



**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**

Doplnění průtoků 350, 450 a 650 m³.s⁻¹

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 2020



Obsah

Titulní list	3
1. Úvod a specifikace prací	4
2. Použité podklady	6
3. Popis použitého 2D modelu	7
4. Sestavení modelu pro zadané fáze rekonstrukce mostu	10
5. Simulace rychlostních poměrů během fází rekonstrukce mostu	12
5.1 Vyhodnocení celkových rychlostí	13
5.2 Vyhodnocení příčných složek rychlostí.....	15
6. Závěry	17
SEZNAM LITERATURY.....	18
PŘÍLOHY	19



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**

Doplnění průtoků 350, 450 a 650 m³.s⁻¹

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. 18 342 209 K04 objednatele a evidenčním č. 8301904A144 zhotovitele.

Analýza je zpracována s využitím 2D matematického modelu proudění vody (ČVUT, 2018), 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 pro průtokové situace 350, 450 a 650 m³.s⁻¹.

Zpráva navazuje na posouzení z ledna 2018 (ČVUT), které posuzovalo rychlostní a plavební podmínky v okolí železničního mostu při průtocích 117, 248 a 1111 m³.s⁻¹.

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 projekčně připravuje SUDOP PRAHA a.s.

V lednu 2018 bylo zpracováno posouzení rychlostních a plavebních podmínek v okolí rekonstruovaného mosru přes Labe v ř. km 738,87 (ČVUT, 01/2018). Součástí řešení bylo 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. Posouzení bylo zpracováno pro tři plavební průtoky: 117, 248 a 1111 m³.s⁻¹. Výsledky analýzy byly následně projednány v sídle Státní plavební správy – pobočka Děčín v dubnu 2018 za účasti zástupců Státní plavební správy, Povodí Labe, státní podnik, Správy železniční dopravní cesty, projektanta (SUDOP PRAHA a.s.) a zhotovitele posouzení (ČVUT).

Na jednání bylo domluveno, že analýza bude v další fázi přípravy akce rozšířena o další mezilehlé průtokové stavy mezi průtokem 248 a 1111 m³.s⁻¹. Na základě doporučení z projednání v dubnu 2018 a návrhu projektanta byla analýza rozšířena o průtokové situace 350, 450 a 650 m³.s⁻¹. Jejich zhodnocení je součástí této zprávy. Celkem jsou tedy komplexně posouzeny rychlostní a plavební podmínky při těchto průtocích:

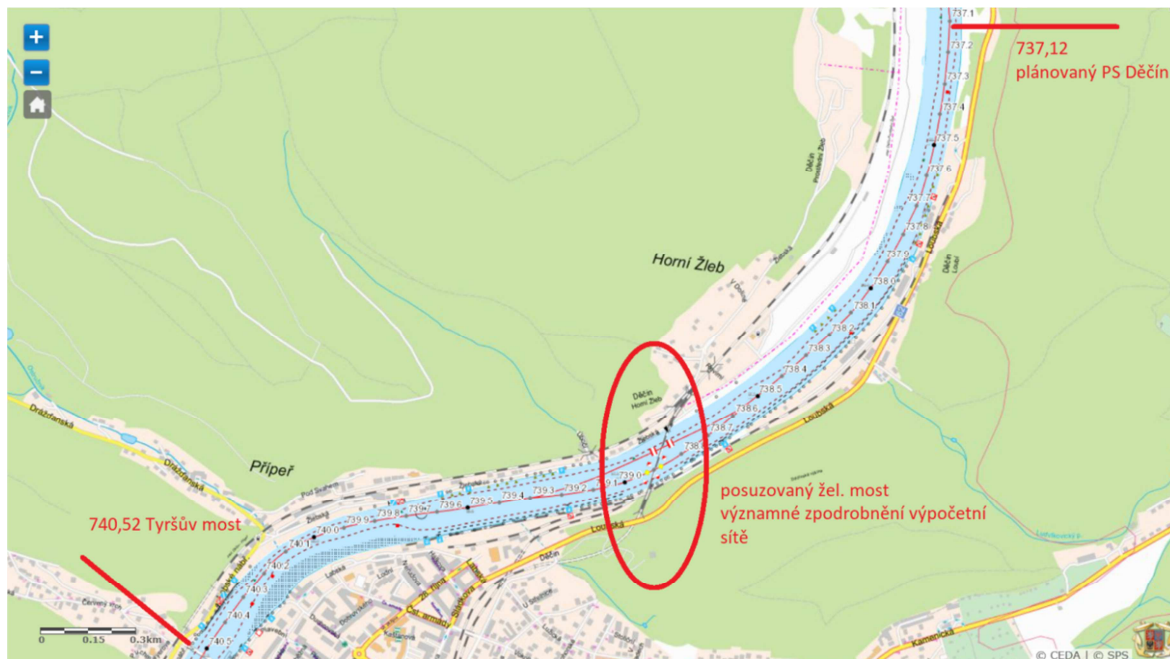
- minimální plavební průtok: $Q_{345d} = 117 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
- průtok 180-ti denní vody: $Q_{180d} = 248 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
- $Q = 350 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
- $Q = 450 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
- $Q = 650 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
- maximální plavební průtok: $Q_{\text{maxplav}} = 1111 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Hodnoty m-denních průtoků v profilu mostu jsou uvažovány v souladu s rozhodnutím ŘVC ČR č. ŘVC/497/2012 pro Labe pod Ploučnicí a jsou pro názornost uvedeny v následující tab. 1.1. Tyto hodnoty jsou uvažovány v daném úseku v rámci projektu dokončení splavnění Labe. Hodnota jednoletého průtoku je v daném úseku rovna $Q_1 = 1300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Tab. 1.1 Čára překročení m-denních průtoků v posuzovaném úseku Labe.

m [dny]	10	30	90	180	210	345
$Q_m [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	934	633	384	248	217	117

Pro posouzení je využit 2D matematický model proudění vody HEC-RAS v 5.0.7 (U.S. Army Corps of Engineers, 2019), který uvažuje střední svislicové rychlosti. Tento návrh vychází z předpokladu, že konstrukce montážních bábek 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.

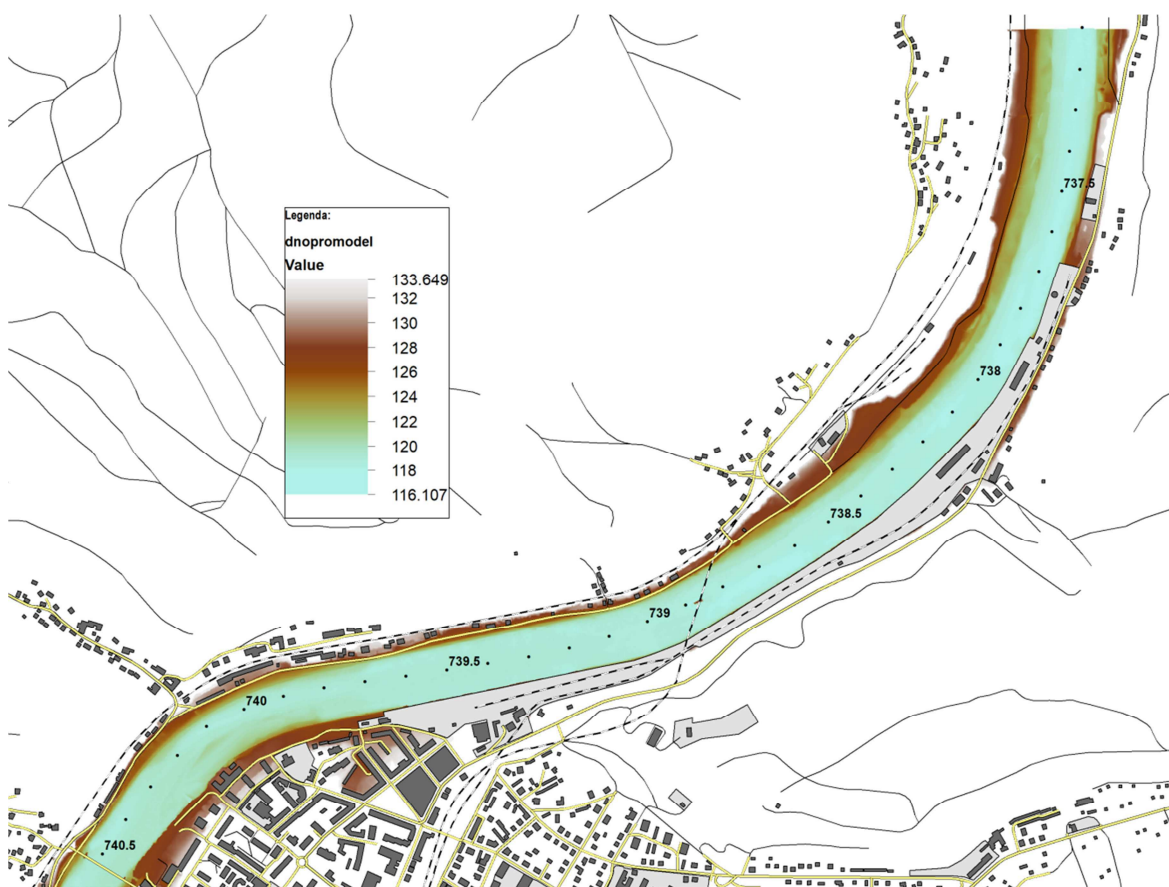


Obr. 1.1 Rozsah matematického 2D modelu proudění.

Použitý matematický model proudění byl převzat z předchozí studie (ČVUT, 2018). Model byl sestaven na podkladě 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.

2. Použité podklady

Základním vstupním podkladem pro sestavení matematického 2D modelu proudění (ČVUT, 2018) 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 zaměření dna Labe vyměřovacím plavidlem Povodí Labe, státní podnik. 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.



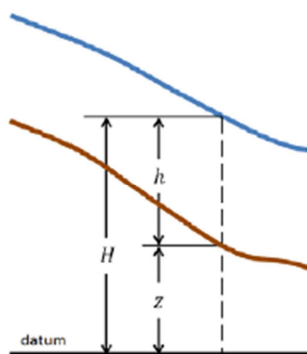
Obr. 2.1 Digitální model terénu pro 2D model .

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. 5.1 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:

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

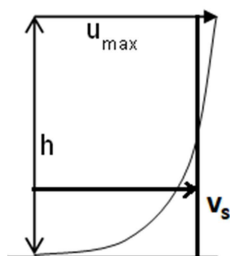
kde n je drsnostní Manningův koeficient, který závisí na charakteru koryta a jeho opevnění. V případě přírodního koryta často nabývá hodnoty $n=0,035$.

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.

Sestavený model byl následně kalibrován. Popis kalibrace a výsledná spolehlivost modelu je podrobně dokumentována v předchozí studii (ČVUT, 2018).

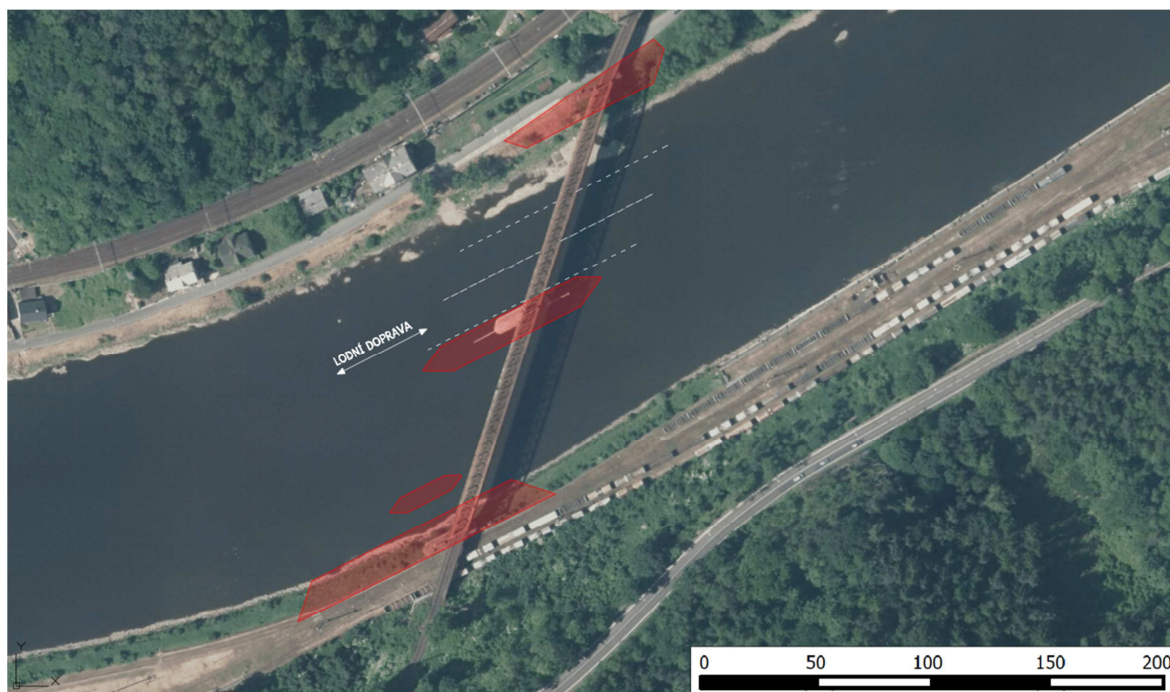
4. Sestavení modelu pro zadané fáze rekonstrukce mostu

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

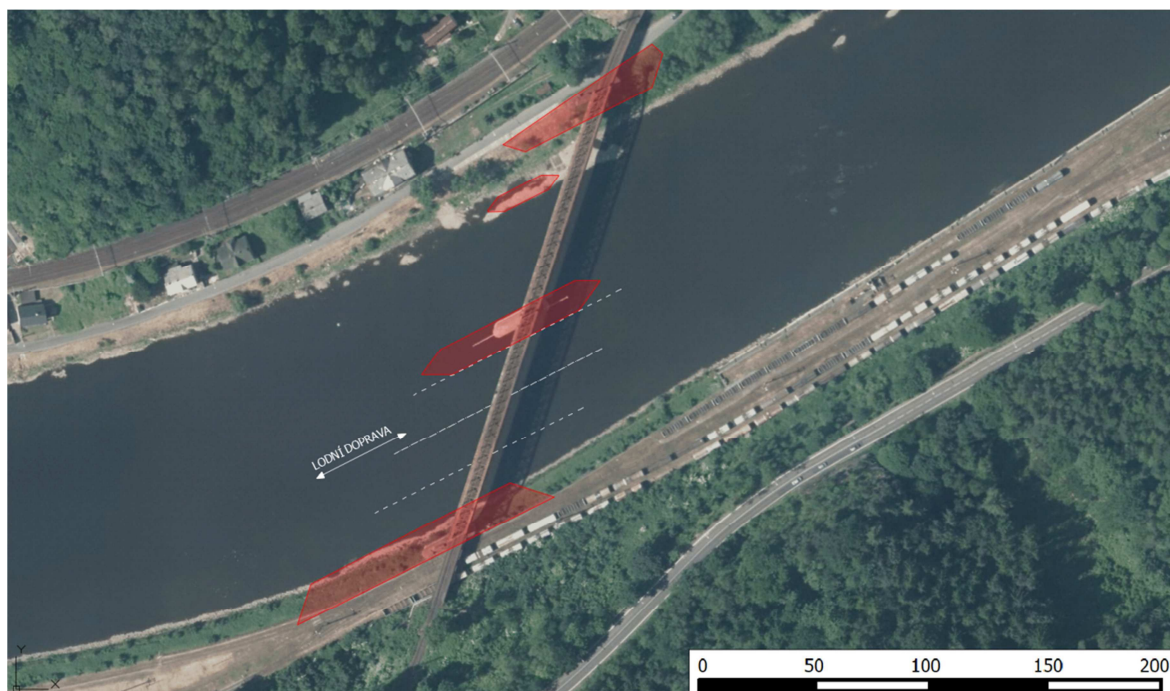
V rámci této fáze je omezen průtočný profil pravého pole mostu jednou montážní bárkou a plavba je vedena jednosměrně levým polem se šířkou plavební dráhy 31,59 m.



Obr. 4.1 Schéma rozmístění montážních bárek a plavební dráhy v rámci fáze 1.

Fáze 3

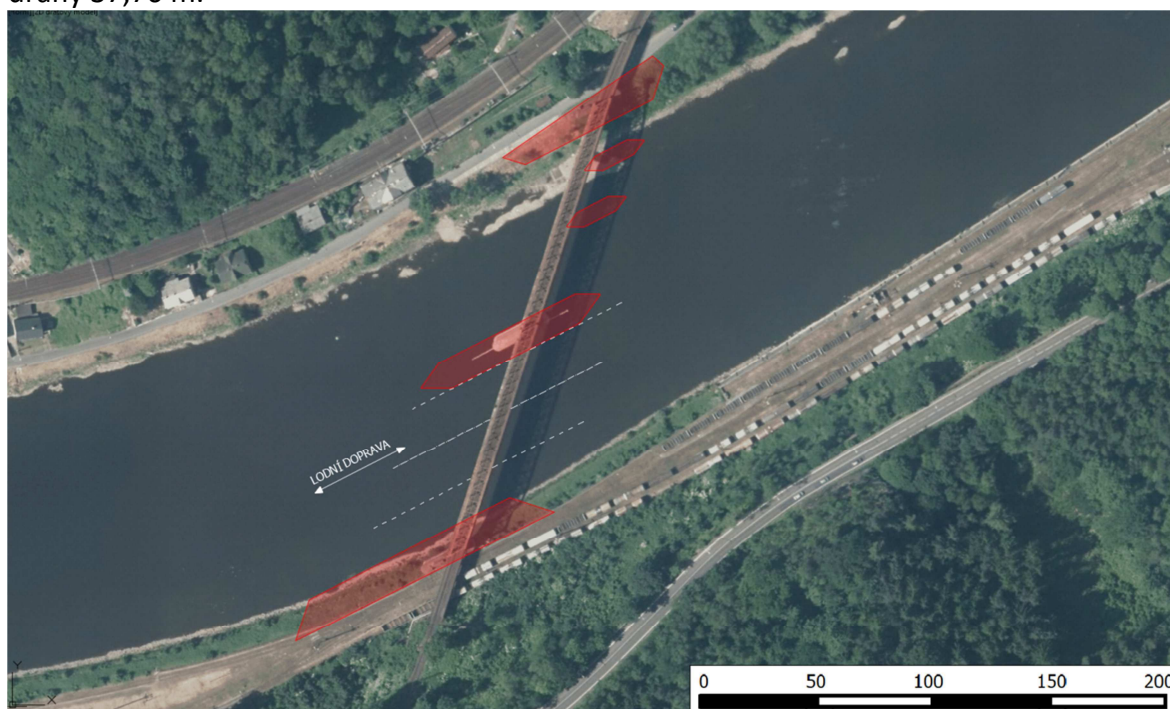
V rámci této fáze je omezen průtočný profil levého pole mostu a plavba je vedena jednosměrně pravým polem se šířkou plavební dráhy 37,76 m.



Obr. 4.2 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. 4.3 Schéma rozmístění montážních bárek a plavební dráhy v rámci fáze 6.



5. 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.

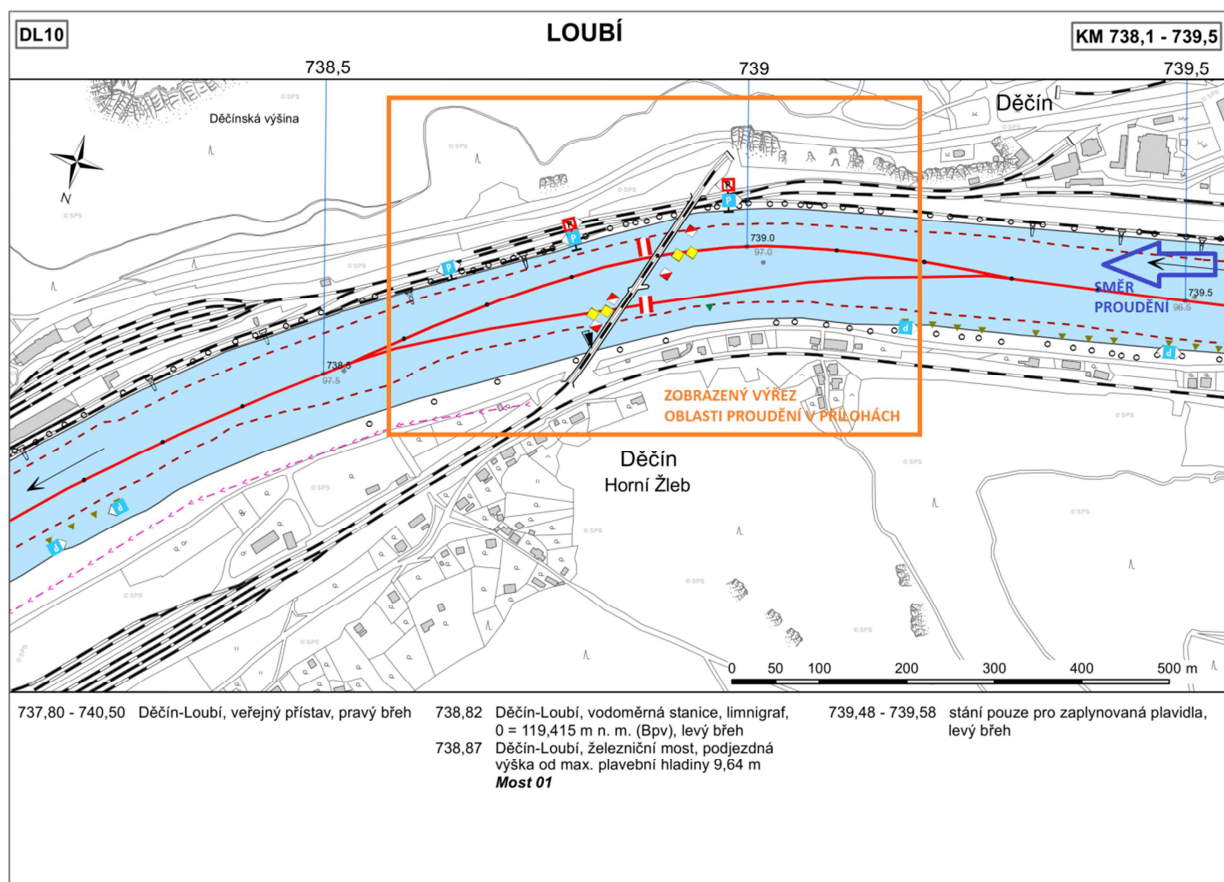
Simulace byly zpracovány ve shodě se zadáním pro tyto průtokové situace: 350, 450 a 650 m³.s⁻¹.

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. 5.1 je znázorněn rozsah oblasti proudění v úseku cca ř. km 738,6 až 739,2, který je podrobně dokumentován v přílohách.



Obr. 5.1 Zobrazovaný výřez oblasti proudění v přílohách na podkladě plavební mapy.

5.1 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. 5.1, která shrnuje maximální rychlosti proudění v plavební dráze v okolí posuzovaného mostu. Zvýšení rychlostí proudění v plavební dráze dokumentuje tab. 5.2. Do porovnání jsou zahrnuty také hodnoty pro průtoky 117 , 248 a $1111 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, které byly posouzeny v lednu 2018 (ČVUT).

Tab. 5.1 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} $248 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	$350 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	$450 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	$650 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	Q_{maxplav} $1111 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
Současný stav	≤ 1	≤ 1.25	≤ 1.25	≤ 1.5	≤ 1.75	≤ 2
Fáze 1	≤ 1	≤ 1.25	≤ 1.5	≤ 1.5	≤ 1.75	≤ 2.25
Fáze 3	≤ 1	≤ 1.25	≤ 1.5	≤ 1.5	≤ 1.75	≤ 2.25
Fáze 6	≤ 1	≤ 1.25	≤ 1.5	≤ 1.5	≤ 1.75	≤ 2.25

Tab. 5.2 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} $248 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	$350 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	$450 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	$650 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	Q_{maxplav} $1111 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
Fáze 1	0 - 0.1	0.1 - 0.3	0.1 - 0.3	0.1 - 0.3	0.1 - 0.4	0.1 - 0.4
Fáze 3	0 - 0.1	0.1 - 0.3	0.1 - 0.3	0.1 - 0.3	0.1 - 0.4	0.1 - 0.4
Fáze 6	0 - 0.1	0.1 - 0.3	0.1 - 0.3	0.1 - 0.3	0.1 - 0.4	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. 5.1. 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.

5.2 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. 5.1). 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. 5.3, která shrnuje maximální příčné rychlosti v plavební dráze v okolí posuzovaného mostu. Rychlosti jsou hodnoceny v bezpečné vzdálenosti od montážních bábek cca 5 m. Lokální zvýšení příčných rychlostí v plavební dráze ve srovnání se současným stavem je popsáno v tab. 5.4. Do porovnání jsou zahrnuty také hodnoty pro průtoky 117 , 248 a $1111 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, které byly posouzeny v lednu 2018 (ČVUT).

Tab. 5.3 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} $248 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$	$350 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$	$450 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$	$650 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$	Q_{maxplav} $1111 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$
Současný stav	≤ 0.2	≤ 0.2	≤ 0.2	≤ 0.3	≤ 0.3	≤ 0.4
Fáze 1	≤ 0.2	≤ 0.2	≤ 0.3	≤ 0.3	≤ 0.4	≤ 0.4
Fáze 3	≤ 0.2	≤ 0.3	≤ 0.3	≤ 0.3	≤ 0.4	≤ 0.4
Fáze 6	≤ 0.2	≤ 0.3	≤ 0.3	≤ 0.3	≤ 0.4	≤ 0.5

Tab. 5.4 Lokální zvýšení příčných rychlostí v plavební dráze ve srovnání se současným stavem.

lokální zvýšení příčné rychlosti v plavební dráze [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]	průtok					
	Q_{345d} $117 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Q_{180d} $248 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$350 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$450 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$650 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Q_{maxplav} $1111 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Fáze 1	0.1 - 0.2	0.1 - 0.2	0.1 - 0.3	0.1 - 0.3	0.1 - 0.4	0.1 - 0.4
Fáze 3	0.1 - 0.2	0.1 - 0.2	0.1 - 0.3	0.1 - 0.3	0.1 - 0.4	0.1 - 0.4
Fáze 6	0.1 - 0.2	0.1 - 0.3	0.1 - 0.3	0.1 - 0.4	0.1 - 0.4	0.1 - 0.4

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.

Podstatná je také skutečnost, že příčná složka rychlosti navádí vždy plavidlo do osy plavební dráhy a nehrozí tedy kolize s montážní bárkou. Příklad, na který upozorňuje vyhláška 222/1995 Sb. je opačný, neboť příčná složka rychlosti proudění v plavební dráze před zhlavím dělicí zdi rejdu plavebních komor navádí plavidlo směrem do dělicí zdi.

6. 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 350, 450 a 650 m³.s⁻¹ pomocí 2D matematického modelu. Toto posouzení doplnilo dříve zpracovanou analýzu pro průtoky Q_{345d} , Q_{180d} a $Q_{maxplav}$ (ČVUT, 2018). Řešení dospělo k těmto závěrům:

1. 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 projektové dokumentaci jako fáze č. 1, fáze č. 3 a fáze č. 6.
2. 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.s⁻¹. Při zohlednění rozdělení rychlostí ve svislici lze předpokládat, že v hladinové vrstvě bude maximální rychlost proudění cca 2,6 m.s⁻¹ a dojde tak ke slabému překročení doporučeného limitu.
3. Maximální hodnoty příčné složky rychlosti kolmé na osu plavební dráhy se významně neliší od současného stavu a k překročení doporučené hodnoty 0,2 m.s⁻¹ (platné pro okolí zhlaví dělicích 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. Podstatná je také skutečnost, že příčná složka rychlosti navádí vždy plavidlo do osy plavební dráhy a nehrozí tedy kolize s montážní bárkou. Příklad, na který upozorňuje vyhláška 222/1995 Sb. je opačný, neboť příčná složka rychlosti proudění v plavební dráze před zhlavím dělicí zdi rejd plavebních komor navádí plavidlo směrem do dělicí zdi.
4. 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., Horský, M., Kašpar, T.: Posouzení změny plavebních podmínek během rekonstrukce železničního mostu přes Labe na trati Děčín východ - Děčín Prostřední Žleb. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 01/2018.
3. 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.
4. 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.
5. Medřický, V., Valenta, P.: Vodní cesty. Navrhování plavebních komor. Skriptum ČVUT. Praha 2009.
6. Plavební mapy. List DL10. Státní plavební správa. <http://mapy.spspraha.cz/lpm/>
7. 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.
8. Sedlák, V: Matematický model převádění vody během výstavby plavebního stupně Děčín. Diplomová práce. Vedoucí práce: Fošumpaur, P., Praha 2018.
9. SUDOP PRAHA a.s.: Výkres etap rekonstrukce mostu s vyznačením poloh montážních bárek v jednotlivých posuzovaných fázích výstavby (fáze č. 1, fáze č. 3 a fáze č. 6). 11/2017.
10. U. S. Army Corps of Engineers: HEC-RAS 2D, verze 5.0.7. Matematický 2D model proudění vody. 2019.
11. 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 $350 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
2.2	Současný stav	průtok $450 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
2.3	Současný stav	průtok $650 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
2.4	Fáze 1	průtok $350 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
2.5	Fáze 1	průtok $450 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
2.6	Fáze 1	průtok $650 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
2.7	Fáze 3	průtok $350 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
2.8	Fáze 3	průtok $450 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
2.9	Fáze 3	průtok $650 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
2.10	Fáze 6	průtok $350 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
2.11	Fáze 6	průtok $450 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
2.12	Fáze 6	průtok $650 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

3. Příčné složky rychlosti proudění

3.1	Současný stav	průtok $350 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, příčné složky k dráze v levém poli mostu
3.2	Současný stav	průtok $350 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, příčné složky k dráze v pravém poli mostu
3.3	Současný stav	průtok $450 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, příčné složky k dráze v levém poli mostu
3.4	Současný stav	průtok $450 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, příčné složky k dráze v pravém poli mostu
3.5	Současný stav	průtok $650 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, příčné složky k dráze v levém poli mostu
3.6	Současný stav	průtok $650 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, příčné složky k dráze v pravém poli mostu
3.7	Fáze 1	průtok $350 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
3.8	Fáze 1	průtok $450 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
3.9	Fáze 1	průtok $650 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
3.10	Fáze 3	průtok $350 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
3.11	Fáze 3	průtok $450 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
3.12	Fáze 3	průtok $650 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
3.13	Fáze 6	průtok $350 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
3.14	Fáze 6	průtok $450 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
3.15	Fáze 6	průtok $650 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

4. Rozdílové mapy celkových rychlostí

4.1	Fáze 1 - Současný stav	průtoky $350, 450$ a $650 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
4.2	Fáze 3 - Současný stav	průtoky $350, 450$ a $650 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
4.3	Fáze 6 - Současný stav	průtoky $350, 450$ a $650 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

5. Rozdílové mapy příčných složek rychlosti

5.1	Fáze 1 - Současný stav	průtoky $350, 450$ a $650 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
5.2	Fáze 3 - Současný stav	průtoky $350, 450$ a $650 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
5.3	Fáze 6 - Současný stav	průtoky $350, 450$ a $650 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

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: 350, 450 a 650 m³/s

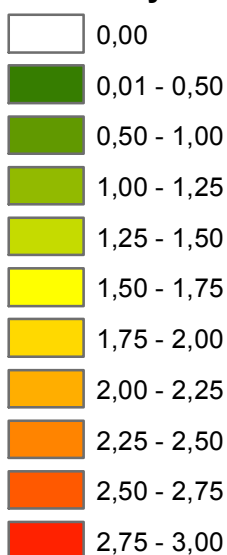
- etapy: současný stav, fáze 1, 3 a 6

listopad 2019

ČVUT v Praze, Stavební fakulta

Mapy celkových rychlostí (12x)

celková rychlost [m/s]

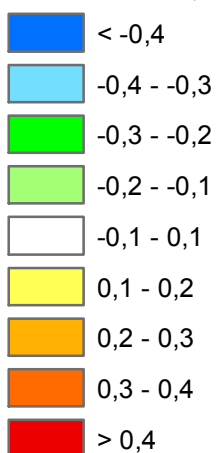


směr celkových rychlostí

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


Rozdíl celkových rychlostí (9 x)

rozdíl fází 1, 3 a 6 vůči SS [m/s]

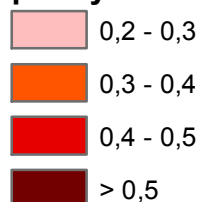


Mapy příčných rychlostí (15x)

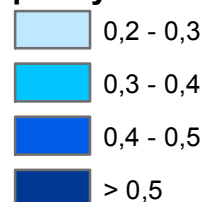
příčná rychlost [m/s]

 0,0 - 0,2

příčný směr vlevo



příčný směr vpravo



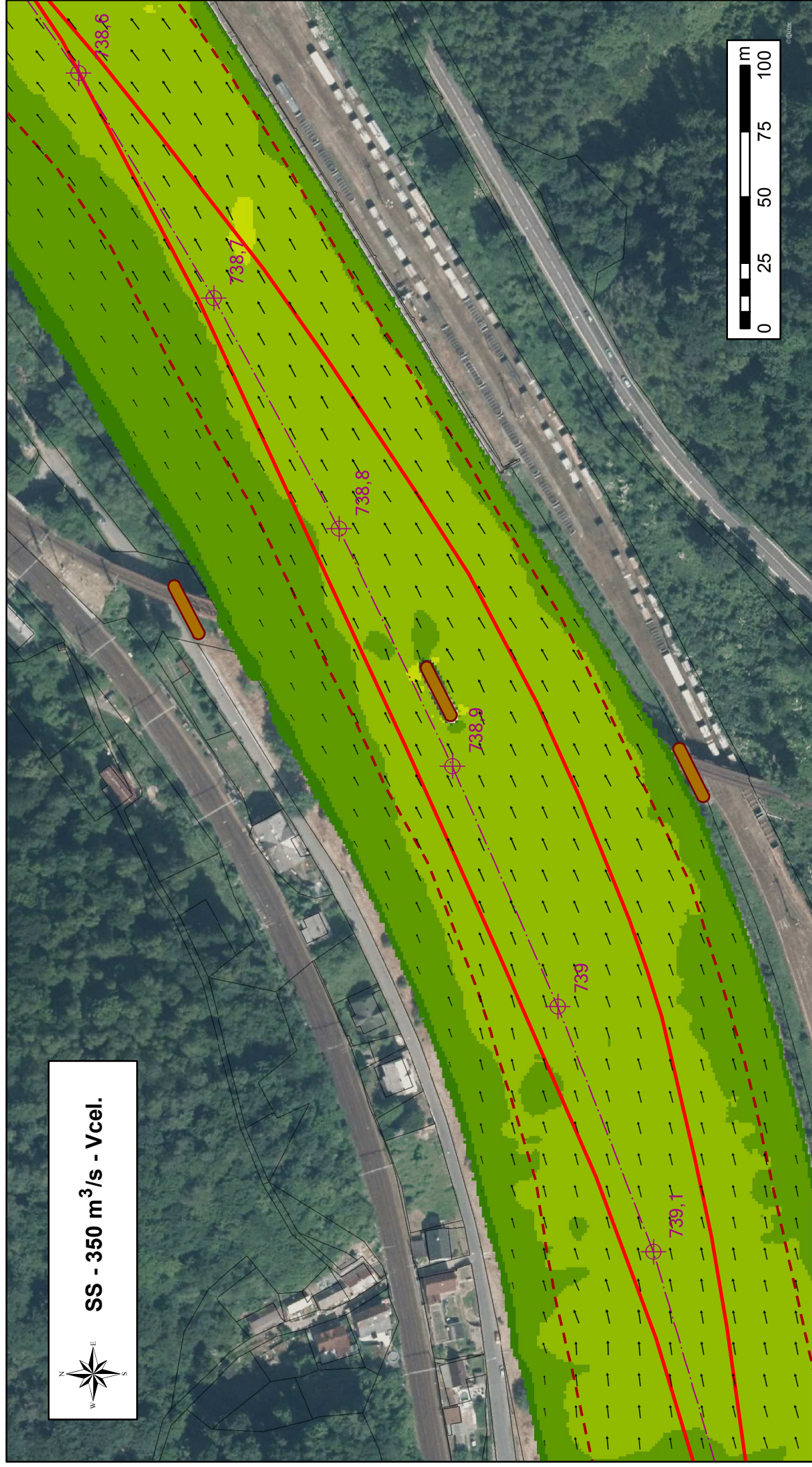
směr celkových rychlostí

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

Rozdíl příčných rychlostí (9 x)

rozdíl fází 1, 3 a 6 vůči SS [m/s]





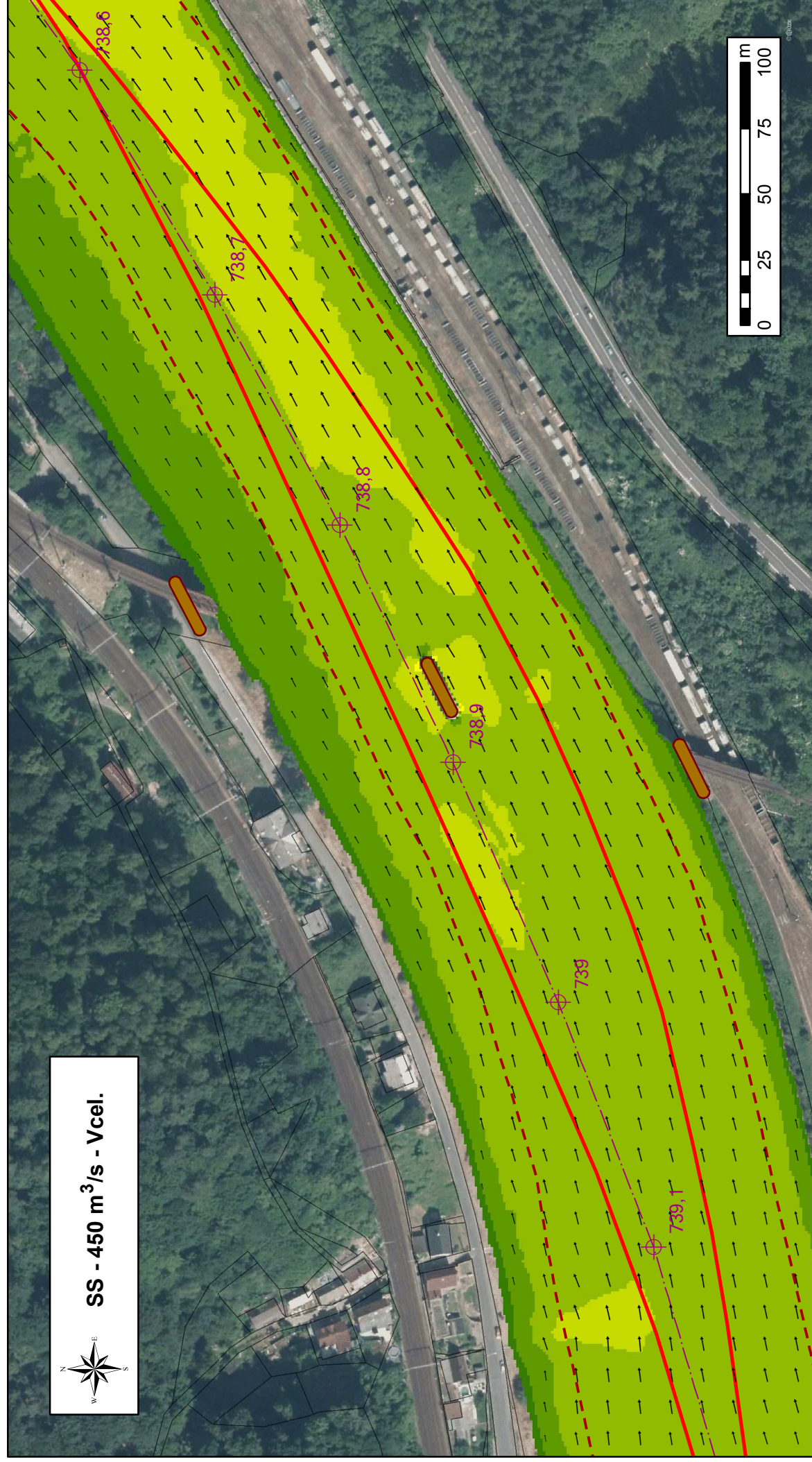
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Celkové rychlosti při průtoku 350 m³/s - současný stav (etapa 0)

listopad 2019

M 1 : 2 000

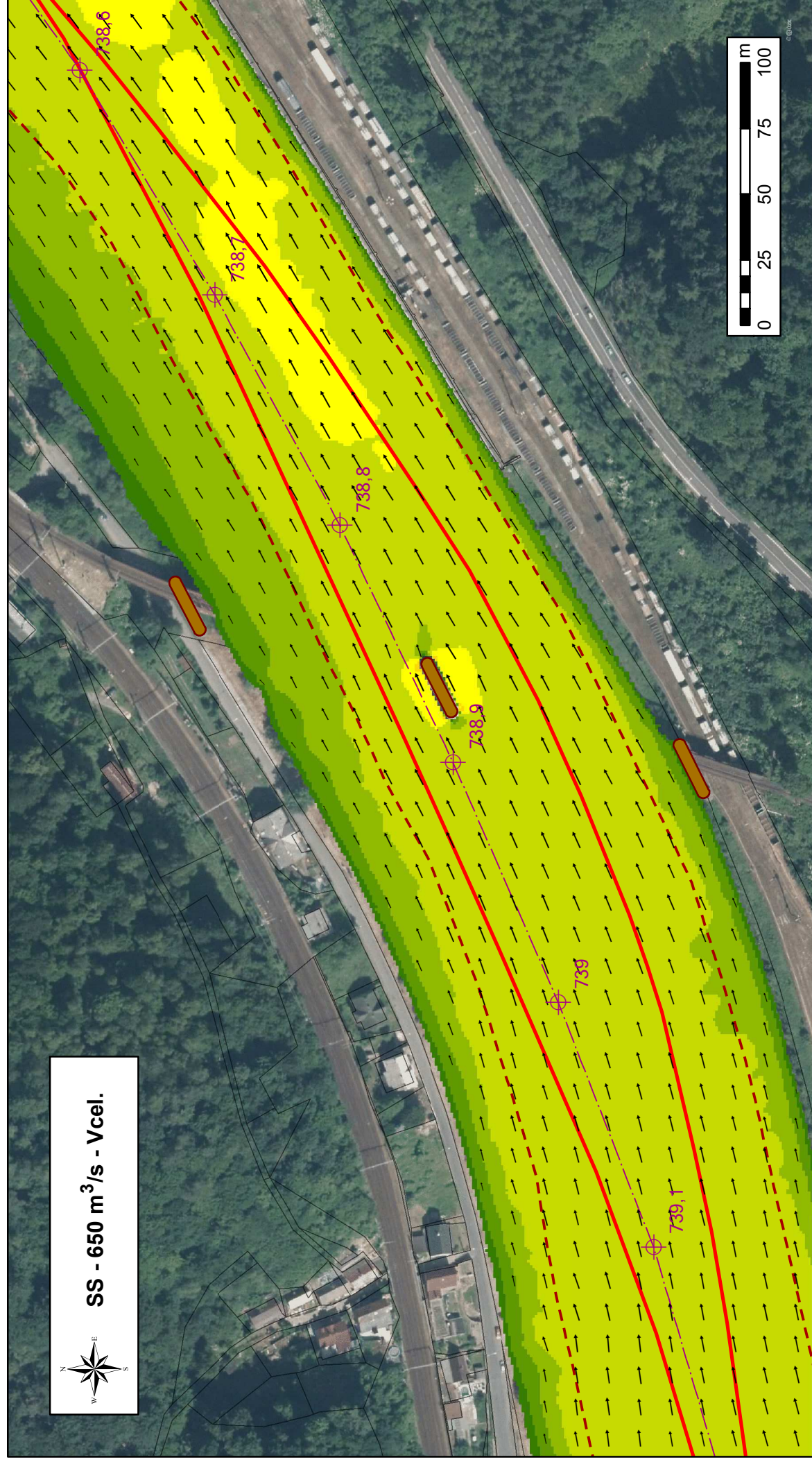
ČVUT v Praze, Fakulta stavební



listopad 2019
M 1 : 2 000

Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Celkové rychlosti při průtoku 450 m³/s - současný stav (etapa 0) ČVUT v Praze, Fakulta stavební



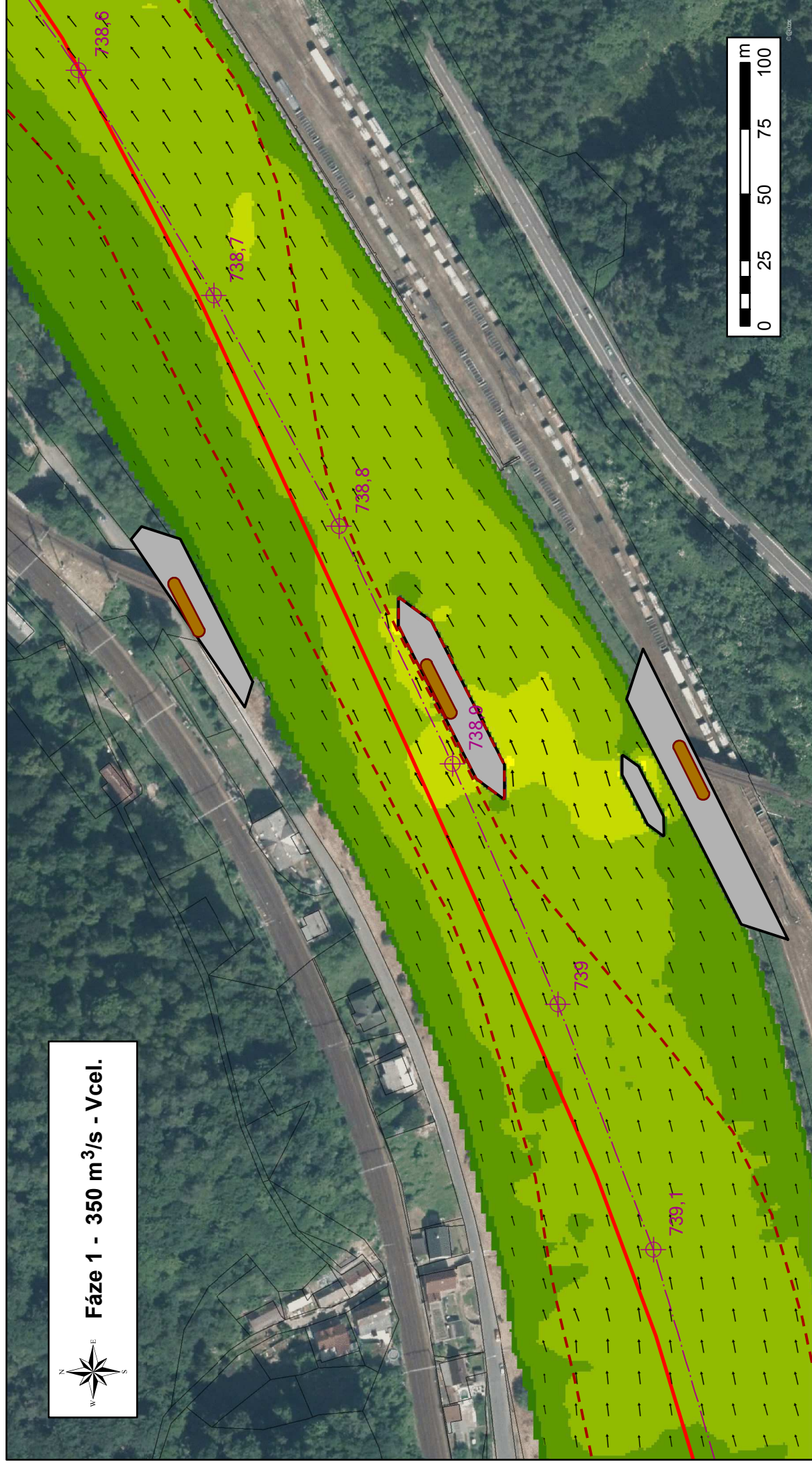
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Celkové rychlosti při průtoku 650 m³/s - současný stav (etapa 0)

listopad 2019

M 1 : 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



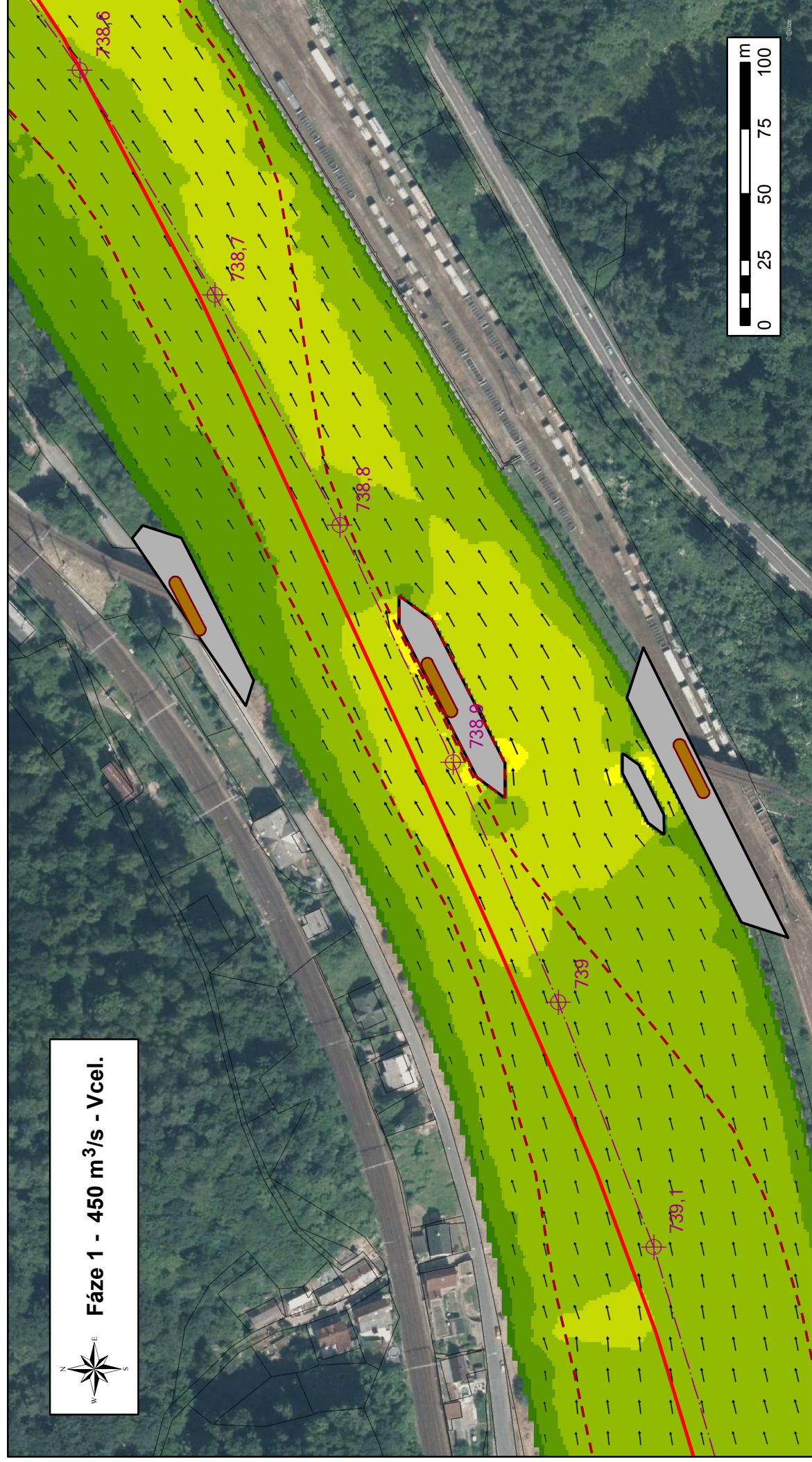
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Celkové rychlosti při průtoku 350 m³/s - Fáze 1

listopad 2019

M 1 : 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



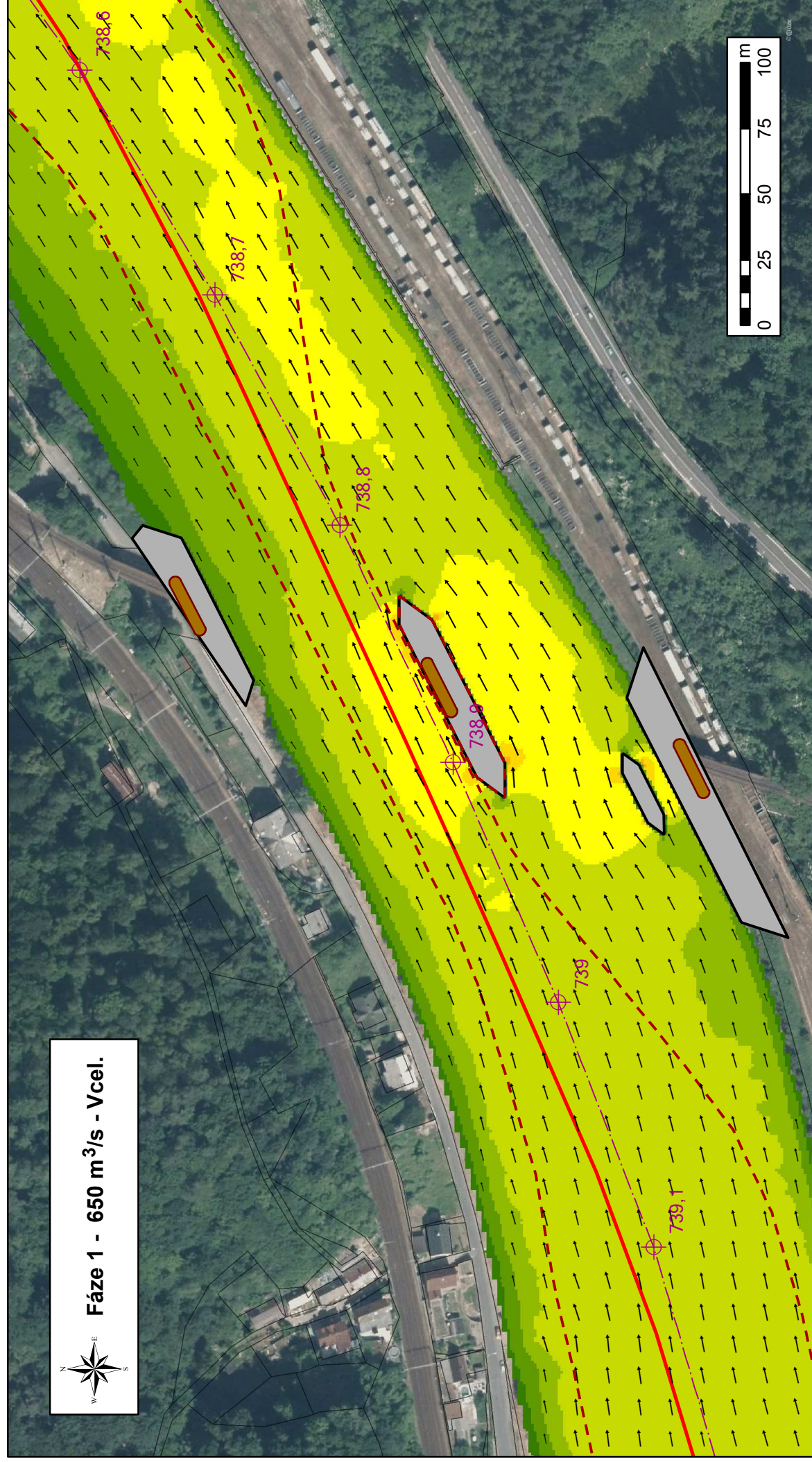
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Celkové rychlosti při průtoku 450 m³/s - Fáze 1

listopad 2019

M 1 : 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



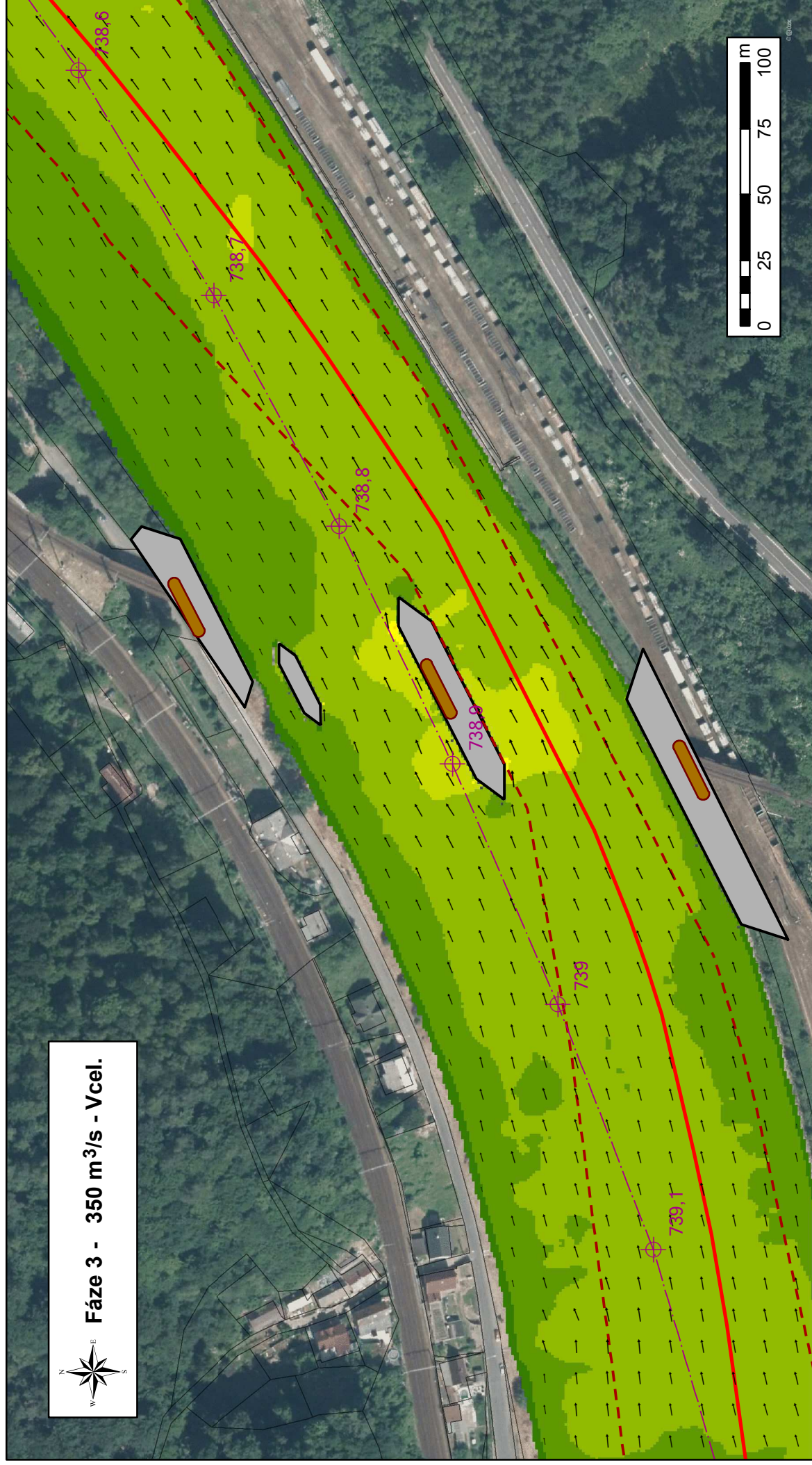
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Celkové rychlosti při průtoku 650 m³/s - Fáze 1

listopad 2019

M 1 : 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



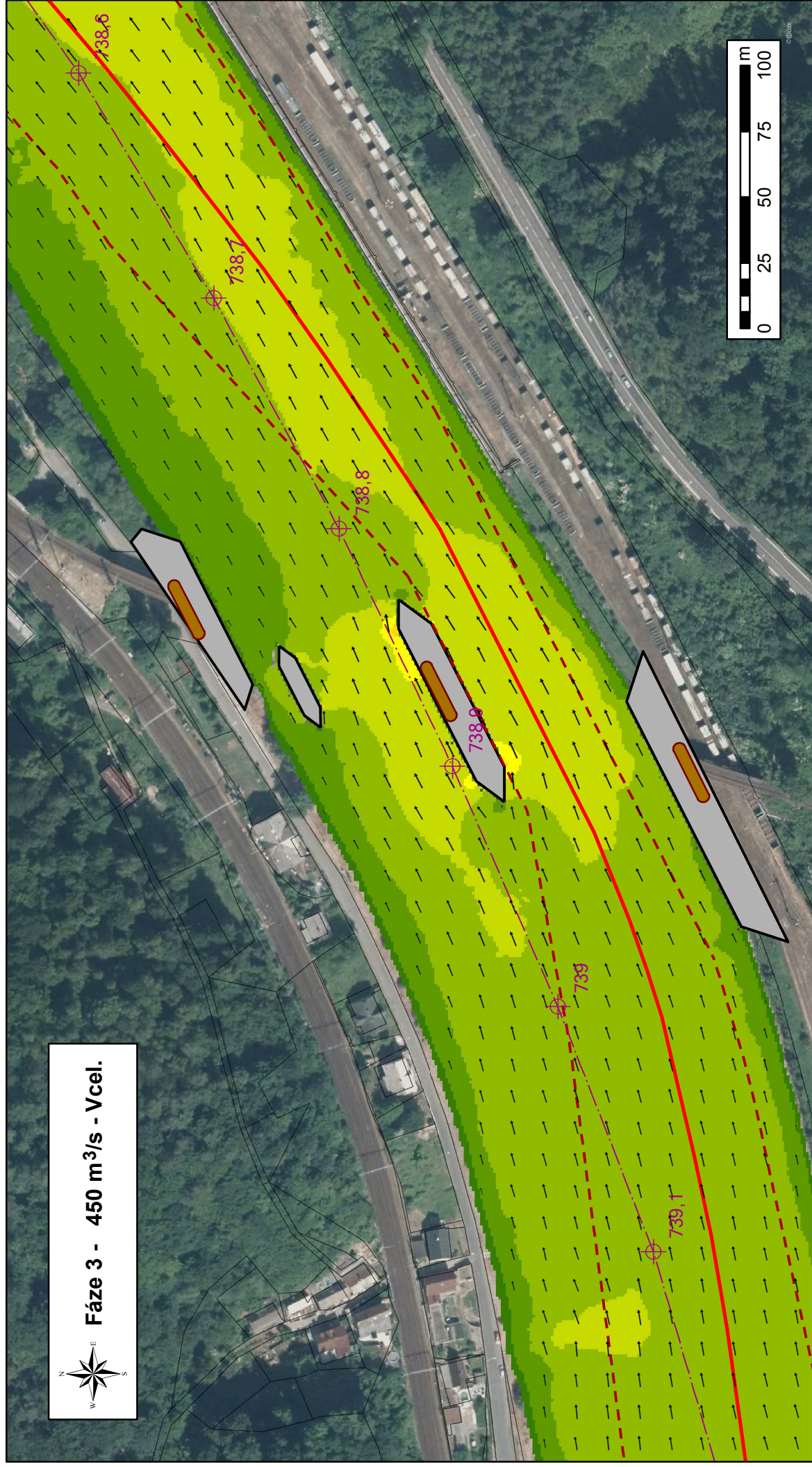
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Celkové rychlosti při průtoku 350 m³/s - Fáze 3

listopad 2019

M 1 : 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



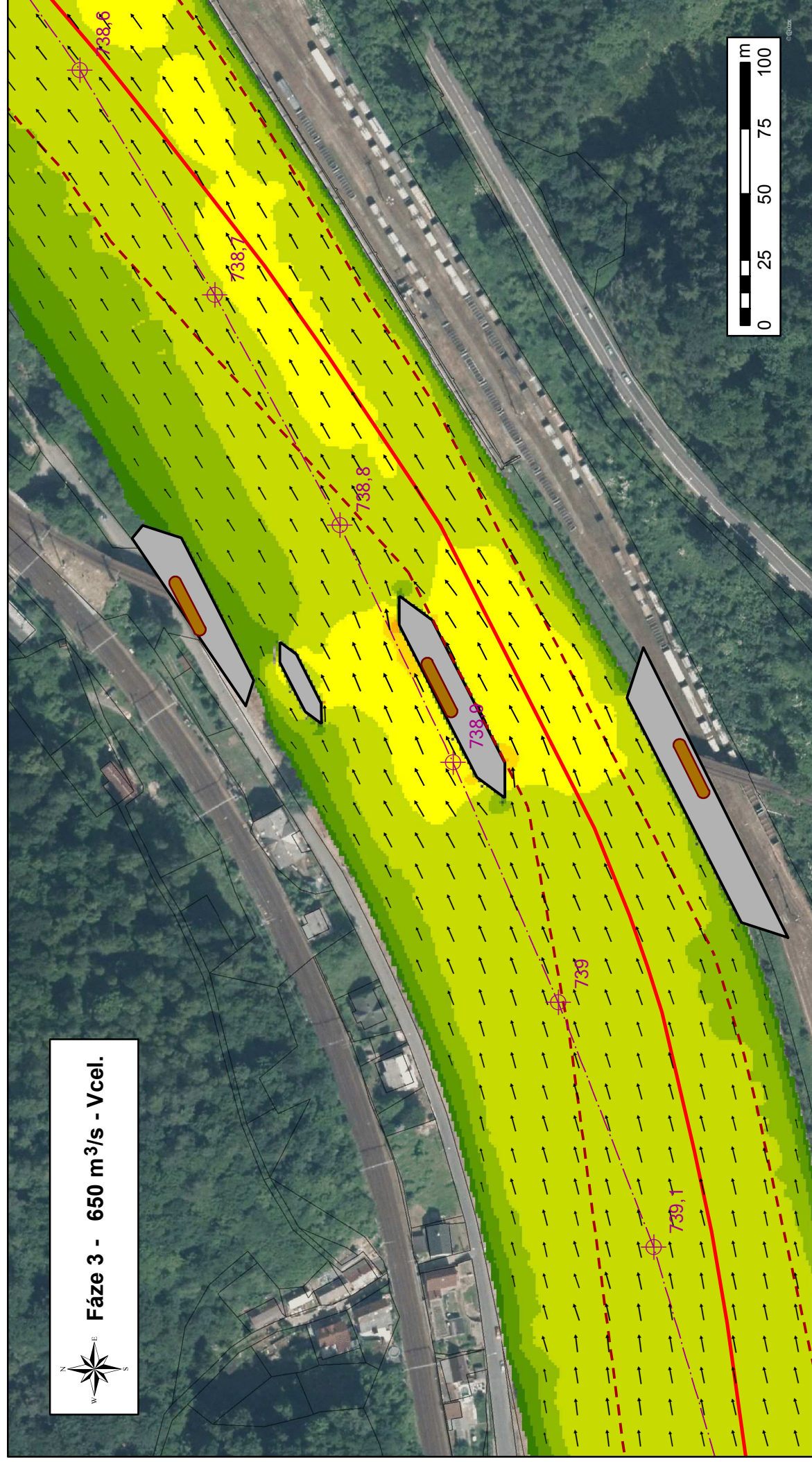
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Celkové rychlosti při průtoku 450 m³/s - Fáze 3

listopad 2019

M 1: 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



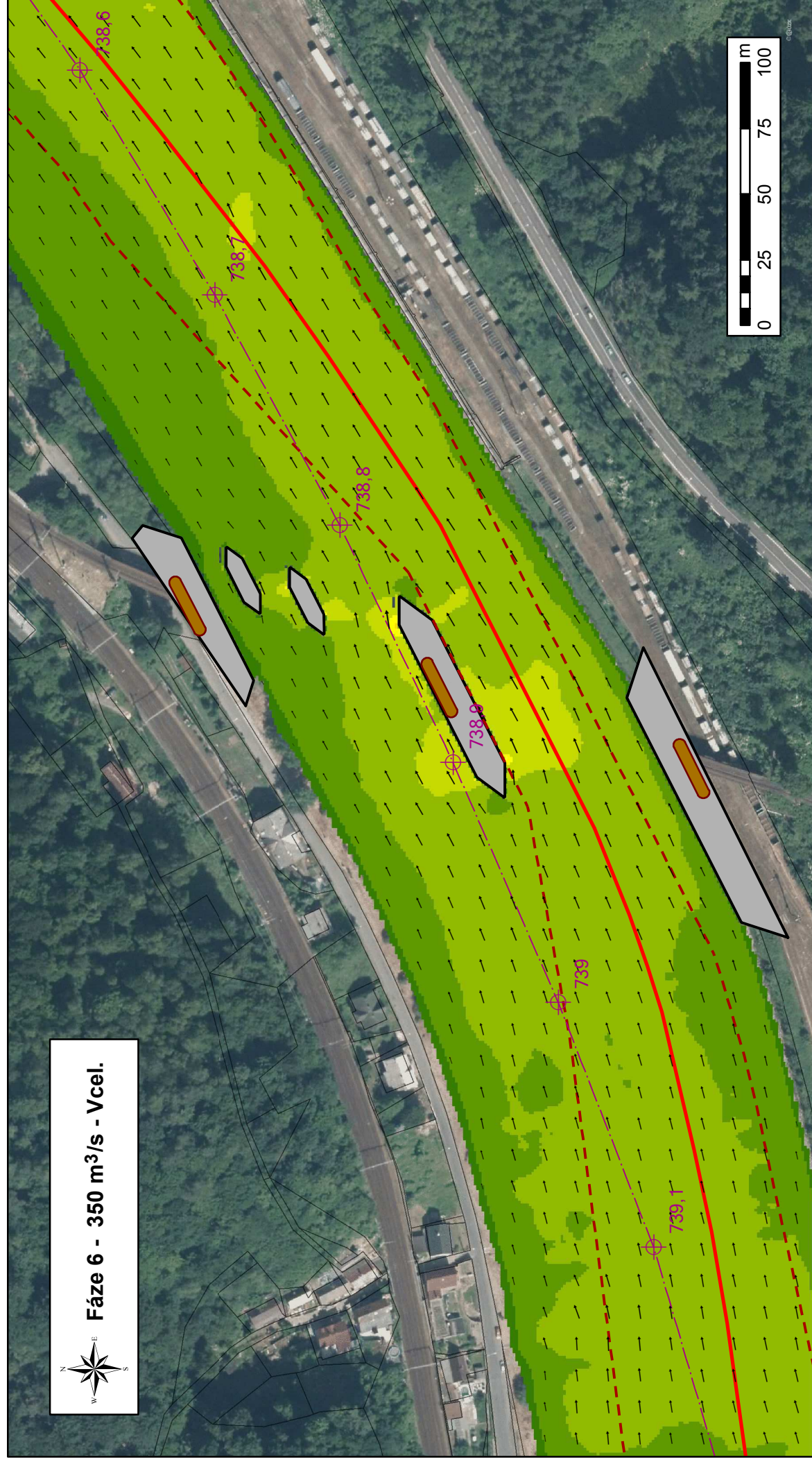
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Celkové rychlosti při průtoku 650 m³/s - Fáze 3

listopad 2019

M 1 : 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



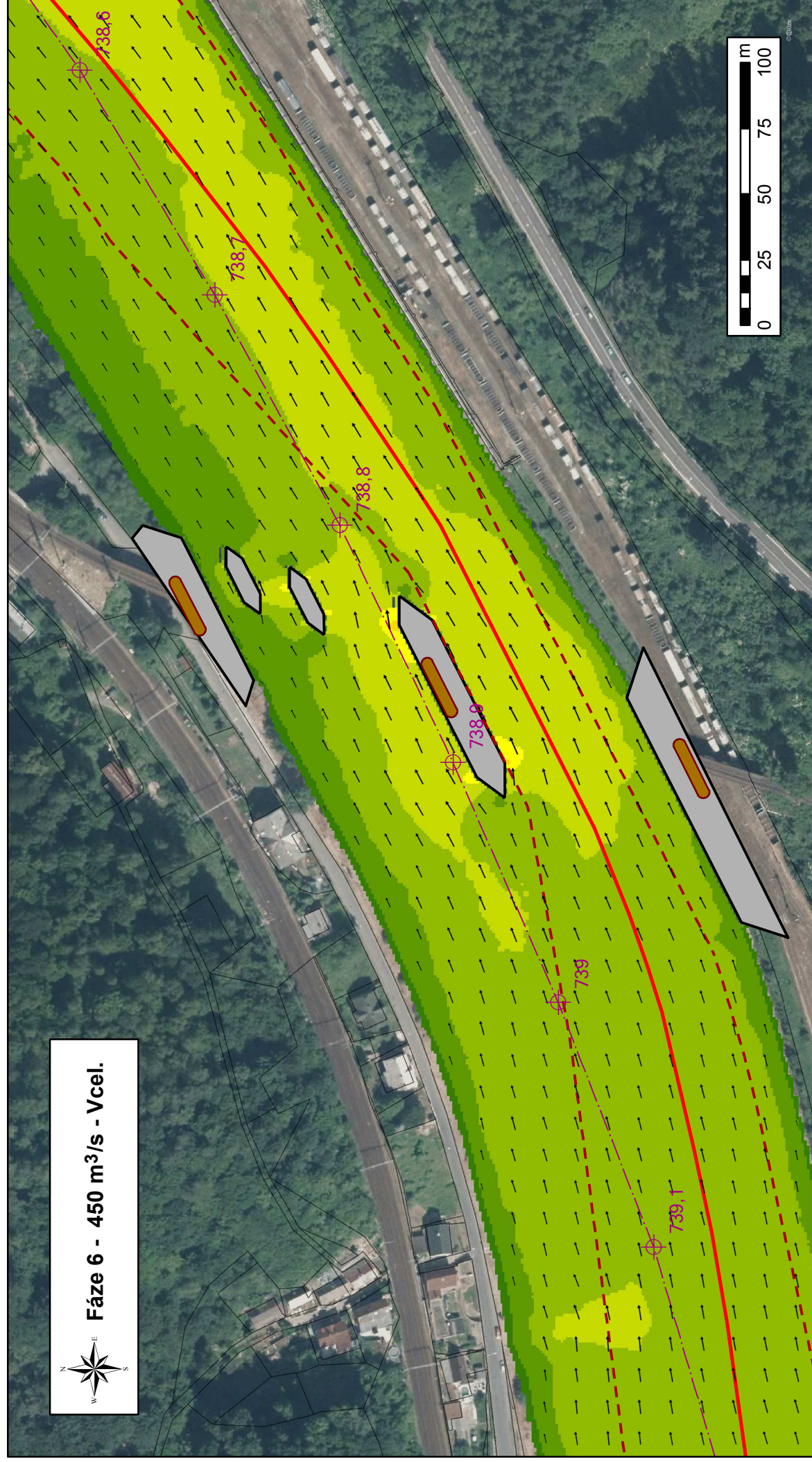
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Celkové rychlosti při průtoku 350 m³/s - Fáze 6

listopad 2019

M 1 : 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



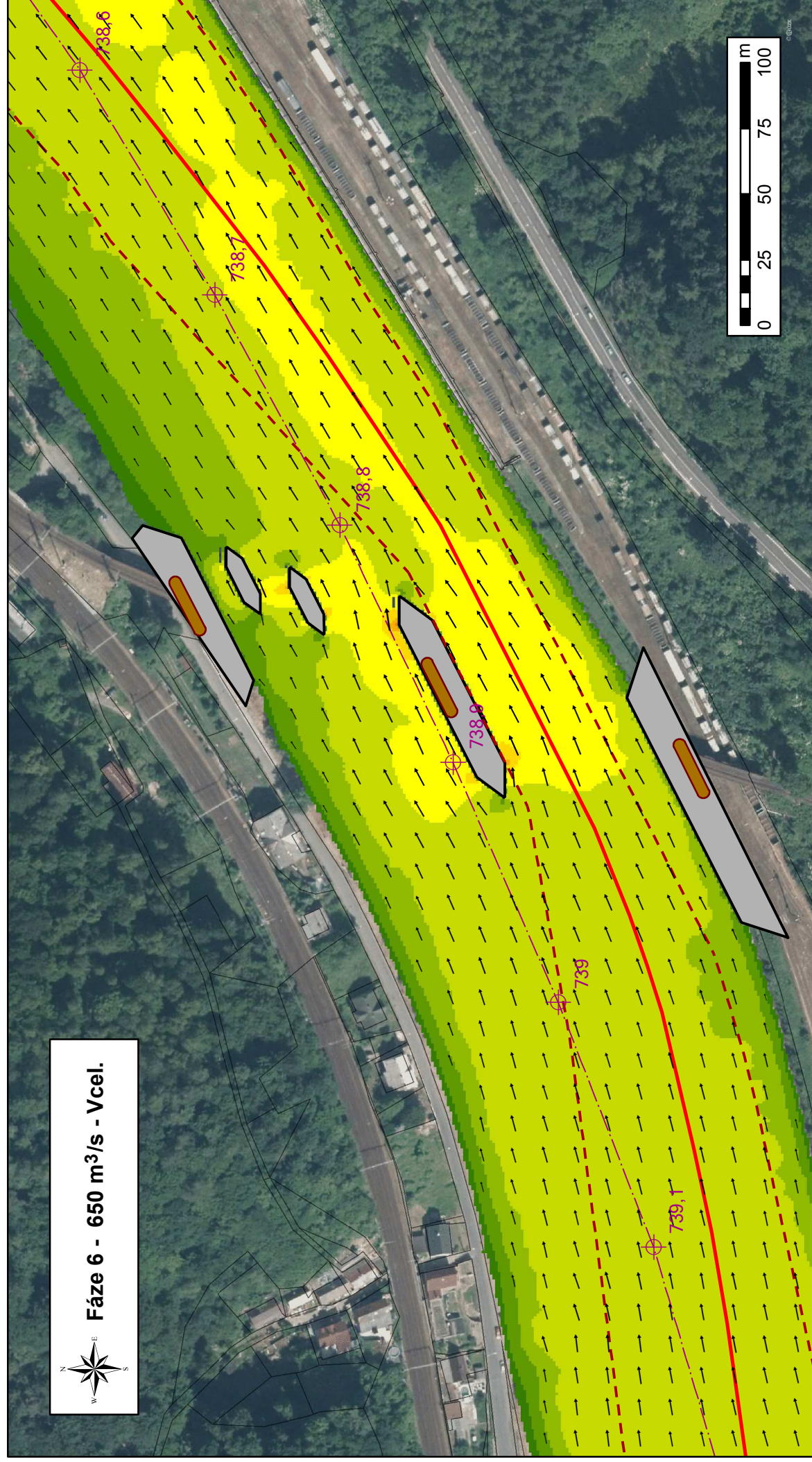
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Celkové rychlosti při průtoku 450 m³/s - Fáze 6

listopad 2019

M 1 : 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



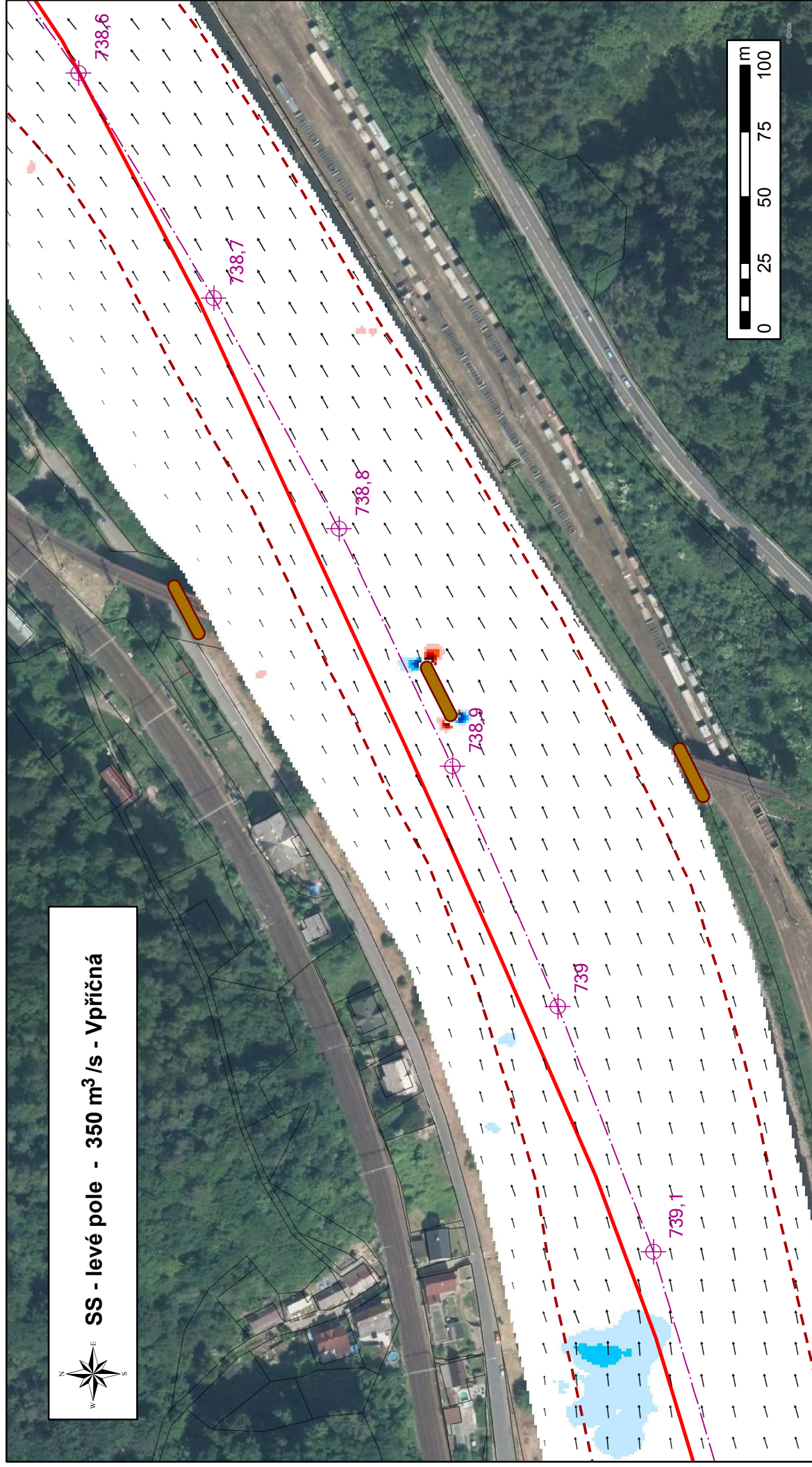
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Celkové rychlosti při průtoku 650 m³/s - Fáze 6

listopad 2019

M 1: 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



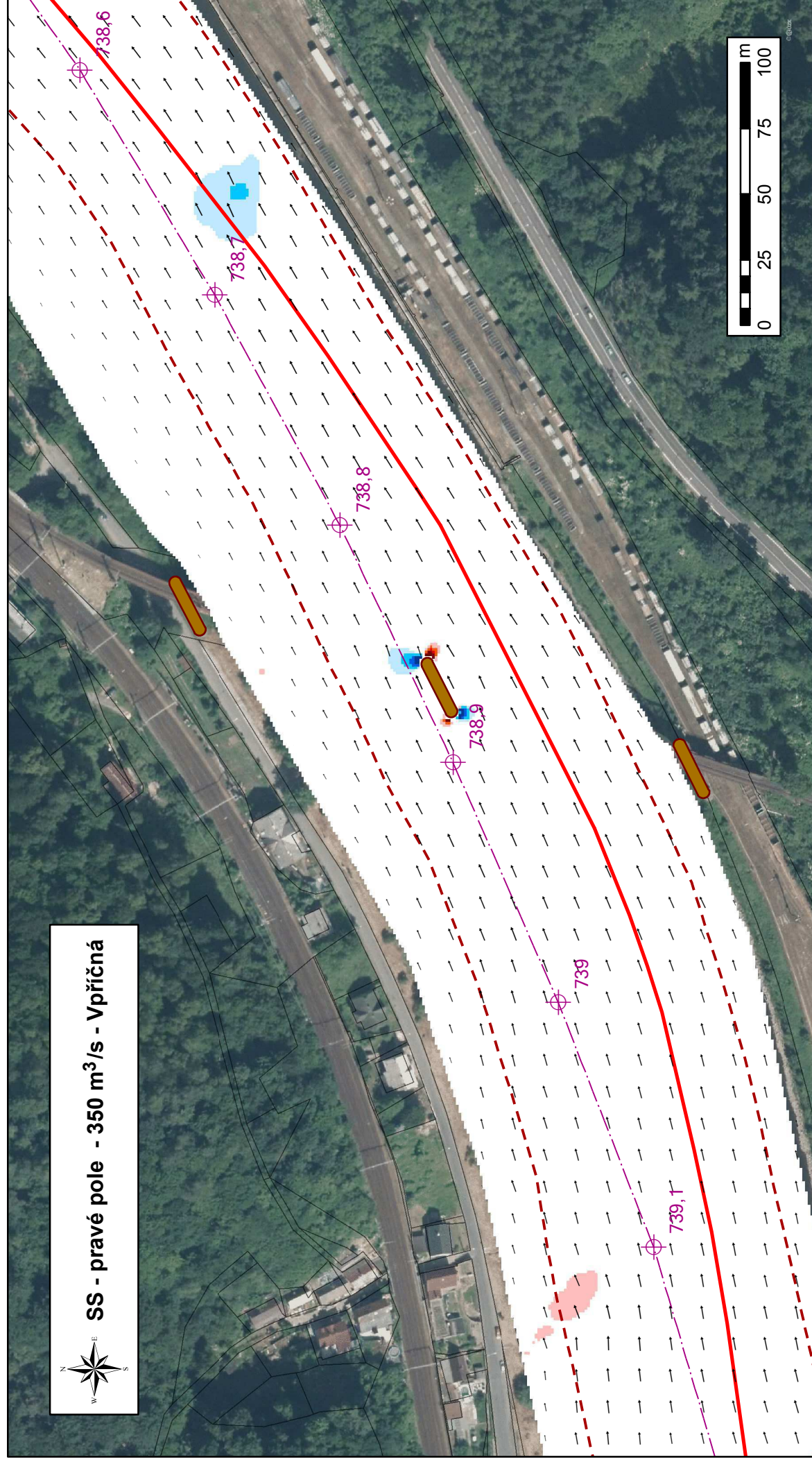
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

listopad 2019

Příčná složka rychlosti při průtoku 350 m³/s
současný stav - levé pole mostu

M 1 : 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



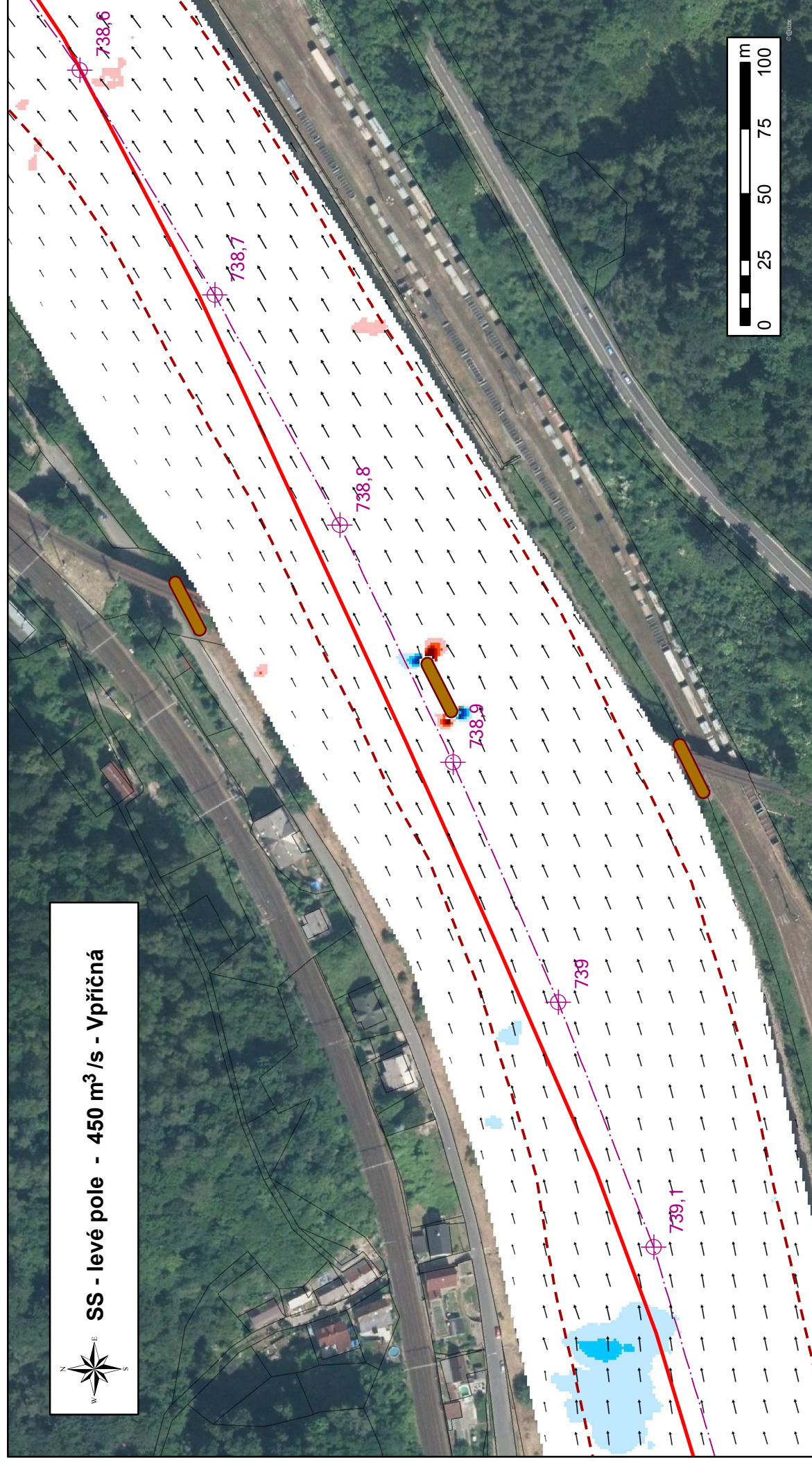
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

listopad 2019

Příčná složka rychlosti při průtoku 350 m³/s
současný stav - pravé pole mostu

M 1 : 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



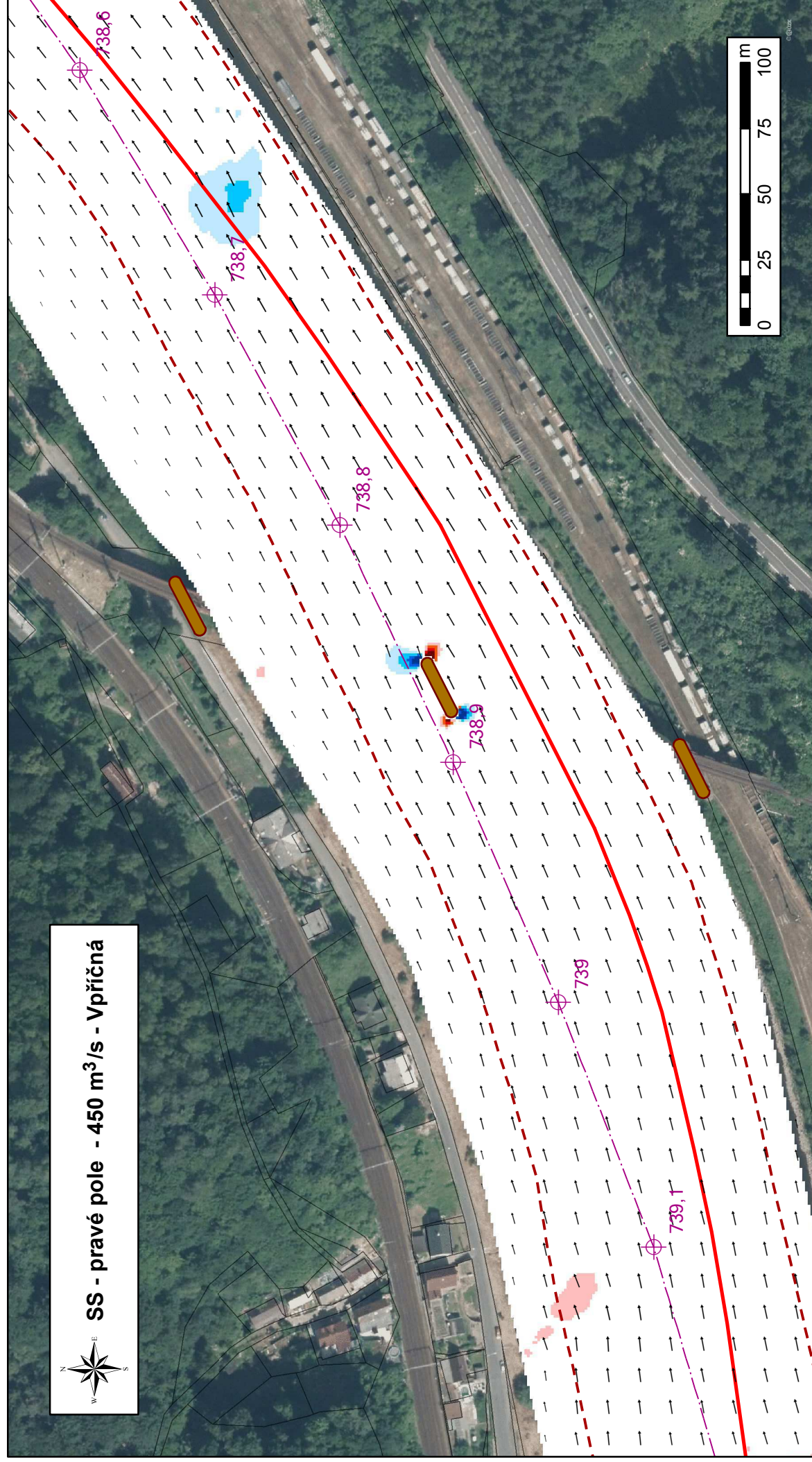
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

listopad 2019

Příčná složka rychlosti při průtoku 450 m³/s
současný stav - levé pole mostu

M 1 : 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební

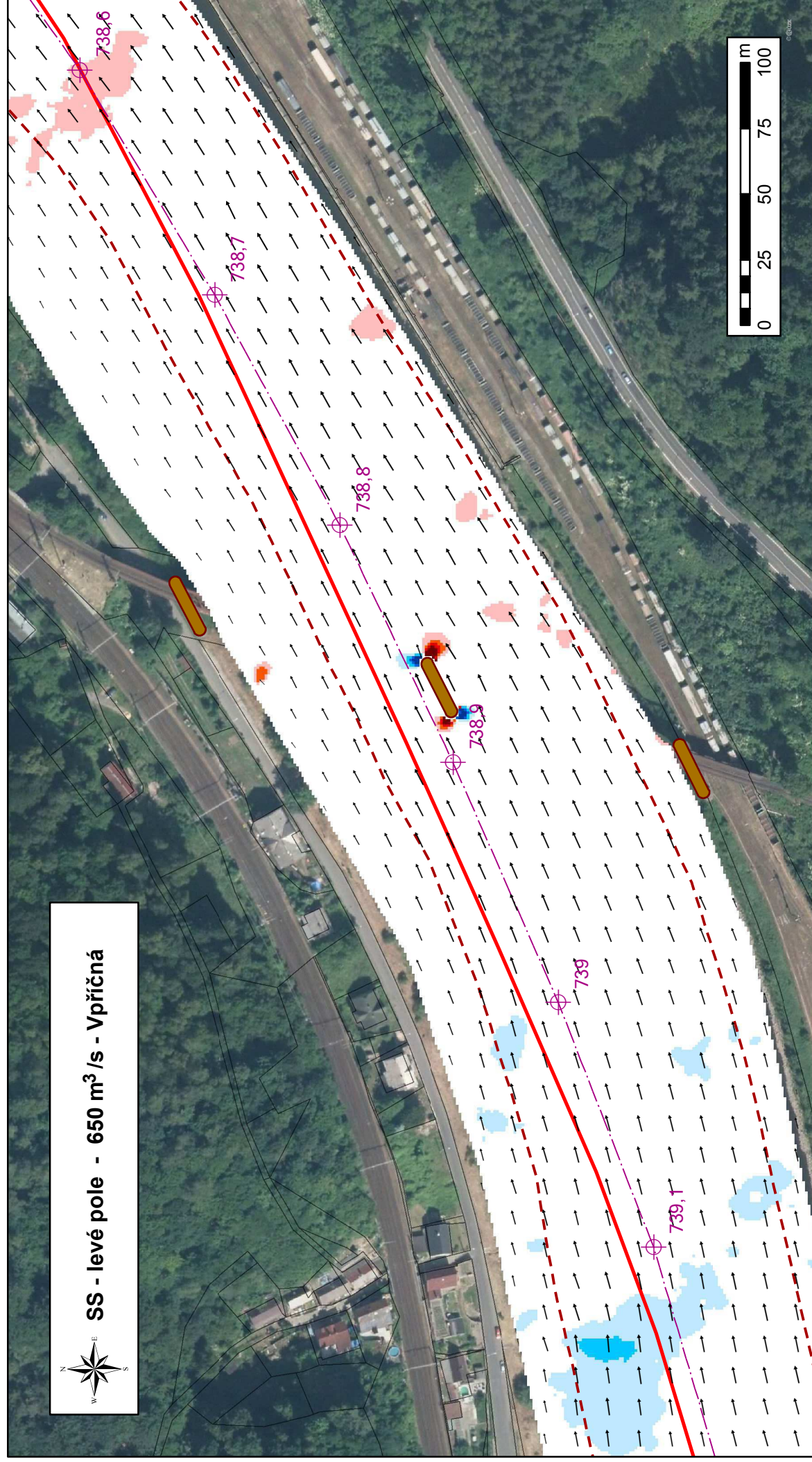


Děčín – rekonstrukce železničního mostu

listopad 2019

Příčná složka rychlosti při průtoku 450 m³/s
současný stav - pravé pole mostu

M 1 : 2 000
ČVUT v Praze, Fakulta stavební



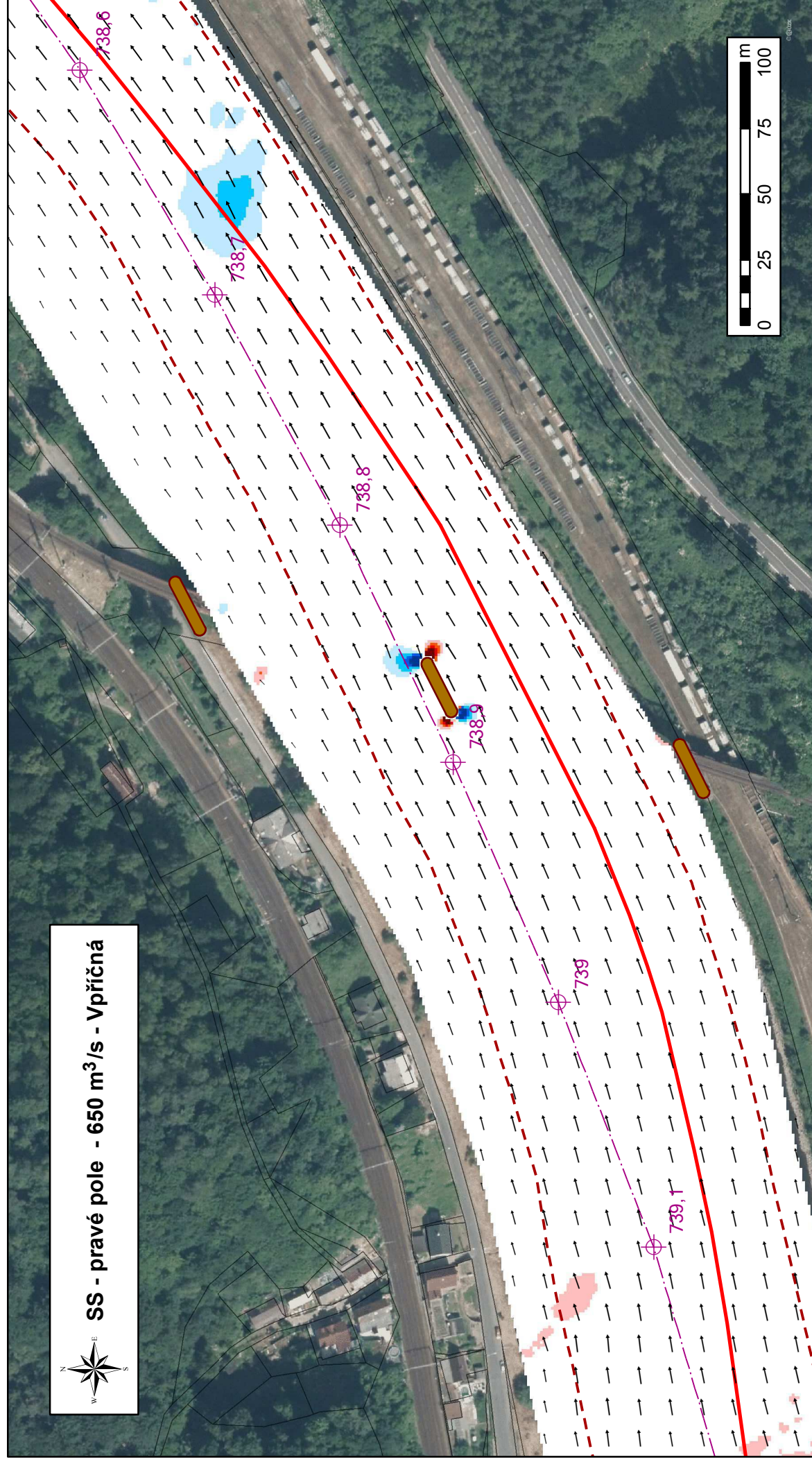
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

listopad 2019

Příčná složka rychlosti při průtoku 650 m³/s
současný stav - levé pole mostu

M 1 : 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



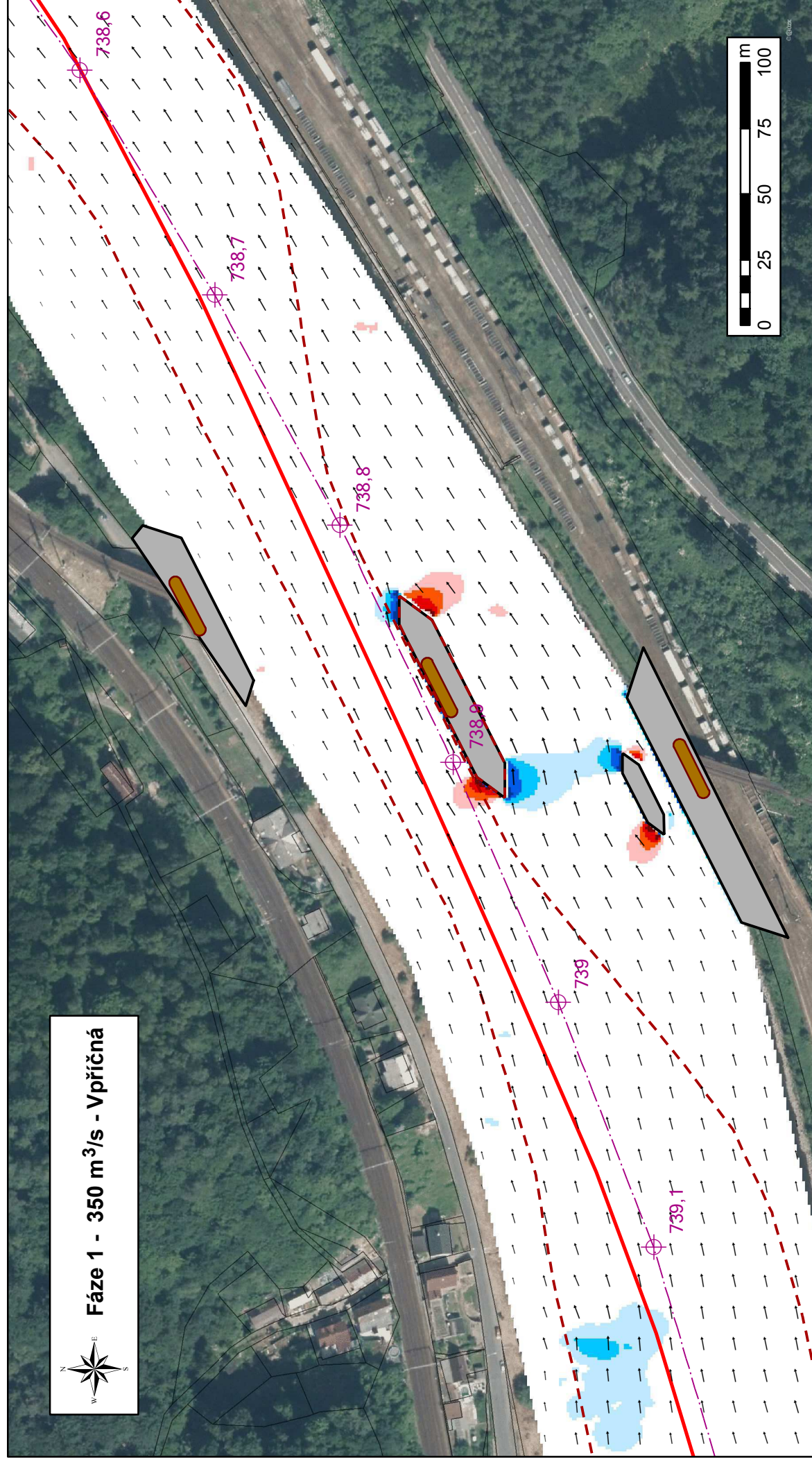
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

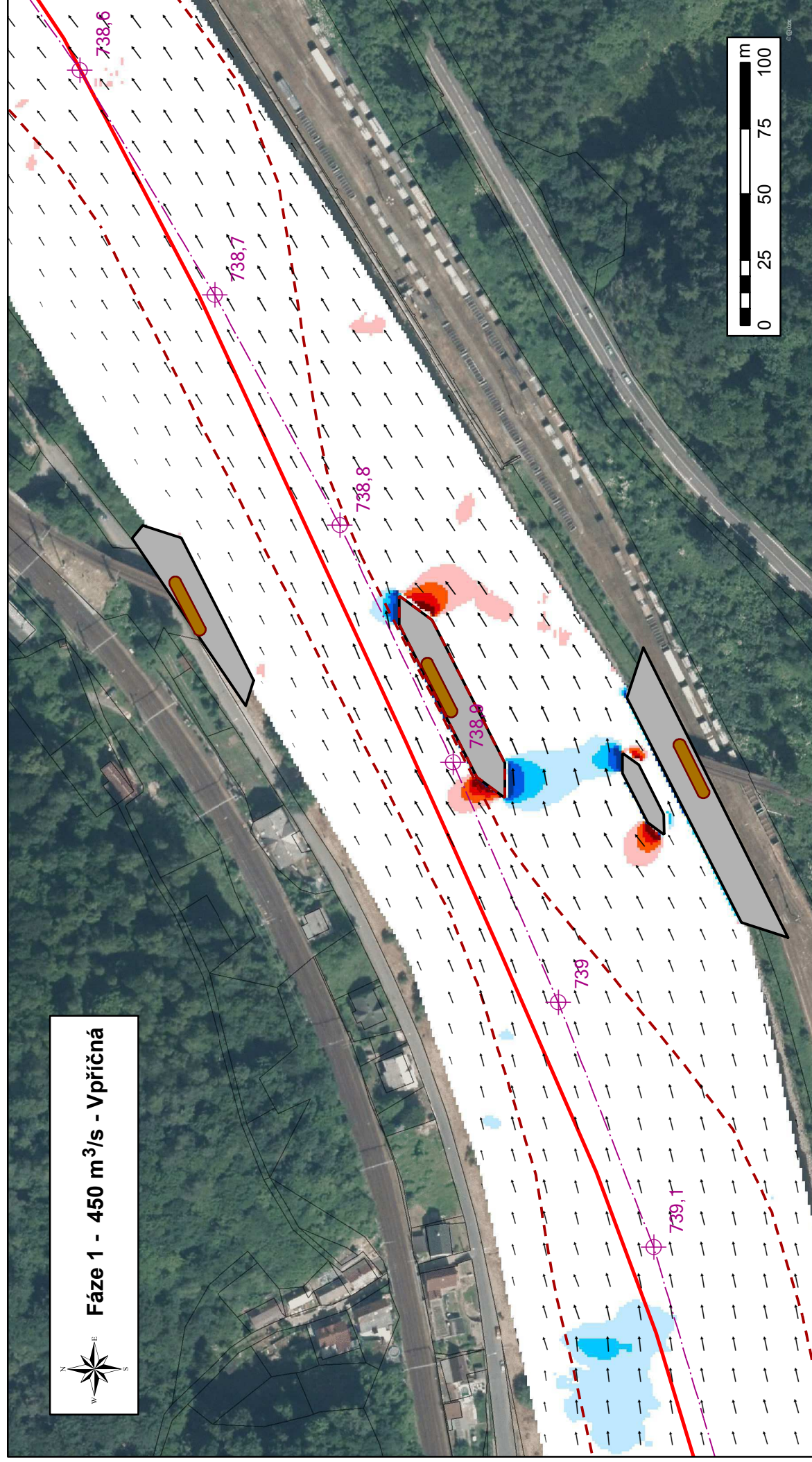
Příčná složka rychlosti při průtoku 650 m³/s
současný stav - pravé pole mostu

listopad 2019

M 1 : 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební





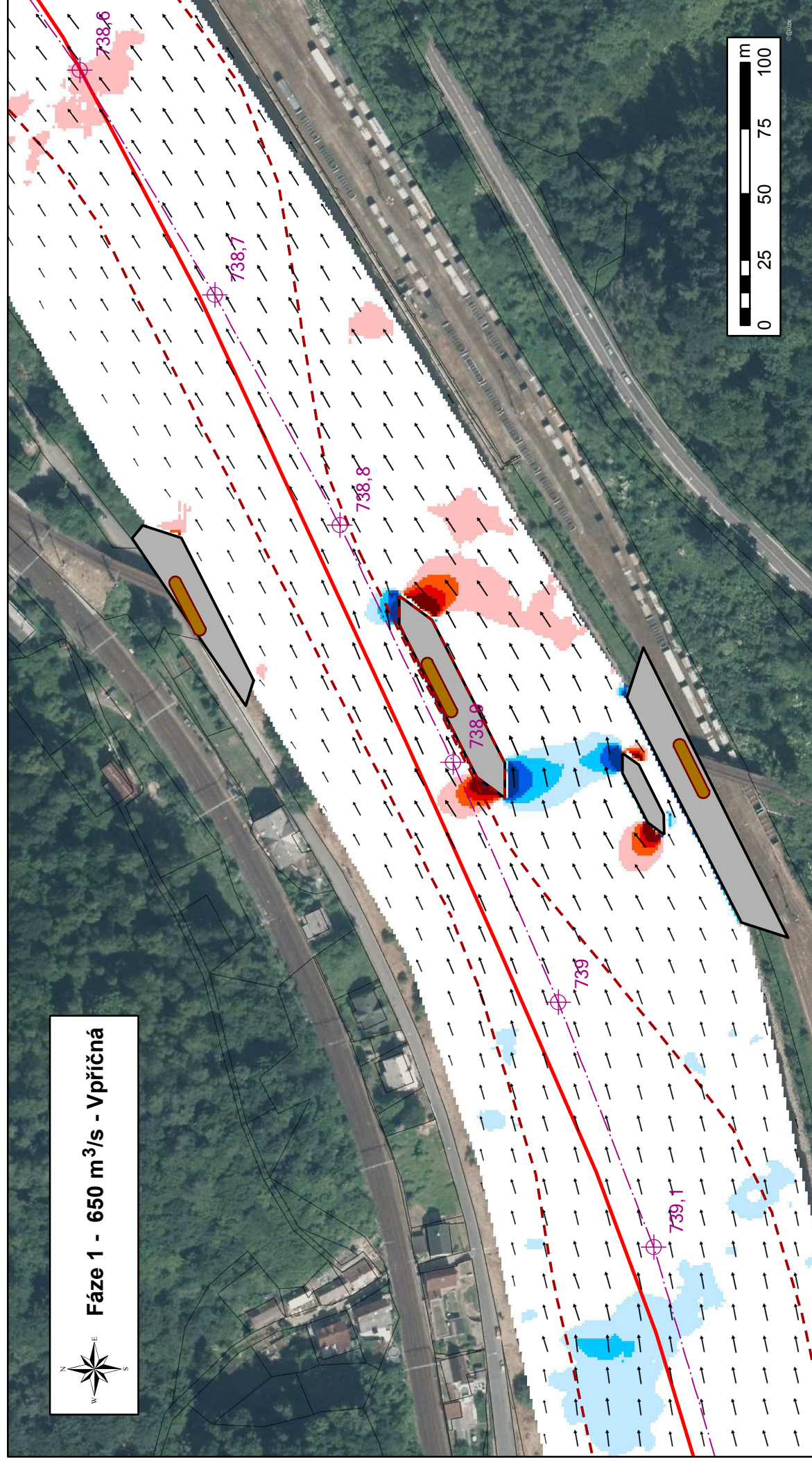
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

listopad 2019

M 1:2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební

Příčná složka rychlosti při průtoku 450 m³/s - Fáze 1



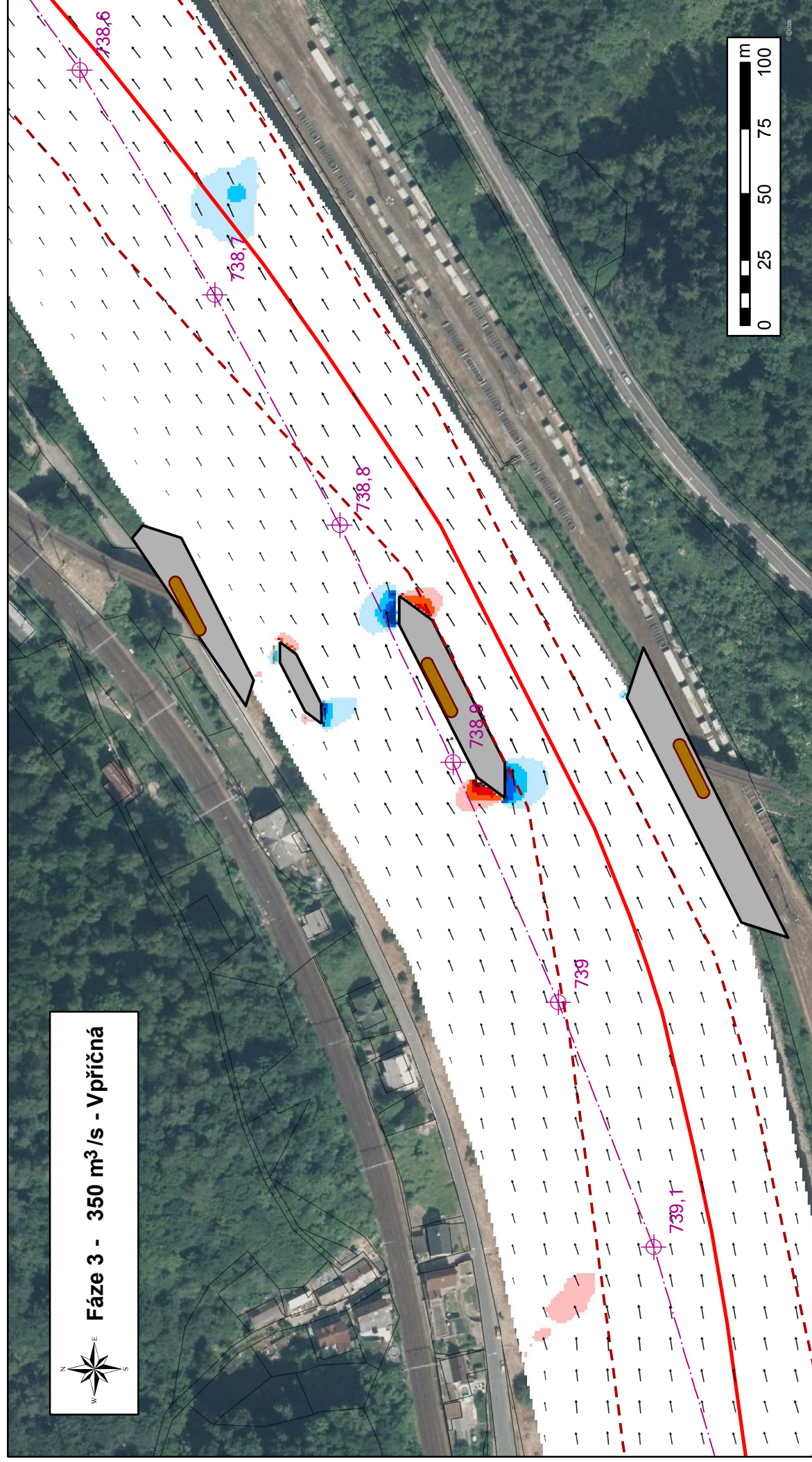
Děčín – rekonstrukce železničního mostu

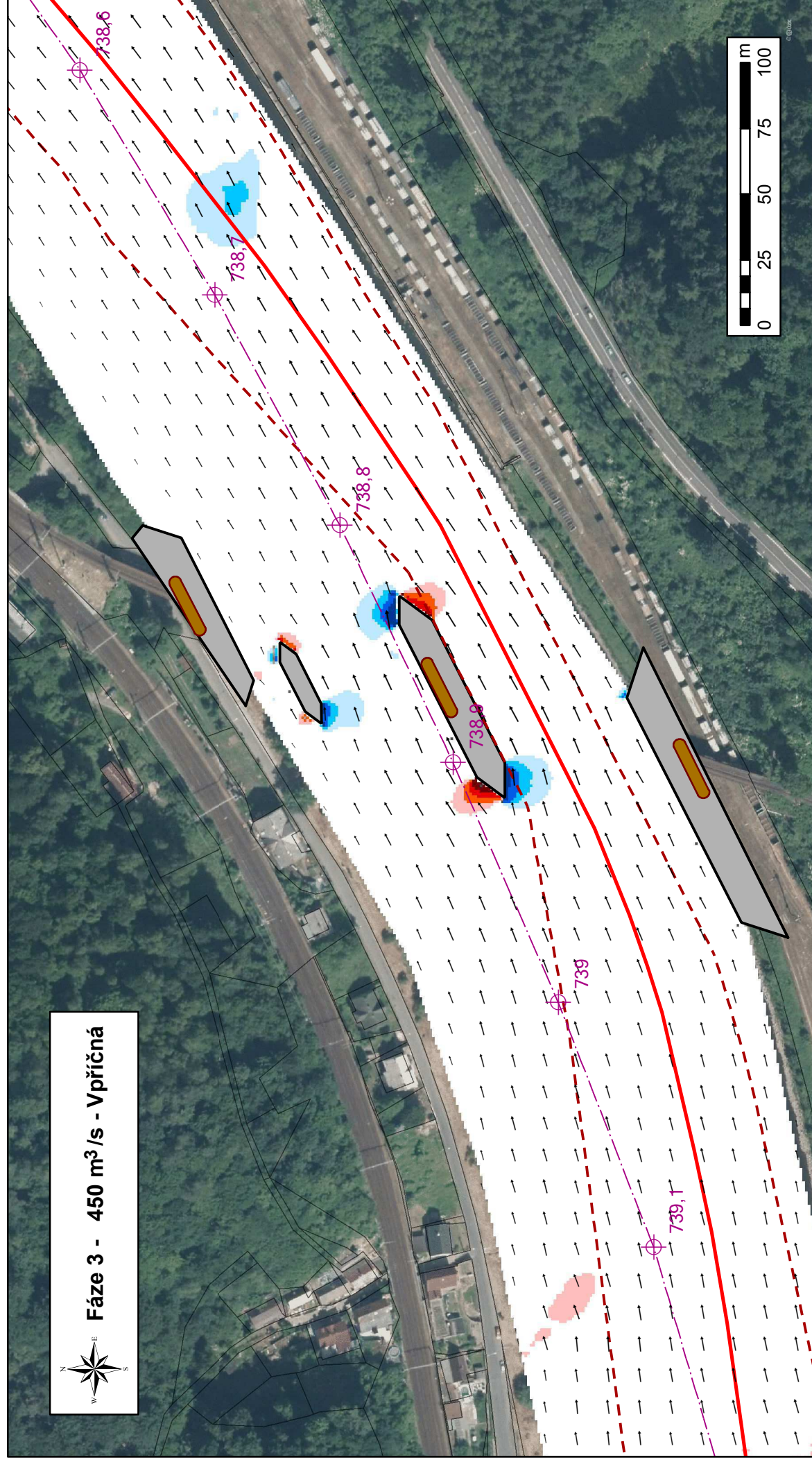
listopad 2019

M 1 : 2 000

Příčná složka rychlosti při průtoku 650 m³/s - Fáze 1

ČVUT v Praze, Fakulta stavební





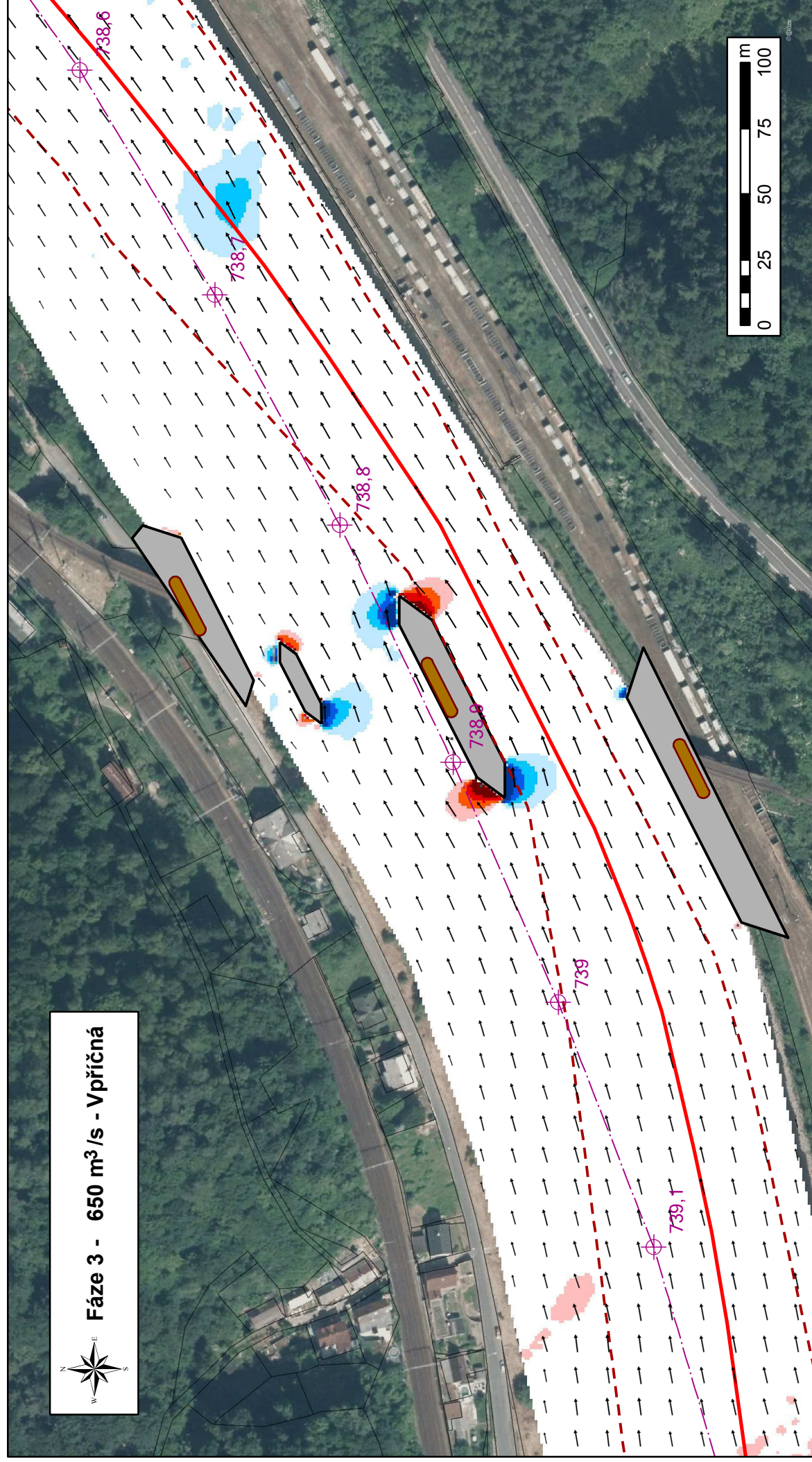
listopad 2019

M 1 : 2 000

ČVUT v Praze, Fakulta stavební

Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Příčná složka rychlosti při průtoku 450 m³/s - Fáze 3

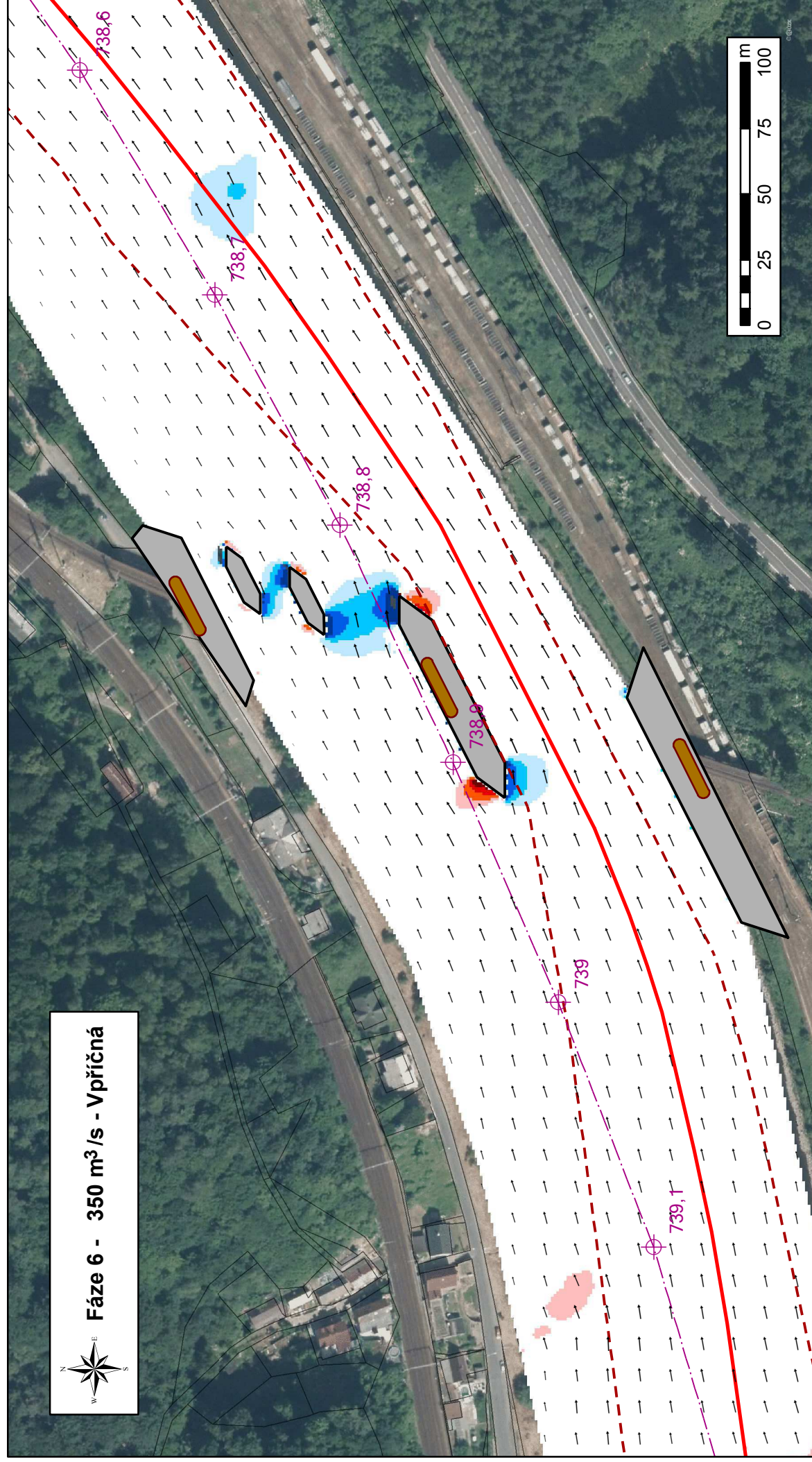


listopad 2019
M 1 : 2 000

Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Příčná složka rychlosti při průtoku 650 m³/s - Fáze 3

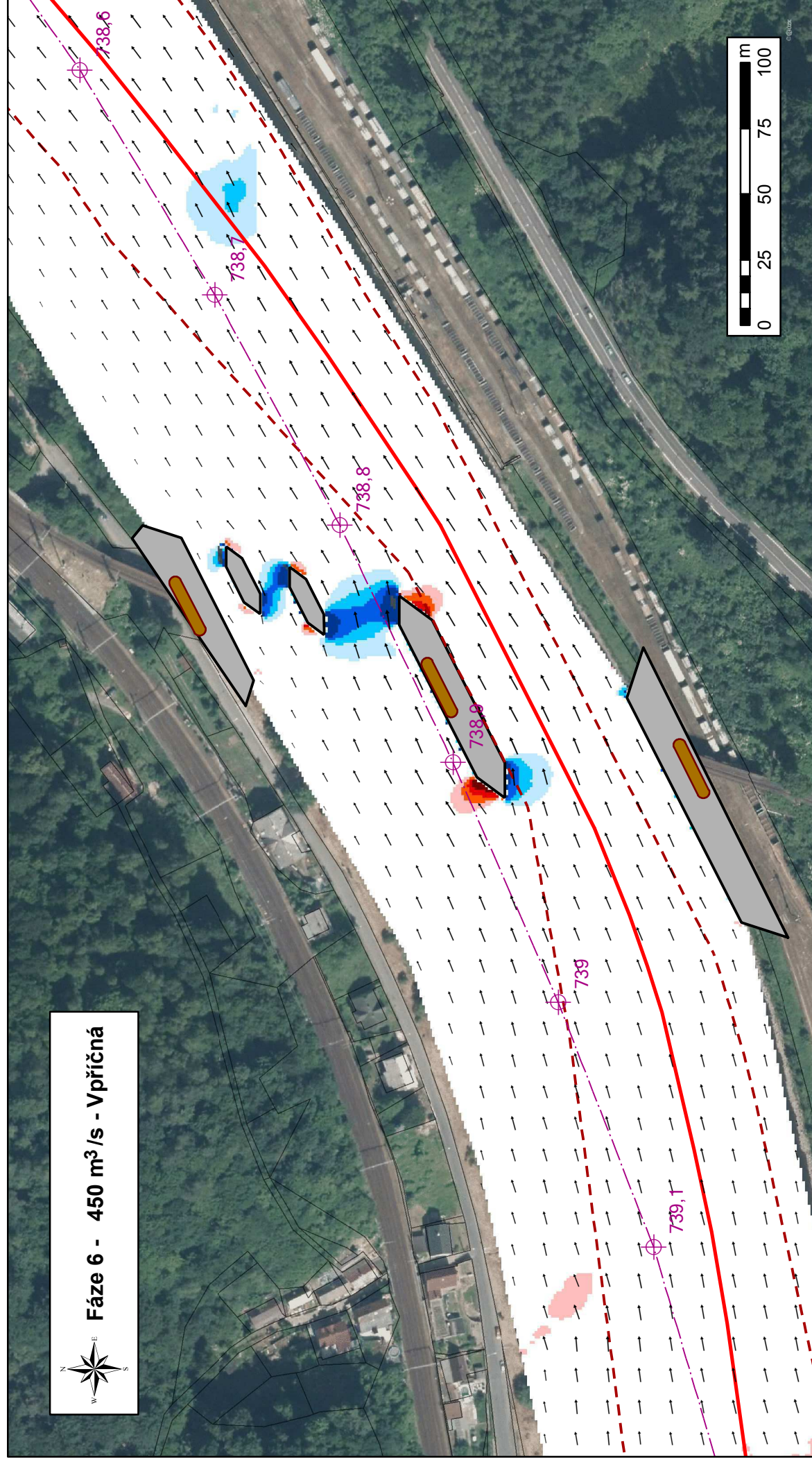
ČVUT v Praze, Fakulta stavební



listopad 2019
M 1 : 2 000

Děčín – rekonstrukce železničního mostu
Příčná složka rychlosti při průtoku 350 m³/s - Fáze 6

ČVUT v Praze, Fakulta stavební

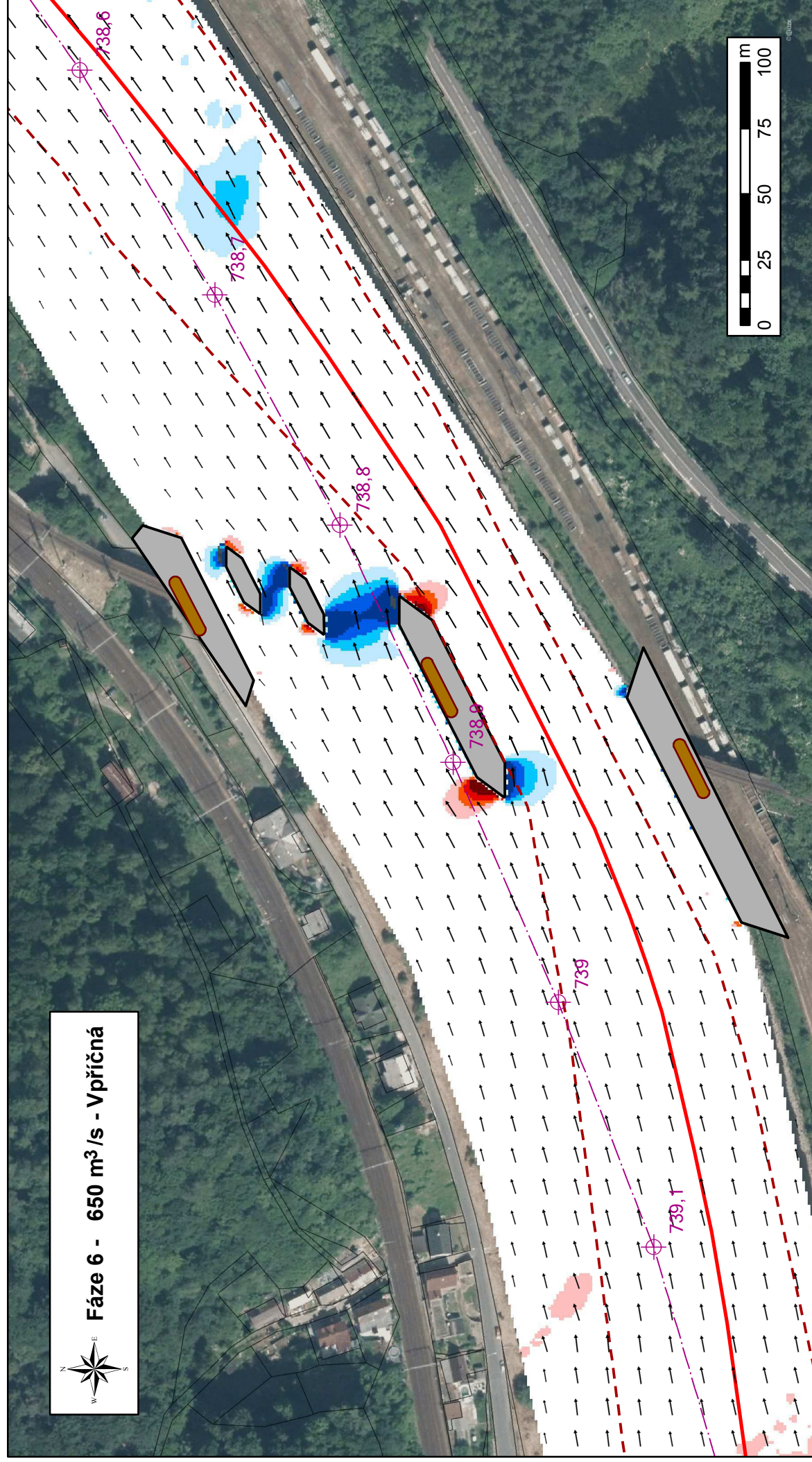


listopad 2019
M 1 : 2 000

Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Příčná složka rychlosti při průtoku 450 m³/s - Fáze 6

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



listopad 2019
M 1 : 2 000

Děčín – rekonstrukce železničního mostu

Příčná složka rychlosti při průtoku 650 m³/s - Fáze 6

ČVUT v Praze, Fakulta stavební

