

# Černohorský potok v km 0,100 - 2,400



## B.1 SPLAVENINOVÝ REŽIM

ÚNOR 2014



Vodohospodářský rozvoj a výstavba  
akciová společnost  
Nábřeží 4, Praha 5, 150 56



**VODOHOSPODÁŘSKÝ ROZVOJ A VÝSTAVBA**

**akciová společnost**

150 56 Praha 5 - Smíchov, Nábřeží 4

DIVIZE 02

tel: 478 013 014

fax: 257 319 398

e-mail: cernohouz@vrv.cz

## **Černohorský potok v km 0,100 - 2,400**

### **B.1 SPLAVENINOVÝ REŽIM**

Zpracoval:	Ing. Ondřej Černohouz Ing. Jan Leníček Ing. Miroslav Holeček, Ph.D.
Schválil:	Ing. Jan Cihlář ředitel divize 02



## Obsah

1	ÚVOD .....	4
1.1	Charakteristika území.....	4
1.2	Předmět zpracování.....	4
1.3	Průzkumy a podklady .....	5
2	VÝPOČET SPLAVENINOVÉHO REŽIMU .....	5
2.1	Charakter toku a povodí.....	5
2.2	Průměrná roční tvorba splavenin .....	9
2.3	Tvorba splavenin při průtoku $Q_{100}$ .....	12
2.4	Tvorba splavenin při průtocích $Q_N$ .....	18
3	ZÁVĚR .....	18

# 1 ÚVOD

## 1.1 Charakteristika území

Řešený tok se nachází v Královéhradeckém kraji, okrese Trutnov, ve městech Janské Lázně a Svoboda nad Úpou. Černohorský potok je vodní tok pramenící v Černohorské rašelině. Nejdříve protéká rozsáhlým lesním komplexem a poté částečně zastavěnou částí města Janské Lázně a před vyústěním do řeky Úpy zastavěnou částí města Svoboda nad Úpou. Potok má několik drobných přítoků. Celková plocha povodí je 6,2 km<sup>2</sup>, délka toku 5,5 km. Číslo hydrologického pořadí je 1-01-02-0140.

Vzhledem k charakteru toku je častým problémem transport a ukládání splavenin. Problematická místa jsou především v zastavěném území. Při povodni v červnu 2013 došlo k rozsáhlým destrukcím opevnění koryta a k významným problémům způsobených splaveninami, které se usazovaly v korytě a na přilehlých pozemcích.



Obr. 1 Přehledná mapa s vyznačením zájmového území (zdroj [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz))

## 1.2 Předmět zpracování

Vzhledem k výše popsaným problémům je na Černohorském potoce plánována výstavba přehrážky, popřípadě několika přehrážek. Jako podklad pro rozhodování o účelnosti přehrážek, určení jejich množství a pro navazující dimenzování retenčního prostoru pro ukládání splavenin byl vypracován splaveninový režim Černohorského potoka s uvažovaným uzávěrovým profilem v místě zatrubnění u hotelu PROM. Výstupem výpočtu je odhad množství splavenin, které je třeba zachytit v daném profilu v dlouhodobém průměru za jeden rok a dále objem splavenin za extrémní hydrologické situace.

### 1.3 Průzkumy a podklady

- Místní šetření 17. 10. 2013
- Terénní průzkum erozní ohroženosti povodí
- Fotodokumentace
- ZM 25
- DIBAVOD
- VÚMOP, půdní mapy
- Hydrologické údaje povrchových vod, ČHMÚ Hradec Králové, 2013
- Zuna J., Hrazení bystřin, ČVUT v Praze, 2008
- Ředinová J., Pavlásek J., Máca P., Hydrologie (Návody ke cvičením) ČZU v Praze, 2009
- TNV 75 2102 Úpravy potoků, 2010
- ČSN 75 2106 Hrazení bystřin a strží, 1998

## 2 VÝPOČET SPLAVENINOVÉHO REŽIMU

Pro výpočet splaveninového režimu byly použity zejména postupy uvedené ve vysokoškolském skriptu „Zuna, J., Hrazení bystřin, ČVUT Praha, 2008“. Zde lze nalézt další odkazy na použité metody a jejich autory, pokud nejsou uvedeny v tomto textu. Dále byly využity ČSN 75 2106 Hrazení bystřin a strží a TNV 75 2102 Úpravy potoků.

### 2.1 Charakter toku a povodí

Černohorský potok svým charakterem patří mezi toky s malým povodím a značnou rozkolísaností průtoků. Při kategorizaci toku je rozhodujícím kritériem zhodnocení výsledků terénního průzkumu povodí a toku. Jako doplňující kritérium při stanovení kategorie potoční tratě lze užít koeficientu bystřinnosti  $K_B$ , který se vypočte podle vztahu ( 2.1):

$$K_B = \frac{D \cdot O \cdot dH_s \cdot K_p \cdot K_E \cdot \sqrt{F + 1}}{L_T \cdot \sqrt{F_v + 1}} \quad (2.1)$$

kde

D ... hustota hydrografické sítě [km/km<sup>2</sup>]

O ... délka rozvodnice [km]

dH<sub>s</sub> ... střední výškový rozdíl v povodí [km]

K<sub>p</sub> ... součinitel závislý na druhu a propustnosti půd [-]

K<sub>E</sub> ... součinitel vyjadřující intenzitu a rozsah eroze [-]

F ... plocha povodí [km<sup>2</sup>]

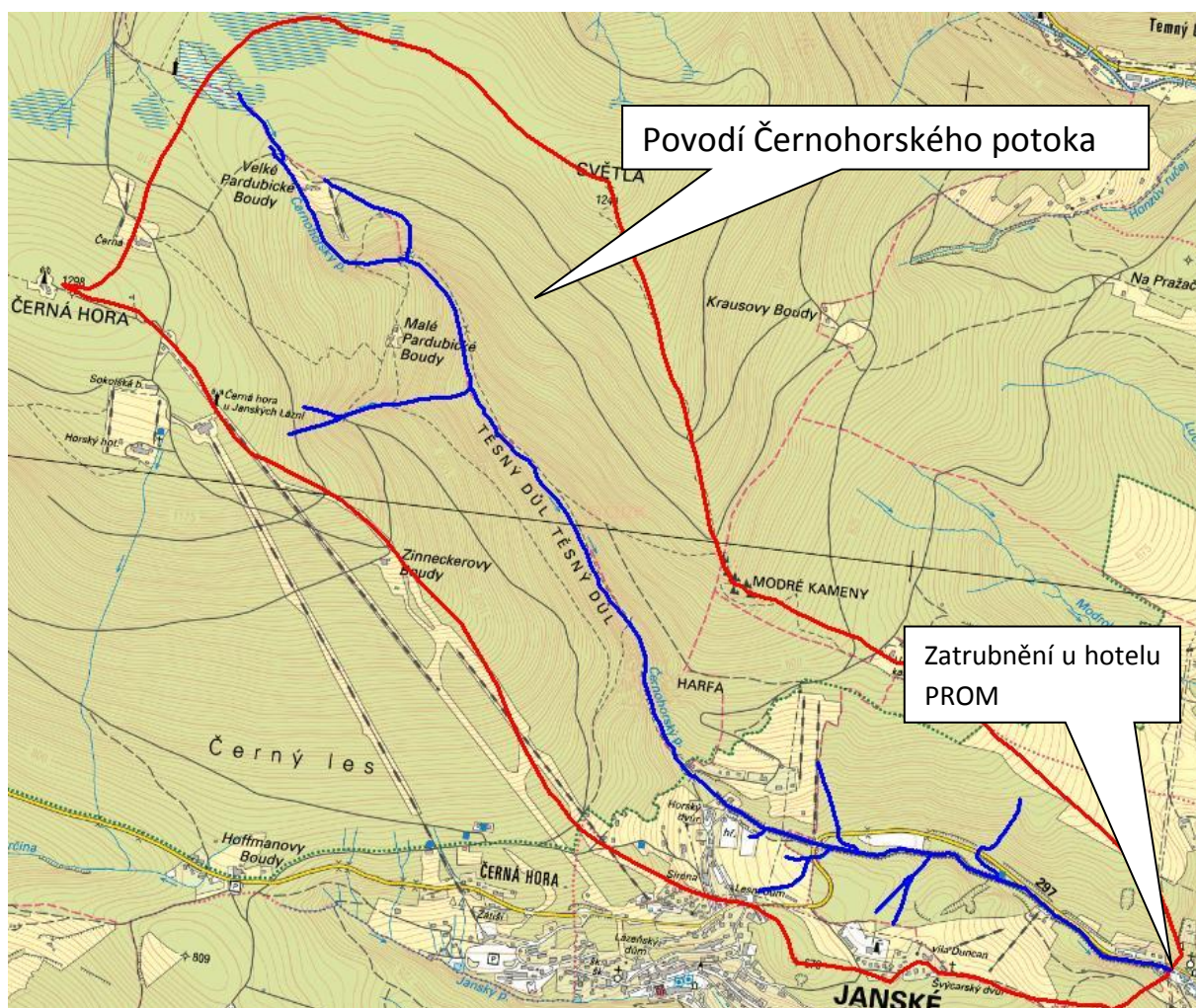
F<sub>v</sub> ... plocha lesních a lučních porostů [km<sup>2</sup>]

L<sub>T</sub>... délka hlavního toku [km]



## Parametry povodí pro výpočet koeficientu bystřinnosti

Délka hlavního toku	$L_T$	5,574	km
Délka přítoků (dle ZABAGED):	$L_P$	3,386	km
0,431+0,318+0,206+0,412+0,379+0,093+0,04+0,747+0,163+0,518+0,079+3,386			
Délka rozvodnice	O	12,817	km
Plocha povodí k profilu vtoku u hotelu PROM	F	6,224	km <sup>2</sup>
Zastoupení ploch v povodí			
Plocha lesů, křovin		5,603	km <sup>2</sup>
Plocha luk		0,579	km <sup>2</sup>
Plocha orné půdy		0,000	km <sup>2</sup>
Plocha zastavěného území		0,032	km <sup>2</sup>



Obr. 2 Povodí Černohorského potoka vyznačené na podkladě ZM25

Hustota hydrografické sítě je určena dle vztahu (2.2):

$$D = \frac{L_T + L_P}{F} \quad (2.2)$$

kde

D ... hustota hydrografické sítě [km/km<sup>2</sup>]

$L_T$ ... délka hlavního toku [km]

$L_P$ ...délka přítoků [km]



F ... plocha povodí [km<sup>2</sup>]

$$D = \frac{5.574 + 3.386}{6.224} \frac{\text{km}}{\text{km}^2} \quad (2.3)$$

$$D = 1,44 \frac{\text{km}}{\text{km}^2} \quad (2.4)$$

Střední výškový rozdíl povodí se stanoví dle ČSN 75 2106 dle vztahu:

$$dH_s = H_p - H_u \quad (2.5)$$

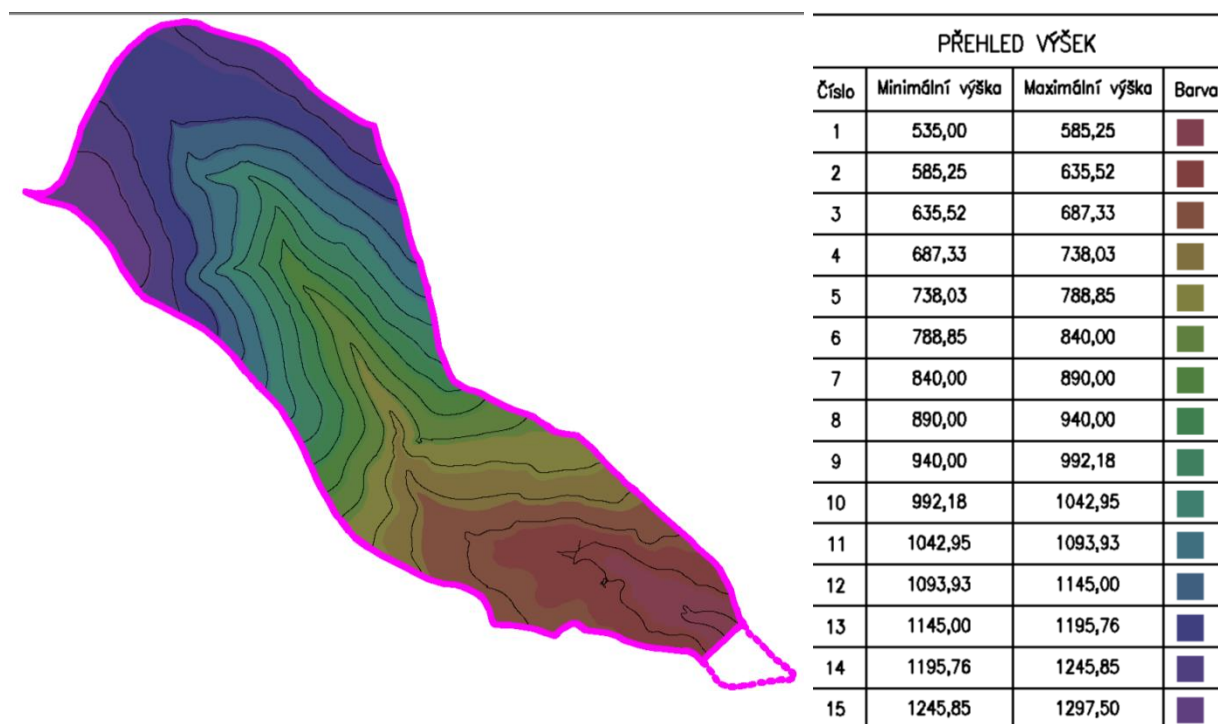
kde

$dH_s$  ... střední výškový rozdíl v povodí [km]

$H_p$  ... průměrná výška povodí [km]

$H_u$  ... výška uzávěrového profilu [km]

Výpočet střední výšky povodí  $H_p$  lze určit s využitím specializovaného software (AUTOCAD CIVIL 3D, ARCGIS) zhotovením digitálního modelu terénu (DMT) a odečtením průměrného sklonu. DMT byl vytvořen na podkladě vrstevnic dle ZABAGED.



Obr. 3 Digitální model terénu - výšky

Potom:

$$H_p = 926 \text{ m n. m.}, \quad H_u = 535 \text{ m n. m.} \quad (2.6)$$

$$dH_s = 0,926 - 0,535 \text{ km} = 0,391 \text{ km} \quad (2.7)$$

Součinitele  $K_p$  a  $K_E$  byly stanoveny a na základě výsledků podrobného terénního průzkumu, půdních map, s využitím přílohy 1-1 uvedeného textu (Zuna, 2008).

Součinitel  $K_p$ , závislý na druhu a propustnosti půd, je uvažován hodnotou:

$$K_p = 0,7 [-]$$

Tato hodnota  $K_p$  je charakteristická pro méně propustné půdy, půdy jílovitohlinité a horské kamenité lesní půdy s výskytem skal.

Součinitel  $K_E$ , vyjadřující intenzitu a rozsah eroze, byl stanoven na:

$$K_E = 0,55 [-]$$

$K_E$	CHARAKTERISTIKA A INTENZITA EROZNÍCH PROCESŮ V POVODÍ A V KORYTECH TOKŮ	$d_m$ (mm)	DRSNOST KORYTA (n)
0.6	Převažují intenzivní formy eroze (plošná, rýhová, stržová), které jsou zdroji hrubých splavenin. Sklony svahů přes 30 %. Koryta toků jsou směrově a výškově nevyrovnaná, projevuje se silná bystřinná hloubková a příčná eroze, za povodní silný transport hrubých splavenin.	> 200	> 0.070
0.5	Povodí je na 30 až 40 % plochy zasaženo plošnou, brázdovou až rýhovou erozí. Sklon svahů do 25 %. V korytech toků hloubková a příčná eroze, dno je štěrkovité s valouny, transport a sedimentace štěrkových splavenin.	150 až 200	0.05 až 0.06

Obr. 4 Tabulka pro výpočet součinitele  $K_E$  (Zuna, 2008, příloha 1-1)



Obr. 5 Charakteristické splaveniny – vlevo hrubý štěr, kameny i balvany (původem i z poškozeného opevnění), vpravo úsek sedimentace jemnějších frakcí – hrubý písek až jemný štěr.

Koeficient bystřinnosti  $K_B$  můžeme nyní spočítat dle vztahu ( 2.1). Po dosazení výše uvedených veličin dostáváme:

$$K_B = \frac{D \cdot O \cdot dH_s \cdot K_p \cdot K_E \cdot \sqrt{F + 1}}{L_T \cdot \sqrt{Fv + 1}} \quad (2.8)$$

$$K_B = \frac{1,44 \cdot 12,817 \cdot 0,391 \cdot 0,7 \cdot 0,55 \cdot \sqrt{6,224 + 1}}{5,574 \cdot \sqrt{(5,603 + 0,579) + 1}} [-] \quad (2.9)$$

$$K_B = 0,5 [-] \quad (2.10)$$

Vzhledem k hodnotě koeficientu bystřinnosti větší než 0,1 můžeme považovat tok za bystřinu. TNV 75 2102 dále rozlišuje kategorie v závislosti na ploše povodí. Černohorský potok s plochou 6,214 km<sup>2</sup> (> 1 km<sup>2</sup>) se řadí do kategorie 2. Výsledné zařazení je tedy **bystřina 2. kategorie**.



Obr. 6 Charakter Černohorského potoka v jeho  
spodní části



Obr. 7 Povodí Černohorského potoka je z větší  
části zalesněno

## 2.2 Průměrná roční tvorba splavenin

V návrhové praxi se používá empiricko-teoretický výpočetní postup dle Gavriloviče. Jako vstupní údaje pro výpočty byly zjištěny fyzicko-geografické parametry posuzovaného povodí z topografické mapy ZM25. Údaje byly doplněny o poznatky z terénních průzkumů.

Potenciální ohrožení povodí vodní erozí vyjadřuje faktor erozní ohroženosti  $Z$ , který se vypočte dle vztahu (2.11)

$$Z = K_V \cdot K_P \cdot (K_E + \sqrt{i_P}) \quad (2.11)$$

kde

$Z$  ... faktor erozní ohroženosti [-]

$i_P$  ... střední sklon svahů povodí [%]

$K_V$  ... součinitel protierozní účinnosti vegetačního krytu [-]

$K_P$  ... součinitel závislý na druhu a propustnosti půd [-]

$K_E$  ... součinitel vyjadřující intenzitu a rozsah eroze [-]

Součinitel protierozní účinnosti vegetačního krytu  $K_V$  je stanoven na podkladě výsledků terénního průzkumu, analýzy topografické mapy a ortofotomapy. Bylo využito přílohy 3-1 textu (Zuna, 2008)

Parametry dílčích ploch v povodí:

Plocha lesů	5,603	km <sup>2</sup>
Hodnota $K_V$ pro lesy	0,2	
Plocha luk	0,579	km <sup>2</sup>
Hodnota $K_V$ pro louky	0,3	



**Hodnoty součinitele účinnosti vegetačního krytu**

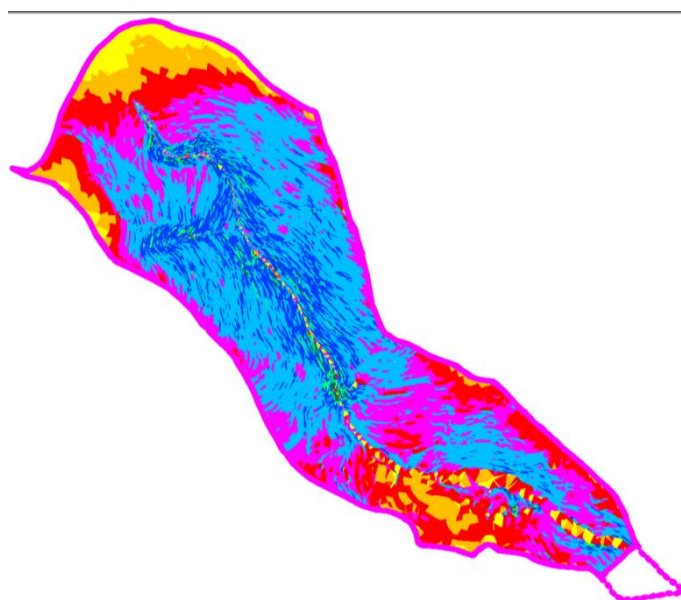
DRUH VEGETAČNÍHO KRYTU POVODÍ	$K_v$
Zcela obnažený půdní povrch – plošný smyv, brázdová až stržová eroze	1.00
Orná půda neosetá na svažitéch pozemcích	0.90 – 0.80
Chmelnice, vinice, bez přizemní vegetace, na svazích	0.80 – 0.70
Okopaniny, kukuřice, řepka	0.70 – 0.60
Obilniny v různých stádiích růstu	0.60 – 0.50
Degradované horské pastviny, zabuřené lesní holiny, řídké keřové porosty	0.50 – 0.40
Neobhospodařované travní porosty na loukách, zabuřené louky	0.40 – 0.30
Kulturní louky, řídké keřové porosty, imisemi poškozené lesy	0.30 – 0.25
Lesní porosty vyšších věkových tříd, monokultury smrku, borovice	0.25 – 0.20
Lesní porosty zapojené, vhodné věkové a druhové skladby, smíšené porosty	0.20 – 0.10

Obr. 8 Tabulka pro výpočet součinitele  $K_v$  (Zuna, 2008, příloha 3-1)

Průměrem těchto hodnot váženým příslušnými plochami pokryvů byla stanovena výsledná hodnota součinitele protierozní účinnosti vegetačního krytu  $K_v$  následovně:

$$K_v = \frac{5,603 \cdot 0,2 + 0,579 \cdot 0,3}{5,603 + 0,579} [-] \quad (2.12)$$

$$K_v = 0,21 [-] \quad (2.13)$$



PŘEHLED SKLONŮ SVAHŮ			
Číslo	Minimální sklon svahu	Maximální sklon svahu	Barva
1	0,00%	5,00%	žlutá
2	5,00%	10,00%	oranžová
3	10,00%	20,00%	červená
4	20,00%	30,00%	červená
5	30,00%	50,00%	modrá
6	50,00%	75,00%	tmavě modrá
7	75,00%	100,00%	zelená
8	100,00%	200,00%	tmavě zelená
9	200,00%	300,00%	šedá
10	302,47%	354,55%	černá

Obr. 9 Digitální model terénu - sklony

Výpočet středního sklonu svahů v povodí  $i_p$  lze určit s využitím specializovaného software (AUTOCAD CIVIL 3D, ARCGIS) zhotovením digitálního modelu terénu (DMT) a odečtením průměrného sklonu. DMT byl vytvořen na podkladě vrstevnic dle ZABAGED.

$$i_p = 32,1 \% \quad (2.14)$$

Potom lze psát pro faktor erozní ohroženosti  $Z$ :

$$Z = K_V \cdot K_P \cdot (K_E + \sqrt{i_P}) \quad (2.15)$$

$$Z = 0,21 \cdot 0,7 \cdot (0,55 + \sqrt{32,1}) = \mathbf{0,91} [-] \quad (2.16)$$

### Průměrná produkce splavenin

Průměrná roční produkce erozních produktů, tedy množství potenciálních splavenin, které mohou za průměrných srážko-odtokových situací v povodí vzniknout v průběhu ročního období se vypočte ze vztahu ( 2.17):

$$W_s = 3,14 \cdot K_T \cdot H_a \cdot F \cdot Z^{1,5} \quad (2.17)$$

kde

$W_s$  ... roční produkce splavenin [ $m^3$ /rok]

$H_a$  ... střední dlouhodobý úhrn srážek [mm]

$K_T$  ... parametr spočtený dle vztahu  $K_T = 0,1 \cdot (t + 1)^{0,5}$

$t$  ... střední roční teplota [ $^{\circ}C$ ]

$F$  ... plocha povodí [ $km^2$ ]

$Z$  ... faktor erozní ohroženosti [-]

Údaje o střední roční teplotě  $t$  byly převzaty z Atlasu podnebí Česka. Údaje o středním dlouhodobém úhrnu srážek z Hydrologických dat, ČHMÚ Hradec Králové.

$$t = 5[^{\circ}C]$$

$$H_a = \mathbf{1200 [mm]}$$

Parametr  $K_T$  pak nabývá hodnoty:

$$K_T = 0,1 \cdot (5 + 1)^{0,5} = \mathbf{0,245} \quad (2.18)$$

Výše uvedené parametry umožňují spočítat roční produkci splavenin  $W_s$ :

$$W_s = 3,14 \cdot 0,255 \cdot 1200 \cdot 6,224 \cdot 0,91^{1,5} [m^3] \quad (2.19)$$

$$W_s = \mathbf{5\,191 [m^3]} \quad (2.20)$$

Část objemu erozních produktů je ve fázi transportu zachycena mikro-reliéfem terénu a ukládá se např. v místech poklesu sklonu svahů. Část objemu splavenin se ukládá ve vodopisné síti v korytech a podél břehů a není dopravena až do výpočetního profilu. Průměrnou roční produkci, vypočtenou podle splavenin ( 2.20) je proto třeba redukovat součinitelem retenční a retardační schopnosti povodí  $k_R$  s použitím vztahu ( 2.21):



$$k_R = \frac{\sqrt{O \cdot dH_S}}{0,25 \cdot (L_P + 10)} \quad (2.21)$$

kde

$k_R$  ... součinitel retence a retardace

$O$  ... délka rozvodnice [km]

$dH_S$  ... střední výškový rozdíl povodí [km]

$L_P$  ... délka údolí toku (= cca délka hlavního toku  $L_P$ ) [km]

$$k_R = \frac{\sqrt{12,817 \cdot 0,391}}{0,25 \cdot (5,574 + 10)} \quad (2.22)$$

$$k_R = 0,573 \quad (2.23)$$

Redukovaný objem splavenin, který se spočte dle rovnice (2.24), představuje množství splavenin, které může být ročně dopraveno do vodopisné sítě a v ní transportováno. K pohybu splavenin ve vodopisné síti dochází za zvýšených průtoků, při kterých se hrubší splaveniny pohybují sunutím po dně a jemné písčité a hlinité částice jsou nesený v zákalu vody jako suspenze. Pro určení podílu splavenin transportovaných v suspenzi je třeba stanovit koeficient vznášených splavenin  $k_S$ . U horských bystřin nepřesahuje zastoupení splavenin o velikosti zrna menším než 3 mm 15 – 20 % (Škopek, 1987).

$$W_R = k_R \cdot W_S \quad (2.24)$$

$$W_R = 0,573 \cdot 5\,191 = 2\,974 \text{ [m}^3\text{]} \quad (2.25)$$

$$k_S = 0,2 \quad (2.26)$$

Množství dnových splavenin, které lze v průměrném roce očekávat v posuzovaném profilu, pak udává rovnice

$$W_{SPL} = (1 - k_S) \cdot W_R \quad (2.27)$$

$$W_{SPL} = (1 - 0,2) \cdot 2\,974 \text{ [m}^3\text{]} \quad (2.28)$$

$$W_{SPL} = 2\,379 \text{ [m}^3\text{/rok]} \quad (2.29)$$

## 2.3 Tvorba splavenin při průtoku $Q_{100}$

Orientační výpočet množství splavenin přisunutých z povodí do posuzovaného profilu při průtoku  $Q_{100}$  je založen na posouzení největšího možného transportu splavenin ve vodopisné síti povodí za kulminačního průtoku  $Q_{100}$ . Výpočet se provádí za předpokladu, že tento průtok vznikne za extrémní srážko-odtokové situace při přívalové srážce s vysokou intenzitou, a dále doba trvání kritické srážky  $t_D$  bude stejná jako doba koncentrace. Doba průtoku splavenin v kulminačním průtoku

od začátku pohybu splavenin do jejich sedimentace je podle empirických poznatků přibližně 66 % doby trvání srážky.

Objem splavenin, vzniklých v povodí, ve vodopisné síti, uvolněných z akumulací splavenin a unášených vodou za extrémního odtoku, lze stanovit použitím empirického vztahu ( 2.31) dle Herheudlitze.

$$Q_{SPL} = \frac{2 \cdot m \cdot n \cdot Q_{100}}{\rho_s} \quad (2.30)$$

Objem splavenin transportovaných za této srážko – odtokové situace je dán součinem doby trvání průtoku splavenin  $t_{SPL}$  a podílu splavenin v celkovém odtoku vody podle rovnice ( 2.31).

$$W = t_{SPL} \cdot Q_{SPL} \quad (2.31)$$

kde

$Q_{SPL}$  ... průtok splavenin [ $m^3/s$ ]

$W$  ... objem transportovaných splavenin [ $m^3$ ]

$m$  ... součinitel závislý na faktoru erozní ohroženosti povodí

$n$  ... součinitel závislý na sklonu údolí toku

$\rho_s$  ... měrná hmotnost splavenin [ $t/m^3$ ]

$t_{SPL}$  ... doba trvání průtoku splavenin [ $s$ ] =  $0,66 \cdot t_D$  (doba koncentrace)

Součinitel  $m$  závislý na faktoru erozní ohroženosti povodí byl stanoven dle (Zuna, 2008, příloha 3-2) v závislosti na faktoru  $Z$  dle Obr. 10. Pro  $Z = 0,9$ :

$$m = 1,08$$

Součinitel  $n$  se určuje v závislosti na sklonu údolí. Byl proveden výpočet průměrného sklonu údolí toku mezi začátkem toku a zkoumaným uzávěrovým profilem (dle ZABAGED). Sklon údolí je potom:

$$i_{\dot{u}} = \frac{1\,187 - 535}{5\,574} = 0,117 = \mathbf{11,7\%} \quad (2.32)$$

Hodnota  $n$  se určí dle grafu na Obr. 10:

$$n = 0,24$$

Měrná hmotnost splavenin byla odečtena z tabulek, (objemová hmotnost ruly =  $2,63\, t/m^3$ , fylitu =  $2,7\, t/m^3$ ), je uvažována průměrná hodnota:

$$\rho_s = 2,67\, t/m^3$$

Tab. 1 N-leté průtoky [ $m^3/s$ ] v profilu zatrubnění, ČHMÚ

N	1	2	5	10	20	50	100
$Q_N$	3,04	5,21	9,20	13,2	18,0	25,7	32,7

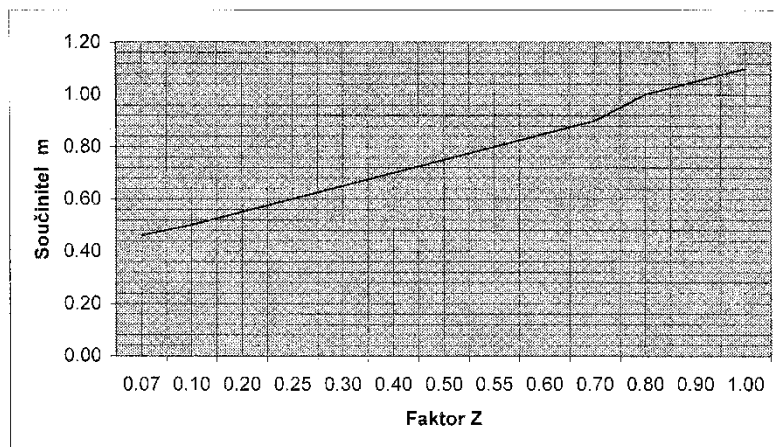
$$Q_{100} = 32,7\, [m^3/s]$$

Dle uvedených hodnot lze vyčíslit průtok splavenin jako:

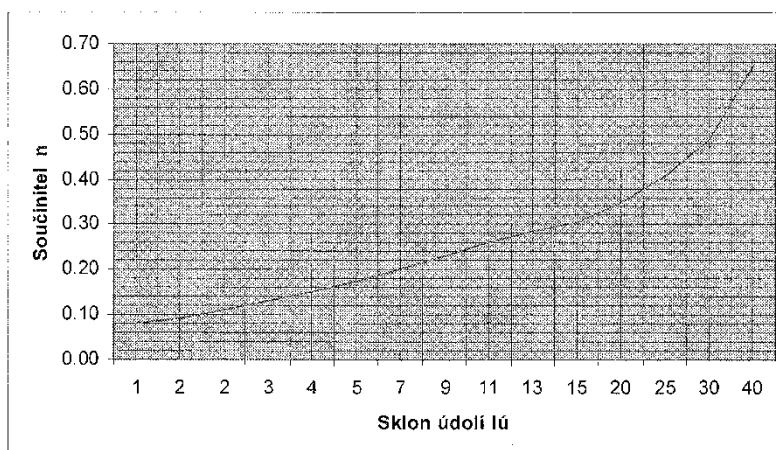
$$Q_{SPL} = \frac{2 \cdot 1,08 \cdot 0,24 \cdot 32,7}{2,67} \quad (2.33)$$

$$Q_{SPL} = 6,35 \text{ m}^3/\text{s} \quad (2.34)$$

**Součinitel faktoru erozní ohroženosti  $m$**



**Součinitel sklonu údolí  $n$**



**Obr. 10 Stanovení faktorů  $m$  a  $n$  (Zuna, 2008, příloha 3-2)**

**Doba trvání kritické srážky** je stanovena za předpokladu, že kulminační průtok vznikne v době koncentrace vody z celého povodí. Odhad času resp. doby koncentrace pro dané povodí je níže vyčíslena 2 přístupy.

#### 1. Součet doby dotoku po svahu a doby dotoku v korytě.

$$t_D = \frac{L_{OS}}{v_S} + \frac{L_{OT}}{v_T} \quad (2.35)$$

kde

$t_D$  ... doba koncentrace [s]

$L_{OS}$  ... délka odtoku po svahu [m]

$L_{OT}$  ... délka odtoku v korytě [m]

$v_s$  ... rychlost proudění při svahovém odtoku [m/s]

$v_t$  ... rychlost proudění v korytě [m/s]

Průměrná délka svahového odtoku lze stanovit zjednodušeně při schematizaci povodí jako obdélníku:

$$B = \frac{F}{L_p} = \frac{6,224}{5,574} = 1\,116\,m \quad (2.36)$$

kde B je délka „druhé“ strany obdélníku.

Potom průměrná délka svahu je rovna:

$$L_{OS} = \frac{B}{2} = 558\,m \quad (2.37)$$

Délka odtoku v korytě je rovna délce toku:

$$L_{OT} = L_T = 5552\,[m]$$

Do rychlosti proudění po svahu je zahrnut jak vliv plošného povrchového odtoku, tak vliv mělkého soustředěného odtoku. Průměrnou hodnotu odborným odhadem stanovit jako:

$$v_s = 0,3\,[m/s]$$

Průměrná rychlost proudění v korytě při průtoku  $Q_{100}$  je odhadnuta na základě schematizace odtoku korytem při rovnoměrném proudění, při předpokladu prismatického průřezu koryta a při znalosti průměrného sklonu toku (viz výše). Pro složený lichoběžníkový průřez:

- šířky ve dně průměrně 3 m
- sklon svahů koryta m průměrně 1:1
- průměrné drsnosti koryta 0,05
- průměrné hloubky 0,8 m
- šířky bermy (inundace) průměrně 6 m (3 + 3 oba břehy), sklon svahů m 1:1
- průměrné drsnosti bermy 0,1
- průměrného sklonu 11,6 %

potom dle Manninga:

$$v_T = 4,0\,[m/s]$$

Čas koncentrace  $t_{D,1}$  je potom:

$$t_{D,1} = \frac{558}{0,3} + \frac{5\,574}{4,0}\,[s] \quad (2.38)$$

$$t_{D,1} = 3\,254\,[s] = 54\,min. = 0,9\,hod. \quad (2.39)$$

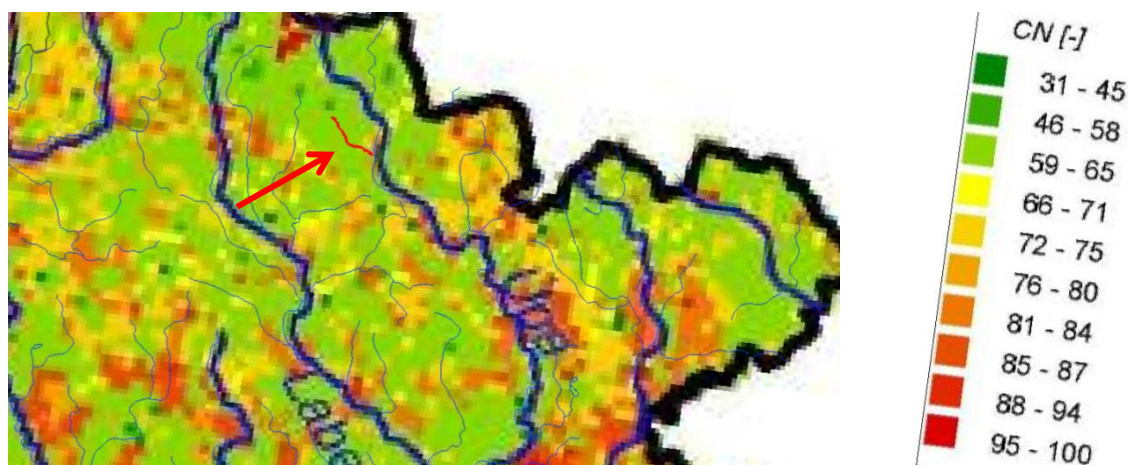
## 2. Dle metody SCS (americká Soil Conservation Service)

Tato metoda je užívána mimo jiné jako jeden z parametrů Clarkova jednotkového hydrogramu, který se využívá v problematice srážko-odtokového procesu. Metodiku mimo jiné využívá ČHMÚ. Na základě charakteristik povodí je vypočten parametr  $T_{LAG}$ :

$$T_{LAG} = \frac{L^{0,8} \cdot (S + 1)^{0,7}}{1900 \cdot \sqrt{Y}} \quad (2.40)$$

$T_{LAG}$	[hod]
$T_C$	čas (doba) koncentrace [hod]
$L$	délka údolnice k rozvodnici [stopy]
$Y$	průměrný sklon povodí [%].
$S$	maximální retence v povodí [palce]
$CN$	číslo odtokové křivky dle metody SCS [-]

Parametr  $T_{LAG}$  je definován jako „doba prodlení“, časová vzdálenost mezi těžištěm efektivní srážky a kulminačním průtokem. Průměrnou hodnotu  $CN$  křivky lze odečíst např. z map zpracovaných ČHMÚ pro ČR (Projekt QD1368 Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní, Kulasová, Šercl, Boháč, ČHMÚ 2001 – 2001).



Po odečtení z mapy (viz níže)  $CN = 59 - 65$ , pro  $Q_{100}$  je uvažována vyšší hodnota  $CN = 65$  (větší celkový objem vody => menší retenční kapacita půdy vzhledem k celkovému objemu => vyšší číslo  $CN$  křivky). Maximální retenční kapacita povodí je dána:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (2.41)$$

- $S = (1000/65-10) = 5,38$  palců
- Délka toku ve stopách:  $L = 5\,574 \cdot 3,281 = 18\,288$  stop
- $Y = i_p = 32,1 \%$

Po dosazení:

$$T_{LAG} = \frac{18216^{0,8} \cdot (5,38 + 1)^{0,7}}{1900 \cdot \sqrt{31,5}} = 0,874 \text{ hodin}$$

Čas koncentrace  $T_{D,2}$  je potom:



$$T_{D,2} = 1,67 \cdot T_{LAG} = 1,67 \cdot 0,87 = 1,46 \text{ hodin} = 5\,252 \text{ s} \quad (2.42)$$

**Čas koncentrace  $T_D$  pro  $Q_{100}$  je uvažován jako průměr z obou zjištěných hodnot:**

$$T_D = 0,5 \cdot (T_{D1} + T_{D2}) = 0,5 \cdot (3254 + 5252) = 4253 \text{ hod.} \quad (2.43)$$

Pozn.: Čas koncentrace v případě první metody je z povahy použitých vzorců funkcí průtoku (čím větší průtoky a tedy menší periodičita povodně, tím kratší je čas koncentrace – větší rychlosti). V případě druhé metody je veličina proměnná, to lze do výpočtu zohlednit hodnotou CN křivky (hodnotou maximální retence povodí).

**Dobu pohybu splavenin je potom možné odhadnout jako  $0,66 \cdot t_D$ :**

$$t_{SPL} = 0,66 \cdot 4\,253 \text{ [s]} \quad (2.44)$$

$$t_{SPL} = 2\,807 \text{ [s]} \quad (2.45)$$

Objem transportovaných splavenin je tedy dán vztahem

$$W = t_{SPL} \cdot Q_{SPL} \quad (2.46)$$

$$W = 2\,807 \cdot 6,35 \quad (2.47)$$

$$W = 17\,821 \text{ m}^3 \quad (2.48)$$

Stejně jako při výpočtu průměrného ročního objemu splavenin je třeba redukovat hodnotu transportovaných splavenin koeficientem  $k_R$ . Opět dochází k sedimentaci splavenin v povodí v prohloubeninách a podél toku v nivě.

$$W_{red} = k_R \cdot W \quad (2.49)$$

$$W_{red} = 0,573 \cdot 17\,821 \text{ [m}^3\text{]} \quad (2.50)$$

$$W_{red} = 10\,211 \text{ [m}^3\text{]} \quad (2.51)$$

Opět je třeba hodnotu redukovat součinitelem  $k_S$ . Dochází k transportu hrubých částic sunutím po dně a proudění jemných částic v suspenzi. Tyto jemné částice není třeba zachycovat v přehrážce, pro velmi jemné částice to není ani možné.

$$W_{S100} = W_{red} \cdot (1 - k_S) \quad (2.52)$$

$$W_{S100} = 10\,211 \cdot (1 - 0,2) \text{ [m}^3\text{]} \quad (2.53)$$

Výsledná hodnota odhadu objemu sedimentu, při průtoku  $Q_{100}$ :

$$W_{S100} = 8\,169 \text{ [m}^3\text{]} \quad (2.54)$$

## 2.4 Tvorba splavenin při průtocích $Q_N$

Odhad množství splavenin při N-letých povodních jsou níže tabelárně odhadnuty dle stejných vztahů, jako pro průtok  $Q_{100}$  (při dosazení příslušných proměnných).

Tab. 2 Odhady tvorby splavenin pro povodně o dané N-letosti

N (roky)	1	2	5	10	20	50	100
$Q_N$ (m <sup>3</sup> /s)	3.04	5.21	9.2	13.2	18	25.7	32.7
$Q_{SPL}$ (m <sup>3</sup> /s)	0.59	1.01	1.79	2.56	3.49	4.99	6.35
$v_s$ (m/s)	0.2	0.22	0.23	0.25	0.27	0.29	0.3
$v_t$ (m/s)	0.78	1.3	2	2.6	3	3.6	4
$T_{D,1}$ (s)	9 936	6 824	5 213	4 376	3 925	3 472	3 254
CN	57	58	59	60	62	64	65
S (palce)	7.54	7.24	6.95	6.67	6.13	5.63	5.38
$T_{D,2}$ (s)	6 440	6 280	6 123	5 970	5 674	5 390	5 252
$T_D$ (s)	8 188	6 552	5 668	5 173	4 799	4 431	4 253
$t_{spl}$ (s)	5 404	4 324	3 741	3 414	3 167	2 925	2 807
$W$ (m <sup>3</sup> )	3 190	4 374	6 682	8 750	11 070	14 593	17 821
$W_{red}$ (m <sup>3</sup> )	1 828	2 506	3 829	5 014	6 343	8 362	10 211
$W_S$ (m <sup>3</sup> )	1 462	2 005	3 063	4 011	5 074	6 689	8 169

## 3 ZÁVĚR

Pro účely stanovení splaveninového režimu byla provedena analýza charakteru a erozní ohroženosti povodí Černohorského potoka. Podkladem byl především terénní průzkum, mapové podklady. Výpočtem splaveninového režimu byly stanoveny parametry  $W_{SPL}$  (dlouhodobé průměrné roční množství splavenin, které je třeba zachytit v počítaném profilu) a  $W_{S100}$  (množství splavenin transportované během extrémní hydrologické situace – při povodni s dobou opakování 100 let). Dle vztahů použitých pro výpočet  $W_{S100}$  byly provedeny odhady objemů splavenin pro povodňové události pro ostatní N-leté povodně, viz Tab. 2.

Dlouhodobé průměrné roční množství splavenin k profilu zatrubnění:

$$W_{SPL} = 2\,379 \text{ m}^3/\text{rok}$$

Množství splavenin transportované při povodni s dobou opakování 100 let:

$$W_{S100} = 8\,169 \text{ m}^3$$

Vzhledem k vypočteným parametrům splaveninového režimu a problémům, ke kterým dochází na Černohorském potoce v důsledku transportu splavenin při povodních (poslední 06/2013) lze konstatovat, že zřízení retenčního prostoru pro kontrolované zachycení splavenin (výstavbou šterkové/ých přehrážky/ek) je účelné.