

SOUŘADNICOVÝ SYSTÉM : S-JTSK
VÝŠKOVÝ SYSTÉM : B.p.v.

ZMĚNA	POPIS ZMĚNY	DATUM	ZPRACOVAL	SCHVALOVAL

SO 201 MOST EV.Č. 23218-2 SVINNÁ

Objednatel:



SPRÁVA A ÚDRŽBA SILNIC PLZEŇSKÉHO KRAJE

příspěvková organizace

Škroupova 18

306 13 Plzeň

TEL. +420 547 120 311, susjmk@susjmk.cz

Zhotovitel DSP+PDPS:



Valbek, spol. s r.o.

Vaňurova 505/17

460 02 Liberec 3

HIP:

ING. ROBERT VORSCHNEIDER

	Vypracoval	ING. JAKUB JIRÁK		Zak. číslo	14VC1101008
	Zodp. projektant	ING. JAN BLAŽEK	<i>Blážík</i>	Datum	011/2014
	Tech. kontrola	ING. R. VORSCHNEIDER		Stupeň	DSP+PDPS
	AKCE MOST EV.Č. 23218-2 SVINNÁ			Počet formátů	xA4
				Měřítko	--
Zhotovitel: V-CON, s.r.o. Vaňurova 505/17 460 02 Liberec 3	Příloha HYDROTECHNICKÝ POSUDEK			Č. přílohy	Paré
				09	

OBSAH:

1 Úvod.....	3
2 Stručný popis řešeného území.....	3
3 Použité podklady.....	3
4 Posouzení mostní konstrukce.....	3
4.1 Výsledné hodnoty.....	4
4.2 Diskuse.....	4
5 Vývar pod stupněm ve dně.....	5
5.1 Výpočet.....	5
5.2 Návrh.....	6
6 Posouzení stability dna.....	7
7 Závěr.....	8
8 Příloha I – podélný profil stávajícího stavu.....	9
9 Příloha II – hydrotechnická situace.....	10
10 Příloha III – charakteristické příčné řezy.....	11

1 Úvod

Na bezejmenné vodoteči, pravostranném přítoku Radnického potoka, ve staničení toku přibližně 1,32361 řkm, nedaleko obce Svinná je v křížení se silnicí III/23218 stávající mostní konstrukce, jejíž oprava je v předložené dokumentaci řešena. Následující hydrotechnický výpočet předkládá posouzení návrhu opravy mostní konstrukce vzhledem k návrhovému průtoku Q_{100} , spolu s návrhem vývaru pod stupněm ve dně, umístěném na výtoku z mostní konstrukce.

Provedenými výpočty bylo potvrzeno, že navrženou konstrukcí bude požadovaný průtok převeden s dostatečnou rezervou.

2 Stručný popis řešeného území

Posuzovaný most je navržen v křížení silnice III/23218 na bezejmenné vodoteči, nedaleko obce Svinná. Vzhledem k blízkosti rozvodnice je řešený tok v zájmovém profilu relativně málo vodný, hloubka proudění, zastižena ve sledovaném profilu při místním šetření, činila pouze několik centimetrů. Na druhou stranu podélný sklon vodoteče, odvozený ze zaměření, je značný, viz příloha I v kapitole 8. Charakter dna v okolí stávající mostní konstrukce nasvědčuje značnému působení vodního proudu na pevné částice dna vodoteče, což lze přičíst právě vysokým rychlostem proudění, způsobených právě vysokým sklonem dna. V okolí mostní konstrukce byly při místním šetření zastiženy především kameny velikosti větší než cca 200 mm, což lze považovat za projev významného účinku vodního proudu.

Vzhledem k vysokému podélnému sklonu dna jsou všechny vyšší průtoky převáděny v režimu bystřinného proudění. Hloubka proudění je tedy nízká, což se pozitivně projevuje nízkým negativním účinkem vodního proudu na břehy vodoteče. Významné narušení břehových partií v okolí posuzované konstrukce nebylo při místním šetření zastiženo.

Na základě poznatků zjištěných při místním šetření lze jednoznačně doporučit zachování stupně ve dně na výtoku z mostní konstrukce, kterým je podélný sklon toku významně snížen. Jelikož běžná vodnost toku je nízká, a režim převádění vyšších průtoků je díky velkému podélnému sklonu bystřinný, nelze v toku předpokládat přítomnost ryb, které by přítomnost stupně ve dně omezovala v pohybu. Jako součást zachování stupně ve dně ovšem doporučujeme provedení vývaru pro utlumení kinetické energie vodního proudu. Vysoká hodnota kinetické energie představuje zvýšené vymílání dna, které se v konečném důsledku může negativně projevit i ve vztahu k samotné mostní konstrukci.

3 Použité podklady

Digitální zaměření stávajícího mostu včetně bezprostředního okolí vodoteče, zpracované odbornou geodetickou firmou.

Návrh opravy mostní konstrukce vypracovaný Ing. Janem Blažkem, předaný v digitální verzi.

Hydrologické údaje povrchových vod pro sledovaný profil, N-leté průtoky, získané od ČHMÚ, pobočka Plzeň.

Podrobné místní šetření zpracovatele.

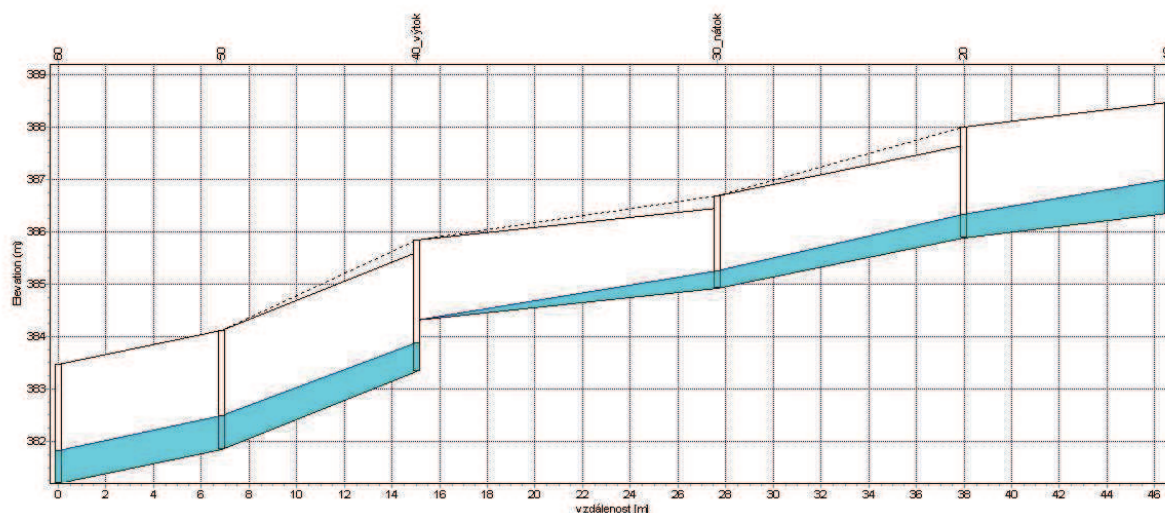
4 Posouzení mostní konstrukce

Převedení průtoku Q_{100} bylo provedeno výpočtem ustáleného nerovnoměrného proudění na přítoku do mostní konstrukce, v mostní konstrukci a na výtoku z mostní konstrukce. Výpočet byl proveden

pomocí softwarového prostředku EPA¹ SWMM, řešícím jednorozměrnou soustavu rovnic, tzv. rovnice Saint-Venant, zatíženou konstantním vtokem $Q_{100} = 5.6 \text{ m}^3/\text{s}$, získaným od ČHMÚ. Zaměřený úsek vodoteče, včetně mostní konstrukce, byl v místech změny podélného sklonu a změny tvaru koryta rozdělen na dílčí úseky, viz hydrotechnická situace v příloze II, kapitola 9. Obecné průtočné profily jednotlivými úseky byly schematizovány příčnými řezy odečtenými ze zaměření řešeného území, viz charakteristické příčné řezy v příloze III, kapitola 10. Součinitel drsnosti dle Manninga byl uvažován zvlášť pro dnovou partii a zvlášť pro břehy koryta. Pro dno byla uvažována hodnota $n_{dno} = 0.025 [-]$, pro břehy $n_{břeh} = 0.033 [-]$ ². V úseku mostní konstrukce byl Manningův součinitel drsnosti uvažován hodnotou $n_{most} = 0.02 [-]$. Okrajová podmínka v uzlovém bodu 60 byla uvažována jako normálová, hladinou odpovídající rovnoměrnému ustálenému proudění při daném průtoku.

4.1 Výsledné hodnoty

Výsledné hodnoty výpočtu jsou prezentovány formou podélného profilu s vykreslením hladiny plnění všech řešených úseků, obr. 1 a přehlednou tabulkou základních hydraulických veličin.



Obr. 1: Podélný profil řešeného úseku vodoteče s vykreslením plnění průtočných profilů. Na horní vodorovné ose jsou vyznačeny uzlové body schematizované vodoteče.

Tab. 1: Základní hydraulické charakteristiky řešených úseků při převádění průtoku Q_{100} .

UB dolní	UB horní	i_0	Fr	v	Q	h_{UBh}	h_{sp}
60	50	9.53	3.34	6.67	5.6	0.64	0.64
50	40_výtok	18.57	3.87	7.44	5.6	0.54	0.59
40_výtok	30_nátok	4.83	2.68	4.39	5.6	0.35	0.35
30_nátok	20	9.42	3.16	4.89	5.6	0.45	0.4
20	10	5.5	3.51	6.02	5.6	0.64	0.54

Legenda: UB označení uzlového bodu výpočtu; i_0 sklon dna [%]; Fr Froudeovo číslo [-]; v střední průtočná rychlost v úseku [m/s]; Q průtok [m^3/s]; h_{UBh} hladina v horním uzlovém bodu úseku [m]; h_{sp} střední hladina v úseku [m].

4.2 Diskuse

Z porovnání výsledných dat je patrné, že při navrženém sklonu dna je požadovaný průtok Q_{100} převeden se značnou rezervou. Vzhledem k přítomnosti stupně ve dně na výtok z mostní konstrukce

¹ Water Supply and Water Resources Division of the U.S. Environmental Protection Agency's National Risk Management Research Laboratory with assistance from the consulting firm of CDM, Inc.

² Hydraulika pro vodohospodářské stavby, Boor B., Kunštátský J., Patočka C, SNTL, Praha 1968.

je maximální průtočná výška na vtoku do mostu. Přepadová výška na výtoku z mostní konstrukce není v prezentovaných datech uvedena. Hodnota h_{UBh} v uzlovém bodu 40_výtok odpovídá hloubce ve dně, nikoli na přepadové hraně. Přepadová výška je pro zjednodušení uvažována jako nulová, což ve výpočtu zaměřeném na posouzení kapacity průtočného profilu představuje příklon na stranu bezpečnosti. Hodnoty střední hladiny h_{sp} a střední rychlosti v v úseku, jsou charakterizovány jedním číslem, přestože z podélného profilu na obr. 1 je patrné že v úsecích dochází ke snížení, resp. zvýšení hloubky, což se projeví zvýšením, resp. snížením, rychlosti. Obě hodnoty mají význam středních hodnot charakterizujících proudění v úseku. Shodná hladina v uzlových bodech 60 a 50 je důsledkem zavedení normálové okrajové podmínky.

5 Vývar pod stupněm ve dně

5.1 Výpočet

V případě stupně ve dně, kde nedochází k vodnímu skoku je pro utlumení kinetické energie vodního proudu nutné navrhnout délku vývaru, odpovídající doskoku vodního paprsku. Hloubka vývaru je určena odtokovými podmínkami určenými v předchozí kapitole.

Doskok přepadového paprsku odpovídá parabole určené vzdáleností od přepadové hrany x a výškou stupně ve dně z . Souřadnice x a z jsou určeny vztahy:

$$\begin{aligned} x &= v * t \\ z &= \frac{1}{2} g * t^2 \end{aligned} \quad (1)$$

Neznámá proměnná t má význam času [s], v odpovídá rychlosti vodního proudu ve střední proudnici v zúženém průřezu [m/s]. Proměnná g představuje gravitační zrychlení, ve všech provedených výpočtech jednotně uvažované hodnotou $g = 9.81 \text{ m/s}^2$. Porovnáním obou hodnot přes společnou proměnnou času t získáme základní rovnici pro doskok vodního paprsku:

$$x = v \sqrt{\frac{2 * z}{g}} \quad (2)$$

Umístěním počátku souřadného systému xz do střední proudnice v kritickém zúžení na přepadové hraně lze doskok vodního paprsku l [m] ztotožnit se souřadnicí x zvětšenou o prodloužení dopadu l_p , způsobené vlivem klesání dna pod stupněm ve dně.

$$l = x + l_p \quad (3)$$

Souřadnice z je určena výškou stupně s , polovinou přepadové výšky a snížením vlivem klesání dna pod stupněm ve dně s_p . Výška stupně ve dně s je určena návrhem posuzované stavby $s = 0.97 \text{ [m]}$ a snížení vlivem klesání dna lze vyjádřit pomocí známého sklonu dna i_0 v úseku mezi UB 30 a UB 40, viz tabulka 1. V zavedených souřadnicích xz hodnota snížení odpovídá rovnici:

$$s_p = i_0 * (x + l_p) + s = i_0 * l + s \quad (4)$$

Přepadovou výšku h_p na přepadové hraně stupně ve dně lze vzhledem k bystřinnému režimu proudění pod mostní konstrukcí, $Fr = 2.68$ [-] viz tab. 1, aproximovat asymptotou křivky snížení, která je v daném případě

$$h_n < h < h_k \quad (5)$$

představována normálovou hloubkou proudění h_n [m]. Neznámá proměnná h má význam obecné hloubky proudění v úseku mostní konstrukce a h_k představuje kritickou hloubku proudění. Hodnotu kritické hloubky je možné určit z výrazu pro Froudovo číslo, které při kritickém proudění nabývá hodnoty $Fr = 1$ [-]:

$$Fr = \frac{v^2 * h_k}{g} = 1 \rightarrow h_k = \frac{v^2}{g} = \frac{4.39^2}{9.81} = 1.96 \text{ [m]} \quad (6)$$

Hloubka normálového proudění odpovídá hloubce rovnoměrného ustáleného proudění. V rámci provedených výpočtů byla hloubka normálového proudění určena pomocí softwarového prostředku EPA SWMM, viz kapitola 4, výpočtem úseku odpovídajícímu mostní konstrukci, s použitím normálové okrajové podmínky na výtoku z mostní konstrukce, při zatížení konstantním návrhovým průtokem Q_{100} . Vypočtená hodnota normálové hloubky činí $h_n = 0.27$ [m].

Vzájemným porovnáním získaných hodnot h_n , h_k a hodnoty h , kterou je možné uvažovat maximální hodnotou na vstupu do mostního úseku $h = 0.35$ [m], viz UB 30 v tabulce 1, je potvrzena nerovnost 5.

$$h_n = 0.27 < h = 0.35 < h_k = 1.96 \text{ [m]} \quad (7)$$

Je oprávněné vyslovit pochybnost, zdali na přepadové hraně bude již dosažena normálová výška, na druhou stranu je nutné si uvědomit, že při snížení hladiny dojde ke snížení průtočného profilu, ale na druhé straně dojde k nárůstu rychlosti proudění. Jelikož rychlost vystupuje ve vztahu pro délku doskoku paprsku v 1. mocnině, viz rce. 2, zatímco výška přepadu je stupně 0.5 a navíc je uvažována pouze poloviční hodnota, představuje volba hladiny normálového proudění příklon na stranu bezpečnosti.

Vyjádřením uvedených poznatků spolu se vztahem 4 lze souřadnici z v rovnici 2 vyjádřit vztahem:

$$z = s + s_p + \frac{h_n}{2} = s + l_p * i_0 + \frac{h_n}{2} \quad (8)$$

Dosazením vztahů 4 a 8 do rovnice 2 a následnou úpravou získáme vztah pro doskok paprsku pod stupněm ve dně na výtokové straně mostní konstrukce:

$$l = v \sqrt{\frac{2}{g} (2 * s + i_0 * l + \frac{h_n}{2})} \quad (9)$$

Uvážením hodnot získaných při posouzení mostní konstrukce $v = 4.39$ m/s, $i_0 = 18.57$ %, spolu se známou hodnotou normálové výšky $h_n = 0.27$ m a návrhem výšky stupně ve dně $s = 0.97$ m, byla postupným řešením rovnice 9 stanovena délka doskoku paprsku $l = 3.24$ m.

5.2 Návrh

Doskok paprsku při průtoku $Q_{100} = 5.6$ m³/s určený výpočtem činí 3.24 m. Podkladem pro určení hloubky vývaru je hladina na odtoku pod stupněm ve dně určená při posouzení kapacity průtočného profilu mostní konstrukce. Hloubka proudění nad dnem uzlového bodu 40_výtok činí 0.54 m. Srovnáním návrhových parametrů doporučujeme navrhnout vývar délky 4 m s hloubkou 0.6 m. Ukončení vývaru bude provedeno šikmé ve sklonu 1:2.

Jelikož přepadová hrana není kolmá na osu toku doporučujeme ukončení vývaru provést kolmo na osu toku tak, aby minimální vzdálenost od mostní konstrukce činila 4 m.

6 Posouzení stability dna

Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, je relativně vysoký sklon toku mimo mostní konstrukci důvodem nutnosti provedení dna toku pod mostní konstrukcí taktéž v relativně vysokém sklonu. Posouzením mostní konstrukce byla zjištěna střední průtočná rychlost úseku $v = 4.39$ m/s, viz tab. 1. Jelikož se jedná o skutečně vysokou rychlost, je nutné zabývat se stabilitou dna pod mostní konstrukcí.

Posouzení stability dna je provedeno pomocí Schildsova diagramu³ uvádějícího do souvislosti účinek vodního proudu na pevné částice dna, vyjádřené hodnotou splaveninového Reynoldsova čísla Re_d [-], a stabilizačních sil působících na pevnou částici dna, vyjádřenou bezrozměrným tvarem tečného napětí u dna Θ .

$$Re_d = \frac{v_d * d_w}{\nu} \quad (10)$$

$$\Theta = \frac{v_d^2}{\left(\frac{\rho_p}{\rho} - 1\right) g * d_w} \quad (11)$$

Neznámá proměnná v_d má význam charakteristické rychlosti u dna [m/s], ν značí kynematickou viskozitu [m²/s], ve výpočtu jednotně uvažovanou hodnotou 1.43 m²/s, d_w má význam charakteristické velikosti částice [m], ρ_p označuje měrnou hmotnost částice, jednotně uvažovanou hodnotou 2 600 kg/m³ a ρ značí měrnou hmotnost vody.

$$v_d = \sqrt{g * h * i_e} \quad (12)$$

Neznámá proměnná i_e má význam sklonu čáry energie a byla určena pomocí Chézyho rovnice pro střední hodnoty průtokových charakteristik úseku, h značí hloubku proudění [m].

Posouzení stability dna bylo provedeno pro N-leté průtoky získané pro ČHMÚ, hledáním charakteristické velikosti částice d_w , která bude při daném průtoku dle Shieldsova diagramu stabilní.

Tab. 2: Posouzení stability pevných částic dna pro N-leté průtoky

N	Q_N	v	h	R	C	i_e	v_d	d_w	Re_d	Θ
1	0.5460	1.94	0.09	2.52	58.33	0.0487	0.21	0.05	7070.22	0.06
2	0.9280	2.38	0.12	2.58	58.56	0.0489	0.24	0.07	10952.77	0.06
5	1.6200	2.95	0.16	2.68	58.93	0.0492	0.28	0.09	17015.35	0.06
10	2.3000	3.37	0.20	2.76	59.22	0.0495	0.31	0.11	23952.85	0.06
20	3.1200	3.78	0.24	3.44	61.43	0.0494	0.34	0.13	31417.47	0.06
50	4.4200	4.29	0.29	3.54	61.73	0.0497	0.38	0.16	42064.98	0.06
100	5.6000	4.38	0.35	3.66	62.07	0.0497	0.41	0.19	55766.67	0.06

Legenda: N doba opakování průtoku Q_N [rok]; Q_N N-letý průtok [m³/s]; v střední rychlost průtoku v úseku [m/s]; h střední hloubka proudění v úseku [m]; R střední hodnota omočeného obvodu úseku [m]; C střední hodnota Chézyho součinitele ztrát v úseku [m^{1/6}]; i_e sklon čáry energie [-]; v_d charakteristická rychlost u dna [m/s]; d_w charakteristický rozměr pevné částice dna [m]; Re_d splaveninové Reynoldsovo číslo [-]; Θ bezrozměrné vyjádření tečného napětí u dna [-].

Pro hodnoty $Re_d > 400$ [-] k počátku pohybu dochází pro hodnoty $\Theta > 0.06$ [-]. Provedeným výpočtem byla pro různé hodnoty průtoku Q_N stanovena minimální hodnota charakteristické velikosti částice d_w , která nebude působením vodního proudu uvedena do pohybu. Pro průtok Q_{100} činí minimální velikost částice $d_w = 190$ mm.

³ Např. Kolář V., Pohyb Splavenin, ČVUT, Praha, 1978.

7 Závěr

V rámci hydrotechnického posouzení návrhu opravy stávajícího mostu bylo provedeno posouzení navrhované opravy mostu vzhledem k průtoku Q_{100} , dále byl proveden návrh vývaru pod stupněm ve dně na výtoku z mostní konstrukce a v neposlední řadě bylo provedeno posouzení stability dna v úseku odpovídajícím opravované mostní konstrukci.

Provedenými výpočty byla prokázána dostatečná rezerva pro převedení průtoku $Q_{100} = 5.60 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Navržen byl vývar délky 4 m, měřeno v nejkratší vzdálenosti k mostní konstrukci, navržená hloubka činí 0.6 m, zakončení vývaru bylo navrženo ve sklonu 1:2.

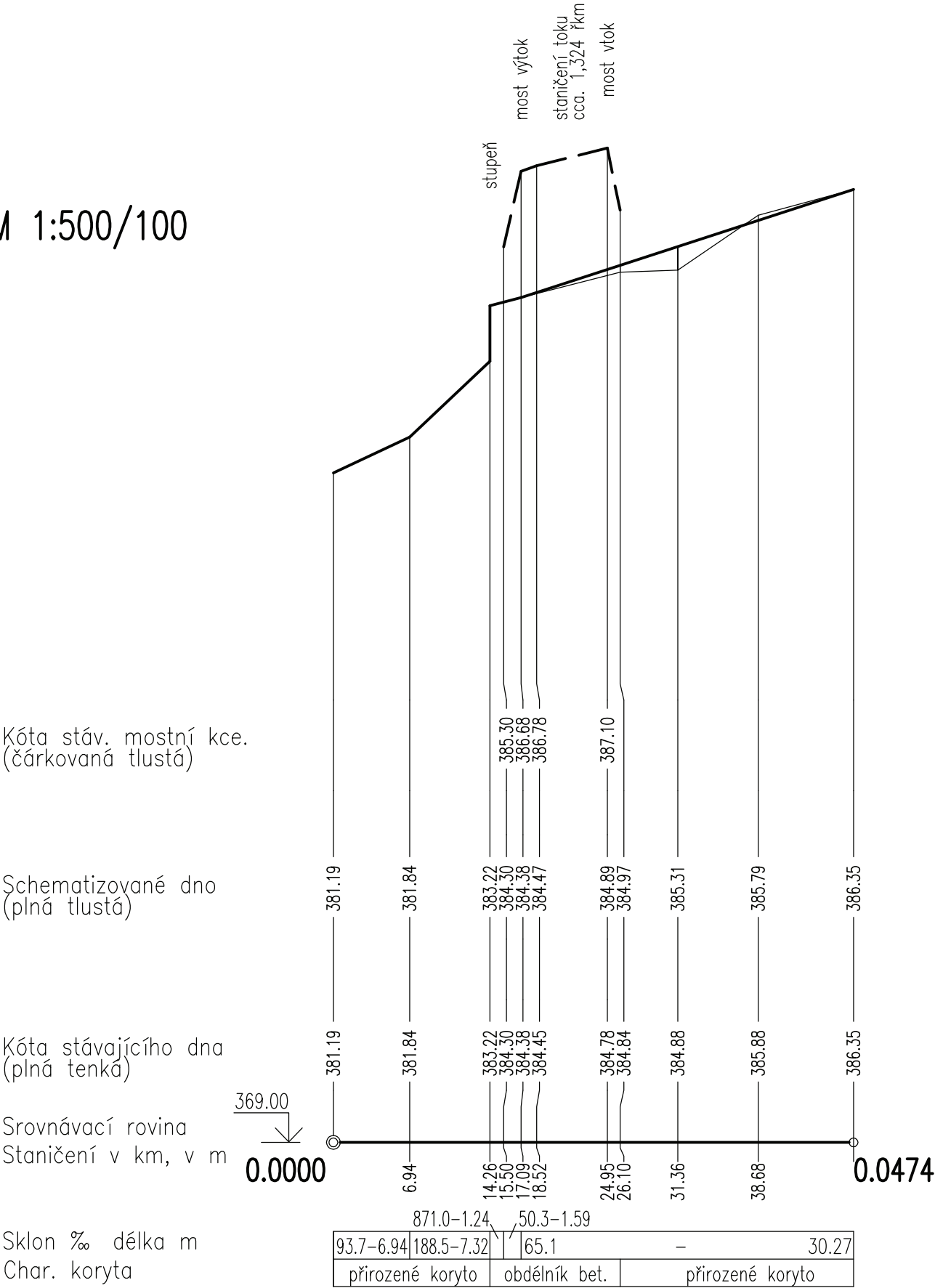
K pohybu pevných částic dna v úseku mostní konstrukce při průtoku Q_{100} nedojde, bude-li minimální hodnota charakteristické velikosti částice činit 190 mm.

7 Příloha I – podélný profil stávajícího stavu

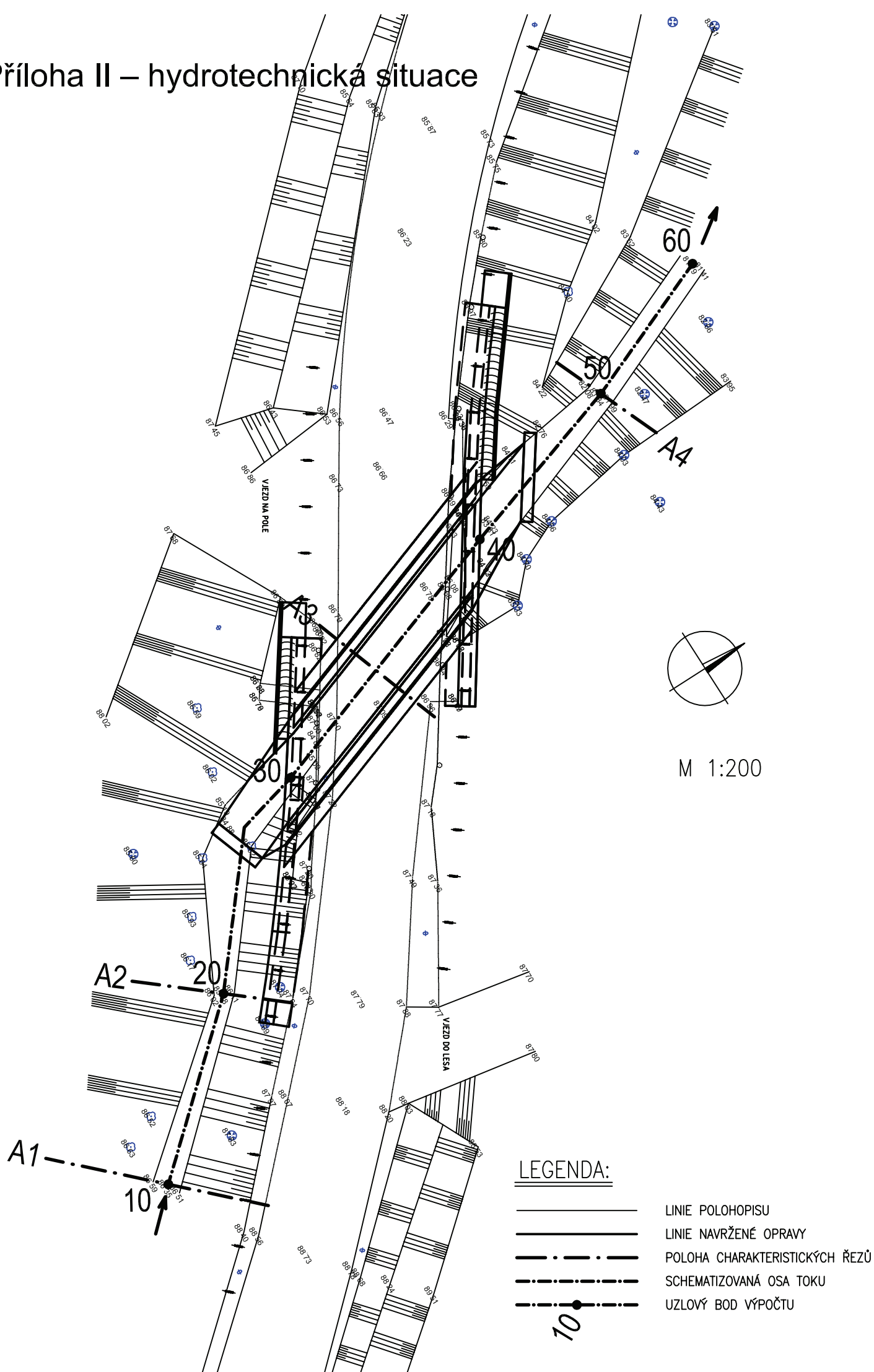
Vodní tok
Číslo hydrologického pořadí
Vzdálenost směrových lomů

Svinná
1-11-02-0950
47.36

M 1:500/100

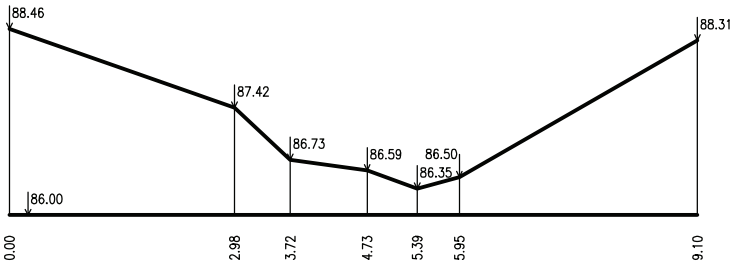


9 Příloha II – hydrotechnická situace

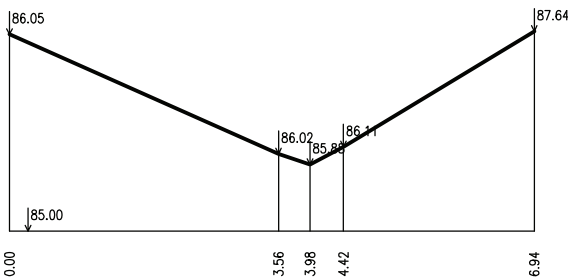


10 Příloha III - charakteristické příčné řezy

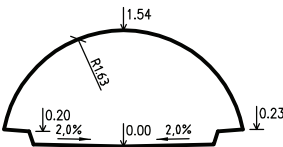
A1



A2



A3



A4

