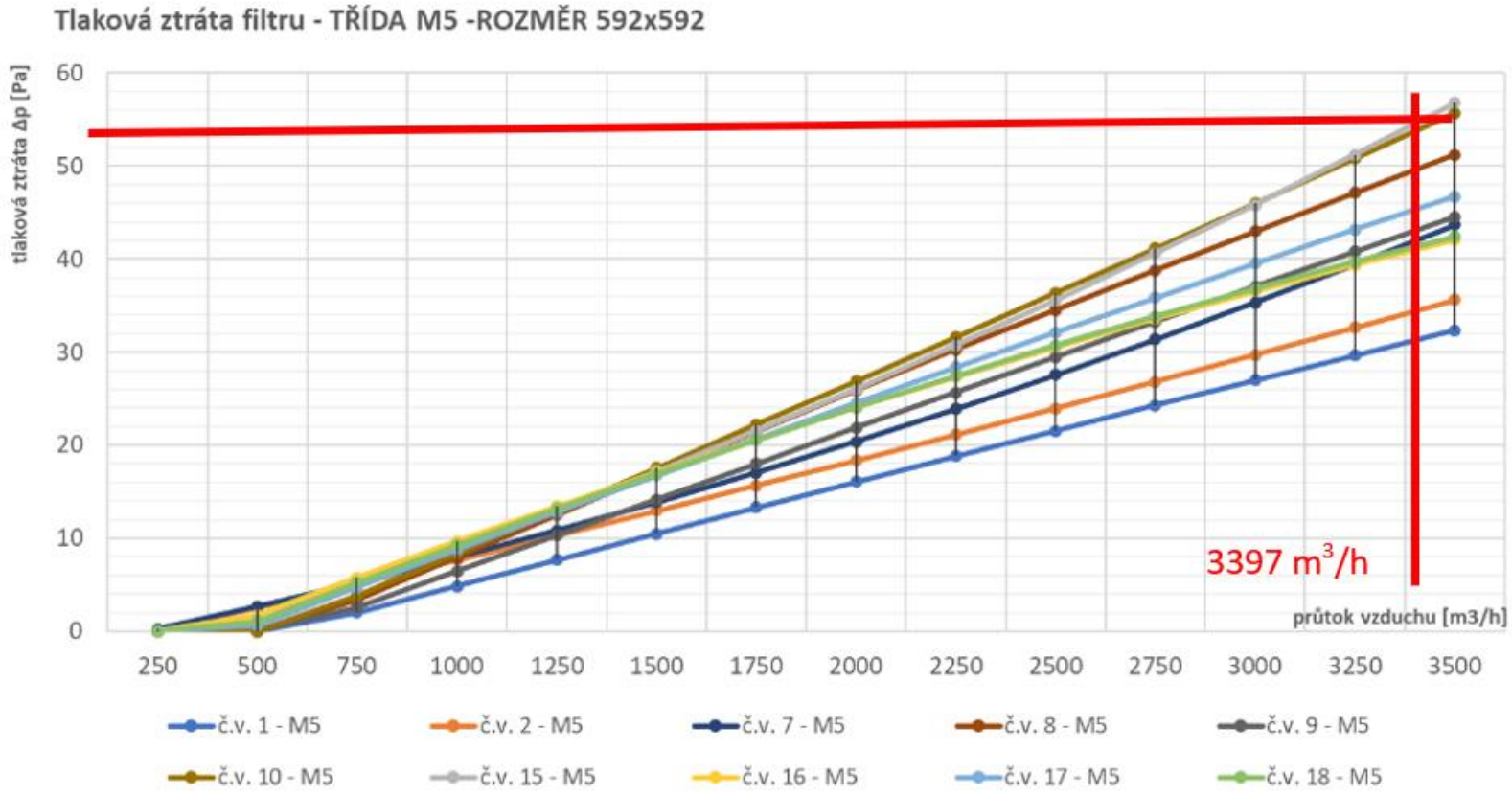


Výrobce ->

RESULTS		
Initial pressure differential:		287Pa
Initial grav. arrestance:		
Efficiency values	$e\ PM_1$ =	85%
Min. efficiencies	$e_{min} PM_1$ =	76%
ISO rating:		**ISO ePM1 85%**
Remarks		

cc BY NC SA

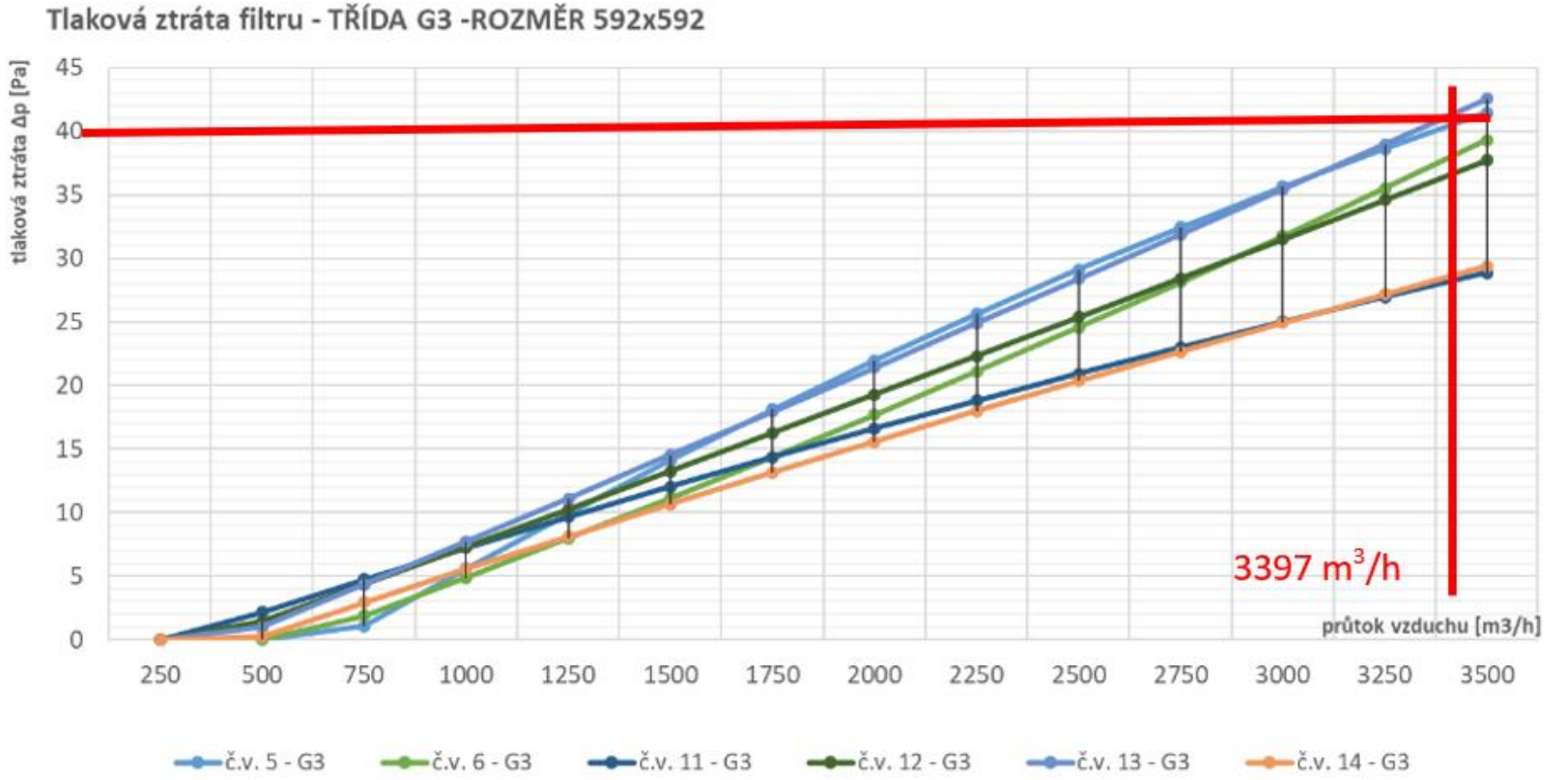
Výsledky měření tlakové ztráty



Výrobce ->

RESULTS		
Initial pressure differential:		35Pa
Initial grav. arrestance:		69%
Efficiency values	$e\ PM_1$ =	
Min. efficiencies	$e_{min} PM_1$ =	
ISO rating:		**ISO ePM1 -**
Remarks		

Výsledky měření tlakové ztráty



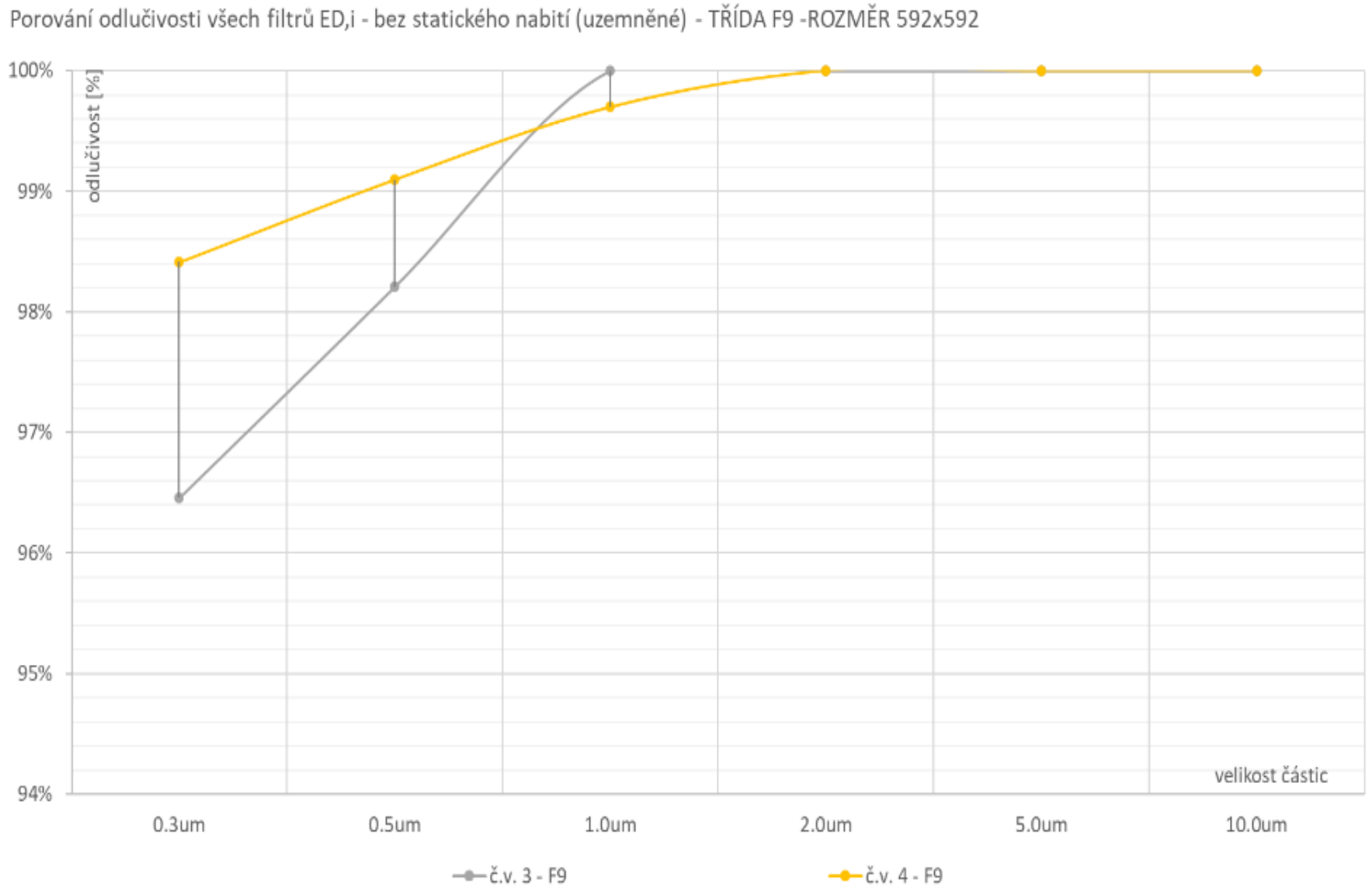
Výrobce ->

RESULTS

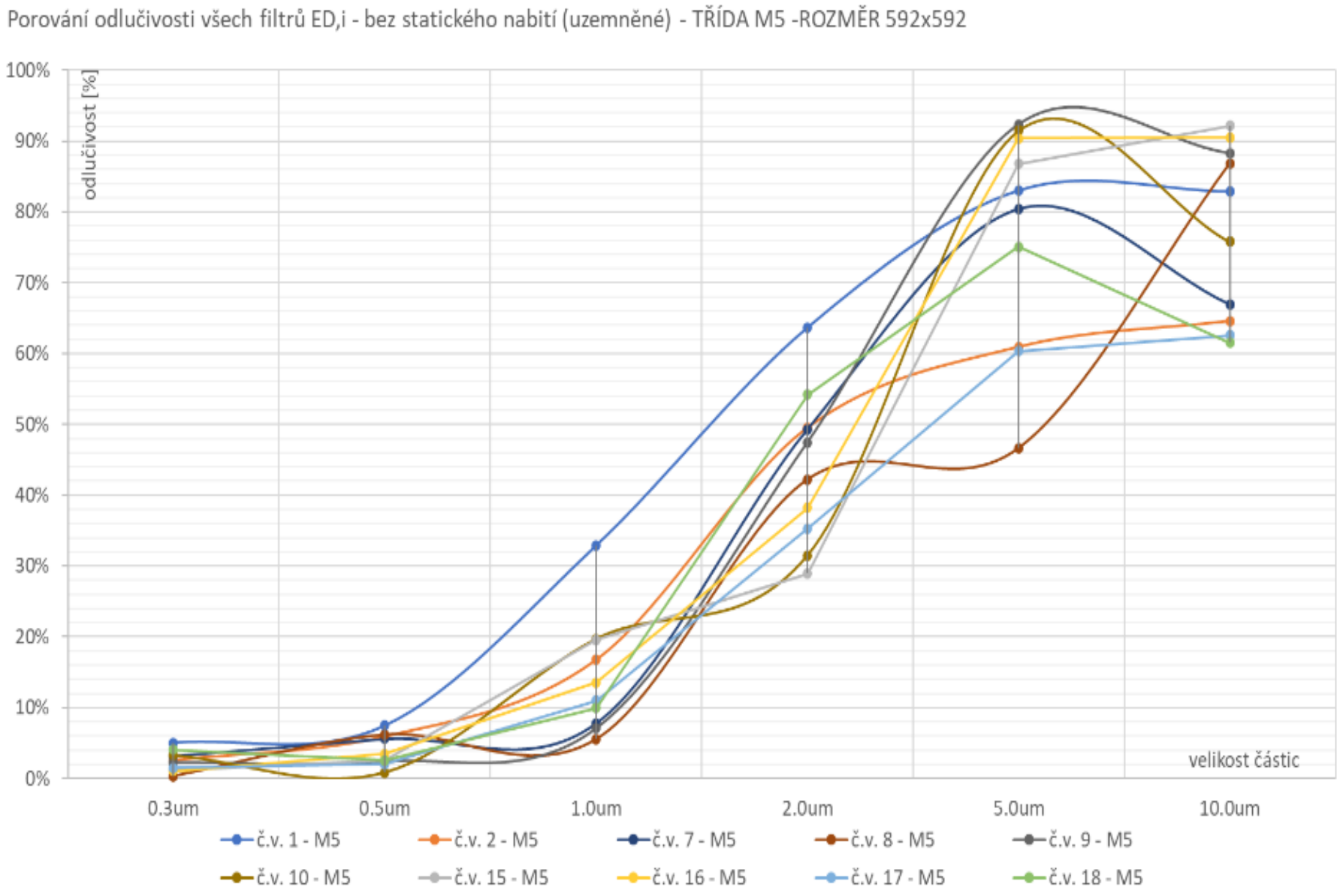
Initial pressure differential:		29Pa
Initial grav. arrestance:		52%
Efficiency values	$e\,PM_1$ =	
Min. efficiencies	$e_{min}PM_1$ =	
ISO rating:		**ISO ePM1 -**
Remarks		

CC BY NC SA

Výsledky měření odlučivosti částic

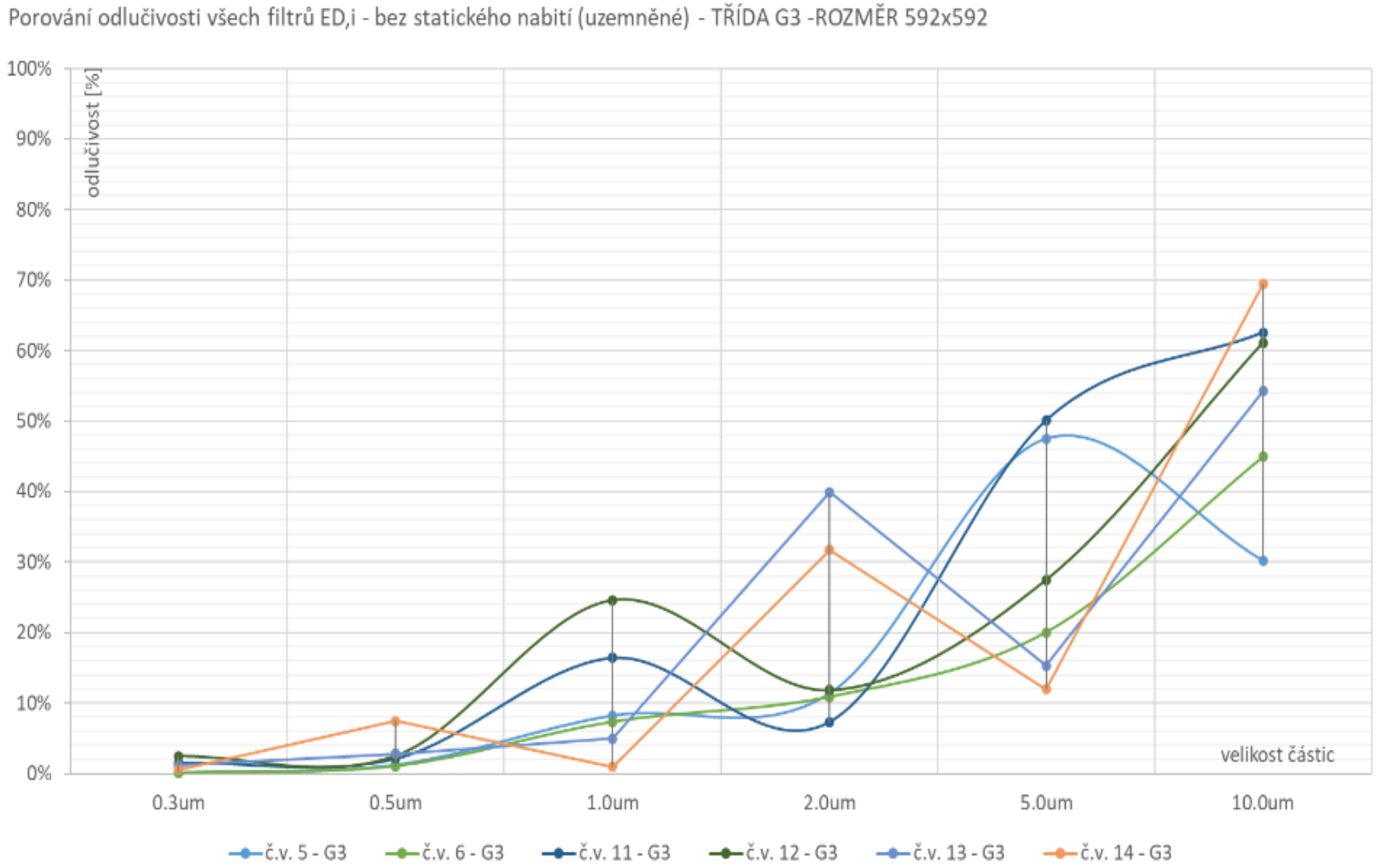


Výsledky měření odlučivosti částic



BY NC SA

Výsledky měření odlučivosti částic

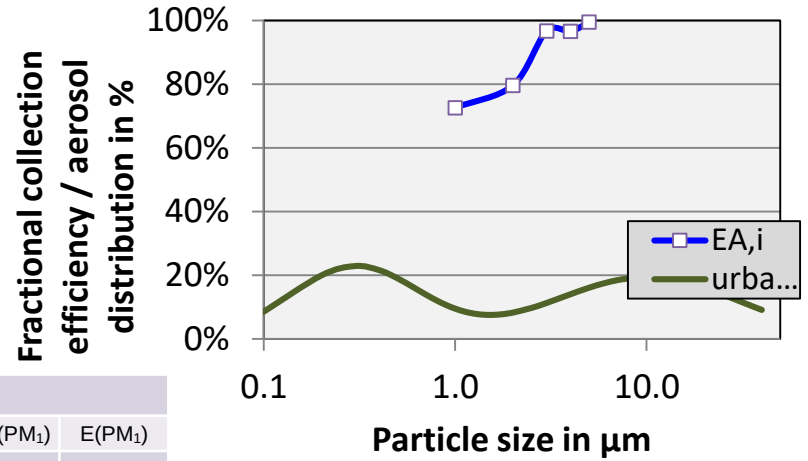


BY NC SA

Posouzení

Protokol zatřídění filtrů dle ČSN EN 16890

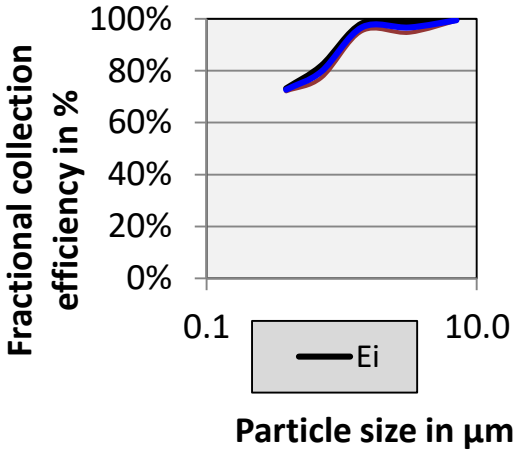
ISO 16890-1 Annex B										
Data Entry Table							Reporting Data			
d_i	d_{i+1}	d_m	$\Delta\ln d_i$	E_i	$E_{D,i}$	$E_{A,i}$		ePM_1	$ePM_{2,5}$	ePM_{10}
0,30	0,50	0,39	0,51	73,2	72,0	72,6	Minimum	74	83	--
0,50	1,00	0,71	0,69	82,0	77,3	79,6	Average	76	85	93
1,00	2,00	1,41	0,69	98,2	95,2	96,7	Reported	76	85	93
2,00	5,00	3,16	0,92	98,7	94,6	96,7				
5,00	10,00	7,07	0,69	99,7	99,3	99,5				



ePM_1 Calculations										
d_i	d_{i+1}	d_m	$\Delta\ln d_i$	$E_{A,i}$	q_{3u}	$q_{3u}*\Delta\ln d_i$	$E_{D,i}*q_{3u}*\Delta\ln d_i$	$E_{A,i}*q_{3u}*\Delta\ln d_i$	$E_{min}(PM_1)$	$E(PM_1)$
0,30	0,50	0,39	0,51	72,6	21,917	0,111960	0,080659	0,081295	74	76
0,50	1,00	0,71	0,69	79,6	13,856	0,096044	0,074217	0,076474		
					Sums:	0,208004	0,154876	0,157769		

$ePM_{2,5}$ Calculations										
d_i	d_{i+1}	d_m	$\Delta\ln d_i$	$E_{A,i}$	q_{3u}	$q_{3u}*\Delta\ln d_i$	$E_{D,i}*q_{3u}*\Delta\ln d_i$	$E_{A,i}*q_{3u}*\Delta\ln d_i$	$E_{min}(PM_{2,5})$	$E(PM_{2,5})$
0,30	0,50	0,39	0,51	72,6	21,917	0,111960	0,080659	0,081295	83	85
0,50	1,00	0,71	0,69	79,6	13,856	0,096044	0,074217	0,076474		
1,00	2,00	1,41	0,69	96,7	7,644	0,052985	0,050467	0,051254		
2,00	5,00	3,16	0,92	96,7	11,819	0,108295	0,102479	0,104668		
					Sums:	0,369284	0,307822	0,313691		

ePM_{10} Calculations										
d_i	d_{i+1}	d_m	$\Delta\ln d_i$	$E_{A,i}$	q_{3r}	$q_{3r}*\Delta\ln d_i$		$E_{A,i}*q_{3r}*\Delta\ln d_i$		$E(PM_{10})$
0,30	0,50	0,39	0,51	72,6	9,088	0,046422		0,033708		93
0,50	1,00	0,71	0,69	79,6	7,143	0,049511		0,039422		
1,00	2,00	1,41	0,69	96,7	8,710	0,060372		0,058400		
2,00	5,00	3,16	0,92	96,7	15,801	0,144785		0,139936		
5,00	10,00	7,07	0,69	99,5	22,430	0,155472		0,154648		
					Sums:	0,456563		0,426114		



cc BY NC SA

Výsledky měření odlučivosti částic - porovnání

číslo vzorku	třída filtrace ČSN EN 779 + POPIS	třída filtrace ČSN EN ISO 16890-1	
		HODNOTY OD VÝROBCE	HODNOTY ZMĚŘENÉ
1	M5 592x592x450/6	ISO ePM10 60	ISO ePM10 50
2	M5 592x592x450/6	ISO ePM10 60	ISO ePM10 40
3	F9 592x592x580/8	ISO ePM1 85	ISO ePM1 95
4	F9 592x592x580/8	ISO ePM1 85	ISO ePM1 95
5	G3 592x592x360/6	ISO COARSE 50	ISO COARSE 50
6	G3 592x592x360/6	ISO COARSE 50	ISO COARSE 50
7	M5 592x592x450/6	ISO ePM10 60	ISO ePM10 40
8	M5 592x592x450/6	ISO ePM10 60	ISO ePM10 30
9	M5 592x592x450/6	ISO ePM10 60	ISO ePM10 45
10	M5 592x592x450/6	ISO ePM10 60	ISO ePM10 40
11	G3 592x592x360/6	ISO COARSE 50	ISO COARSE 50
12	G3 592x592x360/6	ISO COARSE 50	ISO COARSE 50

BY NC SA

Výsledky měření odlučivosti částic - porovnání

číslo vzorku	třída filtrace ČSN EN 779 + POPIS	třída filtrace ČSN EN ISO 16890-1	
		HODNOTY OD VÝROBCE	HODNOTY ZMĚŘENÉ
13	G3 592x592x360/6	ISO COARSE 50	ISO COARSE 50
14	G3 592x592x360/6	ISO COARSE 50	ISO COARSE 50
15	M5 592x592x450/6	ISO ePM10 60	ISO ePM10 40
16	M5 592x592x450/6	ISO ePM10 60	ISO ePM10 45
17	M5 592x592x450/6	ISO ePM10 60	ISO ePM10 30
18	M5 592x592x450/6	ISO ePM10 60	ISO ePM10 45
19	M5 287x592x450/3	ISO ePM10 60	ISO ePM10 40
20	M5 287x592x450/3	ISO ePM10 60	ISO ePM10 35
21	M5 287x592x450/3	ISO ePM10 60	ISO ePM10 40
22	G3 287x592x360/3	ISO COARSE 50	ISO COARSE 50
23	G3 287x592x360/3	ISO COARSE 50	ISO COARSE 50
24	M5 287x592x450/3	ISO ePM10 60	ISO ePM10 35

cc BY NC SA

Výsledky měření odlučivosti částic - porovnání

číslo vzorku	třída filtrace ČSN EN 779 + POPIS	HODNOTY ZMĚŘENÉ
1	M5 592x592x450/6	ISO ePM10 50
4	F9 592x592x580/8	ISO ePM1 95

Směrnice EUROVENT 4/23 - 2018

Třída filtrů		Odlučivosti pro frakce atmosférického prachu PM1, PM2,5 a PM10		
		ePM1	ePM2,5	ePM10
EN 779	M5	5-35%	10-45%	40 - 70%
	M6	10-40%	20 - 50%	60 - 80%
	F7	40-65%	65 - 75%	80 - 90%
	F8	65 - 90%	75 - 95%	90-100%
	F9	80 - 90%	85 - 95%	90-100%

CC BY NC SA

Výsledky měření odlučivosti částic - porovnání

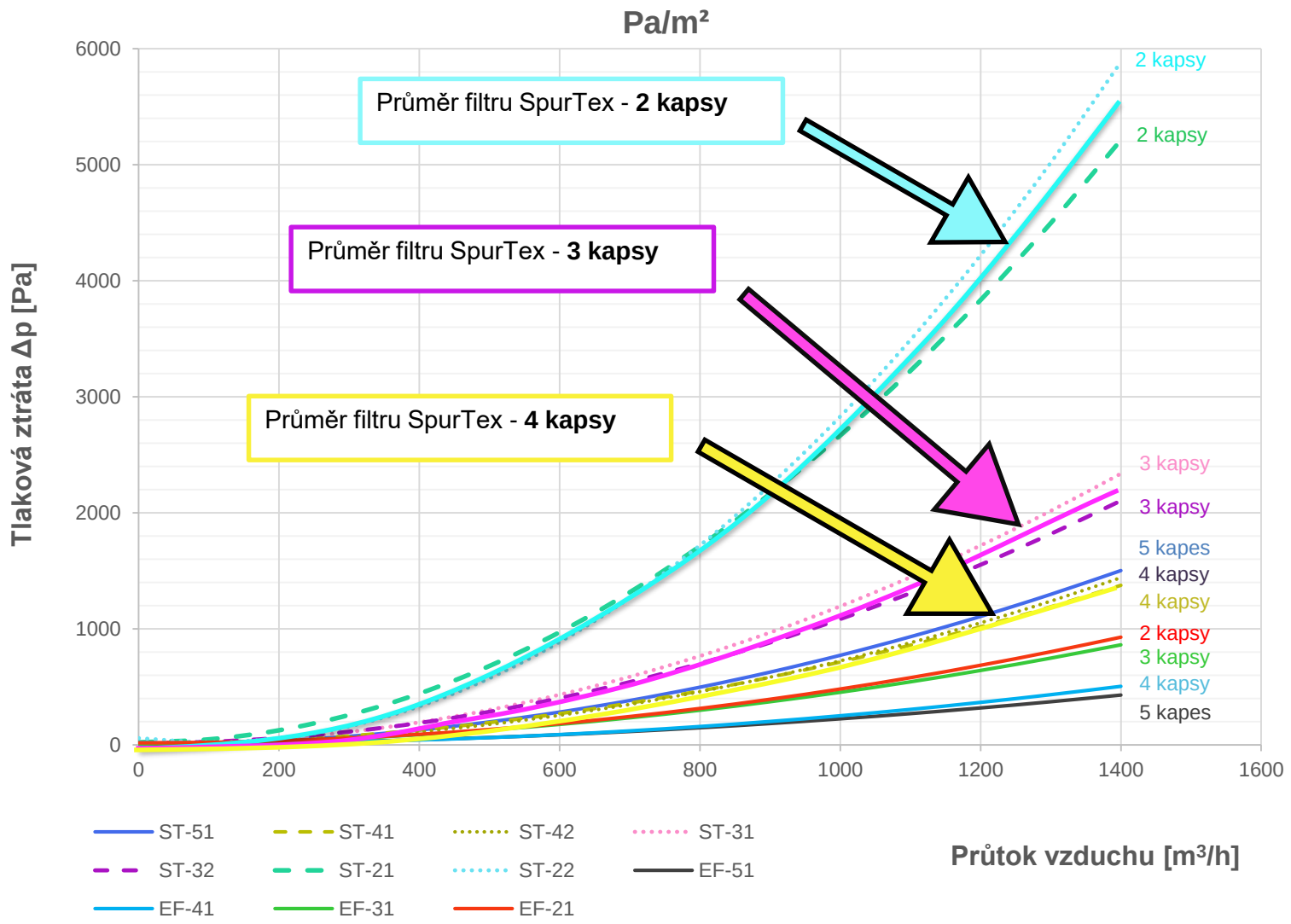
číslo vzorku	třída filtrace ČSN EN 779 + POPIS	HODNOTY ZMĚŘENÉ
5	G3 592x592x360/6	ISO COARSE 50

Třída filtru dle EN779	ISO ePM1	ISO ePM2,5	ISO ePM10	ISO hrubý
G2				> 30 %
G3				> 45%
G4				> 60 %
M5			≥ 50%	
M6		≥ 50%		
F7	≥ 50%			
F8	≥ 70%			
F9	≥ 80 %			

cc BY NC SA

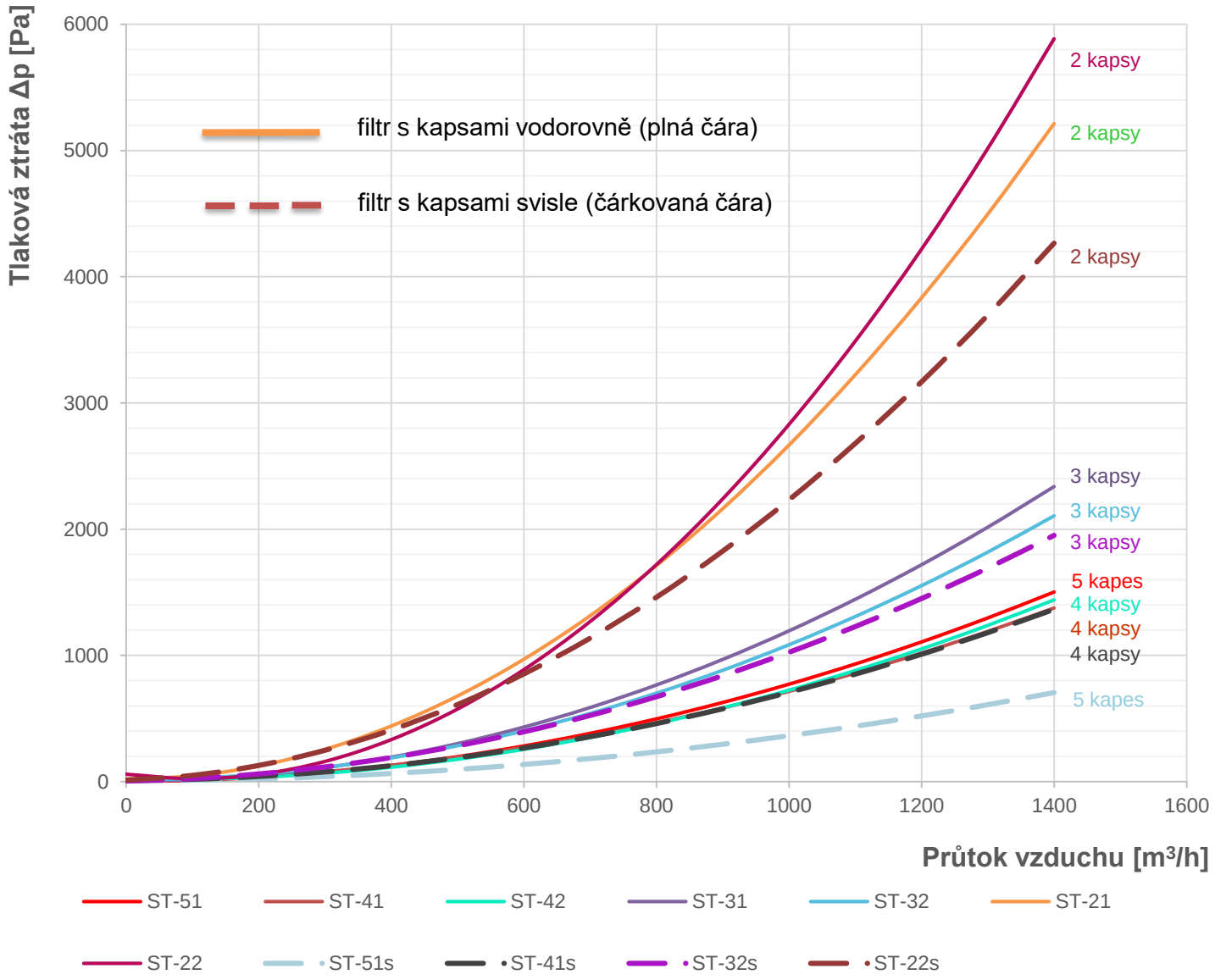
Měření vzduchových filtrů – dílčí výsledky

TLAKOVÁ ZTRÁTA FILTRŮ

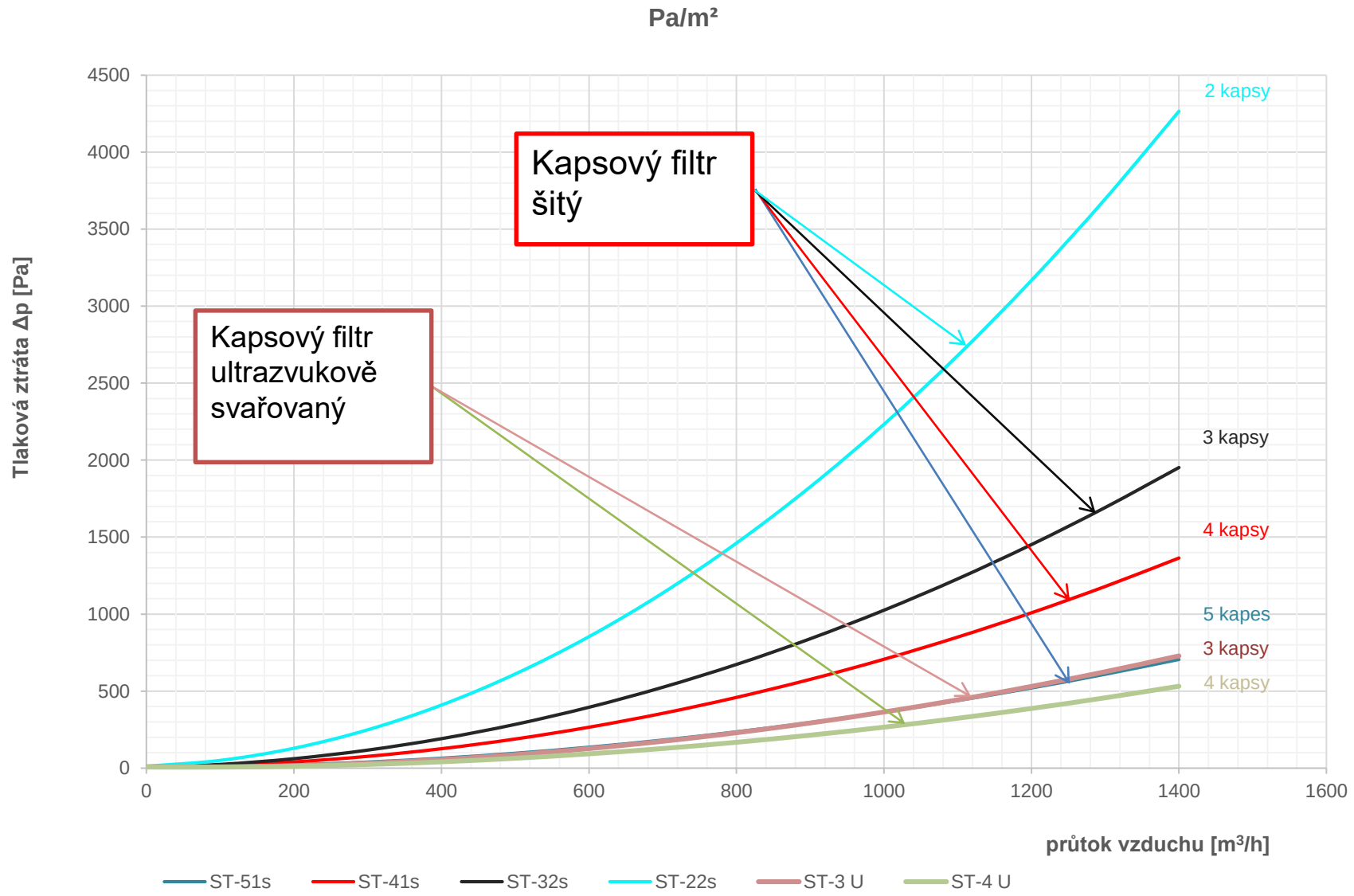


cc BY NC SA

Měření vzduchových filtrů – dílčí výsledky

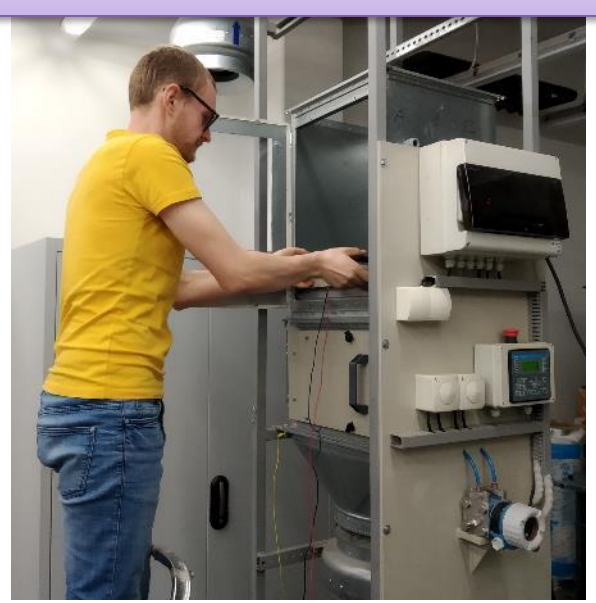


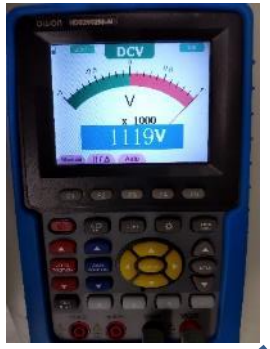
Měření vzduchových filtrů – dílčí výsledky

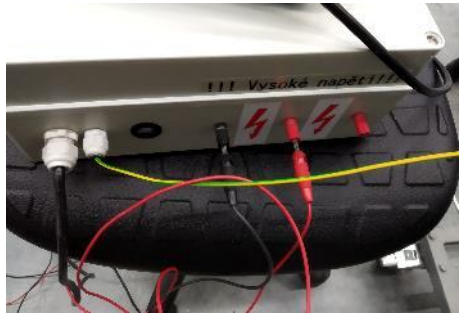


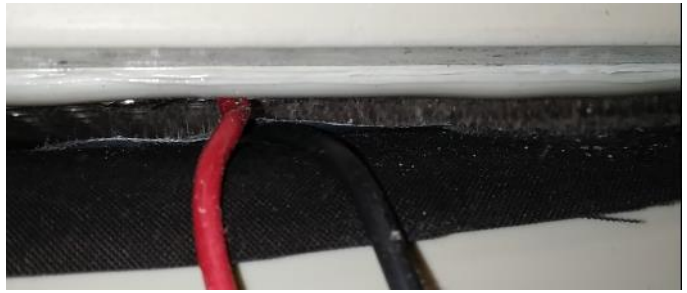
cc BY NC SA

Měření vzduchových filtrů – vývoj









Data Entry Table							Reporting Data			
d_i	d_{i+1}	d_m	$\Delta \ln d_i$	E_i	$E_{D,i}$	$E_{A,i}$		ePM_1	$ePM_{2,5}$	ePM_{10}
0,30	0,50	0,39	0,51	90,2%	85,2%	87,7%	Minimum	82%	82%	--
0,50	1,00	0,71	0,69	95,4%	77,5%	86,4%	Average	87%	89%	91%
1,00	2,00	1,41	0,69	98,7%	79,3%	89,0%	Reported	87%	89%	91%
2,00	5,00	3,16	0,92	99,1%	83,0%	91,0%				
5,00	10,00	7,07	0,69	99,8%	87,6%	93,7%				

BY NC SA

Vzduchové filtry

BY NC SA

Osnova ekonomické studie

cíl studie

stanovení ceny za provoz VZT systému (el.energie ventilátorů)

popis výpočtu

vytvoření tří modelových situací provozu

návrh ventilátorů pro každý provoz

sestavení analytického výpočtu

prezentace výsledků

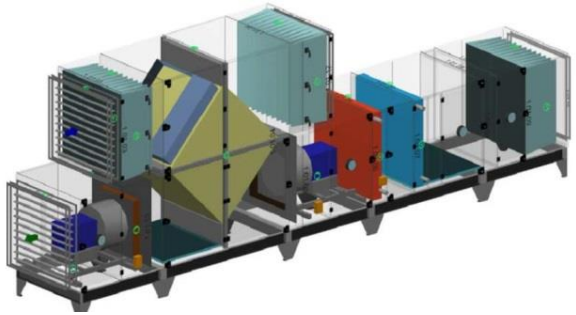
zanesení filtru (bez počáteční tlakové ztráty filtru)

překonání tlakové ztráty filtru za dobu provozu

překonání tlakové ztráty celého VZT systému (přívod)

cc BY NC SA

Popis analytického modelu výpočtu



tři modelové případy

500 m^3/h

2000 m^3/h

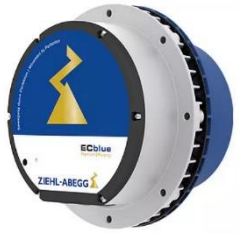
6000 m^3/h.

tři sestavy navržených filtrů

M5 (ePM10 60 %)

M5 + F7 (ePM10 60 % + ePM2.5 65 %)

G4 + F7 + H13 (ISO Coarse 50% + ePM2.5 65 % + H13)



typ motoru použitých ventilátorů

EC

AC

BY NC SA

Popis analytického modelu výpočtu

Vstupní hodnoty výpočtu

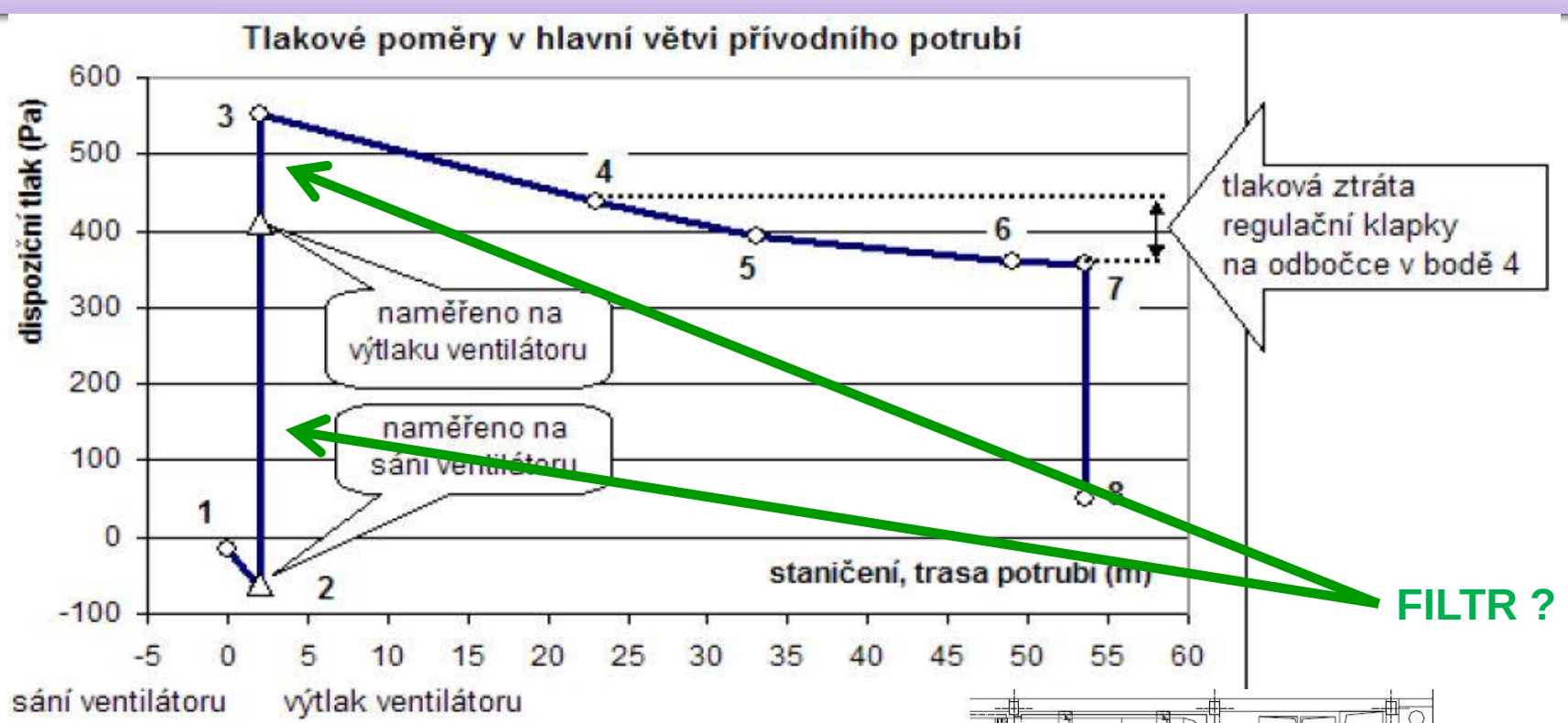
	počáteční tlaková ztráta filtru [Pa]	konečná tlaková ztráta filtru [Pa]
třída filtrace M5 (ePM_{10} 60 %)	45	200
třída filtrace M5 + F7 (ePM_{10} 60 % + $ePM_{2.5}$ 65 %)	152	400
třída filtrace G4 + F7 + H13 (ISO Coarse 50% + $ePM_{2.5}$ 65 % + H13)	312	500

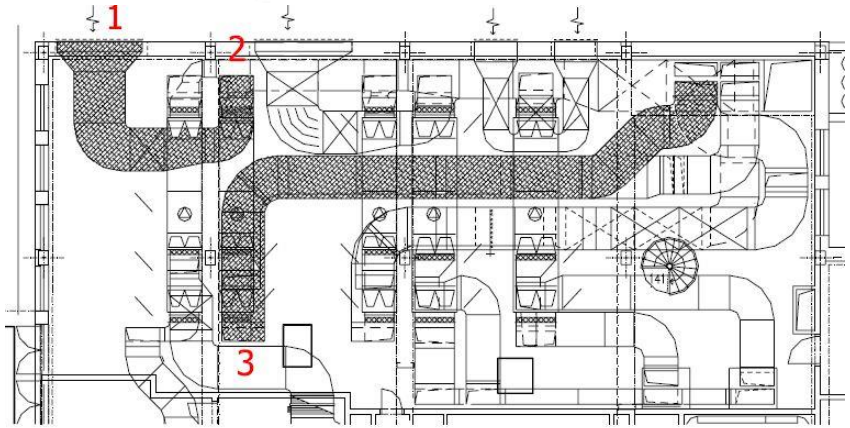
Doba provozu:

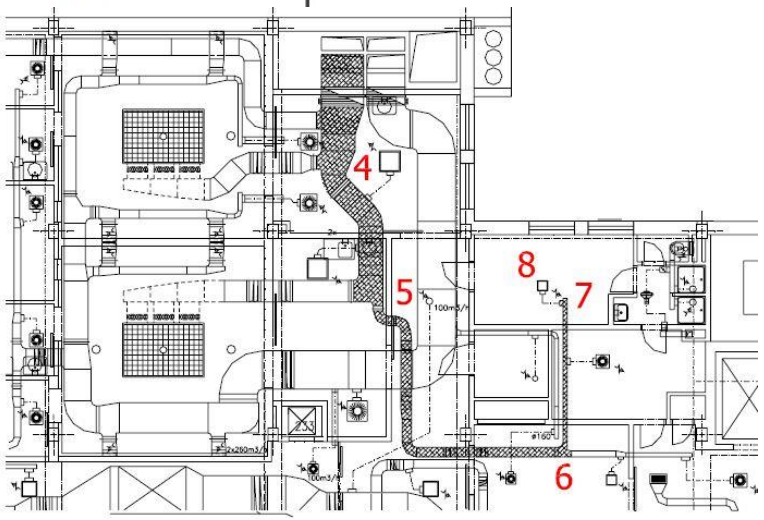
- **12 hodin denně**
- **sedm dní v týdnu**
- **Cena el. 4,69 Kč/kWh**

cc BY NC SA

Popis analytického modelu výpočtu



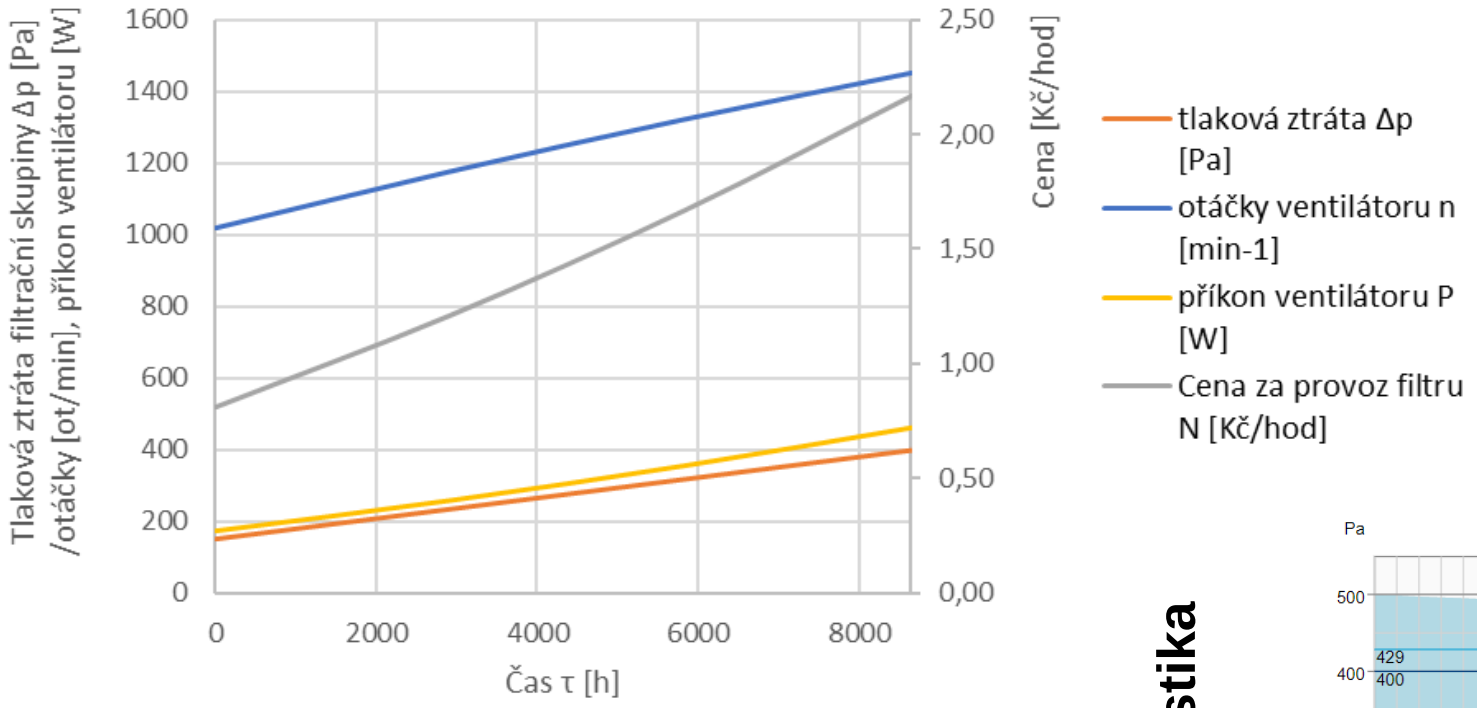




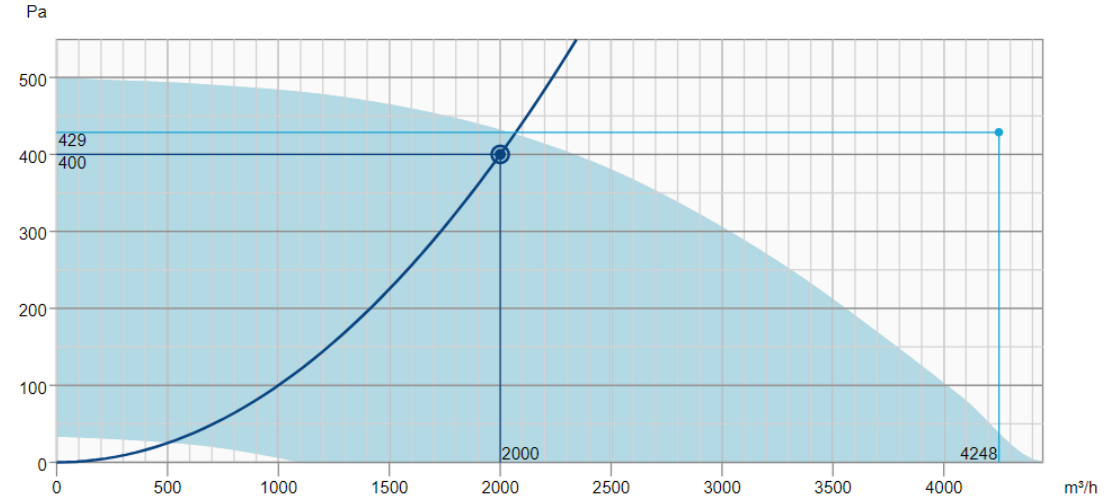
cc BY NC SA

Výsledky

Model s průtokem vzduchu 2000 m3/h, počáteční tlaková ztráta filtrační skupiny je 152 Pa konečná tlaková ztráta je 400 Pa



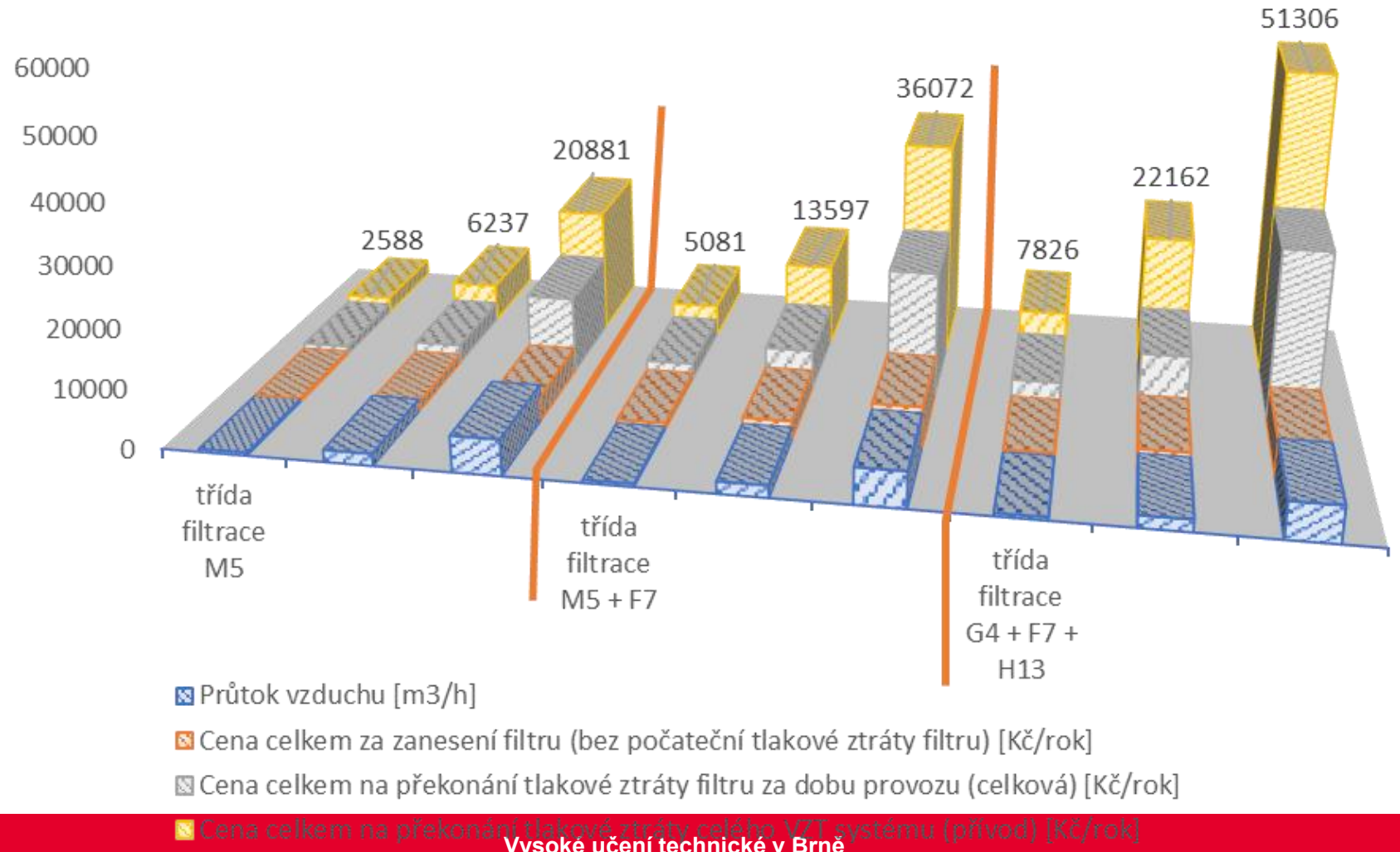
charakteristika ventilátoru



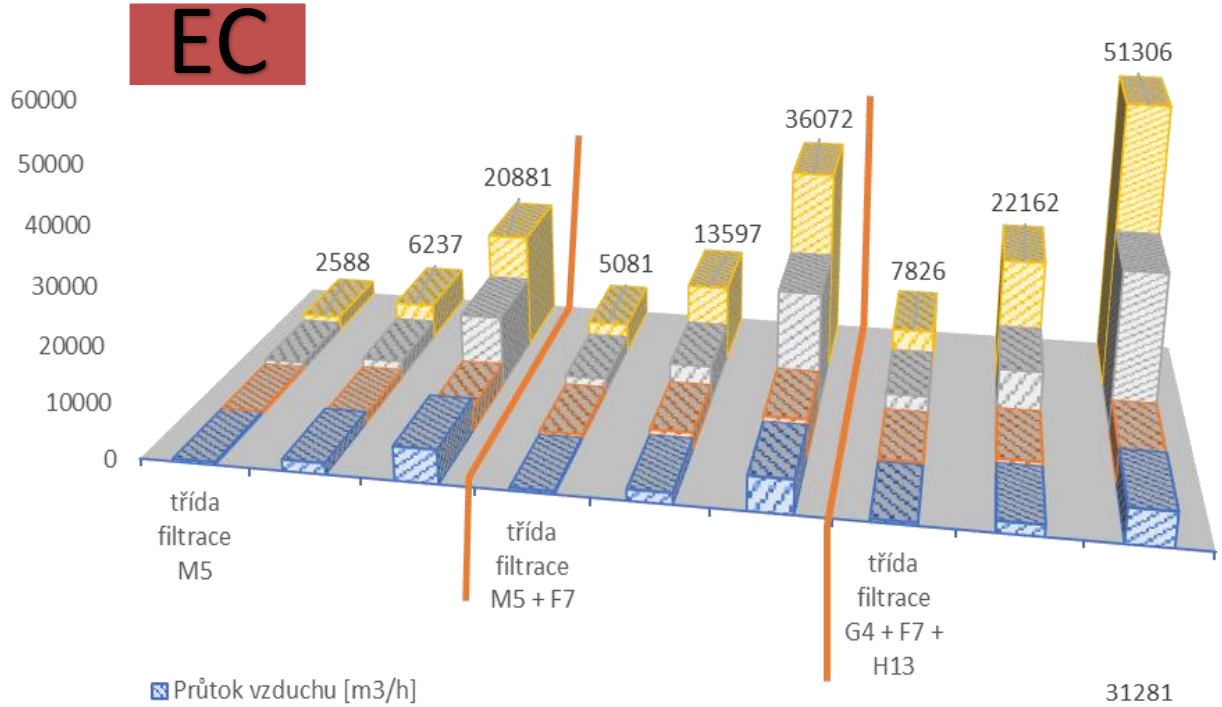
cc BY NC SA

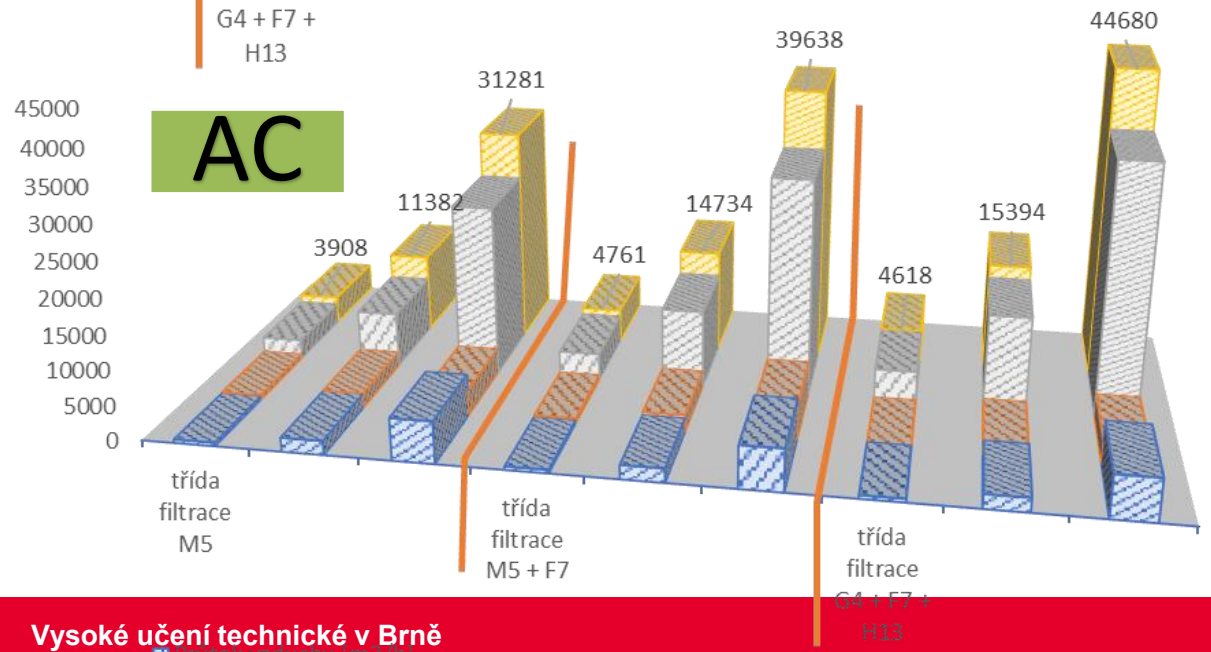
Výsledky

EC


60000
50000
40000
30000
20000
10000
0
2588
6237
20881
5081
13597
36072
7826
22162
51306
třída filtrace M5
třída filtrace M5 + F7
třída filtrace G4 + F7 + H13
Průtok vzduchu [m3/h]
Cena celkem za zanesení filtru (bez počateční tlakové ztráty filtru) [Kč/rok]
Cena celkem na překonání tlakové ztráty filtru za dobu provozu (celková) [Kč/rok]
Cena celkem na překonání tlakové ztráty celého VZT systému (přívod) [Kč/rok]

Výsledky


EC
60000
50000
40000
30000
20000
10000
0
2588
6237
20881
5081
13597
36072
7826
22162
51306
třída filtrace M5
třída filtrace M5 + F7
třída filtrace G4 + F7 + H13
Průtok vzduchu [m3/h]


AC
45000
40000
35000
30000
25000
20000
15000
10000
5000
0
3908
11382
31281
4761
14734
39638
4618
15394
44680
třída filtrace M5
třída filtrace M5 + F7
třída filtrace G4 + F7 + H13
Průtok vzduchu [m3/h]

Magisterský studijní program JADERNÁ ENERGETIKA vznikl za přispění

NPO_VUT_MSMT-16609_2022

CC BY NC SA