

## Cvičení z Hydrologie č. 4

### Konzumpční křivka průtoku

#### Zadání:

Ze stránek ČHMÚ si vyberte měrný profil na málo regulovaném vodním toku (horský / ne v blízkosti vodní nádrže). Z dvojic vodních stavů a průtoků na evidenčním listu vybraného profilu zkonstruuje měrnou křivku průtoků. Vypočtete průtok k nejvyššímu zaznamenanému vodnímu stavu na daném profilu.

#### Metodika:

Obdobně jako v předchozím cvičení se veškeré výstupy zprostředkovaly pomocí **programu Excel**. Nicméně bylo nutné si vybrat vhodné limnigrafické (vodoměrné)<sup>1</sup> stanice ze stránek **Českého hydrometeorologického úřadu**<sup>2</sup> tak, aby naměřené hodnoty vodních stavů byl variabilní kvůli přesnějšímu zhotovení výsledné konzumpční křivky průtoku.

Z detailu vybrané stanice se převzaly údaje vodních stavů a průtoků za posledních 24 hodin s podmínkou nutnosti extrémních hodnot. V tomto případě se jednalo o 6 párů hodnot, ke kterým se přidaly informace z **evidenčního listu hlásného profilu**.<sup>3</sup> Konkrétně se jednalo o průměrné roční hodnoty sledovaných veličin i s hranicemi stupňů povodňových aktivit (dohromady tedy 10 párů vstupních údajů).

Po vzestupném seřazení se veškeré hodnoty **zlogaritovaly** pro nanesení do bodového grafu, kde se nechala zobrazit **lineární spojnice grafu**. Důvodem bylo zjištění rovnice tzv. **regresní přímky**, ze kterých se zjistily a, b koeficienty konkrétního sledovaného průtočného profilu. Po dosazení koeficientů do jednotlivých hodnot vodních stavů do **rovnice měrné křivky** již program zkonstruoval výsledný výstup.

Na závěr se z historicky nejvyšší naměřené hodnoty vodních stavů hlásného profilu (získané opět z evidenčního listu) podle rovnice měrné křivky dopočítal historicky nejvyšší zaznamenaný průtok. Veškeré použité rovnice pro výpočty jsou ze zdrojového materiálu<sup>4</sup> a budou také přiloženy do protokolu.

#### Vypracování:

Sledovaná stanice pro konkrétní cvičení opět spadá do povodí Černého moře, protože se jedná o vodoměrnou stanici s druhým nejvyšším staničením na **řece Svratce**, a to v obci **Dalečín** v kraji Vysočina. Staničení (neboli říční kilometr) udává vzdálenost místa od bodu ústí řeky.<sup>5</sup> Je to z důvodů obtížného přesného určení počátku vodního toku v některých případech. Jedná se tedy o druhou nejbližší vodoměrnou stanici k prameni ze zdrojových dat, a to zhruba 56 kilometrů.<sup>6</sup> Blíže prameni je vodoměrná stanice v Borovnici, a to pouze o 15 kilometrů. V místě zkoumání závislosti mezi průtokem a vodním stavem je řeka zhruba ve **třetině své cesty**, než se vlije do řeky Dyje ve Vodní nádrži Nové Mlýny a v necelé polovině trasy do Brna.<sup>7</sup>

<sup>1</sup> ČHMÚ (2012): Odborné pokyny pro provádění hlásné povodňové služby – sekce vodoměrná (limnigrafická) stanice, [http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps\\_document.php#Vodomerna\\_limnigraficka\\_stanice](http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_document.php#Vodomerna_limnigraficka_stanice) (4. 11. 2020)

<sup>2</sup> ČHMÚ (2020): Voda, <http://portal.chmi.cz/#/> (4. 11. 2020)

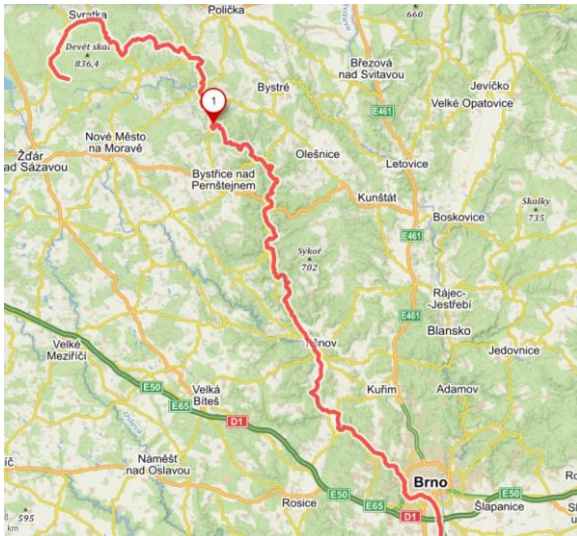
<sup>3</sup> ČHMÚ (2020): Evidenční list hlásného profilu č. 371, [http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps\\_prfbk\\_detail.php?seq=2505253](http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=2505253) (4. 11. 2020)

<sup>4</sup> PATRNČIAK, L. (2020): Cvičení 4 – Konzumpční křivka průtoku, [https://is.muni.cz/auth/el/sci/podzim2020/Z0059/um/cviceni/Cviceni\\_4\\_-\\_Konzumpcni\\_krivka\\_prutoku.pdf](https://is.muni.cz/auth/el/sci/podzim2020/Z0059/um/cviceni/Cviceni_4_-_Konzumpcni_krivka_prutoku.pdf) (4. 11. 2020)

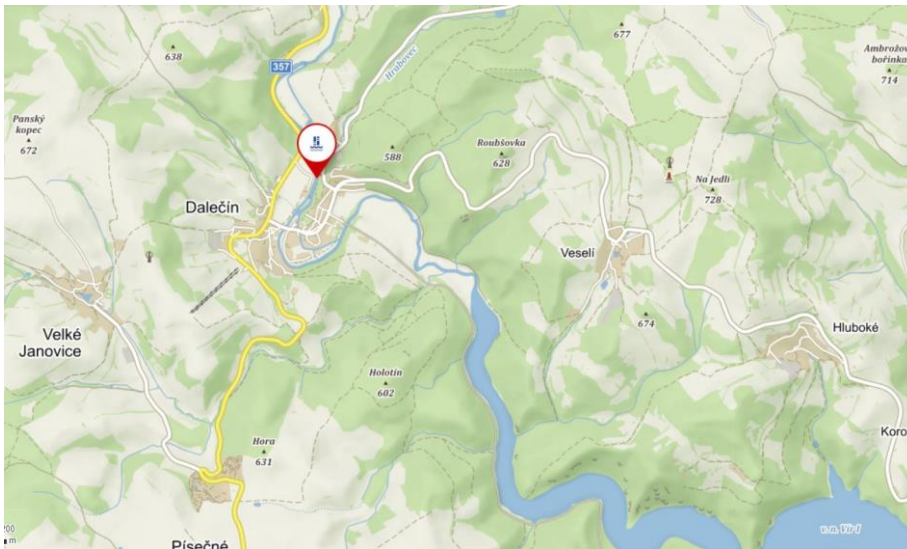
<sup>5</sup> DBPEDIA (2018): Říční kilometr, [https://cs.dbpedia.org/page/%C5%98%C3%AD%C4%8Dn%C3%AD\\_kilometr](https://cs.dbpedia.org/page/%C5%98%C3%AD%C4%8Dn%C3%AD_kilometr) (6. 11. 2020)

<sup>6</sup> ELEKTRONICKÝ DIGITÁLNÍ POVODŇOVÝ PORTÁL (2020): Hydrologické údaje řeky Svratky, [https://www.edpp.cz/svr\\_hydrologie-udaje/](https://www.edpp.cz/svr_hydrologie-udaje/) (6. 11. 2020)

<sup>7</sup> ČHMÚ (2020): Evidenční list hlásného profilu č. 375, [http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps\\_prfbk\\_detail.php?seq=307205](http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=307205) (6. 11. 2020)



Obr. 1.: Poloha vodoměrné stanice v rámci řeky Svatky (zdroj: www.mapy.cz, 2020)



Obr. 2.: Detailní poloha sledované vodoměrné stanice (zdroj: www.mapy.cz, 2020)

Obec Dalečín s ani ne 600 obyvateli se nalézá v **druhém nejstarším pohoří** v České republice – **Českomoravské vrchovině**, vzniklé variským zvrásněním v prvohorách.<sup>8</sup> Konkrétněji na východní hranici Žďárských vrchů, v sevřeném údolí horního toku řeky Svatky v atraktivní krajině, o čemž svědčí i zařazení oblasti do **přírodního parku Svratecká hornatina**.<sup>9</sup> Nula vodočtu, nad kterým se počítá vodní stav toku (lokalizována na nejhlubší dno koryta), je v nadmořské výšce 470 m. n. m. Je tedy patrné, že před soutokem se Svitavou v nadmořské výšce 191 m. n. m.<sup>10</sup> ještě čeká řeka v oblasti horního toku poměrně **výrazný sklon**. Vyšší nadmořskou výšku oblasti charakterizuje i blízký Ski areál.<sup>11</sup> Vodoměrná stanice byla vybrána z důvodu větší kolísavosti vodních stavů při sbírání dat a jedná se o řeku, se kterou se pracovalo i v dřívějších cvičeních. Až poté bylo spatřeno blízkou lokalizaci vodoměrné stanice **od vodní nádrže Vír I.**, která přehradila svojí mohutnou hrází tok řeky v jednom z nejužších míst údolí kvůli zásobení pitné vody Novoměstska či Brna.<sup>12</sup> Neměla by však mít zásadní vliv na vstupní údaje z důvodu lokalizace vodní nádrže až po vodoměrné stanici (po směru vodního toku).

<sup>8</sup> MACEK, I. (2020): Pohoří Českomoravská vrchovina, <https://www.natreku.cz/ceskomoravska-vrchovina/> (6. 11. 2020)

<sup>9</sup> DALEČÍN (2009): Obec Dalečín, <http://www.dalecin.cz/index.php?clanek=5> (6. 11. 2020)

<sup>10</sup> MARŠÁLKOVÁ, L. (2017): Klimatografie povodí Svatky a Svitavy. Seminární práce. MÚ PpF, Brno, s. 3. [https://is.muni.cz/el/1431/podzim2017/Z0076/cviceni/seminarni-prace/opravene/Marsalkova\\_Lucie.pdf?lang=en](https://is.muni.cz/el/1431/podzim2017/Z0076/cviceni/seminarni-prace/opravene/Marsalkova_Lucie.pdf?lang=en) (6. 11. 2020)

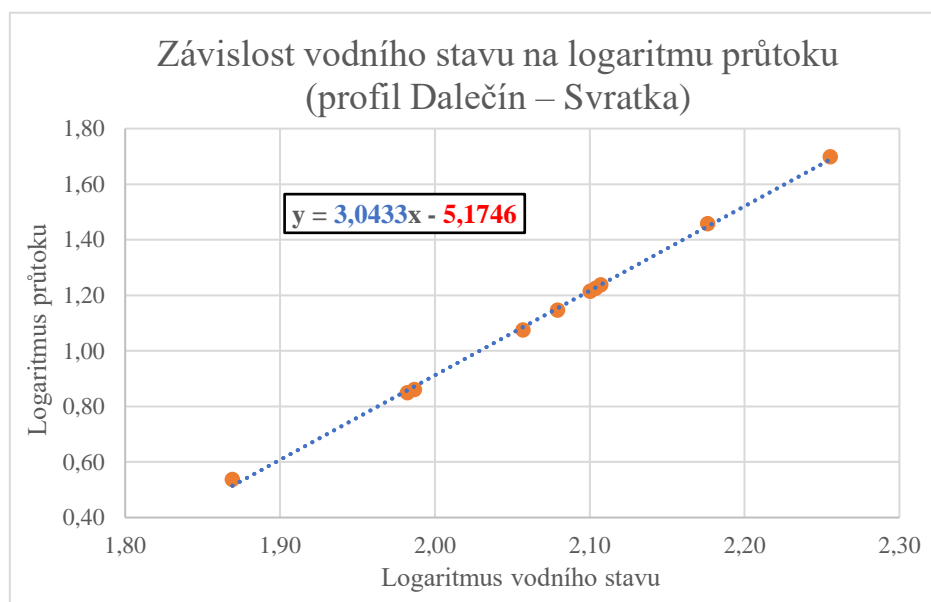
<sup>11</sup> INTERSKI (2020): Ski areál Dalečín, <http://www.skidalecin.cz/Dalecin/index2.html> (6. 11. 2020)

<sup>12</sup> KLUSÁK, M. (2009): Vírská přehrada, <http://www.virvudolisvatky.cz/virska-prehrada/> (6. 11. 2020)

Objem vody, který proteče určitou plochou průtočného profilu za jednotku času je jedna z nejpodstatnějších charakteristik v hydrometrii. Z hlediska jeho **problematického měření** se v dnešní době zjistí pomocí tzv. nepřímé metody. Ta obsahuje velké množství způsobů zjištění, včetně hydrometrické vrtule, které se věnovalo předešlé cvičení. Nejefektivnější je však odvození průtoku **od vodního stavu H**. Jedná se o výšku vodní hladiny nad zvoleným nulovým bodem vodočtu v měrném profilu (zpravidla dno koryta). Tato charakteristika se totiž zjistí jednoduchým způsobem pomocí **limnigrafických automatických přístrojů**.<sup>13</sup>

Z nich se odvodí hodnota průtoku pomocí **měrné** (neboli konzumpční) **křivky průtoků**, která udává závislost mezi vodním stavem a průtokem. Z hlediska vlivu morfologického charakteru koryta, které je vlivem fluvialní činnosti nestálé a mění se v čase, je měrná křivka průtoků platná **pouze na daný profil toku**. Z těchto důvodů je nutná kalibrace 2x ročně a v průběhu roku se používá několik měrných křivek průtoků. Ty se mohou mezi sebou lišit z různých důvodů. Jedním z nich je například letní **pokryvnost vegetace**, jež také může mít vliv na hodnotu průtoku kvůli zvýšení drsnosti.<sup>14</sup>

Původní hodnoty vodního stavu a průtoku se tedy zlogaritmovaly a zanesly do grafu. Ten sestrojí rovnici regresní přímky pro zjištění koeficientů regresní přímky závislosti vodního stavu na logaritmu průtoku, viz níže.



Obr. 3.: Graf zlogaritmovaných vstupních hodnot na profilu Dalečín – Svratka i s rovnicí regresní přímky

Z důvodu zlogaritmování původních hodnot lze spatřit **přímku přímé závislosti**, která udává vztah mezi zlogaritmovanými hodnotami průtoku a vodních stavů. Hodnoty jsou sami o sobě nicneříkající, důležitou částí výstupu jsou **koeficienty a (3,0433) a b (-5,1746)**.

Výsledná měrná křivka průtoku je dána rovnicí, kam se společně dosadily zjištěné koeficienty:

$$Q = c * H^a$$

kde:

$a, c =$  konstanty

$H =$  vodní stav [cm]

<sup>13</sup> VLASTNORUČNÍ ZÁPISKY Z PŘEDMĚTU METODY FG VÝZKUMU, 2019 (9. 11. 2020)

<sup>14</sup> PATRNČIAK, L. (2020): Cvičení 4 – Konzumpční křivka průtoku, [https://is.muni.cz/auth/el/sci/podzim2020/Z0059/um/cviceni/Cviceni\\_4\\_-\\_Konzumpcni\\_krivka\\_prutoku.pdf](https://is.muni.cz/auth/el/sci/podzim2020/Z0059/um/cviceni/Cviceni_4_-_Konzumpcni_krivka_prutoku.pdf) (4. 11. 2020)

Lze spatřit, že se zjistil koeficient  $b$ , přičemž je ale podstatný **koeficient  $c$** . Vypočítá se však ze zmíněného koeficientu  $b$ . Níže je přiložen kompletní postup výpočtu průtoků na sledovaném profilu:

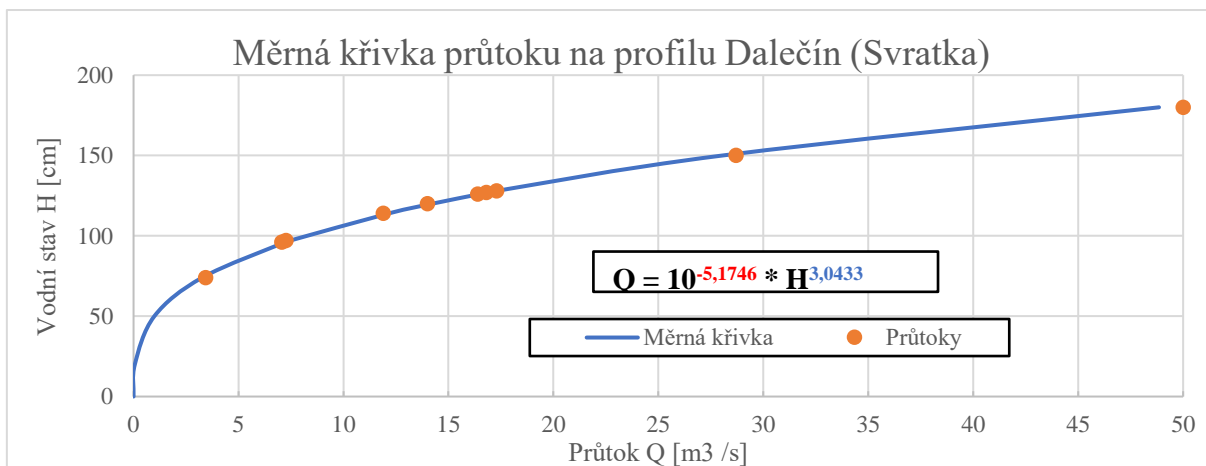
$$b = \log c \rightarrow c = 10^b \rightarrow Q = c * H^a = 10^b * H^a = 10^{-5,1746} * H^{3,0433}$$

K dispozici tedy jsou veškeré hodnoty pro výpočet průtoků podle jejich závislosti na vodních stavech a vykreslení výsledného výstupu tohoto cvičení (obr. 4). Veškeré hodnoty, i s těmi výslednými, pro jednotlivé vodní stavy jsou přiloženy v tabulce níže.

Tab.1.: Vstupní, zlogaritmované a vypočtené hodnoty pro vodoměrnou stanici Dalečín – Svratka

Vodní stav H [cm]	průtok Q [m <sup>3</sup> /s]	log (H)	log (Q)	Q vypočítané [m <sup>3</sup> /s]
74	3,44	1,87	0,54	3,27
96	7,06	1,98	0,85	7,21
97	7,26	1,99	0,86	7,44
114	11,90	2,06	1,08	12,17
120	14,00	2,08	1,15	14,22
126	16,40	2,10	1,21	16,50
127	16,80	2,10	1,23	16,90
128	17,30	2,11	1,24	17,31
150	28,70	2,18	1,46	28,05
180	50,00	2,26	1,70	48,85
263*				154,90*

Pozn: **zeleně** jsou zvýrazněné průměrné hodnoty, **červeně** hodnoty jednotlivých stupňů povodňové aktivity, s hvězdičkou historicky nejvyšší zaznamenané hodnoty. Zbylé jsou vodní stavy během dnů 3. a 4. 11. 2020.



Obr. 4.: Graf konzumpční křivky průtoků na profilu Dalečín – Svratka i s rovnicí měrné křivky

**Měrná křivka průtoků**, ze které se dopočítávají průtoky z naměřených vodních stavů na daném říčním profilu, má poměrně **strmý nárůst**, který se pozvolna zmenšuje. Měrná křivka je sestrojena z vypočítaných průtoků, na druhé straně průtoky grafu odkazují na vstupní hodnoty. Je patrné, že se od sebe liší **velice minimálně** (největší odchylka lze zaznamenat pouhých 1,15 kubických metrů za sekundu).

Lze si povšimnout četnějších hodnot **na začátku** samotné křivky. Jedná se o menší hodnoty vodních stavů, které se v realitě vyskytují častěji než ty extrémní (jak již v průběhu povodní či extrémního sucha). Z toho důvodu je konzumpční křivka **přesnější při nižších vodních stavech** a na opačné straně méně. V těchto extrémních povodňových případech se nezná přesný tvar příčného koryta, ve kterém se mohl vodní tok **přelít z koryta**.

Na závěr vypracování se počítala podle rovnice měrné křivky i historicky nejvyšší naměřená hodnota průtoku ze dne **8. 7. 1997**. Vodní stav byl ve sledovaném příčném profilu přes 2 a půl metru, tedy 3,5x více než u průměrné hodnoty. Vodní tok se pohyboval **ve výši 1,89 metry nad průměrnou hodnotou**. Průtok zde mohl pravděpodobně dosahovat až 155 000 litrů za vteřinu! Zde je údaj větší o 47x více než průměr. Údaj průtoku však může být zkreslený kvůli již zmíněnému méně přesnému určení vztahu měrnou křivkou průtoku.

Stalo se tak díky jedné z **největších záplav v České republice**, které způsobily vydatné deště v celém povodí Moravy. Ty dosahovaly hodnot během pár dnů až přes polovinu ročního úhrnu srážek. O život přišlo 50 lidí.<sup>15</sup>

### Závěr:

Výpočet průtoku efektivním způsobem probíhá **odvozením od výšky hladiny** vody nad nulou vodočtu – vodního stavu, kvůli jeho jednoduchým zjištěním z automatických limnigrafických přístrojů. To nám zaručuje tzv. **měrná křivka průtoku**, jež je z důsledků dynamických procesů platná pouze na konkrétním příčném profilu, a ještě ne po celý rok. Jedním z příčin těchto změn může být i vegetace, která je variabilní se změnou ročních období.

Po zlogaritmování vstupních hodnot a jejich zanesení do grafu se zjistily potřebné koeficienty, když se počítal průtok od vodních stavů, a tím i daný vztah mezi veličinami, který se zaznačil do grafu jako konzumpční křivka. Průtoky získané z Českého hydrometeorologického ústavu velice **korespondují s vypočítanou výslednou křivkou**. To má za následek získání skutečného aktuálního zjišťování průtoků na sledovaném profilu odborným způsobem.

Na horním toku řeky Svratky, která se při ústí do Dyje poměrně značně rozvodňuje, ve městě Dalečín na východním okraji Žďárských vrchů, je **průměrný průtok 3 270 litrů za sekundu**. Ve sledovaném období vlivem stálých přeháněk v území půda nestačila vsakovat infiltrací vodu a vodní stav i s průtokem se zvedly až na **1. povodňový stav bělosti**. Zajímavé je podotknout funkčnost vodní nádrže Vír. Pod vyrovnávací nádrži nedaleko od Dalečína se vodní stav pohyboval značně nízkou pod hranicí 1. povodňového stavu.<sup>16</sup> V Židlochovicích poblíž ústí řeky Svratky do Dyje byl vodní stav zhruba 160 cm, což by u sledované stanice spadalo již do 2. povodňového stavu. Průtok se zde pohyboval v rozmezí 45 000 litry za sekundu – což je zde průměrná hodnota.<sup>17</sup> Na příkladu je znázorněn **velký spád** mezi úseky a značné rozvodnění řeky Svratky.

Na úplný závěr je z měrné křivky průtoku patrné, že při **nižších vodních stavech hodnota průtoku roste pomaleji**. Zhruba u středních hodnot se zvýšením vodního stavu razantně zvedá i průtok. U  $H = 50$  cm je  $Q = 1$  m<sup>3</sup>/s, kdežto u dvojnásobného vodního stavu je  $Q = 7,5$  m<sup>2</sup>/s. Opět za to může geomorfologická stavba příčného profilu koryta.

<sup>15</sup> ČTK (2017): Povodně 1997: nejtragičtější v Česku ve 20. století, zahynulo 50 lidí, [https://www.lidovky.cz/domov/cervencove-zaplavy-v-roce-1997-byly-nejtragictejsi-ve-20-stoleti.A170704\\_141508\\_in\\_domov\\_ele](https://www.lidovky.cz/domov/cervencove-zaplavy-v-roce-1997-byly-nejtragictejsi-ve-20-stoleti.A170704_141508_in_domov_ele) (9. 11. 2020)

<sup>16</sup> ČHMÚ (2020): Detail stanice Vír pod vyrovnávací nádrží, [http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps\\_prfdyn.php?seq=306983](http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfdyn.php?seq=306983) (9. 11. 2020)

<sup>17</sup> ČHMÚ (2020): Detail stanice Židlochovice, [http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps\\_prfdyn.php?seq=307151](http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfdyn.php?seq=307151) (9. 11. 2020)

Přílohy:



Obr. 5.: Řeka Svatka v obci Dalečín poblíž sledované vodoměrné stanice (zdroj: [www.google.cz/maps/](http://www.google.cz/maps/))



Obr. 6.: Sledovaná vodoměrná stanice v obci Dalečín u řeky Svatky (zdroj: [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz))

## Zdroje:

- ČHMÚ (2020): Detail stanice Vír pod vyrovnávací nádrží, [http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps\\_prfdyn.php?seq=306983](http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfdyn.php?seq=306983) (9. 11. 2020)
- ČHMÚ (2020): Detail stanice Židlochovice, [http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps\\_prfdyn.php?seq=307151](http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfdyn.php?seq=307151) (9. 11. 2020)
- ČHMÚ (2020): Evidenční list hlásného profilu č. 369, [http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps\\_prfbk\\_detail.php?seq=307204](http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=307204) (4. 11. 2020)
- ČHMÚ (2020): Evidenční list hlásného profilu č. 375, [http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps\\_prfbk\\_detail.php?seq=307205](http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=307205) (6. 11. 2020)
- ČHMÚ (2012): Odborné pokyny pro provádění hlásné povodňové služby – sekce vodoměrná (limnigrafická) stanice, [http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps\\_document.php#Vodomerna\\_limnigraficka\\_stanice](http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_document.php#Vodomerna_limnigraficka_stanice) (4. 11. 2020)
- ČHMÚ (2020): Voda, <http://portal.chmi.cz/#!> (4. 11. 2020)
- ČTK (2017): Povodně 1997: nejtragičtější v Česku ve 20. století, zahynulo 50 lidí, [https://www.lidovky.cz/domov/cervencove-zaplavy-v-roce-1997-byly-nejtragictejsi-ve-20-stoleti.A170704\\_141508\\_ln\\_domov\\_ele](https://www.lidovky.cz/domov/cervencove-zaplavy-v-roce-1997-byly-nejtragictejsi-ve-20-stoleti.A170704_141508_ln_domov_ele) (9. 11. 2020)
- DALEČÍN (2009): Obec Dalečín, <http://www.dalecin.cz/index.php?clanek=5> (6. 11. 2020)
- DBPEDIA (2018): Říční kilometr, [https://cs.dbpedia.org/page/%C5%98%C3%AD%C4%8Dn%C3%AD\\_kilometr](https://cs.dbpedia.org/page/%C5%98%C3%AD%C4%8Dn%C3%AD_kilometr) (6. 11. 2020)
- ELEKTRONICKÝ DIGITÁLNÍ POVODŇOVÝ PORTÁL (2020): Hydrologické údaje řeky Svatky, [https://www.edpp.cz/svr\\_hydrologicke-udaje/](https://www.edpp.cz/svr_hydrologicke-udaje/) (6. 11. 2020)
- INTERSKI (2020): Ski areál Dalečín, <http://www.skidalecin.cz/Dalecin/index2.html> (6. 11. 2020)
- KLUSÁK, M. (2009): Vířská přehrada, <http://www.virvudolisvatky.cz/virska-prehrada/> (6. 11. 2020)
- MACEK, I. (2020): Pohoří Českomoravská vrchovina, <https://www.natreku.cz/ceskomoravska-vrchovina/> (6. 11. 2020)
- MARŠÁLKOVÁ, L. (2017): Klimatografie povodí Svatky a Svitavy. Seminární práce. MU PřF, Brno, s. 3. [https://is.muni.cz/el/1431/podzim2017/Z0076/cviceni/seminarni-prace/opravene/Marsalkova\\_Lucie.pdf?lang=en](https://is.muni.cz/el/1431/podzim2017/Z0076/cviceni/seminarni-prace/opravene/Marsalkova_Lucie.pdf?lang=en) (6. 11. 2020)
- PATRŇČIAK, L. (2020): Cvičení 4 – Konzumpční křivka průtoku, [https://is.muni.cz/auth/el/sci/podzim2020/Z0059/um/cviceni/Cviceni\\_4\\_-\\_Konzumpcni\\_krivka\\_prutoku.pdf](https://is.muni.cz/auth/el/sci/podzim2020/Z0059/um/cviceni/Cviceni_4_-_Konzumpcni_krivka_prutoku.pdf) (4. 11. 2020)
- VLASTNORUČNÍ ZÁPISKY Z PŘEDMĚTU METODY FG VÝZKUMU, 2019 (9. 11. 2020)

## Obrázky:

Obr. 5.: MAPY GOOGLE (2011): Street view, <https://www.google.cz/maps/@49.5919776,16.2417242,3a,75y,35.75h,90t/data=!3m6!1e1!3m4!1sVgKSdlFfAcQOwmpGDjO8lg!2e0!7i13312!8i6656> (9. 11. 2020)

Obr. 6.: SEZNAM (2019): Galerie – Svatka, km 125,5 – vodočet Dalečín, <https://mappy.cz/zakladni?x=16.2437929&y=49.5950476&z=18&source=base&id=1903262&gallery=1> (9. 11. 2020)