

Hydrotechnický výpočet ovlivnění odtokových poměrů **TICHÁ ORLICE**

terénní úpravy Dolní Libchavy



Zpracovatel: **Adonix, spol. s r.o.**

Bratranců Veverkových 645

530 02 Pardubice

Adonix
spol. s r.o.

Bratranců Veverkových 645

530 02 Pardubice

tel./fax 040/515 912

ICO: 601 10 589

DIC: 248-60110589

Květen 2024

výškový systém **Bpv**

OBSAH:

1	Úvod.....	3
2	Podklady.....	3
2.1	Geodetické podklady.....	3
2.2	Hydrologické podklady.....	4
3	Popis zájmového území.....	5
4	Matematický model proudění.....	6
4.1	Řídící rovnice 2D proudění.....	6
4.2	HEC-RAS 6.2.....	7
4.3	Okrajové podmínky.....	9
4.4	Stanovení drsností.....	9
4.5	Kalibrace.....	10
5	Popis výpočtu.....	11
6	Závěr.....	12
7	Přílohy.....	12

1 Úvod

Hydrotechnické posouzení toku Tichá Orlice bylo zpracováno na základě objednávky p. Halberštáta. Posouzení bylo zpracováno za účelem zjištění míry případného ovlivnění navrhovanou terénní úpravou na pozemcích p.č. 1991/1 a 1991/13 v k.ú. Dolní Libchavy při průchodu povodňového průtoku Q_{100} . Vzhledem k charakteru dotčeného území byl výpočet proveden v režimu dvourozměrného ustáleného proudění.

2 Podklady

Pro výpočet byly použity následující podklady:

- hydrologické údaje
- dokumentace rozsahu terénní úpravy předaná objednatelem
- rastrové podklady
- studie záplavového území toku Tiché Orlice z r. 2019

2.1 Geodetické podklady

Digitální model reliéfu DMR 5G

Pro popis inundačního území byl použit digitální model reliéfu 5. generace (DMR 5G) zpracovaný ČÚZK v roce 2012. Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G) představuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru ve formě výšek diskrétních bodů v nepravidelné trojúhelníkové síti (TIN) bodů o souřadnicích X, Y, Z, kde Z reprezentuje nadmořskou výšku ve výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání (Bpv) s úplnou střední chybou výšky 0,18 m v odkrytém terénu a 0,3 m v zalesněném terénu.

Tvorba DMT

Digitální model terénu pro hydrodynamický model byl vytvořen na základě geodetických podkladů – digitálního modelu reliéfu 5. generace popisujícího tvar inundačního území a digitálního modelu koryta. Tento DMT charakterizuje řešené území pomocí trojúhelníkové nepravidelné sítě (tin). Pro potřeby výpočtu byl DMT převeden do rastrového formátu s velikostí čtvercové mřížky 0,5 metru.

Pro stav s navrženou terénní úpravou byly vytvořeny v místě výstavby nové DMT včetně navržené terénní úpravy, které byly pro potřeby výpočtu převedeny do rastrového formátu s velikostí čtvercové mřížky 0,5 metru.



DMT včetně navrhované terénní úpravy

2.2 Hydrologické podklady

Hydrologická data byla převzaté z projektu Mapy rizik II v následujícím profilu:

Tabulka – průtoky Q_n v $m^3 \cdot s^{-1}$

Hydrologický profil	Říční kilometr	Q_5	Q_{20}	Q_{100}	Q_{500}
Dolní Libchavy	51,386	84,5	130,8	191,8	282

3 Popis zájmového území

Zájmové území je pro účely této studie řešeno v úseku ř.km 49,705 – 50,287 v celkové délce 582 m. Pozemky p.č. 1991/1 a 1991/13 v k.ú. Dolní Libchavy jsou situovány v záplavovém území a zároveň v aktivní zóně záplavového území toku Tichá Orlice cca 30 - 90 m od koryta toku. Lokalita je situována v levé inundaci. Pod pozemky směrem po proudu je vodní tok křížován estakádou Ústí nad Orlicí – České Libchavy



Situace širších vztahů

4 Matematický model proudění

Pro výpočet byl použit programový prostředek HEC-RAS River Analysis System Version 6.2 vytvořený US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.

4.1 Řídící rovnice 2D proudění

Prostorové neustálené proudění s volnou hladinou obecně popisuje soustava diferenciálních pohybových rovnic Navier-Stokesových vyjadřujících zákon zachování hybnosti a rovnice spojitosti popisující vliv zákona zachování hmoty.

V případě modelování 2D proudění s volnou hladinou se rovnice zjednodušují. Za předpokladu zanedbatelných svislicových rychlostí se za podélné a příčné složky rychlostí uvažují po výšce zprůměrované hodnoty. Po řadě dalších úprav se jako tak zvané řídicí rovnice používají vztahy (4.1a), (4.1b) přičemž uvedené rovnice jsou rovnicemi pohybovými po zanedbání vlivu Coriolisovy síly

$$\frac{\partial u_x}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + g \frac{\partial Z}{\partial x} + g u_x \left(\frac{n^2}{H^{4/3}} + \frac{f_l}{2g \partial x} \right) u_x^2 + u_y^2 - \mu \left(\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = F_x$$

(4.1a)

$$\frac{\partial u_y}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} + g \frac{\partial Z}{\partial y} + g u_y \left(\frac{n^2}{H^{4/3}} + \frac{f_l}{2g \partial y} \right) u_x^2 + u_y^2 - \mu \left(\frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = F_y$$

(4.1b)

Navier-Stokesovy rovnice jsou používány pro modelování proudění vazkých stlačitelných i nestlačitelných tekutin. Pro modelování říčního proudění obecným korytem není nutné používat takto složitý model, proto se zavádějí následující zjednodušující předpoklady: uvažuje se nestlačitelné nevazké proudění a pouze horizontální rychlosti proudění, vertikální složku zrychlení proudění zanedbáme. Tento stav popisují Saint Venantovy rovnice (4.2).

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial (H u_x)}{\partial x} + \frac{\partial (H u_y)}{\partial y} = 0$$

(4.2)

kde

- u_x, u_y – po svislici zprůměrované rychlosti proudění ve směru os x a y [m.s⁻¹]
- Z – úroveň hladiny [m]
- H – hloubka vody [m]
- n – Manningův součinitel drsnosti [m^{0.5}.s⁻¹]
- f_l – ztrátový koeficient změny formy energie [-]
- μ – dynamická viskozita [Pa.s]
- ρ – měrná hmotnost vody [kg.m⁻³]
- p – tlak působící na hladinu [Pa]
- F_x, F_y – složky působících vnějších sil ve směru x a y [kg.m.s⁻²]

Exaktní řešení uvedené soustavy diferenciálních rovnic není k dispozici, a tak jsou řešitelé odkázáni na různé numerické přístupy. Obecně jsou k dispozici metody založené na konečných diferencích, konečných objemech a konečných prvcích.

4.2 HEC-RAS 6.0

4.2.1. 2D Saint-Venantovy rovnice, rovnice Difusní vlny

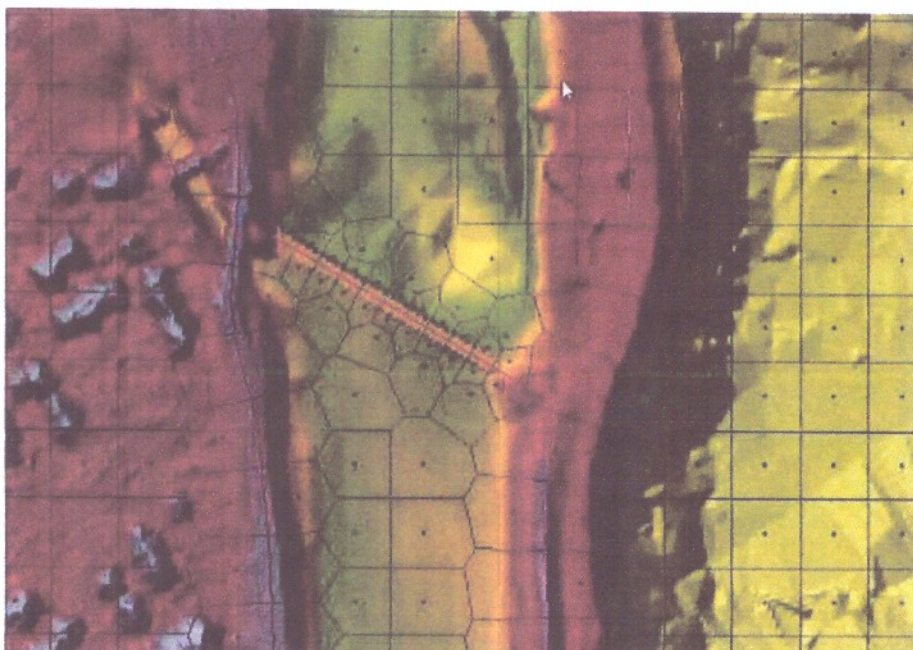
Program pracuje buď se 2D Saint-Venantovými rovnicemi v plném tvaru (s hybnostními charakteristikami pro turbulentní a Coriolisovy efekty) nebo s rovnicemi 2D Difusní vlny (zjednodušený tvar). Toto je volitelné, což je pro uživatele více flexibilní. Obecně platí, že 2D rovnice Difusní vlny umožní softwaru počítat rychleji a výpočet má zároveň vyšší stabilitu. 2D Saint-Venantovy rovnice jsou naopak použitelné pro širší škálu problémů. Nicméně, mnoho modelových situací lze přesně modelovat i s rovnicí 2D Difusní vlny. Vzhledem k tomu si mohou uživatelé vybrat mezi sadami rovnic, z nichž každá může být použita pro daný problém, aby zjistili, zda používání 2D Saint-Venantových rovnic je možné počítat zjednodušenými rovnicemi 2D Difusní vlny.

4.2.2. Metoda konečných objemů

Rovnice 2D proudění využívá program k výpočtu metodou konečných objemů. Algoritmus řešení umožňuje použít delší výpočetní časové kroky. Metoda konečných objemů poskytuje větší stabilitu, než tradiční metody konečných diferencí a konečných prvků. Smáčení a sušení 2D buněk je velmi variabilní. Oblasti 2D proudění mohou být při počátku výpočtu zcela suché a zvládnout náhlé zatopení. Navíc může být výpočet zpracován v režimu podkritického, kritického a smíšeného proudění.

4.2.3. Buňky výpočetní sítě

Tento software byl navržen tak, aby umožnil použití nepravidelných buněk výpočetní sítě, ale zároveň mohl pracovat i s ortogonální strukturou výpočetní sítě. Výpočetní buňky mohou být trojúhelníky, čtverce, obdélníky, nebo dokonce pěti a šestistranné prvky (model je omezen na prvky až s osmi stranami). Výpočetní síť může být směs různých tvarů a velikostí buněk (viz obr.) ideálně dle terénních zlomů.



Vnější hranice výpočtové sítě je definována polygonem. Výpočetní buňky, které tvoří vnější okraj sítě, mohou mít velmi detailní vícebodové hrany. Velikost buňky výpočetní sítě může být značně odlišná od velikosti buňky modelu terénu (tzv. subgrid). Ten může být mnohem podrobnější, na stabilitu výpočtu to nemá vliv. Pro přesnost výpočtu v terénních liniových zlomech jsou v modelu použity tzv. povinné spojnice.

4.2.4. Objekty ve 2D výpočetní síti

V softwaru HEC-RAS je rovněž možnost přidat do 2D výpočetní sítě vodní stavby. Hydraulická konstrukce musí být vedena po stranách 2D buňky.

Přepady

Voda teče přes vrchol hráze, silnic, jezů, přelivů, atd... Uživatel má možnost modelovat přepad pomocí rovnice 2D nestacionárního proudění nebo přepadové rovnice.

Propustky

Do přepadových konstrukcí mohou být vloženy propustky. Směr proudění v propustkách lze nastavit obousměrně (výchozí), nebo si uživatel může směr proudění vybrat. Niveleta terénu musí být nižší, než nadmořské výška dna propustku. Kromě toho množství vody v přilehlých buňkách, musí být v souladu s množstvím vody, která teče v propustku. To je problematické obzvláště při nízkém průtoku.

Mosty

Mosty lze modelovat přímo uvnitř oblastí 2D proudění. Mosty uvnitř oblastí 2D proudění zvládnou celou řadu režimů průtoku, od nízkého průtoku až po tlakový průtok a kombinovaný tlakový průtok a průtok přes horní část mostovky nebo vozovky. Data se zadávají do oblastí 2D proudění podobně jako modelování mostů v 1D modelu. Kromě toho mají uživatelé stejné přístupy k modelování mostů s nízkým průtokem (energie, hybnost a Yarnell) a vysokým průtokem (energie a tlak / jez) dostupnými pro modelování 1D mostů (s výjimkou metody WSPRO nízký průtok, která není k dispozici pro 2D modelování).

Software HEC-RAS přebírá uživatelská vstupní data mostu a přístupy k modelování a poté vyvíjí skupinu hodnotících křivek pro most, stejně jako je tomu u 1D modelování. Pro 2D modelování se však křivky mostu používají k získání rozdílu vodní hladiny přes most pro každou sadu buněk, které se používají k modelování mostu. Tento rozdíl vodní hladiny se pak rovná síle. Tato síla je rozdělena a vložena do speciální verze rovnice hybnosti pro každou sadu buněk překlenujících osu mostu. Takže místo výpočtu třecích sil, tlakových sil a prostorových sil zrychlení jsou tyto síly získávány z mostních křivek. Pak jsou 2D rovnice řešeny tak, jak jsou normálně řešeny v jakékoli buňce/ploše v modelu. Tento přístup používaný pro 2D modelování umožňuje vypočítat ekvivalentní síly pro nízký průtok, tlakový průtok a kombinovaný tlakový průtok/jezový průtok nebo dokonce nízký průtok/jezový průtok.

Velikost síly dané každé buňce je založena na procentech celkového průtoku procházejícího touto konkrétní sadou buněk. Tento přístup k 2D modelování umožňuje měnit průtok, vodní plochu a rychlost v každé z buněk kolem osy mostního otvoru. Proto je tok stále počítán jako dvourozměrný tok skrz a přes vrchol mostu. Průtok může procházet v libovolném úhlu otvorem mostu na základě hydrauliky toku a počtu buněk použitých k reprezentaci mostního otvoru.

4.3 Okrajové podmínky

4.3.1. Dolní okrajové podmínky

Jako dolní okrajová podmínka byly v nejnižším profilu posuzovaného úseku zadány výšky hladin v ř.km 49,705 převzaté ze studie záplavového území Tiché Orlice.

$Q_5 = 328,07$ m n.m.

$Q_{20} = 328,36$ m n.m.

$Q_{100} = 328,59$ m n.m.

$Q_{500} = 328,83$ m n.m.

4.3.2. Horní okrajové podmínky

Jako horní okrajová podmínka byly zadány vybrané N – leté průtoky Tiché Orlice poskytnuté Českým hydrometeorologickým ústavem v profilu „Dolní Libchavy“.

4.3.3. Počáteční podmínky

Do počátečních podmínek byly zadány kóty hladiny ve všech bodech výpočetní sítě – určené v závislosti na výškách hladin dolních okrajových podmínek.

4.4 Stanovení drsnosti

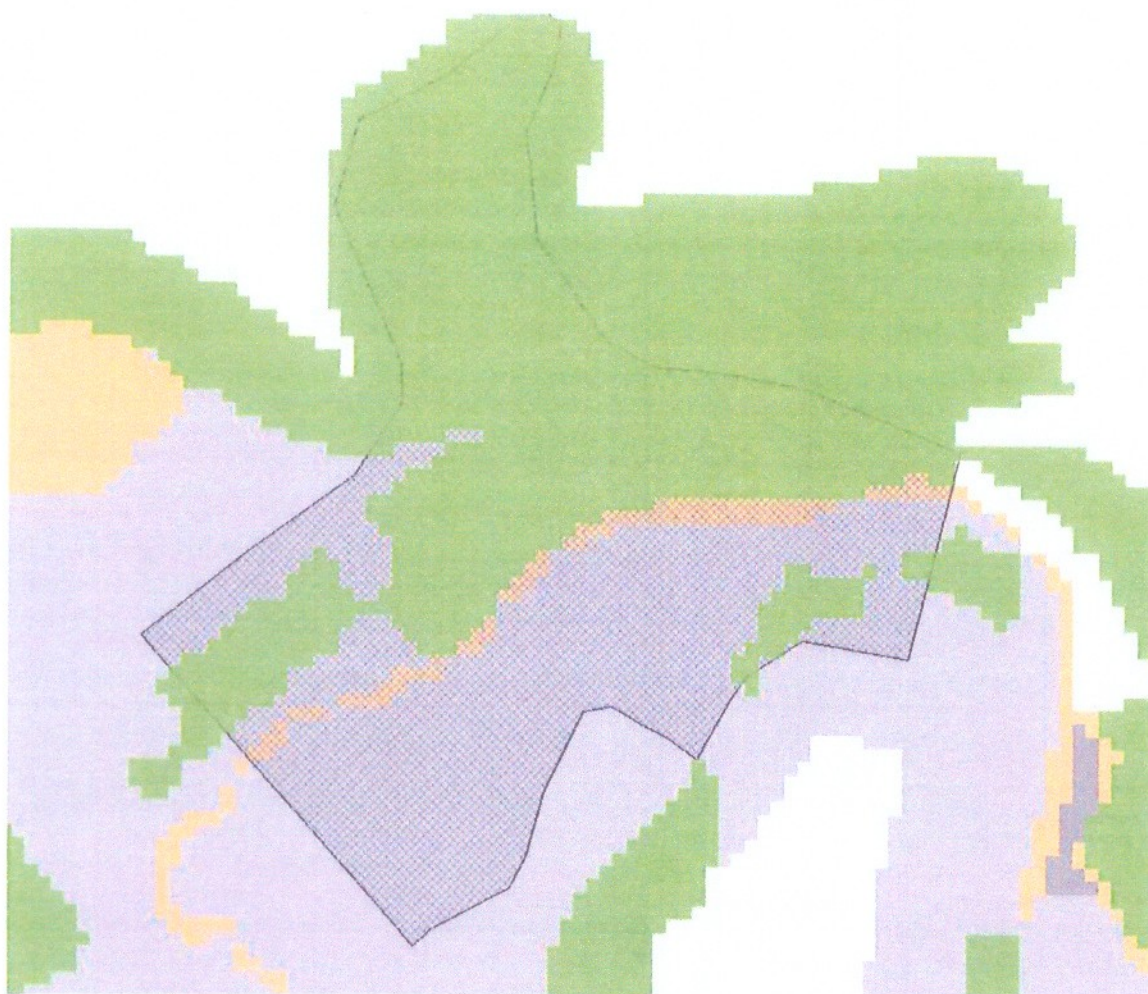
Hydraulická drsnost a místní zvýšené odpory proudění jsou pro model HECRAS zadávány pro každý bod výpočetní sítě. Základní „mapa drsností“ byla vytvořena zpracováním polygonů s různými hodnotami součinitele drsnosti nad vrstvou podrobných ortofotomap a byla převzata ze studie záplavového území Tiché Orlice.

Hodnoty Manningova součinitele drsnosti „n“ v korytě

Popis	n
beton	0,020 – 0,035
dlažba	0,025 – 0,045
tráva	0,035 – 0,045
keře	0,060 – 0,090

Hodnoty Manningova součinitele drsnosti „n“ v inundaci

Popis	n
silnice, chodníky – asfalt, beton	0,020 – 0,025
louky, pole	0,035 – 0,045
stromy, keře	0,060 – 0,120
hustý porost	0,120 – 0,160
zahrady s ploty, zástavba	0,160 – 0,200 nebo vypuštěné z výpočtu



Rozdělení drsností včetně rozsahu výpočetní oblasti

4.5 Kalibrace

Model byl kalibrován na data ze studie Tiché Orlice z r. 2019.

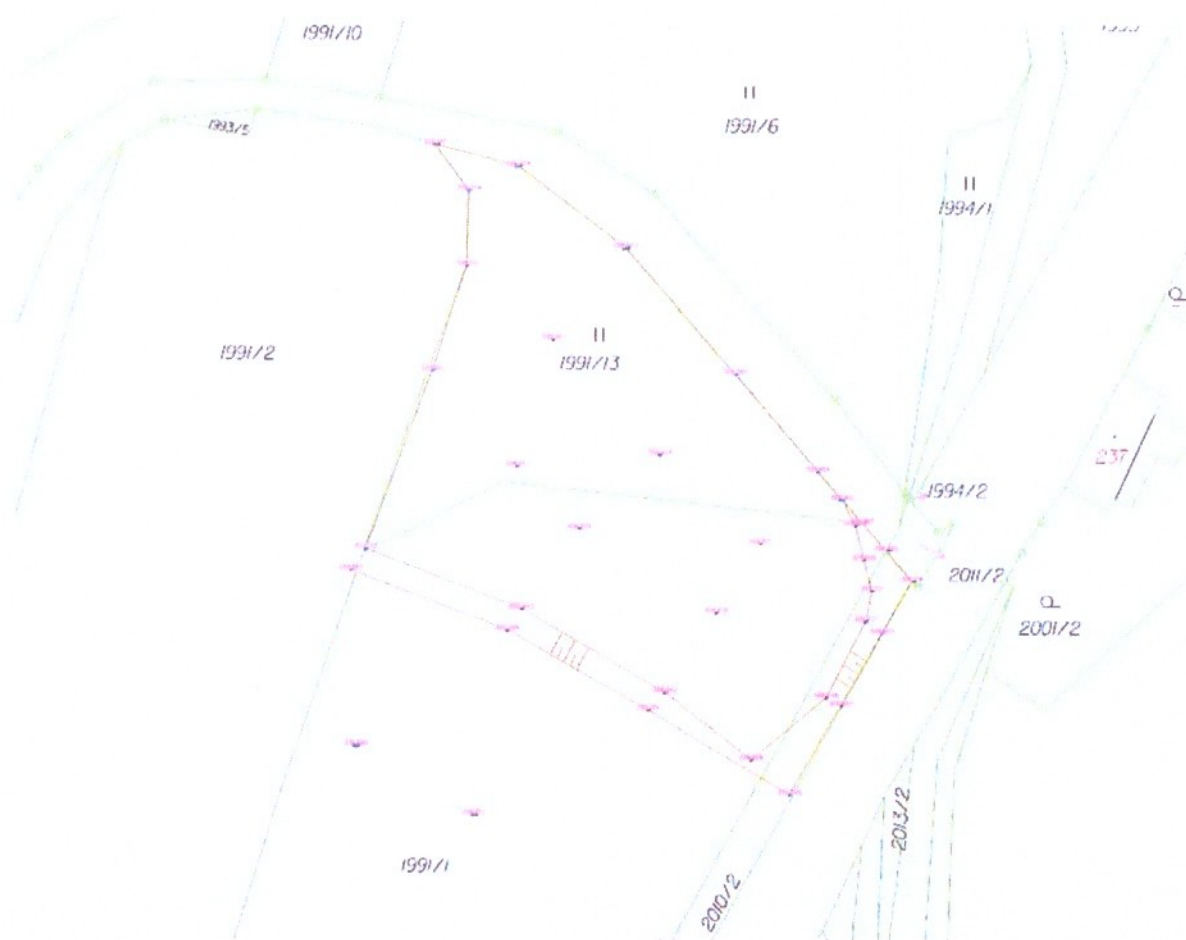
5 Popis výpočtu

Cílem hydrotechnického posouzení Tiché Orlice bylo zjistit míru případného ovlivnění odtokových poměrů vyvolané plošným navýšením terénu (terénní úpravou na pozemcích p.č. 1991/1 a 1991/13 v k.ú. Dolní Libchavy). Vzhledem k charakteru koryta toku, vzdálenosti dotčeného pozemku od koryta toku a rozsáhlého inundačního území bylo nutné pro výpočet použít metodu ustáleného nerovnoměrného proudění v režimu 2D proudění. Výpočet byl proveden pro průtok Q_{100} .

Vzhledem k tomu, že cílem posouzení terénní úpravy je rovněž následné vyjmutí z aktivní zóny záplavového území, byl průběh hladiny vypočten pro 3 varianty:

- 1) pro současný stav
- 2) pro stav s navrhovanou terénní úpravou nad hladinu Q_{100}

3) pro stav s navrhovanou terénní úpravou v takové výšce, aby byla dotčená lokalita vyjmuta z aktivní zóny záplavového území



Rozsah terénní úpravy

6 Závěr

Předmětem hydrotechnického posouzení bylo zjistit míru ovlivnění realizací terénní úpravy umístěné na pozemcích p.č. 1991/1 a 1991/13 v k.ú. Dolní Libchavy v záplavovém území a částečně v aktivní zóně záplavového území toku Tichá Orlice.

Z dosažených výsledků vyplývá, že vlivem výstavby dojde pouze k lokálnímu vzduť hladiny [max. 4 cm], které se rychle vytratí a nebude mít vliv na ohrožení okolních pozemků a nemovitostí.

Na základě výše uvedeného lze konstatovat, že na pozemcích p.č. 1991/1 a 1991/13 v k.ú. Dolní Libchavy je možné provádět ve výše uvedeném rozsahu navýšení terénu libovolné mocnosti. Navýšením nivelety terénu nedojde k negativnímu ovlivnění odtokových poměrů a tím k ohrožení okolních pozemků a nemovitostí.

Z dalších výpočtů vyplynulo, že pro vyjmutí lokality z aktivní zóny záplavového území postačí dle současně platné legislativy navýšit pozemek na kótu 328,80 m n.m., Bpv.

7 Přílohy

Mapa hladin při průtoku Q_{100} – současný stav

Mapa hladin při průtoku Q_{100} – stav s terénní úpravou nad hladinu Q_{100}

Mapa rozdílu hladin při průtoku Q_{100}

