

**Metodika kritických bodů**

ONDRÁČKOVÁ LENKA

1. ročník N-GK FG

UČO: 375861

17. 5. 2014

**Zadání:**

Vyberte si libovolné malé povodí ČR v horské oblasti o rozloze maximálně 10 km<sup>2</sup>. Na základě zadaných údajů pak vypočtete vodní hodnotu sněhu (snow water equivalent - SWE) a obsah chladu (cold content – CC). Podle výsledků SWE pak vypočítejte, s jakým objemem vody mohou počítat při výrazném oteplení vodohospodáři z tohoto povodí při rozpuštění celé sněhové pokrývky. Vypočtené SWE uvažujte (logicky) pro tři různé nadmořské výšky v rámci vašeho povodí. Uvažujte lineární změnu výšky sněhové pokrývky mezi jednotlivými nadmořskými výškami.

**Vypracování:**

Tok:

**Černá Opava** – hlavní pramen nad vedlejším pramenem ČHP: 2-02-01-001

Plocha povodí: **8,9 km<sup>2</sup>**

Tato plocha povodí byla rozdělena na 3 dílčí polygony:

**Horní část:**

984 – 1202 m n. m., plocha polygonu – 2,37 km<sup>2</sup>

**Střední část:**

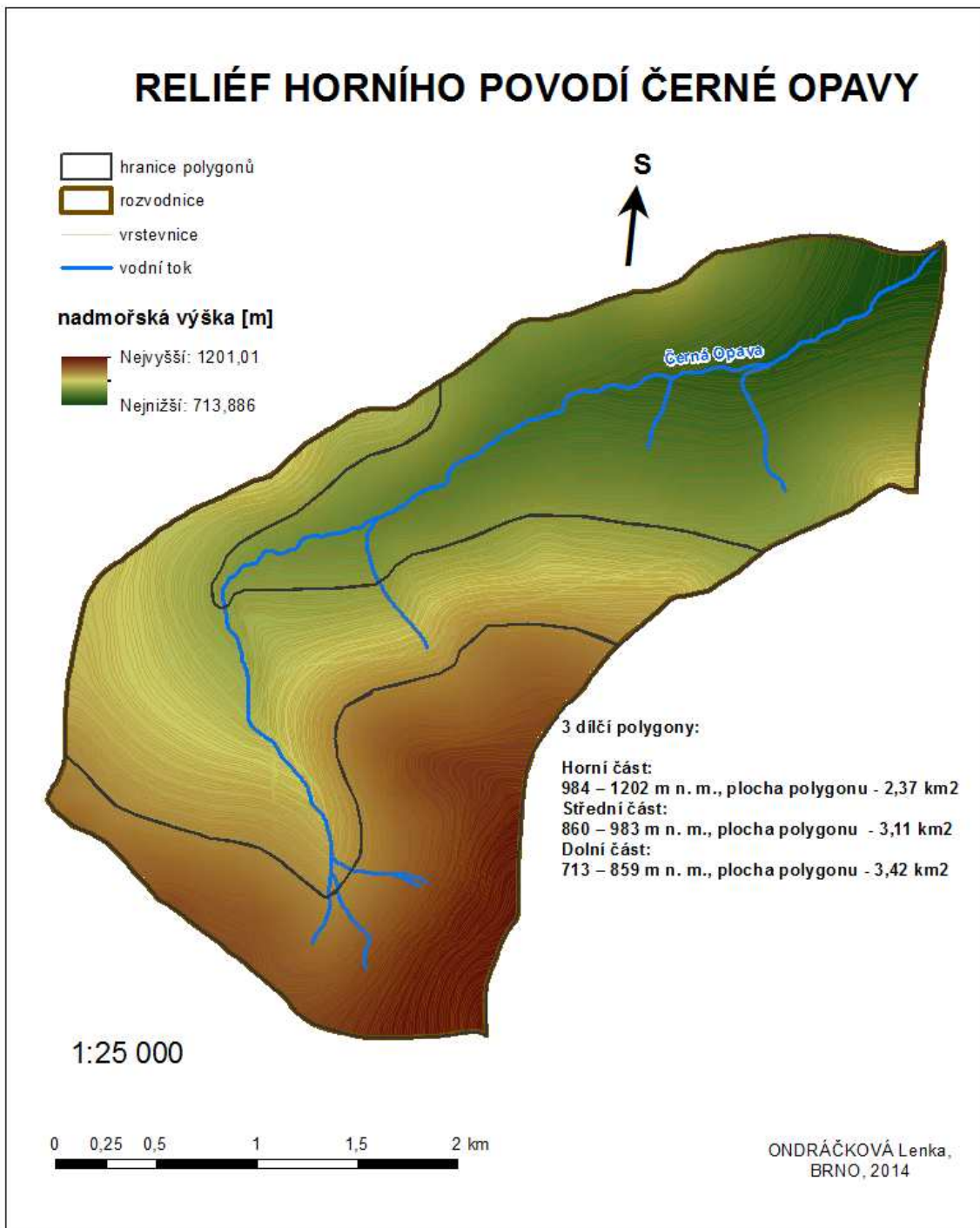
860 – 983 m n. m., plocha polygonu - 3,11 km<sup>2</sup>

**Dolní část:**

713 – 859 m n. m., plocha polygonu 3,42 km<sup>2</sup>

**Geomorfologické poměry:**

Vybrané dílčí povodí patří do geomorfologického celku Hornoopavská hornatina. Což je členitá hornatina budována ortorulami, muskoviticko-biotickými rulami a kvarcity kry Orlíku v desenské klenbě a amfibolitem jesenického amfibolitového masívu. Jde o vyzdviženou zlomovou kru se silně kryogenně přemodelovanými zbytky zarovnaného povrchu ve vrcholových částech. Říční údolí jsou hluboce zařezána, převážně na zlomech a poruchových pásmech. Na hřbetech i svazích jsou četné izolované skály, mrazové sruby, kryoplanační terasy, balvany. Vyskytují se zde sutě a kamenná moře ze světlého kalcitu – spodnodevonské zkameněliny. Nejvyšší bod je s nadmořskou výškou 1216,2 m n. m. Medvědí vrch (Demek, 2006, s. 157).



Obr. 1 Mapa horního povodí Černé Opavy s vymezenými 3 polygony rozdělenými dle nadmořských výšek (Podkladová data: DIBAVOD, ZABAGED výškopis)

### Výpočty:

#### I. Vodní hodnota sněhu SWE a objem vody ve sněhu

Vodní hodnota sněhu = výška vody, která by vznikla při úplném rozpuštění celé sněhové pokrývky. Pro její výpočet potřebujeme znát hustotu sněhu.

Hustota [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]

$m_i$  – hmotnost sněhu ve sloupci (kg)

$V_i$  – objem odběrného válce  $0,0005 \text{ m}^3$

$$\bar{\rho}_i = \frac{m_i}{V_i}$$

Vodní hodnota sněhu SWE

$$\bar{\rho}_s = \frac{(\rho_1 + \rho_2 + \dots + \rho_{n-1}) \cdot h + \rho_n h_n}{(n-1) \cdot h + h_n}$$

$$SWE_i = \frac{h_i \cdot \rho_{si}}{\rho_w}$$

$h$ ... jednotková mocnost vrstvy = 20 cm

$h_n$ ...mocnost poslední vrstvy

$n$ ...počet vrstev

#### Horní část povodí F1

1.  $\rho_1 = 0,23 / 0,0005 = 460 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
2.  $\rho_2 = 0,25 / 0,0005 = 500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
3.  $\rho_3 = 0,24 / 0,0005 = 480 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
4.  $\rho_4 = 0,27 / 0,0005 = 540 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
5.  $\rho_5 = 0,23 / 0,0005 = 460 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
6.  $\rho_6 = 0,23 / 0,0005 = 460 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
7.  $\rho_7 = 0,22 / 0,0005 = 440 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
8.  $\rho_8 = 0,22 / 0,0005 = 440 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
9.  $\rho_9 = 0,28 / 0,0005 = 560 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
10.  $\rho_{10} = 0,26 / 0,0005 = 520 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
11.  $\rho_{11} = 0,25 / 0,0005 = 500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
12.  $\rho_{12} = 0,12 / 0,0005 = 240 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

Celková výška sněhu ( $h_1$ ) = 2,27 m

Celková váha sněhu = 2,8 kg

Celkový objem sněhu =  $0,006 \text{ m}^3$

Celková hustota sněhu ( $\rho_{s1}$ ) =  $2,8 / 0,006 = \underline{467 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}}$

Hustota vody ( $\rho_w$ ) =  $1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

$$SWE_1 = h_1 * \rho_{s1} / \rho_w = 2,27 * (467 / 1000) = 2,27 * 0,467 = \underline{1,06 \text{ m}}$$

$$\text{Plocha dílčího povodí (F1)} - 2,37 \text{ km}^2 = 2\,370\,000 \text{ m}^2$$

$$\text{Objem vody ve sněhu (m}^3\text{)} - SWE_1 * F1 = 1,06 * 2\,370\,000 = \underline{2\,512\,200 \text{ m}^3}$$

### Střední část povodí F2

Hustota pro jednotlivé vrstvy:

1.  $\rho_1 = 0,275 / 0,0005 = 550 \text{ kg.m}^{-3}$
2.  $\rho_2 = 0,255 / 0,0005 = 510 \text{ kg.m}^{-3}$
3.  $\rho_3 = 0,255 / 0,0005 = 510 \text{ kg.m}^{-3}$
4.  $\rho_4 = 0,265 / 0,0005 = 530 \text{ kg.m}^{-3}$
5.  $\rho_5 = 0,28 / 0,0005 = 560 \text{ kg.m}^{-3}$
6.  $\rho_6 = 0,26 / 0,0005 = 520 \text{ kg.m}^{-3}$
7.  $\rho_7 = 0,265 / 0,0005 = 530 \text{ kg.m}^{-3}$
8.  $\rho_8 = 0,26 / 0,0005 = 520 \text{ kg.m}^{-3}$
9.  $\rho_9 = 0,27 / 0,0005 = 540 \text{ kg.m}^{-3}$
10.  $\rho_{10} = 0,29 / 0,0005 = 580 \text{ kg.m}^{-3}$

$$\text{Celková výška sněhu (h}_2\text{)} = 2 \text{ m}$$

$$\text{Celková váha sněhu} = 2,675 \text{ kg}$$

$$\text{Celkový objem sněhu} = 0,005 \text{ m}^3$$

$$\text{Celková hustota sněhu (}\rho_{s2}\text{)} = 2,675 / 0,005 = \underline{535 \text{ kg.m}^{-3}}$$

$$\text{Hustota vody (}\rho_w\text{)} = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$$

$$SWE_2 = h_2 * \rho_{s2} / \rho_w = 2 * (535 / 1000) = 2 * 0,535 = \underline{1,07 \text{ m}}$$

$$\text{Plocha dílčího povodí (F2)} - 3,11 \text{ km}^2 = 3\,110\,000 \text{ m}^2$$

$$\text{Objem vody ve sněhu (m}^3\text{)} - SWE_2 * F2 = 1,07 * 3\,110\,000 = \underline{3\,327\,700 \text{ m}^3}$$

### Dolní část povodí F3

1.  $\rho_1 = 0,23 / 0,0005 = 460 \text{ kg.m}^{-3}$
2.  $\rho_2 = 0,25 / 0,0005 = 500 \text{ kg.m}^{-3}$
3.  $\rho_3 = 0,24 / 0,0005 = 480 \text{ kg.m}^{-3}$
4.  $\rho_4 = 0,27 / 0,0005 = 540 \text{ kg.m}^{-3}$
5.  $\rho_5 = 0,23 / 0,0005 = 460 \text{ kg.m}^{-3}$
6.  $\rho_6 = 0,23 / 0,0005 = 460 \text{ kg.m}^{-3}$
7.  $\rho_7 = 0,22 / 0,0005 = 440 \text{ kg.m}^{-3}$
8.  $\rho_8 = 0,22 / 0,0005 = 440 \text{ kg.m}^{-3}$
9.  $\rho_9 = 0,28 / 0,0005 = 560 \text{ kg.m}^{-3}$

Celková výška sněhu ( $h_3$ ) = 1,67 m

Celková váha sněhu = 1,96 kg

Celkový objem sněhu = 0,0045 m<sup>3</sup>

Celková hustota sněhu ( $\rho_{s3}$ ) = 1,96 / 0,0045 = 436 kg.m<sup>-3</sup>

Hustota vody ( $\rho_w$ ) = 1000 kg.m<sup>-3</sup>

$SWE_3 = h_3 * \rho_{s3} / \rho_w = 1,67 * (436 / 1000) = 1,67 * 0,436 = \underline{0,73 \text{ m}}$

Plocha dílčího povodí (F3) - 3,42 km<sup>2</sup> = 3 420 000 m<sup>2</sup>

Objev vody ve sněhu (m<sup>3</sup>) –  $SWE_3 * F_3 = 0,73 * 3 420 000 = \underline{2 496 600 \text{ m}^3}$

Tab.: 1 Výsledky 1. části cvičení – výpočtu hodnoty SWE a objemu vody ve 3 částech horního povodí Černé Opavy

	<i>Plocha (m<sup>2</sup>)</i>	<i>Výška sněhu (m)</i>	<i>Hustota sněhu (kg.m<sup>-3</sup>)</i>	<i>SWE (m)</i>	<i>Objem vody (m<sup>3</sup>)</i>
Horní část povodí	2 370 000	2,27	467	1,06	2 512 200
Střední část povodí	3 110 000	2	535	1,07	3 327 700
Dolní část povodí	3 420 000	1,67	436	0,73	2 496 600
Celkem	<b>8 900 000</b>				<b>8 336 500</b>

## II. Obsah chladu CC (Cold content)

Obsah chladu = množství, respektive výška [mm], vody (tavné či ze srážek), která by musela ve sněhové pokrývce zmrznout, aby došlo k oteplení sněhové pokrývky z původní teploty na teplotu tání. Nebo také množství tepla potřebného na jednotku plochy k zvýšení teploty na 0 °C. Obvyklými jednotkami jsou kJ/m<sup>2</sup>. Pokud dosáhne sněh izotermického stavu 0 °C, nabývá cold content nulové hodnoty (Dingman, 2002 (In Klose 2009)).

$$Q_{cc} = -c_i \rho_w h_m (T_s - T_m)$$

dle: <http://www.cabnr.unr.edu/Saito/Classes/nres482/482lec7a.pdf>

$Q_{cc}$  – cold content [J\*m<sup>-2</sup>]

ci...měrná tepelná kapacita sněhu (ledu) = 2100 J.kg<sup>-1</sup>.°C<sup>-1</sup>

$\rho_w$  – hustota vody ( $1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )

$h_m$  – vodní hodnota sněhu [m]

$T_s$  - průměrná teplota sněhu ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_m$  – bod tání ( $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ )

$$CC1 = -C_i * \rho_w * h_m * (T_{s1} - T_m) = -2100 * 1000 * 1,06 * (-0,1 - 0) = \underline{222\ 600 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}}$$

$$CC2 = -C_i * \rho_w * h_m * (T_{s2} - T_m) = -2100 * 1000 * 1,07 * (-0,22 - 0) = \underline{494\ 810,8 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}}$$

$$CC3 = -C_i * \rho_w * h_m * (T_{s3} - T_m) = -2100 * 1000 * 0,73 * (-0,11 - 0) = \underline{168\ 630 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}}$$

### Závěr:

Cílem tohoto cvičení bylo na malém povodí s rozlohou do  $10 \text{ km}^2$  zkusit vypočítat vodní hodnotu sněhu SWE, objem vody ve sněhu a obsah chladu CC.

Studovaným povodím byla opět část povodí Černé Opavy. Jedná se o horní povodí pramene tekoucího z masivu Orlíka až po soutok s pramenem od Rejvízu. Tato část povodí odpovídá kritériu rozlohy do  $10 \text{ km}^2$ , protože má plochu  $8,9 \text{ km}^2$ . Toto povodí bylo na začátku v ArcGIS rozčleněno na 3 polygony (horní část, střední část a dolní část povodí) dle nadmořských výšek. Nejmenší rozlohu má horní část povodí, a to  $2,37 \text{ km}^2$  a naopak nejrozsáhlejší je spodní část s rozlohou  $3,42 \text{ km}^2$ .

Prvním krokem pro zjištění SWE byl výpočet hustoty pro všechny 3 části povodí a pro všechny jednotlivé vrstvy sněhu. V horní části povodí, kde byla nejvyšší výška sněhu ( $2,27 \text{ m}$ ) byla hustota sněhové pokrývky  $467 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Ve střední části povodí byla výška sněhu  $2 \text{ m}$  a hustota sněhu  $535 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Ve spodní části povodí s výškou sněhu  $1,67 \text{ m}$  byla hustota sněhové pokrývky  $436 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Hodnoty ukazují nejvyšší hustotu sněhu právě ve střední části povodí. Hustota pro firn je  $400 - 650 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , takže hustoty sněhu ve všech 3 dílčích částech povodí patří do této kategorie.

Poté následoval výpočet vodní hodnoty sněhu SWE. Pro horní část povodí byla SWE  $1,06 \text{ m}$ , ve střední části  $1,07 \text{ m}$  a v dolní  $0,73 \text{ m}$ . Opět vodíme nejvyšší hodnotu ve střední části povodí, kde byla dosažena nejvyšší hustota sněhové pokrývky. Nakonec této části byl vypočten objem vody ve sněhu součinem vodní hodnoty sněhu a plochy dílčího povodí. Objem vody všech 3 dílčích částí činí  $8\ 336\ 500 \text{ m}^3$  na plochu povodí  $8\ 900\ 000 \text{ m}^2$ .

Poslední charakteristikou je obsah chladu (CC). Součinem měrné tepelné kapacity sněhu ( $2100 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) hustoty vody ( $1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) a vodního hodnotou sněhu (SWE) s rozdílem průměrné teploty sněhové pokrývky od bodu tání získáme množství tepla v  $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$ , které je zapotřebí na zvýšení teploty sněhu na bod tání. Nejvíce tepla je zapotřebí ve střední části povodí, a to  $494\ 810,8 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ .

### Zdroje:

DEMEK, J., MACKOVČIN P. a kol. 2006. *Zeměpisný lexikon ČR: Hory a nížiny*. 2. vyd., Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Brno, 2006. 582 s. ISBN 80-86064-99-9.

KLOSE, Z. *Kvantitativní vývoj sněhové pokrývky na experimentálním povodí Modrava 2* [cit. 17.5.2014] [online]. Diplomová práce. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2008. Dostupné z: <<http://www.kvhem.cz/wp-content/uploads/2009/02/Klose.pdf>>.

SNOW HYDROLOGY – SMALL WATERSHED HYDROLOGY 2 [cit. 17.5.2014]. [online]. Dostupné z: <<http://www.cabnr.unr.edu/Saito/Classes/nres482/482lec7a.pdf>>