Hydrometrie
Měření hydrologických veličin

© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Kontakt

Michal Jeníček
Katedra fyzické geografie a geoekologie
Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta
Albertov 6, 128 43 Praha 2
Tel: +420 221 951 372, E-mail: jenicek@natur.cuni.cz
www: http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/
Kancelář: Horská 3 (na severním konci chodby, vchod z Hlavovy ulice)

© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Obsah

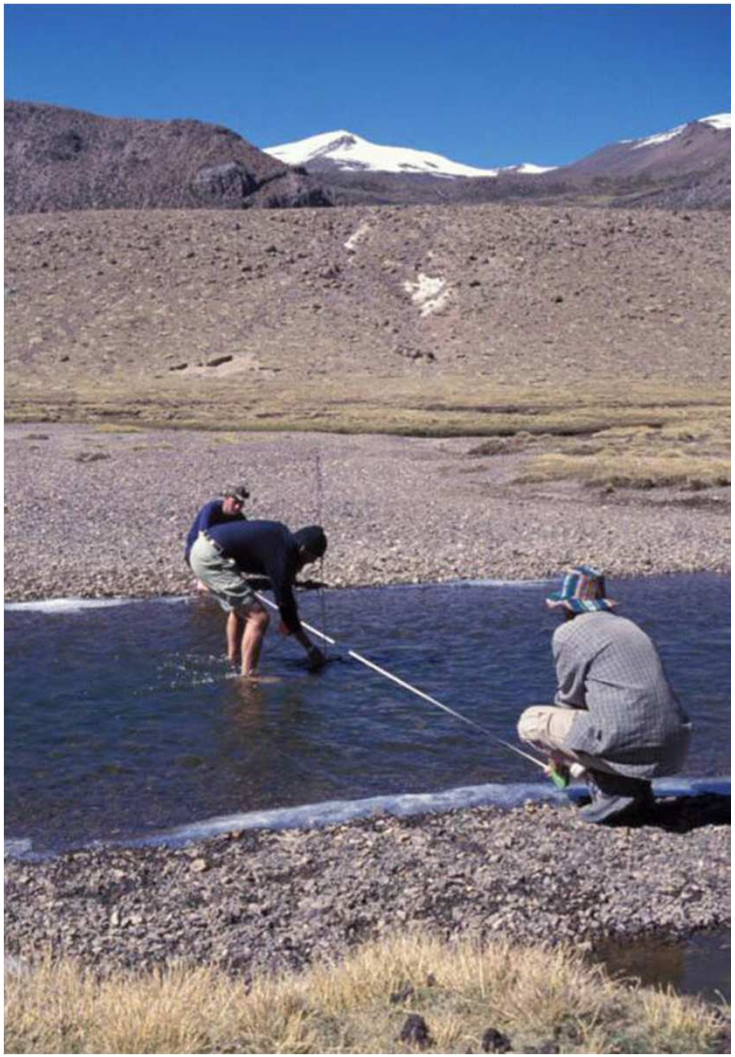
- Hydrometrie jako součást hydrologie, základní pojmy používané v hydrometrii
- Monitoring průtoku a rychlosti proudění v toku
- Monitoring vodního stavu
- Monitoring kvality vody, transportu látek, jezer, sledování hladiny podzemní vody, monitoring atmosféry
- Informační systém o vodě

- *Přednáška ve formátu pdf ke stažení na http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/ sekci „výuka"*

© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Hydrometrie

- zkoumá metody měření hydrologických jevů a dále je zpracovává
- zabývá se způsoby číselného vyjadřování a statistického zpracování naměřených dat
- poskytuje základní údaje o jevech na vodních objektech a zkoumá vztah mezi jednotlivými složkami hydrologického režimu



© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Hlavní úkoly hydrometrie

- systematické měření vodních stavů
- měření teploty vody a sledování ledových jevů
- soustavné nebo občasné zjišťování fyzikálních a chemických vlastností vody
- pravidelné nebo občasné měření průtoků a jejich vyhodnocování
- pravidelné nebo občasné měření množství splavenin, jejich zrnitosti, analýza množství a kvality sedimentů na dně vodních objektů
- soustavné měření vydatnosti pramenů a sledování změn hladiny podzemní vody

© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Pohyb vody v otevřeném korytě

Ustálené proudění (stationary flow, steady flow) – průtok je v čase i prostoru konstantní.

- Rovnoměrné – hloubka, průtočná plocha a průřezová rychlost jsou v každém příčném řezu konstantní. Je popsáno Chezyho, Manningovou a Darcy-Weisbachovou rovnicí.
- Nerovnoměrné – parametry jsou v prostoru proměnné.

Neustálené proudění – průtok se mění v čase i prostoru (nonstationary flow, nonsteady flow). Popisují ho Saint-Venantovy rovnice.

© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Pohyb vody v otevřeném korytě

- laminární (laminar flow) – velikost a směr vektorů rychlosti zůstávají neměnné
- turbulentní (turbulent flow) – velikost a směr vektorů rychlosti se mění
- přechod mezi nimi určuje Reynoldsovo číslo

$$\mathrm{Re} = \frac{v_m \cdot r_{hy}}{\nu}$$

kde v_m je střední rychlost [$m.s^{-1}$], r_{hy} je hydraulický rádius [m] a v je kinematická viskozita [$m^2.s^{-1}$].

Pohyb vody v říčním korytě ovlivňován různými faktory: gravitací, třením o nerovnosti dna a břehů

- pulzace – stálé kolísání rychlosti kolem určité průměrné hodnoty (turbulence)
- izotachy – izolinie stejných rychlostí v průtočném profilu

© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Základní metody měření průtoku ve vodním toku

Přímé měření průtoku

- objemová metoda
- měrné přepady (přelivy)
- chemická (směšovací) metoda
- Venturiho žlab

Měření rychlosti

- hydrometrická vrtule
- ultrazvukové měření rychlosti (Flow Tracker)
- plováková metoda
- měření systémem ADCP

Hydrotechnický výpočet rychlosti

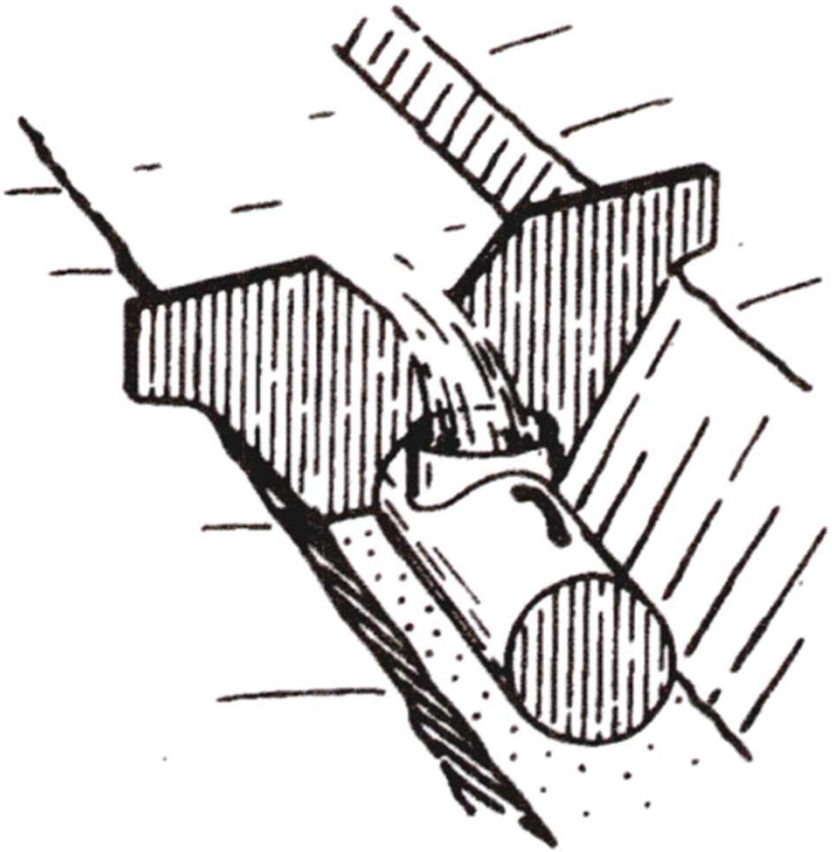
- Manningova rovnice, Chezyho rovnice

Měření vodního stavu

- limnigraf, tlakové a ultrazvukové hladinoměry, konsumpční (měrná) křivka

© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Objemová metoda



- měření probíhá pomocí kalibrované nádoby. Měří se čas naplnění nádoby
- přesná metoda

$Q = V/t$

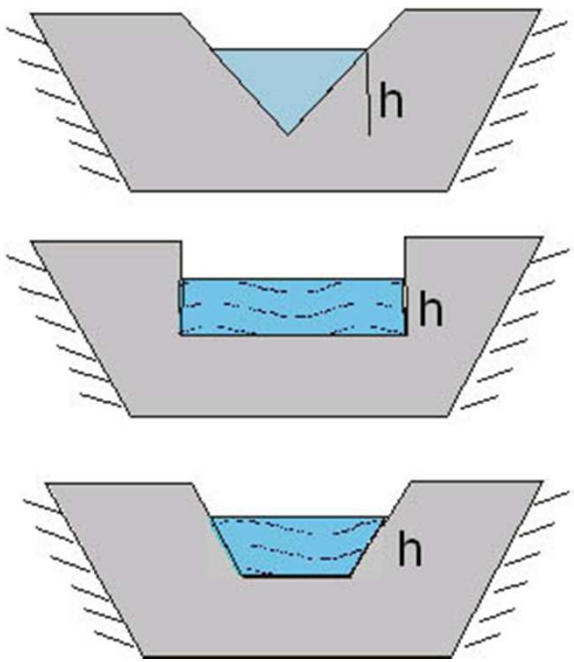
V – Objem, t - čas

- používá se u malých toků, kde není možné použít vrtuli
- automaticky sklopné nádoby – kontinuální měření malých průtoků

© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

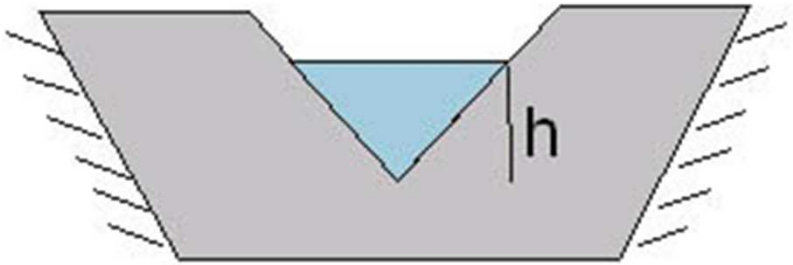
Měrný přepad (přeliv)

- velmi přesná metoda
- často využívaná na experimentálních povodích malé plochy
- stačí znát hloubku vody v přepadu a podle vzorce je možné spočítat průtok
- Do rovnice vstupují kromě hloubky také parametry přepadu a gravitační zrychlení g
- existují různé tvary přepadů

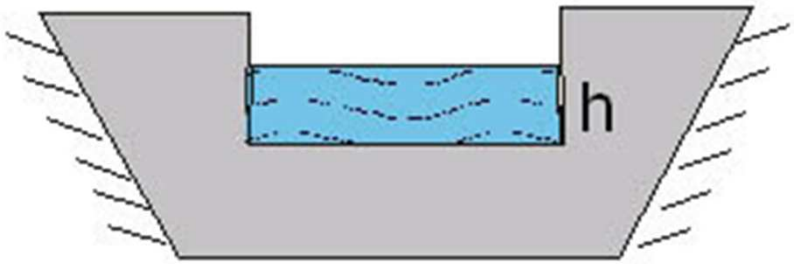


© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

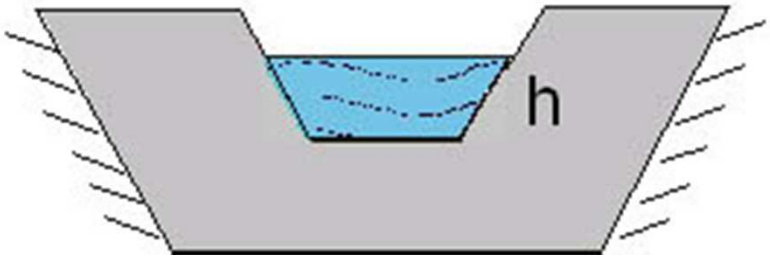
Měrný přepad



Thompsonův



Ponceletův

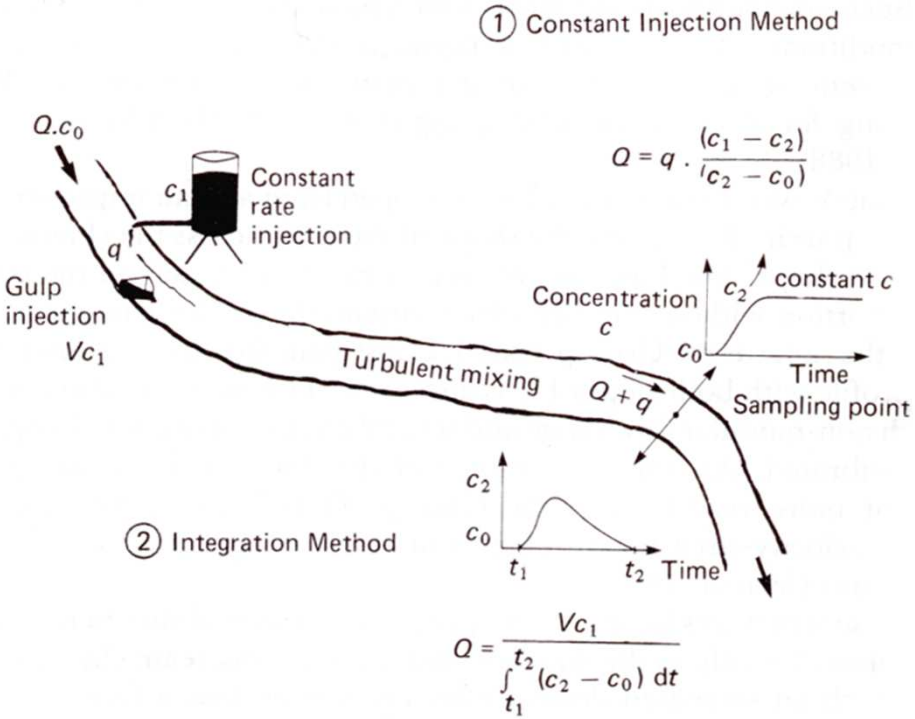


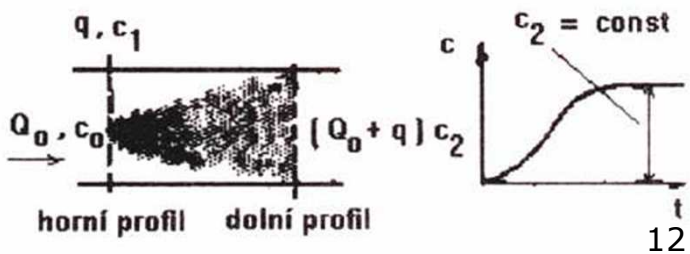
Cippolettiho

© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Směšovací metoda

- používá určitou látku (stopovač, často $KMnO_4$, NaCl), která se vypouští hadičkou do toku
- v níže položeném profilu sledujeme její koncentraci
- Průtok je počítán podle rovnice
  $Q_1.c_1 = Q_2.c_2$
  - Q_1 - průtok hadičkou
  - Q_2 - průtok v níže položeném profilu toku
  - c_1 - koncentrace látky v hadičce
  - c_2 - koncentrace látky v toku
- využití: horské bystřinné toky s turbulentním prouděním (důležité promísení indikované látky !!!)
- málo přesná metoda





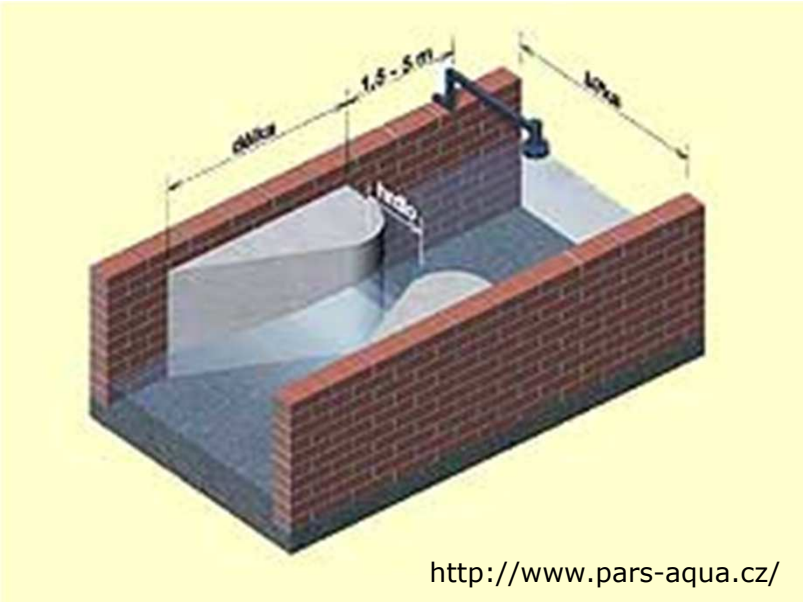
© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Venturiho žlab

- využívají definovaného zúžení průřezu žlabu se vznikem kritického proudění nebo vodního skoku
- využití např. ČOV, závlahové kanály

$Q = K.b.h^n$

Q je průtok, ***b*** je šířka hrdla žlabu, ***h*** je výška vody nad prahem žlabu, ***n*** je exponent (pro Venturiho žlab 1,5) a ***K*** je součinitel závislý na typu a rozměrech žlabu (tabulková hodnota).



http://www.pars-aqua.cz/

© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Měření hydrometrickou vrtulí

- tekoucí voda svým dynamickým účinkem otáčí vrtulí rychlostí úměrnou rychlosti vodního proudu
- využití: větší průtok, menší spád
- podmínka použití: možnost určit průtočný průřez

- vhodný měřící profil
- koryto se dělí na několik stejných částí, každé odpovídá určitá střední svislicová rychlost
- měření počtu otáček vrtule a následný výpočet rychlosti proudění v měřeném bodě

© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Měření hydrometrickou vrtulí

- Měří se počet otáček vrtule v různých hloubkách:

  hloubka < 0,5 m → 1 bod…0,4h:

  $v_s = v_{0,4h}$

  0,5 m ≤ hloubka ≤ 1 m → 2 body…0,2h 0,8h:

  $v_s = (v_{0,2h}+v_{0,8h})/2$

  hloubka > 1 m → 5 bodů…dno; 0,2h; 0,4h; 0,8h; povrch:

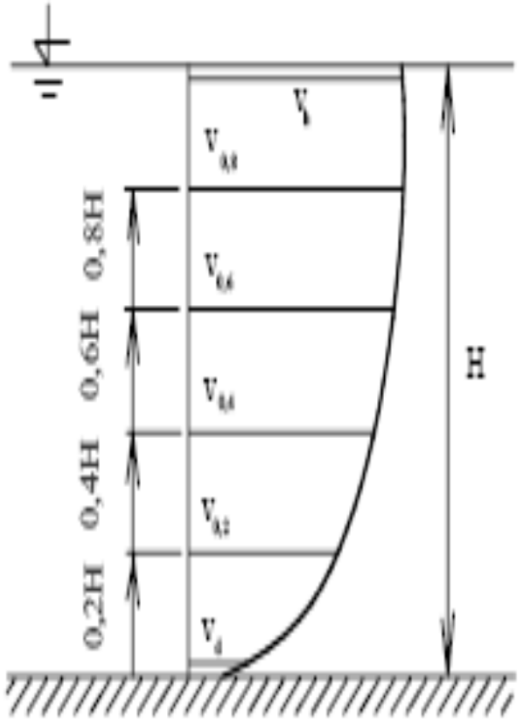
  $v_s = (v_{dno} + 2v_{0,2h} + 3v_{0,4h} + 3_{v0,8h} + v_{hlad})/10$

- Bodová rychlost spočtena ze vzorce: v = a + b.ns

  v – průtoková rychlost

  a, b – konstanty charakterizující danou vrtuli

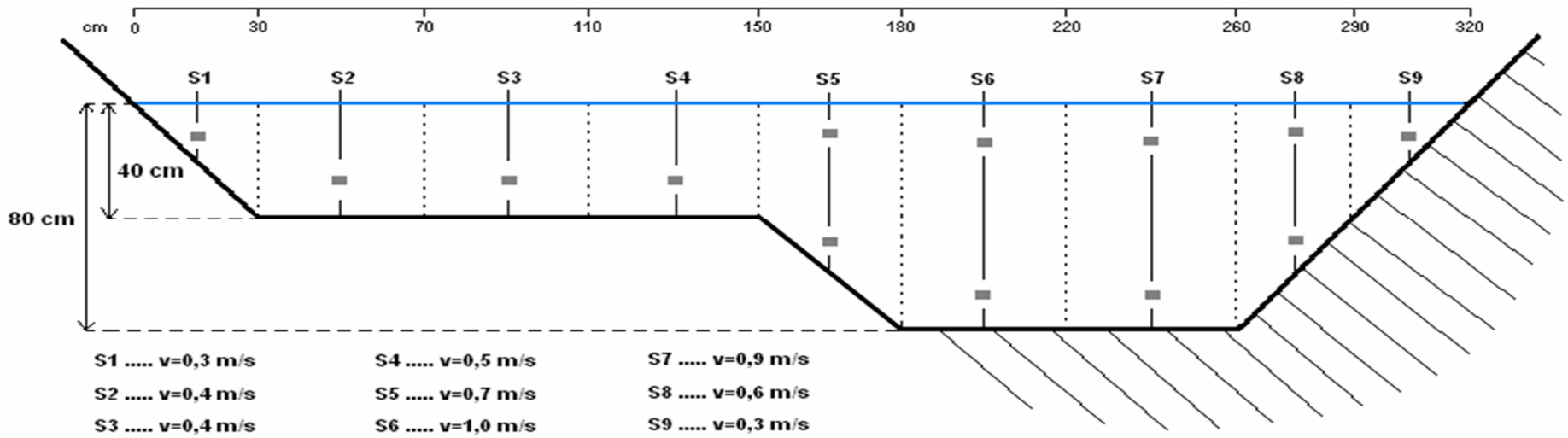
  ns – specifický počet otáček vrtule (počet otáček za 1 s.)



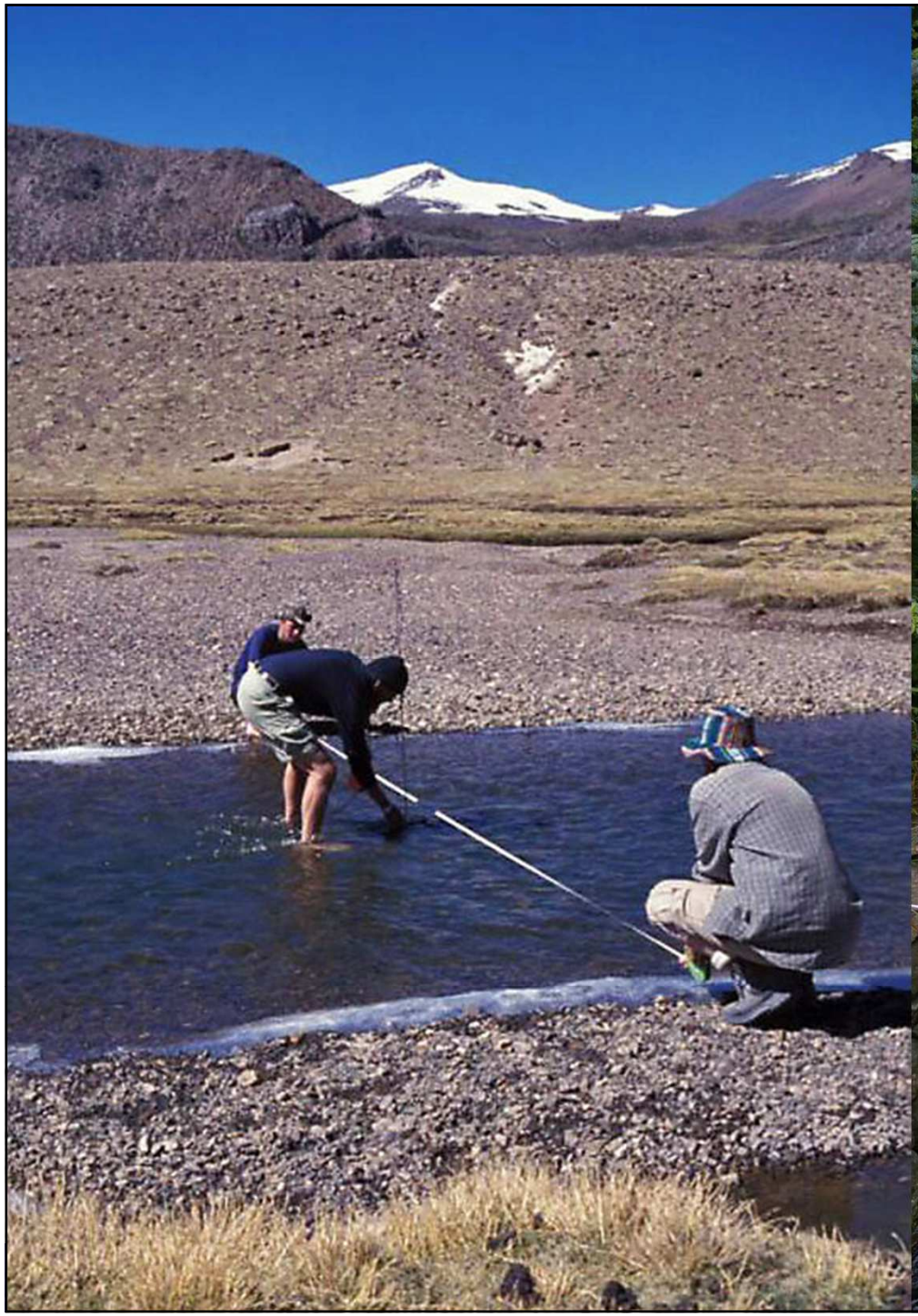
© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Měření hydrometrickou vrtulí

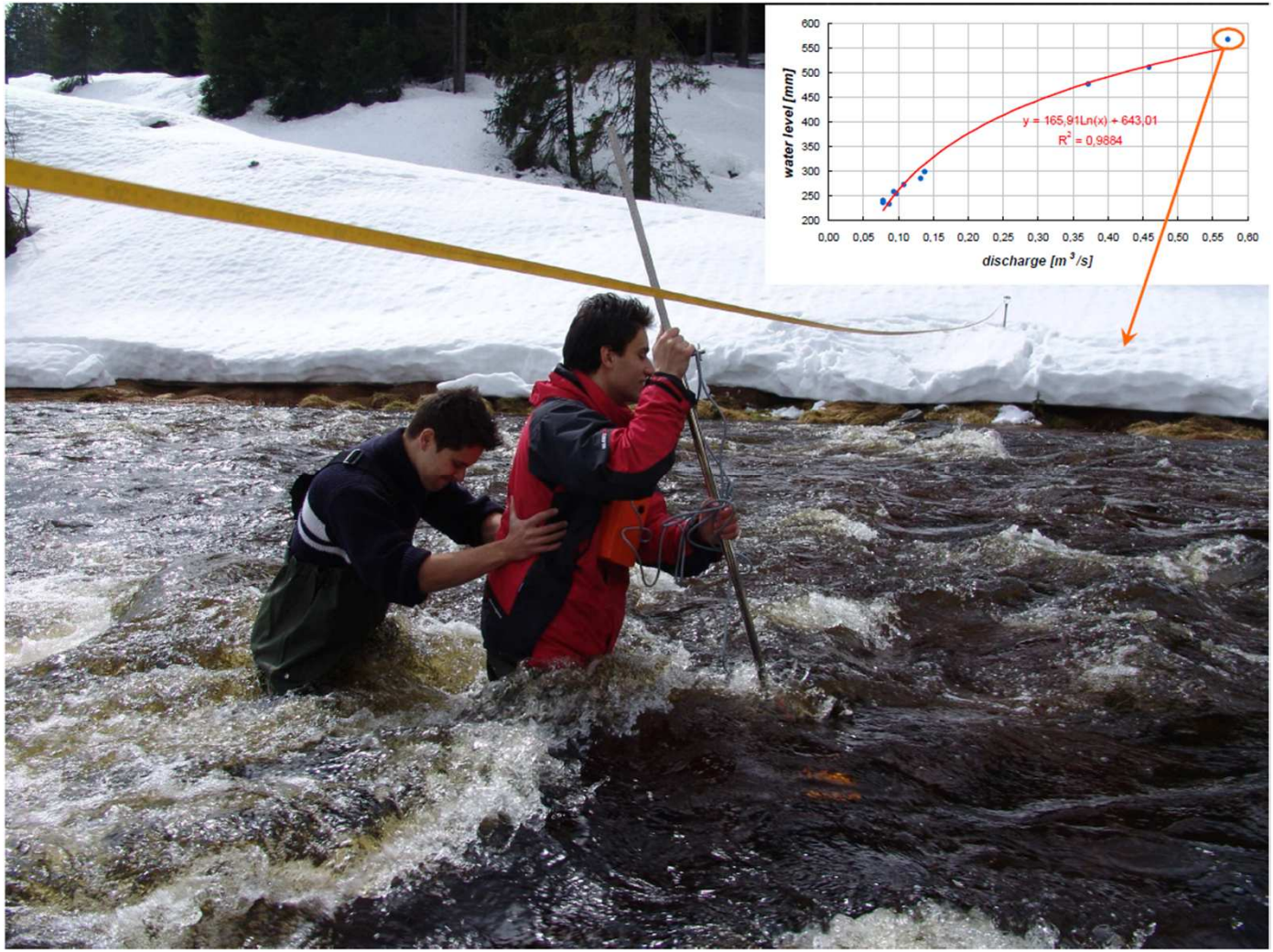
- Výpočet průtoku: Q = Σ (Fi . Vi)
  - Fi - dílčí plocha
  - vi – střední svislicová rychlost



© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/



Měření hydrometrickou vrtulí



© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Flow Tracker

- ultrazvukové měření rychlosti
- založen na Dopplerově jevu
- měření rychlostí proudění a průtočné plochy
- automatický výpočet průtoku

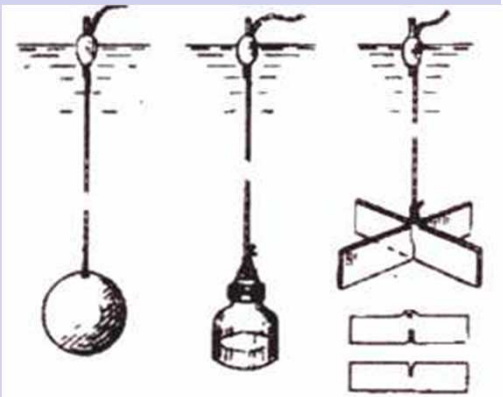
© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Plováková metoda

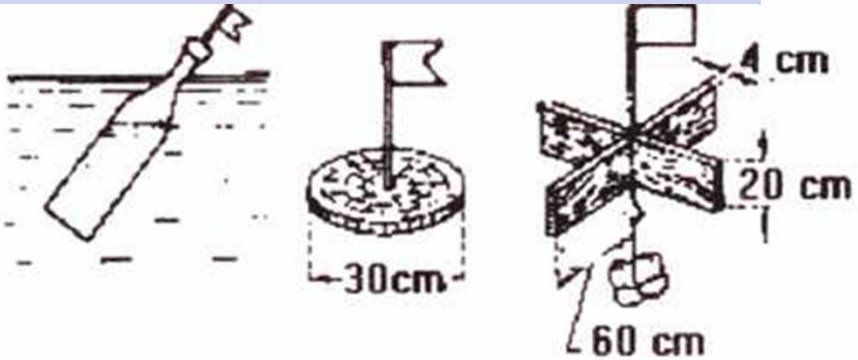
- předpoklad: plovák se v proudu vody pohybuje rychlostí okolních částic vody
- vhodné při povodňových stavech, kdy nelze použít hydrometrickou vrtuli
- využívá se plováků rozmístěných v šířce, měří se jejich rychlost ve zvoleném úseku (5-10 m, min 10 s), tzn. rychlost proudění na hladině
- + jednoduchost X - menší přesnost

měření povrchových rychlostí
plováky pro měření povrchových rychlostí
koeficient drsnosti koryta

určení středních svislicových rychlostí
tzv. hlubinné plováky - přesnější určení



$Q = F \cdot v_s$
$v_s = (v_1 + v_2 + v_3) / 3$



© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

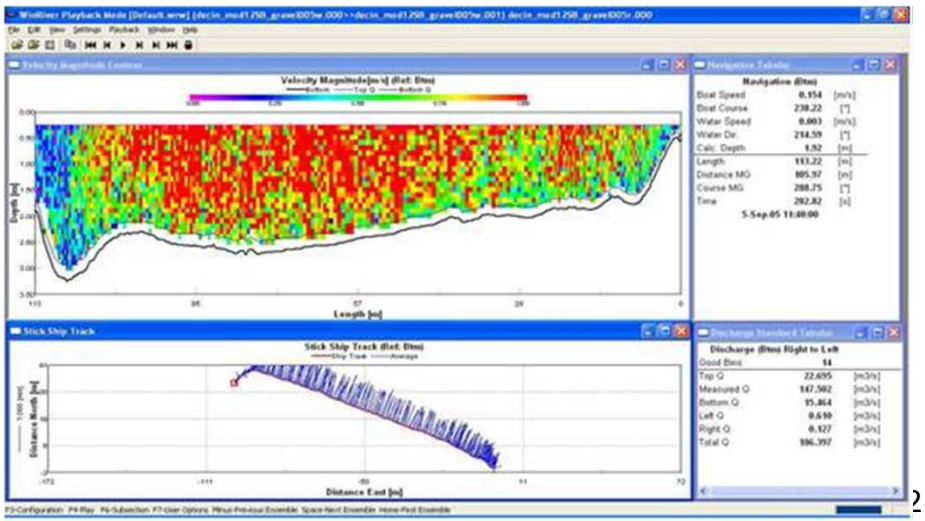
Systém ADCP

- ultrazvukové měření průtoku
- založen na Dopplerově jevu (ADCP =Acoustics Doppler Current Profiler)
- měření rychlostí proudění a průtočné plochy

© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Systém ADCP

- typ sonaru pro záznam rychlosti proudění vody v profilu toku - generování a detekce ultrazvuku
- transduktor (snímač) produkuje zvukové pulsy, které se šíří vodním prostředím v různých, ale známých směrech ve frekvenci v důsledku Dopplerovského efektu
- vodní toky o hloubkách 0,4 – 50 m při rychlostech proudění až do 20 $m.s^{-1}$
- výhody: rychlost změření průtoku při zachování požadované přesnosti (několik minut)
- software komunikující se systémem ADCP – 4 komponenty: čidlo (sonda), plastový plovák (člun) katamaránové konstrukce, komunikační modem s on-line přenosem, počítač, telefon



© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Hydrotechnický výpočet

- Počítá se rychlost proudění na základě charakteristik koryta
- Často používaný v hydraulice a v hydrologických modelech
- Podmínky: rovnoměrný ustálený pohyb (výběr vhodného úseku, dostatečně krátký časový interval)
- Využití: mimořádné situace (povodně)
- Chezyho rovnice
- Manningova rovnice

© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Hydrotechnický výpočet

- Chezyho rovnice

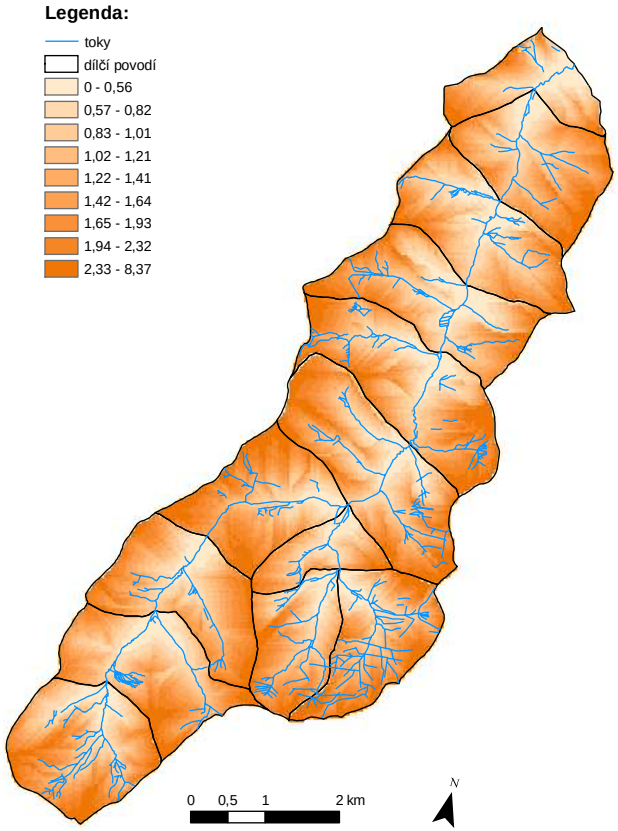
$$v = c \cdot \sqrt{R \cdot I}$$

- kde c je součinitel drsnosti, I [%] je okamžitý sklon koryta a R=F/O je hydraulický rádius (poloměr)

- Manningova rovnice
- častěji používaná varianta Chezyho rovnice

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

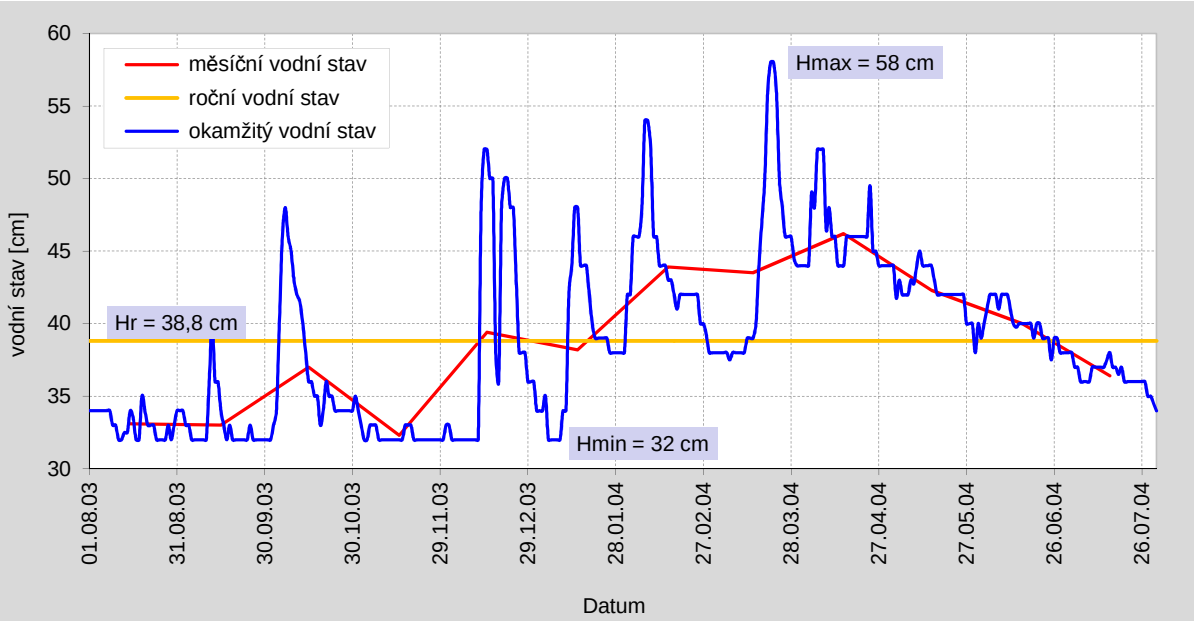
- kde n je Manningův součinitel drsnosti (tabulková hodnota), R je hydraulický poloměr a I je sklon



© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Vodní stav

- Kolísání vodní hladiny v toku nebo nádrži nad nulou vodočtu
- Udává se v cm



Vodní stavy Jezerního potoka v profilu nad soutokem s Řeznou v období 1.8.2003 - 1.7.2004

- Porovnání denních vodních stavů (Hd) s příslušnými průměry jejich řad (Hm, Hr, Ha)
- Zjišťují se ve vodočetných (vodoměrných) stanicích, které tvoří síť - její hustota závisí na hospodářských potřebách a požadavcích vodního hospodářství => lokalizace na charakteristických místech říční sítě (na hlavních tocích, v ústí přítoků)

© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Vodní stav

Břehová voda

- vodní stav, resp. průtok, při němž se voda vylévá z přírodního koryta do říční nivy

Hydromodul

- rozdíl mezi maximálním a minimálním vodním stavem za celé pozorované období (důležitý pro projektanty vodních děl - hrází, jezů, mostů, pro hydrologickou prognózu)
- Labe (Děčín; 1931-1980) 760 cm, Dunaj (Bratislava; 1931-1980) 884 cm, Ipeľ (Ipeľské Šahy) > 1000 cm, Ostravice, Smědá

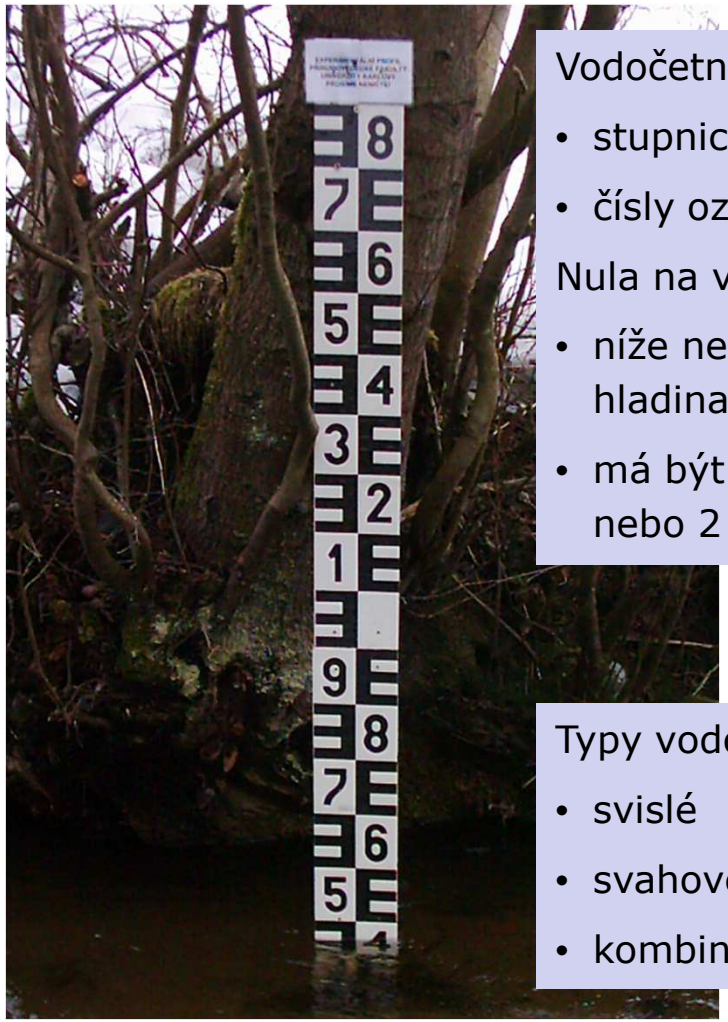
Stupně povodňové aktivity (SPA)

vyjadřují míru povodňového nebezpečí. Jsou vázány na směrodatné limity, jimiž jsou zpravidla vodní stavy nebo průtoky v hlásných profilech na tocích, popřípadě na mezní nebo kritické hodnoty jiného jevu (úhrn srážek, hladina v nádrži, ledové jevy atd.)

- 1. stupeň povodňové aktivity – bdělost
- 2. stupeň povodňové aktivity – pohotovost
- 3. stupeň povodňové aktivity – ohrožení

© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Vodočetná lať



Vodočetná lať

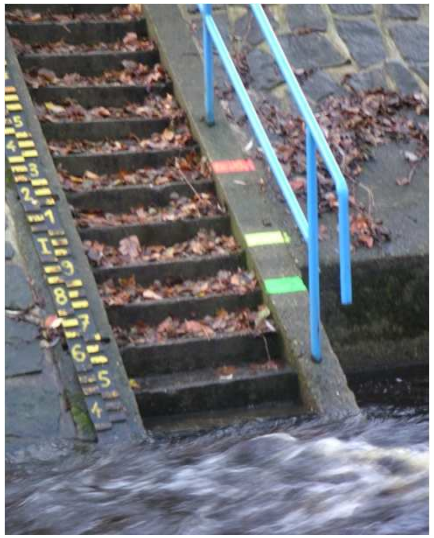
- stupnice obvykle po 2 cm
- čísly označeny dm a celé m

Nula na vodočtu:

- níže než historicky nejnižší známá hladina
- má být vztažena ke státní nivelaci nebo 2 pevným bodům

Typy vodočtů

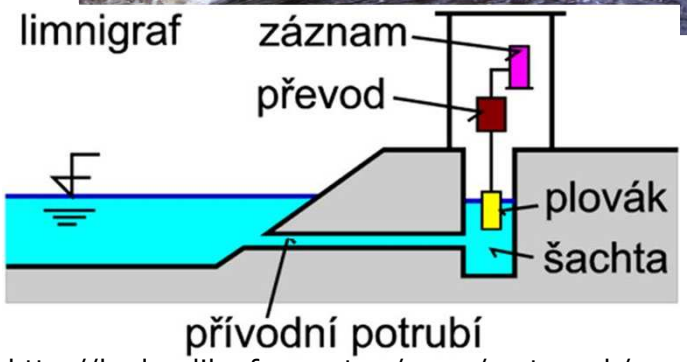
- svislé
- svahové
- kombinované



© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Limnigraf

- limnigrafická budka spojená přívodními kanály s vodním tokem
- princip spojených nádob
- záznam se nazývá limnigram



http://hydraulika.fsv.cvut.cz/users/matousek/

© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Monitoring vodních stavů

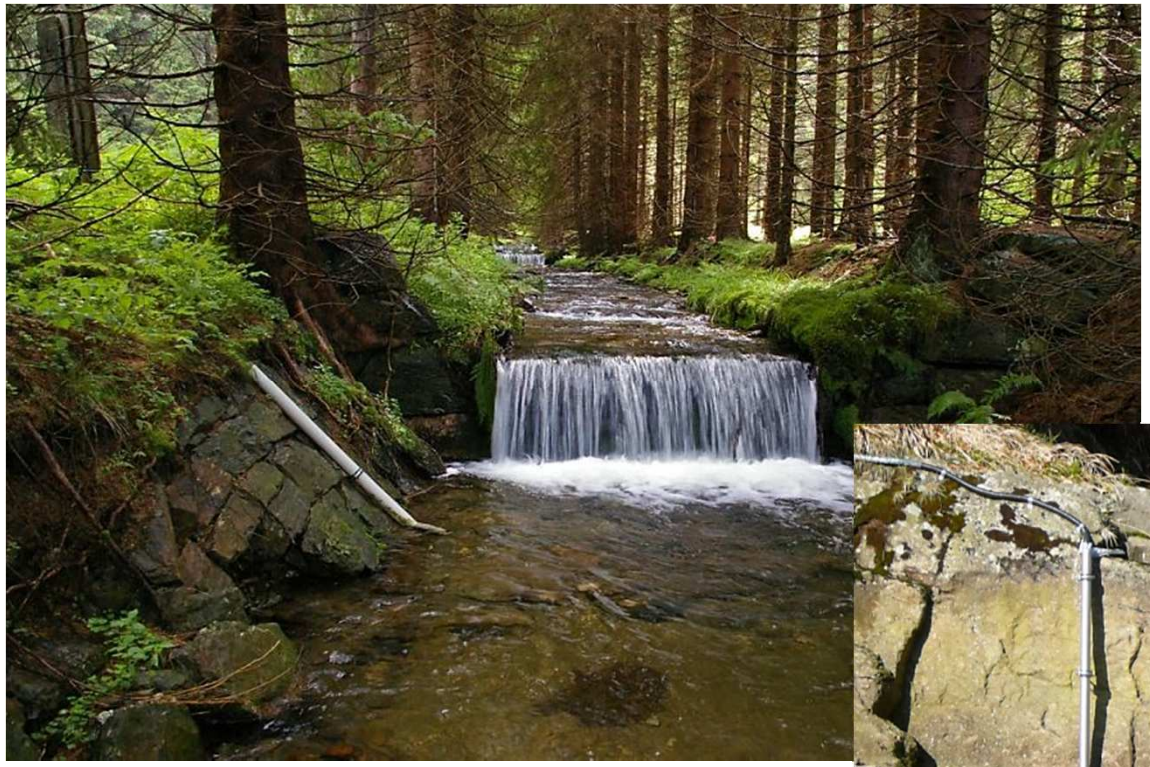
- manometrický (tlakový) hladinoměr
- měření hydrostatického tlaku
- otevřená koryta, vrty

- ultrazvukový hladinoměr
- měření rychlosti odezvy ultrazvukového paprsku
- otevřená koryta

- plovákový snímač hladiny
- magnetický způsob snímání natočení kladky
- vrty

© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Monitoring vodních stavů – tlakové čidlo



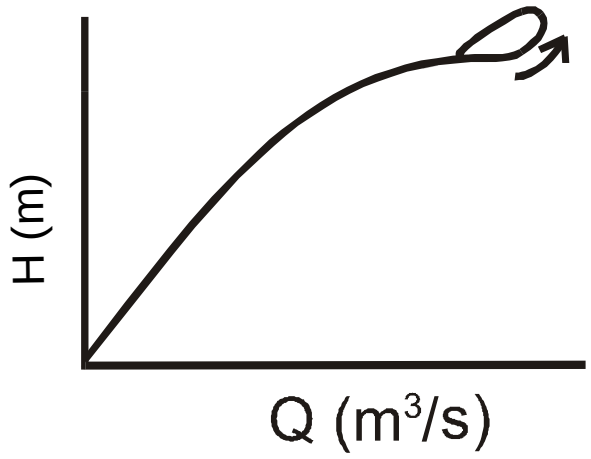
© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

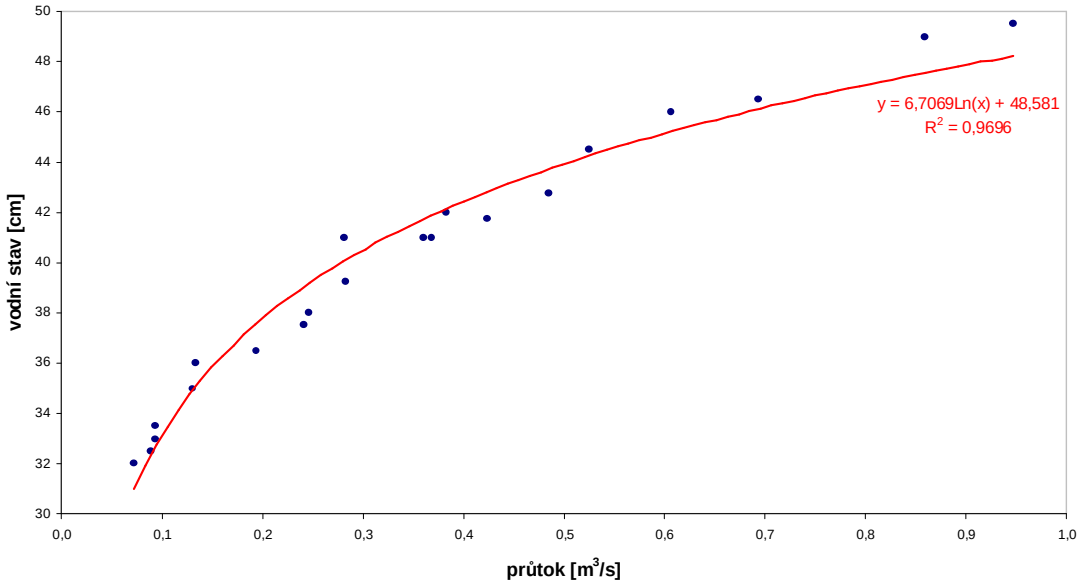
Monitoring vodních stavů - ultrazvuk

© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Konsumpční křivka

- vyjadřuje vztah mezi průtokem a odpovídajícím vodním stavem
- není třeba měřit Q, stačí odečet vodního stavu (vodoměrná lať, limnigraf)

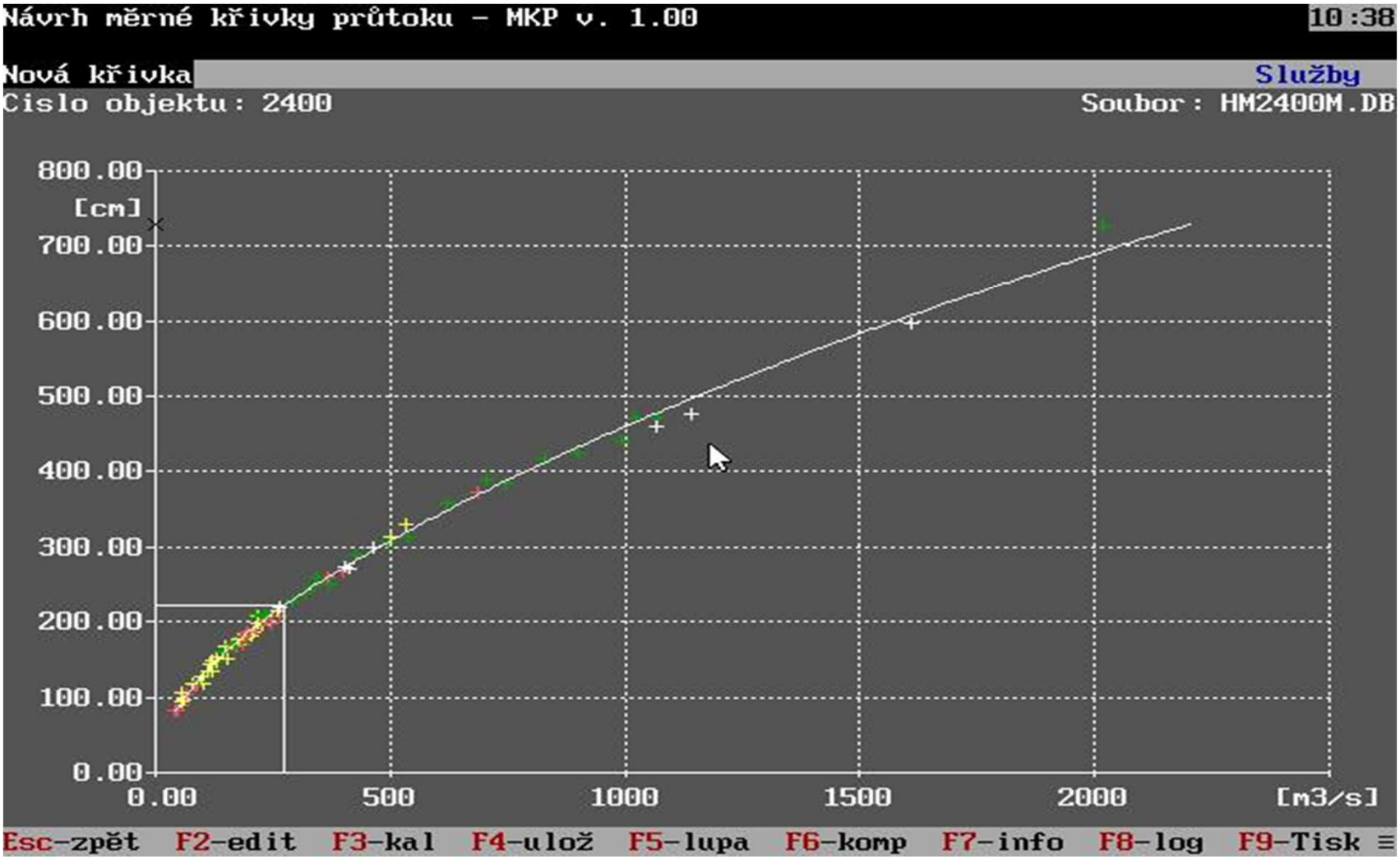




Konsumpční křivka - Jezerní potok nad soutokem s Řeznou

© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Konsumpční křivka



© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Monitoring dalších veličin

- Monitoring kvality vody
- Monitoring transportu splavenin
- Limnologický výzkum
- Monitoring podpovrchové vody
- Monitoring atmosféry

© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Monitoring kvality vody

A. ukazatele kyslíkového režimu
   - rozpuštěný O2, BSK5, CHSKMn, CHSKCr, C organický (TOC), nasycení kyslíkem atd.

B. základní chemické ukazatele
   - pH, teplota vody, vodivost, Fe, Mn, N aminiakální, N dusitanový, N dusičnanový, N organický, P celkový atd.

C. doplňkové chemické ukazatele
   - SO_4^{2-}, Ca2+, Mg2+, absorbance, fenoly, pach, barva, kyanidy atd.

D. těžké kovy
   - Hg, Cd, Pb, As, Cu, Cr, Co, Ni, Zn, Al atd.

E. biologické a mikrobiologické ukazatele
   - saprobní index, chlorofyl, koliformní bakterie ad.

F. organické látky
   - chloroform, , benzen, toluen, PCB, PAU atd.

G. ukazatele radioaktivity

© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Monitoring kvality vody

Třídy čistoty

I. třída – velmi čistá voda

II. třída – čistá voda

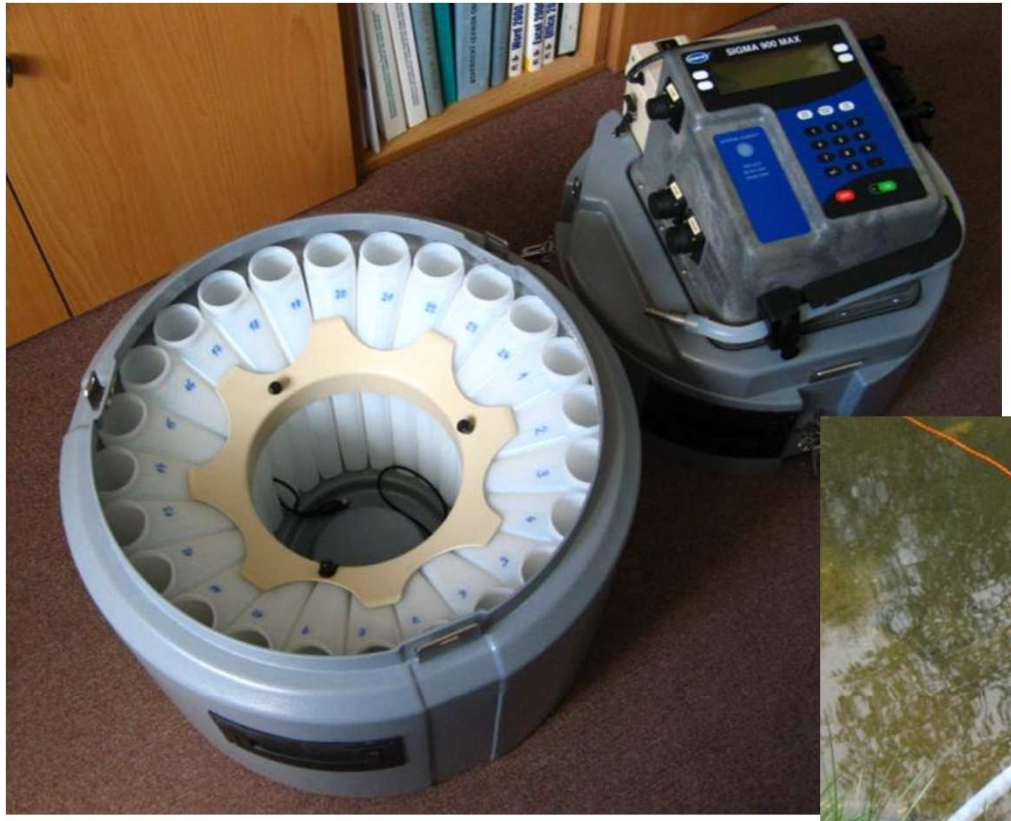
III. třída – znečištěná voda

IV. třída – silně znečištěná voda

V. třída – velmi silně znečištěná voda

© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

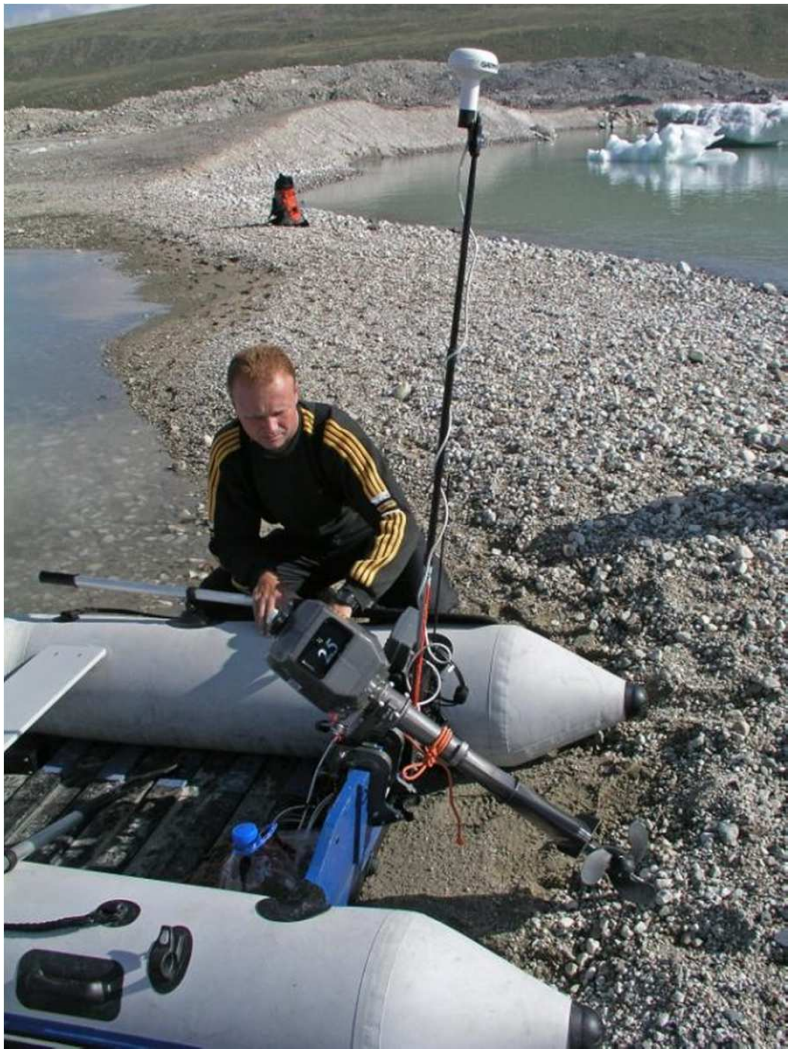
Monitoring plavenin



- automatický odběrák plavenin
- automatický odběr vzorku vody při zadaných podmínkách (vysoký vodní stav, vysoký úhrn srážek, rychlý nárůst vodního stavu
- napojení na měření vodního stavu a klimatologickou stanici

© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

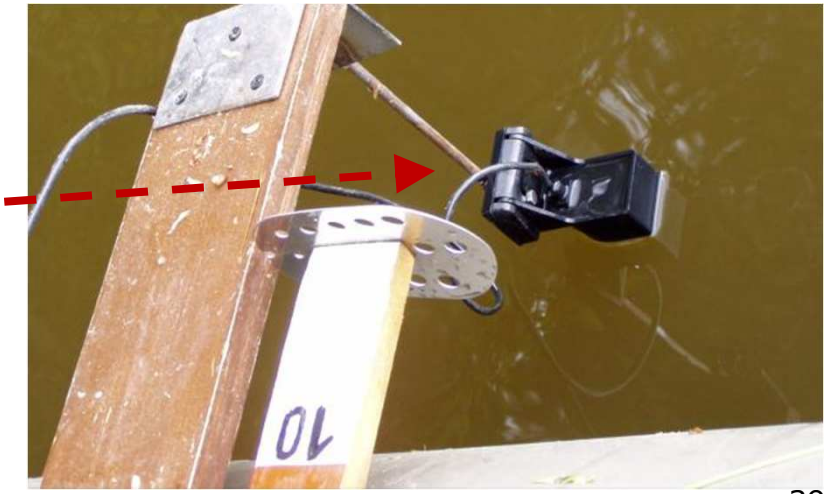
Limnologický výzkum



- měření hloubek (batymetrie) pomocí echolotu
- měření teplotní stratifikace
- měření fyzikálně-chemických parametrů – barva, průhlednost, pH (pH-metr), vodivost (konduktometr), rozpuštěný kyslík (oxymetr), redox (redoxmetr), kvalita vody

© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

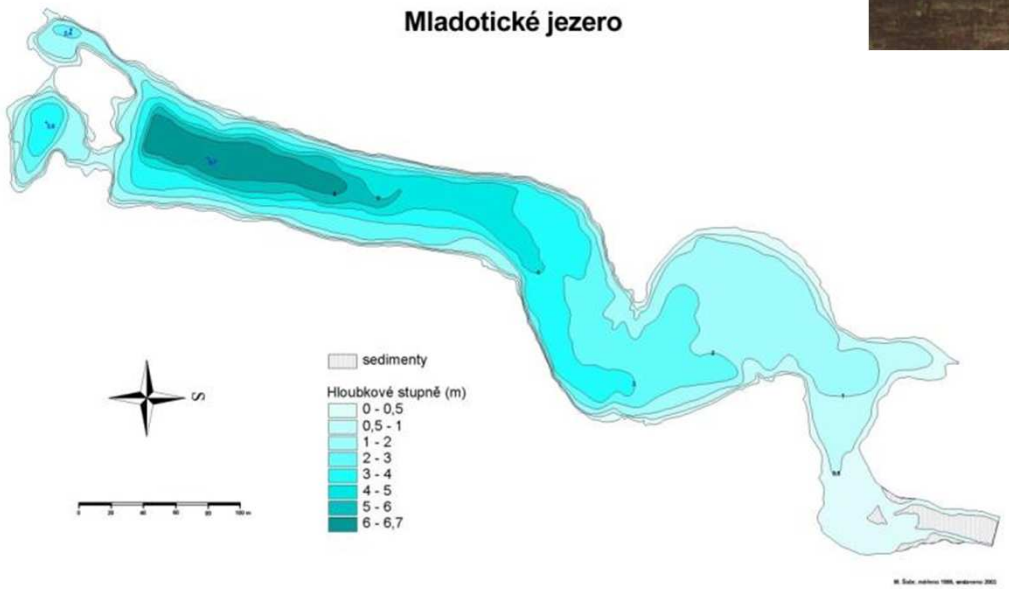
Limnologický výzkum

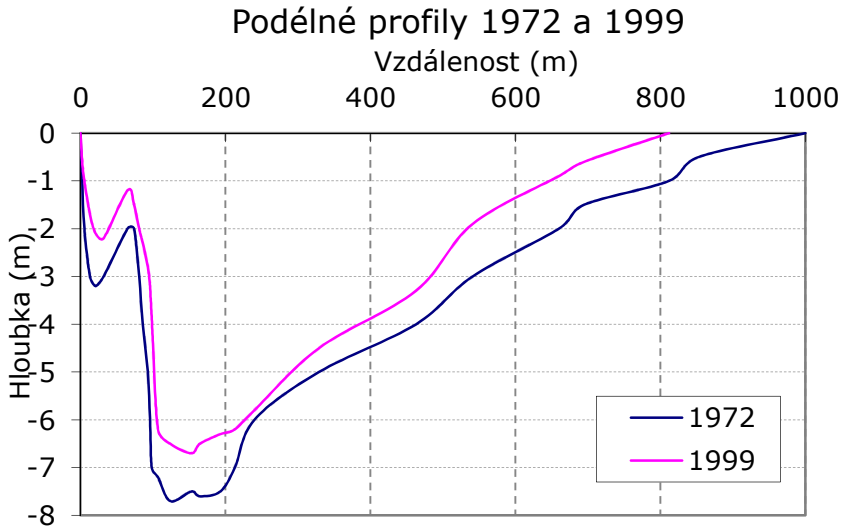


© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Limnologický výzkum – jezera ČR

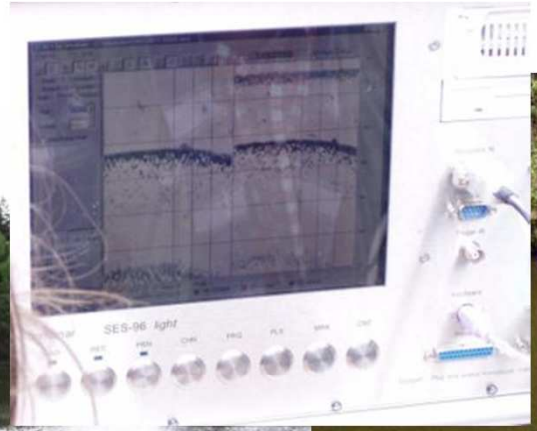
Mladotické jezero - sedimentace	
Maximální hloubka 1972	7,7 m
Maximální hloubka 2003	6,6 m
Plocha 1972	5,93 ha
Plocha 2003	4,55 ha





© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Limnologický výzkum – jezera ČR



© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Monitoring podpovrchové vody

- Prameny – vydatnost (přelivy, objemová metoda), teplota, jakost
- Vrty – hladina podzemní vody, jakost vody

© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Monitoring atmosféry

- Měření úhrnu srážek
- Měření teploty (vzduchu, půdy, sněhu)
- Měření vlhkosti vzduchu, směru a rychlosti větru
- Měření globální radiace, slunečního svitu
- Měření výšky sněhové pokrývky a vodní hodnoty sněhu

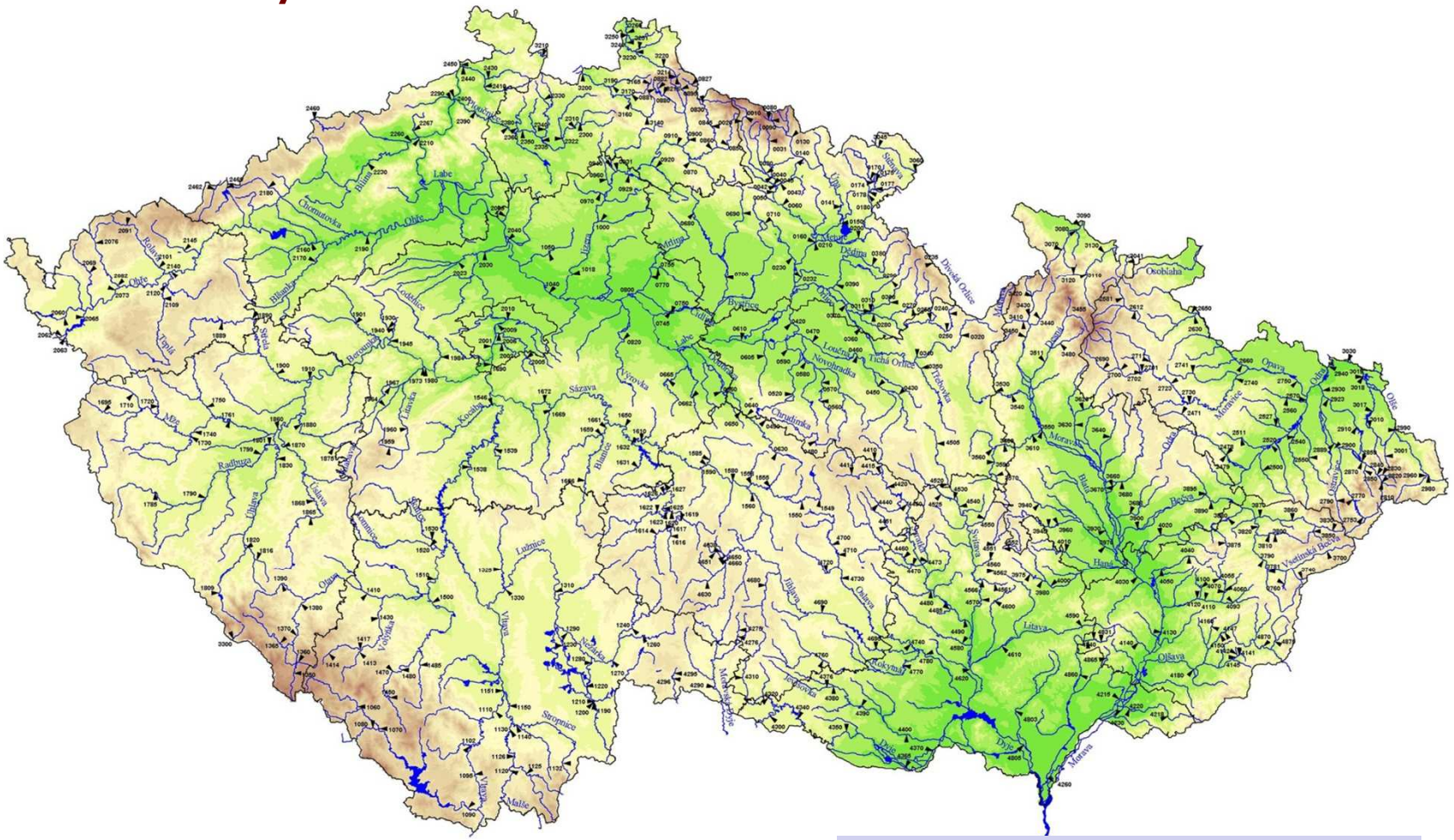
© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Hlavní zdroje informací

- Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) – online data, výstrahy, hlásná a předpovědní povodňová služba
- Ministerstvo životního prostředí ČR (MŽP ČR) - vodohospodářský informační portál (aktuální data, plány oblasti povodí atd.)
- Podniky povodí (Vltavy, Labe, Ohře, Moravy, Odry) – online data, plány oblasti povodí

© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

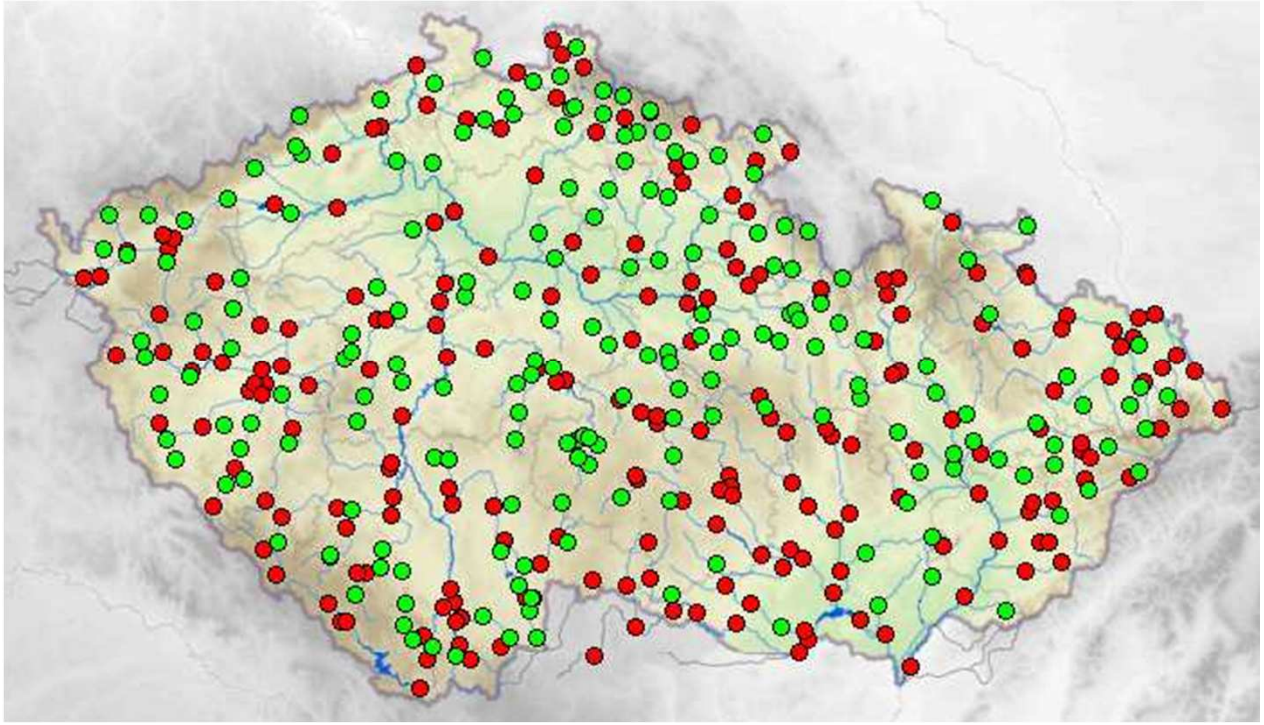
Základní síť vodoměrných stanic



Síť vodoměrných stanic ČHMÚ (stav 2010)

© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Hlásné profily

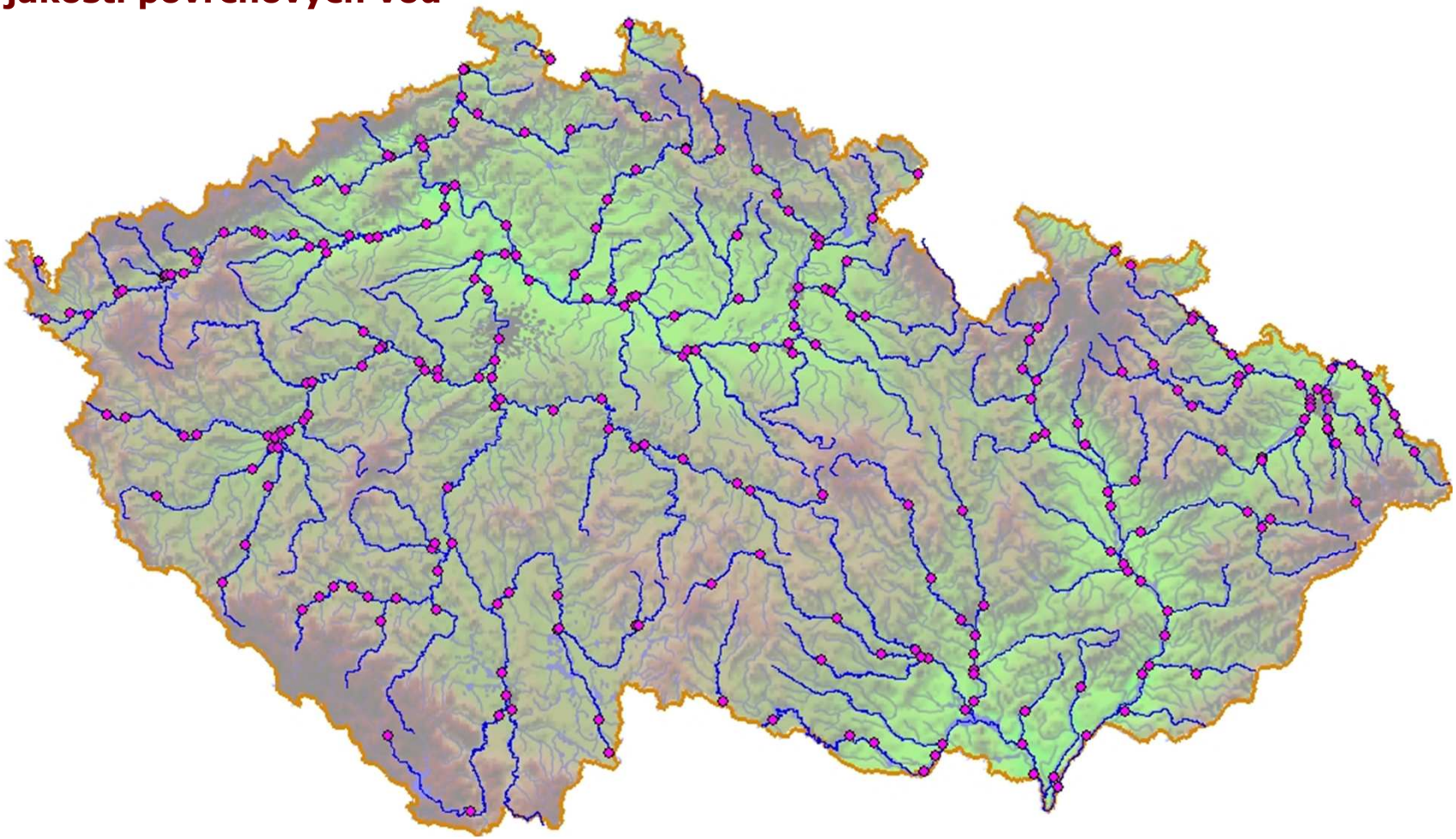


Legenda
- Hlásné profily kategorie **A**
- Hlásné profily kategorie **B**

- Základní hlásné profily – kategorie A –národní úroveň, jsou využívány pro předpovědní povodňovou službu. Jsou profesionálně provozované ČHMÚ nebo správci povodí
- Doplňkové hlásné profily – kategorie B – regionální úroveň. Jsou zřizovány krajskými úřady
- Pomocné hlásné profily – kategorie C – obce, další vlastníci atd.

© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

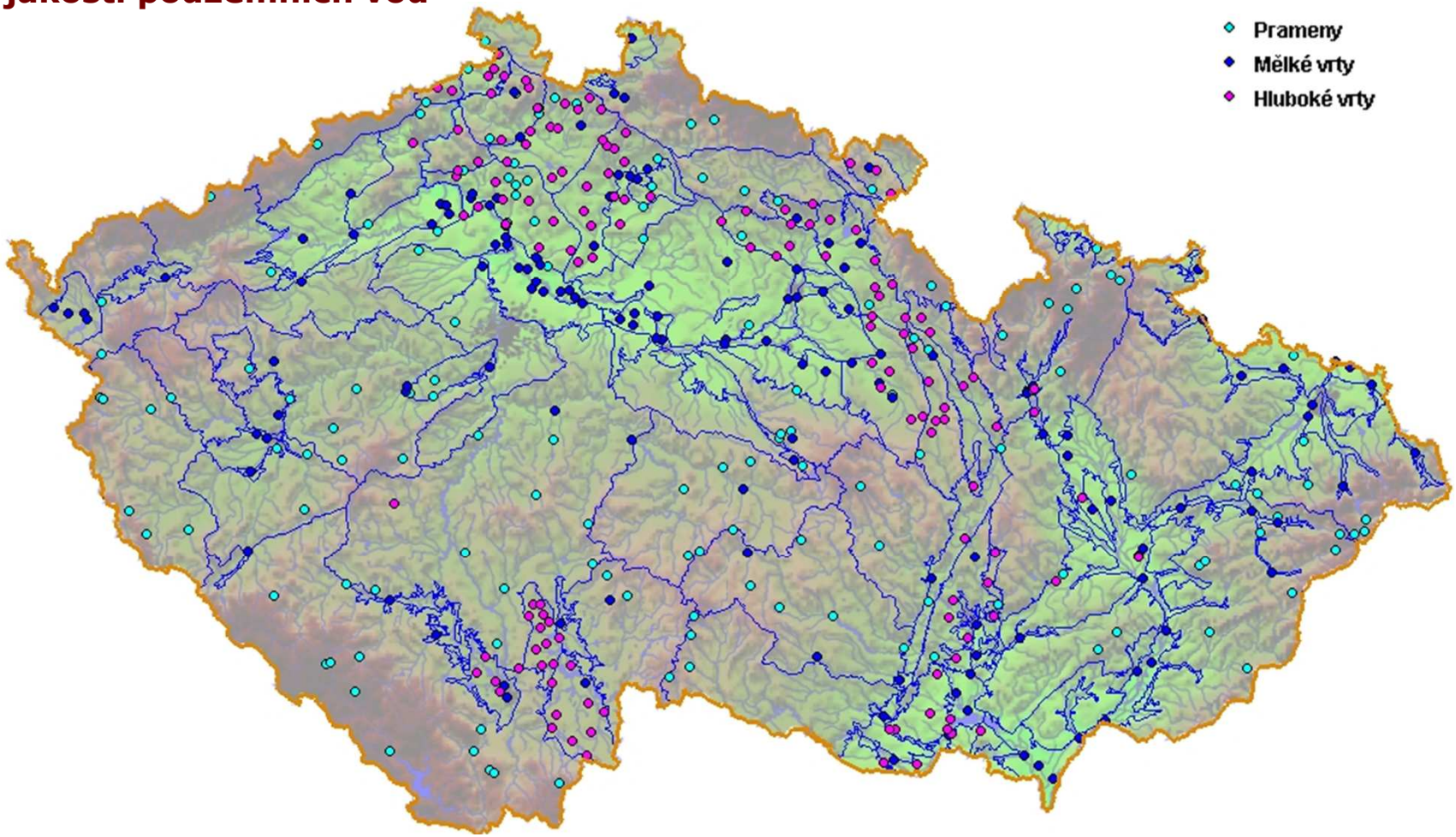
Profily jakosti povrchových vod



Profily jakosti povrchových vod ČHMÚ (stav 2010)

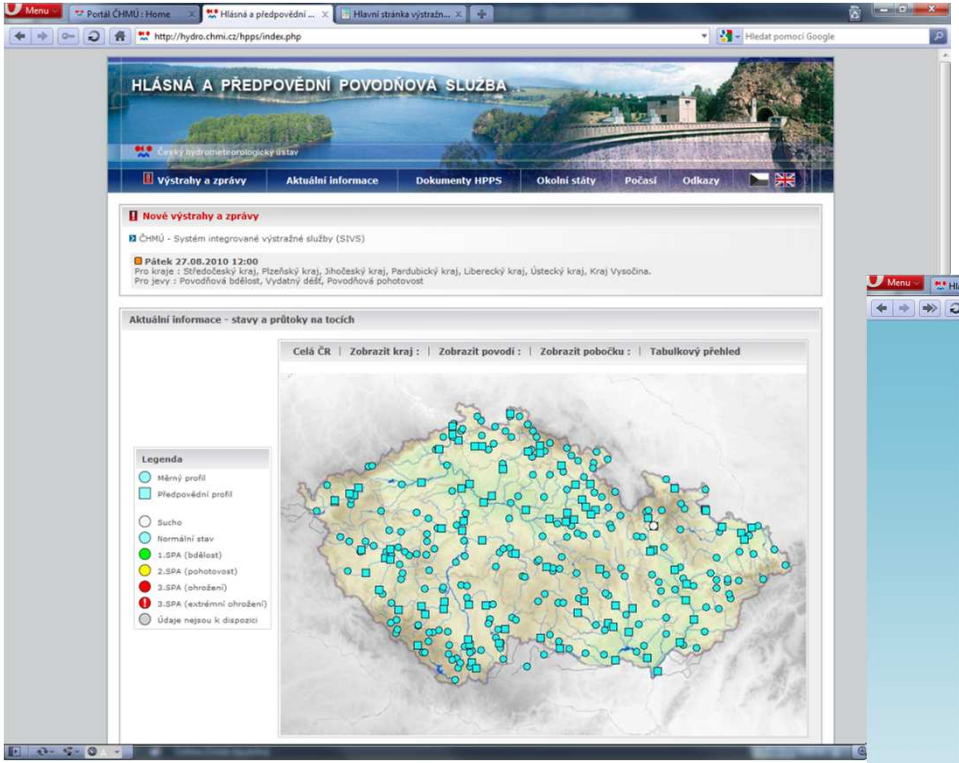
© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Profily jakosti podzemních vod



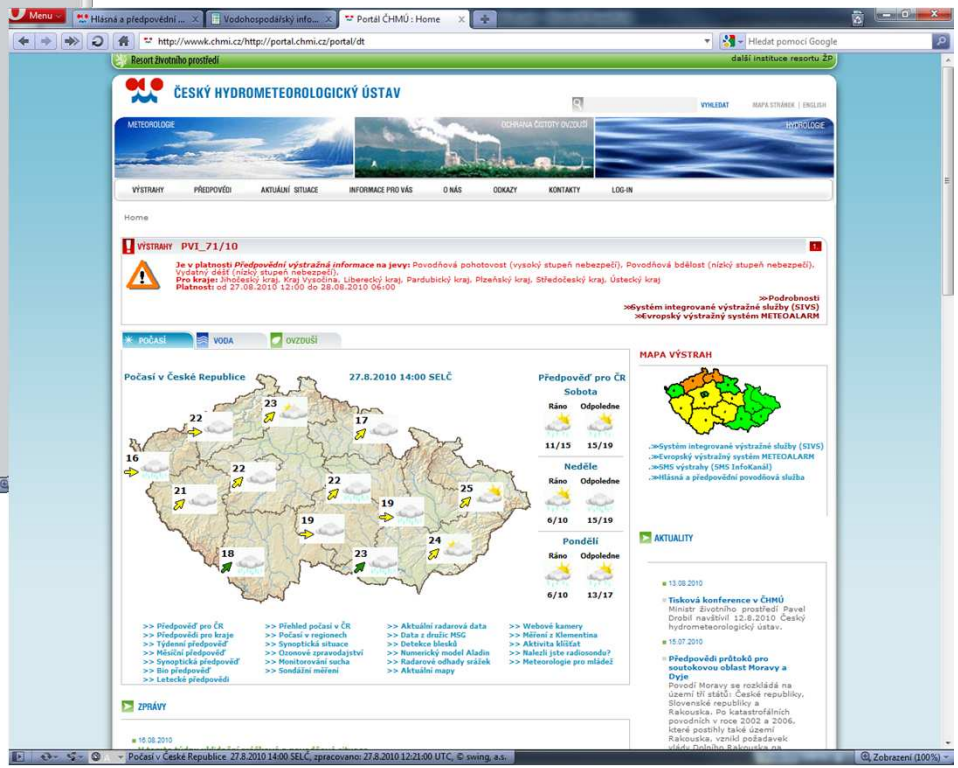
Profily jakosti podzemních vod ČHMÚ (stav 2010)

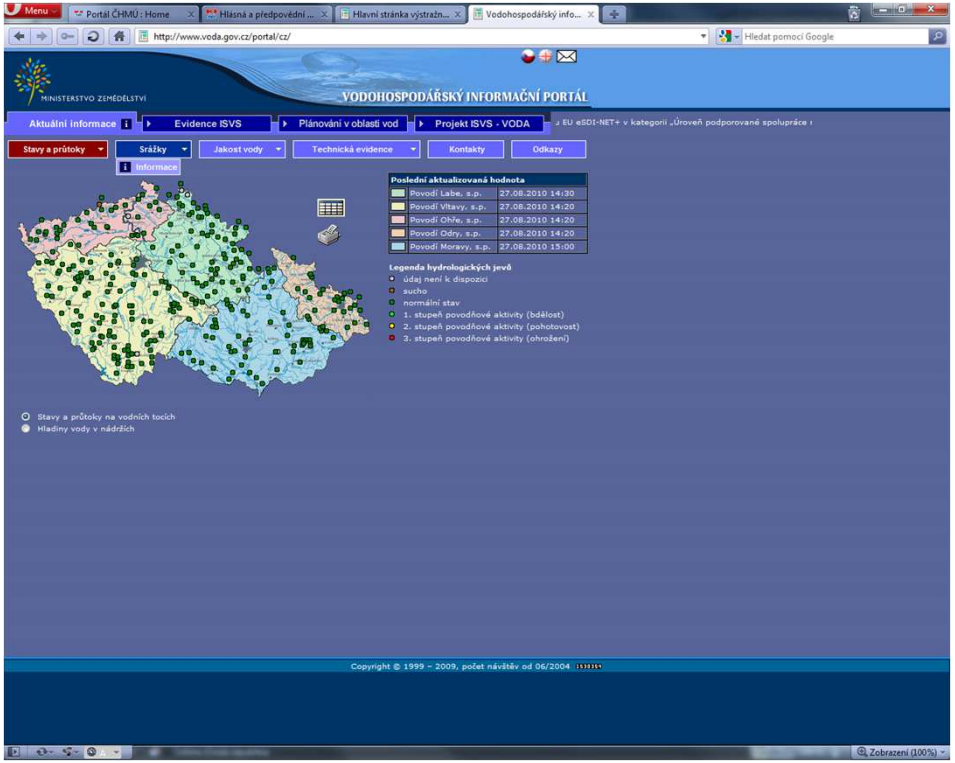
© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/



http://hydro.chmi.cz/hpps/

http://portal.chmi.cz





http://www.voda.gov.cz/portal/cz/

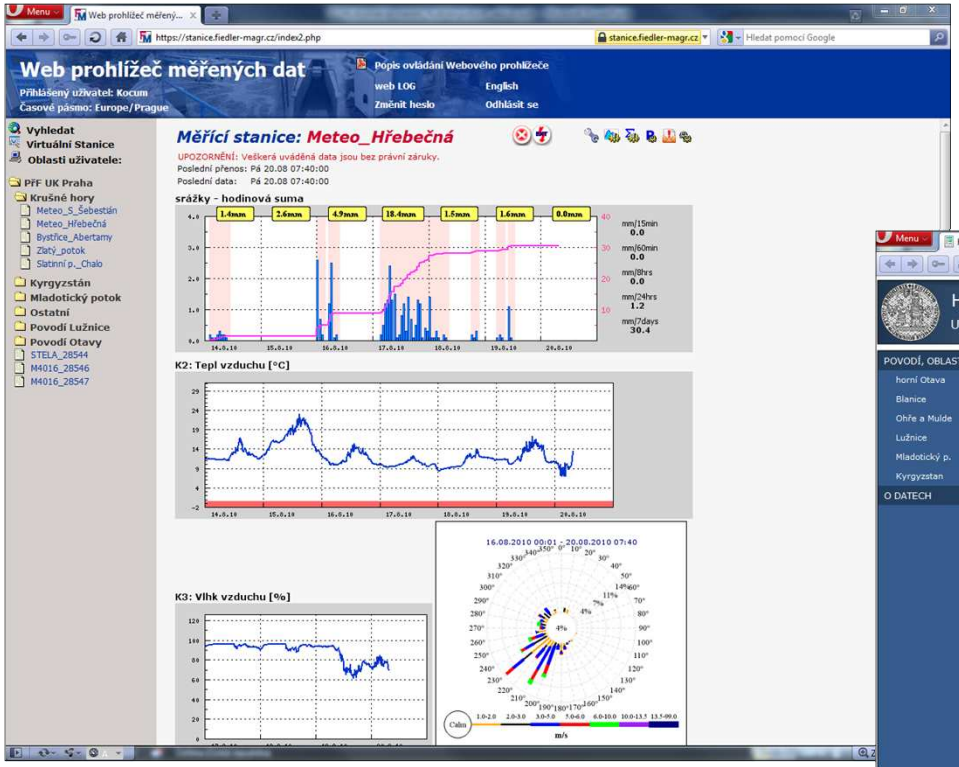
© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Monitoring katedry fgg PřF UK

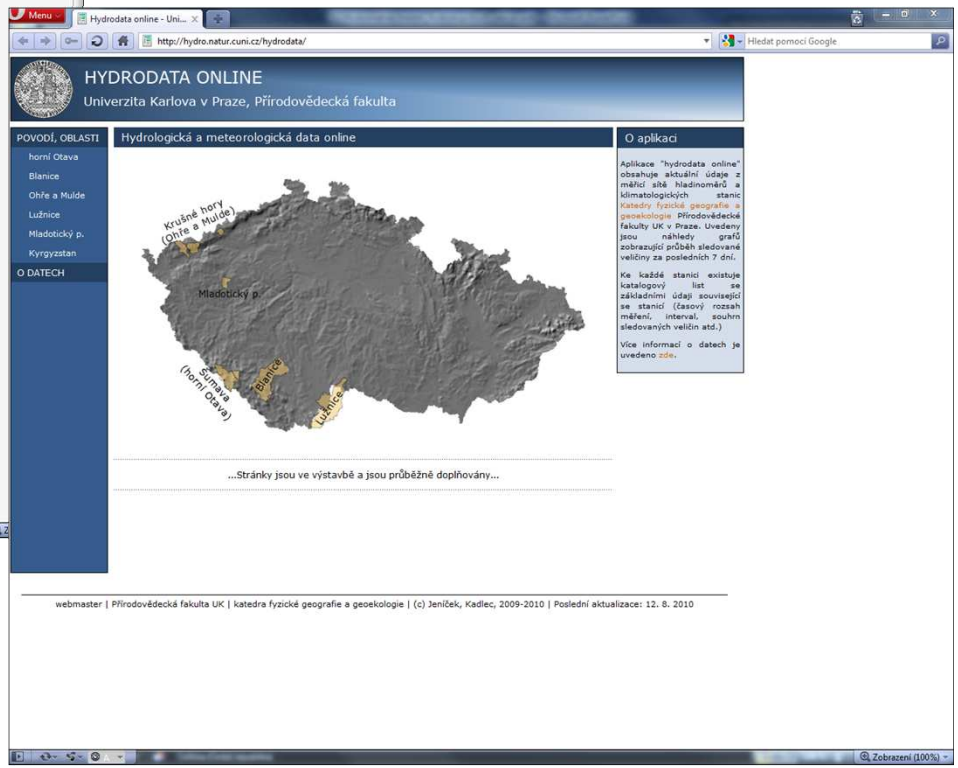
- v současné době 34 automatických hladinoměrů (ultrazvuková i tlaková čidla) a 5 meteo stanic (různá vybavenost), doplňková hydrochemická měření (pH, vodivost, redox atd.)
- měření v časové kroku 10 min, online přenos dat na server pomocí GSM nebo satelitní sítě
- Šumava (horní Vydra a Křemelná), Krušné hory (Bystřice, Mulde, Chomutovka), Blanice, horní Opava, horní Lužnice, Mladotický potok, Peru, Kyrgyzstán

© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Monitoring katedry fgg PřF UK



http://hydro.natur.cuni.cz/hydrodata



© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/

Použitá a související literatura

- BOITEN, W. (2000). *Hydrometry*. IHE Delft Lecture Note Series. A.A.Balkema, Rotterdam
- ČHMÚ (2010). Hlásná a předpovědní povodňová služba (dostupné na: http://hydro.chmi.cz/hpps/index.php)
- ČSN (1997). *ČSN 75 1400 - Hydrologické údaje povrchových vod*. Český normalizační institut, 1997.
- KEMEL, M. (1996). *Klimatologie, meteorologie, hydrologie*. Vydavatelství ČVUT, Praha, 2000, 290 s.
- KŘÍŽ, V. et al. (1989). *Hydrometrie*. Praha, SPN
- MAIDMENT, D. R. (1993). *Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill, New York.
- MATTAS, D. (2001). *Praktické cvičení z hydrometrie*. ČVÚT (dostupné na: http://hydraulika.fsv.cvut.cz/predmety/HEMM/hydrometrování/hymetr.pdf)
- NETOPIL, R. et al. (1984). *Fyzická geografie I*. SPN, Praha, 273 s.
- SHAW, E. M. (1994). *Hydrology in practice*. Chapman & Hall, London, 569 s.

© Michal Jeníček, 2011, jenicek@natur.cuni.cz
http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/