



**FAKULTA
STAVEBNÍ
ČVUT V PRAZE**

**Optimalizace traťového úseku Děčín východ (mimo) - Děčín -
Prostřední Žleb (mimo)**

**Posouzení změny plavebních podmínek během
rekonstrukce železničního mostu přes Labe na trati
Děčín východ - Děčín Prostřední Žleb**

Objednatel: **SUDOP PRAHA a.s.**



Projekty
Inženýring
Konzultace

Zhotovitel: **ČVUT v Praze, Fakulta stavební**

Vypracovali: doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur
Ing. Tomáš Kašpar
Ing. Martin Horský, Ph.D.

Praha, leden 2018



Obsah

Titulní list	3
1. Úvod a specifikace prací	4
2. Použité podklady	5
3. Popis použitého 2D modelu	6
4. Kalibrace modelu	9
5. Sestavení modelu pro zadané fáze rekonstrukce mostu	14
6. Simulace rychlostních poměrů během fází rekonstrukce mostu	16
6.1 Vyhodnocení celkových rychlostí	17
6.2 Vyhodnocení příčných složek rychlostí.....	19
7. Závěry	21
SEZNAM LITERATURY.....	22
PŘÍLOHY	23



Titulní list

Investiční akce:	Optimalizace traťového úseku Děčín východ (mimo) - Děčín - Prostřední Žleb (mimo)
Výzkumný úkol:	Posouzení změny plavebních podmínek během rekonstrukce železničního mostu přes Labe na trati Děčín východ - Děčín Prostřední Žleb
Objednatel:	SUDOP PRAHA a.s., Olšanská 1a, 130 80 Praha 3
Zhotovitel:	České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební Thákurova 7, 166 29 Praha 6 Zodpovědný řešitel: doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur Spoluřešitelé: Ing. Tomáš Kašpar Ing. Martin Horský, Ph.D.

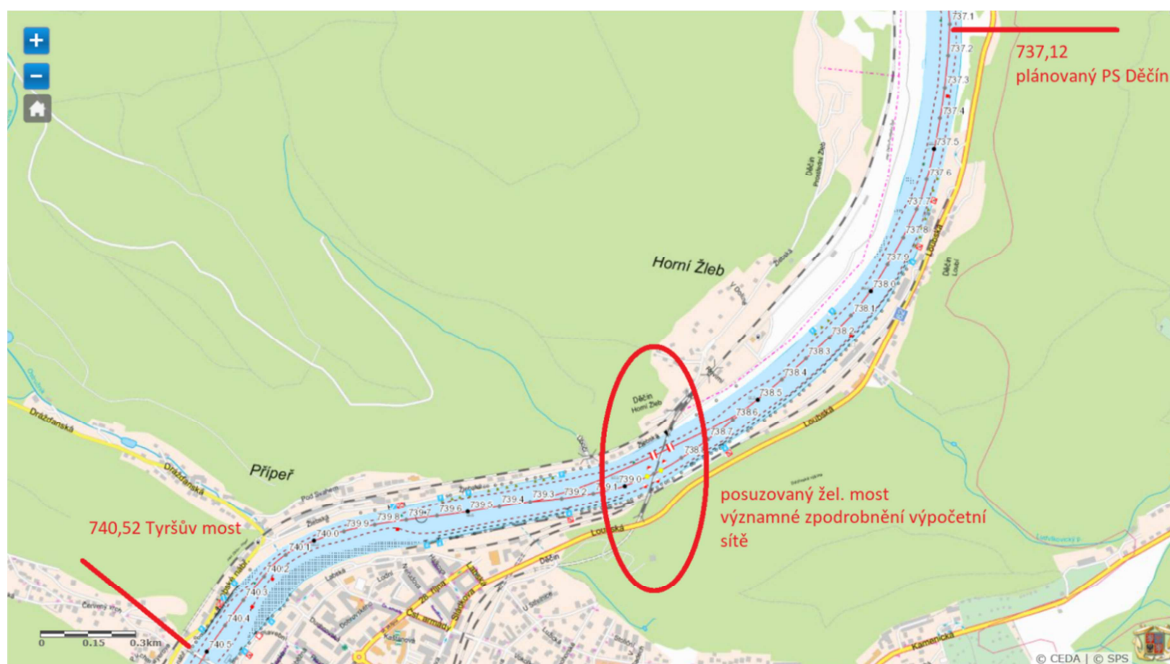
Výzkumný úkol „Posouzení změny plavebních podmínek během rekonstrukce železničního mostu přes Labe na trati Děčín východ - Děčín Prostřední Žleb“ byl zpracován v rámci projektu „Optimalizace traťového úseku Děčín východ (mimo) - Děčín - Prostřední Žleb (mimo)“ na základě smlouvy o dílo mezi společnostmi SUDOP PRAHA a.s. a Českým vysokým učení technickým v Praze, Fakultou stavební, uzavřené pod evidenčním č. 16 216 209 K objednateli a evidenčním č. 8301704A142 zhotovitele.

Cílem analýzy je vytvoření 2D matematického modelu proudění vody, který uvažuje střední svislicové rychlosti. Rozsah sestaveného matematického modelu je v souladu se zadáním od Tyršova mostu v Děčíně (ř. km 740,52) po profil plánovaného plavebního stupně Děčín (ř. km 737,12). Uvedený rozsah modelu umožní zajistit reprezentativní podmínky proudění v prostoru posuzovaného železničního mostu v ř. km 738,87 pro současný stav a pro posuzované fáze rekonstrukce mostu. Na základě sestaveného modelu je provedeno vyhodnocení rychlostí proudění v okolí železničního mostu a posouzeny plavební podmínky v rámci zadaných fází rekonstrukce.

1. Úvod a specifikace prací

V rámci projektu „Optimalizace traťového úseku Děčín východ (mimo) - Děčín - Prostřední Žleb (mimo)“ bude realizována rekonstrukce železničního mostu přes Labe v ř. km 738,87 na trati Děčín východ - Děčín Prostřední Žleb. Cílem této analýzy je posouzení změny plavebních podmínek během rekonstrukce, kterou připravuje ve stupni přípravné dokumentace SUDOP PRAHA a.s.

Pro posouzení je využit 2D matematický model proudění vody HEC-RAS (U.S. Army Corps of Engineers, 2016), který uvažuje střední svislicové rychlosti. Tento návrh vychází z předpokladu, že konstrukce montážních bárek a jímek budou neprůtočné a budou tedy blokovat celý profil ode dna po hladinu. Pro zajištění reprezentativních rychlostních podmínek v profilu železničního mostu v ř. km 738,87 je simulován úsek od Tyršova mostu v Děčíně (ř. km 740,52) po profil plánovaného plavebního stupně Děčín (ř. km 737,12). Celkem tedy 3,4 km podle schématu na obr. 1.1.



Obr. 1.1 Rozsah matematického 2D modelu proudění.

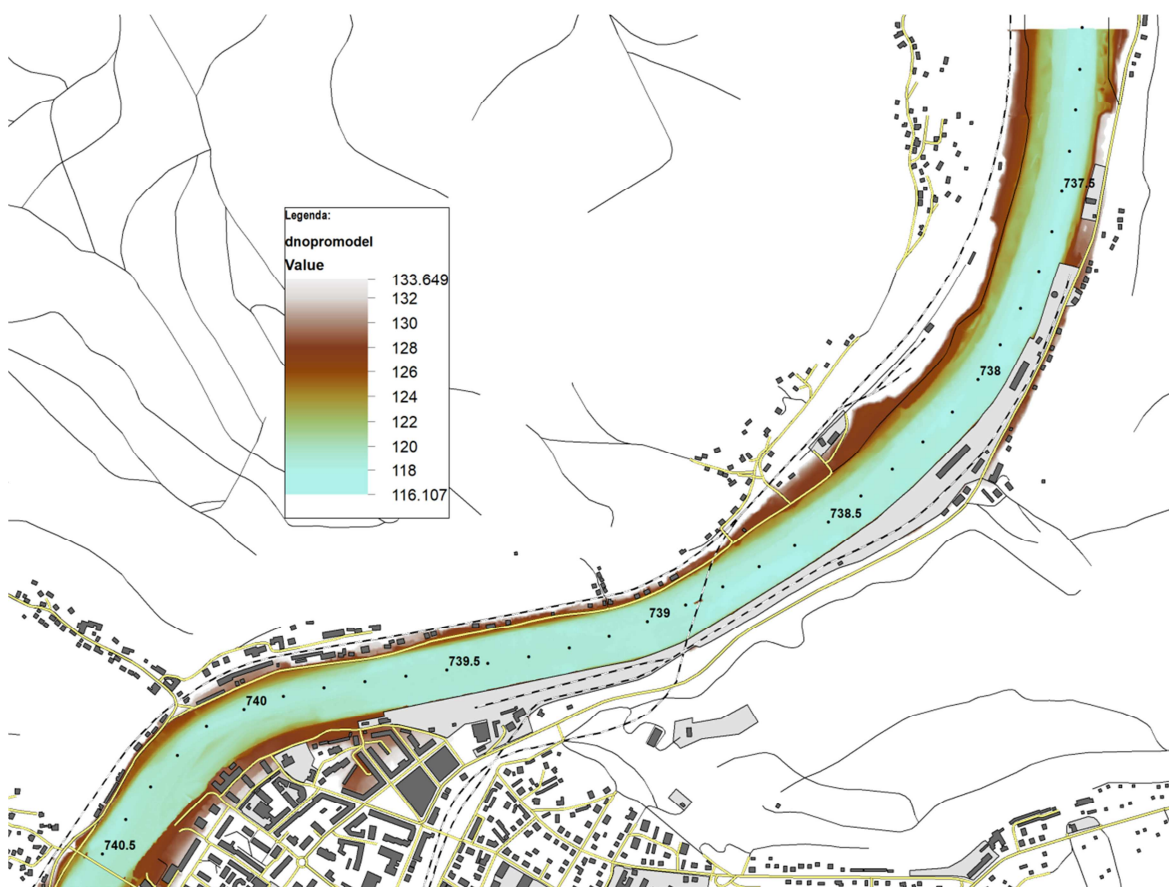
V první fázi byl sestaven 2D matematický model na podkladě posledního zaměření dna koryta Labe z října 2017 a jeho parametry byly kalibrovány pro stávající stav na základě vybraných průtokových situací se zaměřenými podélnými profily hladin in situ. Následně byl zpracován výpočet proudových poměrů pro stávající stav pro řadu tří plavebních průtoků:

- minimální plavební průtok: $Q_{345d} = 117 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
- průtok 180-ti denní vody: $Q_{180d} = 248 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
- maximální plavební průtok: $Q_{\text{maxplav}} = 1111 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Součástí řešení je také sestavení modelu pro celkem 3 etapy rekonstrukce mostu, kdy bude lodní doprava realizována střídavě levým a pravým polem. Uzavřené pole bude částečně průtočně omezováno montážními bárkami.

2. Použité podklady

Základním vstupním podkladem pro sestavení matematického 2D modelu proudění v zájmovém úseku Labe od Tyršova mostu v Děčíně (ř. km 740,52) po profil plánovaného plavebního stupně Děčín (ř. km 737,12) je geometrie labského dna. Pro tyto účely bylo použito aktuální zaměření dna Labe vyměřovacím plavidlem Povodí Labe, státní podnik ze dne 21.10.2017. Zaměření je k dispozici v síti bodů v rastru 1,0 x 1,0 m. Břehy a nejbližší inundace byla doplněna z externího zdroje z měření laserovým skenováním, aby bylo možné simulovat průtokové situace do maximálního plavebního průtoku. Výsledný digitální model terénu (DMT) je znázorněn v obr. 2.1.



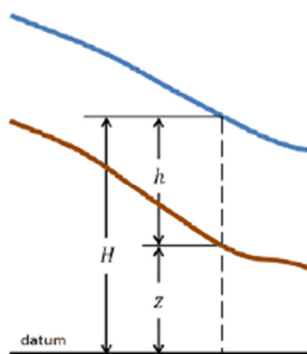
Obr. 2.1 Digitální model terénu pro 2D model .

Pro sestavení a kalibraci matematického modelu byly dále využity tyto podklady:

- výkres etap rekonstrukce mostu s vyznačením poloh montážních bárek v jednotlivých posuzovaných fázích výstavby (fáze č. 1, fáze č. 3 a fáze č. 6). Znázornění jednotlivých fází je uvedeno v páté kapitole (SUDOP PRAHA a.s., 11/2017).
- podklady pro kalibraci modelu. Jedná se o sadu zaměřených podélných profilů hladin v Labi při známých průtocích in situ. Tyto podklady byly převzaty z projektu (ČVUT, 2015, 2016) a slouží pro kalibraci drsnostního součinitele koryta Labe a inundace.
- plavební mapa s vyznačenými okraji plavební dráhy, osou plavební dráhy a plavebními znaky pro současný stav. Plavební mapy jsou k dispozici na serveru Státní plavební správy (<http://mapy.spspraha.cz/lpm/>). V obr. 6.1 je znázorněn list DL10, který obsahuje okolí železničního mostu v rozsahu ř. km 738,1 – 739,5.

3. Popis použitého 2D modelu

Pro simulaci proudění v zájmové oblasti byl využit 2D model proudění vody HEC-RAS 2D (U.S. Army Corps of Engineers, 2016). Základní systém rovnic pro pohyb kapaliny ve 3D je dán soustavou Navier-Stokesových rovnic. Jejím zjednodušením pro proudění v říčních korytech a inundacích ve 2D je systém rovnic Shallow Water Equations (SWE), který je formulován pro proudění nestlačitelné kapaliny s konstantní hustotou. Turbulentní pohyb je aproximován Reynoldsovou turbulentní viskozitou. Tato aproximace umožňuje řešit rozdělení středních svislicových rychlostí a hloubek vody. Základní schematizace použitá pro popis hloubky vody je uvedena v obr. 3.1.



Obr. 3.1 Formulace veličin pro popis polohy dna a hladiny.

V dalším popisu rovnic pro 2D schematizaci proudění vody podle systému SWE je poloha dna koryta symbolizována veličinou $z(x,y)$, hloubka vody je určena veličinou $h(x,y)$ a poloha hladiny je dána veličinou $H(x,y,t) = z(x,y) + h(x,y,t)$.

Pro popis proudění potom slouží rovnice kontinuity (zákon zachování hmotnosti):

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} \quad (1)$$

kde t je čas, u a v jsou složky rychlostí ve směru osy x , resp. y .

Systém uzavírají pohybové rovnice. Za předpokladu, že tlak je při 2D proudění dominantně hydrostatický a rychlosti ve směru osy z jsou zanedbatelné, lze pohybové rovnice vyjádřit:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + v_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f u + f u \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + v_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f v + f v$$

kde g je gravitační zrychlení, ν_t je horizontální turbulentní viskozita, c_f je součinitel ztráty třením a f je Coriolisův součinitel zahrnující vliv rotace Země kolem své osy.

Turbulentní viskozita je v modelu využita z důvodu umožnění numerického řešení Navier Stokesových rovnic, protože během turbulentního pohybu kapaliny se tvoří množství vírů různých velikostí. Velikost malých vírů není pak numericky řešitelná a jejich vliv se do řešení zavádí právě aproximací turbulentní viskozity podle vztahu:

$$\nu_t = D h u_* \quad (3)$$

kde D je bezrozměrná empirická konstanta a u_* je tečná rychlost, která je dána vztahem:

$$u_* = \sqrt{g R i_E} = \frac{\sqrt{g}}{C} [V] = \frac{n \sqrt{g}}{R^{1/6}} [V] \quad (4)$$

kde R je hydraulický poloměr, i_E je sklon čáry energie, který může být vyčíslen pomocí Chézyho rovnice, ve které byla ztráta třením popsána pomocí Manningovy rovnice (viz dále). $|V|$ je celková velikost vektoru rychlosti (složením složek u a v). Konstanta D ovlivňuje intenzitu mísení a tvorbu turbulentních vírů v proudění v korytě podle tab. 3.1.

Tab. 3.1 Koeficient turbulentní viskozity D .

D	Intenzita turbulence	Geometrie koryta a charakter dna
0,11 – 0,26	Malá	Přímé koryto, málo drsný povrch
0,30 – 0,77	Střední	Mírně meandrující koryto, střední drsnost dna
2,0 – 5,0	silná	Silně meandrující koryto, drsné dno

Součinitel ztráty třením c_f je dán Chézyho rovnicí:

$$c_f = \frac{g[V]}{C^2 R} \quad (5)$$

C je Chézyho rychlostní koeficient, který se často uvažuje podle Manningova vztahu:

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \quad (6)$$

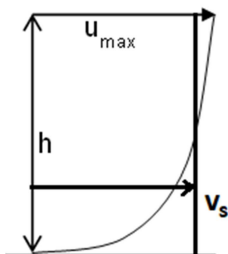
kde n je drsnostní Manningův koeficient, který závisí na charakteru koryta a jeho opevnění. V případě přírodního koryta často nabývá hodnoty $n=0,035$.

Při řešení problému 2D proudění vody podle uvedených vztahů je třeba zadat okrajové podmínky na hranicích oblasti proudění. Zpravidla se uvažuje horní okrajová podmínka na začátku řešeného úseku koryta vodního toku v podobě známého průtoku a dolní okrajová

podmínka ve spodním uzávěrovém profilu vodního toku se vkládá známou polohou hladiny vody.

Jako počáteční podmínku software HEC-RAS 2D volí hodnoty hledaných hladin a rychlostí proudění, které odpovídají ustálenému proudění pro průtok $Q(t=0)$ na začátku simulace. Tyto hodnoty jsou určeny metodou po úsecích pro nerovnoměrné ustálené proudění v 1D schematizaci.

Pro numerické řešení 2D proudění dané systémem rovnice kontinuity a pohybových rovnic se ve výpočtu využívá metody konečných diferencí a konečných objemů. Hledanými veličinami v oblasti proudění jsou potom polohy hladiny, resp. hloubky H , resp. h a hodnoty složek rychlostí v horizontálním směru u a v . Je třeba mít na paměti, že hodnoty rychlostí jsou vyčísleny jako střední svislicové veličiny. Ve skutečnosti je rozdělení rychlosti po svislici dáno mocninnou závislostí podle obr. 3.2.



Obr. 3.2 Rozdělení rychlosti po svislici.

Při mocninném rozdělení rychlosti po svislici je přibližně střední svislicová rychlost $v_s = 0,85u_{\max}$ a tedy maximální rychlosti u hladiny mohou být o cca 17% větší. Tuto skutečnost je třeba mít na paměti při vyhodnocování vypočtených rychlostních polí z pohledu nautických podmínek, protože u plavidel s malým ponorem bude rychlost působící na obšívku větší. Naopak u nákladních plavidel využívající maximální přípustný ponor dle aktuální hydrologické situace dané čtením na řídicím vodočtu v Ústí nad Labem bude předpoklad střední svislicové rychlosti získané výpočtem na 2D modelu poměrně dobře odpovídat realitě.

4. Kalibrace modelu

Po sestavení 2D matematického modelu proudění v zájmové oblasti bylo třeba ověřit jeho chování a kalibrovat parametry. Pro kalibraci modelu HEC-RAS 2D byly využity zaznamenané průběhy hladin při průtocích 120 a 189 m³.s⁻¹. Tyto průběhy byly v minulosti zaznamenány správcem vodní cesty (Povodí Labe, státní podnik). Pro ověření chování modelu v oboru velkých průtoků byla k dispozici pouze informace o průběhu hladin při průtoku pětileté povodně $Q_5 = 2300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, která nevychází z měření in situ, ale byla převzata z aktuálního výpočtu realizovaného v rámci implementace povodňové směrnice 2007/60/ES při procesu tvorby map povodňových rizik v roce 2013 (DHI a.s.). Kontrola modelu tedy byla zpracována formou ověření hladinového režimu, neboť správná interpretace hloubek proudění je nutnou podmínkou pro spolehlivou simulaci rychlostních poměrů pro následné posouzení nautických podmínek v zájmovém úseku Labe.

S přihlédnutím k doporučení literatury, výsledků matematického modelu dolního Labe (Sedlák, 2018) a sérii kalibračních simulací byly vyhodnoceny jako optimální Maninngovy drsnosti v těchto mezích:

- koryto Labe ve většině rozsahu zájmového úseku: $n = 0,034$, (štěrkopískové dno)
- koryto Labe v oblasti úžiny Heger: $n = 0,044$, (štěrkopískové dno s balvany).

Výsledné hodnoty odchylek mezi vypočtenými a kalibračními polohami hladiny v celém zájmovém úseku Labe od 737,12 do 740,50 uvádí následující tab. 4.1.

Tab. 4.1 Rozmezí odchylek mezi vypočtenými a kalibračními polohami hladiny.

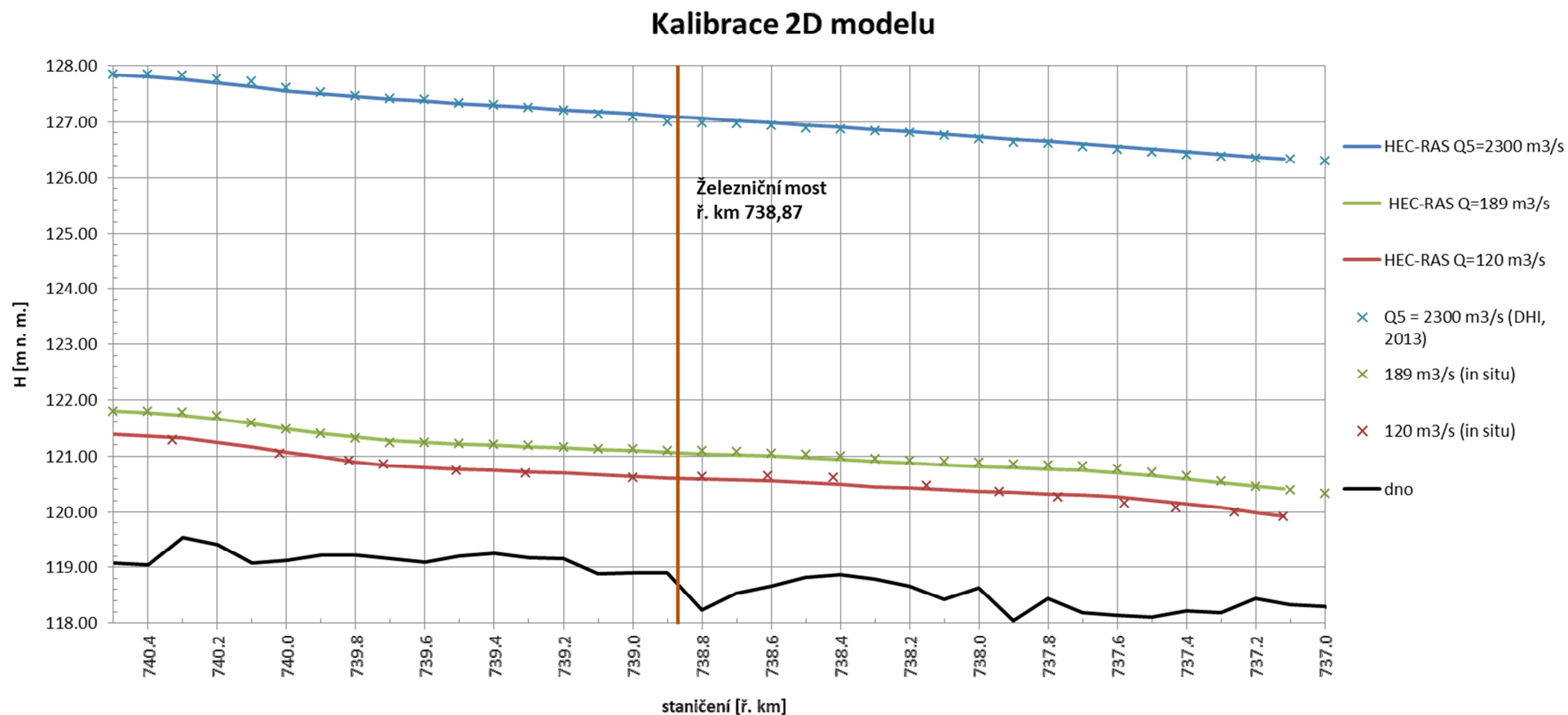
odchylka [cm]	Q [m ³ .s ⁻¹]		
	120	189	2300
min	-10	-3	-11
max	11	8	8

Z tab. 4.1 vyplývá, že maximální odchylka polohy hladiny činí $\pm 11 \text{ cm}$. V nejbližším okolí železničního mostu v úseku ř. km 738,8 až 738,9 činí odchylky pouze $\pm 5 \text{ cm}$. Porovnání simulovaných a kalibračních (zaměřených) hladin pro vybrané průtokové situace uvádí přehledně obr. 4.1.

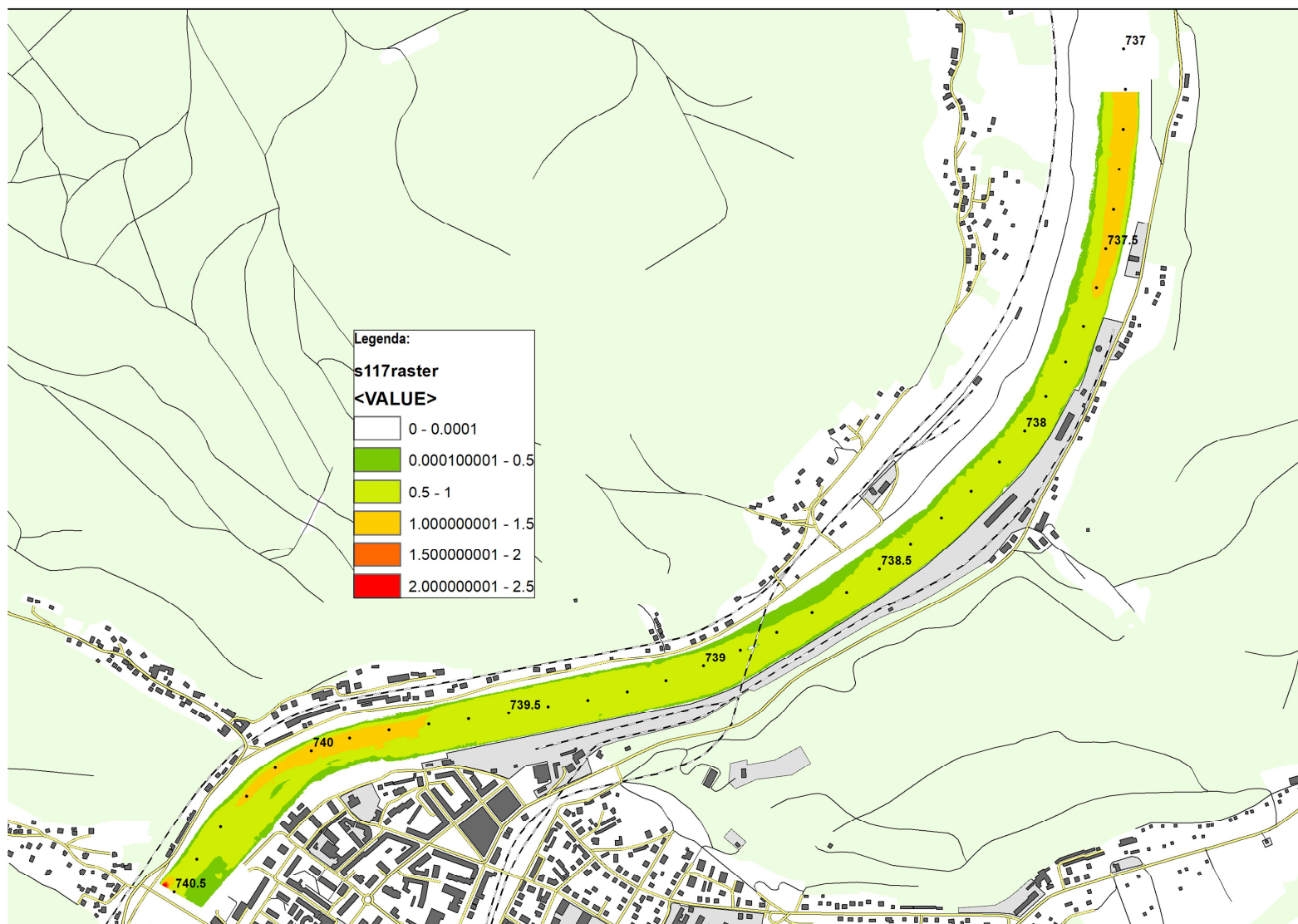
Matematický 2D model tedy vykazuje výborné vlastnosti a je možné jej využít pro spolehlivý výpočet rychlostních poměrů v zájmové oblasti pro řadu zadaných průtoků:

- minimální plavební průtok: $Q_{345d} = 117 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
- průtok 180-ti denní vody: $Q_{180d} = 248 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
- maximální plavební průtok: $Q_{\text{max.plav}} = 1111 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

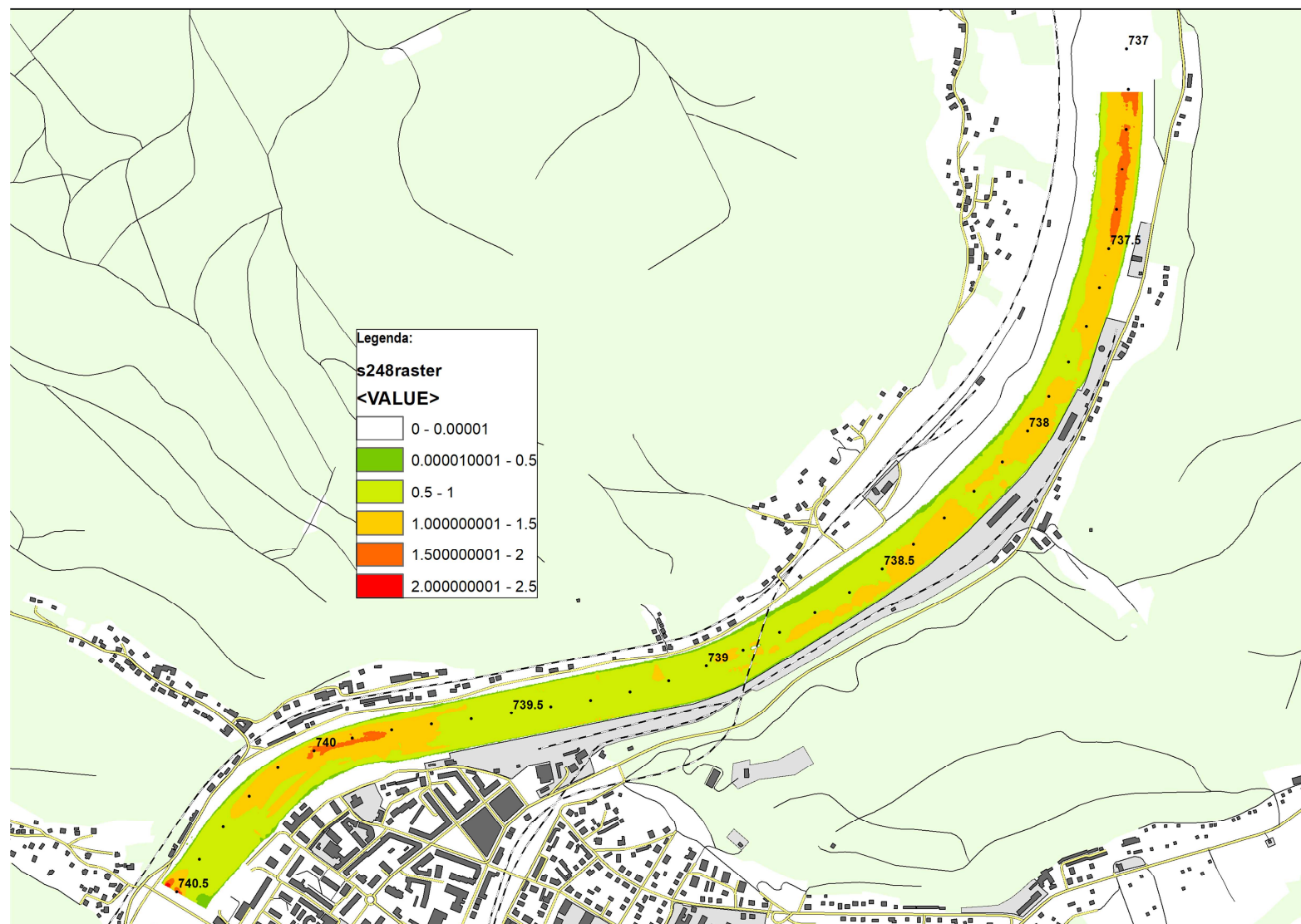
Výsledky této analýzy uvádí obr. 4.2 až obr. 4.4, kde jsou znázorněny mapy celkových rychlostí.



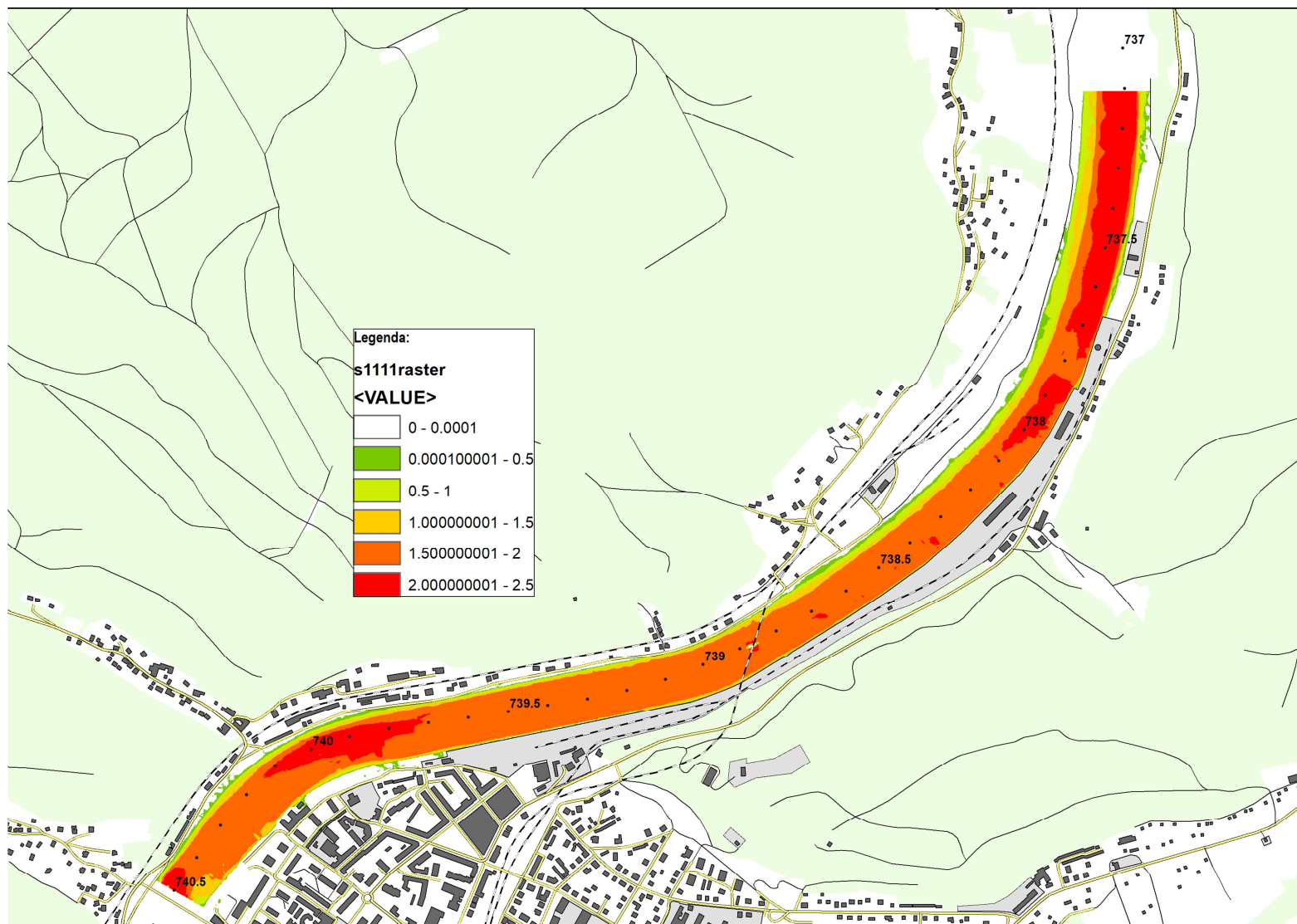
Obr. 4.1 Kalibrace matematického modelu. Porovnání měřených in-situ a vypočtených hladin při průtocích 120 a $189 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.
Poloha hladiny při $Q_5 = 2300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ je porovnána s výpočtem DHI a.s. (Mapování povodňových rizik, 2013).



Obr. 4.2 Rychlosti proudění pro současný stav a průtok $Q_{345d} = 117 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.



Obr. 4.3 Rychlosti proudění pro současný stav a průtok $Q_{180d} = 248 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.



Obr. 4.4 Rychlosti proudění pro současný stav a průtok $Q_{\max\text{plav}} = 1111 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

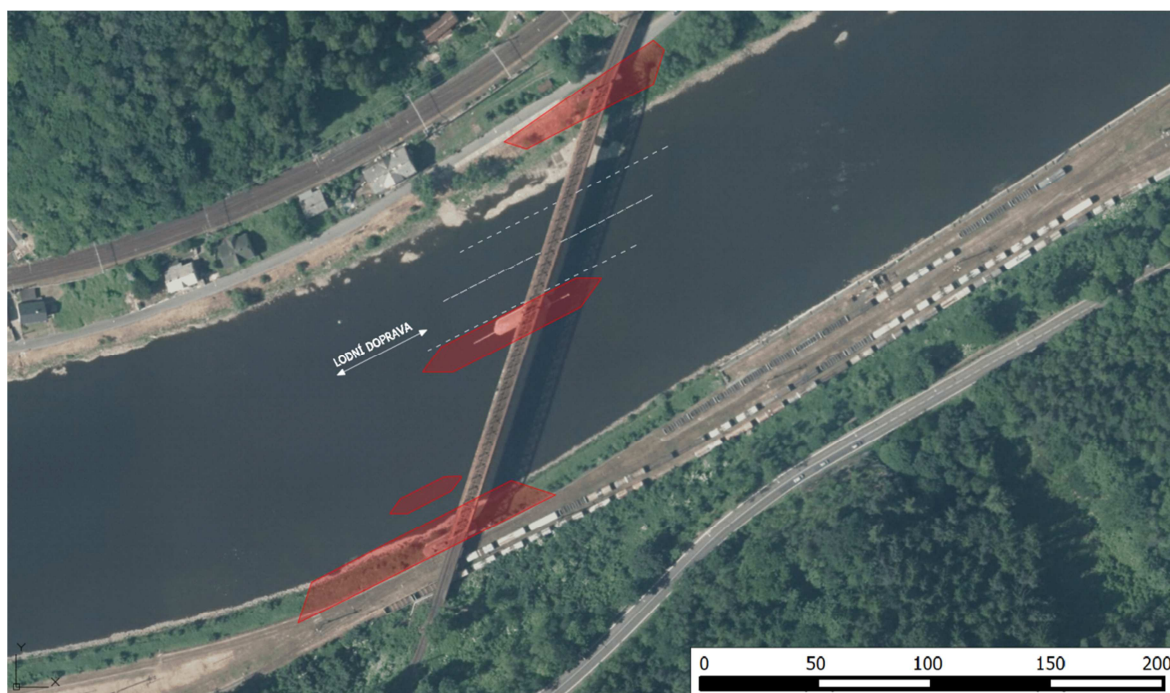
5. Sestavení modelu pro zadané fáze rekonstrukce mostu

Následně byla upravena geometrie oblasti proudění sestaveného 2D matematického modelu upravena pro celkem tři zadané fáze rekonstrukce mostu v ř. km 738,87. Úprava matematického modelu představovala vložení montážních bárek do průtočného profilu železničního mostu podle zadání projektanta (SUDOP PRAHA a.s.). Montážní bárky byly uvažovány na základě zadání jako neprůtočné ode dna po hladinu a jejich existence tedy ovlivňuje odtokové poměry a z pohledu plavby rovněž rychlostní pole.

Podle zadání byly ověřovány proudové poměry pro tyto fáze rekonstrukce mostu:

Fáze 1

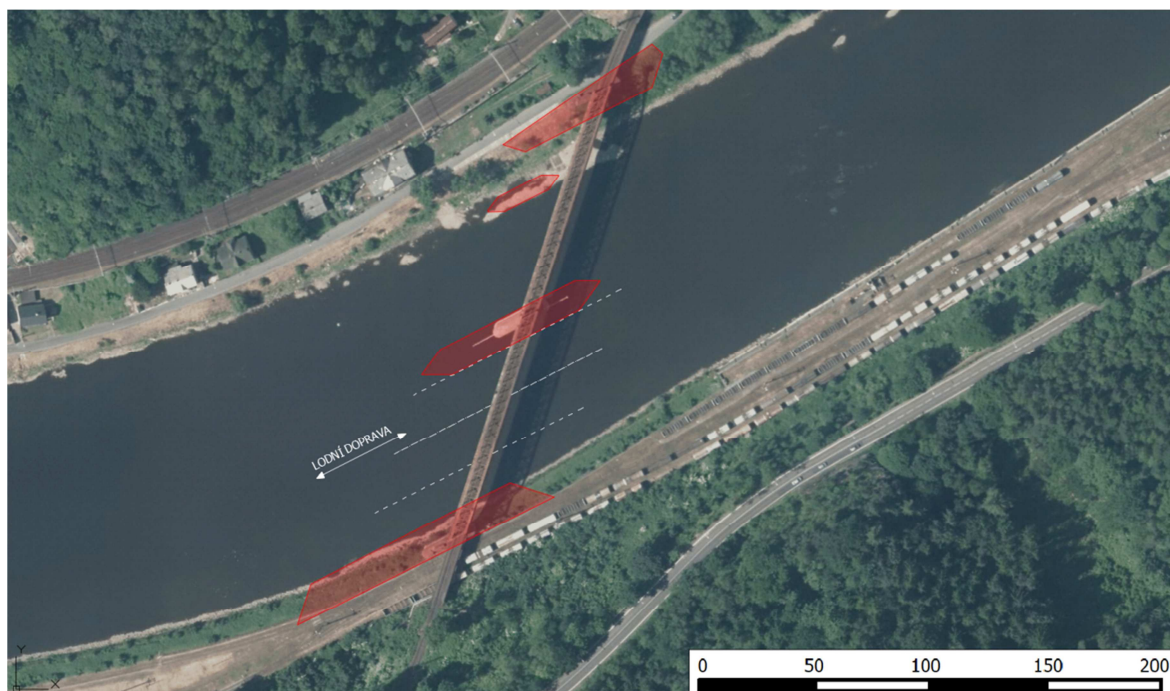
V rámci této fáze je omezen průtočný profil pravého pole mostu jednou montážní bárkou a plavba je vedena jednosměrně levým polem se šířkou plavební dráhy 31,59 m.



Obr. 5.1 Schéma rozmístění montážních bárek a plavební dráhy v rámci fáze 1.

Fáze 3

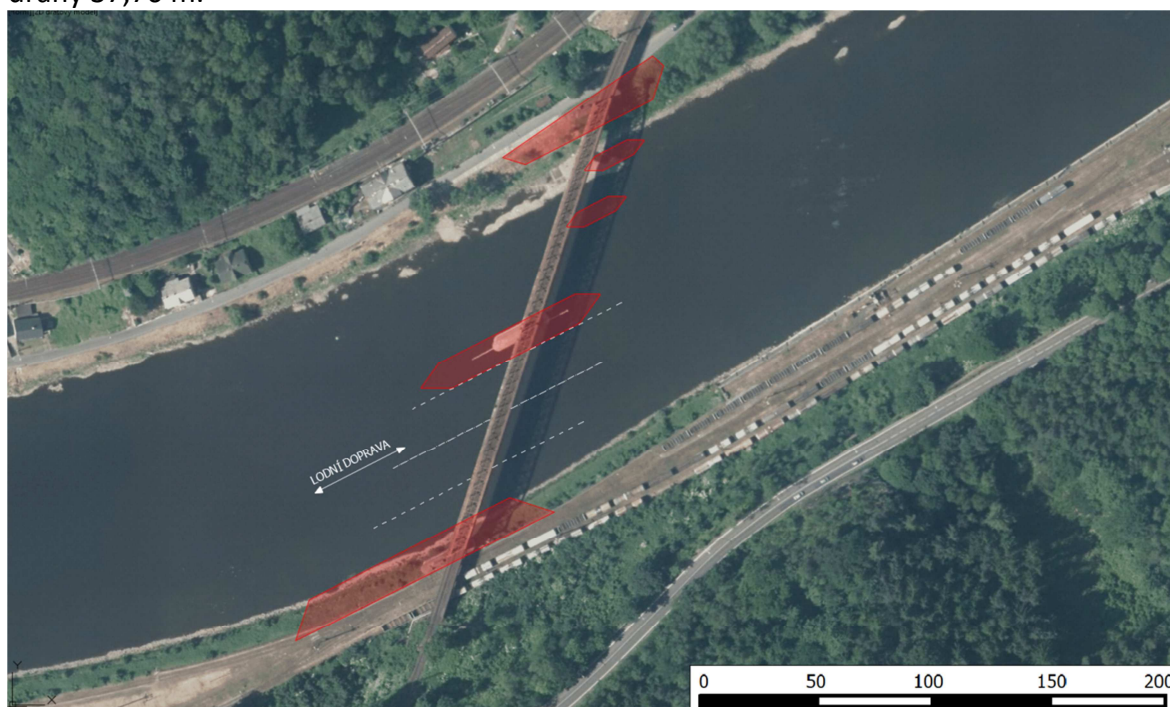
V rámci této fáze je omezen průtočný profil levého pole mostu a plavba je vedena jednosměrně pravým polem se šířkou plavební dráhy 37,76 m.



Obr. 5.2 Schéma rozmístění montážních bárek a plavební dráhy v rámci fáze 3.

Fáze 6

V rámci této fáze je omezen průtočný profil levého pole mostu (omezení je jiného rozsahu než v rámci fáze 3) a plavba je vedena jednosměrně pravým polem se šířkou plavební dráhy 37,76 m.



Obr. 5.3 Schéma rozmístění montážních bárek a plavební dráhy v rámci fáze 6.



6. Simulace rychlostních poměrů během fází rekonstrukce mostu

Simulace proudových poměrů byla vypočtena pro celou simulovanou oblast od Tyršova mostu v Děčíně (ř. km 740,52) po profil plánovaného plavebního stupně Děčín (ř. km 737,12). Uvedený rozsah modelu umožní zajistit reprezentativní podmínky proudění v prostoru posuzovaného železničního mostu v ř. km 738,87 pro současný stav a pro posuzované etapy rekonstrukce mostu.

Simulace byly zpracovány ve shodě se zadáním pro tyto průtokové situace:

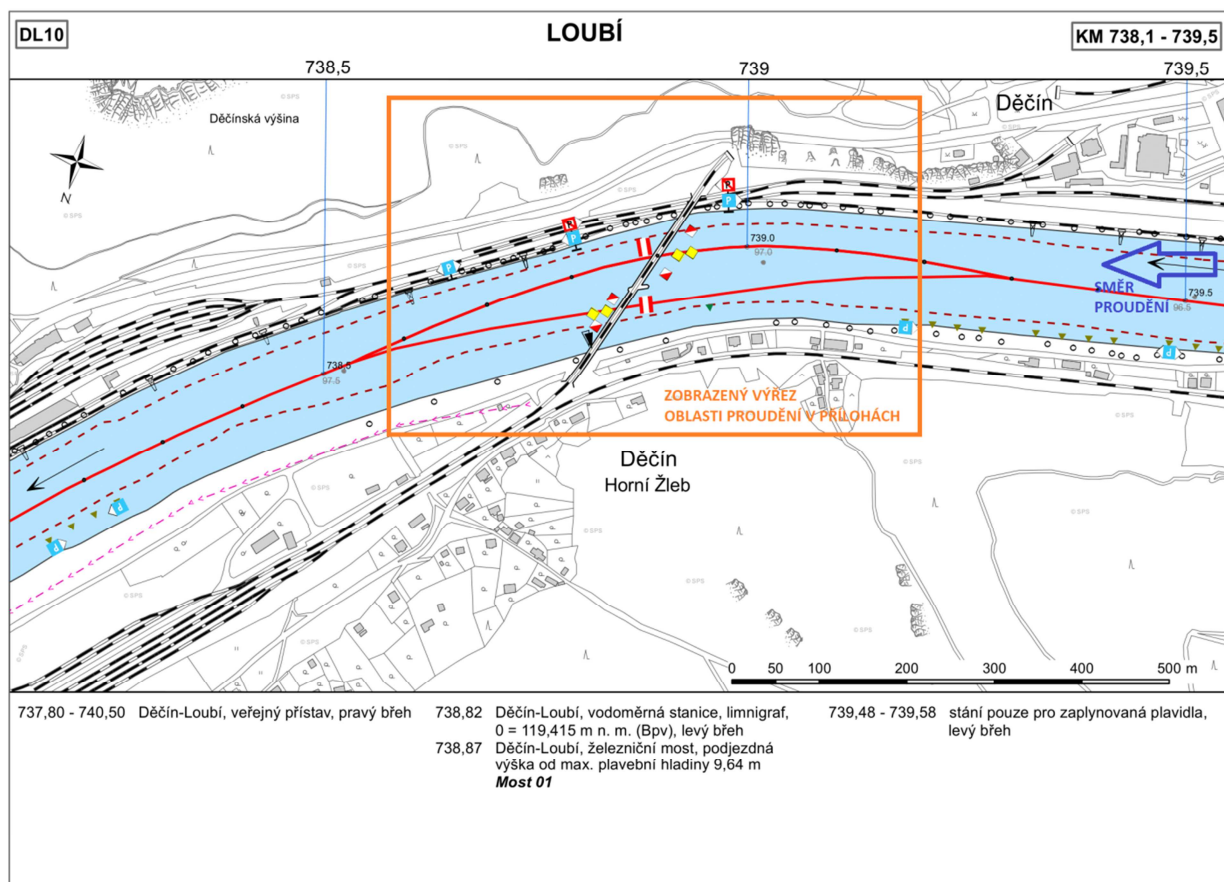
- minimální plavební průtok: $Q_{345d} = 117 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
- průtok 180-ti denní vody: $Q_{180d} = 248 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
- maximální plavební průtok: $Q_{\text{max,plav}} = 1111 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Pro možnost posouzení změny plavebních podmínek v rámci jednotlivých fází výstavby byly simulovány pro všechny průtokové situace tyto geometrie oblasti proudění:

- současný stav mostních pilířů a plavební dráhy,
- fáze 1,
- fáze 3,
- fáze 6.

Celkem bylo tedy hodnoceno 12 výpočetních variant. Všechny varianty výpočtu byly podrobně dokumentovány pomocí celkových rychlostí proudění a velikostí příčné složky rychlosti kolmé na osu plavební dráhy. Pro možnost snadnější interpretace výsledků simulací byly dále zařazeny rozdílové mapy, které umožňují pohotové srovnání rozdílů mezi celkovými rychlostmi a hodnotami příčné složky pro jednotlivé fáze rekonstrukce ve srovnání se současným stavem.

Výsledná rychlostní pole jsou podrobně dokumentována v nejbližším okolí posuzovaného železničního mostu v ř. km 738,87. Na obr. 6.1 je znázorněn rozsah oblasti proudění v úseku cca ř. km 738,6 až 739,2, který je podrobně dokumentován v přílohách.



Obr. 6.1 Zobrazovaný výřez oblasti proudění v přílohách na podkladě plavební mapy.

6.1 Vyhodnocení celkových rychlostí

Celkové rychlosti proudění pro jednotlivé varianty jsou obsahem přílohy č. 2. Celkové rychlosti jsou v přílohách dokumentovány v barevné škále podle legendy v příloze č. 1, podle které jsou rychlosti nad 1 m.s^{-1} klasifikovány do intervalů po $0,25 \text{ m.s}^{-1}$. Změny celkových rychlostí proudění v rámci jednotlivých fází rekonstrukce mostu ve srovnání se současným stavem jsou přehledně dokumentovány formou rozdílových map v příloze č. 4.

Výsledky simulací uvádí následující tab. 6.1, která shrnuje maximální rychlosti proudění v plavební dráze v okolí posuzovaného mostu. Zvýšení rychlostí proudění v plavební dráze dokumentuje tab. 6.2. Z výsledků vyplývají tyto poznatky:

- při průtoku $117 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ zůstávají celkové rychlosti ve všech posuzovaných variantách do 1 m.s^{-1} . Zvýšení rychlostí v plavební dráze je do $0,1 \text{ m.s}^{-1}$.
- při průtoku $248 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ zůstávají celkové rychlosti ve všech posuzovaných variantách do $1,25 \text{ m.s}^{-1}$. Lokální zvýšení rychlostí v plavební dráze je do $0,3 \text{ m.s}^{-1}$.

- při průtoku $1111 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ jsou celkové rychlosti za současné situace do $2,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a ve všech posuzovaných fázích rekonstrukce do $2,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Lokální zvýšení rychlostí v plavební dráze je do $0,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Tab. 6.1 Maximální hodnoty celkových rychlostí proudění v plavební dráze.

maximální celkové rychlosti v plavební dráze [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]	průtok		
	Q_{345d} $117 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Q_{180d} $248 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Q_{maxplav} $1111 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Současný stav	≤ 1	≤ 1.25	≤ 2
Fáze 1	≤ 1	≤ 1.25	≤ 2.25
Fáze 3	≤ 1	≤ 1.25	≤ 2.25
Fáze 6	≤ 1	≤ 1.25	≤ 2.25

Tab. 6.2 Lokální zvýšení celkových rychlostí proudění v plavební dráze ve srovnání se současným stavem.

Lokální zvýšení celkové rychlosti v plavební dráze [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]	průtok		
	Q_{345d} $117 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Q_{180d} $248 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Q_{maxplav} $1111 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Fáze 1	0 - 0.1	0.1 - 0.3	0.1 - 0.4
Fáze 3	0 - 0.1	0.1 - 0.3	0.1 - 0.4
Fáze 6	0 - 0.1	0.1 - 0.3	0.1 - 0.4

Při posouzení zvýšení celkových rychlostí v plavební dráze v rámci jednotlivých etap rekonstrukce mostu lze využít limitní hodnotu cca $2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (Medřický, 2009), která by neměla být na splavných vodních tocích překračována. V této souvislosti lze konstatovat, že v rámci všech etap je uvedený požadavek splněn. Při zohlednění rozdělení střední svislicové rychlosti ve směru svislé osy dle obr. 3.2 je třeba počítat v hladinové vrstvě s kulminačními hodnotami rychlostí o cca 17 % většími než dle tab. 6.1. Za těchto okolností se v hladinové vrstvě rychlosti proudění dostanou na úroveň cca $2,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Vzhledem k poměrně lokálnímu charakteru překročení doporučeného limitu $2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ lze očekávat, že z pohledu celkových rychlostí budou během rekonstrukce železničního mostu ve všech posuzovaných etapách zajištěny se zvýšenou opatrností bezpečné plavební podmínky.

6.2 Vyhodnocení příčných složek rychlostí

V rámci následující analýzy byly na základě simulací proudění vyhodnoceny také příčné složky rychlostí. Příčné složky rychlosti jsou hodnoceny ve směru kolmém na osu plavební dráhy. Analýza je zařazena zejména s ohledem na posouzení příčných rychlostí v okolí mostních pilířů a montážních bábek, kde je možné jejich hodnoty porovnávat analogicky s limitem $0,2 \text{ m.s}^{-1}$ dle Vyhlášky č. 222/1995 Sb. platným pro příčnou složku rychlosti proudění vody v plavební dráze bezprostředně před svodidly nebo zhlavím dělicí zdi rejdu plavebních komor.

Příčné složky rychlosti jsou v příloze č. 3 dokumentovány v barevné škále podle legendy v příloze č. 1, podle které jsou hodnoty větší než $0,2 \text{ m.s}^{-1}$ klasifikovány do intervalů po $0,1 \text{ m.s}^{-1}$. Barevná škála červené přitom znamená příčnou složku směrem vlevo od osy plavební dráhy a modrá pak vpravo od osy plavební dráhy (ve směru toku Labe). U variant současného stavu jsou příčné složky rychlosti vyhodnoceny zvlášť pro plavbu levým a pravým polem mostu, protože osy plavební dráhy se liší (viz obr. 6.1). U variant jednotlivých fází je plavba vždy vedena pouze jedním mostním polem.

Změny příčných složek rychlostí v rámci jednotlivých fází rekonstrukce mostu ve srovnání se současným stavem jsou přehledně dokumentovány formou rozdílových map v příloze č. 5. Výsledky simulací uvádí následující tab. 6.3, která shrnuje maximální příčné rychlosti v plavební dráze v okolí posuzovaného mostu. Rychlosti jsou hodnoceny v bezpečné vzdálenosti od montážních bábek cca 5 m.

Tab. 6.3 Maximální hodnoty příčných rychlostí v plavební dráze.

maximální příčné rychlosti v plavební dráze [m.s^{-1}]	průtok		
	Q_{345d} $117 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$	Q_{180d} $248 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$	Q_{maxplav} $1111 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$
Současný stav	≤ 0.2	≤ 0.2	≤ 0.4
Fáze 1	≤ 0.2	≤ 0.2	≤ 0.4
Fáze 3	≤ 0.2	≤ 0.3	≤ 0.4
Fáze 6	≤ 0.2	≤ 0.3	≤ 0.5

Tab. 6.4 Lokální zvýšení příčných rychlostí v plavební dráze ve srovnání se současným stavem.

lokální zvýšení příčné rychlosti v plavební dráze [m.s^{-1}]	průtok		
	Q_{345d} $117 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$	Q_{180d} $248 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$	Q_{maxplav} $1111 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$
Fáze 1	0.1 - 0.2	0.1 - 0.2	0.1 - 0.4
Fáze 3	0.1 - 0.2	0.1 - 0.2	0.1 - 0.4
Fáze 6	0.1 - 0.2	0.1 - 0.3	0.1 - 0.4



Z výsledků vyplývají tyto poznatky:

- při průtoku $117 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ zůstávají příčné rychlosti ve všech posuzovaných variantách do $0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Lokální zvýšení příčné složky rychlosti odpovídá okrajům montážní bárky okolo středního pilíře.
- při průtoku $248 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ zůstávají příčné rychlosti ve všech posuzovaných variantách do $0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ s výjimkou fáze č. 6, kde v okolí montážní bárky okolo středního pilíře dosahují příčné složky do $0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Lokální zvýšení příčné složky rychlosti odpovídá okrajům montážní bárky okolo středního pilíře.
- při průtoku $1111 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ jsou příčné rychlosti rychlosti za současné situace do $0,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ stejně jako v případě fází č. 1 a č. 3. U fáze č. 6 došlo k mírnému zvýšení příčné složky do $0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Lokální zvýšení příčné složky rychlosti odpovídá okrajům montážní bárky okolo středního pilíře.

Na základě zpracované analýzy příčných rychlostí v mostním profilu je možné konstatovat, že hodnoty příčných rychlostí jsou ve srovnání se současným stavem mírně navýšeny v případě maximálního plavebního průtoku $1111 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Jde o oblast v bezprostředním okolí zhlaví montážních bárek. Při plavbě v dostatečné vzdálenosti od střední montážní bárky cca 10 m již hodnoty příčných rychlostí klesnou k limitní hodnotě $0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. S ohledem na uvažovaný jednosměrný provoz v rámci rekonstrukce mostu a šířce plavební dráhy v rámci fáze č. 3 a fáze č. 6 o hodnotě 37,76 m, lze očekávat, že z pohledu příčných rychlostí budou během rekonstrukce železničního mostu ve všech posuzovaných etapách zajištěny se zvýšenou opatrností bezpečné plavební podmínky.



7. Závěry

Cílem analýzy je posouzení změny plavebních podmínek během rekonstrukce železničního mostu přes Labe na trati Děčín východ - Děčín Prostřední Žleb v ř. km 738,87. Toto posouzení je založeno na kvantifikaci rychlostních poměrů pro vybrané plavební průtoky Q_{345d} , Q_{180d} a $Q_{maxplav}$ pomocí 2D matematického modelu. V rámci řešení byl v souladu se zadáním sestaven 2D matematický model proudění. Řešení dospělo k těmto dílčím závěrům:

1. Sestavený 2D matematický model byl podrobně kalibrován s využitím dostupných kalibračních dat. Kalibrace spočívala v optimalizaci součinitele Manningovy drsnosti koryta toku tak, aby byly minimalizovány odchylky mezi simulovanými a kalibračními hladinami v zájmovém úseku Labe v rozmezí ř. km 737,12 až 740,50. Kalibrační hladiny byly tvořeny zaznamenanými průběhy hladin při průtocích 120 a 189 $m^3 \cdot s^{-1}$ měřením in situ a průběhu hladin při průtoku pětileté povodně $Q_5 = 2300 m^3 \cdot s^{-1}$ odvozené v roce 2013 v rámci mapování povodňových rizik (DHI a.s.).
2. Dosažené odchylky hladiny v celém zájmovém úseku se pohybují v rozmezí ± 11 cm. V nejbližším okolí železničního mostu v úseku ř. km 738,8 až 738,9 činí odchylky pouze ± 5 cm. Získané výsledky dávají výborné předpoklady pro využití sestaveného modelu pro spolehlivou simulaci rychlostních poměrů v zájmovém úseku Labe a následné vyhodnocení plavebních podmínek.
3. Sestavený model s roztečí výpočetních buněk 1x1 m umožnil podrobně kvantifikovat rychlostní poměry v zájmovém úseku Labe pro současný stav a pro tři zadané fáze výstavby označené v přípravné dokumentaci jako fáze č. 1, fáze č. 3 a fáze č. 6. Simulovány byly rychlostní poměry pro zadané průtoky $Q_{345d} = 117 m^3 \cdot s^{-1}$, $Q_{180d} = 248 m^3 \cdot s^{-1}$ a $Q_{maxplav} = 1111 m^3 \cdot s^{-1}$.
4. V rámci zpracovaných simulací byly hodnoceny hodnoty celkových rychlostí a příčných složek rychlostí kolmých na osu plavební dráhy. Celkové rychlosti proudění získané 2D matematickým modelem jsou průměrné hodnoty ve svislici a v žádném z posuzovaných případů nepřesáhly doporučený limit 2,5 $m \cdot s^{-1}$. Při zohlednění rozdělení rychlostí ve svislici lze předpokládat, že v hladinové vrstvě bude maximální rychlost proudění cca 2,6 $m \cdot s^{-1}$ a dojde tak ke slabému překročení doporučeného limitu. Maximální hodnoty příčné složky rychlosti se významně neliší od současného stavu a k překročení doporučené hodnoty 0,2 $m \cdot s^{-1}$ (platné pro okolí zhlaví dělících pilířů v rejdách plavebních komor dle vyhlášky č. 222/1995 Sb.) dochází při plavbě v okolí montážní bárky okolo středního mostního pilíře ve vzdálenosti cca 5 m. Ve vzdálenosti cca 10 m již je doporučený limit téměř dodržen.
5. Závěrem lze očekávat, že z pohledu celkových rychlostí a příčných složek rychlostí budou během rekonstrukce železničního mostu ve všech posuzovaných etapách zajištěny se zvýšenou opatrností bezpečné plavební podmínky.



SEZNAM LITERATURY

1. Čábelka, J., Gabriel P.: Matematické a fyzikální modelování v hydrotechnice 1 - Výzkum na hydraulických modelech a ve skutečnosti. Academia, Praha, 1987.
2. Fošumpaur, P., Kašpar, T., Kučerová, J., Zukal, M.: Fyzikální model úpravy kynety pod plavebním stupněm Děčín. Závěrečná zpráva. ČVUT v Praze ve spolupráci s VÚV T.G.M., v.v.i. Praha, 10/2016.
3. Fošumpaur, P., Králík, M., Zukal, M., Balvín, P., Bouška, P., Gabriel, P., Motl, O., Šepelák, J.: Fyzikální model úpravy kynety pod plavebním stupněm Děčín. Metodika výzkumu. ČVUT v Praze ve spolupráci s VÚV T.G.M., v.v.i. Praha, 08/2015.
4. Medřický, V., Valenta, P.: Vodní cesty. Navrhování plavebních komor. Skriptum ČVUT. Praha 2009.
5. Plavební mapy. List DL10. Státní plavební správa. <http://mapy.spspraha.cz/lpm/>
6. Povodí Labe, státní podnik. Závod Roudnice nad Labem. Zaměření koryta Labe v úseku ř. km 737,12 až ř. km 740,52 ze dne 21.10.2017.
7. Sedlák, V.: Matematický model převádění vody během výstavby plavebního stupně Děčín. Diplomová práce. Vedoucí práce: Fošumpaur, P., Praha 2018.
8. SUDOP PRAHA a.s.: Výkres etap rekonstrukce mostu s vyznačením poloh montážních bábek v jednotlivých posuzovaných fázích výstavby (fáze č. 1, fáze č. 3 a fáze č. 6). 11/2017.
9. U. S. Army Corps of Engineers: HEC-RAS 2D. Matematický 2D model proudění vody. 2016.
10. Vyhláška Ministerstva dopravy 67/2015 Sb. ze dne 1. dubna 2015 o pravidlech plavebního provozu (pravidla plavebního provozu).



PŘÍLOHY

1. Legenda pro mapy rychlostí

2. Celkové rychlosti proudění

- 2.1 Současný stav průtok $117 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- 2.2 Současný stav průtok $248 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- 2.3 Současný stav průtok $1111 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- 2.4 Fáze 1 průtok $117 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- 2.5 Fáze 1 průtok $248 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- 2.6 Fáze 1 průtok $1111 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- 2.7 Fáze 3 průtok $117 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- 2.8 Fáze 3 průtok $248 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- 2.9 Fáze 3 průtok $1111 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- 2.10 Fáze 6 průtok $117 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- 2.11 Fáze 6 průtok $248 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- 2.12 Fáze 6 průtok $1111 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

3. Příčné složky rychlosti proudění

- 3.1 Současný stav průtok $117 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, příčné složky k dráze v levém poli mostu
- 3.2 Současný stav průtok $117 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, příčné složky k dráze v pravém poli mostu
- 3.3 Současný stav průtok $248 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, příčné složky k dráze v levém poli mostu
- 3.4 Současný stav průtok $248 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, příčné složky k dráze v pravém poli mostu
- 3.5 Současný stav průtok $1111 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, příčné složky k dráze v levém poli mostu
- 3.6 Současný stav průtok $1111 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, příčné složky k dráze v pravém poli mostu
- 3.7 Fáze 1 průtok $117 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- 3.8 Fáze 1 průtok $248 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- 3.9 Fáze 1 průtok $1111 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- 3.10 Fáze 3 průtok $117 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- 3.11 Fáze 3 průtok $248 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- 3.12 Fáze 3 průtok $1111 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- 3.13 Fáze 6 průtok $117 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- 3.14 Fáze 6 průtok $248 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- 3.15 Fáze 6 průtok $1111 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

4. Rozdílové mapy celkových rychlostí

- 4.1 Fáze 1 - Současný stav průtoky $117, 248 \text{ a } 1111 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- 4.2 Fáze 3 - Současný stav průtoky $117, 248 \text{ a } 1111 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- 4.3 Fáze 6 - Současný stav průtoky $117, 248 \text{ a } 1111 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

5. Rozdílové mapy příčných složek rychlosti

- 5.1 Fáze 1 - Současný stav průtoky $117, 248 \text{ a } 1111 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- 5.2 Fáze 3 - Současný stav průtoky $117, 248 \text{ a } 1111 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- 5.3 Fáze 6 - Současný stav průtoky $117, 248 \text{ a } 1111 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Legenda map

společné symboly

-  staničení Labe
-  osa toku
-  osa plavební dráhy
-  okraj plavební dráhy
-  pilíře mostu
-  dočasné stavební bárky

Výsledky projektu:
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

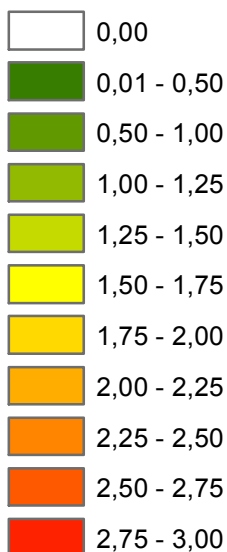
měřítko: 1 : 2 000
podklad: ortofoto + katastrální mapa

stavy pro:
- průtoky: 117, 248 a 1111 m³/s
- etapy: současný stav, fáze 1, 3 a 6

březen 2018
ČVUT v Praze, Stavební fakulta

Mapy celkových rychlostí (12x)

celková rychlost [m/s]

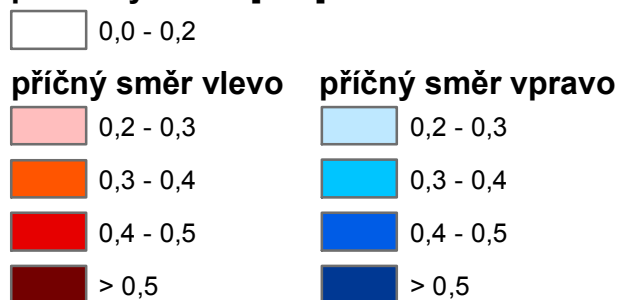


směr celkových rychlostí

→ směr rychlosti, velikost šipek: 1 cm = 4 m/s

Mapy příčných rychlostí (15x)

příčná rychlost [m/s]

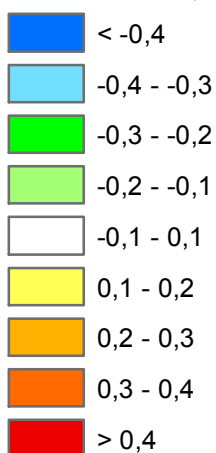


směr celkových rychlostí

→ směr rychlosti, velikost šipek: 1 cm = 4 m/s

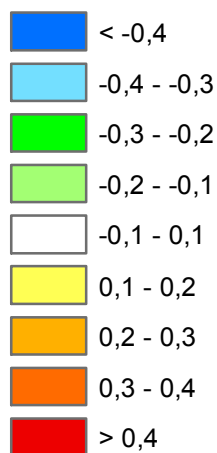
Rozdíl celkových rychlostí (9 x)

rozdíl fází 1, 3 a 6 vůči SS [m/s]

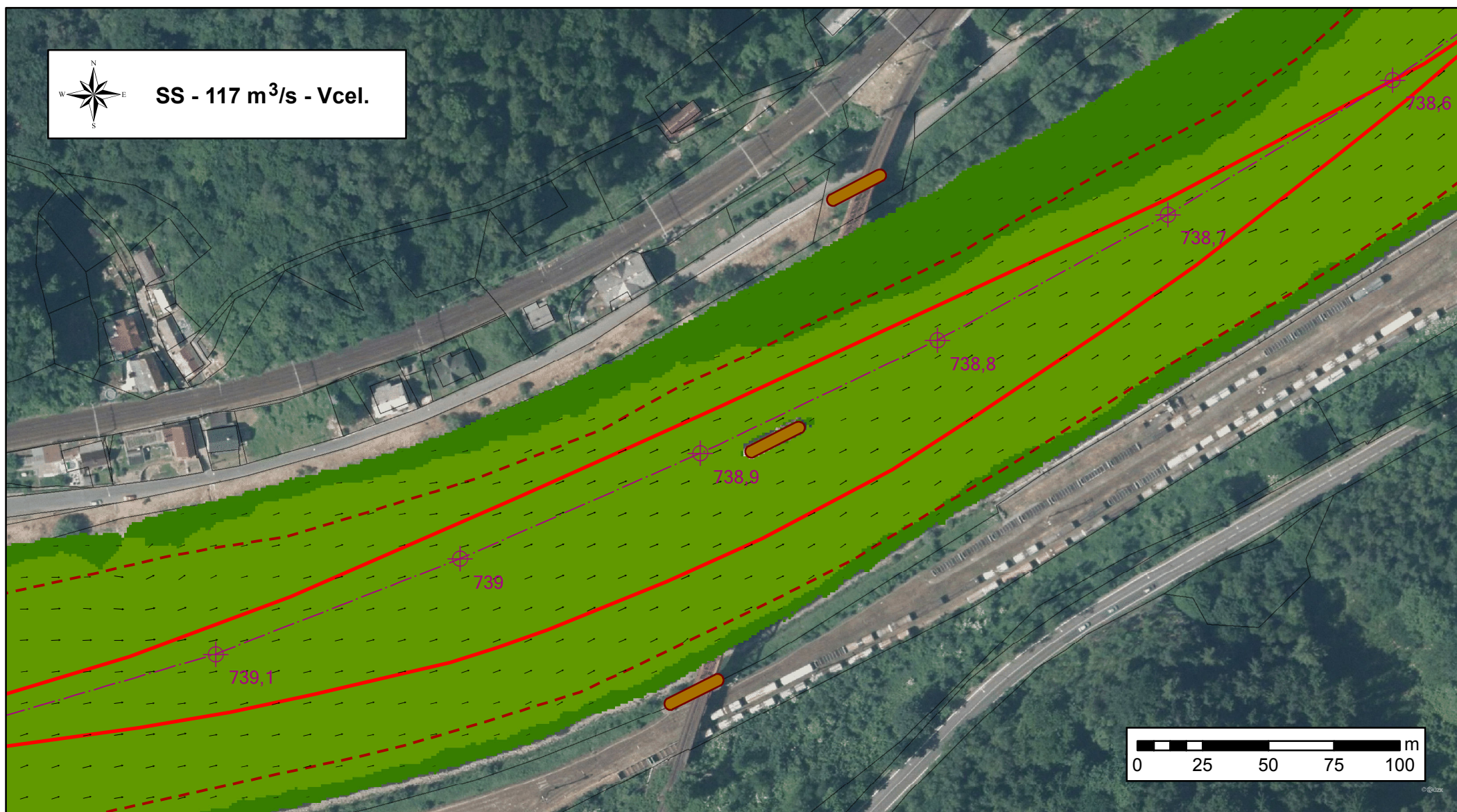


Rozdíl příčných rychlostí (9 x)

rozdíl fází 1, 3 a 6 vůči SS [m/s]



Příloha č. 1



Příloha č. 2.1

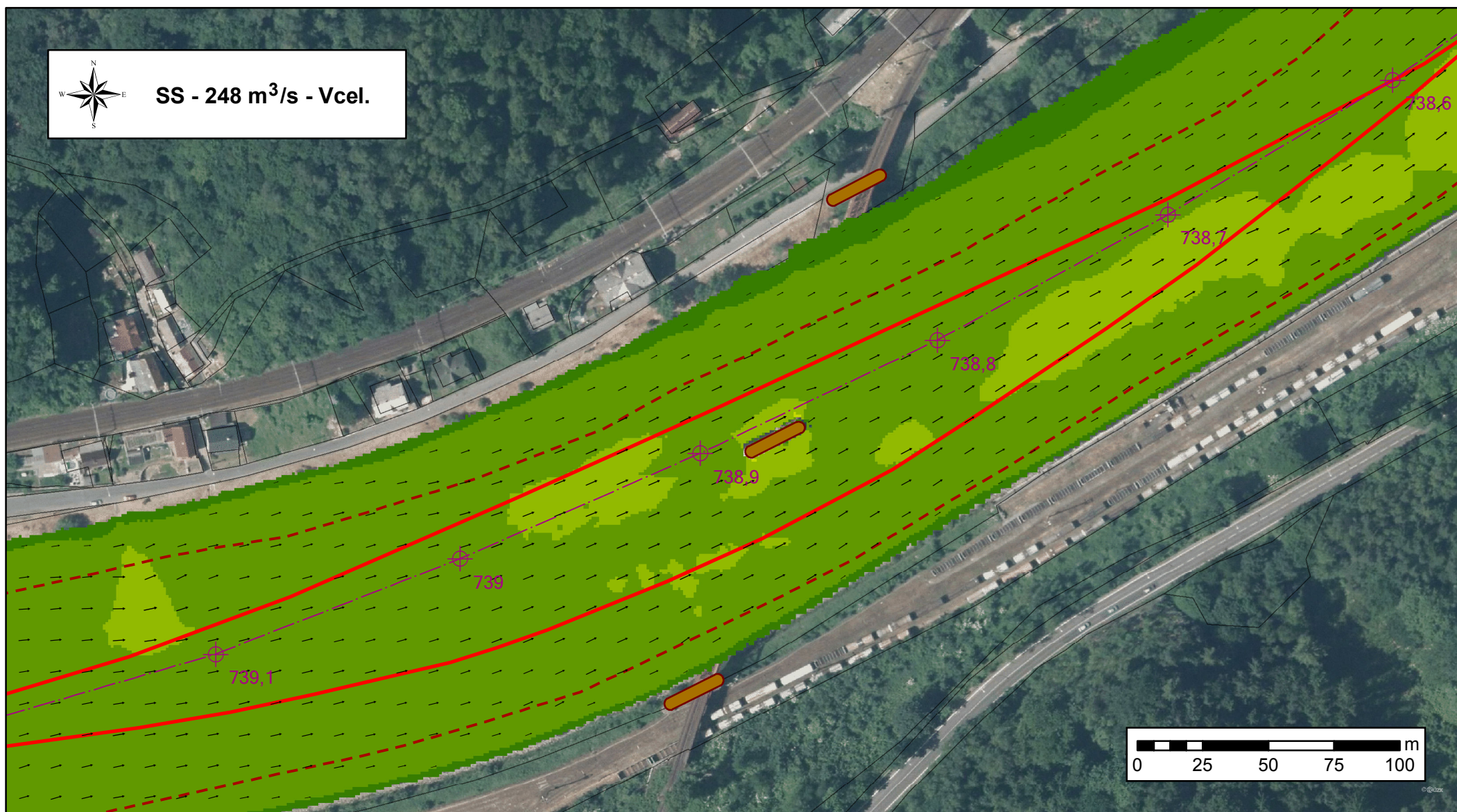
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Celkové rychlosti při průtoku 117 m³/s - současný stav (etapa 0)

březen 2018

M 1: 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



Příloha č. 2.2

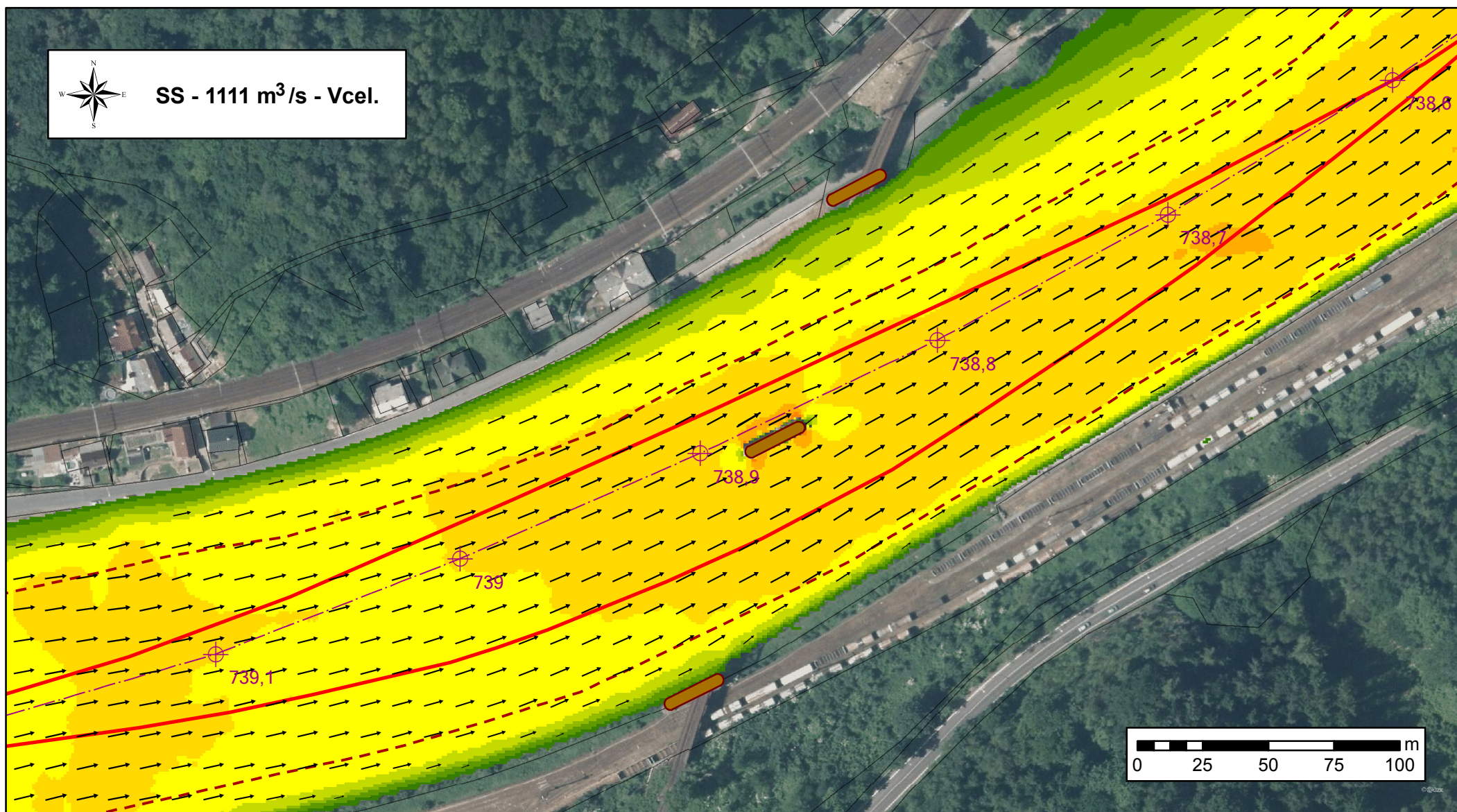
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Celkové rychlosti při průtoku $248 \text{ m}^3/\text{s}$ - současný stav (etapa 0)

březen 2018

M 1: 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



Příloha č. 2.3

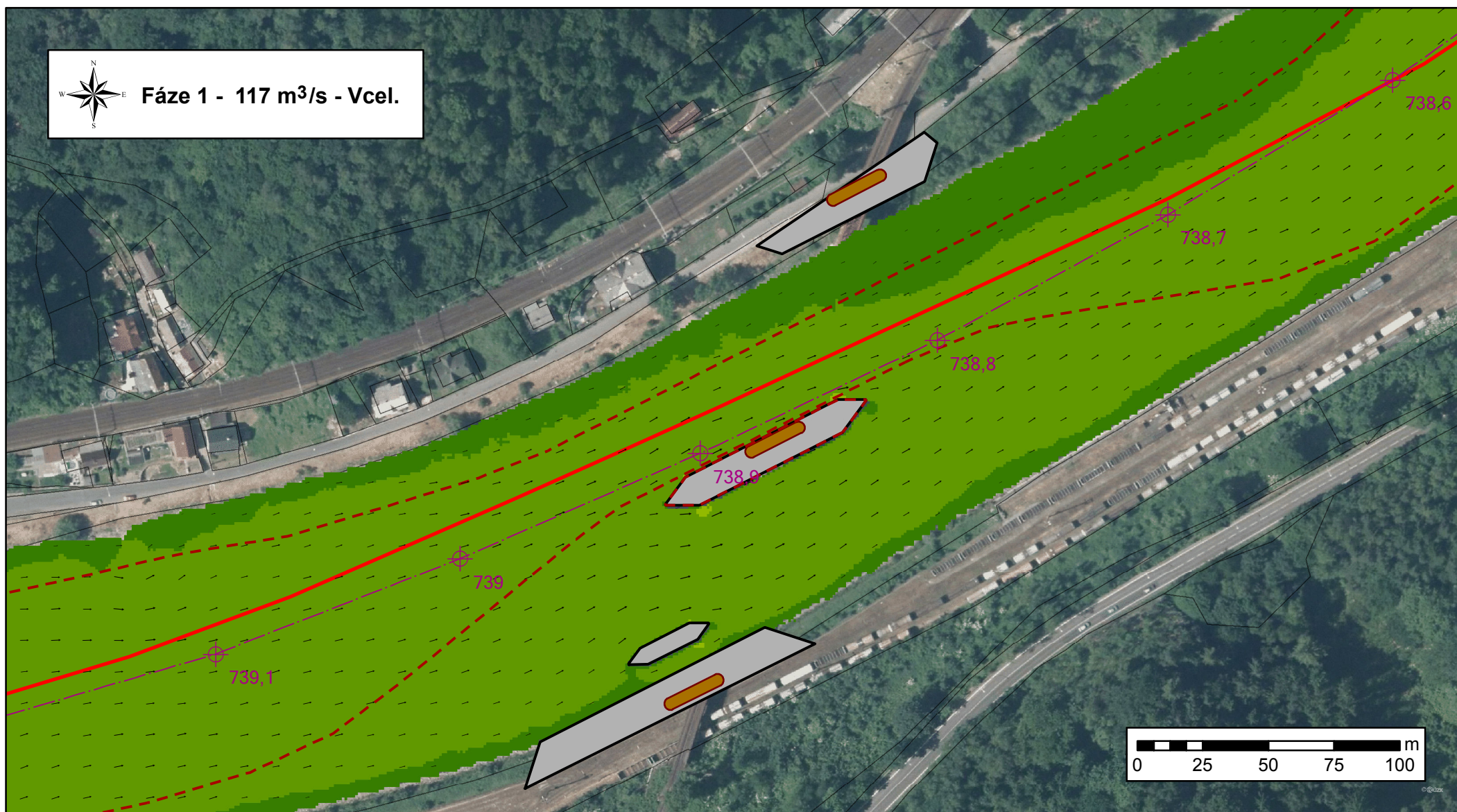
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Celkové rychlosti při průtoku 1111 m³/s - současný stav (etapa 0)

březen 2018

M 1: 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



Příloha č. 2.4

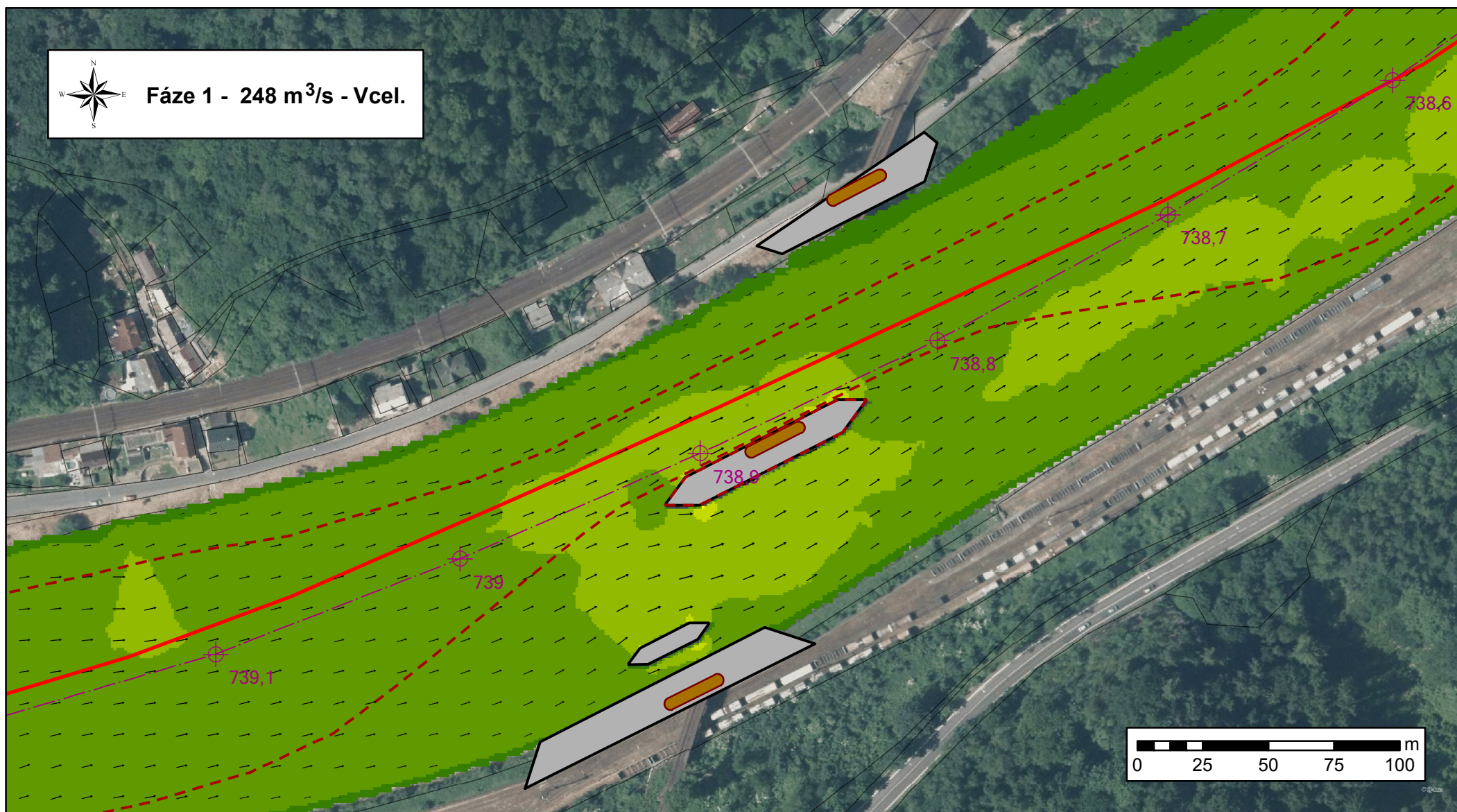
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Celkové rychlosti při průtoku 117 m³/s - Fáze 1

březen 2018

M 1: 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



Příloha č. 2.5

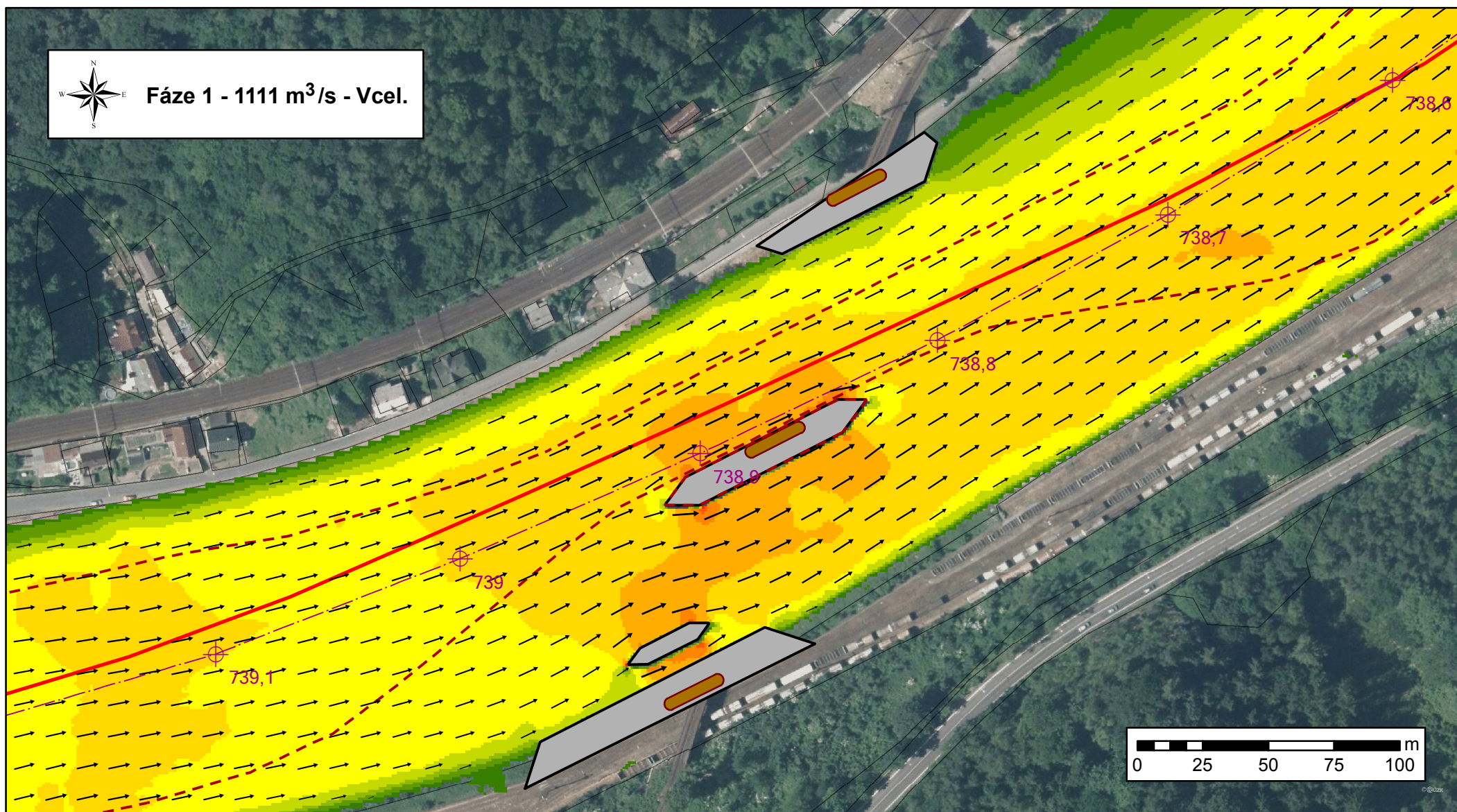
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Celkové rychlosti při průtoku 248 m³/s - Fáze 1

březen 2018

M 1: 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



Příloha č. 2.6

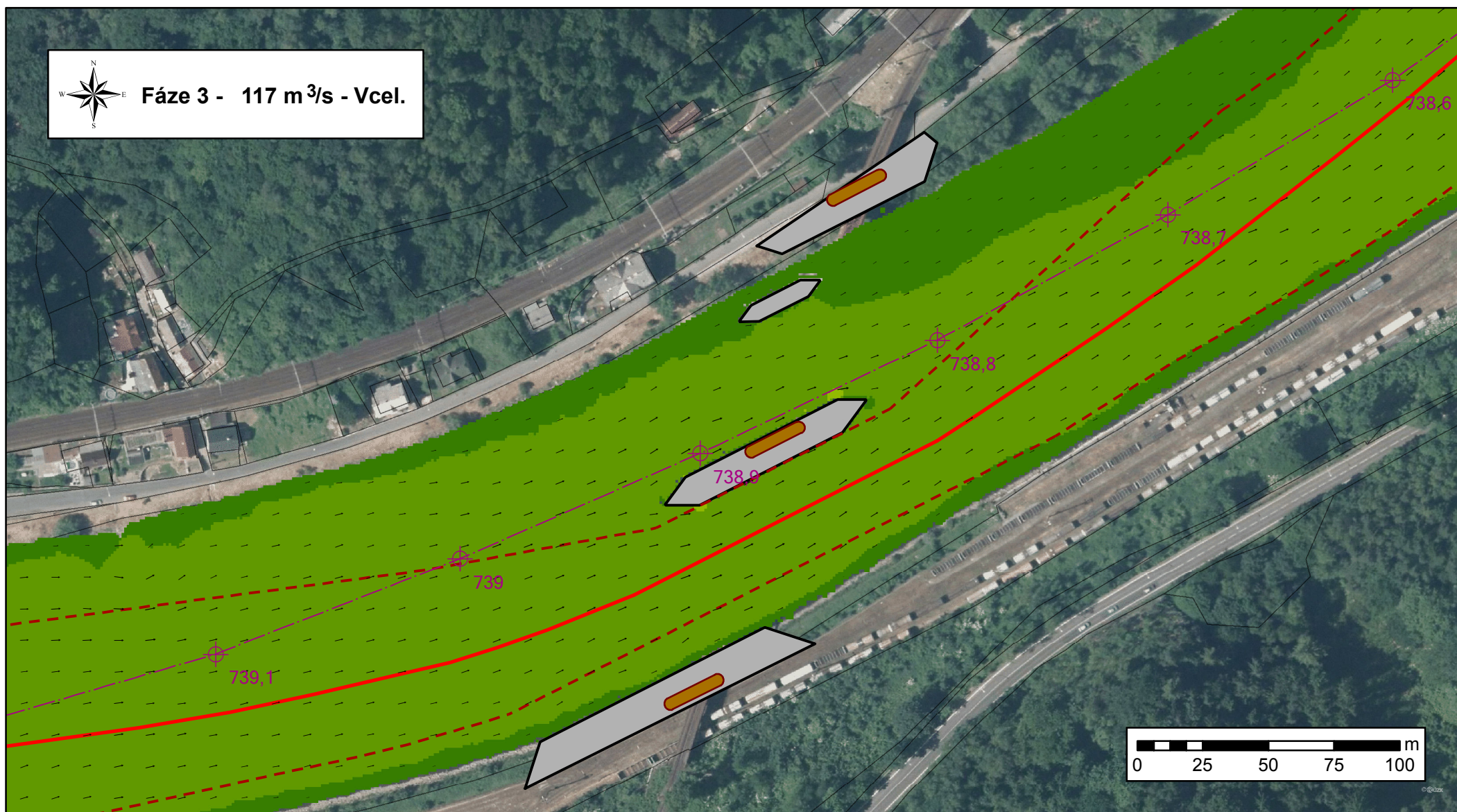
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Celkové rychlosti při průtoku 1111 m³/s - Fáze 1

březen 2018

M 1: 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



Příloha č. 2.7

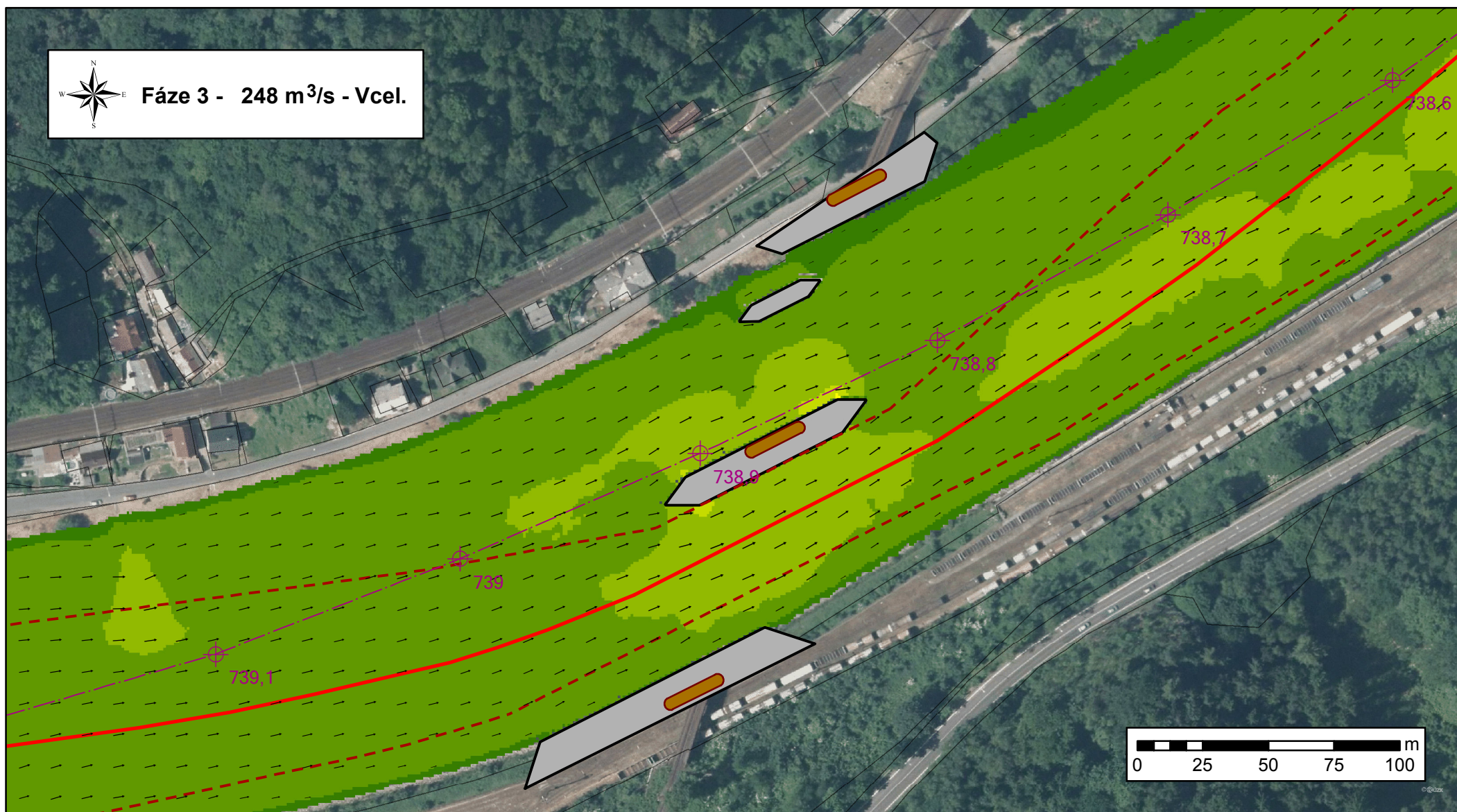
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Celkové rychlosti při průtoku 117 m³/s - Fáze 3

březen 2018

M 1: 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



Příloha č. 2.8

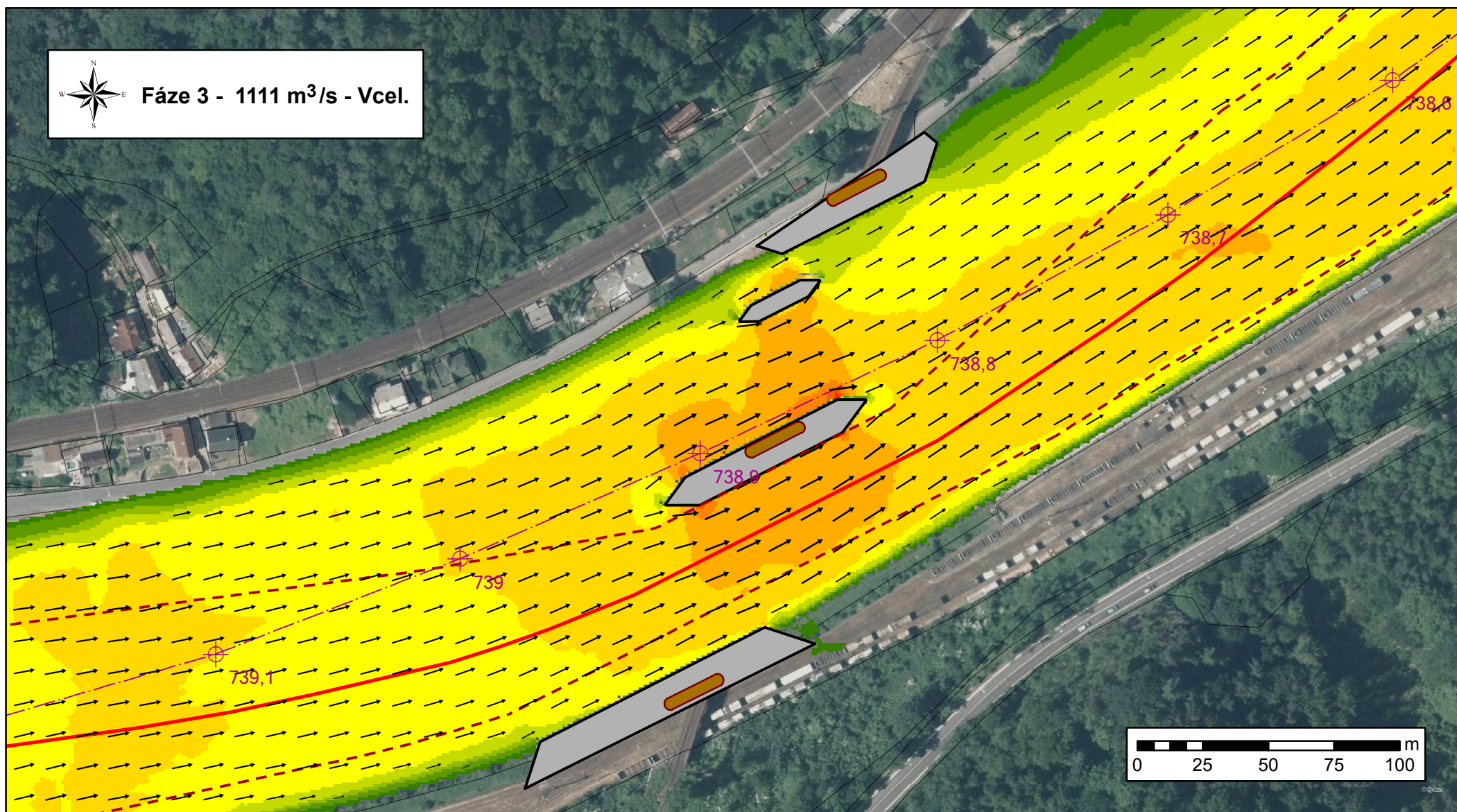
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Celkové rychlosti při průtoku 248 m³/s - Fáze 3

březen 2018

M 1: 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



Příloha č. 2.9

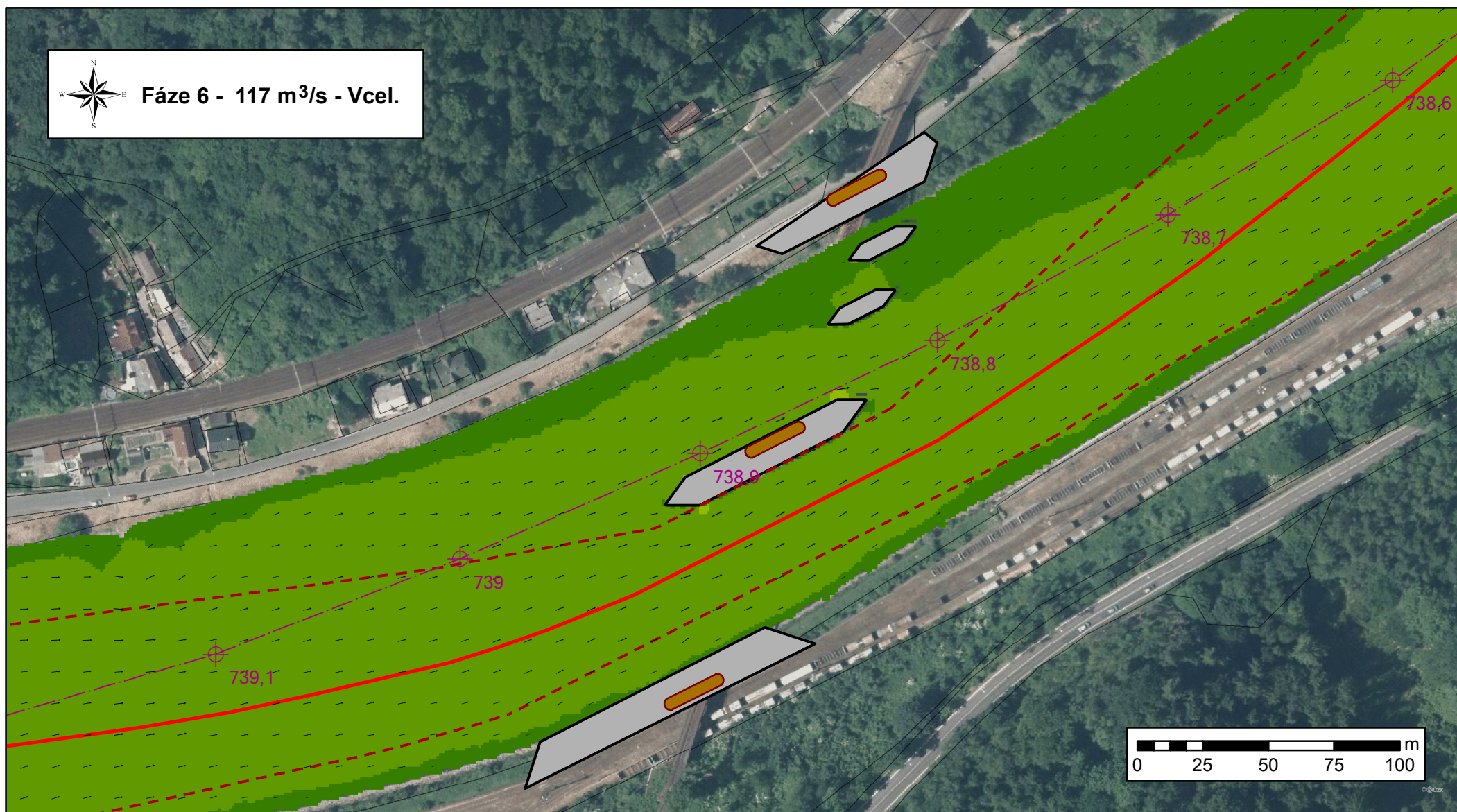
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Celkové rychlosti při průtoku $1111 \text{ m}^3/\text{s}$ - Fáze 3

březen 2018

M 1: 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



Příloha č. 2.10

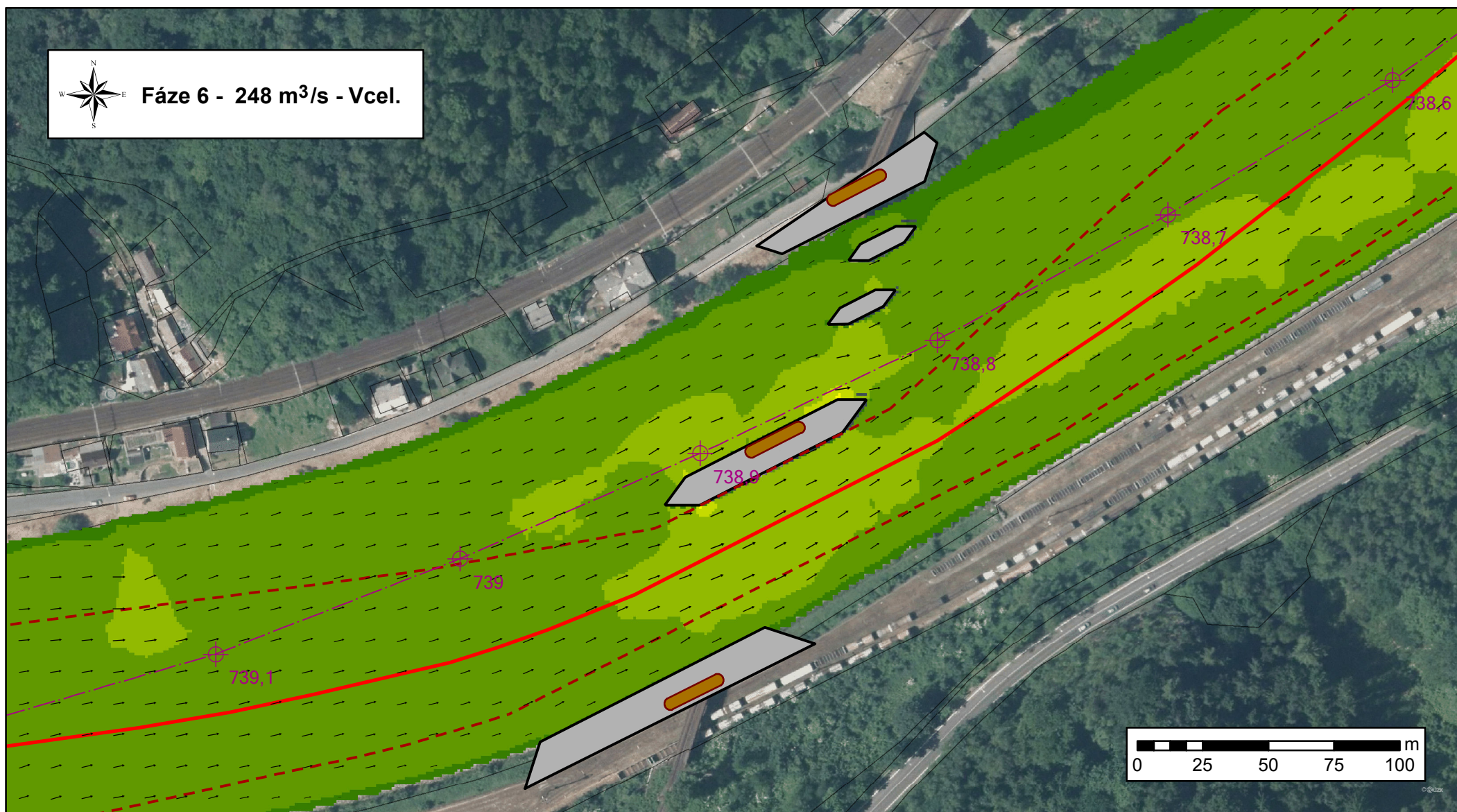
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Celkové rychlosti při průtoku 117 m³/s - Fáze 6

březen 2018

M 1: 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



Příloha č. 2.11

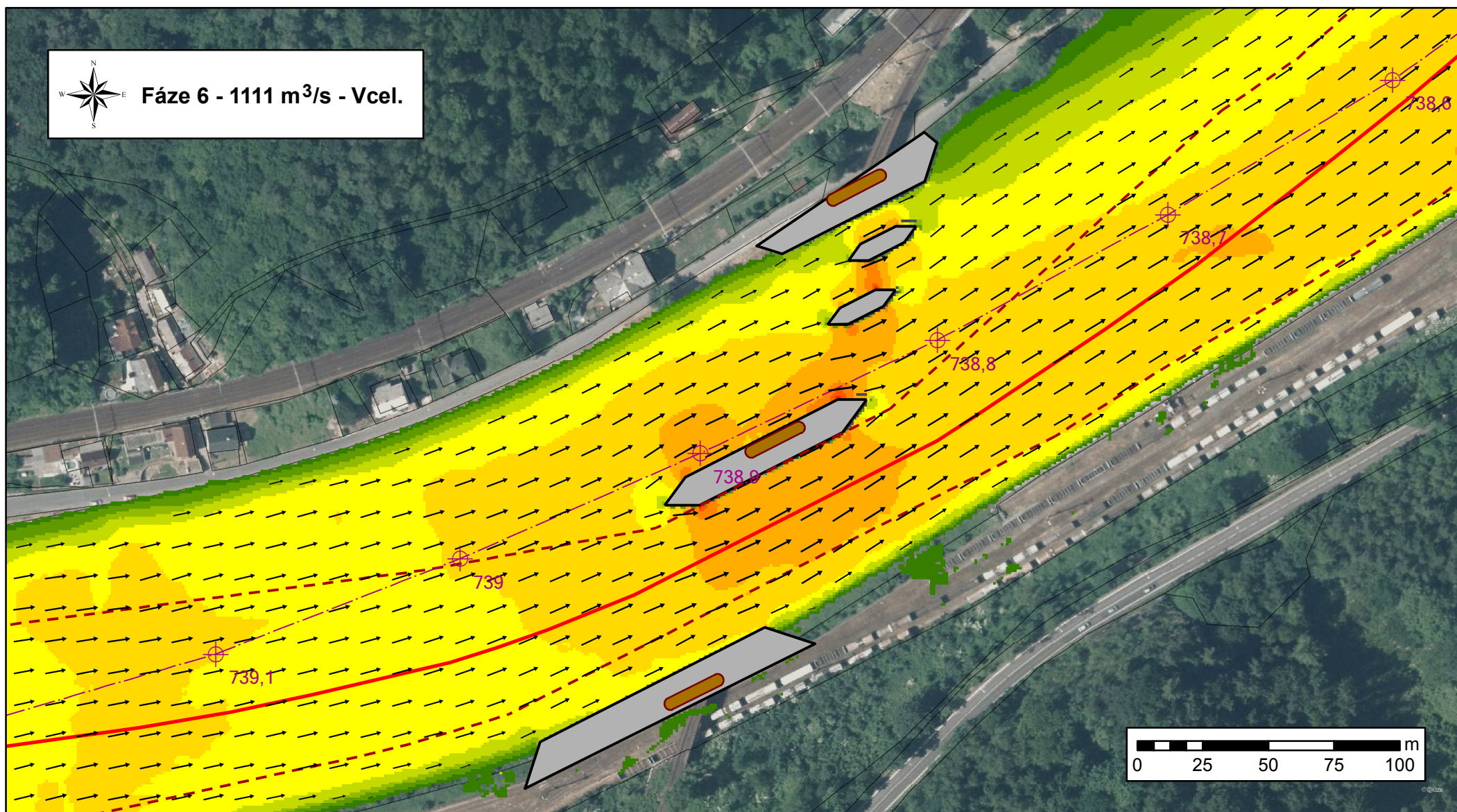
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Celkové rychlosti při průtoku 248 m³/s - Fáze 6

březen 2018

M 1: 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



Příloha č. 2.12

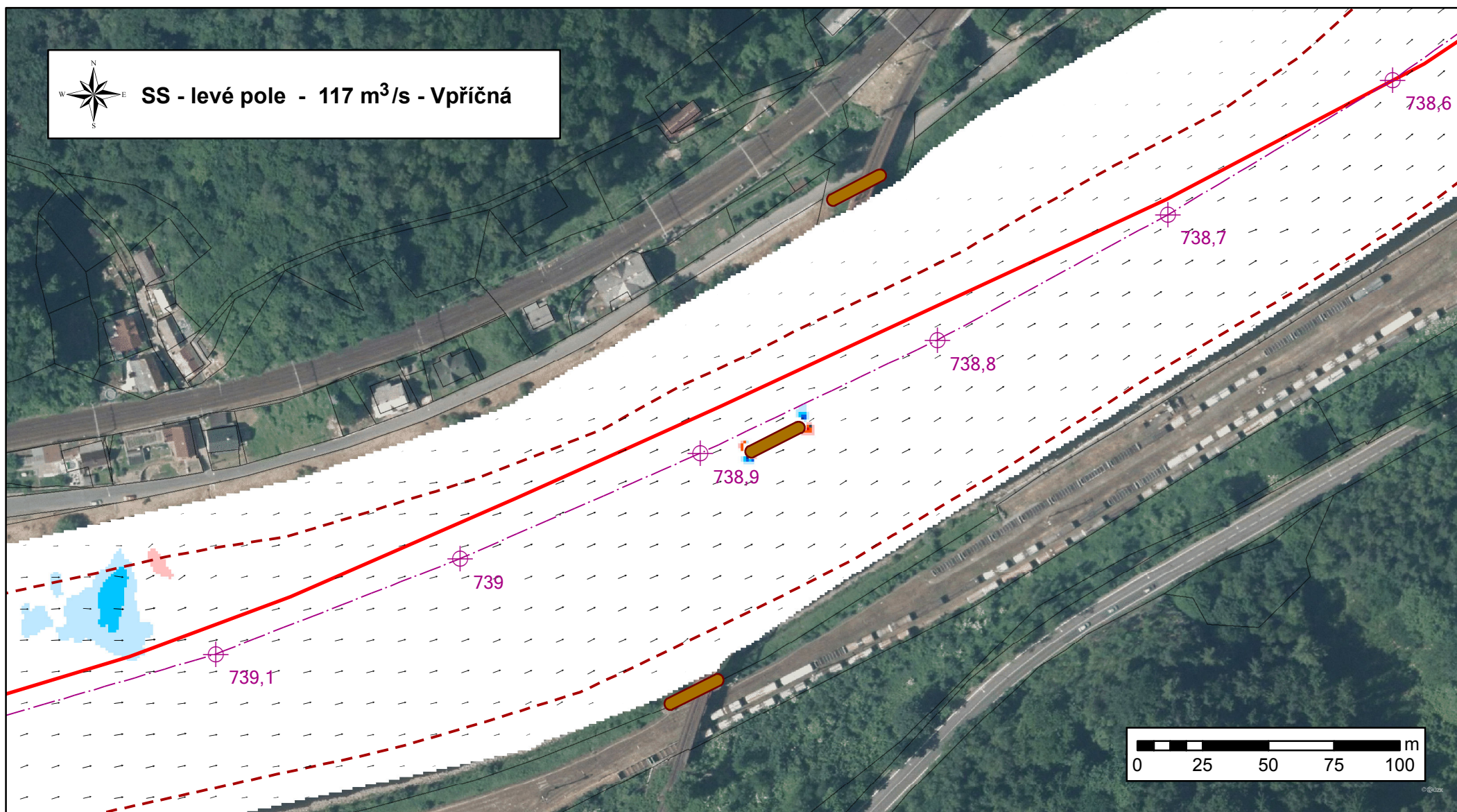
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Celkové rychlosti při průtoku 1111 m³/s - Fáze 6

březen 2018

M 1: 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



Příloha č. 3.1

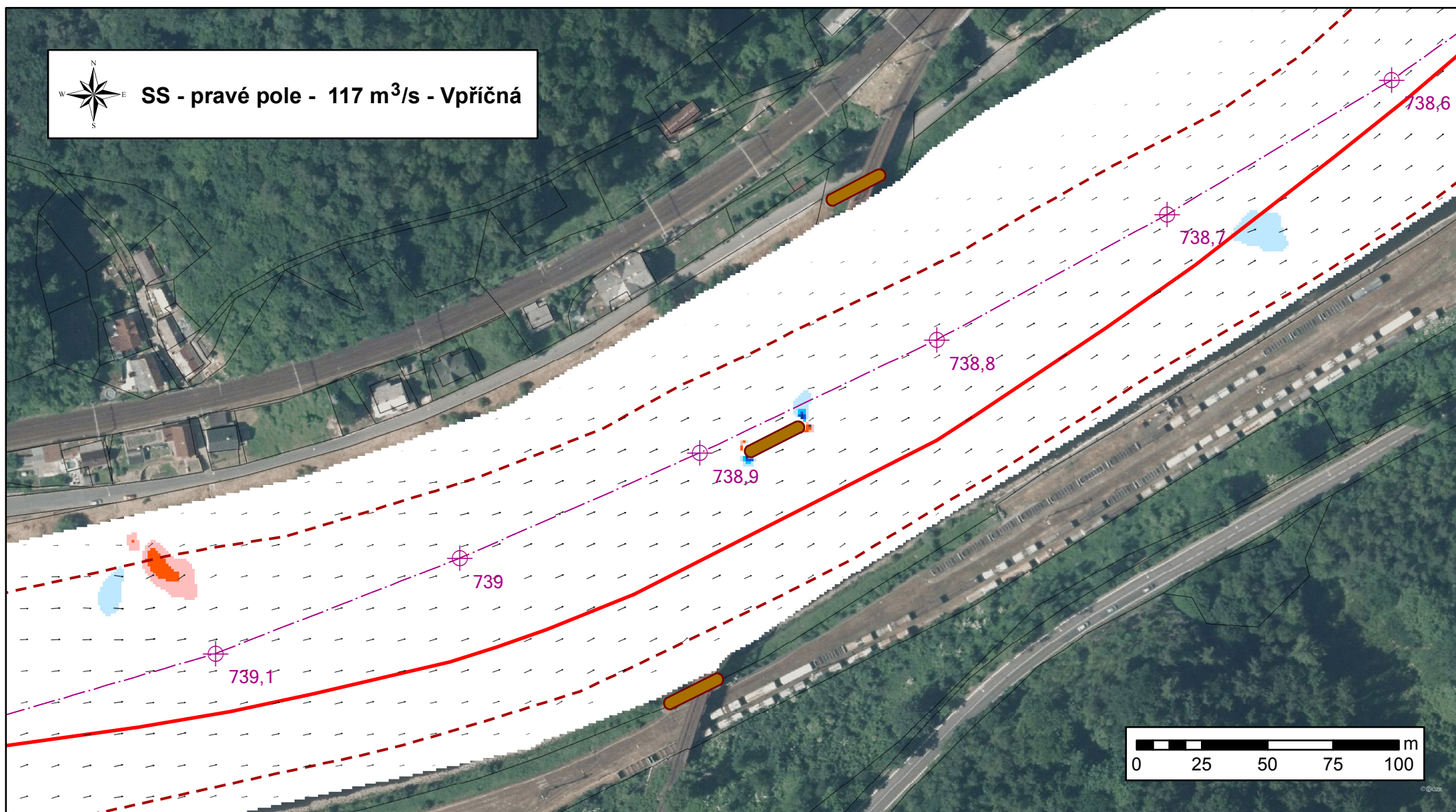
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

březen 2018

Příčná složka rychlosti při průtoku 117 m³/s
současný stav - levé pole mostu

M 1: 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



Děčín – rekonstrukce železničního mostu

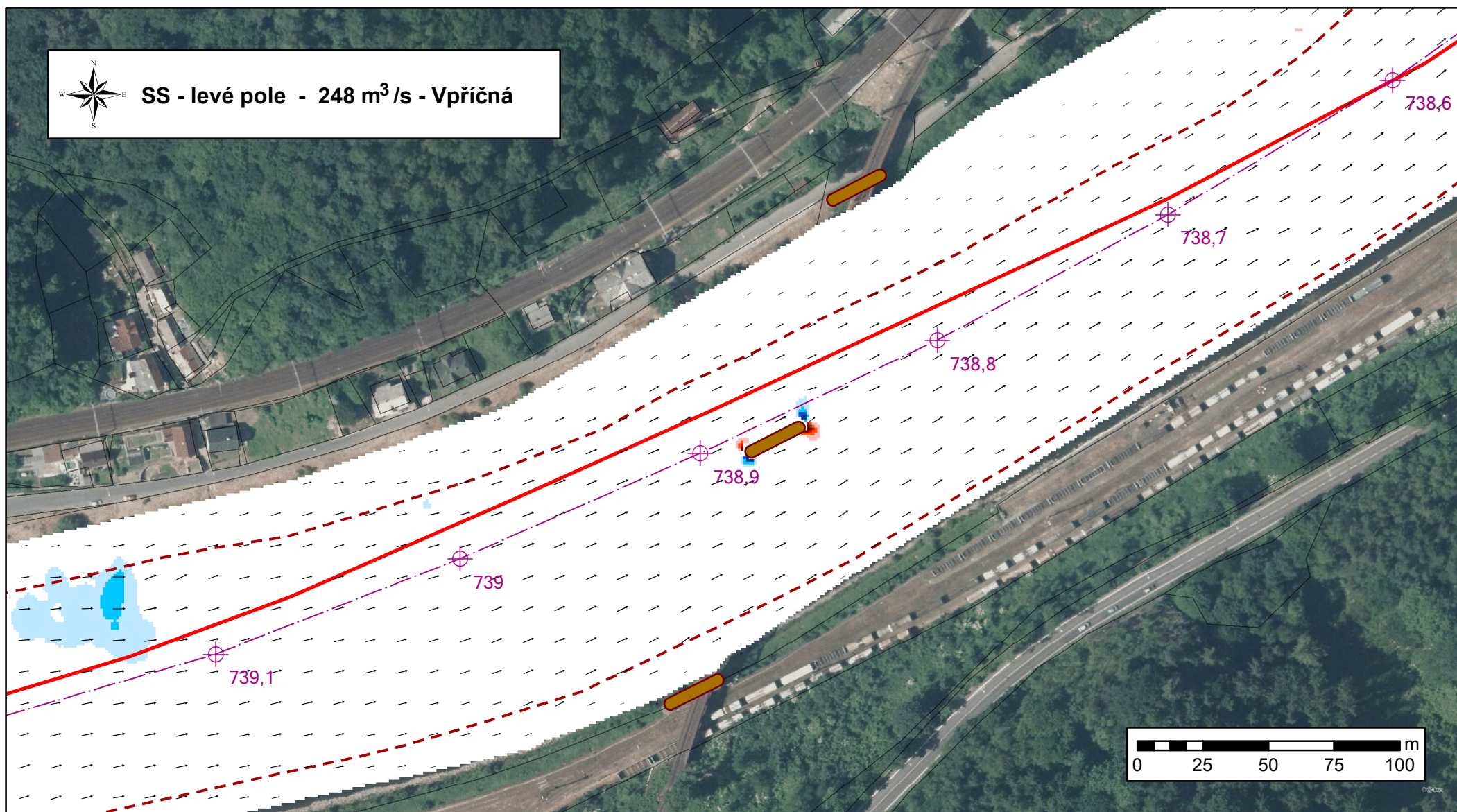
Příloha č. 3.2

Příčná složka rychlosti při průtoku 117 m³/s
současný stav - pravé pole mostu

březen 2018

M 1: 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



Příloha č. 3.3

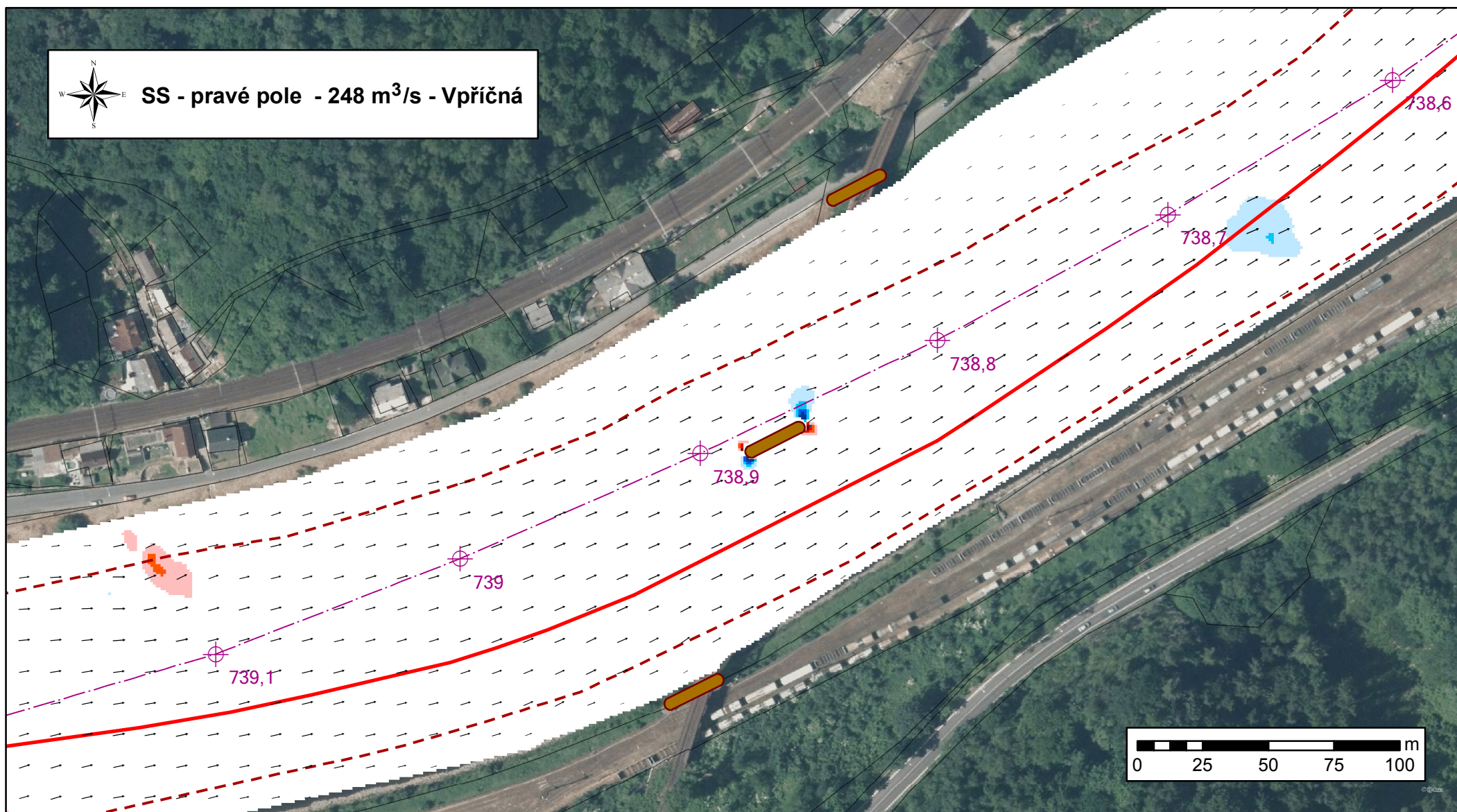
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

březen 2018

Příčná složka rychlosti při průtoku 248 m³/s
současný stav - levé pole mostu

M 1: 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



Příloha č. 3.4

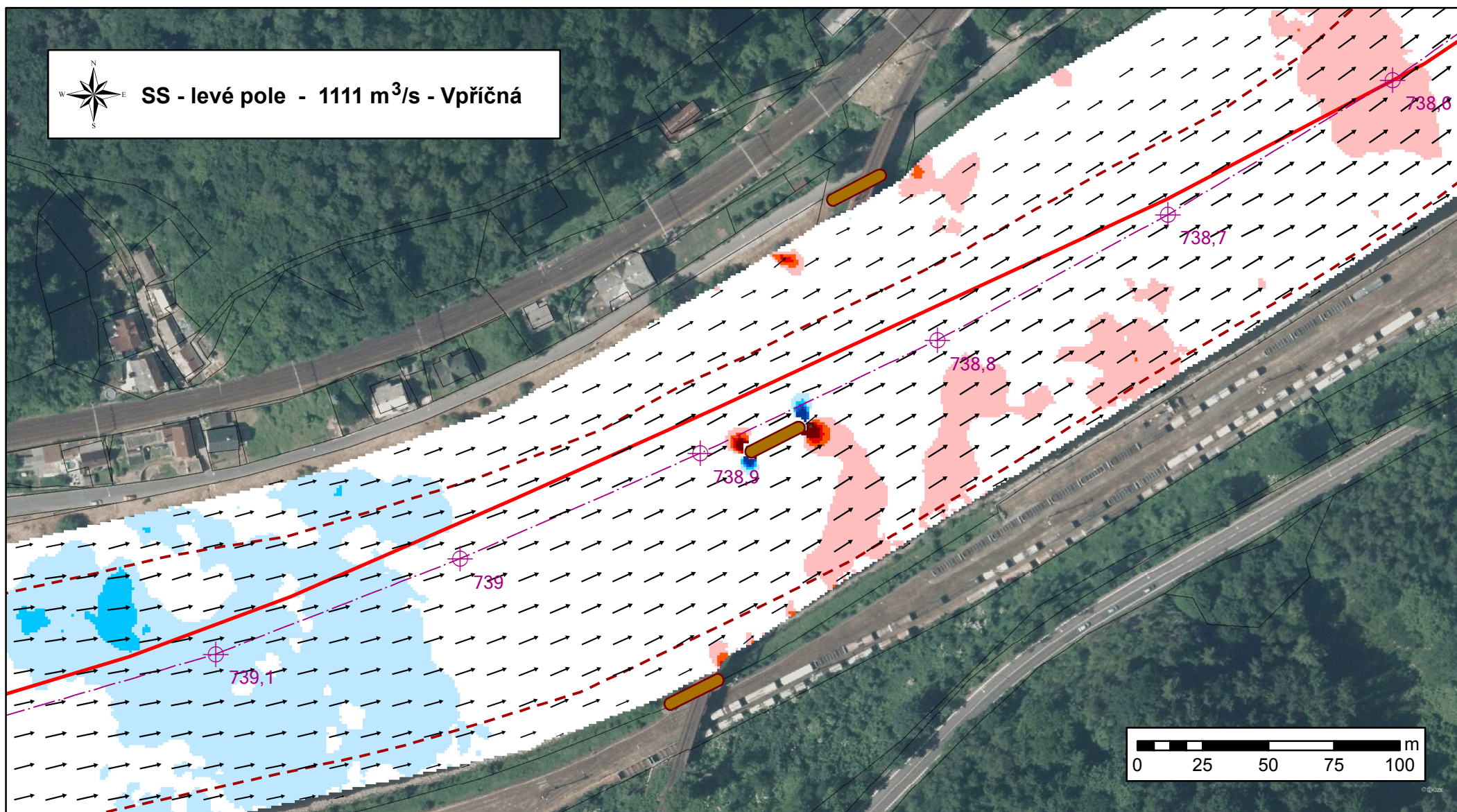
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Příčná složka rychlosti při průtoku 248 m³/s
současný stav - pravé pole mostu

březen 2018

M 1: 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



Příloha č. 3.5

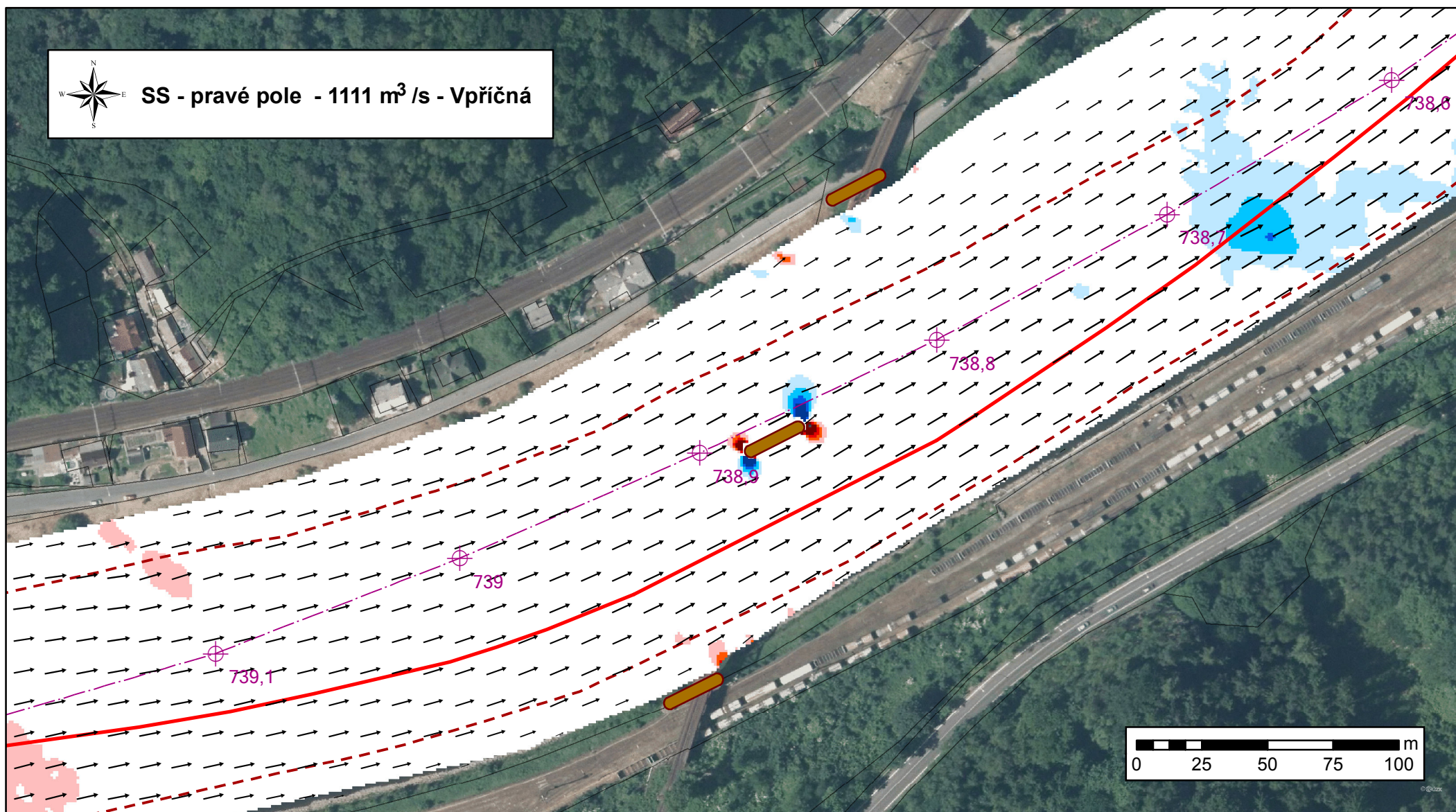
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

březen 2018

**Příčná složka rychlosti při průtoku 1111 m³/s
současný stav - levé pole mostu**

M 1: 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



Příloha č. 3.6

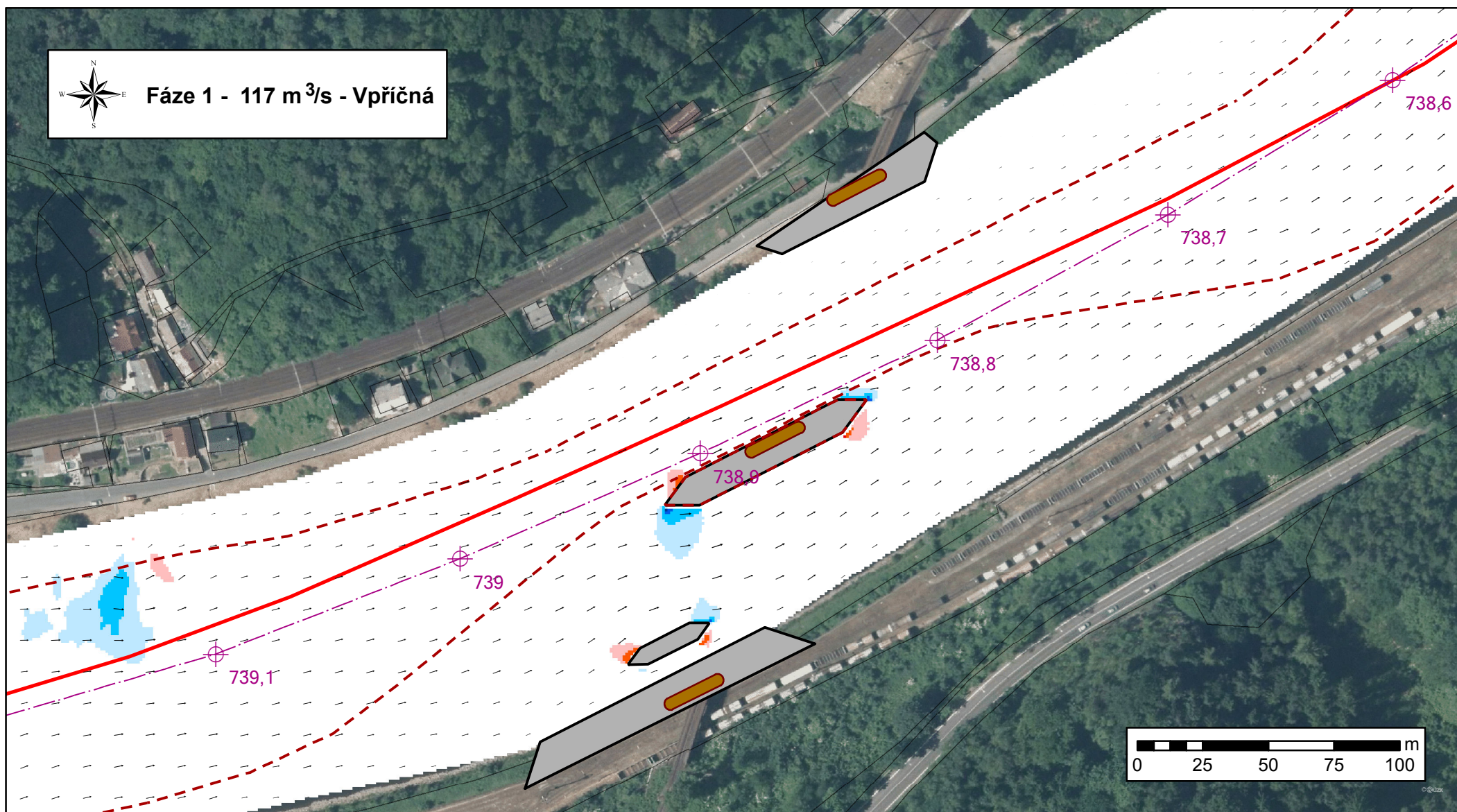
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Příčná složka rychlosti při průtoku 1111 m³/s
současný stav - pravé pole mostu

březen 2018

M 1: 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



Příloha č. 3.7

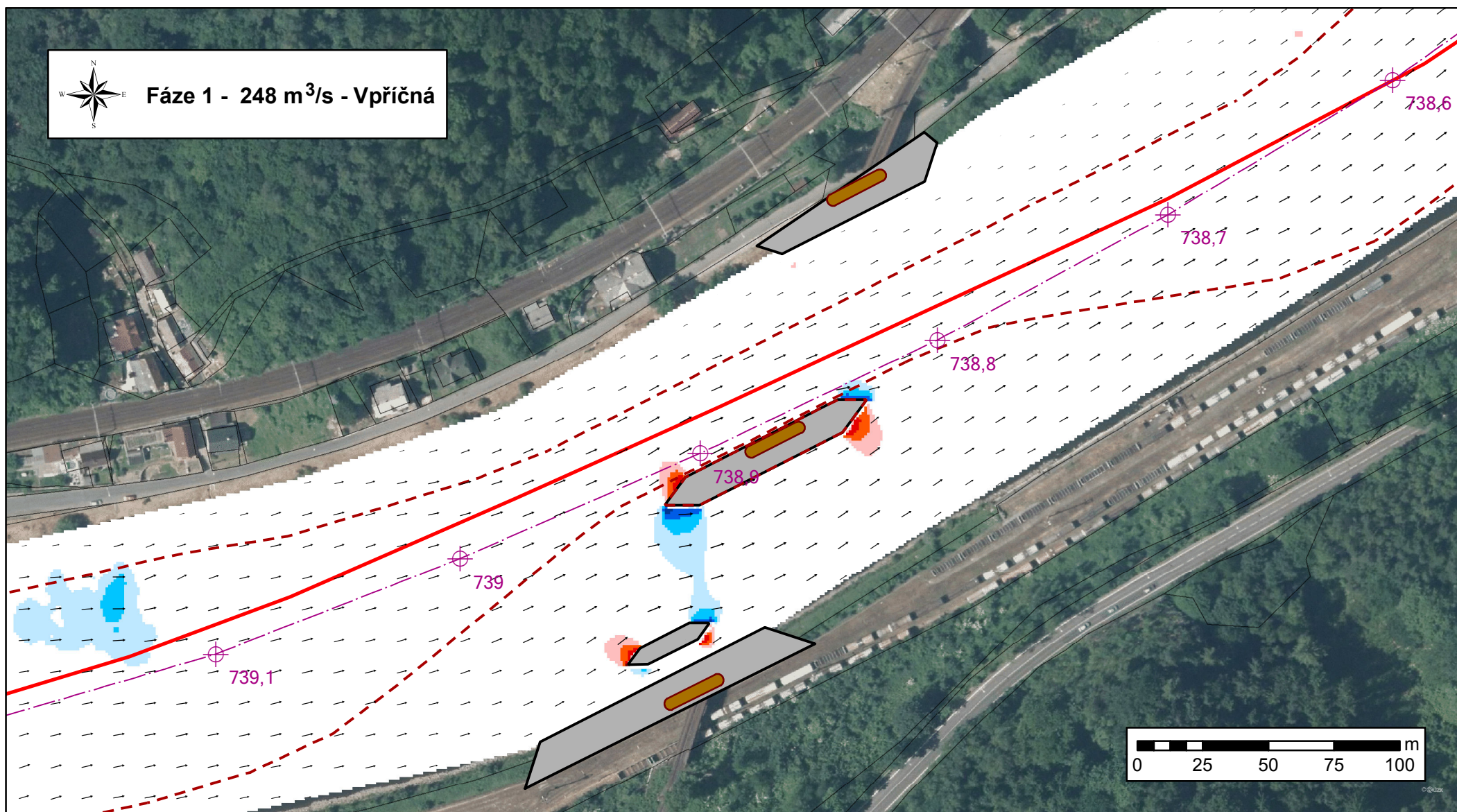
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Příčná složka rychlosti při průtoku 117 m³/s - Fáze 1

březen 2018

M 1: 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



Příloha č. 3.8

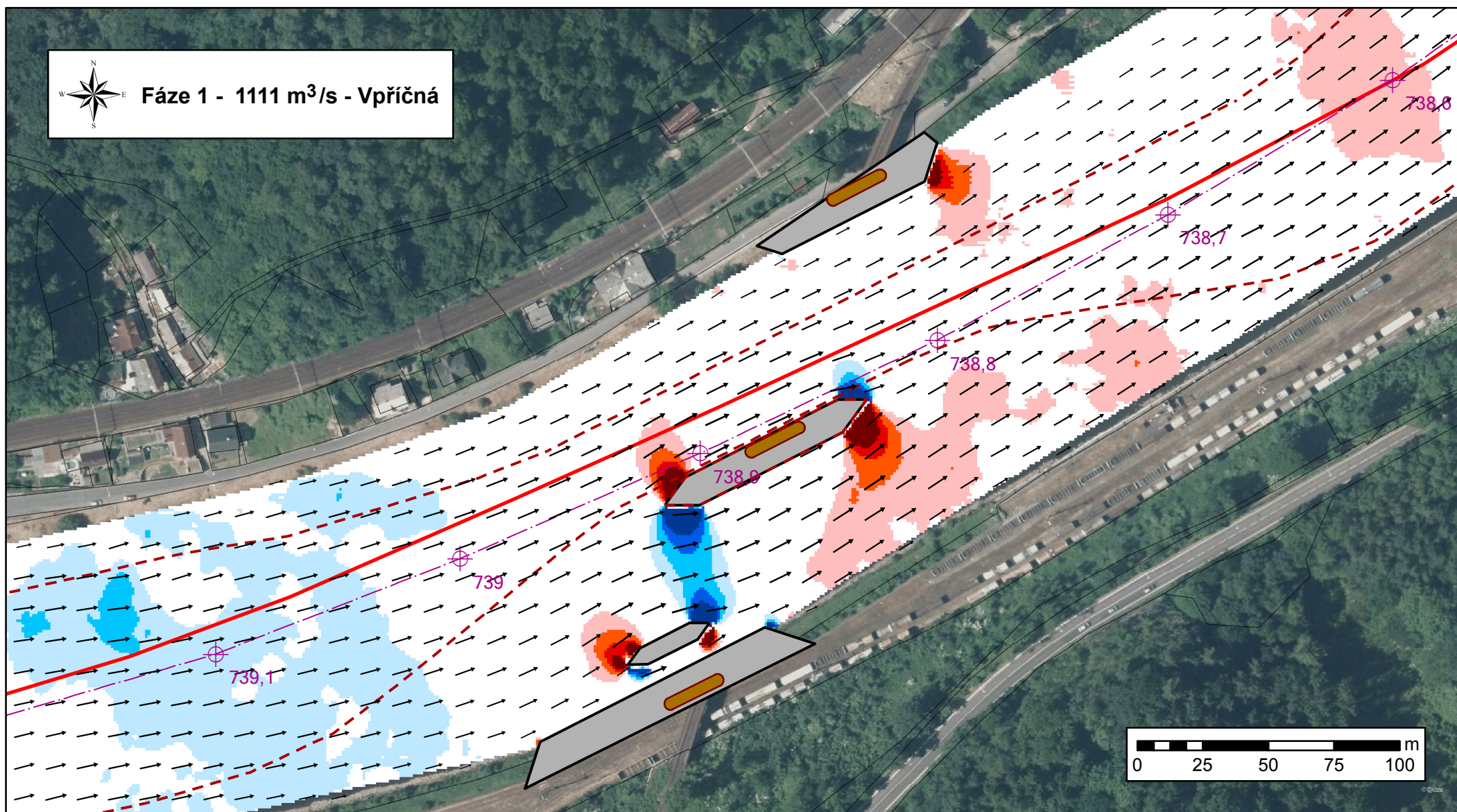
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Příčná složka rychlosti při průtoku 248 m³/s - Fáze 1

březen 2018

M 1: 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



Příloha č. 3.9

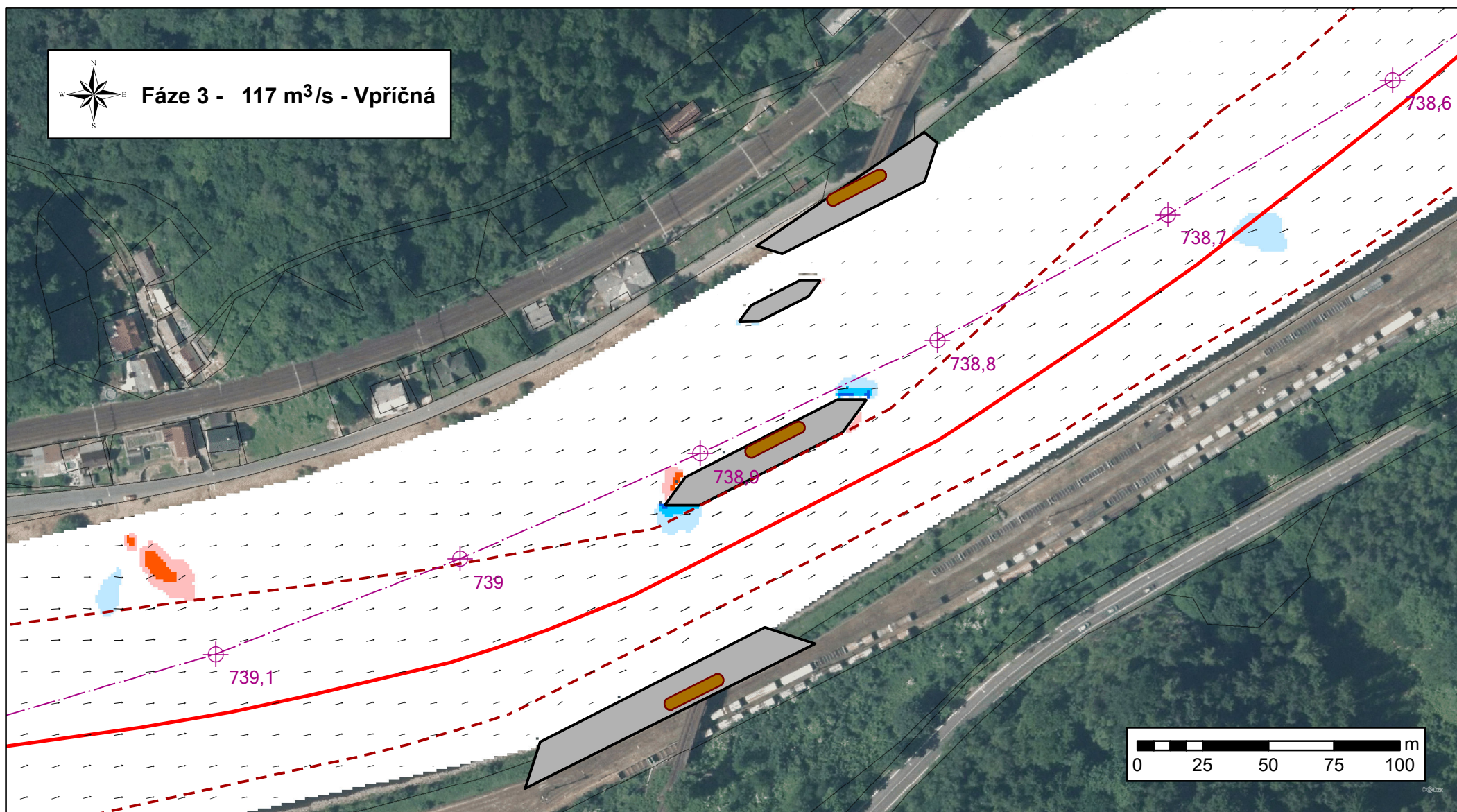
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Příčná složka rychlosti při průtoku 1111 m³/s - Fáze 1

březen 2018

M 1: 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



Příloha č. 3.10

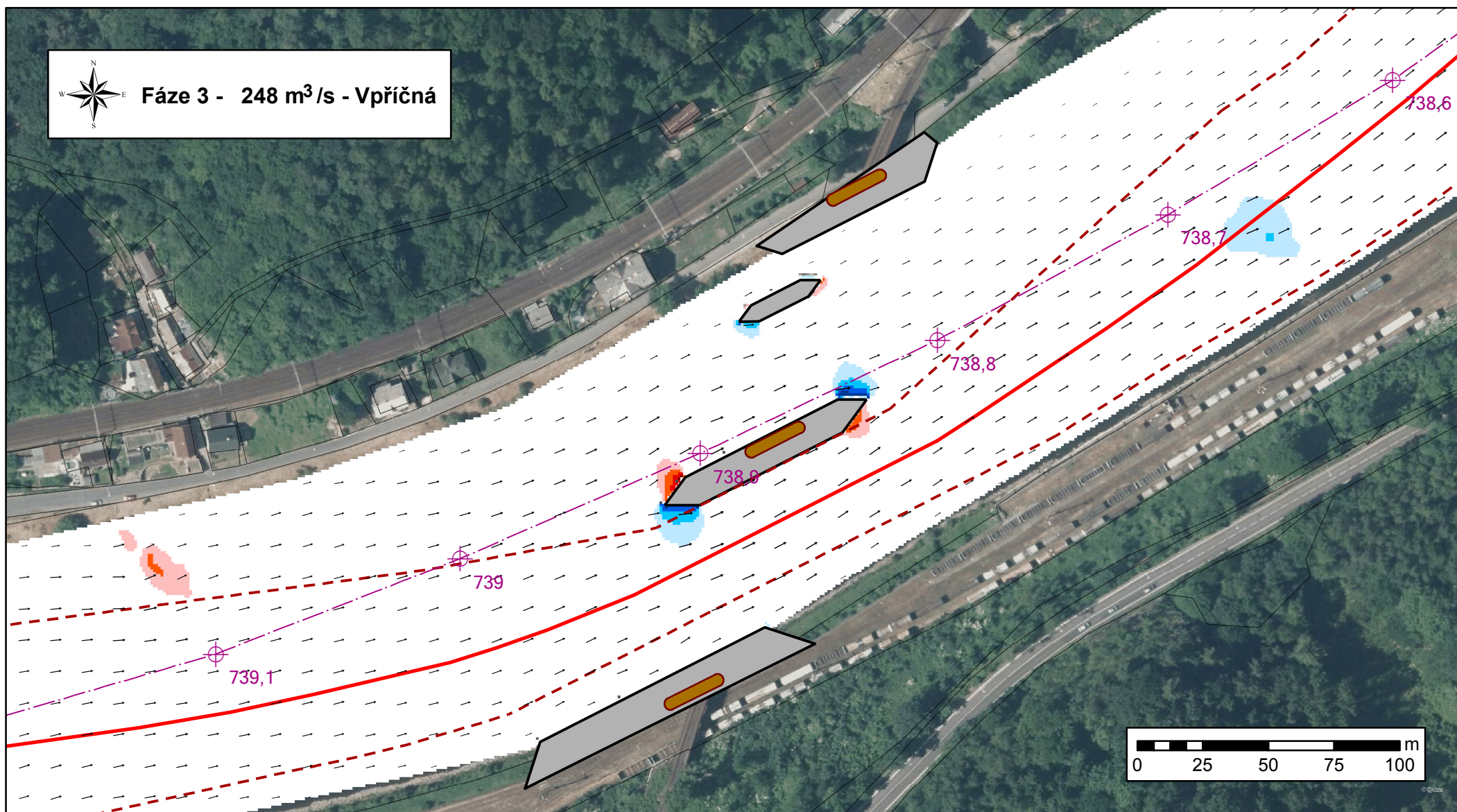
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Příčná složka rychlosti při průtoku 117 m³/s - Fáze 3

březen 2018

M 1: 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



Příloha č. 3.11

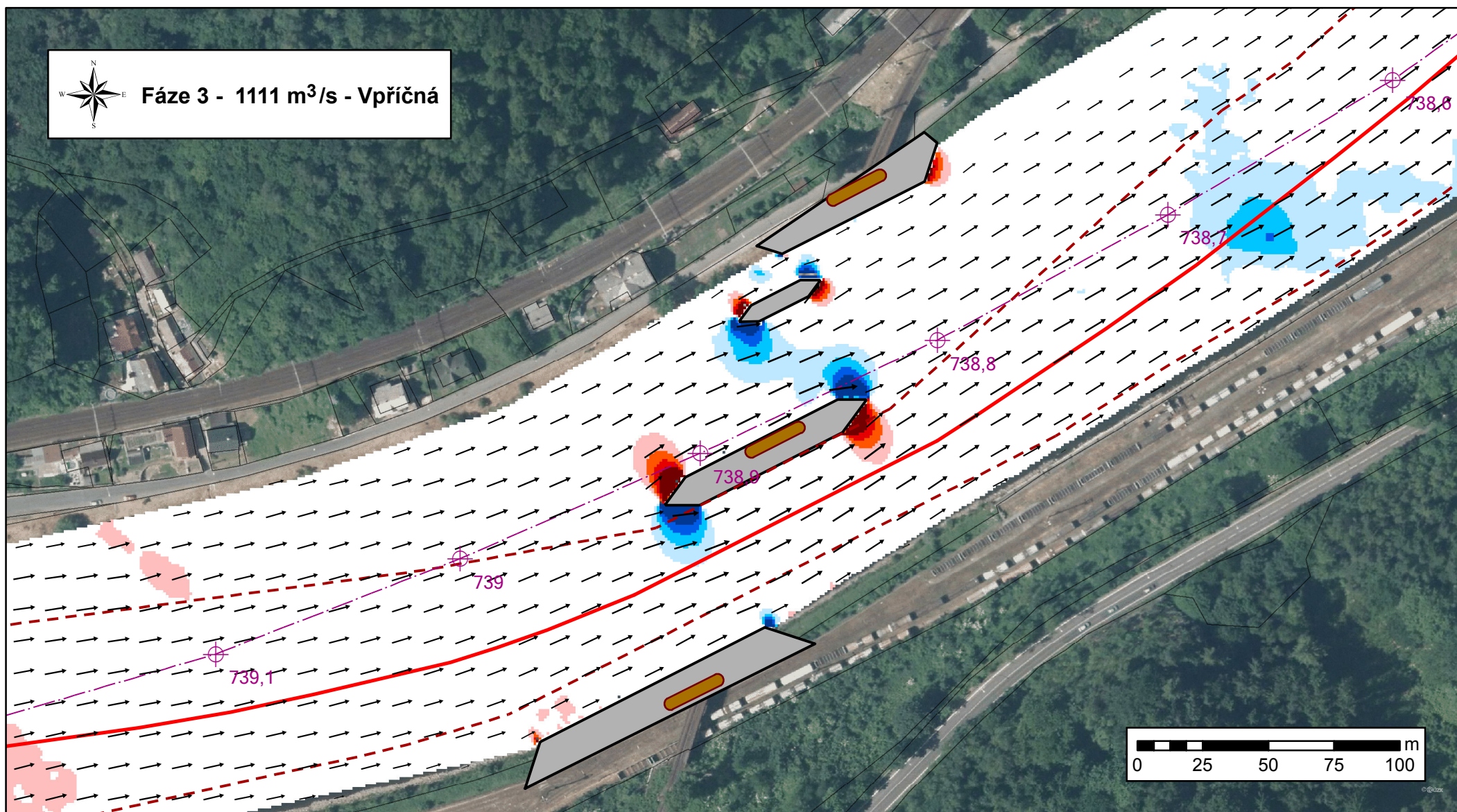
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Příčná složka rychlosti při průtoku $248 \text{ m}^3/\text{s}$ - Fáze 3

březen 2018

M 1: 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



Příloha č. 3.12

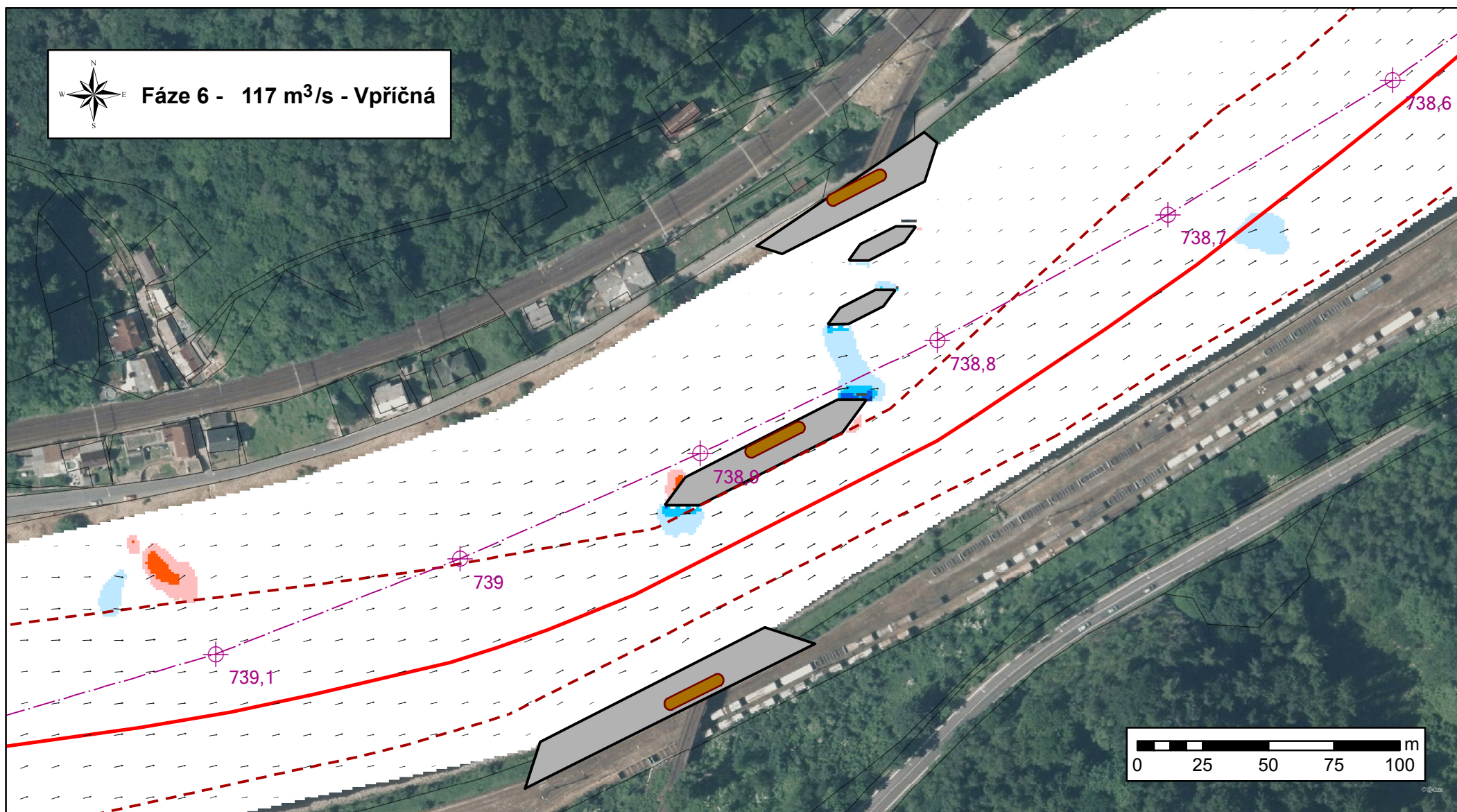
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Příčná složka rychlosti při průtoku $1111 \text{ m}^3/\text{s}$ - Fáze 3

březen 2018

M 1: 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



Příloha č. 3.13

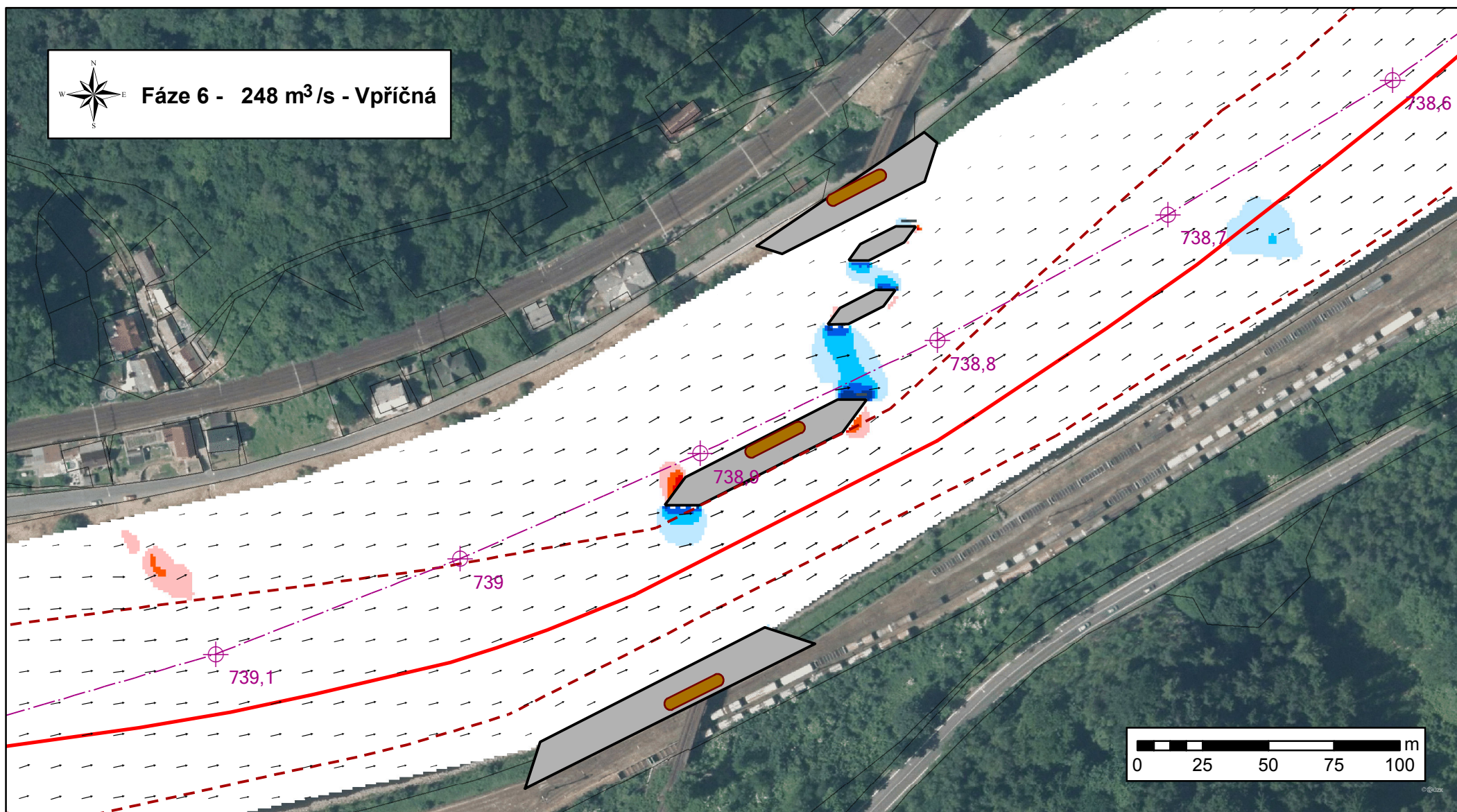
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Příčná složka rychlosti při průtoku 117 m³/s - Fáze 6

březen 2018

M 1: 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



Příloha č. 3.14

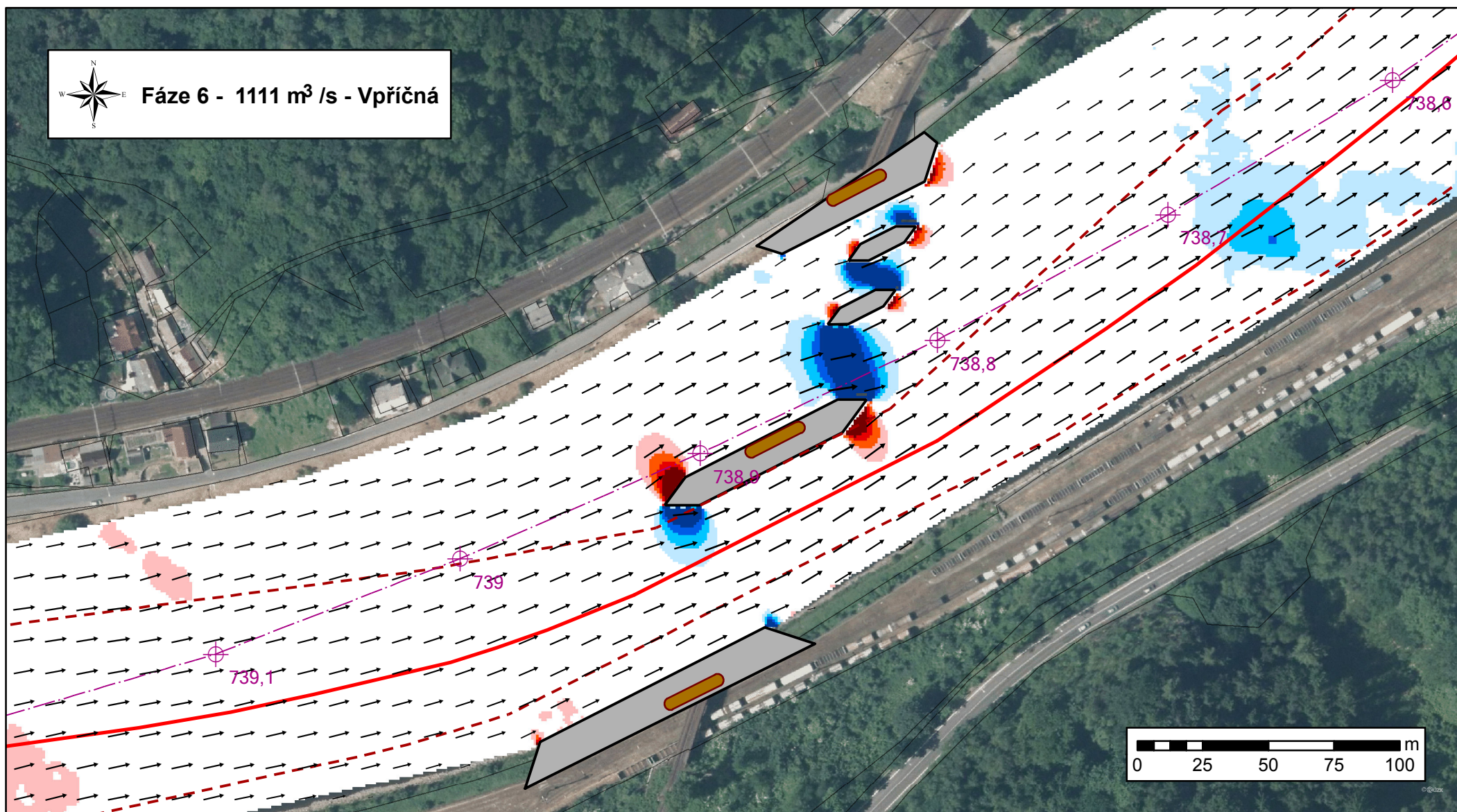
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Příčná složka rychlosti při průtoku 248 m³/s - Fáze 6

březen 2018

M 1: 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



Příloha č. 3.15

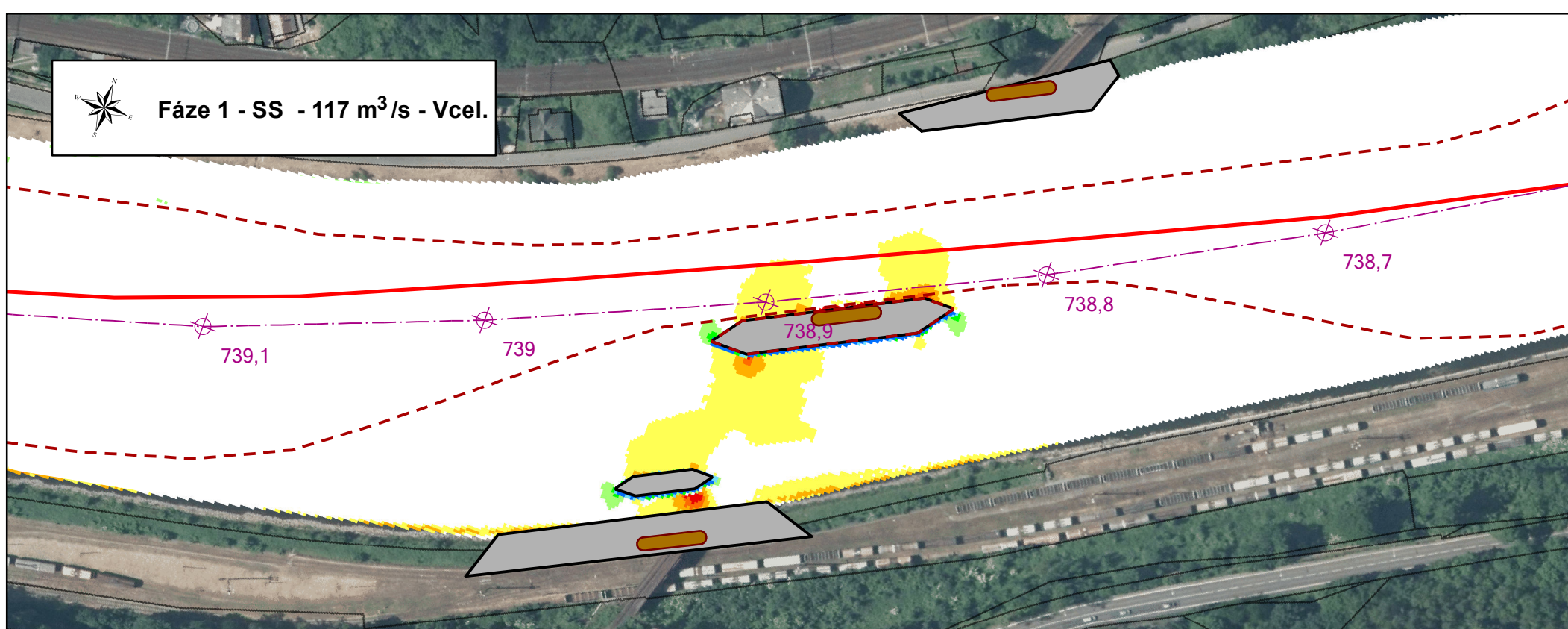
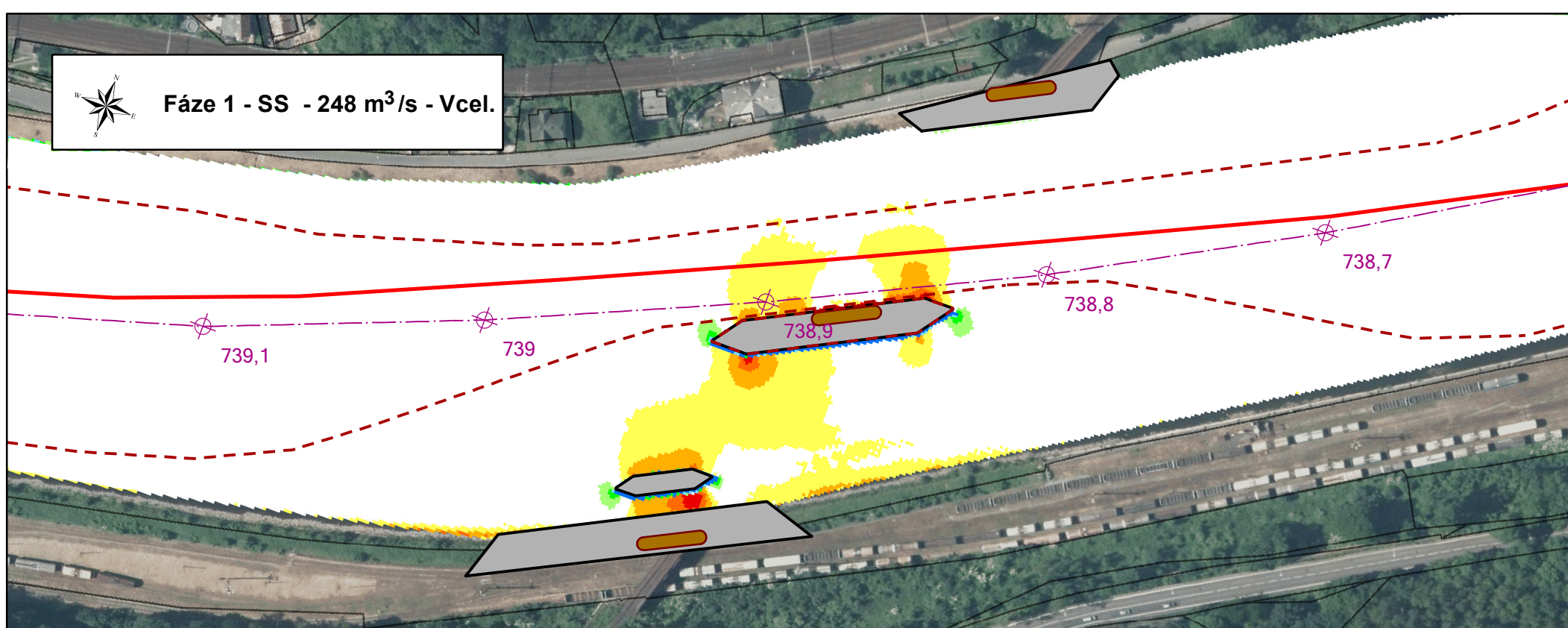
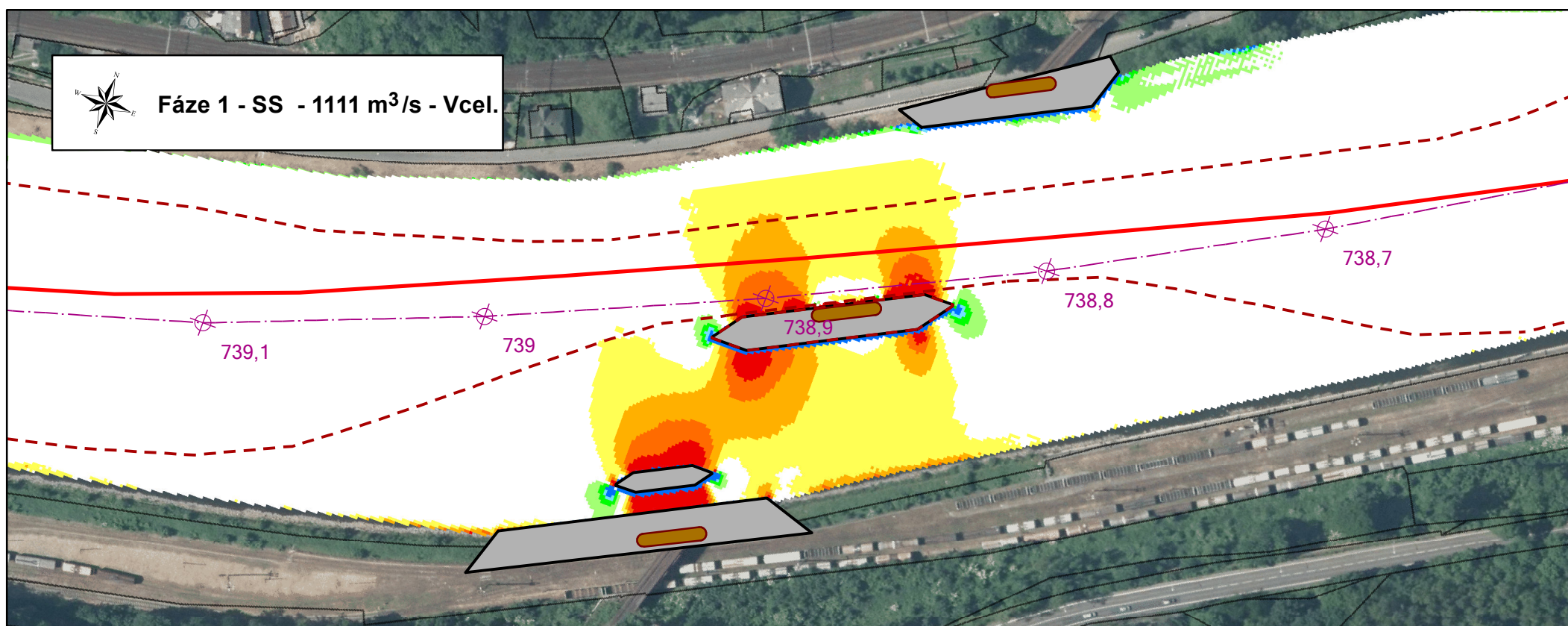
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Příčná složka rychlosti při průtoku 1111 m³/s - Fáze 6

březen 2018

M 1: 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



Příloha č. 4.1



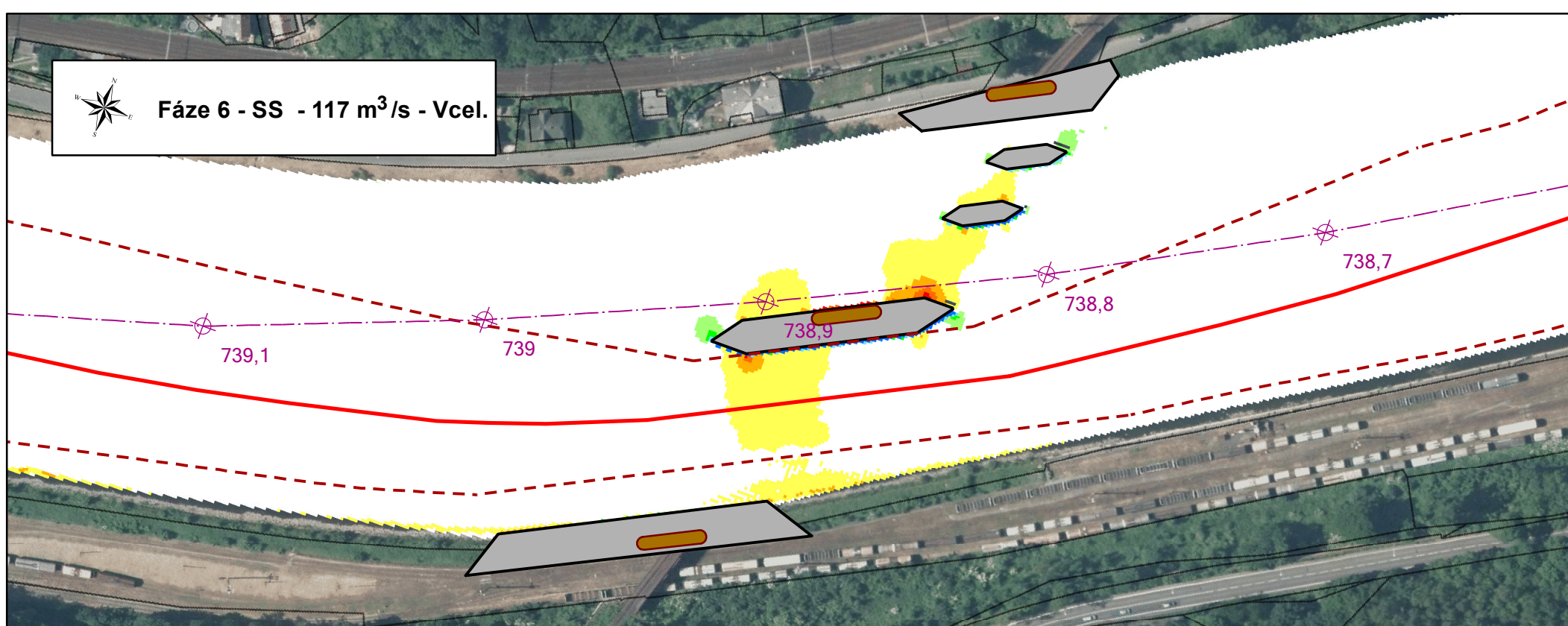
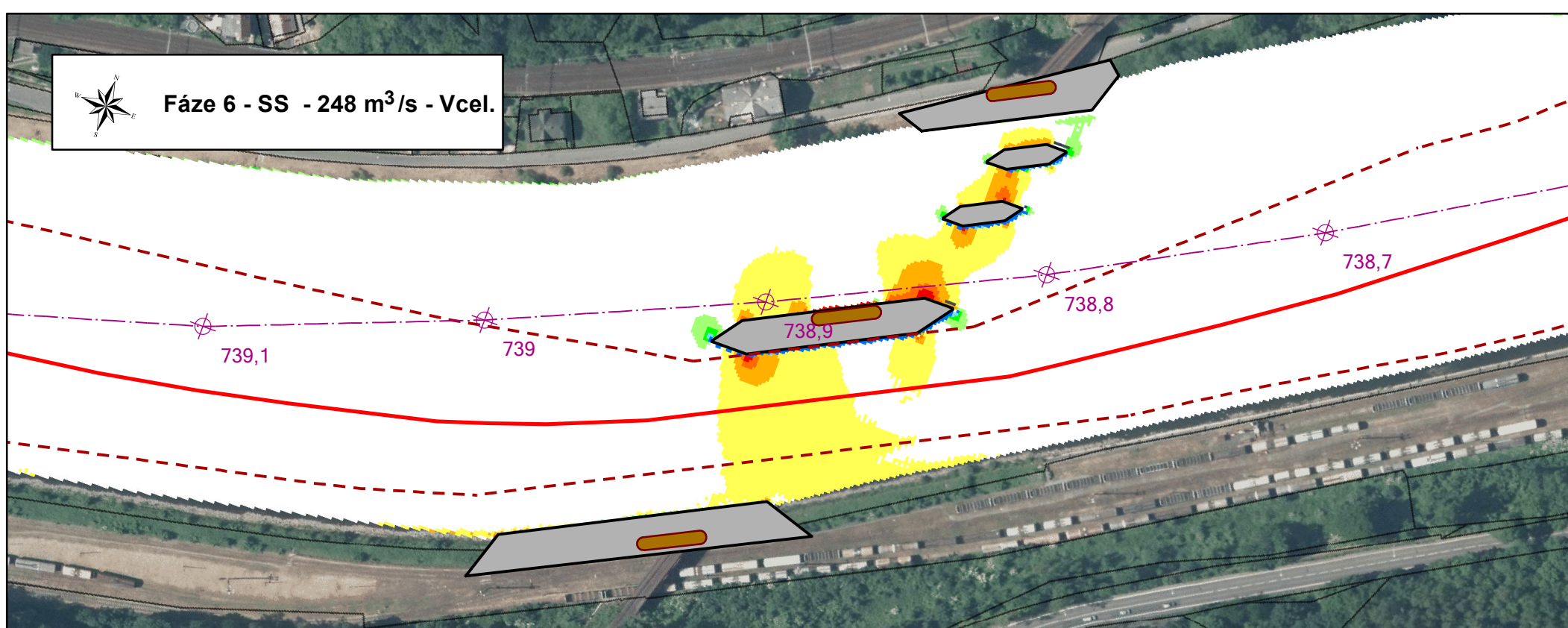
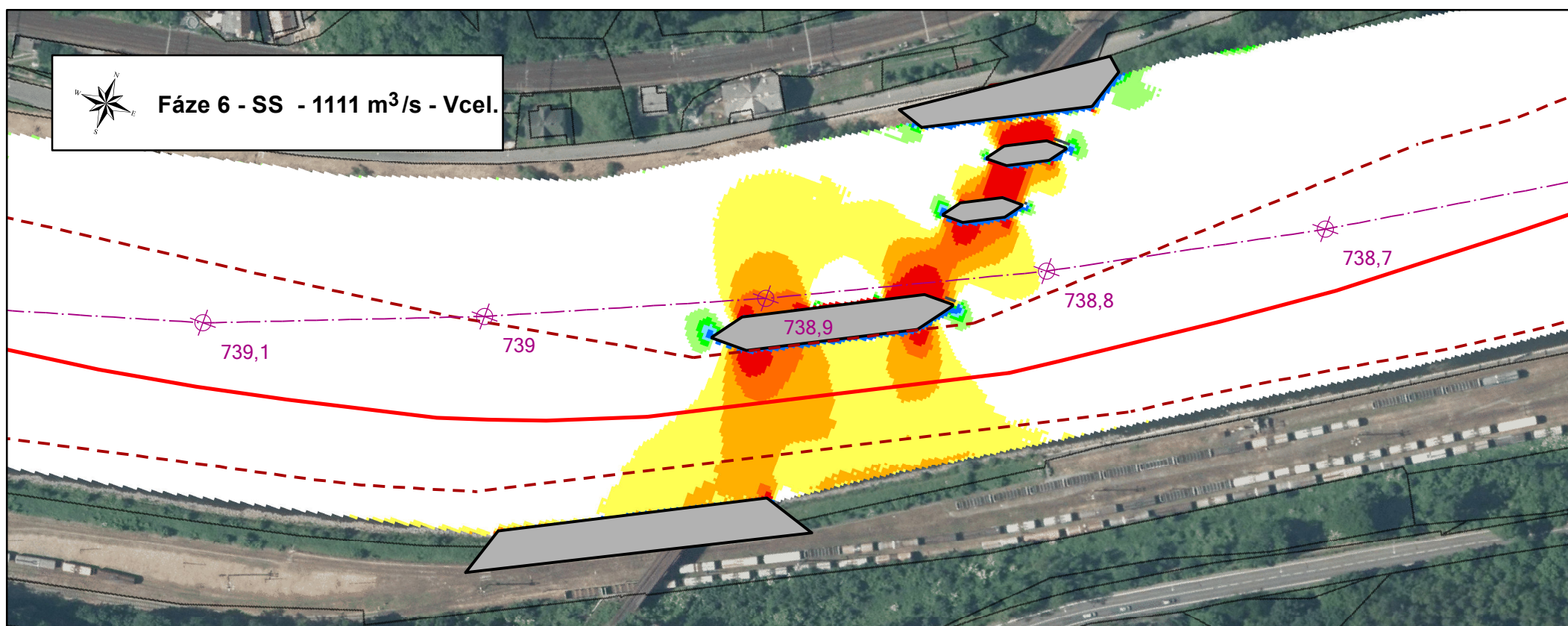
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

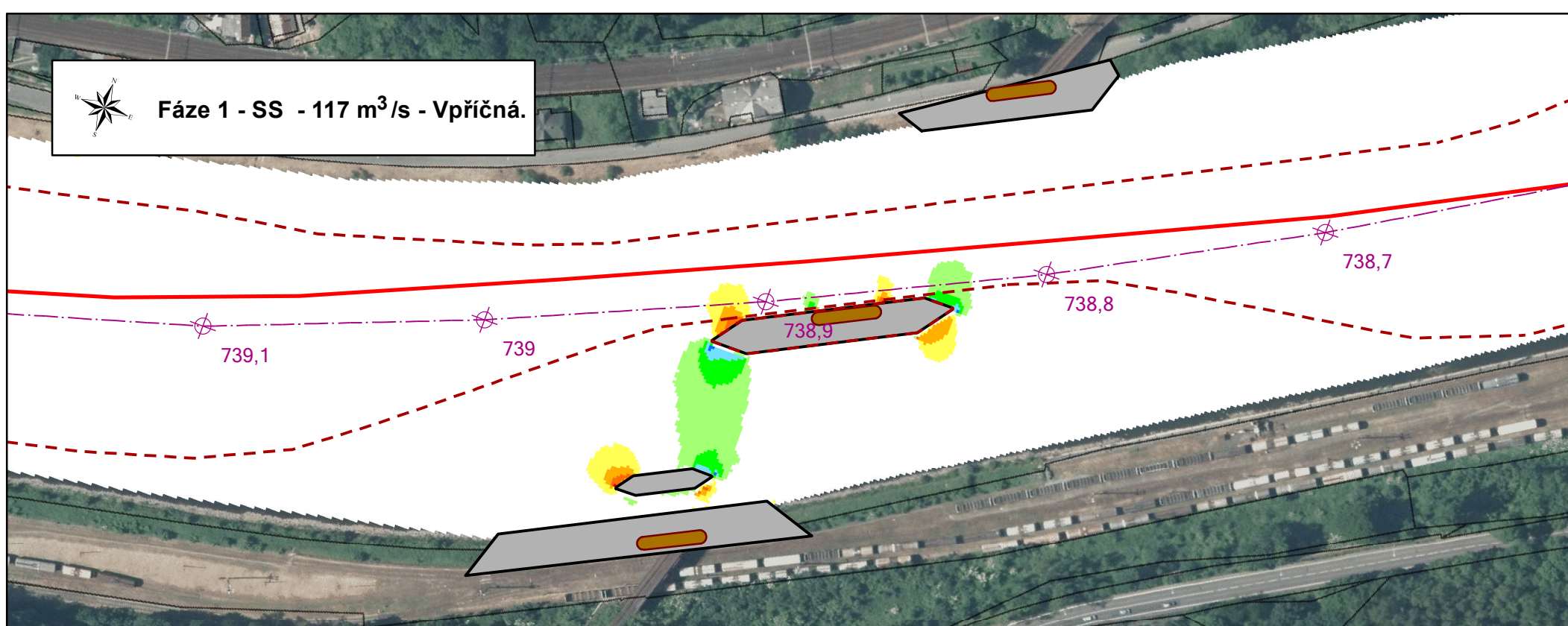
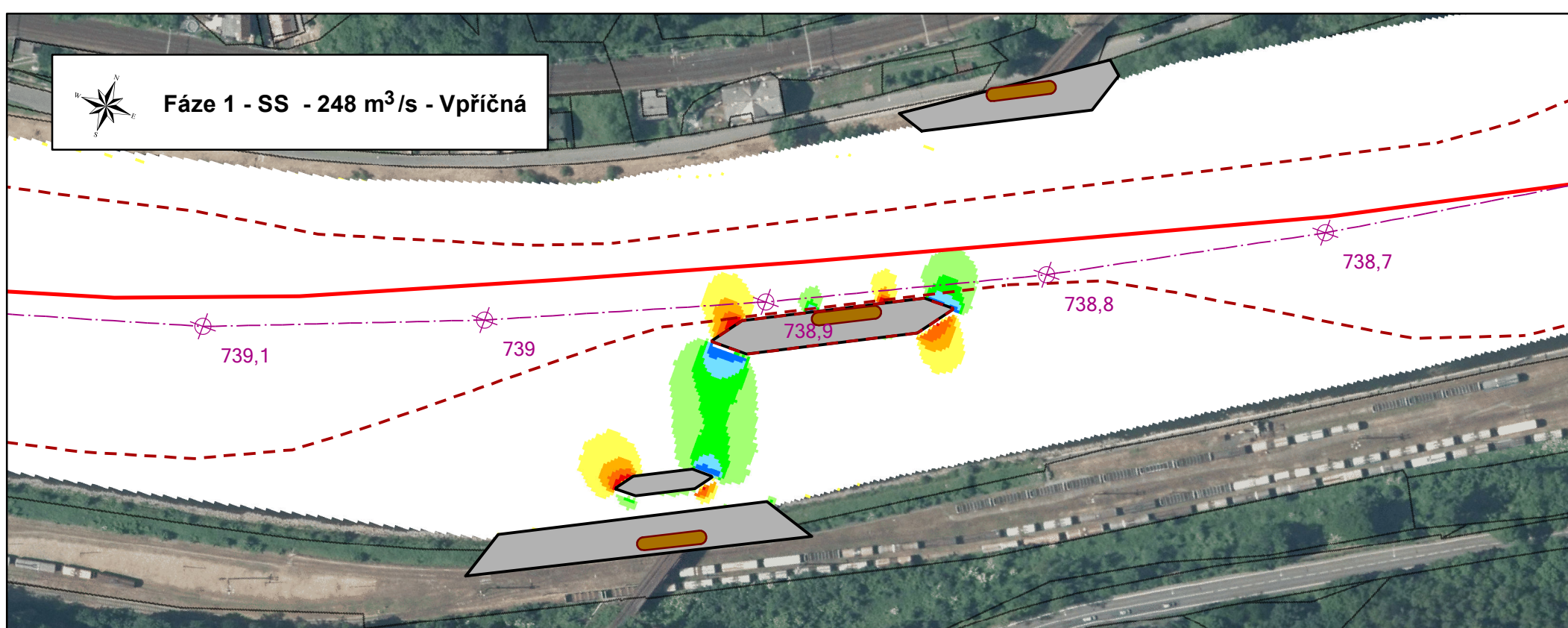
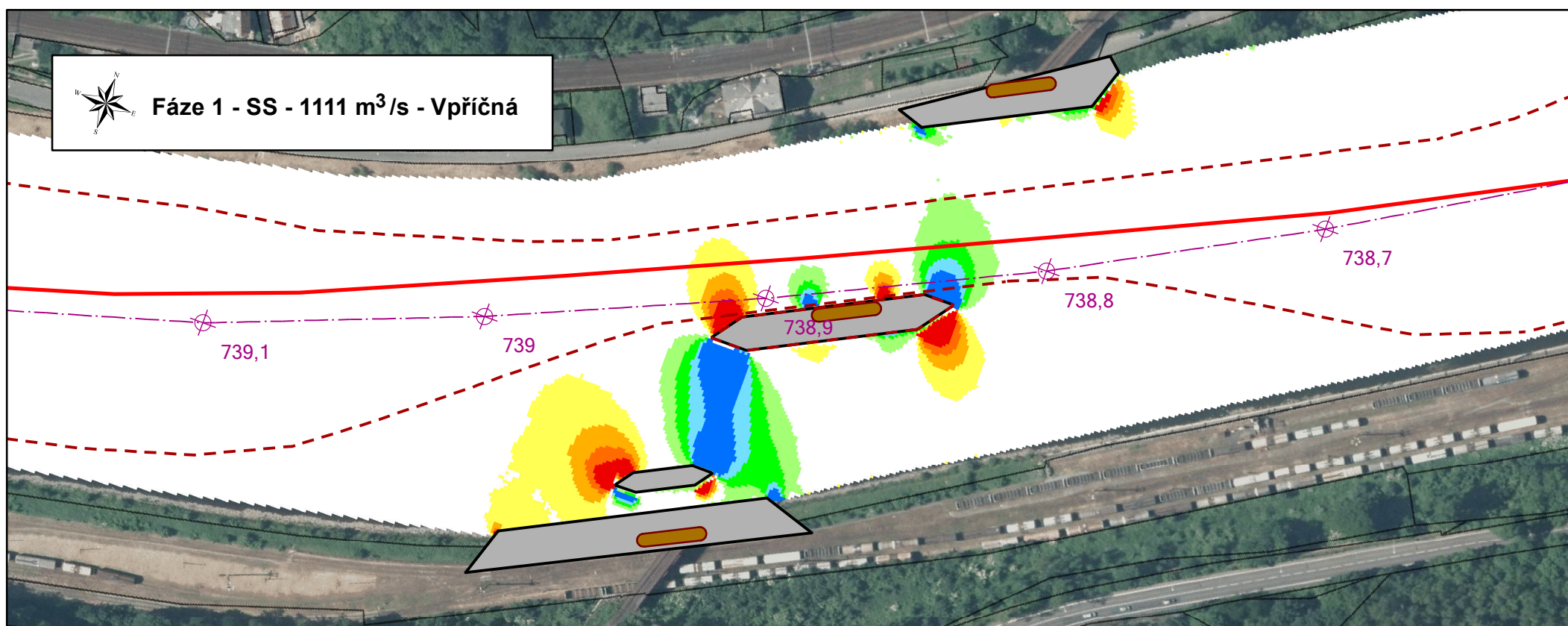
březen 2018

M 1: 2 000

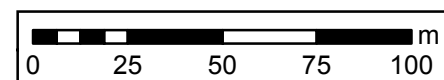
Rozdíl celkových rychlostí: Fáze 1 - současný stav

ČVUT v Praze, Fakulta stavební





Příloha č. 5.1



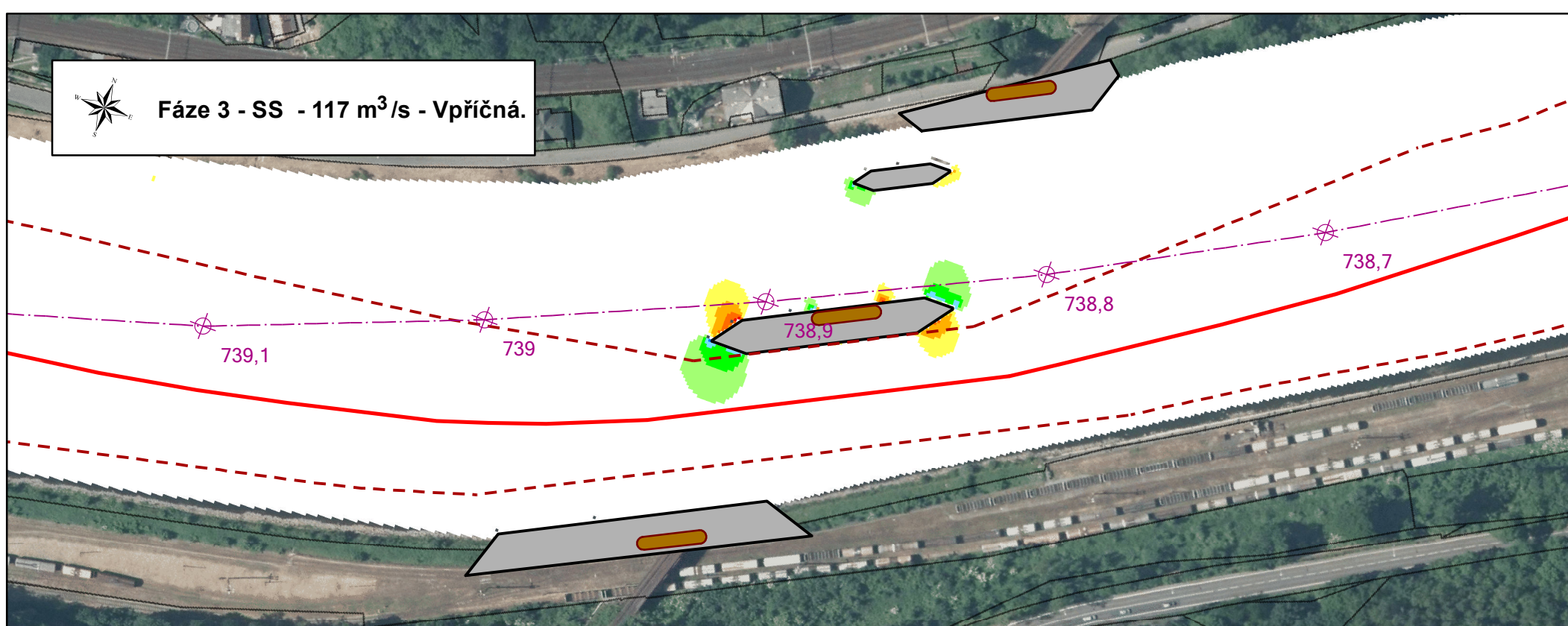
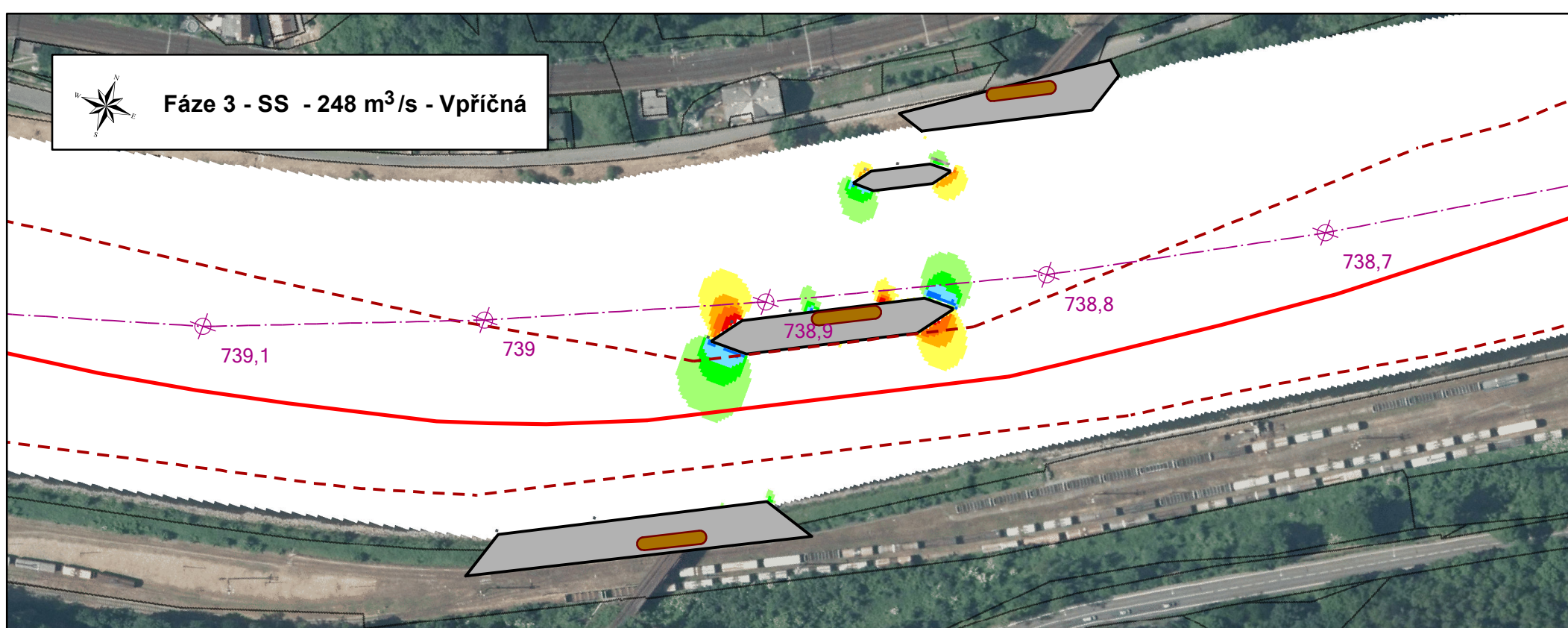
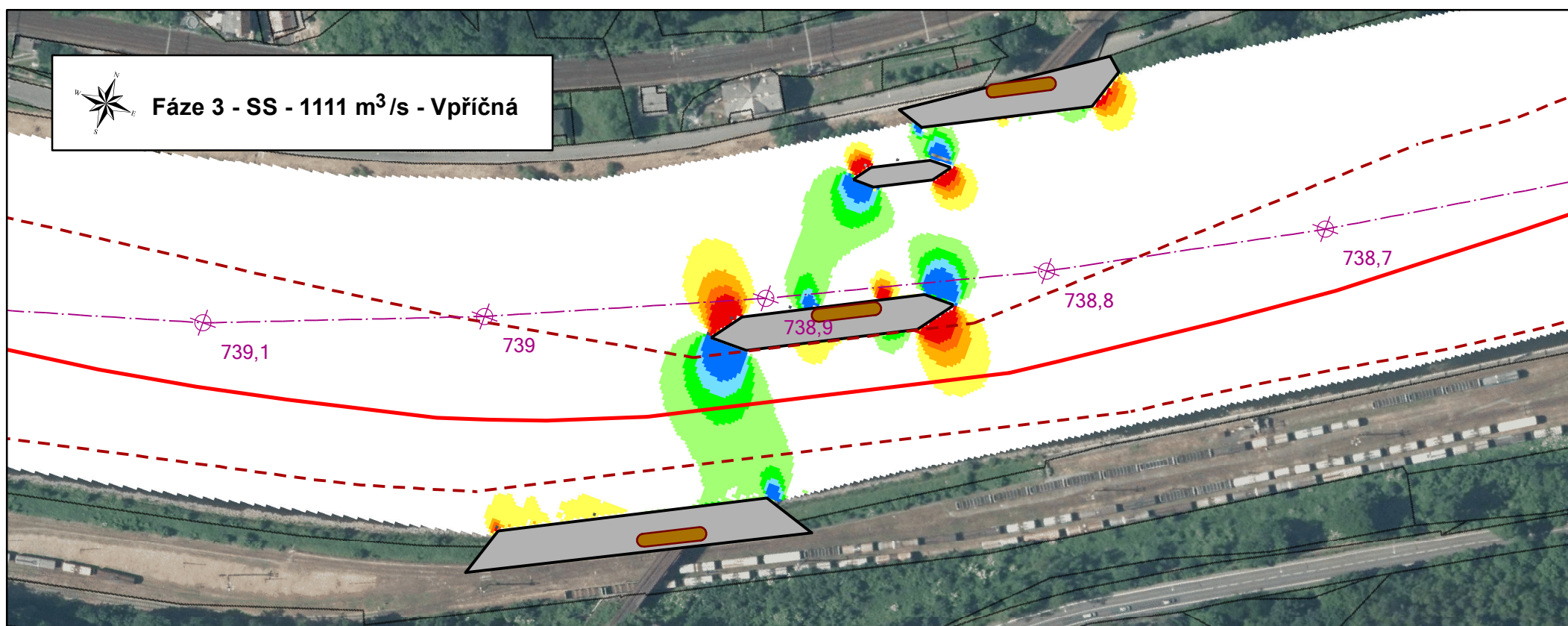
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

březen 2018

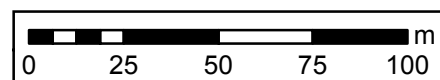
M 1: 2 000

Rozdíl příčných rychlostí: Fáze 1 - současný stav

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



Příloha č. 5.2



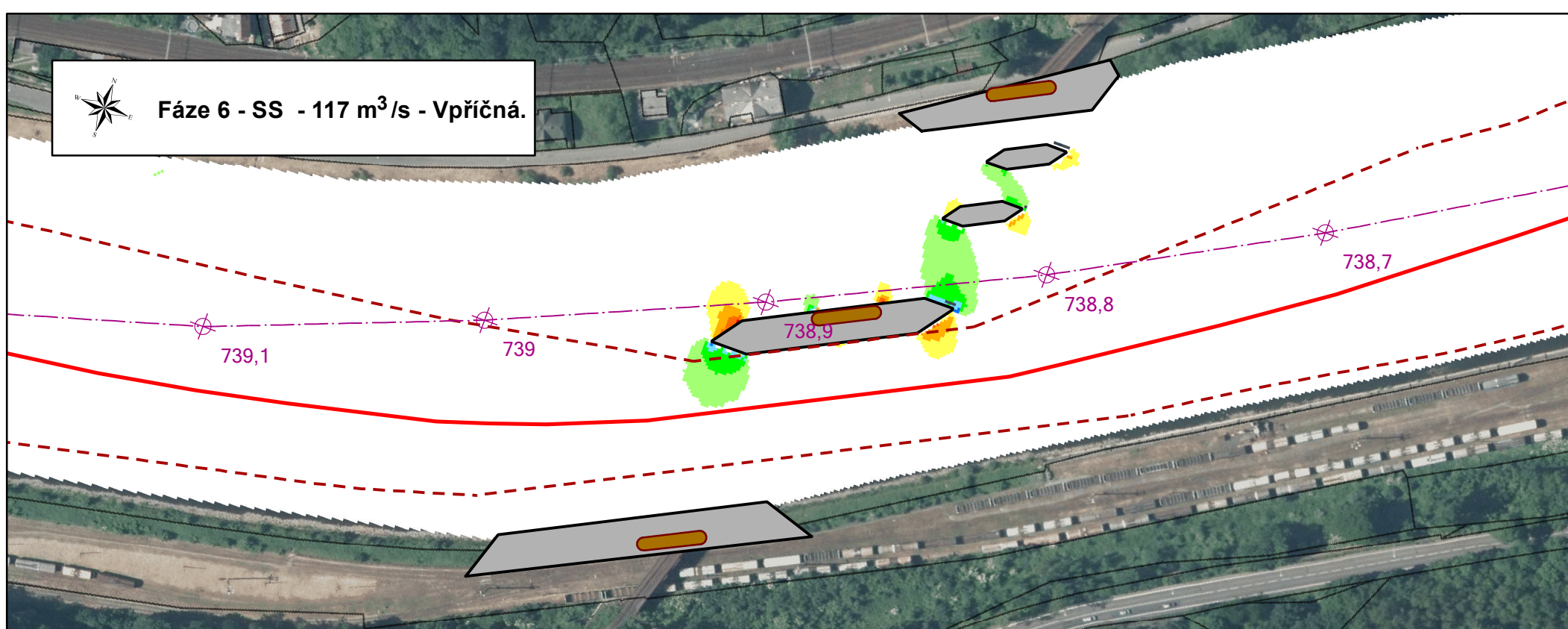
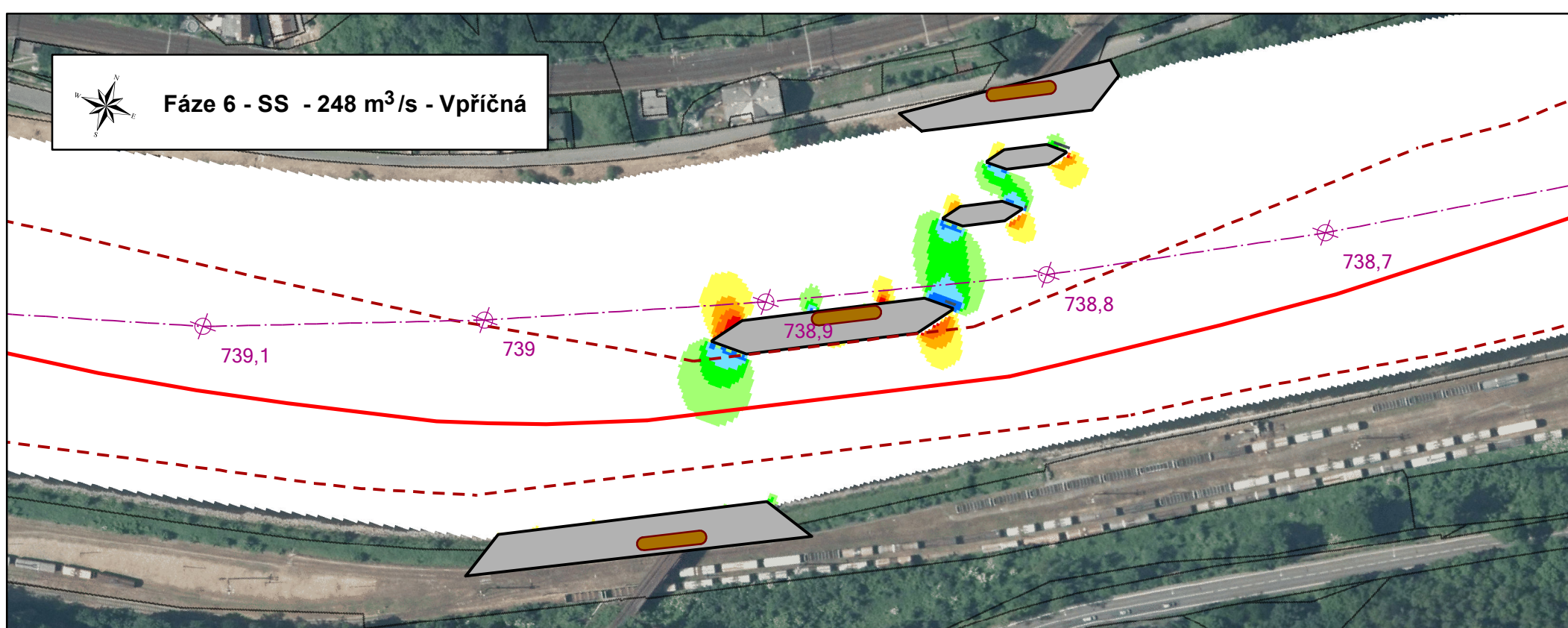
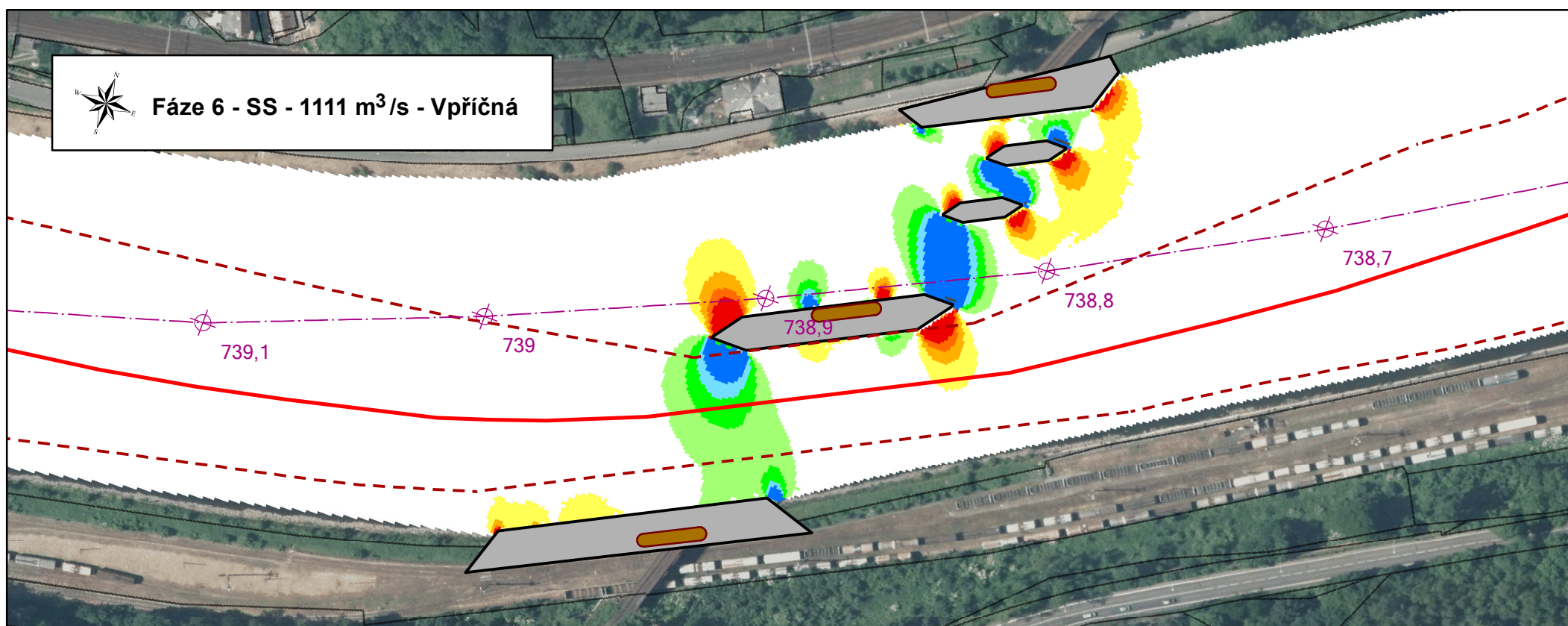
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

březen 2018

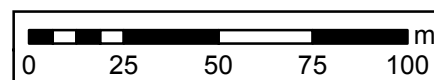
M 1: 2 000

Rozdíl příčných rychlostí: Fáze 3 - současný stav

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



Příloha č. 5.3



Děčín – rekonstrukce železničního mostu

březen 2018

M 1: 2 000

Rozdíl příčných rychlostí: Fáze 6 - současný stav

ČVUT v Praze, Fakulta stavební