

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2021

Tomáš Posker

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

**Technická a přírodě blízká opatření
v povodí vodní nádrže Švihov na Želivce**
DIPLOMOVÁ PRÁCE

Autor: Bc. Tomáš Posker

Vedoucí práce: Ing. Jan Petru

2021

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jana Petru a že jsem uvedl všechny citované zdroje

V Praze 30.3. 2021

.....

Poděkování

Předně bych chtěl poděkovat vedoucímu mé práce Ing. Janovi Petřů, který mi byl vždy ochotně nápomocen, kdykoli bylo za potřebí, za cennou rady a trpělivost. Také Ing. Filipu Urbanovi za cennou pomoc a ostatně všem, kteří mě podporovali po dobu zpracovávání mé práce.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá návrhem konceptu protierozní ochrany zemědělské půdy se zaměřením na ochranu proti vodní erozi. Návrh byl zpracován pro katastrální území obce Keblov v okrese Benešov. Zájmové území se nachází v celém svém rozsahu v povodí vodárenské nádrže Švihov, která je jedním z klíčových zdrojů pitné vody v České republice. Proto byl při návrhu kladen důraz, mimo samotnou protierozní ochranu, na řešení kvality vod ve vztahu ke znečištění způsobovanému erozním smyvem. V rámci práce bylo navrženo celkem 55 prvků protierozních opatření, které se navzájem doplňují a představují tak komplexní systém ochrany proti vodní erozi. Podkladem pro návrh opatření byl výpočet erozní ohroženosti metodou USLE, který byl proveden za použití geografického informačního systému ArcMap. Ve větším detailu byl zpracován návrh suché nádrže v západní části území, která je součástí systému opatření. Nádrž byla dimenzována za pomoci softwaru HEC-HMS pro několik scénářů srážkových událostí. Návrhu předcházela literární rešerše se zaměřením na možnosti jednotlivých prvků protierozní ochrany a vhodnosti jejich použití. Součástí práce je také srovnání stávajícího stavu erozního ohrožení se stavem návrhovým.

Klíčová slova

Vodní eroze, USLE, GIS

Abstract

This diploma thesis deals with the design of a concept of erosion protection of agricultural land focusing on protection against water erosion. The proposal was prepared for the cadastral territory of the village Keblov in the district of Benešov. The area of interest is located in the basin of water reservoir Švihov, which is one of the key sources of drinking water in the Czech Republic. Therefore, it was emphasized to address water quality in relation to pollution caused by erosion. A total of 48 erosion-control measures that complement each other were designed and thus represent a comprehensive system of protection against water erosion. The basis for the proposal was the calculation of erosion risk by the USLE method, which was performed using the ArcMap geographic information system. Design for a dry reservoir in the western part of the territory is part of the system of measures. The reservoir was dimensioned using HEC-HMS software for several precipitation scenarios. The proposal was preceded by a literature search focusing on the possibilities of individual elements of erosion protection and suitability for their use. Part of the work is also a comparison of the current state of erosion protection with the proposed measures.

Key words

Water erosion, USLE, GIS

Obsah

Abstrakt.....	5
Klíčová slova	5
Abstract	6
Key words	6
1 Úvod.....	10
2 Cíle práce	10
A – TEORETICKÁ ČÁST	11
3 Teoretický úvod	11
3.1 Eroze.....	11
3.1.1 Druhy eroze.....	11
3.1.2 Negativní dopady vodní eroze	11
3.1.3 Varianty vodní eroze.....	12
3.1.4 Přípustná míra eroze	13
4 Protierozní opatření.....	14
4.1 Organizační opatření	14
4.1.1 Uspořádání pozemků	14
4.1.2 Pásové střídání plodin.....	14
4.1.3 Delimitace kultur a protierozní rozmíst'ování plodin	15
4.2 Agrotechnická opatření	16
4.2.1 Obdělávání po vrstevnici	16
4.2.2 Orba a obracení proti svahu	16
4.2.3 Použití meziplodin	17
4.2.4 Hrázkování a důlkování	17
4.2.5 Půdochranné technologie zpracování půdy	18

4.3	Technická opatření	19
4.3.1	Terasování.....	19
4.3.2	Protierozní mez	20
4.3.3	Protierozní příkop	21
4.3.4	Protierozní průleh.....	22
4.3.5	Stabilizace drah soustředěného odtoku.....	23
4.3.6	Protierozní hrázky.....	24
4.3.7	Ochranné nádrže	24
4.3.8	Sedimentační jímky	25
4.4	Vedlejší funkce protierozních opatření	25
5	Popis zájmového území	26
5.1	Poloha území.....	26
5.2	Geomorfologická charakteristika	28
5.3	Geologické poměry	28
5.4	Pedologie.....	29
5.5	Charakteristika klimatu	33
B	PRAKTICKÁ ČÁST	34
6	Metodika	34
6.1	Stanovení míry eroze.....	34
6.1.1	Data.....	35
6.1.2	R faktor	35
6.1.3	K faktor	36
6.1.4	LS Faktor	40
6.1.5	C faktor	44
6.1.6	P faktor.....	45

6.1.7	Výpočet USLE	46
6.2	Návrh protierozních opatření	47
6.2.1	Možnost zasakování	47
6.2.2	Zachování dobré obhospodařovatelnosti	49
6.2.3	Jakost povrchových vod	50
6.2.4	Ochranné zatravnění a zalesnění	50
6.2.5	Těžba sedimentů	51
6.2.6	Podpora systému ekologické stability a vegetační doprovod	51
6.3	Dimenzování opatření	51
6.3.1	Charakteristika povodí	52
6.3.2	Návrhová srážka	55
7	Výsledky	60
7.1	Míra stávající vodní eroze	60
7.2	Návrh opatření	62
7.3	Simulace povrchového odtoku a dimenzování opatření	68
7.4	Míra eroze v návrhovém stavu	74
8	Diskuse	76
9	Závěr	77
10	Seznam použité literatury a internetové zdroje	78

1 Úvod

Práce je zaměřena na návrh konceptu protierozních technický a přírodě blízkých opatření na zemědělských pozemcích v KÚ Keblov. V zájmovém území je předpokládaná ohroženost vodní erozí. Zda se ohrožené pozemky opravdu vyskytují a jaká je míra ohroženosti je předmětem výpočtu erozních ztrát. Navazující návrh opatření řeší především vodní erozi, která je v našich podmínkách nejčastější. Většina z nich však plní i mnohé další funkce mající pozitivní dopad na hospodaření, životní prostředí, estetiku, udržitelnost a celkovou hodnotu dané lokality. KÚ Keblov leží v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce, které je významným zdrojem pitné vody v České republice. Proto je řešení vodní eroze a s ní spojeného znečištění útvarů povrchových vod v jejím povodí obzvláště žádoucí.

2 Cíle práce

Cílem práce je za prvé stanovení ohroženosti vodní erozí na zemědělských pozemcích KÚ Keblov. Výpočet míry eroze bude uskutečněn metodou USLE (Univesal soil loss equation). Na základě stanovení stávajícího erozního ohrožení navrhnout systém protierozních opatření. Následně bude stanovena míra erozní ohroženosti návrhového stavu, učiněno porovnání a zhodnocení efektivity popsaných opatření.

A – TEORETICKÁ ČÁST

3 Teoretický úvod

3.1 Eroze

Slovo *eroze* je od pochází z latinského *erodere*, tedy rozhlodávat. Obecně jím míníme rozrušování zemského povrchu, případně půdního pokryvu a transport jeho uvolněných částic. Eroze je přírodní proces, kterému podléhá každé místo na zemského povrchu. Přesto že se jedná o přírodní proces, je míra eroze lidskou činností zpravidla navýšena. Rozlišujeme tak erozi přirozenou a erozi zrychlenou. Přirozená eroze by v našich podmínkách, kdy se jednalo o takřka beze zbytku zalesněnou krajinu, byla původně velice nízká. Zemědělská činnost na orné půdě, rovněž však též na chmelnicích, vinicích, intenzivní pastva a špatná praxe v lesním hospodářství. Zrychlená eroze půdy (dále eroze), má mnoho negativních dopadů, jako je ztráta úrodné ornice, snížení retenčních schopností půdy, znečišťování a zanášení vodotečí a vodních nádrží aj. (Hauptman et al. 2009)

3.1.1 Druhy eroze

Co se týče příčin eroze rozlišujeme několik druhů jako je eroze gravitační, vodní, větrná, glaciální, sněhová aj., avšak pro území České republiky je relevantní pouze vodní a větrná eroze, při čemž větrná eroze je obecně významná pouze pro území Polabí, dolního Poohří a jižní a střední Moravy. Z údajů VÚMOP v.v.i. vyplývá, že větrnou erozí je u nás ohroženo více jak 18 % zemědělské půdy a vodní erozí přibližně 52 %. Opatření navržená v této studii se týkají zejména **vodní eroze**, která je pro oblast KÚ Keblov klíčová.

3.1.2 Negativní dopady vodní eroze

Vodní eroze s sebou nese mnoho negativních dopadů, ovlivňujících nejen samotný zemědělský pozemek, ale působí problémy i dál níže v povodí. Vlivem vodní eroze dochází k odnosu ornice, tedy neúrodnější složky půdního profilu s nejvyšším obsahem organického materiálu. V nejvíce ohrožených oblastech tato ztráta může přesahovat až 60 cm. Na pozemku tímto degradují některé zásadní půdní vlastnosti jako je infiltrace, retence a akumulace srážkové vody, obsah živin, odolnost k utužení a pufrční schopnosti. Souběžně může také docházet k odnosu osiva, či

poškození rostlin sedimenty v nižších partiích svahu. Vodní eroze tak může být zásadním faktorem snižujícím výnos na silně erodovaných půdách až o 75 %. Krom toho mohou růst náklady na zvýšené použití anorganických hnojiv a sanace erozních škod. náklady na zvýšené použití anorganických hnojiv a sanace erozních škod. Celkově tak vodní eroze bývá signifikantním negativním vlivem pro ekonomiku hospodaření a ohrožuje udržitelnost stávající zemědělské činnosti (VÚMOP v.v.i. 2019b).

Není výjimkou, že erozní splachy jsou odnášeny dále mimo pozemek a působí následující komplikace. Jednou z největších je zanášení vodních nádrží a vodotečí. Důsledkem je snížení kapacity daných útvarů povrchových vod což může vést ke snížení protipovodňových funkcí a nutnosti odbahňování. Vzhledem k charakteru unášeného sedimentu, eroze způsobuje také znečištění nádrží a vodotečí. Jde jednak o fyzikální znečištění pevnými částicemi, tedy zákalem ale též o znečištění chemické. Jde zejména o sloučeniny fosforu a dusíku, ale i další nežádoucí látky jsou zaneseny do povrchových vod vlivem vyplavování hnojiv, pesticidů, herbicidů aj. vodní erozí. Znečištění je rizikové pro vodní ekosystémy a komplikuje další použití vody ať už jako pitné, užitkové průmyslové, či pro rekreační účely. Zanesením erozními sedimenty nejsou ohroženy pouze útvary povrchových vod, ale také odvodňovací prvky komunikací, kanalizace a jiné stavby(VÚMOP v.v.i. 2019b).

3.1.3 Varianty vodní eroze

Vodní eroze může mít různé podoby a velmi často na jednom pozemku pozorujeme jejich kombinaci, neboť jednotlivé formy eroze jsou vzájemně provázané. Běžným projevem vodní eroze je **plošná eroze**, kdy erozní účinek deště působí rovnoměrně na celém půdním bloku, či na jeho exponované části. Odnos půdy zde není na první pohled patrný, jasným indikátorem však je akumulace jemnozrnného materiálu v dolních částech svahu, pokles půdy vzhledem k pevným bodům (např. stožáry elektrického vedení), či zhoršená kvalita růstu plodin na zasažené ploše. Pokud je eroze způsobena soustředěným povrchovým odtokem, mluvíme o tak zvané **výmolné erozi**. Jejím prvním stádiem je **rýžková eroze**, při které na svahu vzniká množství stružek, tyto často kopírují linie vzniklé orbou, setím, či jinou mechanizací. Výmolná eroze se zvětšující se délkou a intenzitou soustředěného odtoku přechází v erozi **rýhovou a brázdovou** s výskytem zejména v údolnicích. Posledním stádiem výmolné eroze je eroze **stržová**. Takto vzniklé strže

mohou mít v extrémní případech rozměry i několik metrů. Výmolná eroze se nemusí omezovat pouze na postižený půdní blok. Časté jsou případy, kdy soustředěný povrchový odtok z půdního bloku působí vznik strží například na přilehlém níže položeném lesním pozemku. (VÚMOP v.v.i. 2019a; Morgan 2005)

3.1.4 Přípustná míra eroze

Je zřejmé, že na orné půdě není možno dosáhnout tak nízké míry eroze jako je potenciální přirozená eroze v prostředí boreálního lesa. Proto jsou stanoveny hodnoty přípustných ztrát půdy a cílem návrhu protierozních opatření je dosáhnout na daných pozemcích ztrát nižších. Pro středně hluboké až hluboké půdy (> 30 cm) je tato hodnota rovna 4 t/ha/rok (Janeček 2012). Pro půdy mělké (< 30 cm) 1 t/ha/rok (Novotný a et. al. 2014), lépe však tyto půdy převést na lesní popřípadě na travní porost namísto orné půdy (Janeček 2012).

4 Protierozní opatření

Vzhledem k účinku vodní eroze se protierozní opatření v tomto směru soustředí na tři procesy: zmírnění erozního účinku dopadajících kapek, podpoření infiltrace do půdy a snížení rychlosti erodujícího povrchového odtoku. Tradiční pojetí protierozní ochrany rozděluje opatření na 3 kategorie: organizační opatření, agrotechnická opatření a technická opatření. (Janeček 2012) Dle tohoto rozdělení budou v následujících odstavcích představena jednotlivá opatření proti vodní erozi na zemědělské půdě.

4.1 Organizační opatření

Organizačními opatřeními je myšleno logické uspořádání pozemků umožňující aplikaci dalších protierozních postupů, správná volba plodiny a její umístění, případně změna kultury na pozemku.

4.1.1 Uspořádání pozemků

Rozdělením velkých půdních bloků je možné zásadně zkrátit délku, a tedy rychlost povrchového odtoku. Dále je vhodné na svažitém území orientovat jednotlivé půdní bloky delší stranou po vrstevnici svahu. Toto uspořádání usnadní obdělávání pozemku (viz. níže) po vrstevnici a nepřímo může vytvořit pásové střídání plodin po svahu.

4.1.2 Pásové střídání plodin

Jde o střídání plodin erozně nepříznivých (kukuřice, brambor, obecně širokořádkových) s plodinami takzvaně ochrannými, a to v pásích přibližně kopírujících vrstevnice. Za ochranné plodiny jsou v tomto případě považovány píce, hrách, nebo též ozimá řepka či ozimé obilniny. Takovéto prostorové řešení přerušuje dráhu povrchového odtoku, případně snižuje jeho rychlost. Doporučovaná šířka pásu se v závislosti pohybuje mezi 20 a 40 m. (Janeček 2012) Při čemž se stoupajícím sklonem šířka pásů klesá. Obecně je použití pásového střídání plodin vhodné na svazích do sklonu 7°. (Morgan 2005)



Obrázek 1: Příklad pásového střídání plodin, (zdroj: K.J. Cole, USDA 2010)

4.1.3 Delimitace kultur a protierozní rozmístování plodin

Protierozní rozmístování plodin ochrany znamená správnou volbu plodin vzhledem k eroznímu ohrožení jednotlivých půdních celků. Za tímto účelem rozdělujeme plodiny na:

- **Plodiny s nízkou ochrannou funkcí** – kukuřice, slunečnice, okopaniny, sója, bob setý a čirok.
- **Plodiny se střední ochrannou funkcí** – řepka, hořčice a veškeré obilniny
- **Plodiny s vysokou ochrannou funkcí** – traviny a píce

Příčemž plodiny s nízkou ochrannou funkcí je vhodné pěstovat na pozemcích bez erozního ohrožení, popřípadě mírně ohrožených. Naopak na silně erozně ohrožených pozemcích je vhodné pěstovat plodiny s vysokou či střední ochrannou funkcí. (MZČR 2019) Mnoho plodin je též možno pěstovat s použitím protierozních technologií (viz kapitola 2.2), v tom případě se pak dají umístit i na erozně ohroženější svahy. (Janeček 2012)

Do delimitací kultur počítáme i změnu využití plochy na trvalý travní porost (TTP), nebo lesní pozemek. Obecně je doporučováno pro svahy se sklonem nad 20 % zatravnění a nad 30 %

ochranné zalesnění (MŽP 2008). Trvalé zatravnění je též doporučeno v drahách soustředěného odtoku, podél vodních toků a na technických PEO jako mez nebo průleh (více kapitola 2.2 a 2.3) (Janeček 2012).

4.2 Agrotechnická opatření

Agrotechnická opatření zahrnují veškeré půdoochranné postupy zajišťující odolnost půdy proti vodní erozi, a to zejména v kritickém období kdy půda není kryta vzrostlou plodinou.

4.2.1 Obdělávání po vrstevnici

Orba a výsev plodin ve směru vrstevnic nebo blízkém tomuto směru vytváří příznivý mikrorelief obdělávané plochy, který výrazně brzdí rychlost povrchového odtoku. Naopak orientace obdělávání po spádnici výrazně napomáhá k tvorbě a urychlení soustředěného odtoku v brázdách a meziřádcích. Tento postup se týká zejména širokořádkových plodin, které skýtají značný prostor pro eskalaci erozních účinků soustředěného odtoku. Obdělávání po vrstevnici je doporučováno pro všechny svažité pozemky, jejichž sklonitost nepřesahuje limity pro náklon použitých zemědělských strojů.

S uvedenou technologií souvisí i možnost ponechání hluboké brázdy až do jarního období tedy do výsevu jařiny. Tradičním postupem je po posklizňové orbě urovnání povrchu pole vláčením, které však ve srovnání s vrstevnicově orientovanou brázdou neskýtá takovou ochranu před vodní erozí. Tento postup je cílen zejména na ochranu před erozí způsobenou razantním táním sněhové pokrývky.

4.2.2 Orba a obracení proti svahu

Jelikož vodní eroze je proces unášející substrát směrem ze svahu dolů, je více než vhodné postupovat při orbě směrem opačným a erozi tak částečně kompenzovat. Pokud je oráno ve směru vrstevnic je třeba obracet skývu proti (výhodou je obousměrný otočný pluh).

4.2.3 Použití meziplodin

Je-li v období mezi sklizní a setím na poli oseta meziplodina výrazně se tím zkrátí doba kdy je půda bez ochranného krytu rostlin. U některých plodin (např. brambor) je možné provádět také výsev do chřadnouce meziplodiny, čímž se dosáhne půdního krytu v ranných stádiích hlavní plodiny. Zapravením meziplodiny do půdy se zvyšuje podíl organické hmoty v půdě, což má příznivý vliv na mnoho půdních vlastností, ve vztahu k vodní erozi to je navýšení schopnosti infiltrace. (Brázdil et al. 2015; Janeček 2012)

Meziplodiny, respektive doprovodné plodiny je možno set zároveň s hlavní plodinou, případně přívsem do hlavní plodiny. Tohoto přístupu se používá, je-li doba mezi sklizní a setím následující hlavní plodiny příliš krátká pro vzejití meziplodiny. Je však třeba zvolit vhodnou kombinaci doprovodné plodiny, tak aby neomezovala růst a sklizeň hlavní plodiny. V některých případech není použití doprovodné plodiny vůbec možné. (Janeček 2012)

V tomto případě má opatření vliv zejména na snížení energie dopadajících kapek, ale i retardaci povrchového odtoku. Můžeme tu také mluvit i zvýšení infiltračních schopností, jednak díky zvýšení podílu organické hmoty a také schopnosti některých meziplodin prokořenit utužené vrstvy v půdním profilu a zvýšit pórovitost. Typickými meziplodinami jsou: hořčice bílá, svazenka vrtičolistá, sléz krmný, jílek a mnohé další včetně směsí. (MZČR 2007)

4.2.4 Hrázkování a důlkování

Jde o agrotechnické opatření používané specificky při pěstování brambor. V meziřádcích jsou mezi hrůbky vytvořeny buďto malé hrázky, popřípadě důlky, které zachycují vody povrchového odtoku. Ty zde následně zasakují. (Janeček 2012)



Obrázek 2: Příklad důlkování v meziřadí brambor, zdroj: VÚMOP v.v.i.

4.2.5 Půdoochranné technologie zpracování půdy

Půdoochranné technologie zpracování půdy nabízejí alternativu k tradičnímu postupu každoročního zaorání posklizňových zbytků a obrácení orníčního profilu s následným rozdrobením hrud. Půdoochranné technologie zasahují do povrchu výrazně menší měrou což vede k větší kompaktnosti a erozní rezistenci, zároveň ponechávají na povrchu mulč s posklizňových zbytků, případně strniště jako kryt před erozními účinky deště.

Půdoochranné technologie zahrnují několik metod, které se liší v míře zásah do půdy. Největší zásah představuje zpracování **kypřením**, popřípadě **podmítkou**. Při tomto postupu nedochází k obrácení půdního profilu, pouze k prokypření do hloubky přibližně 7–14 cm. Při procesu jsou posklizňové zbytky ponechány částečně na povrchu. Další možností je **pásově zpracování** půdy, kdy je půda kypřena pouze v nezbytné šíři pro výsev hlavní plodiny. Zbytek je ponechán neupraven se strništěm, popřípadě mulčem. Při technologii pásového zpracování zůstává bez

zásahu až dvě třetiny povrchu půdy (Morgan 2005). Půdoochrannou technologií je i postup, kdy se půda nikterak nezpracovává a výsev následující plodiny se provádí tak zvaným **přímým setím**. (Janeček 2012)

V předchozích odstavcích jsou vyzdvíženy zejména kladné vlastnosti půdoochranných technologií ve vztahu k vodní erozi. Je však třeba také uvést, že při použití těchto technologií mohou nastat problémy s likvidací plevele, či nedostatkem některých živin (Beegle 1996).

4.3 Technická opatření

Zatímco organizační a agrotechnická opatření řeší erozi především plošně úpravou postupu hospodaření, technická opatření vhodně umístěné stavby v rámci i vně půdního bloku, které mají za úkol především přerušit dráhu povrchového odtoku, neškodné převedení odtoku mimo pozemek, místní zmírnění sklonu, případně podporu infiltrace povrchového odtoku. Jejich účinnost je závislá zejména na pečlivém umístění a promyšlené kombinaci jednotlivých prvků technických opatření.

4.3.1 Terasování

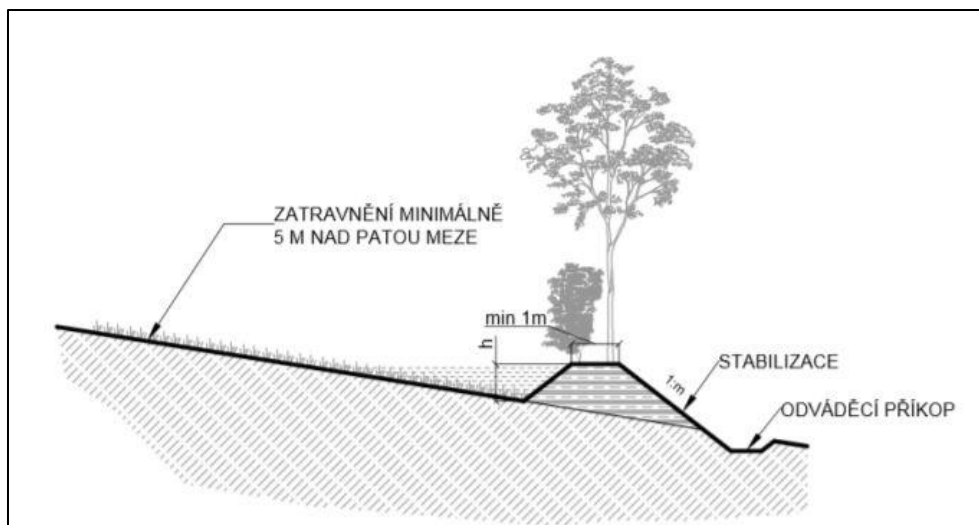
Terasování je opatření na zmírnění sklonu řešeného pozemku. Zmírnění je dosaženo urovnáním povrchu tak, že většina převýšení je překonána v rámci svahu terasy, který je opevněn, zpravidla zatravněním. Nad terasou pak vzniká plošina o podstatně nižším sklonu, než byl původní terén. Dle potřeby je možné umístit jednu či několik teras do nejexponovanějších míst. V extrémních případech lze terasovat celý obdělávaný svah. Toto řešení je však velice nákladné a v současnosti málokdy využíváno. Terasy mohou být technicky opevněné (kámen, zdivo), nebo bez opevnění, pouze zemní. Platí také pravidlo, že čím delší rovná plocha má být mezi terasami, tím hlubší musí být půda (VÚMOP v.v.i. 2019a). Terasování je z důvodu velkého zásahu do krajinného rázu a náročnosti provedení obecně považováno za krajní prostředek protierozní ochrany, ke kterému je sáhuto pouze v nutných opodstatněných případech. (Janeček 2012; VÚMOP v.v.i. 2019a)



Obrázek 3: Příklad terasování, Nikolčice, (zdroj VÚMOP v.v.i.)

4.3.2 Protierozní mez

Jde o podobný prvek jako výše zmíněná terasa (co se úpravy terénu týče), avšak menších rozměrů (max. 1,5 výšky) a s komplexnějším provedením. Mezi by měl bezprostředně předcházet ve směru ze svahu zasakovací sedimentační pás (zatravněný o šíři cca 6 m), samotná mez by měla být mírně vyvýšena nad terén ve smyslu nízké hrázky v horní části tělesa meze. Pod mezí nebo variantně nad mezí je ideálně umístěn odváděcí průleh či příkop (Kadlec a et. al. 2014). Tento je později zaústěn do svodného příkopu, zatravněné údolnice, retenční nádrže, vodoteče, či jinak bezpečně zaústěn. Takto konstruovaná mez, nejenže vytváří lokální snížení sklonu pozemku v okolí meze, ale zejména přerušuje dráhu povrchového odtoku a umožňuje sedimentaci splavenin a však odtokových vod. (Janeček 2012; Kadlec a et. al. 2014)



Obrázek 4: Vzorový řez protierozní mezí s odváděcím příkopem, (zdroj: Kadlec et al. 2014)

4.3.3 Protierozní příkop

Protierozní příkopy slouží k bezpečnému odvedení povrchového odtoku tak aby neohrozil erozním smyvem případně nánosem sedimentů níže ležící pozemky, přičemž ochrana se nemusí nutně týkat zemědělských ploch, ale například též zastavěného území, nebo cestní sítě. Protierozní příkopy dělíme dle funkce na záchytné sběrné a svodné.

Záchytné příkopy chrání pozemek před tak zvanými cizími vodami, tedy přítokem vody z výše položených pozemků. Z principu své funkce jsou tyto příkopy umístěny na hranic chráněného pozemku, proto jsou někdy nazývány taky „obvodové“ příkopy. **Sběrné** příkopy jsou budovány uvnitř pozemku a jejich úkolem se zachycovat povrchový odtok, který se tvoří na ploše pozemku. Záchytné i sběrné příkopy jsou umístovány přibližně ve směru vrstevnic a jsou zaústěny zpravidla do **svodných** příkopů. Ty jsou vedeny zpravidla po spádnicí se zaústěním do retenční nádrže či jinak bezpečně. (VÚMOP v.v.i. 2019a; Janeček 2012)

Kapacita příkopů je navrhována zpravidla na desetiletou srážku, tedy srážku o úhrnu a intenzitě přicházející v dlouhodobém průměru jednou za deset let. Příkopy je třeba náležitě opevnit na tangenciální napětí průtoky generovaného návrhovou srážkou. (Janeček 2012)

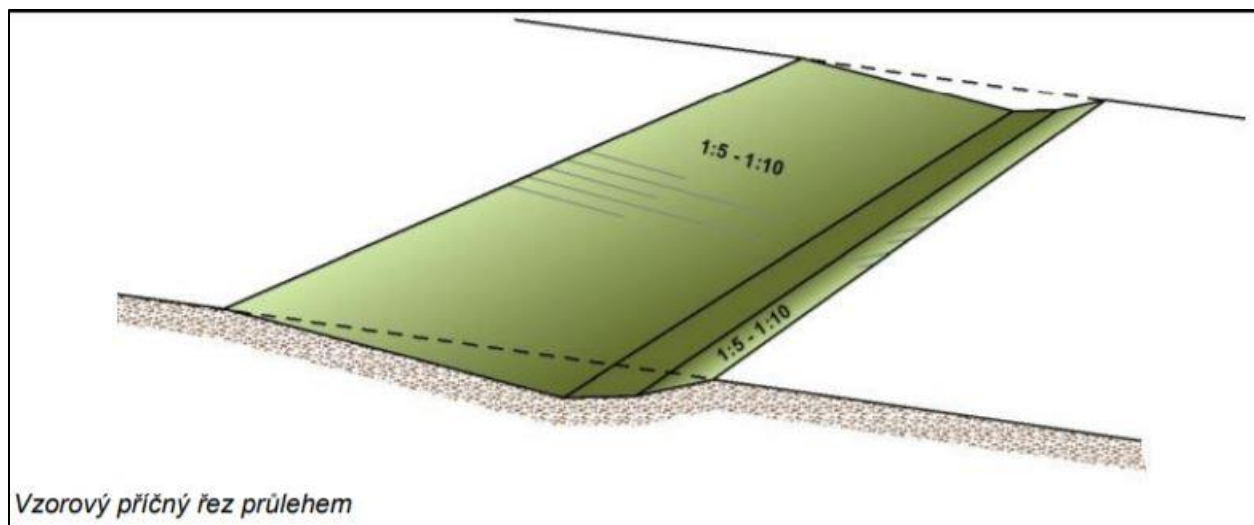
Speciálním případem protierozních příkopů je spojení návrhu s výstavbou polní cesty, která je vedena v trase využitelné protierozním způsobem. Jde o efektivní víceúčelové řešení, je však třeba při návrhu cestních příkopů počítat se zvýšeným objemem srážkové vody a sedimentů. (VÚMOP v.v.i. 2019a)



Obrázek 5: Příklad svodného (vlevo) a záchytného (vpravo) příkopu, (zdroj: Kadlec et al. 2014)

4.3.4 Protierozní průleh

Jedná se o širší a mělký příkop který slouží k zachycení, odvedení případně i infiltraci povrchových vod. Vzhledem k jejich charakteru je zpravidla možný přejezd průlehu zemědělskou technikou, čímž se průleh stává přijatelnější variantou u hospodařících zemědělců. Rozlišujeme průlehy záchytné případně sběrné, které jsou vedeny přibližně kolmo ke sklonu svahu, a zachycují povrchový odtok, ty pak mohou ústít do svodných průlehub, které slouží ke bezpečnému odvedení zachycených vod. Další možností k zaústění jsou svodné příkopy nebo stabilizované údolnice. Průleh bývá zpravidla zatravněn, možná je i doprovodná dřevinná vegetace. Pro zvýšení kapacity průlehu je možno doplnění doprovodnou hrázkou. (Janeček 2012; VÚV TGM v.v.i. 2018)



Obrázek 6: Zdroj: VÚV TGM v.v.i. 2018

4.3.5 Stabilizace drah soustředěného odtoku

Na půdních blocích s členitějším terénem můžeme očekávat koncentraci povrchového odtoku v liniích údolnic a žlebů. Tato místa jsou během erozních událostí významně namáhána a inklinují k tvorbě erozních výmolů až strží. Proto je silně doporučeno tyto dráhy soustředěného odtoku stabilizovat. Nejjednodušším způsobem je zatravnění takovéto údolnice v dostatečné šíři, odpovídající intenzitě návrhové srážky (obvykle 10leté). Je možné, že ve strmějších svazích nebude opevnění zatravněním dostatečné. V tom případě je vhodné doplnit opevnění příčnými hrázkami, sloužícími k retardaci soustředěného odtoku. Použití takovýchto hrázek potažmo

přehrážek je častým způsobem stabilizace strží zejména na lesních pozemcích. (Janeček 2012; VÚMOP v.v.i. 2019a)



Obrázek 7: Příklad zatravněné údolnice, Chvalkovice, (zdroj: VÚV TGM, v.v.i.2018)

4.3.6 Protierozní hrázky

Protierozní hrázky mají několik způsobů využití. Je možné umístit protierozní hrázku v patě svahu jako ochranu níže ležících pozemků před splaveninami. Umístění hrázky důsledně podél vrstevnic vyžaduje zřízení výpustného zařízení. Pokud je hrázka vytvořena s mírný podélným sklonem je třeba zajistit bezpečné zaústění odtékajících vod. Hrázky jsou umísťovány též v prostoru orné půdy, a to buď jako odváděcí, tedy sloužící podobně jako sběrné nebo záchytné příkopy k zadržení povrchového odtoku a jeho bezpečnému odvedení. V takové případě je třeba mírný podélný odklon hráze oproti vrstevnicím umožňující odtok zadržené vody. Protierozní hrázku je možno využít také jako zasakovací prvek. Je-li hrázka vybudována bez podélného sklonu voda zachycená nad hrází zasakuje do půdy. Zároveň dochází k sedimentaci erozních splavenin. Takovéto použití protierozních hrázek je možné pouze na půdách s dobrou infiltrační schopností. Zasakovací proces může být podpořen vytvořením drénu je však třeba počítat s postupným zanášením erozními sedimenty. (Kadlec a et. al. 2014; Janeček 2012)

4.3.7 Ochranné nádrže

V rámci protierozní ochrany je možno budovat také ochranné nádrže. Nádrže budujeme s dvojitým záměrem. Zaprvé k zachycení erozních smyvů, čímž zabráníme zhoršení kvality vod v navazujících vodotečích a nádržích, ale také zanášení koryt, nádrží a jiných vodních staveb (Kadlec a et. al. 2014). Zadruhé mají ochranné nádrže protipovodňovou funkci, pomáhají k transformaci povodňové vlny a snižují riziko nežádoucí eroze koryt níže položených vodotečí.

Nádrže je vhodné umístit na místech přirozeně inklinujících k zamokření, typicky jsou do nich svedeny protierozní příkopy, průlehy a podobné prvky, tak aby docházelo k co nejmenšímu volnému odtoku z řešeného území. Nádrže mohou být suché, tedy bez trvalé zátopy ale i vodní. Mohou také být doplněny mokřadem, který má pozitivní vliv na čištění akumulované vody svojí biologickou aktivitou. V některých případech je dostatečné použití samotného mokřadu. V současnosti je řešení kvality vod základního odtoku podobným způsobem nezbytnou součástí návrhu protierozních opatření. (VÚV TGM v.v.i. 2018; Kadlec a et. al. 2014)



Obrázek 8 a 9: Příklad suché ochranné nádrže (vlevo) - (Kadlec et al. 2014) a mokřadu (vpravo) - (VÚV TGM, 2018)

4.3.8 Sedimentační jímky

Sedimentační jímky jsou určeny primárně k zachycení erozních splavenin před vstupem do hydrologické sítě. Budují se zejména v místech s omezenými prostorovými možnostmi jako alternativa k nádržím, tůňám nebo mokřadům majícím přidanou hodnotu. Mohou být také umístěny před zmíněnými typy nádrží tak aby nedocházelo k nežádoucímu zanášení. (Kadlec a et. al. 2014)

4.4 Vedlejší funkce protierozních opatření

Mnohá z uvedených protierozních opatření mají další vedlejší nicméně velmi prospěšné funkce. Přímým efektem mírnění eroze a povrchového odtoku je protipovodňová ochrana, kdy podpora infiltrace a současná retardace povrchového odtoku mohou mít významným způsobem zmírnit průběh povodně. Současně je také navyšována zásoba vody v půdě a odolnost pozemku

v současnosti častých suchých periodách (Brázdil et al. 2015). Protierozní ochrana je též důležitá ve vztahu ke kvalitě vody tocích a nádržích uvažovaného povodí. (Kvítek 2017) Tento fakt je ve vztahu k poloze zájmového území v povodí vodárenské nádrže Švihov veice důležitý Kromě tohoto přímého efektu, má většina protierozních opatření také důležitý ekologický význam. Větší pestrost a střídání pěstovaných plodin, jakož i větší členitost pozemkového uspořádání a ozelenění průlehů, mezi a dalších prvků zvyšuje biodiverzitu a podporuje ekologickou stabilitu, což může mít příznivý vliv na redukci případných škůdců a podporu opylujícího hmyzu, tedy obecně prospěšné jevy pro zemědělskou činnost (Thies a Tschardtke 1999). Řada z protierozních technických opatření je součástí územního systému ekologické stability (USES), jako biokoridor, či interakční prvek. Tvorba protierozního uspořádání pozemků, případně stavba technického opatření bývá často spoje s výstavbou polní cestní sítě (viz. kapitola 2.3.3.), která byla na mnoha územích v minulosti značně zredukována na úkor intenzifikace zemědělské činnosti. V současnosti je snaha tuto síť ve vhodné míře opět obnovovat za účelem lepšího zpřístupnění pozemků a celkové prostupnosti krajiny (VÚMOP v.v.i. 2019a). V neposlední řadě je třeba protierozním opatřením připsat i pozitivní estetickou a rekreační funkci.

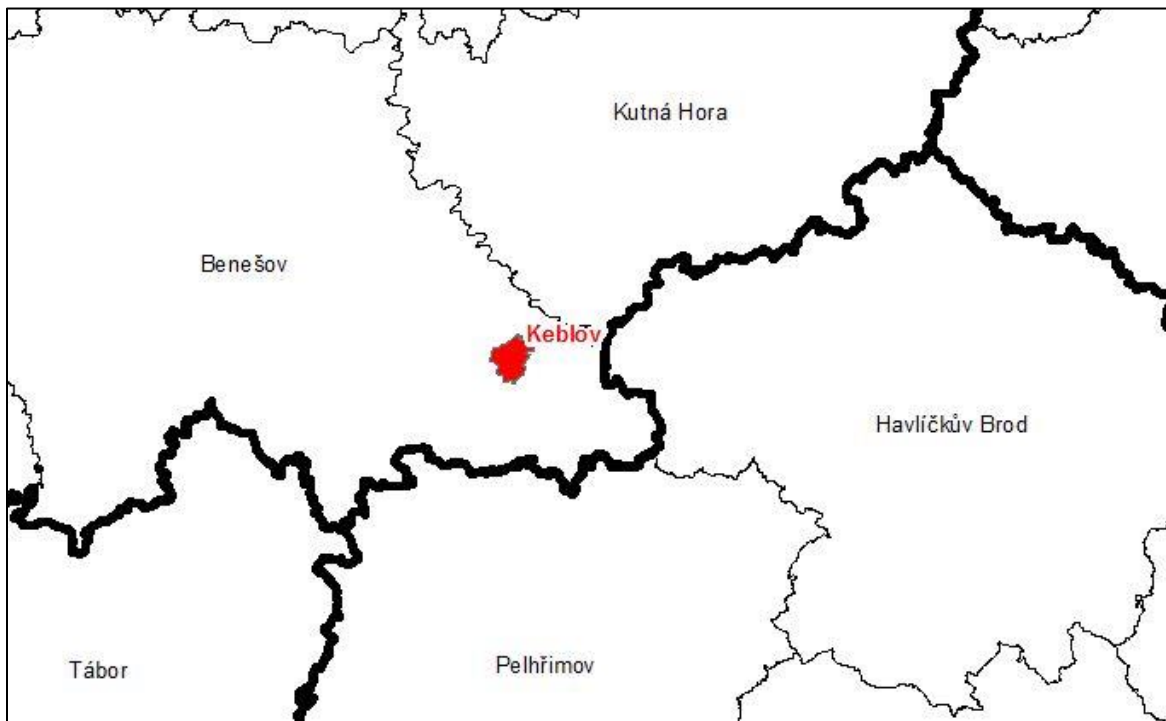
5 Popis zájmového území

5.1 Poloha území

Zájmové území představují zemědělské pozemky v rámci katastrálního území obce Keblov. Keblov je obec ve středočeském kraji o počtu 183 obyvatel (ČSÚ 2020). Leží v okrese Benešov, na jeho východním okraji v okrese Kutná Hora a hranice s krajem Vysočina, okresy Havlíčkův Brod a Pelhřimov. Pověřenou obcí s rozšířenou působností je Vlašim. Součástí obce je též obec Sedlice s 23 stálými obyvateli evidovanými k roku 2011 (ČSÚ). Tato práce se zabývá zemědělskými pozemky patřícími k obci Sedlice.



Obrázek 9: Poloha KÚ Kéblov (zdroj: datová sada ArcČR 500)



Obrázek 10: Poloha KÚ Kéblov v rámci okresu Benešov (zdroj: datová sada ArcČR 500)

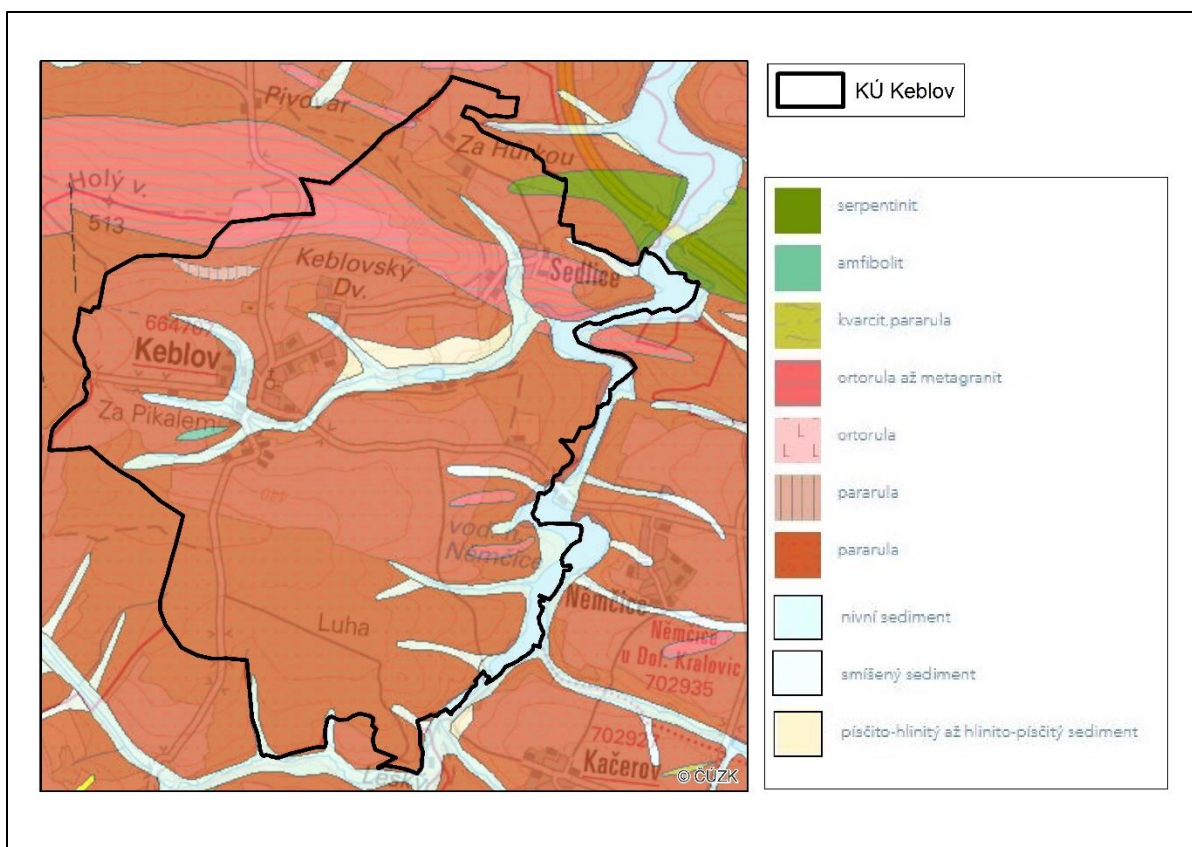
5.2 Geomorfologická charakteristika

Z geomorfologického hlediska se jedná o Česko moravskou soustavu, Středočeskou pahorkatinu, celek Vlašimská Pahorkatina, podcelek Mladovožická pahorkatina, okrsek Načeradická pahorkatina. V nejpodrobnějším členění jde o podokrsek Keblovská pahorkatina (Balatka, ČÚZK 2015). Obecně se jedná o západní okraj Českomoravské vrchoviny. Reliéf samotného katastrálního území je mírně zvlněný s rozpětím nadmořské výšky 377,61 – 483,14 m n. m. Pro jeho charakter je určující mírné postupně se zahlubující údolí Keblovského potoka ubíhající přibližně ze západu na východ a také výraznější údolí Sedlického potoka, které definuje východní hranici katastru a v současnosti je ve vzdutí.

5.3 Geologické poměry

Celé území leží v oblasti moldanubického krystalinika. Oblast je charakteristická vyřelými metamorfovanými horninami. Na území Keblova jsou dominantní zejména pararuly, na severním okraji jej lemují pás ortoruly až metagranitu. Na jihovýchodním okraji zastavěného území obce se nachází amfibolitový výchoz, na severovýchodě pak do katastru zasahuje malým dílem poloha serpentinitu.

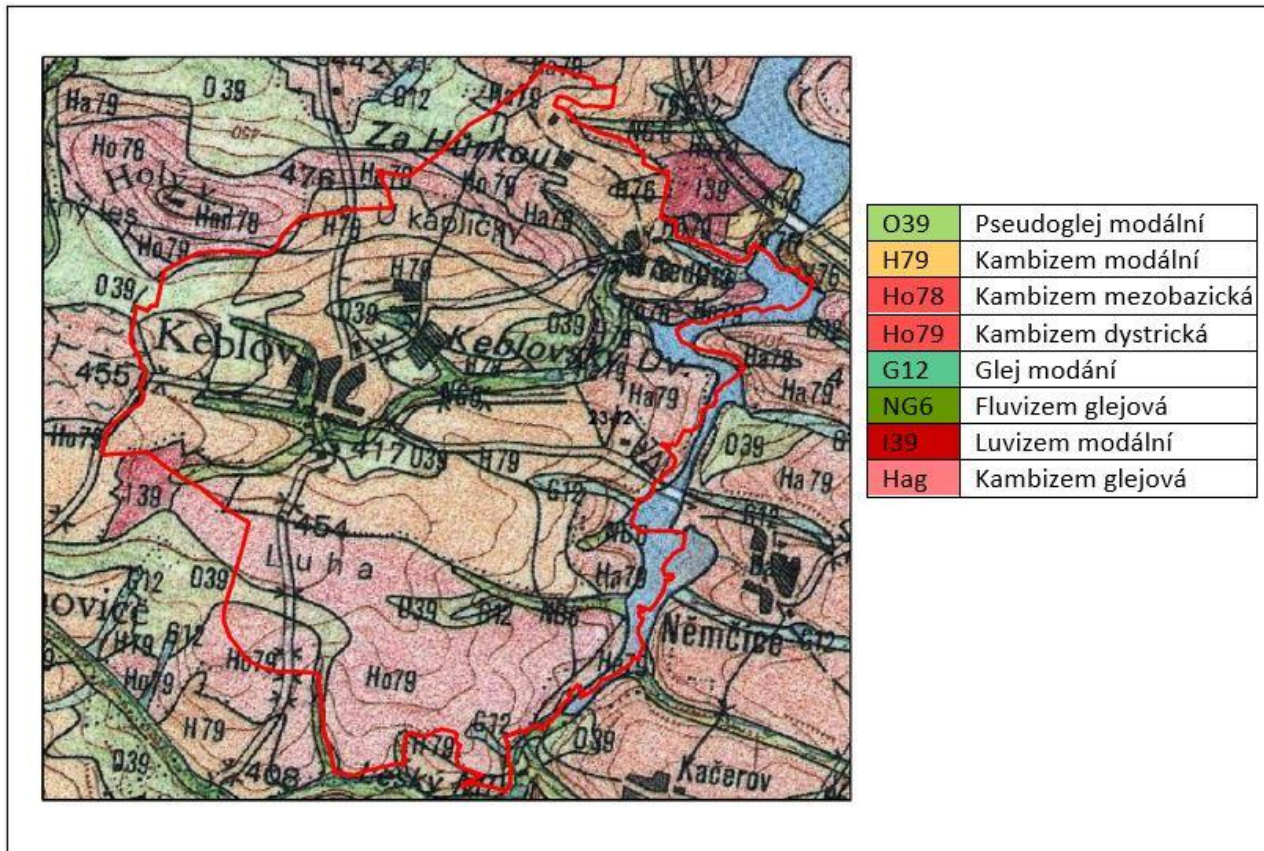
Tento starohorní až prvohorní pokryv je v místech přiozené sedimentace překryt kvarterními fluviaálními a deluviaálními písčito-hlinitými až hlinito-písčítými sedimenty.



Obrázek 11: Rozložení hornin v zájmovém území (zdroj: ČGS - online, Geologická mapa ČR 1:50 000)

5.4 Pedologie

Po pedologické stránce na území dominují zejména kambizemě modální na orné půdě a mezobazické až kambizemě dystické na lesních pozemcích. V údolnicích podél vodotečí nacházíme fluvizem glejovou, místy glej modální. V jejich širším okolí se pak jedná o pseudoglej modální. Ojediněle se na území nachází též luvizem modální, na západě území ve vyšších zamokřených polohách je vyvinuta kambizem glejová. Z důvodu absence vektorové vrstvy půdních typů, byla data převzata ze skenů staršího mapování (1998), kterými jsou nezvektorizovaná místa v mapové aplikaci ČGS podložena.



Obrázek 12: Obrázek 11: Rozložení půdních typů v zájmovém území (zdroj: ČGS - online, Pedologická mapa ČR 1:50 000)

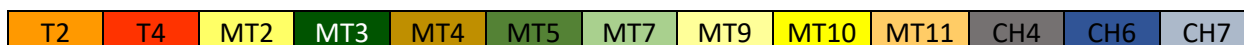
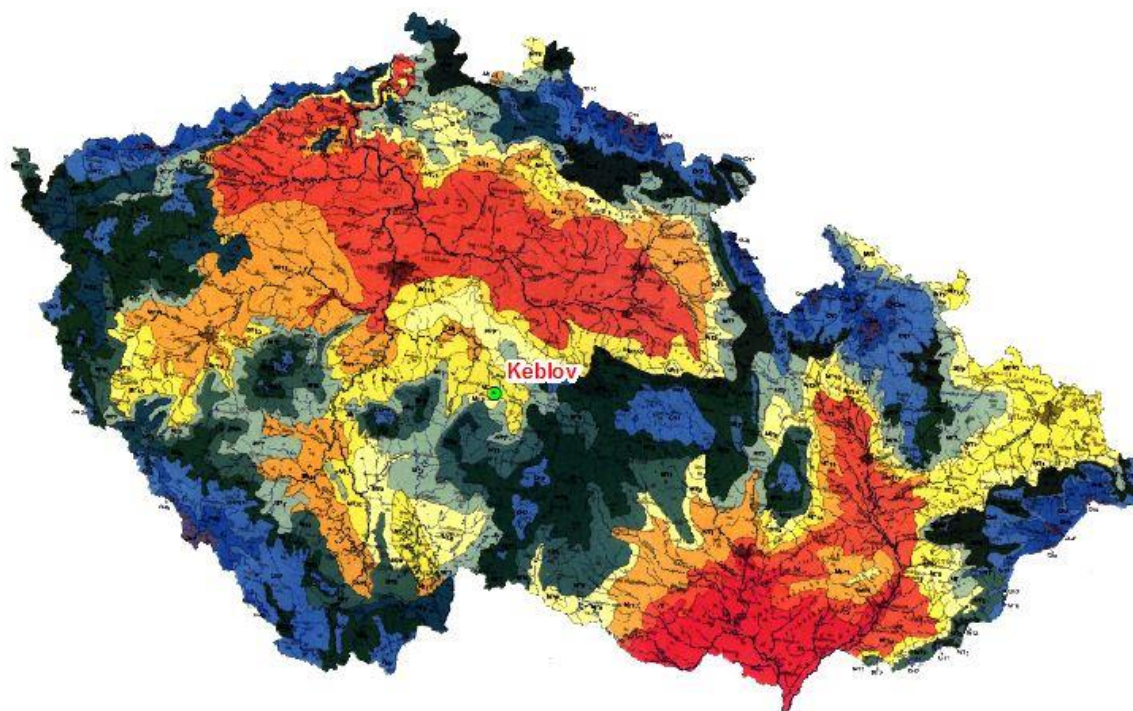
Pro účely této práce je důležitá charakteristika půd podle BPEJ (bonitovaných půdních ekologických jednotek). Jednotky BPEJ jsou podkladem pro některé analýzy uplatněné v rámci práce. Soupis jednotek BPEJ přítomných ve studovaném území byl získán z map poskytovaných Státním pozemkovým úřadem online (<https://www.spucr.cz/bpej/celostatni-databaze-bpej>). Popis jednotlivých jednotek BPEJ je převzat z katalogu BPEJ poskytovaným VÚMOP v.v.i. online (<https://bpej.vumop.cz/>).

BPEJ	Popis jednotky	BPEJ	Popis jednotky
5.29.01	Kambizemě převážně na rovině nebo úplné rovině se všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu do 25 %. Půdy hluboké až středně hluboké v mírně teplém, mírně vlhkém klimatickém regionu a málo produkční.	7.29.14	Kambizemě převážně na mírných svazích se všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu 25-50 %. Půdy hluboké až středně hluboké v mírně teplém, vlhkém klimatickém regionu a produkčně málo významné.
5.29.11	Kambizemě převážně na mírných svazích se všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu do 25 %. Půdy hluboké až středně hluboké v mírně teplém, mírně vlhkém klimatickém regionu a velmi málo produkční.	7.29.41	Kambizemě převážně na středních svazích s jižní expozicí (jihozápadní až jihovýchodní) nebo se západní či východní (jihozápadní až severozápadní či jihovýchodní až severovýchodní) a celkovým obsahem skeletu do 25 %. Půdy hluboké až středně hluboké v mírně teplém, vlhkém klimatickém regionu a velmi málo produkční.
5.29.14	Kambizemě převážně na mírných svazích se všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu 25-50 %. Půdy hluboké až středně hluboké v mírně teplém, mírně vlhkém klimatickém regionu a produkčně málo významné.	7.29.54	Kambizemě převážně na středních svazích se severní expozicí (severozápadní až severovýchodní) a celkovým obsahem skeletu 25-50 %. Půdy hluboké až středně hluboké v mírně teplém, vlhkém klimatickém regionu a produkčně málo významné.
5.29.51	Kambizemě převážně na středních svazích se západní či východní expozicí (jihozápadní až severozápadní či jihovýchodní až severovýchodní) nebo se severní expozicí (severozápadní až severovýchodní) a celkovým obsahem skeletu do 25 %. Půdy hluboké až středně hluboké v mírně teplém, mírně vlhkém klimatickém regionu a velmi málo produkční.	7.37.16	Kambizemě, rankery, litozemě převážně na mírných svazích se všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu 25-50 %. Půdy mělké v mírně teplém, vlhkém klimatickém regionu a produkčně málo významné.
5.32.11	Kambizemě převážně na mírných svazích se všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu do 25 %. Půdy hluboké až středně hluboké v mírně teplém, mírně vlhkém klimatickém regionu a velmi málo produkční.	7.40.77	Silné svažitě půdy převážně na výrazných svazích se severní expozicí (severozápadní až severovýchodní) a celkovým obsahem skeletu do 25 %. Půdy hluboké až středně hluboké v mírně teplém, vlhkém klimatickém regionu a produkčně málo významné.

5.40.77	Silné svažité půdy převážně na výrazných svazích se západní či východní expozicí (jihozápadní až severozápadní či jihovýchodní až severovýchodní) nebo se severní expozicí (severozápadní až severovýchodní) a celkovým obsahem skeletu do 25 %. Půdy hluboké až středně hluboké v mírně teplém, mírně vlhkém klimatickém regionu a produkčně málo významné.	7.47.00	Pseudogleje převážně na rovině nebo úplné rovině se všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu do 10 %. Půdy hluboké v mírně teplém, vlhkém klimatickém regionu a velmi málo produkční.
5.50.11	Pseudogleje převážně na mírných svazích se všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu do 25 %. Půdy hluboké až středně hluboké v mírně teplém, mírně vlhkém klimatickém regionu a velmi málo produkční.	7.47.10	Pseudogleje převážně na mírných svazích se všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu do 10 %. Půdy hluboké v mírně teplém, vlhkém klimatickém regionu a velmi málo produkční.
5.68.11	Gleje převážně na mírných svazích se všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu do 25 %. Půdy hluboké až středně hluboké v mírně teplém, mírně vlhkém klimatickém regionu a produkčně málo významné.	7.50.11	Pseudogleje převážně na mírných svazích se všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu do 25 %. Půdy hluboké až středně hluboké v mírně teplém, vlhkém klimatickém regionu a velmi málo produkční.
7.29.01	Kambizemě převážně na rovině nebo úplné rovině se všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu do 25 %. Půdy hluboké až středně hluboké v mírně teplém, vlhkém klimatickém regionu a málo produkční.	7.68.11	Gleje převážně na mírných svazích se všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu do 25 %. Půdy hluboké až středně hluboké v mírně teplém, vlhkém klimatickém regionu a produkčně málo významné.
7.29.11	Kambizemě převážně na mírných svazích se všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu do 25 %. Půdy hluboké až středně hluboké v mírně teplém, vlhkém klimatickém regionu a velmi málo produkční.		

5.5 Charakteristika klimatu

Studované území leží dle metodiky leží (dle Quitta) v oblasti MT10, tedy oblasti mírně teplé s následujícími charakteristikami: Jaro je mírně teplé a krátké, léto je dlouhé, teplé a suché, podzim je mírně teplý a krátký, zima je mírně teplá, velmi suchá a krátká. Počet letních dní je 40-50, počet dní s průměrnou teplotou nad 10 °C včetně je 140-160. Počet mrazových dní tedy dní, kdy teplota klesne pod bod mrazu je 110-130 a počet ledových dní, kdy teplota nevystoupí nad bod mrazu je 30-40. Dále je uvedena průměrná teplota pro měsíce charakterizující roční období: leden (-2 až -3 °C), duben (7 až 8 °C), červenec (17 až 18 °C), říjen (7 až 8 °C). Co se týče srážkových poměrů, průměrný srážkový úhrn je 600-700 mm, při čemž pro zimní období jde o úhrn 200-250 mm a pro vegetační období 400-450 mm. Počet dní s se srážkovým úhrnem na 1 mm je 100-120 a počet dní se sněhovou pokrývkou je 50-60. Dále je uveden také počet jasných dní, tedy dní k oblačnost pokrývá méně jak 20 % oblohy, je 40-50 a zatažených dní, tedy s oblačností s pokryvem více jak 80 %, je 120-150. (Quitt 1971)



Obrázek 13: Poloha území vzhledem k vymezeným klimatickým oblastem, dle Quitta (zdroj

B – PRAKTICKÁ ČÁST

6 Metodika

6.1 Stanovení míry eroze

Pro návrhy opatření bylo zásadní stanovení a výpočet eroze metodou USLE (The Universal Soil Loss Equation). USLE je empirický model, který stanovuje erozní ztrátu půdy G v tunách na hektar za rok jako součin pěti, popřípadě šesti snadno určitelných parametrů, které jsou pro míru eroze zásadními faktory. Výhodou metody USLE je v prostředí České republiky možnost získání hodnot jednotlivých parametrů bez terénního měří, jednoduchost a dlouholetá osvědčenost. Konkrétní tvar rovnice USLE vypadá následovně:

$$G = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

Rovnice 1: Základní tvar rovnice USLE

při čemž:

- G – ztráta půdy (t/ha/rok)
- R – erozní účinnost deště (MJ/ha*cm/h/rok)
- K – erodibilita, tedy náchylnost půdy k erozi (t*h/MJ/cm)
- L – faktor délky svahu (bezrozměrný)
- S – faktor sklonu svahu (bezrozměrný)
- C – faktor vegetačního krytu (bezrozměrný)
- P – faktor účinku protierozních opatření (bezrozměrný)

Výpočet eroze byl proveden v prostředí GIS (Geografický Informační Systém), konkrétně v softwaru ArcMap společnosti ESRI. Pro tuto práci byla metoda USLE použita formou rastrové analýzy, kdy každý parametr rovnice byl reprezentován samostatnou rastrovou vrstvou. Při vytváření všech rastrových vrstev je třeba dbát na jednotnou velikost buněk (Cellsize), ta je

v tomto případě dána rozlišením digitálního modelu terénu, která je 2 m. Vynásobením jednotlivých vrstev pomocí mapové algebry vznikne rastrová vrstva s hodnotami erozních ztrát G .

6.1.1 Data

Při výpočtu vycházíme zejména z digitálního modelu reliéfu DMR5G, dále datových souborů půdních bloků a jednotek BPEJ (bonitovaná půdní ekologická jednotka) poskytovaný Státním pozemkovým úřadem online (<https://www.spucr.cz/bpej/celostatni-databaze-bpej>), obojí ve formě .shp (Shapefile). Vrstvu půdních bloků je třeba upravit tak aby hranice jednotlivých půdních bloků nepřerušovaly reálné odtokové linie, viz obrázek 14. Shapefile takto spojených bloků v dalším popisu postupu představuje vrstva „PB_merge“.

Digitální model terénu (DMR5G) poskytuje ČÚZK (Český úřad zeměměřičský a katastrální) ve formě mračna bodů nesoucích údaje o nadmořské výšce v daném bodě. Pro pozdější analýzy je však nutný rastrový DMR. Mračno bodů je tak potřeba nejprve nástrojem *Create TIN* převést na TIN (Triangular irregular networks), a ten následně na rastrový model terénu, za použití nástroje *TIN to raster*.



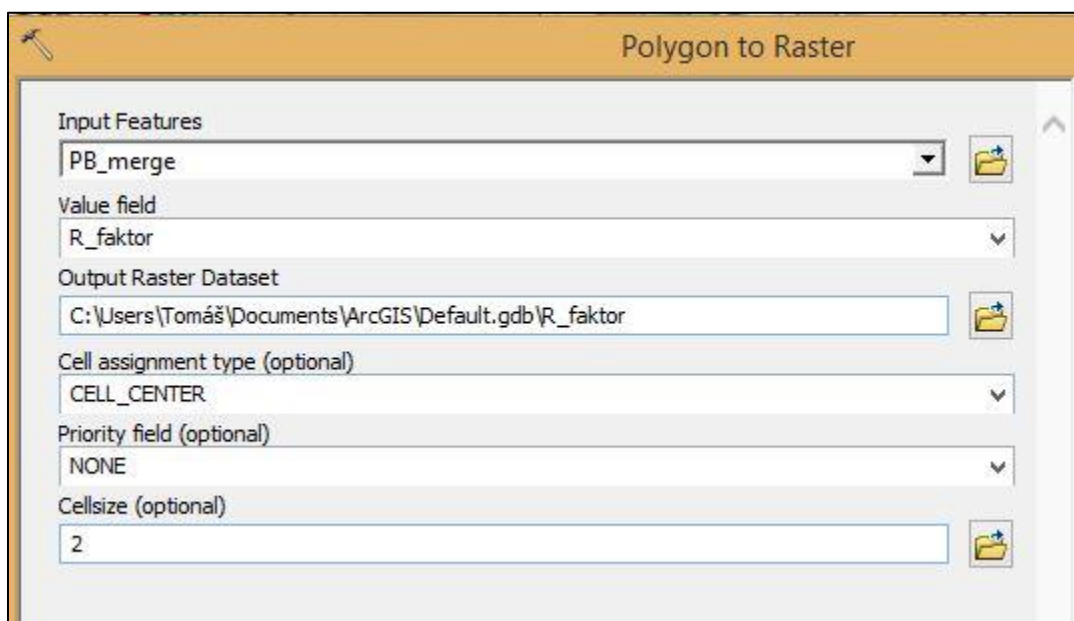
Obrázek 14: Ukázka spojení dílů půdních bloků v místě, kde nedochází k přerušení povrchového odtoku

6.1.2 R faktor

R faktor, tedy erozní účinnost deště je parametr, který je napříč Českou republikou poměrně stabilní. Obecně se je pro naše podmínky používána hodnota 40 MJ/ha*cm/h/rok. V oblastech s výrazně vyššími srážkovými úhrny, tedy především v horských oblastech Vysokých Sudet a

Karpat může hodnota R faktoru dosahovat téměř 70 MJ/ha*cm/h/rok. Zde se však orná půda vyskytuje velice zřídka. Naopak v oblasti jihomoravských úvalů a srážkového stínu v severozápadních Čechách může hodnota klesat pod 30 MJ/ha*cm/h/rok, takže při použití standardních 40 MJ/ha*cm/h/rok dochází k mírnému nadhodnocení na stranu bezpečnosti.

Samotná rastrová vrstva byla vytvořena nástrojem z SHP půdních bloků nástrojem *Polygon to raster*. Před použitím nástroje byl doplněn do atributové tabulky půdních bloků sloupec typu „Integer“ *R_faktor*, vyplněn hodnotou „40“ pro každý prvek a na základě tohoto atributu pak vytvořit rastr zmíněným nástrojem *Polygon to raster*. Použití nástroje je zřetelné na obrázku 15.

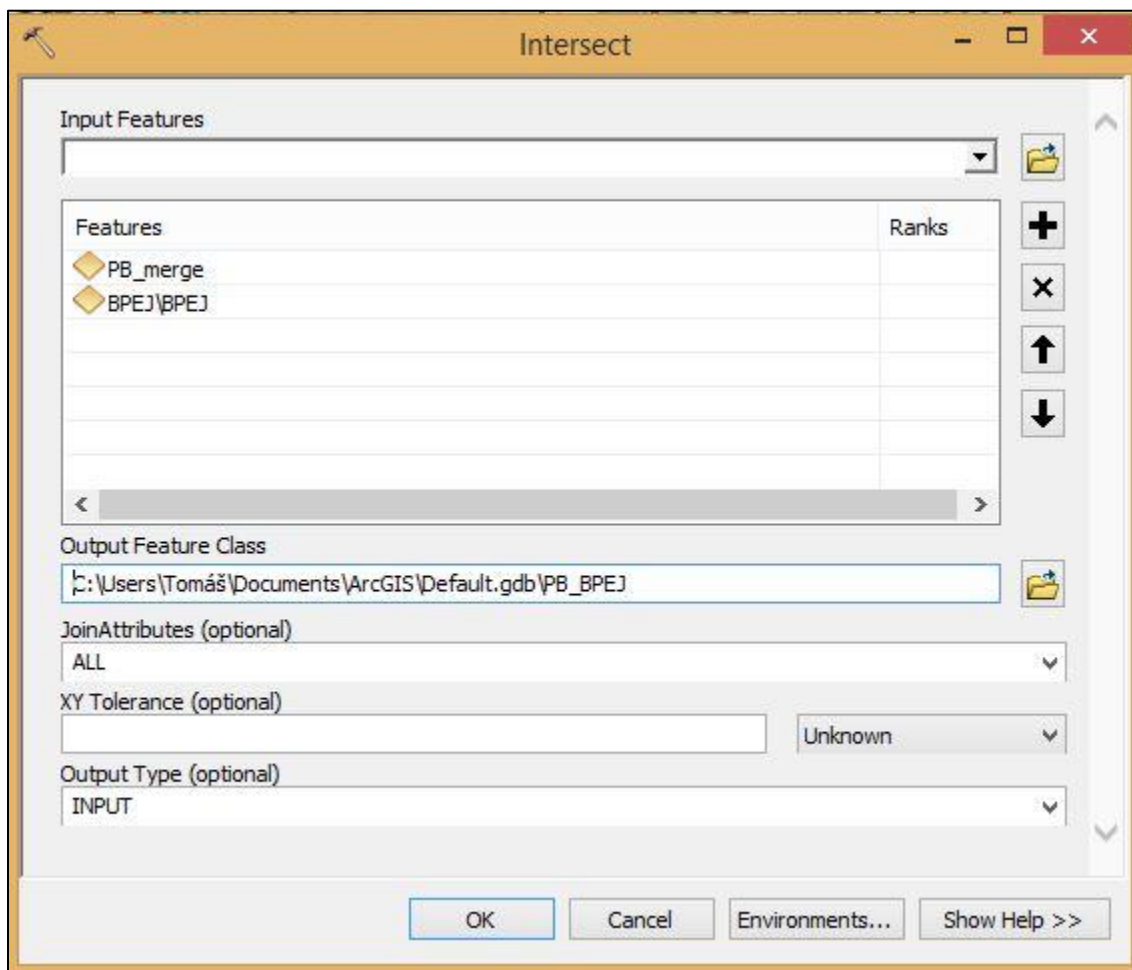


Obrázek 15: Použití nástroje *Polygon to raster* při tvorbě vrstvy reprezentující faktoru R

6.1.3 K faktor

Erodibilita neboli náchylnost půdy k erozním účinkům je vlastnost daná půdním druhem a půdním typem. V tomto směru je možno se řídit kódem BPEJ, konkrétně druhou a třetí číslicí tedy hlavní půdní jednotkou (HPJ). I v této práci byla použita tato metoda. Údaje o rozložení BPEJ na studovaném území byly převzaty z dat poskytovaných Státním pozemkovým úřadem online (<https://www.spucr.cz/bpej/celostatni-databaze-bpej>). Nástrojem *Intersect* (Obrázek 16) byla

vytvořena vrstva obsahující díly půdních bloků rozdělené podle jednotlivých jednotek BPEJ nesoucí tento údaj i v atributové tabulce (obrázek 17).



Obrázek 16: Použití nástroje Intersect pro tvorbu průniku půdních bloků s jednotkami BPEJ

Do atributové tabulky byl přidán nový sloupec typu „Integer“ *HPJ*. Nejjednodušším způsobem jak doplnit do tohoto sloupce hodnoty *HPJ* je pomocí nástroje *Raster calculator*, kde v jazyce Python skriptem `!BPEJ![2:4]` jsou vybrány znaky ze sloupce BPEJ ležící na třetí a čtvrté pozici kódu. Do dalšího nového sloupce typu „Float“ jsou doplněny hodnoty *K* faktoru převzaté z tabulky publikované v (Janeček 2012) – Tabulka 1.

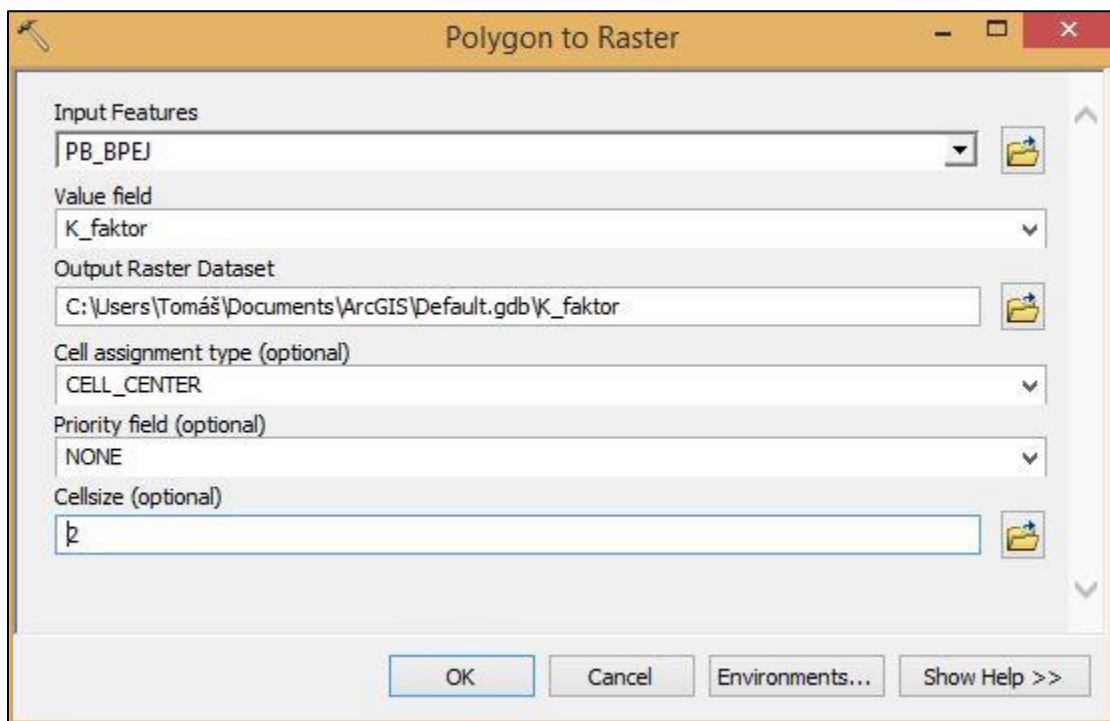
HPJ	K - faktor	HPJ	K – faktor
01	0,41	40	0,24
02	0,46	41	0,33
03	0,35	42	0,56
04	0,16	43	0,58
05	0,28	44	0,56
06	0,32	45	0,54
07	0,26	46	0,47
08	0,49	47	0,43
09	0,60	48	0,41
10	0,53	49	0,35
11	0,52	50	0,33
12	0,50	51	0,26
13	0,54	52	0,37
14	0,59	53	0,38
15	0,51	54	0,40
16	0,51	55	0,25
17	0,40	56	0,40
18	0,24	57	0,45
19	0,33	58	0,42
20	0,28	59	0,35
21	0,15	60	0,31
22	0,24	61	0,32
23	0,25	62	0,35
24	0,38	63	0,31
25	0,45	64	0,40
26	0,41	65	nedostatek dat
27	0,34	66	nedostatek dat
28	0,29	67	0,44
29	0,32	68	0,49
30	0,23	69	nedostatek dat
31	0,16	70	0,41
32	0,19	71	0,47
33	0,31	72	0,48
34	0,26	73	0,48
35	0,36	74	nedostatek dat
36	0,26	75	nedostatek dat
37	0,16	76	nedostatek dat
38	0,31	77	nedostatek dat
39	nedostatek dat	78	nedostatek dat

Tabulka 1: Hodnoty faktoru K podle jednotlivých HPJ

LastUpdate	Shape_Are	Shape_Len	BPEJ	HPJ	K faktor
1. 3. 2021	266954,469849	2708,025821	7.29.11	29	0,32
1. 3. 2021	266954,469849	2708,025821	7.29.11	29	0,32
1. 3. 2021	117446,636963	2405,224194	7.50.11	50	0,33
1. 3. 2021	24939,775757	1527,130366	7.68.11	68	0,49
1. 3. 2021	30111,746216	820,926995	7.29.11	29	0,32
1. 3. 2021	572717,101074	6439,543255	7.29.11	29	0,32
1. 3. 2021	187670,29541	3250,655182	7.47.10	47	0,43
1. 3. 2021	572717,101074	6439,543255	7.29.11	29	0,32
1. 3. 2021	59180,9729	1569,777355	7.29.54	29	0,32
1. 3. 2021	428599,788391	4144,869599	7.29.01	29	0,32
1. 3. 2021	125038,773071	2411,452777	7.29.11	29	0,32
1. 3. 2021	27797,169617	908,52616	7.29.54	29	0,32
1. 3. 2021	428599,788391	4144,869599	7.29.01	29	0,32
1. 3. 2021	186283,122192	3110,407542	7.29.11	29	0,32
1. 3. 2021	26783,335327	1088,738844	7.50.11	50	0,33
1. 3. 2021	428599,788391	4144,869599	7.29.01	29	0,32

Obrázek 17: Zanesení údajů o faktoru K do atributové tabulky půdních bloků

Na základě nového atributu K faktoru pomocí nástroje *Polygon to raster* je vytvořena rastrová vrstva nesoucí hodnoty faktoru K.



Obrázek 18: Použití nástroje *Polygon to raster* pro tvorbu vrstvy reprezentující K faktor

6.1.4 LS Faktor

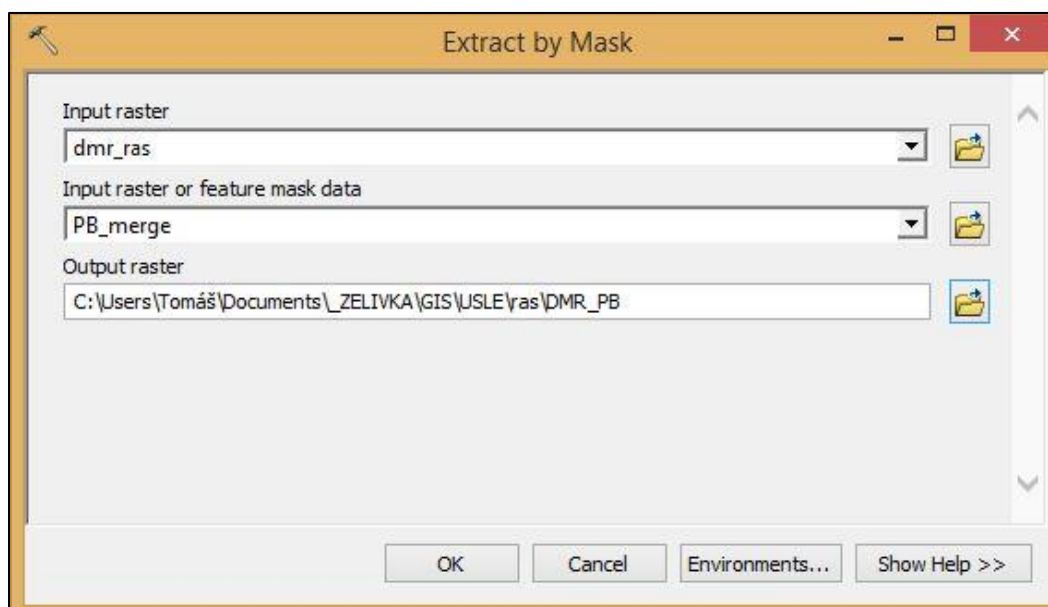
Jelikož faktory L i S jsou oba definovány výhradně topografií terénu, běžně se používá jejich sdružený tvar, topografický faktor LS. Představuje poměr ke ztrátě půdy, která by za stejných podmínek vznikla na svahu o délce 22,13 m a sklonu 9% (Wischmeier a Smith 1978). Pro jeho stanovení byl použit vztah podle (Mitášova et al. 1996),

$$LS(r) = (m+1) * [A(r) / a_0]^m [\sin b(r) / b_0]^n$$

Rovnice 2: Stanovení LS faktoru podle (Mitášova et al. 1996)

kde $A(r)$ představuje plochu nad počítaným místem, ze kterého přichází povrchový odtok, a_0 je délka jednotkového pozemku, tedy 22,13 m, b je sklon svahu ve stupních, b_0 je sklon jednotkového svahu 9 % a m a n jsou empirické parametry, které nabývají hodnoty ve vymezeném rozsahu. Pro tuto práci byly použity střední hodnoty $m = 0,5$ a $n = 1,2$.

Tvorba rastrové vrstvy LS faktoru je založená zejména na digitálním model terénu. Aby výpočet proběhl správně je potřeba nejdříve oříznout DMR podle vrstvy půdních bloků (Obrázek 19 a 20). Jinak by mohlo docházet k propagaci erozních účinků z výše položených pozemků na níže položené, oddělené pro erozní smyv nepropustnou bariérou (např. cestou aj.).



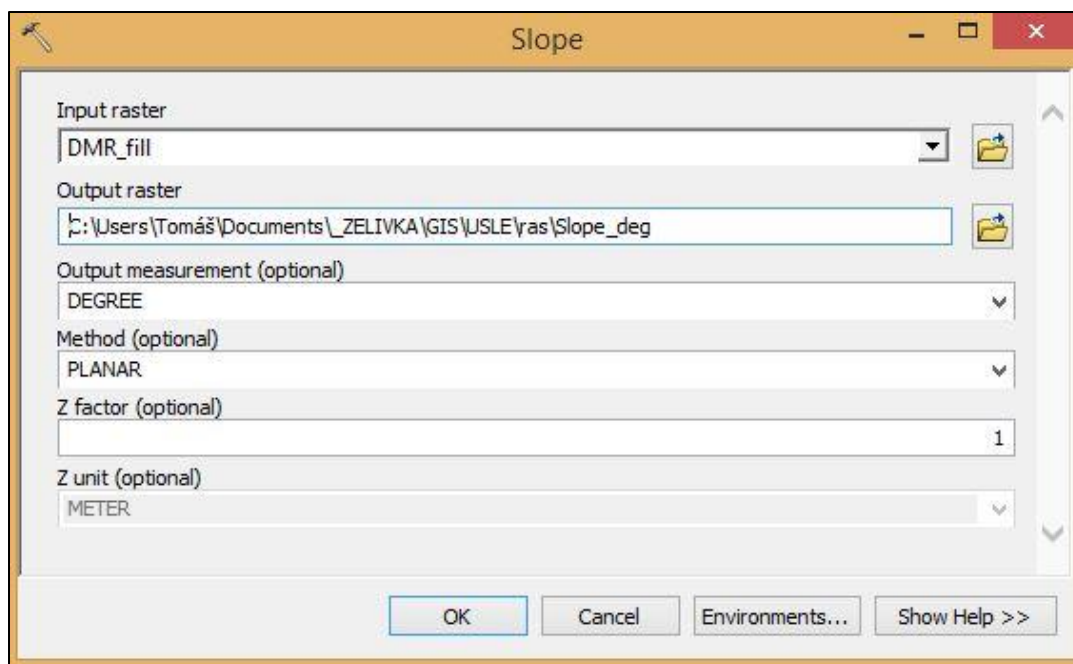
Obrázek 19: Použití nástroje Extract by mask pro oříznutí digitálního modelu terénu



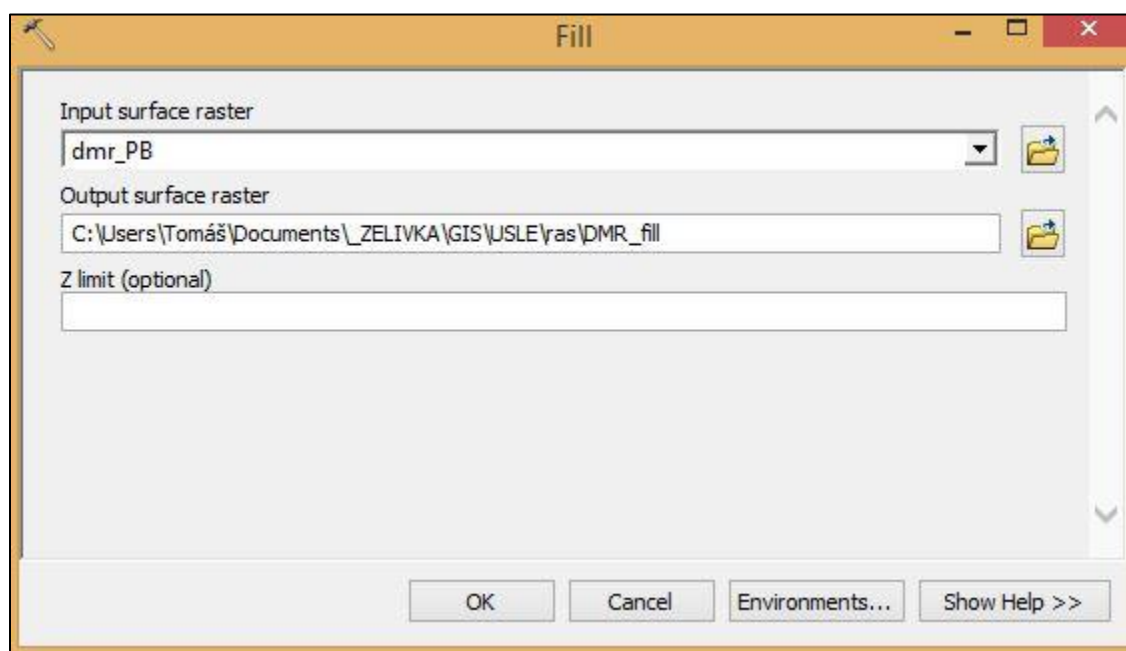
Obrázek 20: Digitální model terénu po oříznutí

Pro vytvoření rastrové vrstvy LS faktoru, je potřeba z digitálního modelu terénu vytvořit jednak rastr s hodnotami sklonu ve stupních. Toho je dosaženo nástrojem *Slope* (Obrázek 21).

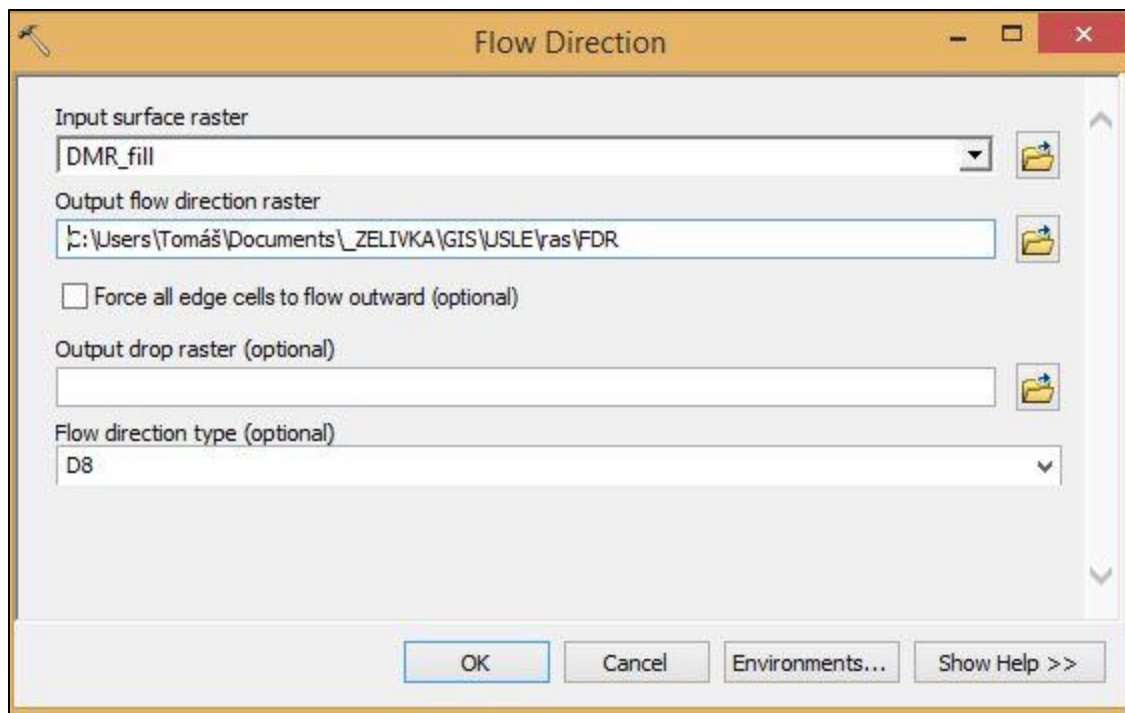
Za druhé je potřeba vytvořit vrstvu akumulace odtoku, tedy rastr, kde hodnota buňky představuje počet buněk, ze kterých do této buňky směřuje hypotetický odtok. Vytvoření tohoto rastru má několik kroků. Nejdříve je nástrojem *Fill* vytvořen digitální model terénu, který je zbaven bezodtokých míst, následně nástrojem *Flow direction* použitím nového modelu terénu (*DMR_fill*) vytvořen rastr, který má hodnoty podle směru, kterým by se ubíral hypotetický odtok. Tento rastr a také vrstva „*DMR_fill*“ je základem pro výpočet vrstvy akumulace odtoku nástrojem *Flow accumulation*. (Použití nástrojů – Obrázek 22-24)



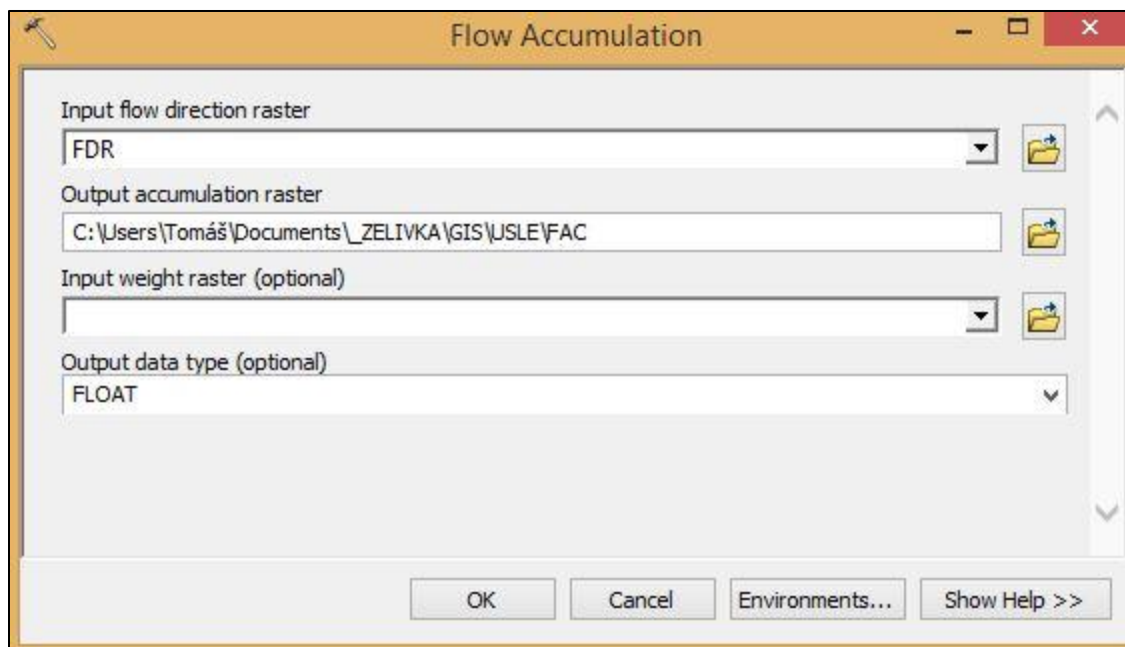
Obrázek 21: Tvorba rastru reprezentujících sklon terénu ve stupních nástrojem Slope



Obrázek 22: Tvorba hydrologicky korektního modelu terénu nástrojem Fill, pro následné analýzy

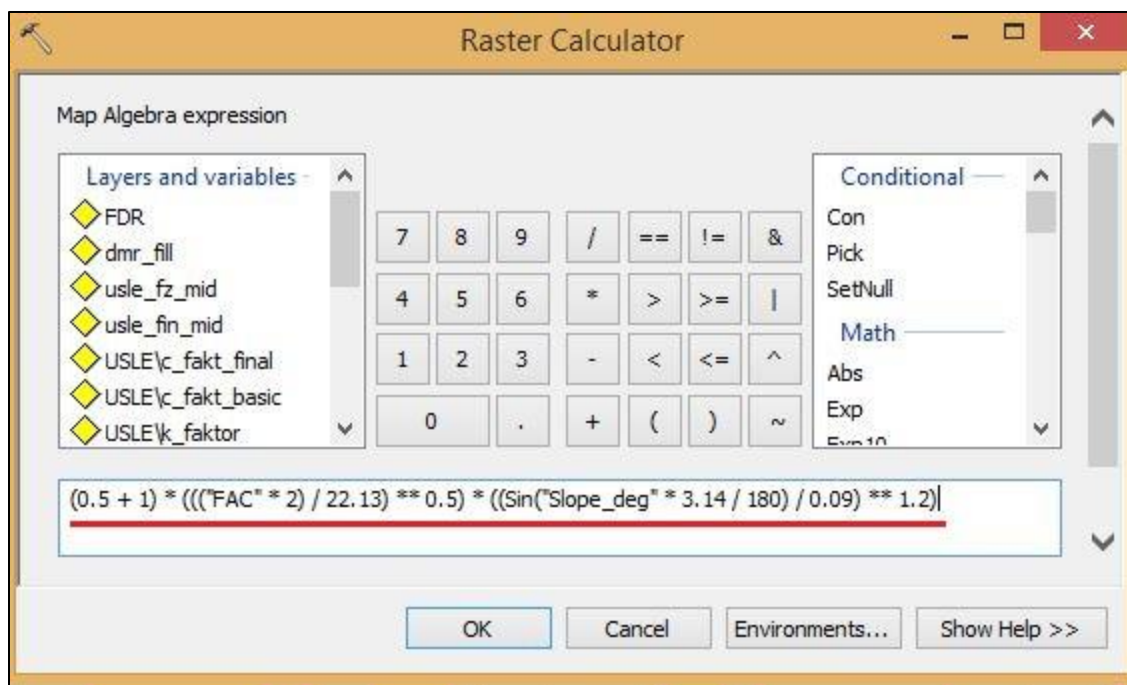


Obrázek 23: Použití nástroje Flow direction



Obrázek 24: Použití nástroje Flow accumulation

Posledním krokem k vytvoření rastru LS faktoru je mapová algebra s vytvořenými vrstvami. Nástrojem *Raster calculator* provedeme výpočet výše uvedené rovnice dle Mitášové et al. 1996. Zápis rovnice v prostředí GIS je patrný z obrázku 25.

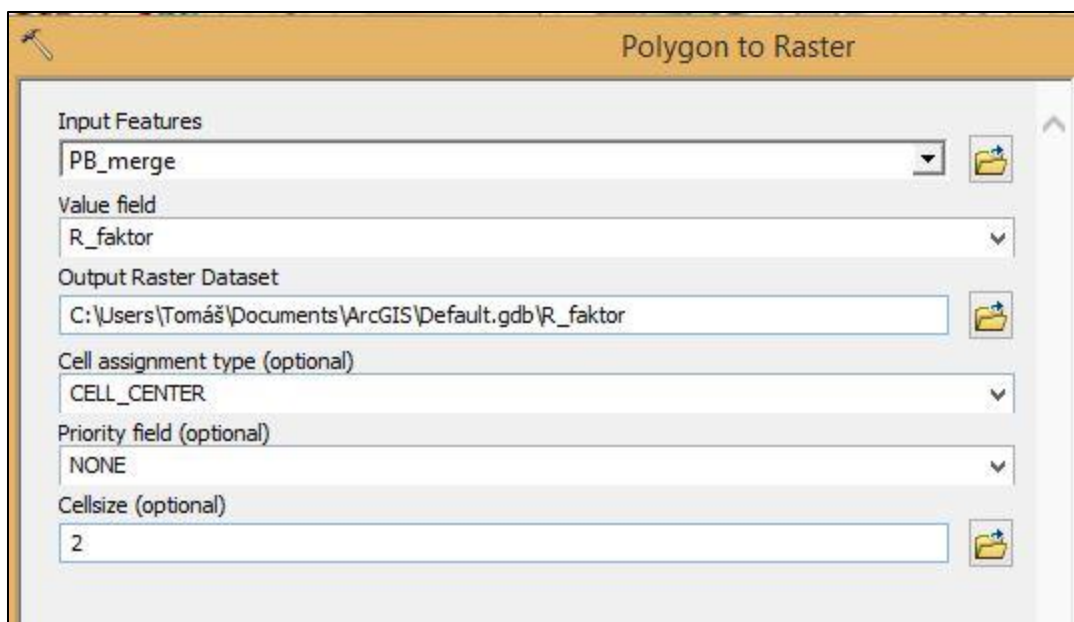


Obrázek 25: Zápis rovnice pro výpočet LS faktoru v prostředí GIS v nástroji Raster calculator

6.1.5 C faktor

C faktor představuje poměr ztráty půdy ke ztrátě, která by nastala za stejných podmínek na pozemku s trvalým černým úhorem, tedy bez vegetačního krytu.

V této práci byla hodnota C faktoru stanovena na základě klimatických regionů z údajů BPEJ. Údaj o klimatickém region představuje první číslice v kódu BPEJ. Katastrální území Keblova leží z větší části v klimatickém regionu 7, tedy mírně teplém vlhkém. Menší část území je v regionu 5, mírně teplém mírně vlhkém. Pro klimatický region 7 je hodnota C faktoru pro standartní ornou půdu 0,214, pro pátý klimatický region to je 0,229. Plochy s trvalým travním porostem mají hodnotu 0,01. Hodnoty C faktoru byly doplněny do nového sloupce atributové tabulky vrstvy půdních bloků a následně nástrojem *Raster to polygon* převedeny na rastr (Obrázek 26).



Obrázek 26: Použití nástroje Raster to polygon pro tvorbu vrstvy reprezentující faktor C

6.1.6 P faktor

P faktor vyjadřuje zmírňující účinek plošných protierozních opatření, jako terasování, orba po vrstevnici nebo důlkování. Pro vyjádření faktoru P rastrovou vrstvou byl nejprve tento údaj zanesen do nového sloupce atributové tabulky vrstvy půdních bloků na základě tabulkových hodnot publikovaných (Janeček 2012) – Tabulka 2. Půdní bloky, kde nejsou aplikovány uvedená protierozní opatření, nesou hodnotu P faktoru = 1.

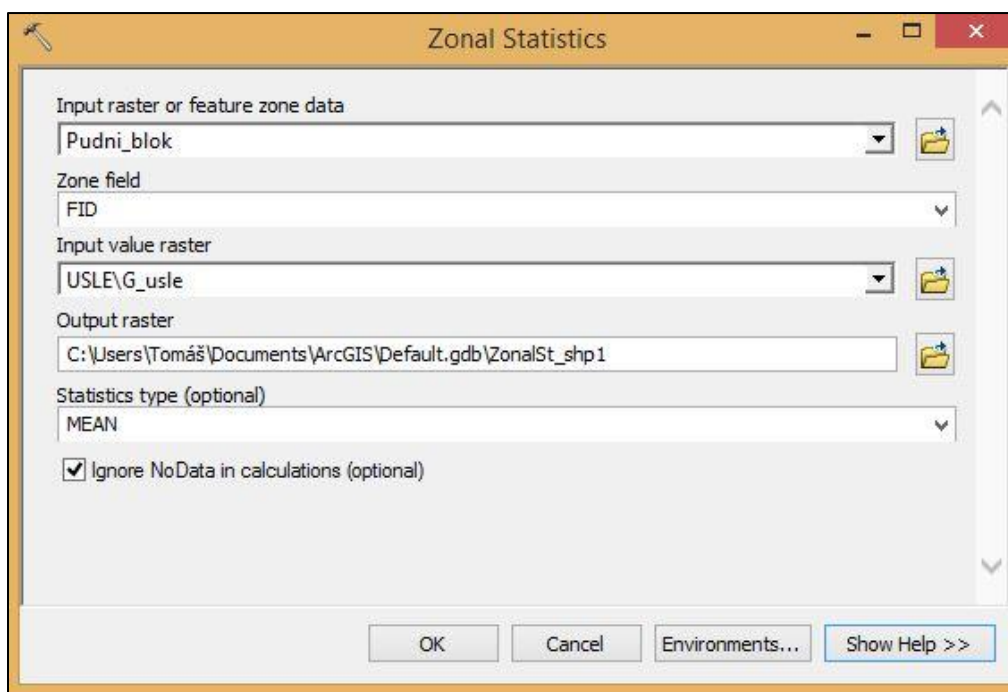
Protierozní opatření	Sklon svahu (%)			
	2-7	7-12	12-18	18-24
Maximální délka pozemku po spádnici při konturovém obdělávání	120 m	60 m	40 m	-
	0,6	0,7	0,9	1,0
Maximální šířka a počet pásů při pásovém střídání	40 m	30 m	20 m	20 m
	6 pásů	4 pásy	4 pásy	2 pásy
- okopanin s víceletými pícninami	0,30	0,35	0,40	0,45
-okopanin s ozimými obilovinami	0,50	0,60	0,75	0,90
Hrázkování, resp. přerušované brázdování podél vrstevnic	0,25	0,30	0,40	0,45

Tabulka 2: Hodnoty faktoru P pro určitá protierozní opatření

Na základě tohoto atributu pomocí nástroje *Polygon to raster* byla vytvořena rastrová vrstva s hodnotami faktoru P.

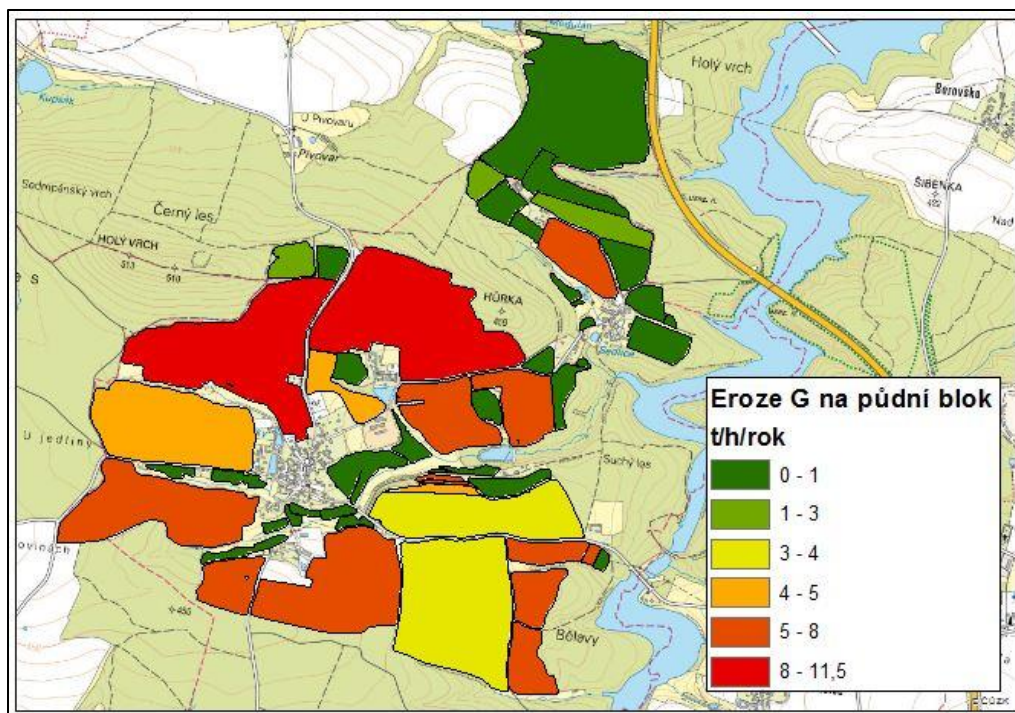
6.1.7 Výpočet USLE

Samotný výpočet ztráty půdy je proveden vynásobením všech vytvořených rastrů reprezentujících jednotlivé faktory nástrojem *Raster calculator*. Výsledná vrstva představuje míru eroze v jednotlivých buňkách v jednotkách t/ha/rok. Jelikož přípustná ztráta půdy je stanovena ve vztahu k průměrné erozi v rámci půdního bloku, musí být výsledná vrstva zprůměrována nástrojem *Zonal statistics*. Jeho použití je zřetelné na Obrázku 27.



Obrázek 27: Použití nástroje *Zonal statistics* pro stanovení průměrné ztráty půdy na půdním bloku

Výsledkem je průměrná hodnota buněk rastru vytvořeného v předchozím kroku pro jednotlivé půdní bloky, tedy průměrná erozní ztráta půdy z půdního bloku. Výsledek je vhodné vizualizovat a rozlišit pozemky pod a nad přípustnou mezí míry eroze (Obrázek 28).



Obrázek 28: Výsledná vrstva ztráty půdy G na půdním bloku (podkladová mapa: ČÚZK ZABAGED ZM10 – online 2021)

6.2 Návrh protierozních opatření

Návrh opatření byl proveden na základě stanovení stávající míry vodní eroze pomocí rovnice USLE popsaného v kapitole 4.1. Návrh opatření byl cílen na půdní bloky s mírou vodní eroze překračující přípustnou mez 4 t/ha/rok. Dle místních poměrů pak byl navržen postup protierozní ochrany odpovídající konkrétní lokalitě. V postupu byly uplatněny následující pravidla:

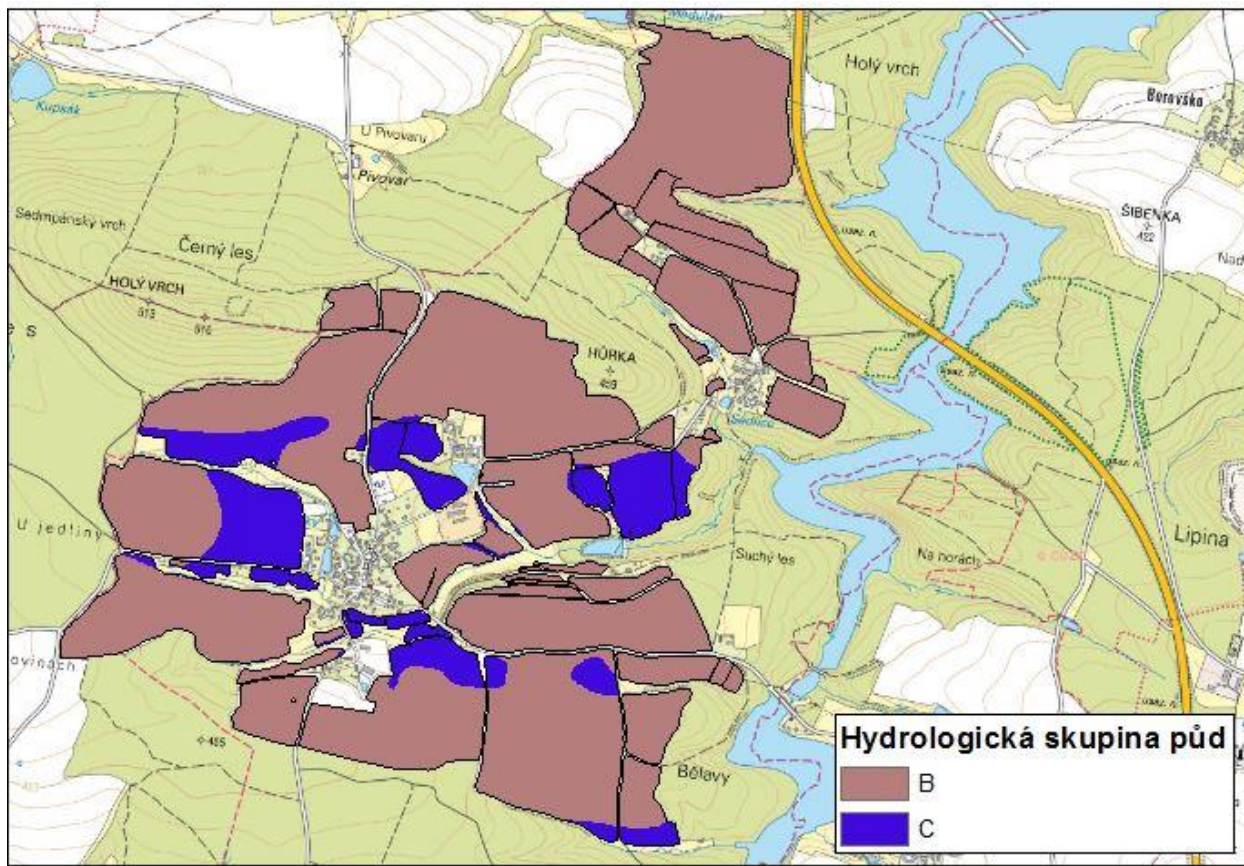
6.2.1 Možnost zasakování

V rámci návrhu protierozních opatření je vhodné zasakovat srážkové vody v povrchovém odtoku přímo na pozemku a tím obohacovat půdní profil o vláhu, které je v období letních přivalových dešťů zpravidla nedostatek (Brázdil et al. 2015). Je však nutné respektovat hydrologické skupiny půd, při čemž k zasakovacím prvkům jsou vhodné pouze ve skupině A a B. Vymezení hydrologických skupin půd (HSP) bylo provedeno na základě hlavní půdní jednotky kódu BPEJ s použitím následující tabulky (JANEČEK 1992) – Tabulka 3.

kategorie BPEJ	v mapě	hydrologická skupina	půdní	kategorie BPEJ	v mapě	hydrologická skupina	půdní
1		B		34		B	
2		B		35		B /A/	
3		B /C/		36		B	
4		A		37		B /A/	
5		B		38		C-D	
6		C-D		39		C-D	
7		D		40		B	
8		B /C/		41		C-D	
9		B		42		C	
10		B		43		C	
11		B		44		C	
12		B		45		C	
13		B		46		C	
14		B		47		C	
15		B /C/		48		C	
16		B /A/		49		D	
17		A /B/		50		C	
18		B-C		51		C	
19		B-C		52		C /D/	
20		D		53		C /D/	
21		A		54		D	
22		A-B		55		A	
23		A-B		56		B	
24		B-C		57		C-D	
25		B /C/		58		B-C	
26		B /C/		59		D	
27		B		60		B	
28		B		61		C /D/	
29		B		62		C	
30		B		63		D	
31		A /B/		64 – 76		C	
32		B/ A		0, 99		nebonitováno	
33		B-C					

Tabulka 3: Stanovení hydrologické skupiny půd na základě BPEJ (zdroj:(JANEČEK 1992))

Prostorové vymezení HSP bylo provedeno v prostředí GIS, nástrojem *Intersect*, kterým byl vytvořen průnik SHP vrstev BPEJ a půdních bloků. Na následujícím obrázku (Obrázek 29) je uvedena vizualizace rozložení HSPve studovaném území.



Obrázek 29: Rozložení HSP na zemědělské půdě v rámci zájmového území (podkladová mapa: ČÚZK ZABAGED ZM10 – online 2021)

Druhou podmínkou pro funkci zasakovacího prvku protierozního opatření je místní sklon nižší než 9 %. Vrstva znázorňující sklon svahu v procentech byla vytvořena identickým způsobem jako je popsáno v kapitole 6.1.4.

6.2.2 Zachování dobré obhospodařovatelnosti

Prvky protierozního opatření by neměly zásadním způsobem komplikovat možnost obdělávání zemědělskou technikou. Opatření byla navržena tak, aby byl ponechán dostatečný prostor pro průjezd zemědělských strojů jak mezi opatřeními a hranicí půdního bloku, tak mezi opatřeními. Rozestup byl dimenzován na šířku záběru zemědělského stroje 22 m, tedy na šířku průjezdu v násobcích 22 m, tak aby byl minimalizován počet pojezdů zemědělské techniky na pozemku. Navržená opatření v ploše půdního bloku jsou navržena zpravidla po vrstevnici. V tomto ohledu

omezují obdělávání pozemku ve spádnicovém směru, který je však na erozně ohrožených pozemcích i tak nežádoucí a jde tedy o omezení přijatelné.

6.2.3 Jakost povrchových vod

Řešení povrchových vod ve vztahu k protierozním opatření znamená zejména omezení přímého vstupu erozních smyvů do hydrologické sítě. Tato ochrana spočívá již v samotném snížení erozního smyvu ale také ve specifických postupech, které byly v práci uplatněny. V tomto smyslu byly při návrhu opatření v KÚ Keblov vytyčeny ochranné pásy zatravnění v místech kde orná půda přiléhá k vodnímu toku či nádrži bez dostatečného meziprostoru pro sedimentaci a filtraci unášených částic. Dále bylo dbáno na zaústění svodných odváděcích příkopů, průlehů, opevněných údolnic a podobných prvků do nádrže typu: sedimentační jímka, suchá nádrž, tůň/mokřad. Preferovaným prvkem byla retenční jímka, která byla navrhována vždy, dovolily-li to místní podmínky, a to i v případech, kde dále nádrž, mokřad či tůň. Sedimentační jímka umožňuje snadnější těžení sedimentů a navýší poměr zadržovaných splavenin. V návaznosti na sedimentační jímku bylo preferováno vytvoření mokřadu s případným umístění v suché nádrži. V mokřadu dochází k biologickému čištění látek, které nebyly odstraněny sedimentační jímkou. Naopak suchá nádrž je velice efektivní k pozdržení přívalových vod. Za tímto účelem byla soustředěna pozornost na místa přirozeného zamokření a místa morfologicky příznivá pro stavbu hráze suché nádrže (žleb, rokle apod.).

Navrhovaná opatření se nacházejí v povodí a značné blízkosti vodní nádrže Švihov na řece Želivce. Ta je klíčovým zdrojem pitné vody pro Prahu a Středočeský kraj. Proto je na tomto území potřeba vytvářet v tomto směru robustnější systém opatření.

6.2.4 Ochranné zatravnění a zalesnění

Dle metodiky (MŽP 2008) a s přihlédnutím k potřebě obzvláštní ochrany z důvodu návaznosti na vodárenskou nádrž Švihov byla zatravněny plochy se sklonem mezi 15-20 % a vyšším. Metodika (MŽP 2008) doporučuje taktéž zalesnění na svazích se sklonem nad 30 %. Takové nebyly v zájmovém území identifikovány a návrh ochranného zalesnění nebyl v práci vymezen.

6.2.5 Těžba sedimentů

Prvky navržené k zachycení erozních sedimentů jsou navrhovány tak aby bylo umožněno co nejsnazší těžení sedimentů. U špatně přístupných míst (hrazení strží atp.) je vhodné umístit výš proti proudu v dráze odtoku sedimentační jímku, tak aby byla snáze přístupná.

6.2.6 Podpora systému ekologické stability a vegetační doprovod

Veškeré prvky erozní ochrany, u kterých je dostatečný zábor jsou doplněny vegetačním doprovodem, druhové skladby dle místních podmínek a funkce. Podpora ekologické stability je v krajině důležitým prvkem. Vegetační doprovod přináší navíc estetické krajinnotvorné a rekreační funkce (Buček a Lacina 1991; Thies a Tschardtke 1999). Pro vegetační doprovod v lokalitě Keblov jsou vhodné například krajové odrůdy ovocných dřevin jabloní (*Malus sp.*), třešní (*Prunus sp.*) a slivoní (*Prunus sp.*), ale i běžných dřevin jako bříza bělokora (*Betula pendula*), Jeřáb ptačí (*Sorbus aucuparia*), lípa srdčitá (*Tilia cordata*) nebo ořešák královský (*Juglans regia*). Prvek je taky vhodné doplnit o keřové patro, které podpoří funkci vegetačního doprovodu coby větrolamu a bude lépe plnit funkci biokoridoru, případně interakčního prvku. Do keřového patra je možné umístit hloh jednosemenný (*Crataegus laevigata*), trnku obecnou (*Prunus spinosa*), nebo bez černý (*Sambucus niger*). Pouze pokud je liniová zeleň navržena jako krajinnotvorná alej, keřové patro nedoplňujeme. Pro výsadbu k mokřadům a zamokřeným lokalitám je vhodná olše lepkavá (*Alnus glutinosa*), topol osika (*Populus trmula*), topol černý (*Populus niger*), různé druhy vrb (*Salix sp.*) případně jasan ztepilý (*Fraxinus excelsior*). (Maděra a Zimová 2005) Vegetační doprovod není vhodný pouze v případech, kdy se počítá s přejezdy průlehu zemědělskou technikou, je také potřeba dbát na zachování kapacity průlehu a údolnic.

6.3 Dimenzování opatření

V rámci návrhu byla dimenzována suchá nádrž, navržená ve východní části katastru na bezejmenném občasném toku protékajícím v dolní části lokality s místní názvem Pod Holým vrchem, v profilu stávající historické hráze. Dimenzování bylo provedeno v softwaru HEC HMS (Hydrological engineering center – Hydrological modelling systém). Pro transformaci odtoku byla použita metoda Clarkova jednotkového hydrogramu, pro simulaci ztrát infiltrací byl použita

metoda CN křivek. Podpovrchový odtok nebyl do výpočtu zahrnut. Pro analýzu potřebných charakteristik byl použit také software ArcMap.

6.3.1 Charakteristika povodí

Metoda CN křivek vyžaduje průměrnou hodnotu CN pro celé uvažované povodí a také podíl nepropustných ploch. Plocha celého povodí pro uzávěrový profil v místě hráze navržené nádrže byla vypočtena v prostředí ArcMap, za použití nástroje *Watershed*(obr).

Vzniklý polygon byl následně ručně opraven o plochu jejíž odtok do povodí přivádí navržený odváděcí průleh umístěný severně nad navrženou nádrží. Uvažované povodí tak bylo rozšířeno od východního konce průlehu nahoru proti svahu, kdy hranice byla vytvořena ručně vektorizací, tak aby vedla kolmo k vrstevnicím (ČÚZK, ZABAGED ZM10). Funkcí *Calculate geometry* byla následně stanovena plocha povodí pro simulaci softwarem HMS. Hodnota CN křivek byla stanovena pomocí hydrologických skupin půd a využití povrchu dle (Smelík 2018):

Současné využití povrchu	HSP			
	A	B	C	D
orná půda	72	81	88	91
chmelnice	72	81	88	91
vinice	59	74	82	86
ovocný sad	59	74	82	86
travní porost	49	69	79	84
jiná kultura	59	74	82	86
zalesněno	45	66	77	83
porost bez rozlišení	36	60	73	79
ostatní	59	74	82	86
intravilán	59	74	82	86
silnice, dálnice	74	84	90	92
železnice včetně náspu	59	74	82	86

Tabulka 4: Stanovení hodnoty CN (zdroj: VÚV TGM v.v.i., VTEI (Smelík 2018))

Přiřazené hodnoty byly zprůměrovány pro celé uvažované povodí za pomoci GIS nástroje Zonal statistics, čemuž předcházelo převedení hodnot CN na rastr nástrojem Polygon to raster.

Pro použití metody Clarkova jednotkového hydrogramu je zapotřebí dvou parametrů: času koncentrace (T_c) a retenčního koeficientu (R). Ty jsou vyjádřeny pomocí následujících vztahů (Rovnice 2-5):

$$T_c = 1,67 \cdot T_{LAG}$$

Rovnice 3: Výpočet času koncentrace T_c

Kde:

- T_{LAG} – doba zdržení (h)

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

Rovnice 4: Výpočet času zdržení T_{LAG}

Kde:

- L – maximální délka povrchového odtoku (ft)
- S – maximální potenciální retence (in)
- Y – průměrný sklon povodí (%)

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

Rovnice 5: Výpočet maximální potenciální retence

- CN – průměrná hodnota CN

$$R = A \cdot L^B \cdot S_{1085}^C$$

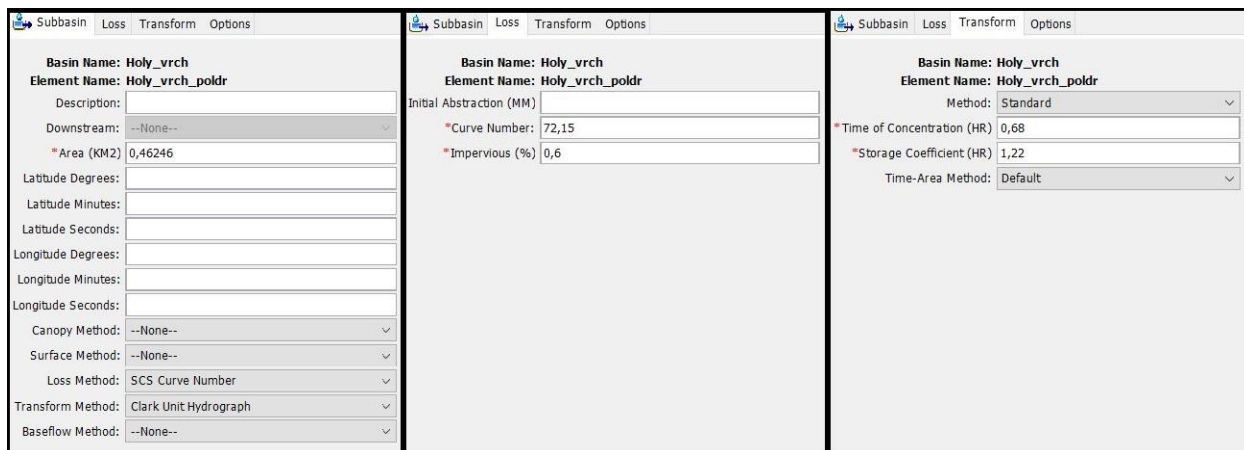
Rovnice 6: Vztah pro stanovení retenčního koeficientu R

Kde:

- L – maximální délka povrchového odtoku (mi)
- S_{1085} – sklon nejdelší odtokové linie v úseku 10–85 % jeho délky (ft/mi)
- A, B, C, - parametry stanovené pro podmínky ČR
 - A = 80
 - B = 0,342
 - C = 0,79

Maximální délka povrchového odtoku byla stanovena vprostřed GIS za použití dříve vytvořené vrstvy Flow direction (kap. 6.1.4). Ta je vstupem pro použití nástroje Flow length, s nastavením směru výpočtu na hodnotu „UPSTREAM“. Výstupem je rastrová vrstva, kde hodnoty buněk nesou hodnoty délky povrchového odtoku v daném místě. Vektorizací od uzávěrového profilu proti proudu podél buněk s nejvyšší hodnotou byla vytvořena linie maximální délky povrchového odtoku, jejíž délka byla stanovena pomocí funkce Calculate geometry. Tento postup nereflektuje

možnost, že nejdelší dráha přichází z místa rozšíření povodí kvůli odváděcímu průlehu a následně průlehem do bezejmenného občasného toku. Tato možnost byla prověřena ručním měřením, opět za použití vrstvy *Flow length*, ovšem výskyt delší odtokové linie nebyl prokázán. S_{1085} – sklon nejdelší odtokové linie v úseku 10–85 % jeho délky byl stanoven ručním odměřením daného úseku a dále za použití DMR5G, na základě rozdílu minimální a maximální výšky a délky úseku stanoven sklon v požadovaných jednotkách ($L_{1085} / (H_{max} - H_{min})$). Vypočtené parametry byly do prostředí HMS zadány způsobem znázorněným na Obrázku 30.



Obrázek 30: Zadání parametrů pro Clarkův jednotkový hydrogram a metodu CN křivek do HMS

6.3.2 Návrhová srážka

Pro stanovení návrhové srážky byly použity data úhrnů n -letých srážek ze srážkoměrné stanice Řendějov tabulka. Ta se nachází přibližně 10 km severně od středu obce Keblov v analogických klimatických a geografických podmínkách a je tedy vhodná pro reprezentaci srážkových poměrů pro KÚ Keblov.

Stanice	p2 (mm)	p5 (mm)	p10 (mm)	p20 (mm)	p30 (mm)	p50 (mm)	p80 (mm)	p90 (mm)	p100 (mm)	p200 (mm)
Řendějov	38.6	54	63.9	74.2	80	86.9	93.5	95.3	96.8	106

Tabulka 4: Úhrny n -letých srážkových úhrnů, stanice Řendějov

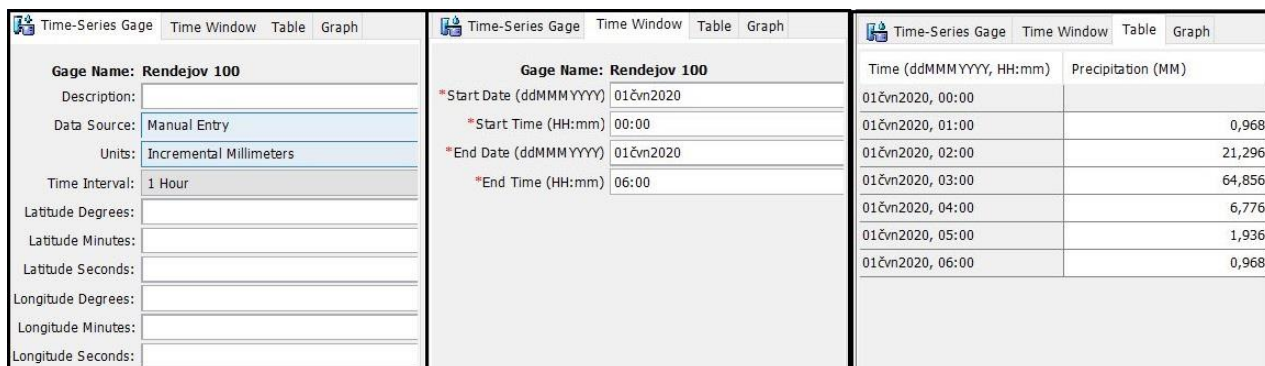
Hydrologická simulace byla provedena pro srážkové úhrny p5, p20 a p100. V práci je použita metodika rozdělní České republiky do čtyř oblastí na základě výšky denních stoletých srážkových úhrnů, odvozené z měřených dat srážkoměrných stanic, popsaná v (Kulasová, Šercl, a Boháč 2004;

Kavka et al. 2018). Studované území leží v oblasti C, pro kterou je jako návrhová stanovena 6hodinová srážka s následujícím procentuálním rozdělením celkového úhrnu. (tabulka)

ČAS [h]	Hs [%]
1	1 %
2	22 %
3	67 %
4	7 %
5	2 %
6	1 %

Tabulka 5

Tímto rozložením byly přenásobeny požadované úhrny p5, p20 a p100, s výsledkem návrhových srážek o hodinovém kroku jako meteorologického vstupu pro simulaci v HEC HMS. Samotný postup vložení srážkových dat v prostředí HMS byl následující. Ze záložky components byly přidány tři prvky z kategorie Time-Series Data – Precipitation Gages a tři prvky z kategorie Meteorologic Models, pro každou modelovanou srážkovou událost jeden. V nastavení Time-Series Data byl specifikován hodinový časový krok a vložena časová řada odpovídající návrhové srážky vypočtená v předchozím kroku. Časové určení data a hodiny není pro výpočet určující, je tedy ponechán defaultní.



Obrázek 31: Nastavení Time-Series Data v HEC HMS

Vytvořené meteorologické modely (Meteorological models) byly propojeny s příslušným časovou řadou srážek v záložce Specified Hyetograph a v záložce Basins nastavena volba Include subbasins.

Posledním krokem před spuštěním simulace je přidání komponentu Control specifications s nastavením časového rozmezí pro výpočet o šest hodin delšího, než je délka návrhové srážky

z důvodu zdržení povrchového odtoku, tak aby byl postihnut v celé svojí délce trvání. Časový krok pro Control specifications je pro malá povodí doporučen nastavit na 15 minut.

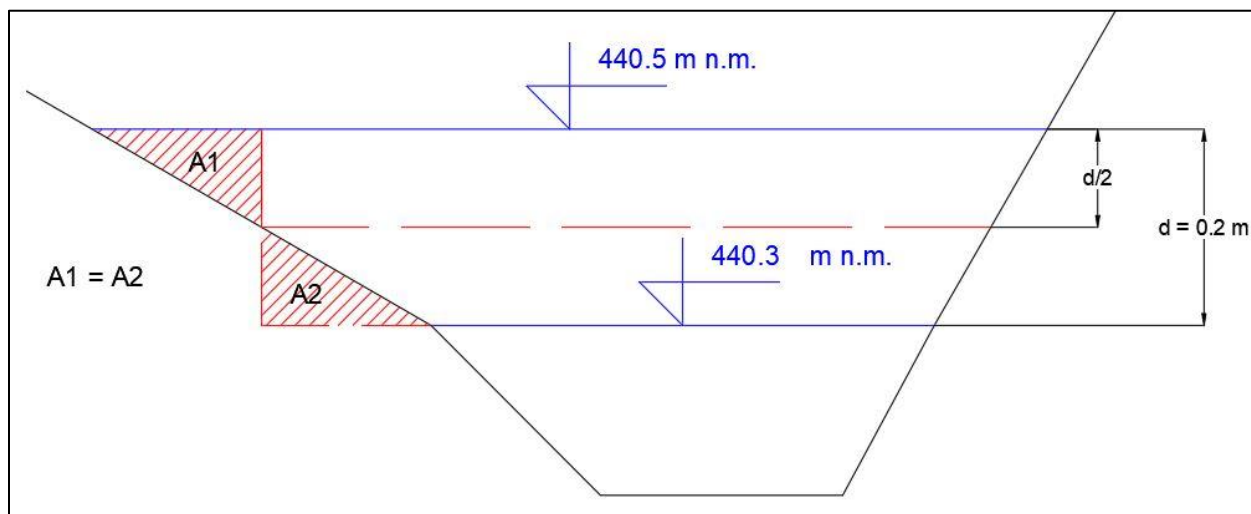
Pro každou srážkovou událost byl nastaven samostatný výpočet na základě příslušných komponentů. Po proběhnutí výpočtu simulace jsou záložce results k zobrazení výsledky. Pro navazující dimenzování suché nádrže jsou klíčové údaje ze simulace pro p100, zejména celkový objem odtoku (m³).

Určení dimenzí nádrže

Nádrž byla dimenzována na objem generovaný návrhovou srážkou s dlouhodobě průměrnou periodou opakování 100 let. Tento údaj je výsledkem simulace provedené v předchozím kroku 4.3.2.

Dále byla zpracována charakteristika nádrže. Tedy výpis zatopených ploch a objemů k různým výškám hladiny v daném profilu. Zde byl zvolen následný postup. Nástrojem Contour v softwaru ArcMap byly vygenerovány vrstevnice na základě DMR 5G. Výškový rozdíl mezi vrstevnicemi byl zvolen $d = 0,2$ m Dále byla ručně vytvořena linie hypotetické hráze dle podkladu DMR 5G TIN, který poskytuje dobrou vizualizaci terénu. Byla založena nová polygonová vrstva představující zatopené plochy při různých výškách hladiny. Ty byly vytvořeny ruční vektorizací podle jednotlivých vrstevnic v místě profilu oříznutých dle linie hráze. Vzniklé polygony nesou hodnoty o nadmořské výšce dané hladiny podle jednotlivých vrstevnic a také plochu zátopy při dané hladině stanovenou funkcí Calculate geometry. Tím byla stanovena charakteristika zatopených ploch. Charakteristika zatopených objemů byla určena pomocí metody středních

zatopených ploch, kdy je předpokládána lineární změna objemu mezi po sobě jdoucími výškami hladin v kroku „d“. Grafické znázornění postupu je zřejmé na Obrázku 32..



Obrázek 32: Znázornění zjednodušení metodou středních ploch při výpočtu zatopených objemů v nádrži

Aritmetickým průměrem je vypočtena tzv. střední plocha, která představuje zatopenou plochu o výšce $d/2$ mezi hladinami zatopených ploch určených v předchozím kroku. Výměra střední plochy je vynásobena rozdílem mezi hladinami „d“. Výsledkem je změna objemu, který je zatopen mezi uvažovanými úrovněmi. Kumulativním sečtením takto vypočtených parciálních objemů byla získána charakteristika zatopených objemů navržené suché nádrže. Obě charakteristiky jsou uvedeny v Tabulce 6.

Výška hladiny	plocha (m ²)	objem (m ³)
439.6	0	0.00
439.7	252	19.45
439.9	708	114.10
440.1	1204	303.12
440.3	1736	594.72
440.5	2384	1004.90
440.7	3012	1545.93
440.9	3812	2223.48
441.1	5076	3103.42
441.3	6768	4290.92
441.5	8328	5799.53
441.7	9896	7613.42
441.9	11476	9747.02
442.1	12908	12181.84

442.3	14400	14913.05
442.5	15136	16425.28
442.7	15872	17937.51
442.9	17492	21279.61
443.1	19080	24935.36

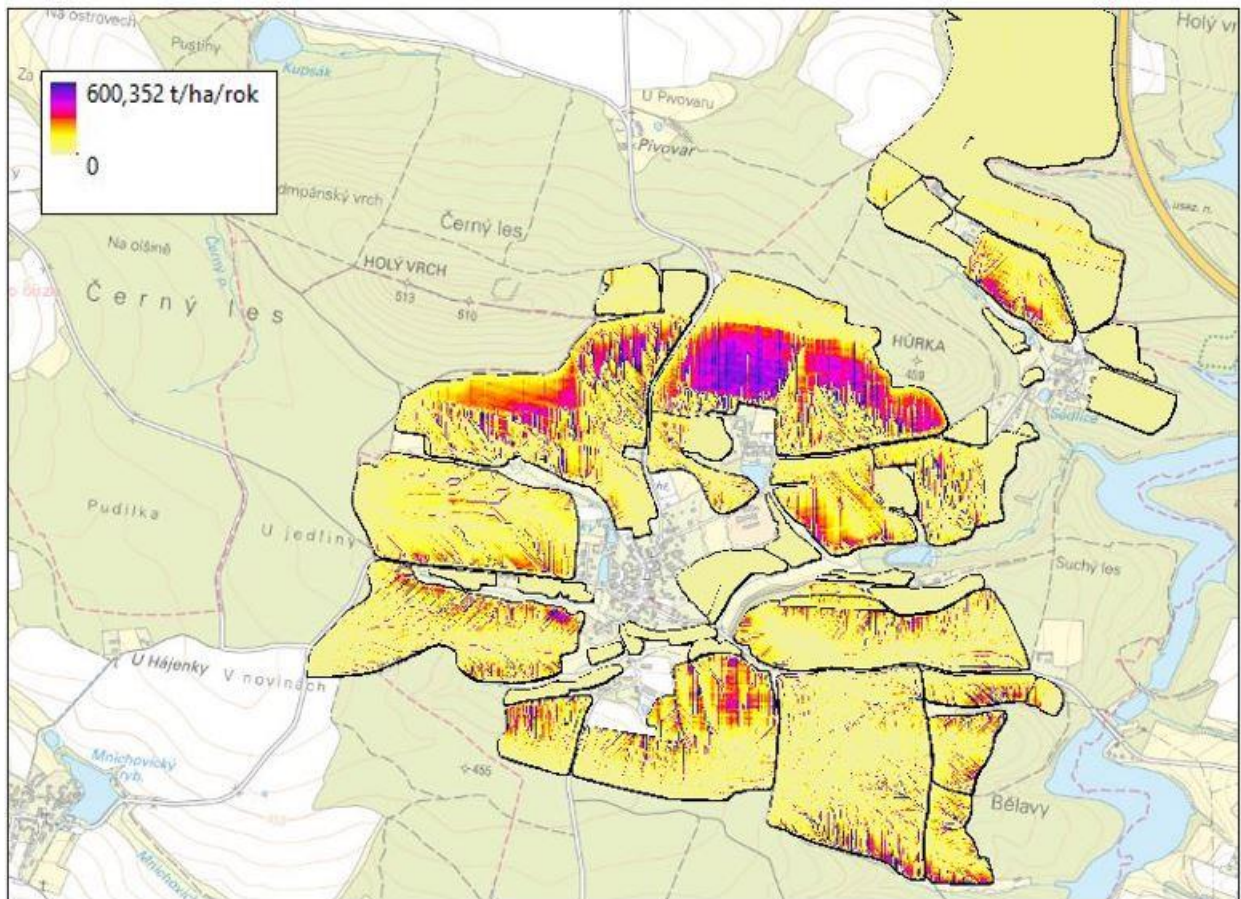
Tabulka 6: Charakteristika navrhované suché nádrže

Na základě objemu odtoku při výšce srážky p100 byla určena výška hráze. Tedy výška hladiny dle vypočtené charakteristiky vodního díla, při které je zatopený objem větší než objem odtoku z návrhové srážky. Tato hladina je tzv. hladina maximální (h_{max}). Výška hráze pak byla zvolena o 0,5 vyšší než tato hladina h_{max} .

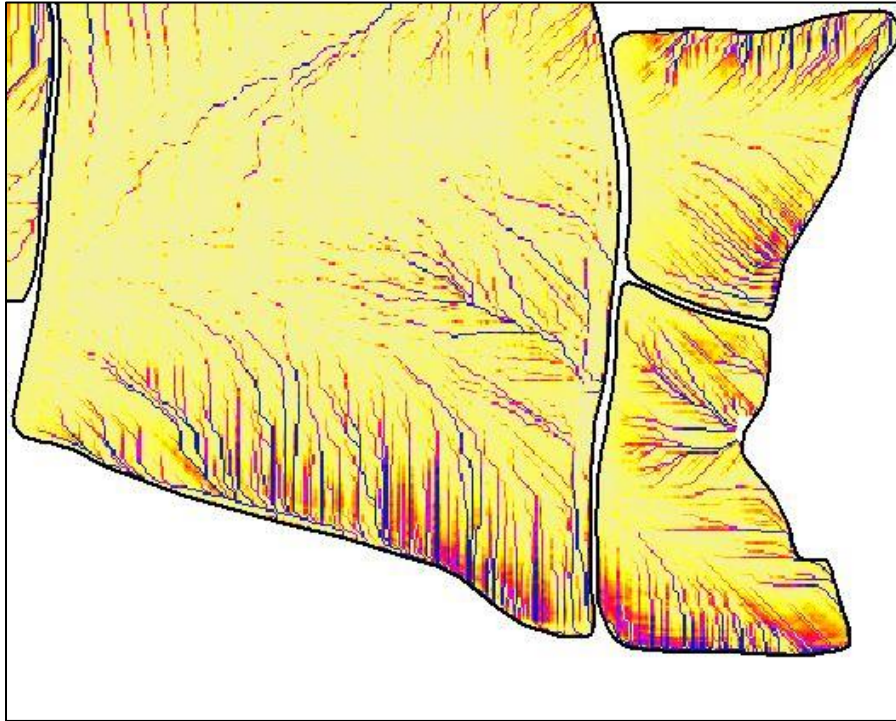
7 Výsledky

7.1 Míra stávající vodní eroze

Metodou výpočtu vodní eroze USLE bylo stanoveno erozní ohrožení na zemědělských pozemcích v obci Keblov. Výstupem je jednak rastrová vrstva zobrazující míru eroze v jednotlivých buňkách rastru (Obrázek 33), která slouží identifikaci erozně ohrožených lokalit v rámci půdního bloku, drah soustředěného odtoku, či místa s výraznou plošnou erozí.

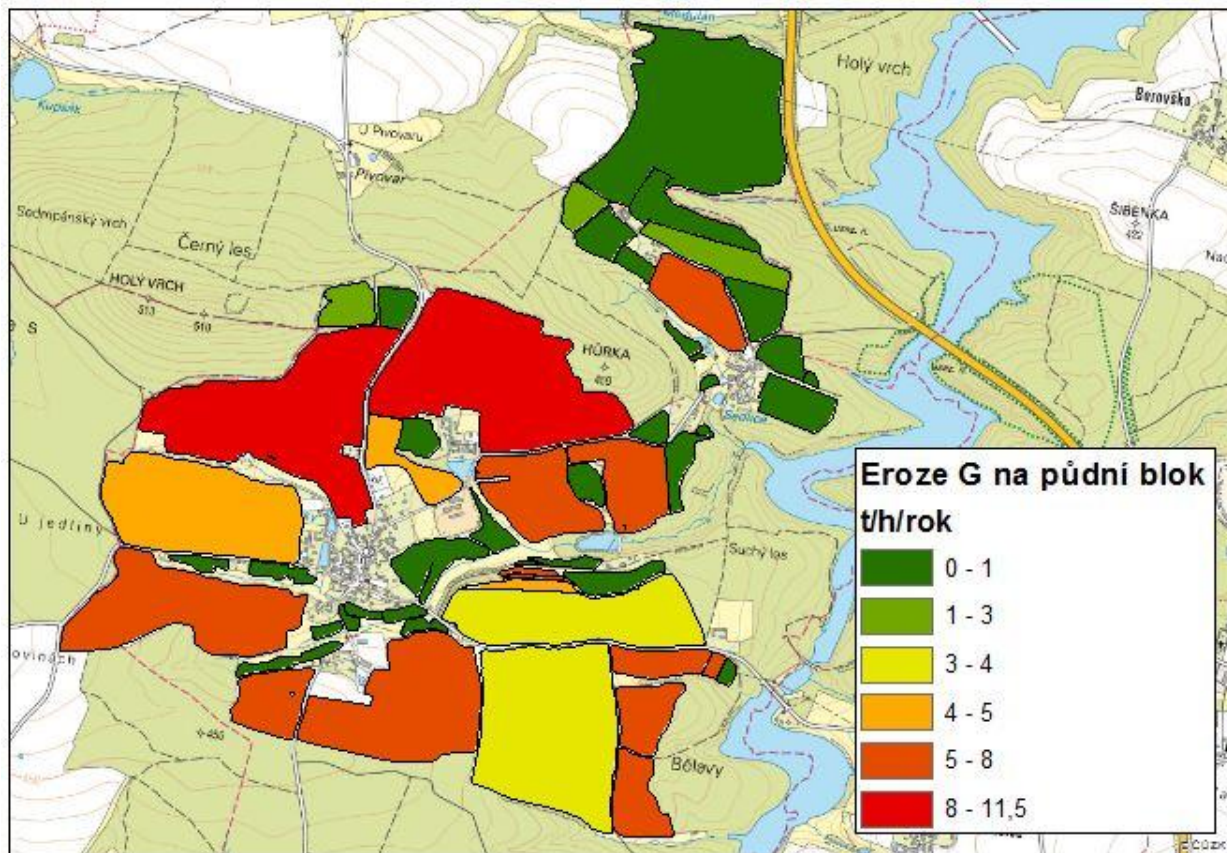


Obrázek 33: Ztráta půdy G vypočtená metodou USLE (podkladová mapa: ČÚZK ZABAGED ZM10 – online 2021)



Obrázek 34: Příklad detailu vypočtené ztráty půdy s viditelnou identifikací odtokových linií i gradující plošné eroze

Druhým výstupem je rastrová vrstva průměrné míry eroze vztažená k jednotlivým půdním blokům (Obrázek 35), podle které byly vytipovány pozemky s mírou eroze nad přijatelnou mezí 4 t/ha/rok, tedy pozemky, na které byly v návrhu umístěny prvky protierozní ochrany. Na erozně nejohroženějším půdním bloku dosahuje roční ztráta půdy vodní erozí 11.5 t/h. Ztráta půdy na druhém erozně nejohroženějším půdním bloku je 8.75 t/ha/rok. Dále se v KÚ Keblov vyskytuje 9 půdních bloků se ztrátou půdy v rozmezí 5-8 t/ha/rok.



Obrázek 35: Průměrná míra eroze G na půdních blocích KÚ Keblov (podkladová mapa: ČÚZK ZABAGED ZM10 – online 2021)

7.2 Návrh opatření

Navržená opatření byla pro lepší přehlednost rozdělena dle svojí polohy do šesti lokalit. Rozdělení je patrné na mapě (příloha 1). Opatření byla očíslována a označena kódem PEO (protierozní opatření).

Lokalita 1

Umístění a rozsah opatření jsou patrné v mapě (příloha 2), vztah k eroznímu smyvu v příloze 3. Na této lokalitě se nachází erozně nejohroženější půdní blok s erozním ohrožením 11,5 t/ha/rok. Jedná se o velmi svažité pozemek o průměrném sklonu 12 %. Byly zde navrženy tři protierozní meze v rozestupu 110 m vedené ve směru vrstevnic. Jejich umístění ve vztahu k eroznímu smyvu je patrné na mapě (příloha 3). Délka meze PEO1 je 400 m, délka meze PEO2 je 635 m, délka meze PEO3 je 285 m. Meze budou doplněny o sedimentační pás 5 m a vegetační doprovod dle postupu popsaném v kapitole 6.2.6. Meze mají vedlejší funkci interakčního prvku ÚSES a krajinytvornou.

Dalším řešeným půdní blokem byl blok ležící nad hřištěm v obci Keblovcv. Jde o blok s erozním ohrožením $G = 4,54$ t/ha/rok). V rámci půdního bloku byla lokalizována dráha soustředěného odtoku patrná na mapě (příloha 3) v počínající údolnici, jež je navržena ke stabilizaci zatravněním. Zatravnění je navrženo o šíři 22 m a délce 60 m. Údolnice dále pokračuje lesním porostem, kde se stává strmější s přechodem ke strži. Zde je navrženo vybudování přehrážky pro retardaci odtoku a zejména k zadržení sedimentů před vstupem do hydrologické sítě (rybník U Dvora).

Systém opatření PEO6-11 řeší erozi na půdních blocích severně nad rybníkem Keblov. Jde o dva půdní bloky se ztrátou půdy $G = 7-7,5$ t/h/rok. Odváděcí průleh PEO6 má délku 250 m a leží na parcelách. Odváděcí průleh PEO7 má délku 200 m a leží na parcelách. Oba průlehy jsou navrženy o šíři 10 m s vegetačním doprovodem ve formě solitérních stromů, případně aleje, tak aby nebyla omezena jejich kapacita přílišným zarůstáním. Průlehy jsou vedeny v přiměřeném sklonu, opevněny zatravněním a ústí do svodných příkopů PEO8, které se spojují v sedimentační jímce PEO9. Za tou následuje mokřad přecházející v tůň PEO10 a 11. Tento sled opatření zajišťuje dostatečnou retenci erozních splavenin a navazující částečné biologické čištění. Svodné příkopy leží na parcelách. Sedimentační jímka se týká parcel a opatření POE10 a 11 parcel.

Lokalita 2

Umístění a rozsah opatření jsou patrné v mapě (příloha 4), vztah k eroznímu smyvu v příloze 5. Nachází se zde pouze jeden erozně ohrožený půdní blok ($G = 7,44$ t/ha/rok). Je něm patrná gradace vodní eroze zejména v jeho prudké části u paty svahu (příloha 4) se sklonem místy nad 18 %. Zde je navrženo ochranné zatravnění PEO12 o průměrné šíři 44 m. Zatravnění má také funkci ochrany hydrologické sítě. Bezejmenný potok a dvojice nádrží se nachází v blízkosti hranice pozemku.

Lokalita 3

Umístění a rozsah opatření jsou patrné v mapě (příloha 6), vztah k eroznímu smyvu v příloze 7. Zde jde o úzký protáhlý pozemek vedou přibližně po vrstevnici. I přes to že je zde aplikováno obdělávání po vrstevnici erozní smyv zde překračuje přípustnou hranici ($G = 4.9$ t/ha/rok). Zde je navrženo použití půdoochranných technologií PEO 13, které povedou ke snížení faktoru K, erodibility půdy pod požadovanou mez. Opatření je aplikováno na celém pozemku a týká se parcel.

Lokalita 4

Umístění a rozsah opatření jsou patrné v mapě (příloha 8), vztah k eroznímu smyvu v příloze 9. V čele svahů spadajících k VN Němčice se nacházejí tři erozně ohrožené pozemky. Nejsevernější z nich je ohrožen erozí ($G = 7,3$ t/ha/rok). Je zde navržen odváděcí průleh o délce 100 m a šíři 10 m PEO14. mezi severním koncem průlehu o hranici půdního bloku je průjezd o šíři 22 m. Průleh je veden v odpovídajícím sklonu, zatravněn s možným doplněním řídké dřevinné vegetace tak aby nebyla omezena jeho kapacita. Dále je sveden do strže, lemující pozemek z jihu, kde je navrženo hrazení dvěma přehrážkami. Průleh je sveden do výše položené PEO15. Niž položená přehrážka PEO16 má za úkol posílit funkci výše položené a zároveň pojmout splaveniny a povrchový odtok z části pozemku pod navrženým průlehem. Zde je očekáváno zachování určité míry nepřípustné eroze. Přidání dalšího protierozního prvku v těchto místech na ornou půdu by však významným způsobem zkomplikovalo hospodaření na pozemku. Proto je navržena pouze přehrážka, která zadrží erozní splaveniny a zamezí jejich chodu do nádrže Němčice. Do stejné rokle a soustavy přehrážek je sveden odváděcí průleh i z dalšího půdního bloku, který se nachází jižně od zmíněné rokle ($G = 6,14$ t/ha/rok). Průleh PEO17 je navržen v délce 115 m, šířce 10 m s ponecháním průjezdu v šíři 22 m. Průleh je veden v odpovídajícím sklonu, zatravněn s možným doplněním řídké dřevinné vegetace, případně aleje tak aby nebyla omezena jeho kapacita. Dále je zaústěn do strže nad hrazením PEO15. Na tomto půdním bloku je navržen ještě jeden odváděcí průleh PEO18. Navržená délka průlehu je 125 m, šířka 10 m. Průleh je veden v odpovídajícím sklonu, zatravněn s citlivým vegetačním doprovodem tak aby nebyla omezena jeho kapacita. Déle vede k jihu, kde ústí do svodného příkopu PEO19, vedeného zprvu podél polní cesty při jižní hranici řešeného půdního bloku, dále je sveden do sedimentační jímky, která je umístěna u cesty pro lepší přístup při těžbě sedimentů. Zde navržená trasa příkopu opouští polní cestu a vede přes lesní pozemky až do strmého údolí, které je navrženo hradit přehrážkou PEO20, pro zadržení sedimentů a retardaci povrchového odtoku. Třetí ze zmíněných půdních bloků, nejj jižnější je ohrožen erozí v míře $G = 7,7$ t/ha/rok. Na tomto pozemku je navržena protierozní mez PEO21 vedoucí od již zmíněné polní cesty, která tvoří severní hranici tohoto půdního bloku. Mez byla navržena ve směru vrstevnic. Návrh obsahuje infiltrační pás o šíři 5 m a bohatý vegetační doprovod dle kapitoly 6.2.6. Navržená mez má vedlejší funkci interakčního prvku ÚSES a krajinytvornou.

Na tomto půdní bloku při jeho jižní hranici je navržen také ochranný pás zatravnění PEO22, z důvodu ochrany prudké části svahu a také ochrany bezejmenného potoku, který se v současnosti nachází v blízkosti orné půdy a je vystaven erozním splachům. Šíře navrženého zatravnění je 44 m. Identický pás PEO23 také navazuje na tento, západněji za přerušením polní cestou. Jde o půdní blok s místním názvem „V rovinách“. Eroze na tomto půdním bloku nepřesahuje přípustnou mez ($G = 3,8 \text{ t/ha/rok}$). Přesto existují důvody umístění ochranného zatravnění v dolní části svahu u jižní hranice tohoto půdního bloku. V mapě (příloha 13) je patrná gradace erozního smyvu v této části půdního bloku, navíc je v těsné blízkosti rokle přecházející v bezejmenný potok. Vzhledem k zvláštnímu důrazu na ochranu vodotečí v této práci má tento pás svoje opodstatnění. Jeho funkce je totožná s funkcí PEO22.

Lokalita 5

Umístění a rozsah opatření jsou patrné v mapě (příloha 10), vztah k eroznímu smyvu v příloze 11.

Zde je řešen za prvé půdní blok v lokalitě s místním názvem „Nad lihovarem“. V západní části půdního bloku je navržen záchytný příkop PEO24 o délce 210 m. Funkcí tohoto příkopu je ochrana budov ležících v tomto místě v blízkosti hranice orné půdy. Příkop vede v přiměřeném sklonu směrem k východu až do místa, kde se v terénu formuje počínající údolnice. Do stejného místa je navrženo zaústění odváděcího průlehu přicházejícího z opačné strany, tedy od východu PEO25 o délce 130 m a šíři 10 m. Průleh je zatravněn a doplněn vegetačním doprovodem dle kapitoly 6.2.6. Zmíněná údolnice je navržena se stabilizací zatravněním. Středem údolnice je navržen svodný průleh, který slouží k soustředění odváděných vod, jelikož údolnice sama o sobě není v těchto místech příliš výrazná PEO26. Údolnice s průlehem je navržena v délce 155 m. Dále je navržen přechod ve svodný příkop PEO28, který vede podél hranice půdního bloku dále k severu. V místě přechodu zatravněné údolnice a průlehu ve svodný příkop je od východu navrženo zaústění odváděcího průlehu PEO27 o délce 250 m a šířce 10 m. Je navržen paralelně pod průlehem PEO25 s odstupem 154 m. Průleh je veden v přiměřeném sklonu, zatravněn a doplněn vegetačním doprovodem dle kapitoly 2.6.2. Navržená trasa svodného příkopu vede do sedimentační jímky PEO29, za kterou navazuje mokřad PEO30 o rozloze 0,15 ha. Funkcí mokřadu je biologické čištění odváděných vod a také částečná revitalizace vodního prostředí bezejmenného potoka, ke kterému mokřad přiléhá. Mokřad je navržen s vegetačním doprovodem dle kapitoly 6.2.6.

Návrhem zatravněné údolnice s průlehem je odříznuta část půdního bloku o rozloze 1,2 ha. Tato část je navržena k zatravnění, z důvodu zhoršené obhospodařovatelnosti, svažitost (okolo 11 %) a ochrany hospodářských objektů (skladů) ležících pod touto plochou PEO31.

Druhý erozně ohrožený půdní blok na lokalitě 5 se nachází na jihozápad od obce Keblov, místní název „U Švestek“. Míra vodní eroze na tomto půdním bloku je $G = 6.8$ t/ha/rok. Navržena je zde protierozní mez ve směru vrstevnic mezi lesním pozemkem na západě a ostrůvkem zeleně na východě pozemku, tak aby bylo hospodaření na půdním bloku zkomplikováno co nejméně. U východního okraje bloku je ponechán průjezd 44 m. Protierozní mez je navržena s infiltračním pásem 6 m a doprovodem dřevinné vegetace dle kapitoly 6.2.6. Navržená mez má vedlejší funkci interakčního prvku ÚSES a krajinytvornou.

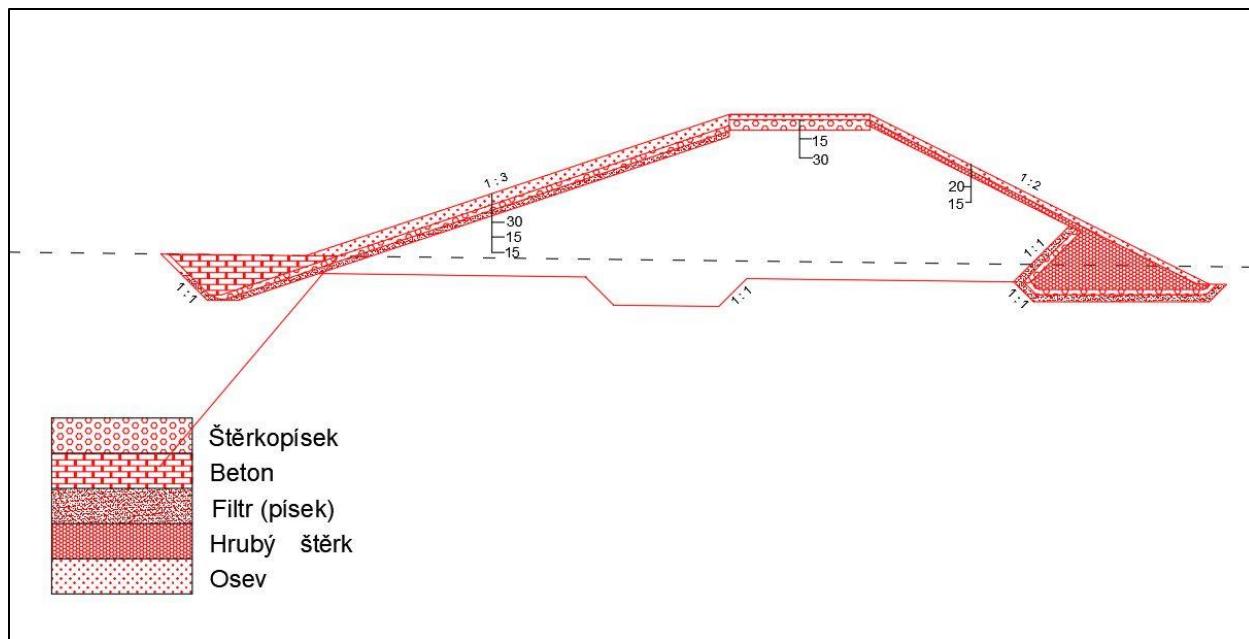
Posledním blokem na lokalitě 5, s erozním ohrožením ($G = 5,3$ t/ha/rok) je půdní blok v lokalitě s místním názvem „Za Pikalem“. V severovýchodní části v dolních pasážích svahu je identifikován vývoj plošné eroze, pravděpodobně z důvodu vysokého sklonu ($> 15\%$). Z tohoto důvodu je zde navrženo ochranné zatravnění PEO33. Dalším důvodem je ochrana vodoteče, která se v tomto místě nachází bez dostatečné odstupu od orné půdy. Při jihovýchodním okraje je navrženo druhé zatravnění na půdní bloku PEO34, opět z důvodu ochrany vodoteče. Na potoce protékajícím severně od tohoto půdního bloku byly navrženy dvě tůně PEO35 a 36, za účelem částečného zadržení případných erozních sedimentů, s přesahem jednoduché revitalizace vodního prostředí.

Lokalita 6

Umístění a rozsah opatření jsou patrné v mapě (příloha 12), vztah k eroznímu smyvu v příloze 13.

Erozní blok řešený na lokalitě 6 je druhý nejvíce ohrožený vodní erozí v KÚ Keblov ($G = 8.75$ t/ha/rok). Jde o půdní blok v místě s lokálním názvem „Pod Holým vrchem“. Jsou zde navrženy dvě protierozní meze PEO37 a 38 ve východní části. PEO37 je navržena v délce 330 m PEO38 v délce 350 m. Obě navržené ve vrstevnicovém směru, s infiltračním pásem šíře 5 m, s výsadbou bohaté dřevinné vegetace dle kapitoly 6.2.6. Rozestup mezi nimi činí 198 m. Erozi v západní části bloku řeší odváděcí průleh délky 585 m, šířky 10 m. Průleh je navržený se zatravněním a vegetačním doprovodem dle kapitoly 6.2.6. Průleh je vedený v přiměřeném sklonu k východní

hranici půdního bloku, kde je navrženo zaústění do svodného příkopu PEO39. Tento příkop je v návrhu veden jižním směrem podél hranice půdního bloku. Po 90 m ústí do sedimentační jámky. Z té je navržen přeпад do bezejmenného občasného toku vedoucího podél jižní hranice půdního bloku „Pod Holým vrchem“. Za sedimentační jámkou je, již v trase zmíněné vodoteče, navržena soustava tůní PEO42-45. Jejich účelem akumulace vody v korytě občasného toku, podpora biodiverzity a krajinného rázu. Následuje suchá nádrž PEO47 navržena v místě stávající historické hráze. Ta je navržena k rekonstrukci tak aby nádrž pojmulu průtok Q_{100} . Tato nádrž byla předmětem detailnějšího dimenzování kapitola 6.3 a 7.3. Nová hráz je navržena hutněná zemní v délce 144 m. Výška v nejvyšším bodě je 3,4 m. Vzorový řez navrženu hrází je znázorněn na Obrázku 36. Hráz o této délce okrajově zasahuje do přilehlých půdních bloků. Dle simulace při průtoku Q_{20} a vyšším hrozí zaplavení přilehlé orné půdy. Takto ohrožená půda byla navržena na ochranné zatravnění. Celkově se jedná o 0,31 ha takto zatravněné orné půdy. Součástí hráze bude bezpečnostní přeliv o kapacitě Q_{1000} a spodní výpust o kapacitě $> Q_1$. Suchá nádrž PEO47 je navržena s primární protipovodňovou funkcí, bude také přispívat k zadržení případných erozních splavenin. V retenčním prostoru nádrže je navržen mokřad s tůněmi PEO48, u kterého je očekáván přínos do celého systému opatření na lokalitě 6 v podobě biologického čištění vod.



Obrázek 36: Vzorový řez hrází suché nádrže

7.3 Simulace povrchového odtoku a dimenzování opatření

V softwaru HEC HMS byla provedena simulace odtoku na základě návrhových srážek p5, p20 a p100. Jejich časový průběh byl stanoven dle metodiky (Kulasová, Šercl, a Boháč 2004; Kavka et al. 2018). Vypočtené úhrny a jejich časové rozložení zobrazuje Tabulka 7.

ČAS [h]	p5 Hs [mm]	p20 Hs [mm]	p100 Hs [mm]
1	0.540	0.742	0.968
2	11.880	16.324	21.296
3	36.180	49.714	64.856
4	3.780	5.194	6.776
5	1.080	1.484	1.936
6	0.540	0.742	0.968
Součet	54.0	74.2	96.8

Tabulka 7: Stanovené návrhové srážky p5, p20 a p100

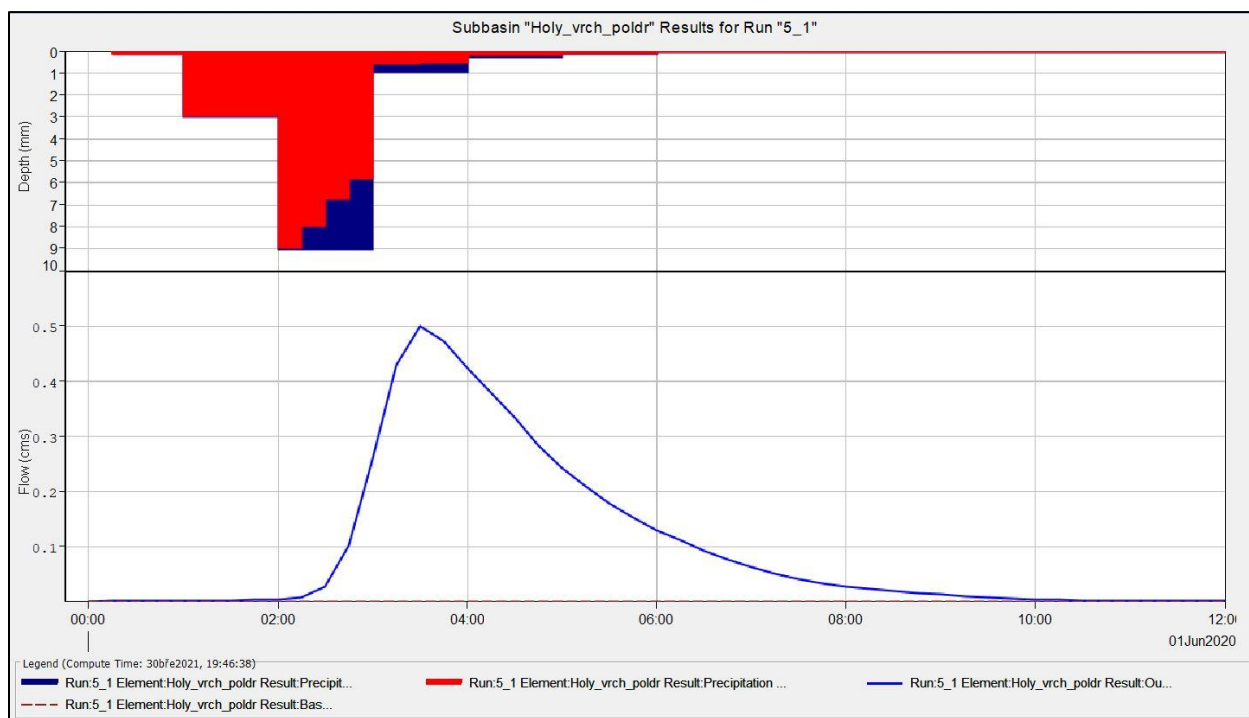
Dále byly vypočteny charakteristiky povodí, jež představovaly parametry pro výpočet transformace odtoku metodou Clarkova jednotkového hydrogramu a výpočet ztrát infiltrací a počátečních ztrát metodou CN křivek. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 8 včetně přepočtu na metrické jednotky.

plocha	(km ²)	0.46
počáteční ztráta	(mm)	19.61
CN křivka		72.15
podíl nepropustných ploch	(%)	0.60
potenciální retence	(mm)	98.04
potenciální retence	(in)	3.86
doba koncentrace	(h)	0.68
Retenční koeficient	(h)	1.22
doba prodlení	(h)	0.41
max. délka povrch. Odtoku	(m)	1262.00

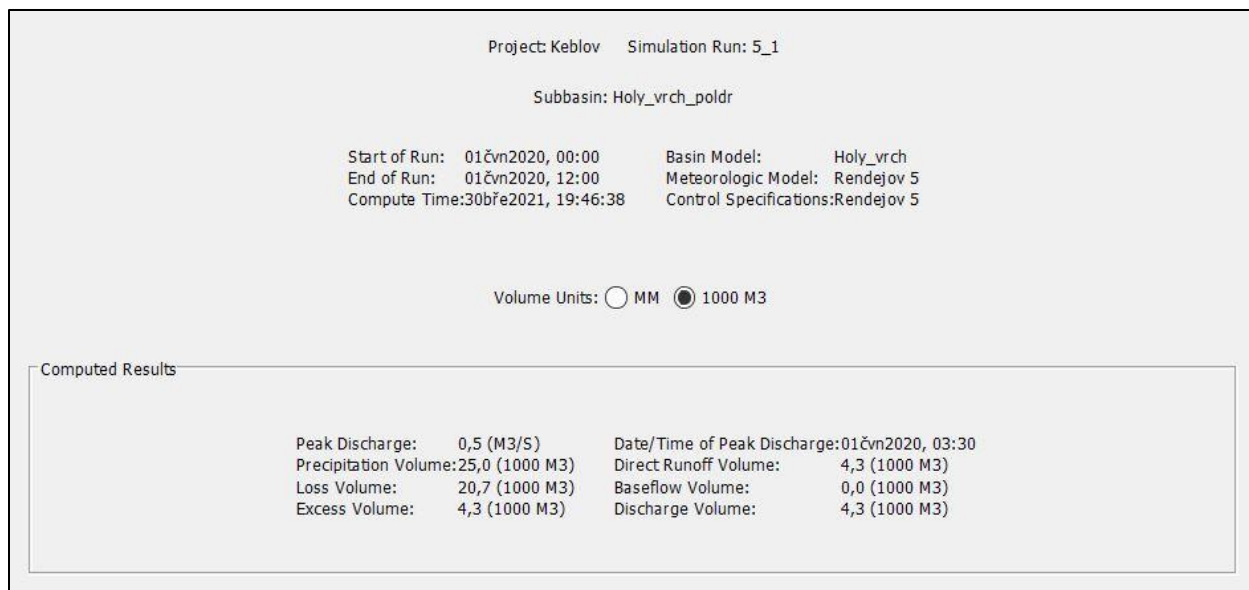
max. délka povrch. Odtoku	(feet)	4140.42
max. délka povrch. Odtoku	(mile)	0.78
průměrný sklon povodí	(%)	9.33
parametr		80.00
parametr		0.34
parametr		-0.79
sklon mezi 10 % a 85 % délky	(-)	0.03
sklon mezi 10 % a 85 % délky	(ft/mi)	179.52

Tabulka 8: Charakteristiky povodí stanovené na základě výpočtů viz kapitola 6.3

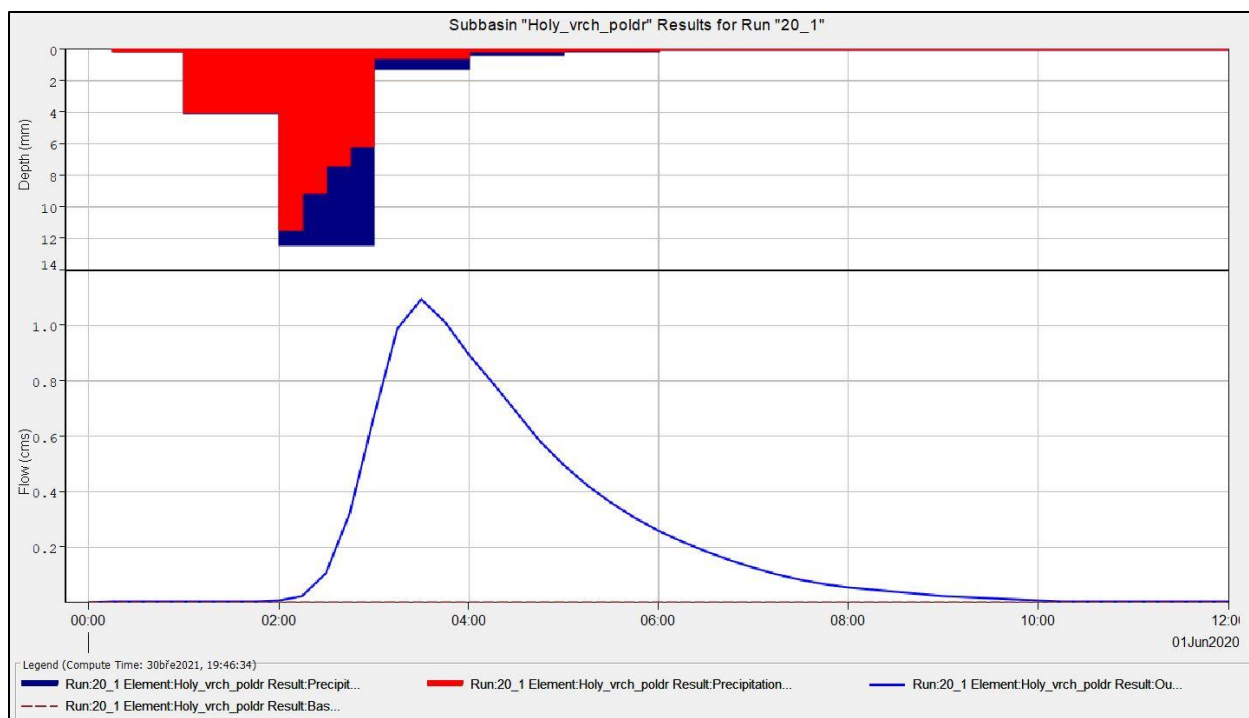
Výsledkem simulace povrchového odtoku coby reakce povodí na návrhové srážky je časový průběh a objem odtoku v uzavěrovém profilu hráze nádrže. Na následujících obrázcích (Obrázky 37-42) jsou uvedeny výsledné hydrogramy povrchového odtoku pro všechny tři scénáře jakož i souhrnná tabulka nejdůležitějších výsledků simulace.



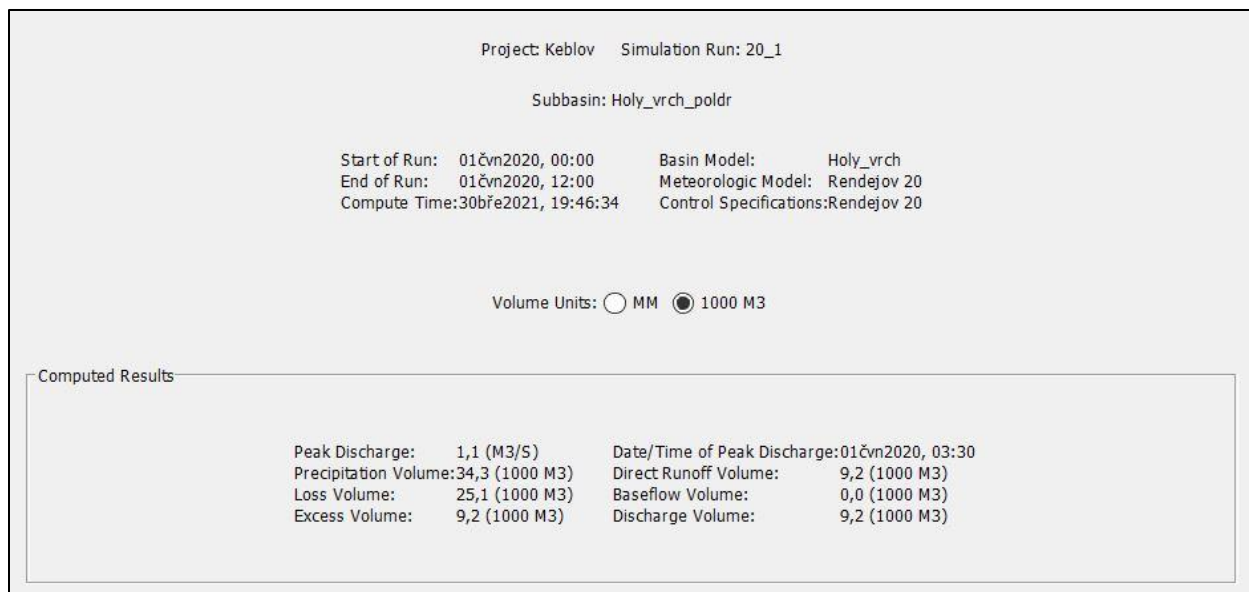
Obrázek 37. Hyetogram návrhové srážky a hydrogram způsobeného povrchového odtoku pro scénář p5



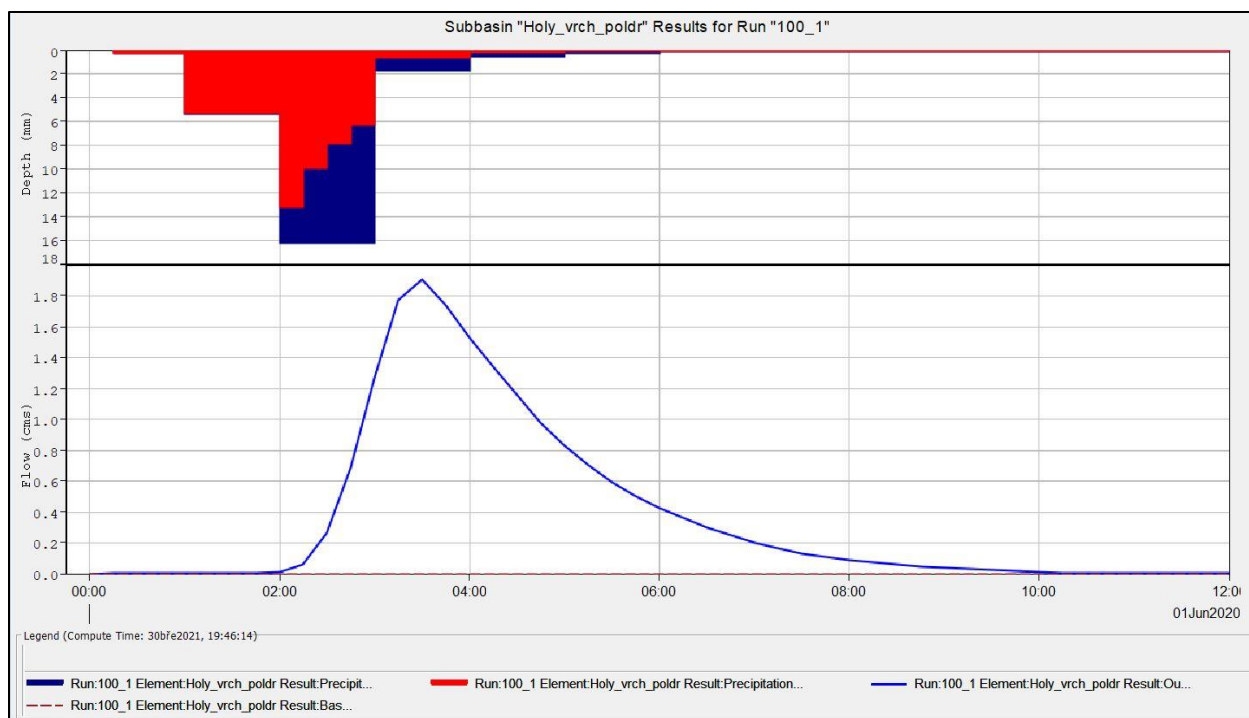
Obrázek 38: Souhrn nejdůležitějších výstupů simulace povrchového odtoku při pětileté návrhové srážce p5



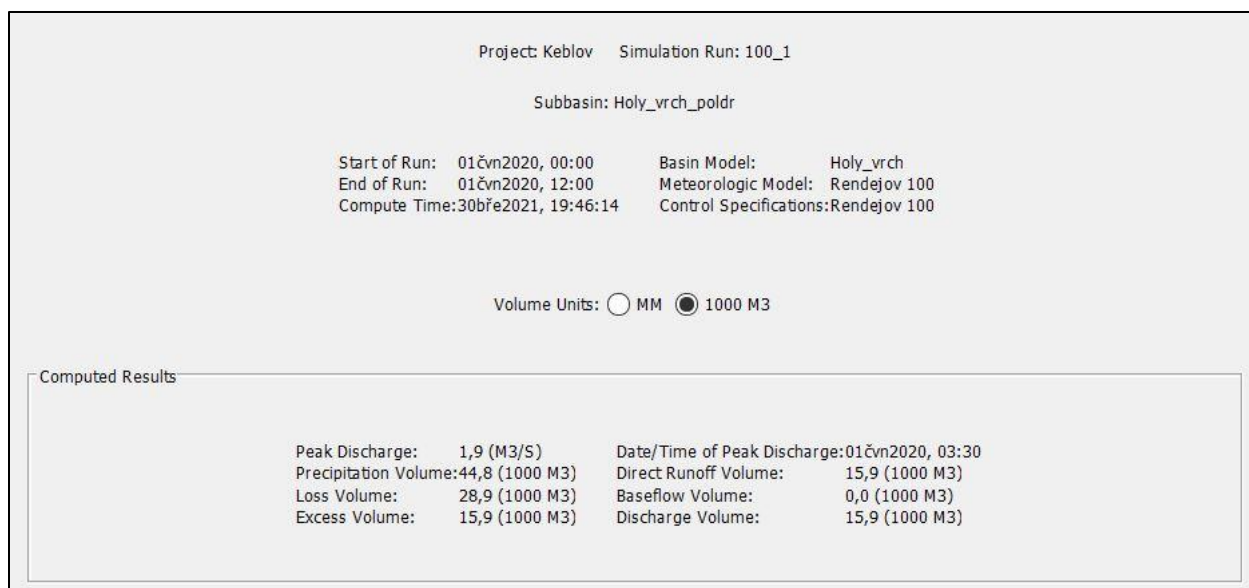
Obrázek 39: Hyetogram návrhové srážky a hydrogram způsobeného povrchového odtoku pro scénář p20



Obrázek 40: Souhrn nejdůležitějších výstupů simulace povrchového odtoku při dvacetileté návrhové srážce p20



Obrázek 41: Hyetogram návrhové srážky a hydrogram způsobeného povrchového odtoku pro scénář p100



Obrázek 42: Souhrn nejdůležitějších výstupů simulace povrchového odtoku při stoleté návrhové srážce p100

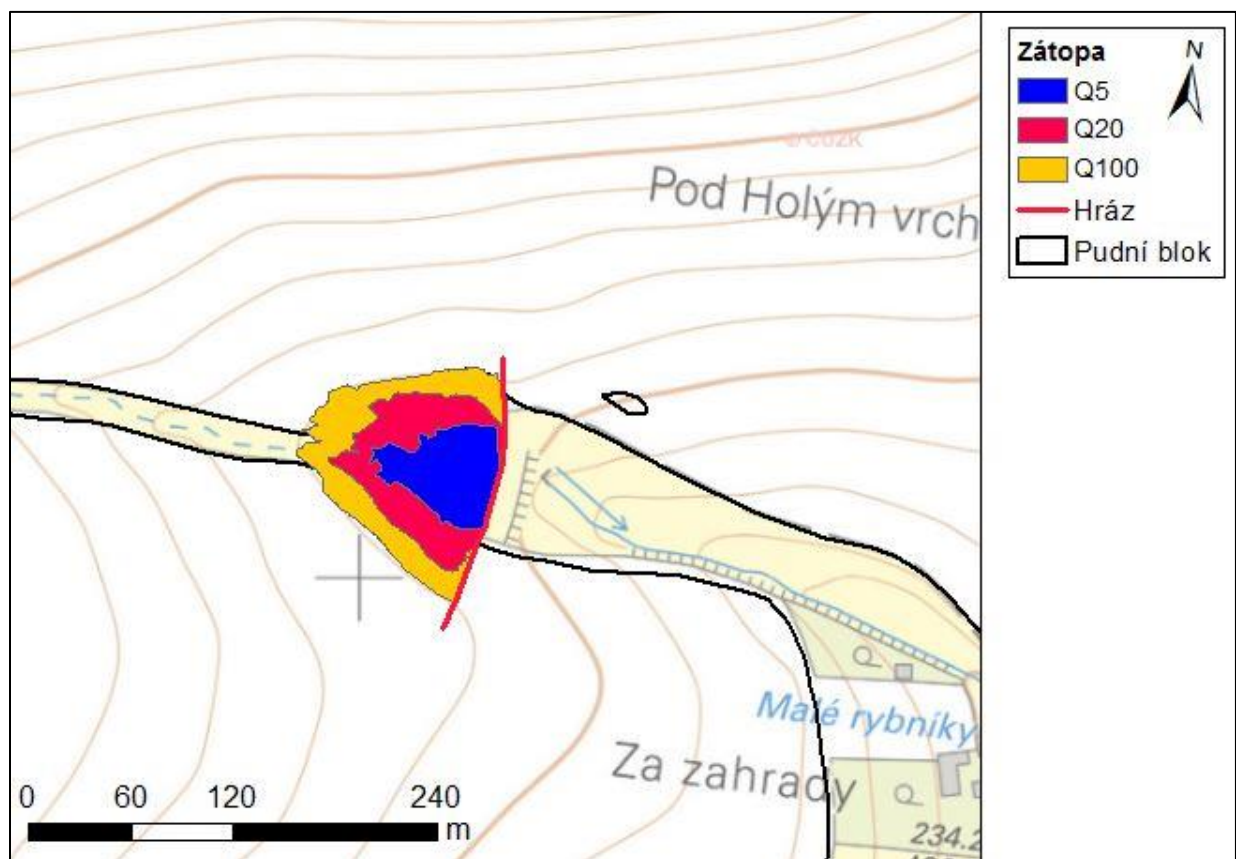
Klíčovým výstupem ze simulace pro dimenzování navržené nádrže je objem odtoku Q100 (uvažujeme odtok při stoleté návrhové srážce p100). Podle zpracované charakteristiky nádrže, zatopených ploch a objemů, uvedené v Tabulce 9 byla stanovena hladina maximální (v tabulce zvýrazněna červeně), při které nádrž s rezervou pojme návrhový průtok Q100. H_{max} je v tomto případě navržena na kótě **442.5 m n.m.**

Výška hladiny (m n.m.)	plocha (m ²)	objem (m ³)
439.6	0	0
439.7	252	19.44702
439.9	708	114.0964
440.1	1204	303.1162
440.3	1736	594.7181
440.5	2384	1004.902
440.7	3012	1545.928
440.9	3812	2223.483
441.1	5076	3103.415
441.3	6768	4290.919
441.5	8328	5799.534
441.7	9896	7613.416

441.9	11476	9747.02
442.1	12908	12181.84
442.3	14400	14913.05
442.5	15136	16425.28
442.7	15872	17937.51
442.9	17492	21279.61
443.1	19080	24935.36

Tabulka 9: Charakteristika navržené suché nádrže v lokalitě Pod Holým vrchem

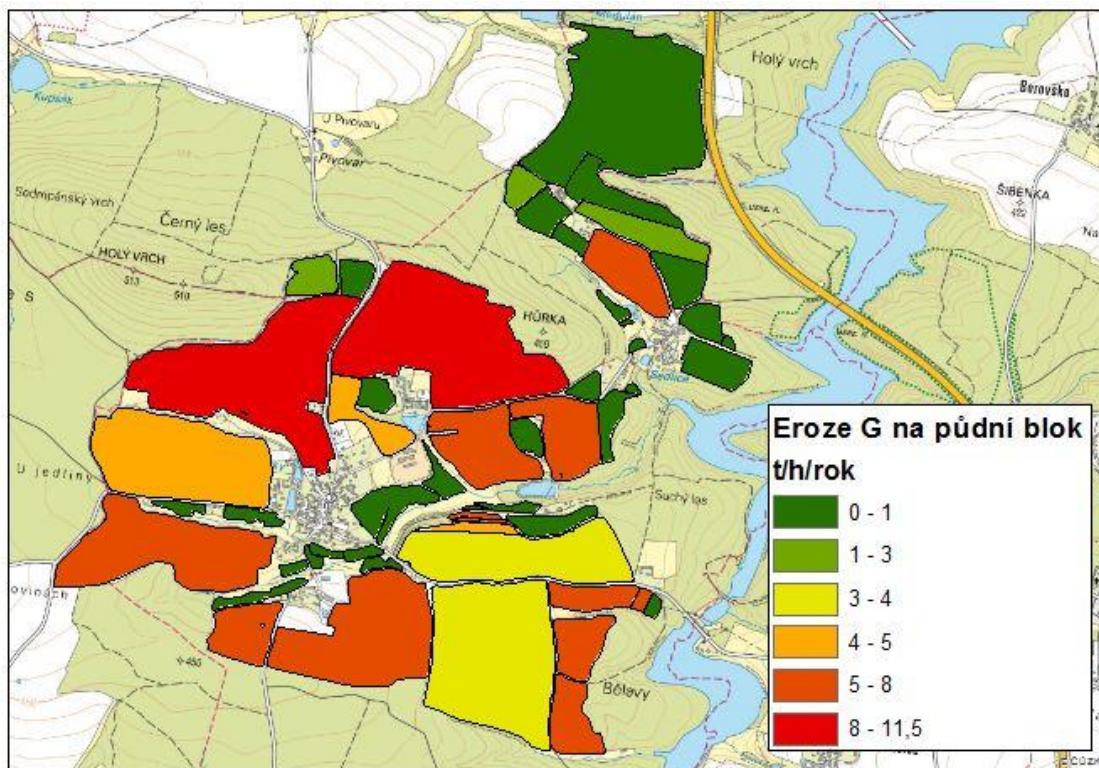
Výška celé hráze je navržena o **0.5** převyšující hladinu h_{\max} . Koruna hráze tak bude na kótě 443 m n.m., což znamená celkovou výšku hráze v nejvyšším bodě 3.4 m. Rozsah zátopy pro simulované průtoky Q5, Q20 a Q100 je patrný z Obrázku 43.



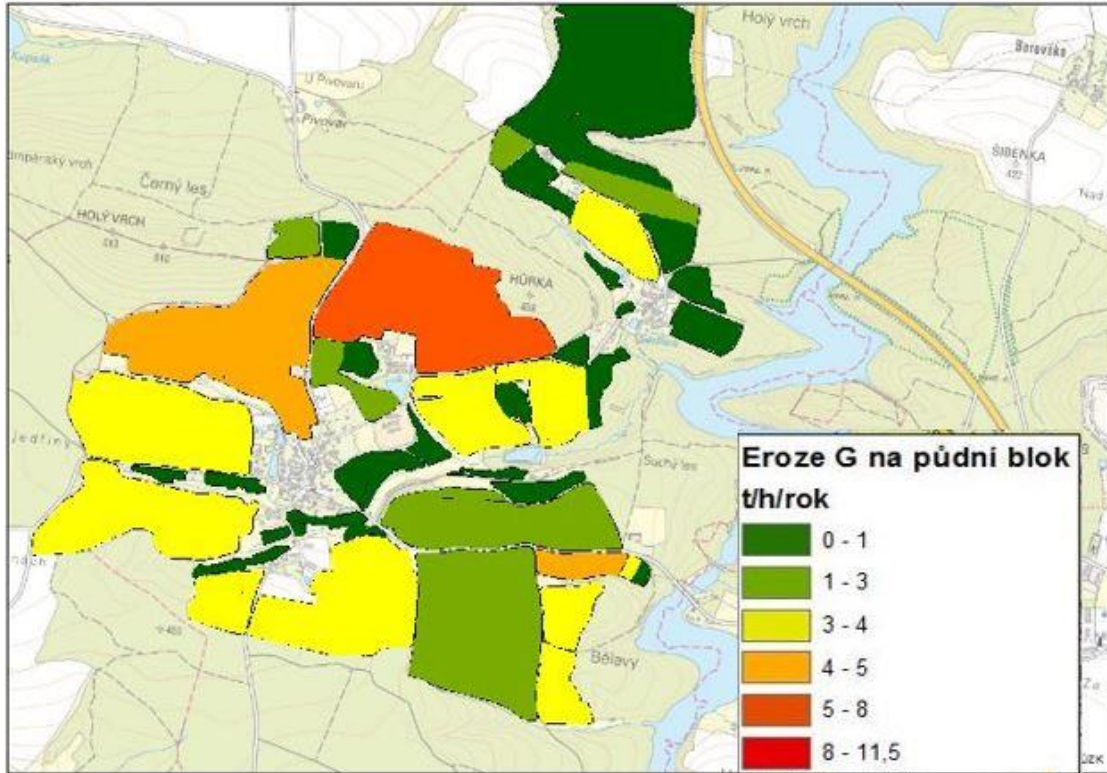
Obrázek 43: Rozsah zátopy při jednotlivých scénářích Q5, Q20, Q100

7.4 Míra eroze v návrhovém stavu

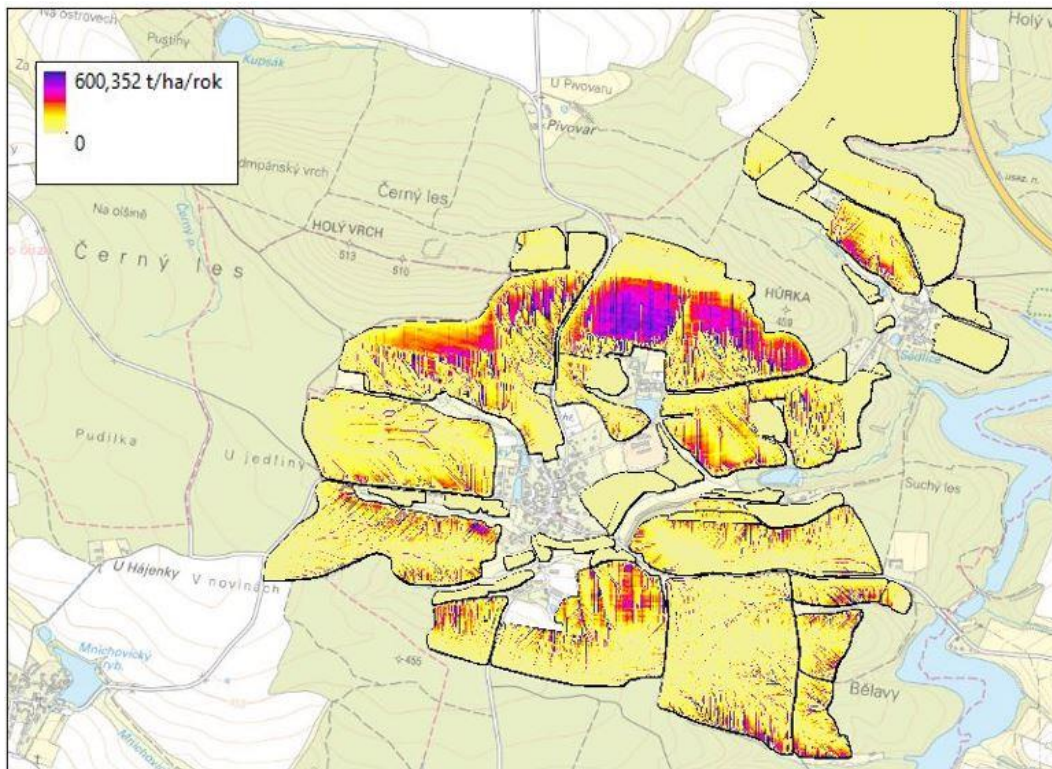
Pro přepočítání návrhového stavu eroze bylo použito identického postupu pro výpočet ztráty půdy metodou USLE jako je popsáno v kapitole 6.1. Vzhledem k charakteru navržených opatření došlo ke změnám faktoru LS vlivem přerušení drah povrchového odtoku mnohými liniovými opatřeními a faktoru C vlivem ploch zatravnění. Nový faktor LS byl stanoven tak, že nástrojem *Erase* byly do SHP vrstvy půdních bloků vyříznuty plochy liniových opatření o navrhované šířce, za vzniku nové vrstvy. Ta byla použita v nástroji *Extract by mask* pro oříznutí DMR půdních bloků. Nově vzniklé DMR nese v místech liniových opatření hodnoty *NoData*. Za pomoci tohoto nového DMR je vypočítán LS faktor pro návrhový stav viz kapitola 6.1.4. Rastrová vrstva návrhového faktoru C byla vytvořena rozdělením polygonů půdních bloků v místech navrženého zatravnění. Pro plochy navrženého zatravnění byl změněn atribut C faktoru na hodnotu 0.01. Nástrojem *Raster to polygon* pak vytvořena rastrová vrstva návrhového C faktoru. Další postup proběhl beze změn oproti postupu v kapitole 6.1. Následuje grafické zobrazení výsledků výpočtu a srovnání se stávajícím stavem (obrázek 43-46).



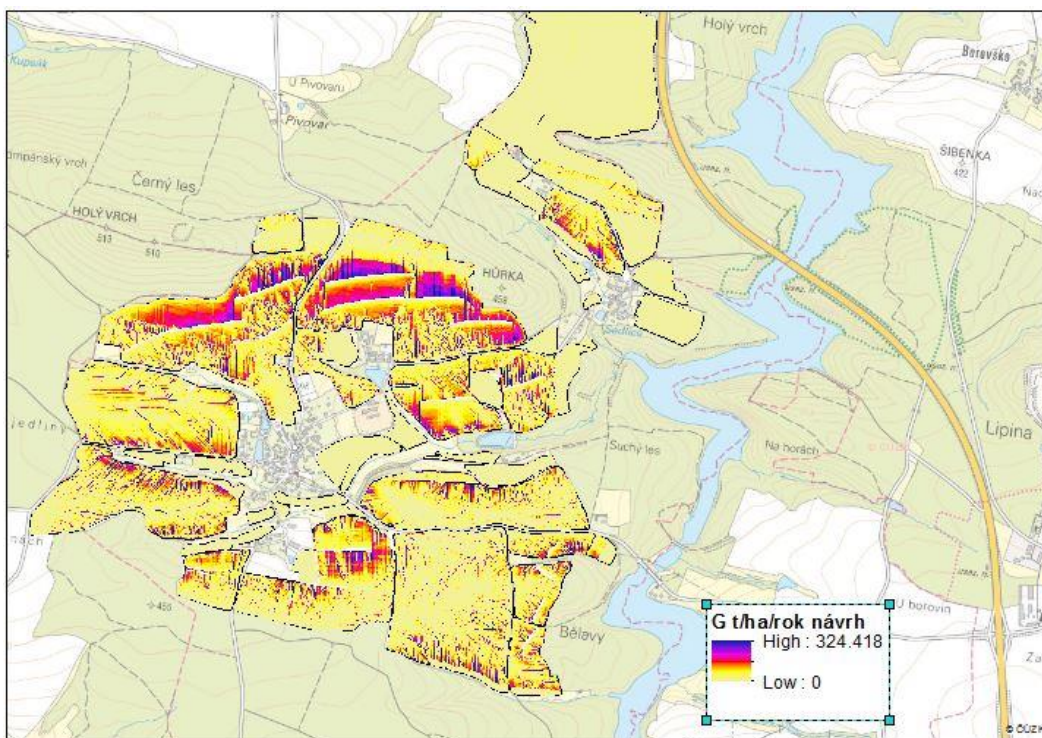
Obrázek 44: Stávající stav ohrožení pozemků KÚ Keblov erozí (podkladová mapa: ČÚZK ZABAGED ZM10 – online 2021)



Obrázek 45: Návrhový stav ohrožení pozemků KÚ Keblov erozí (podkladová mapa: ČÚZK ZABAGED ZM10 – online 2021)



Obrázek 46: Erozní smyv - stávající stav (podkladová mapa: ČÚZK ZABAGED ZM10 – online 2021)



Obrázek 47: Erozní smyv - návrhový stav (podkladová mapa: ČÚZK ZABAGED ZM10 – online 2021)

Míra eroze návrhového stavu klesla na většině původně ohrožených pozemků pod požadovanou hranici 4 t/ha/rok. Obecně tak došlo k poklesu intenzity vodní eroze na těchto pozemcích o 2,7 až 6,2 t/ha/rok. Pouze na dvou nejvíce ohrožených půdních blocích severně od Keblova a na půdním bloku jižně od silnice na Němčice před mostem přes vodní nádrž zůstala nad požadovanou hranici průměrné roční ztráty půdy. I tak zde došlo k poklesu intenzity eroze o 3,1 až 6,2 t/ha/rok. Tyto půdní bloky jsou po návrhu ohroženy erozí v míře 4,4, až 5,2 t/ha/rok.

8 Diskuse

Navržená opatření snížila míru ztráty půdy vodní erozí na většině pozemků, tak že odpovídá přijatelné intenzitě erozního smyvu 4 t/ha/rok. Naproti tomu v KÚ Keblov stále zůstaly 3 půdní bloky s průměrnou erozí vyšší než požadovanou, a to i přes to že na došlo k významnému omezení eroze. Tyto půdní bloky jsou v současnosti ohroženy erozí o intenzitě přibliž 1 t/ha/rok vyšší, než je přijatelná mez. Dalším krokem návrhu může být doplnění dalších protierozních opatření na stále ohrožené půdní bloky, vyvstává však otázka, zda je hranice 4 tun opravdu nepřekročitelnou mezí při protierozní ochraně a zda není možné spokojit se s erozním ohrožením například o 1 t/ha/rok vyšším za cenu toho, že pozemek zůstane stále snadno obhospodařovatelný. Velké množství

opatření totiž může narazit na odpor vlastníka a jeho nesouhlas s realizací navržených opatření, z důvodu zkomplikování a zvýšení nákladů zemědělských prací. Jako vhodné řešení se jeví například použití mezplodin, nebo pásové střídání plodin.

Dalším předmětem diskuse je metodika použitá pro výpočet LS faktoru při výpočtu metody USLE. Tak jak byla použita, uvažuje případný přítok z lesních pozemků na ornou půdu jako zanedbatelný, což je v mnoha případech správná úvaha. Ovšem extrémní srážky, případně strže nebo nevhodně vedené lesní cesty mohou na půdní blok přivést povrchový odtok se silnými erozními účinky.

V rámci lokality 3 byla na erozně ohroženém pozemku navržena aplikace půdoochranných technologií. V závěrečné revizi však autor dospěl k názoru, že vzhledem k ojedinělosti tohoto opatření je nevhodné zavádět speciální postup hospodaření, který může vyžadovat použití nových strojů, na poměrně malém pozemku. Orba po vrstevnicích je na pozemku již prováděna. V diskusi se proto autor přiklání spíše, k použití mezplodin, nebo celkovému zatravnění s ohledem na sousedství další trvalých travních porostů

Na zvážení jsou také rozměry dimenzované suché nádrže. Jako taková totiž představuje poměrně velkou stavbu a její výstavba může být kontroverzní ve vztahu k ovlivnění přiléhajících zemědělských pozemků, možnému dopadu na krajinný ráz a k nákladnosti stavby. Po stanovení neškodných průtoků v obci Keblov pro odtok z celého povodí s uzavěrovým profilem umístěným pod obcí by bylo vhodné zrevidovat, zda pro potřebnou ochranu nepostačí nižší kapacita nádrže, při zachování dostatečné kapacity bezpečnostního přelivu.

9 Závěr

Analýzou erozní ohroženosti pomocí metody USLE v prostředí GIS byla stanovena průměrná míra eroze pro půdní bloky v KÚ Keblov. U 15 pozemků byla zjištěna průměrná ztráta půdy vyšší než přípustná hranice 4 t/ha/rok. Tyto pozemky svojí rozlohou představují nadpoloviční podíl plochy všech zemědělských pozemků v KÚ Keblov.

Na základě výsledků této analýzy bylo přikročeno k návrhu samotných protierozních opatření. Celkem bylo navrženo 48 protierozních opatření, zejména průlehů, protierozních mezí a ochranná zatravnění. Návrh nebyl cílen pouze na snížení ztráty půdy na samotných půdních blocích, nýbrž i na nakládání s vodami povrchového odtoku. V zájmu zvláštní ochrany kvality vody útvarů povrchových vod na tomto území bylo dbáno na retenci a akumulaci povrchového odtoku

s ohledem na možnou sedimentaci pevných částic a biologického čištění. V tomto smyslu byly do návrhu zařazeny sedimentační jímky, suché nádrže, hrazení strží, jakož i tůně a mokřady. Pro největší suchou nádrž byla v softwaru HEC-HMS provedena simulace tří srážkoodtokových scénářů. Na základě výsledků pak byla dimenzována kapacita nádrže a její parametry.

Podle výsledného návrhy protierozních byla vypočtena míra eroze na jednotlivých půdních blocích v návrhovém stavu. U většiny řešených půdních bloků byla výsledkem míra erozní ohroženosti v přijatelných mezích. U třech půdních bloků intenzita vodní eroze signifikantně poklesla, přesto zůstala vyšší, než je přijatelná mez. Zda je možno tento stav možno přijmout jako dostatečný, je předmětem v kapitole 8. Diskuse. Obecně se však systém opatření jeví jako protierozně účinný, zejména v propojení, a to při zachování dobrých podmínek pro zemědělskou činnost, s přidanou hodnotou ekologických a krajinotvorných funkcí.

10 Seznam použité literatury a internetové zdroje

Balatka, Břetislav, a ČÚZK. 2015. „*Geomorfologické jednotky ČR – 1998, Prohlížečská služba Esri ArcGIS Server*“. 2015.
<https://ags.cuzk.cz/arcgis/rest/services/GeomorfologickeJednotky/MapServer>.

Beegle, Douglas. 1996. „*Nutrient Management in Conservation Tillage Systems*“. College of Agricultural Sciences Cooperative Extension.

Brázdil, Rudolf, Miroslav Trnka, Ladislava Řezníčková, Jan Balek, Lenka Bartošová, Ivan Bičík, Pavel Cudlín, Petr Čermák, Petr Dobrovolný, a Martin Dubrovský. 2015. „*Sucho v českých zemích: minulost, současnost a budoucnost*“. Akademie věd České republiky v.v.i., 399 s

Buček, Antonín, a Jan Lacina. 2006. *Biogeografická diferenciacie krajiny v geobiocenologickém pojetí a její využití v krajině plánování*. Česká společnost pro krajinou ekologii

ČGS, 2018, *Geologická mapa 1 : 50 000*. online. Cit.III.2021 Praha: Česká geologická služba.
Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr50/>

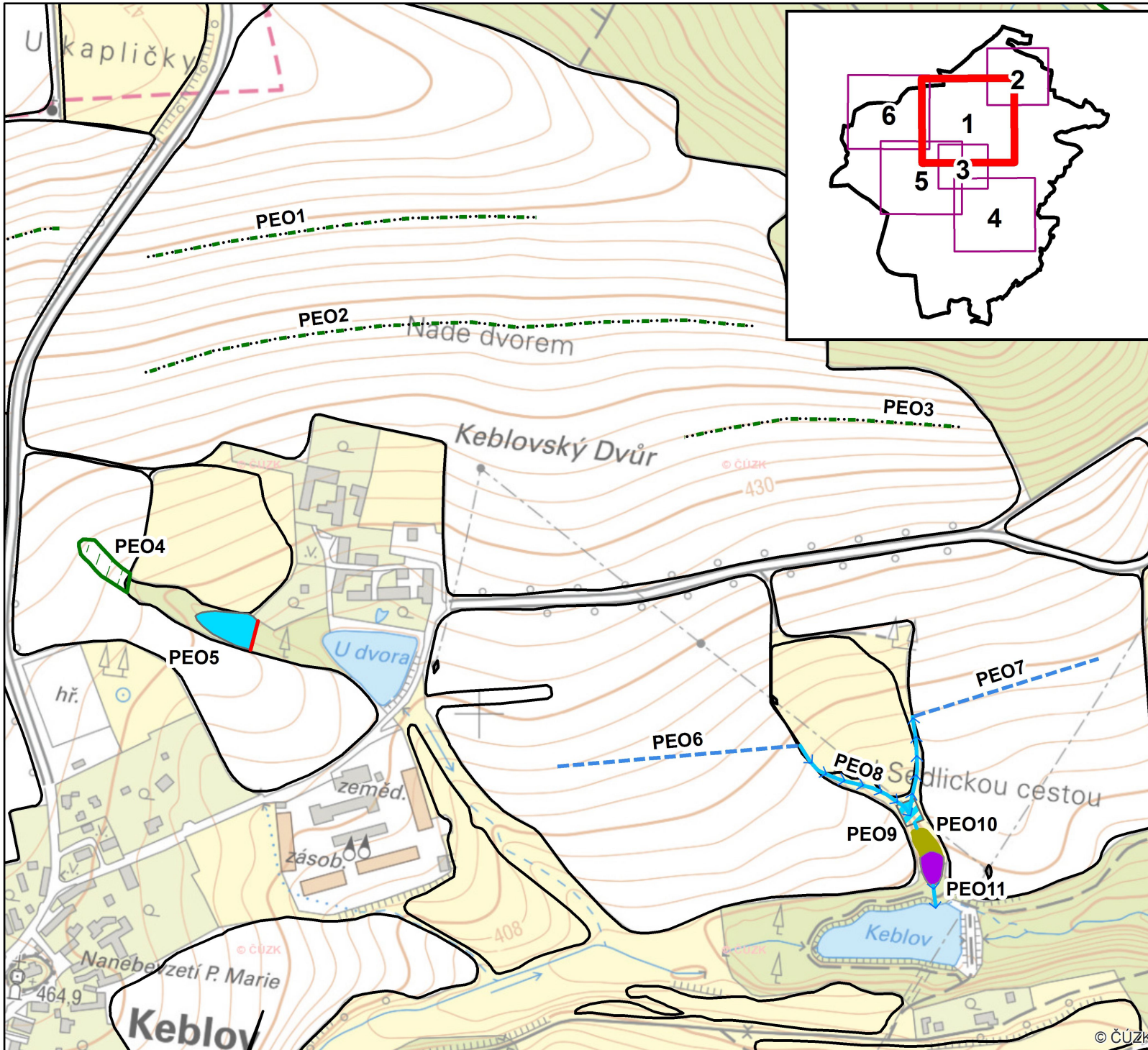
- Hauptman, Ivo, Z. Kukul, K. Pošmourný, a et al. 2009. „Půda v České republice“. *Consult, Praha*. 255 s
- JANEČEK, M. 1992. „Ochrana půdy před erozí“. *Metodika ÚVTIZ č 5*. 101 s
- Janeček, M. 2012. „Ochrana zemědělské půdy před erozí: Metodika“. 117 s
- Kadlec, Václav, a et. al. 2014. „Navrhování technických protierozních opatření“. VÚMOP v.v.i., ČVUT v Praze. 101 s
- Kavka, Petr, Miloslav Müller, Luděk Strouhal, Marek Kašpar, Vojtěch Bližňák, Martin Landa, Lenka Weyskrabová, et al. 2018. *"Krátkodobé srážky pro hydrologické modelování a navrhování drobných vodohospodářských staveb v krajině: metodika"*.
- Kulasová, B., P. Šercl, a M. Boháč. 2004. *„Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní“*. ČHMÚ, Praha.
- Kvítek, Tomáš. 2017. *Retence a jakost vody v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce*. Povodí Vltavy, státní podnik. 268 s
- Maděra, Petr, a Eliška Zimová. 2005. „Metodické postupy projektování lokálního ÚSES“. *Brno: Ústav lesnické botaniky, dendrologie a typologie LDF MZLU v Brně a Löw a spol 1*.
- Mitášova, Helena, Jaroslav Hofierka, Maros Zlocha, a Louis R. Iverson. 1996. „Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS“. *International journal of geographical information systems*
- Morgan, Royston Philip Charles. 2005. *Soil erosion and conservation*. Blackwell Publishing. 304 s
- MZČR. 2007. „Nařízení vlády č. 79/2007 Sb., o podmínkách provádění agroenvironmentálních opatření“. online, Cit.III.2021, Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/100055655.html>.

- MZČR. 2019. „Eroze od roku 2019 - Uživatelská příručka". Ministerstvo zemědělství České Republiky. online, Cit.III.2021, Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/609079/Prirucka_eroze_od_2019.pdf.
- MŽP. 2008. „Věstník Ministerstva životního prostředí 2008/11 - Metodika odboru ochrany vod, která stanovuje postup komplexního řešení protipovodňové a protierozní ochrany pomocí přírodě blízkých opatření". Ministerstvo životního prostředí ČR. online, Cit.III.2021, Dostupné z: http://www.povis.cz/pre/2015_oov/vestnik_mzp_2008.pdf.
- Novotný, Ivan, a et. al. 2014. *Příručka ochrany proti vodní erozi*. VÚMOP v.v.i.
- Quitt, Evžen. 1971. *Klimatické oblasti Československa*. Academia.73 s
- Smelík, Lukáš. 2018. „Analýza změn odtokových poměrů pro Českou republiku | VTEI". 2018. online, Cit.III.2021, Dostupné z: <https://www.vtei.cz/2016/08/analyza-zmen-odtokovych-pomeru-pro-ceskou-republiku/>.
- Thies, Carsten, a Teja Tschardt. 1999. „Landscape structure and biological control in agroecosystems". *Science*. 285 s
- VÚMOP v.v.i. 2019a. „OCHRANA PROTI VODNÍ EROZI – Webová encyklopedie". 2019. online, Cit.III.2021, Dostupné z: https://encyklopedie.vumop.cz/index.php/OCHRANA_PROTI_VODN%C3%8D_EROZI I.
- VÚMOP. 2019b. „TEORETICKÉ MINIMUM K VODNÍ EROZI – Webová encyklopedie". 2019. online, Cit.III.2021, Dostupné z: https://encyklopedie.vumop.cz/index.php/TEORETICK%C3%89_MINIMUM_K_VODN%C3%8D_EROZI.
- VÚV TGM v.v.i. 2018. „KATALOG PŘÍRODĚ BLÍZKÝCH OPATŘENÍ PRO ZADRŽENÍ VODY V KRAJINĚ". Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka v.v.i., online, Cit.III.2021, Dostupné z: http://suchovkrajine.cz/sites/default/files/vystup/p1_katalog_opatreni_0.pdf.
- Wischmeier, Walter H., a Dwight David Smith. 1978. *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. 537. Department of Agriculture, Science and Education Administration. online, Cit.III.2021, Dostupné z: <https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF>

11 Přílohy

11.1 Seznam příloh





Příloha 1: Navržená opatření - Lokalita 1.....	83
Příloha 2: Navržená opatření ve vztahy k eroznímu smyvu - Lokalita 1.....	84
Příloha 3: Navržená opatření - Lokalita 2.....	85.
Příloha 4: Navržená opatření ve vztahy k eroznímu smyvu í - Lokalita 2.....	86
Příloha 5: Navržená opatření - Lokalita 3.....	87
Příloha 6: Navržená opatření ve vztahy k eroznímu smyvu - Lokalita 3.....	88
Příloha 7: Navržená opatření - Lokalita 4.....	89
Příloha 8: Navržená opatření ve vztahy k eroznímu smyvu - Lokalita 4.....	90
Příloha 9: Navržená opatření - Lokalita 5.....	91
Příloha 10: Navržená opatření ve vztahy k eroznímu smyvu - Lokalita 5.....	92
Příloha 11: Navržená opatření - Lokalita 6.....	93
Příloha 12: Navržená opatření ve vztahy k eroznímu smyvu - Lokalita 6.....	94



Přehled navržených opatření

Lokalita 1

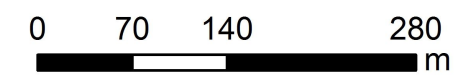
Liniová opatření

-  Hráz/přehrážka
-  Protierozní mez
-  Průleh odváděcí
-  Příkop svodný



Plošná opatření

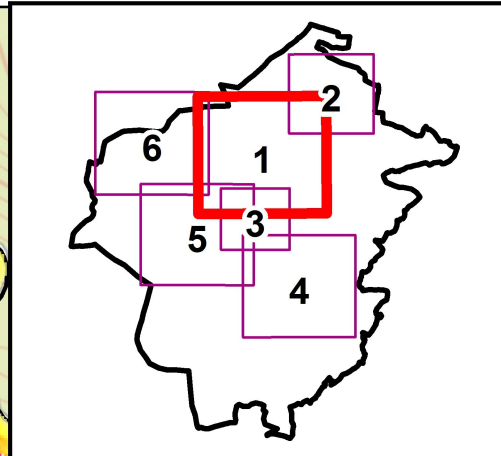
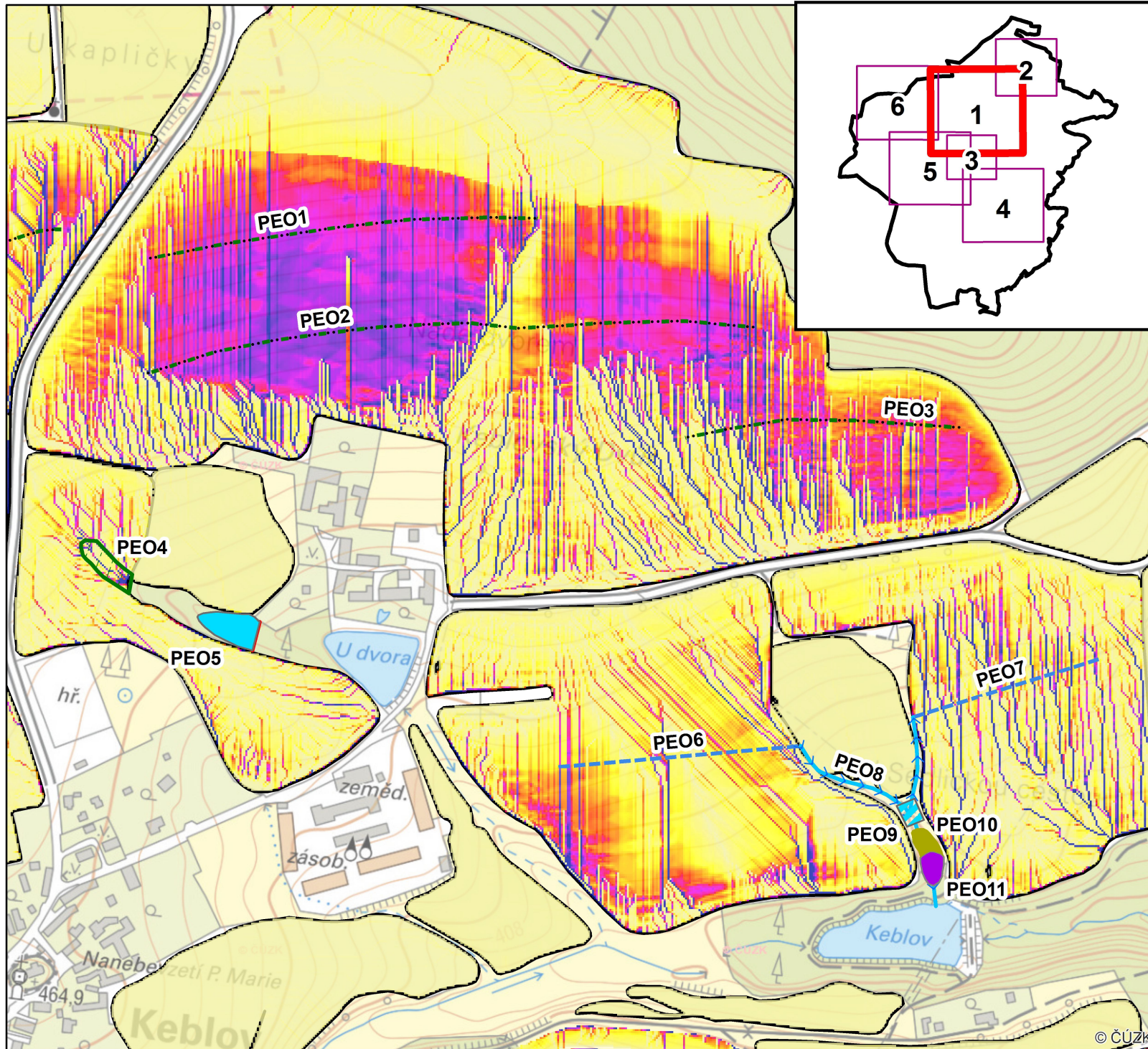
-  Mokřad
-  Protierozní nádrž/jímka
-  Suchá nádrž
-  Tůň
-  Zatravnění - infiltrační oblast
-  Zatravnění - údolnice









Podkladová mapa: ZABAGED ZM10
 Souřadnicový systém: S-JTSK
 Vytvořeno: březen 2021

Přehled navržených opatření





Lokalita 1



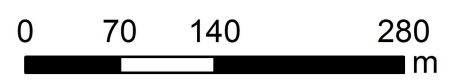
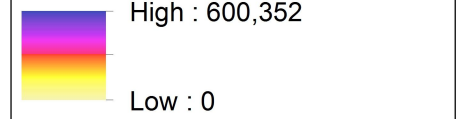
Plošná opatření

- typ
-  Mokřad
 -  Protierozní nádrž/jímka
 -  Suchá nádrž
 -  Tůň
 -  Zatavnění - infiltrační oblast
 -  Zatavnění - údolnice

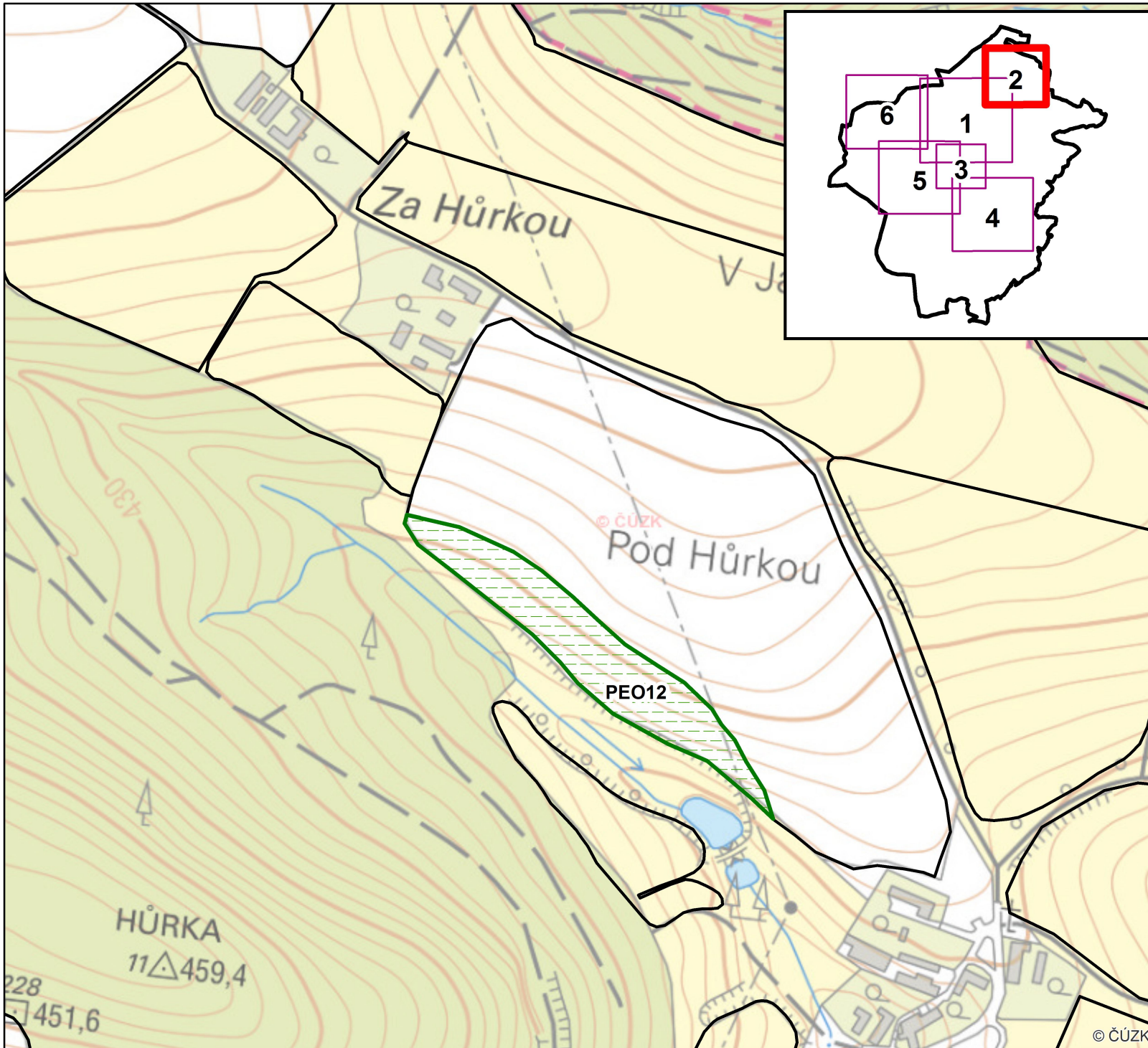
Liniová opatření

-  Hráz/přehrážka
-  Protierozní mez
-  Průleh odváděcí
-  Příkop svodný

G t/ha/rok




Podkladová mapa: ZABAGED ZM10
Souřadnicový systém: S-JTSK
Vytvořeno: březen 2021



Přehled navržených opatření Lokalita 2



Plošná opatření

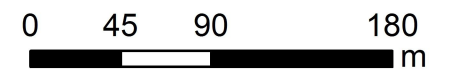
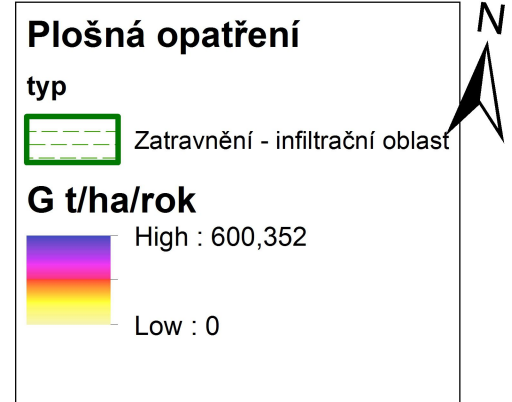
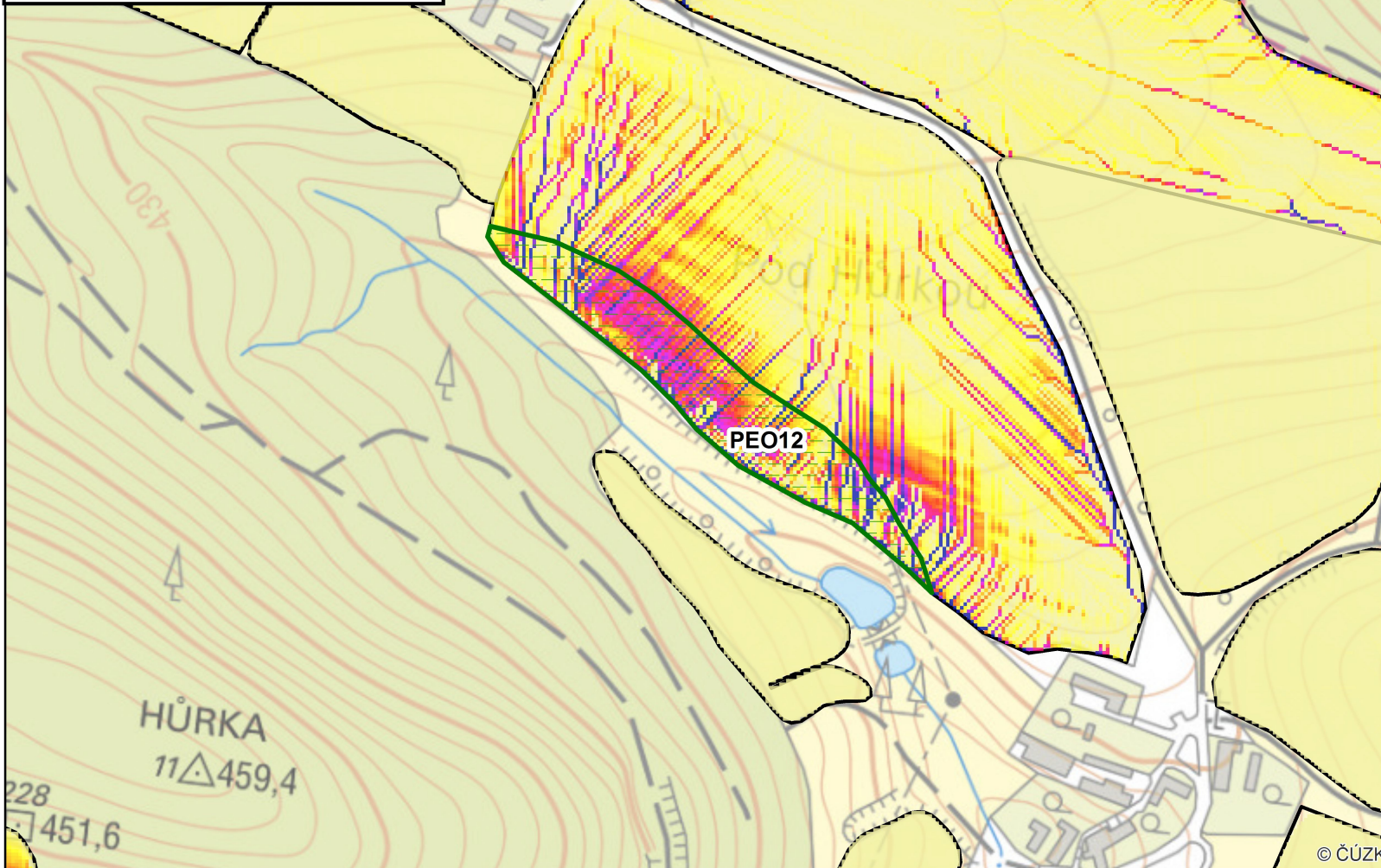
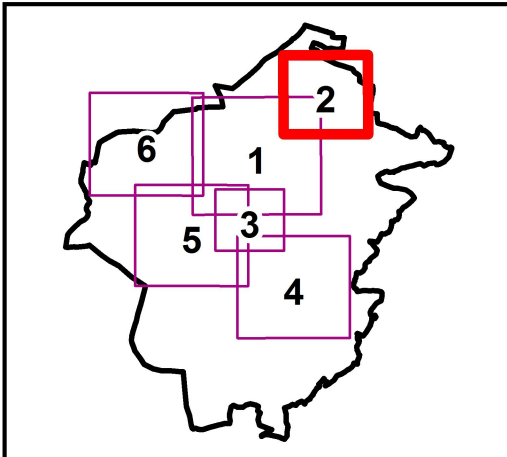
 Zatravnění - infiltrační oblast

0 45 90 180
m

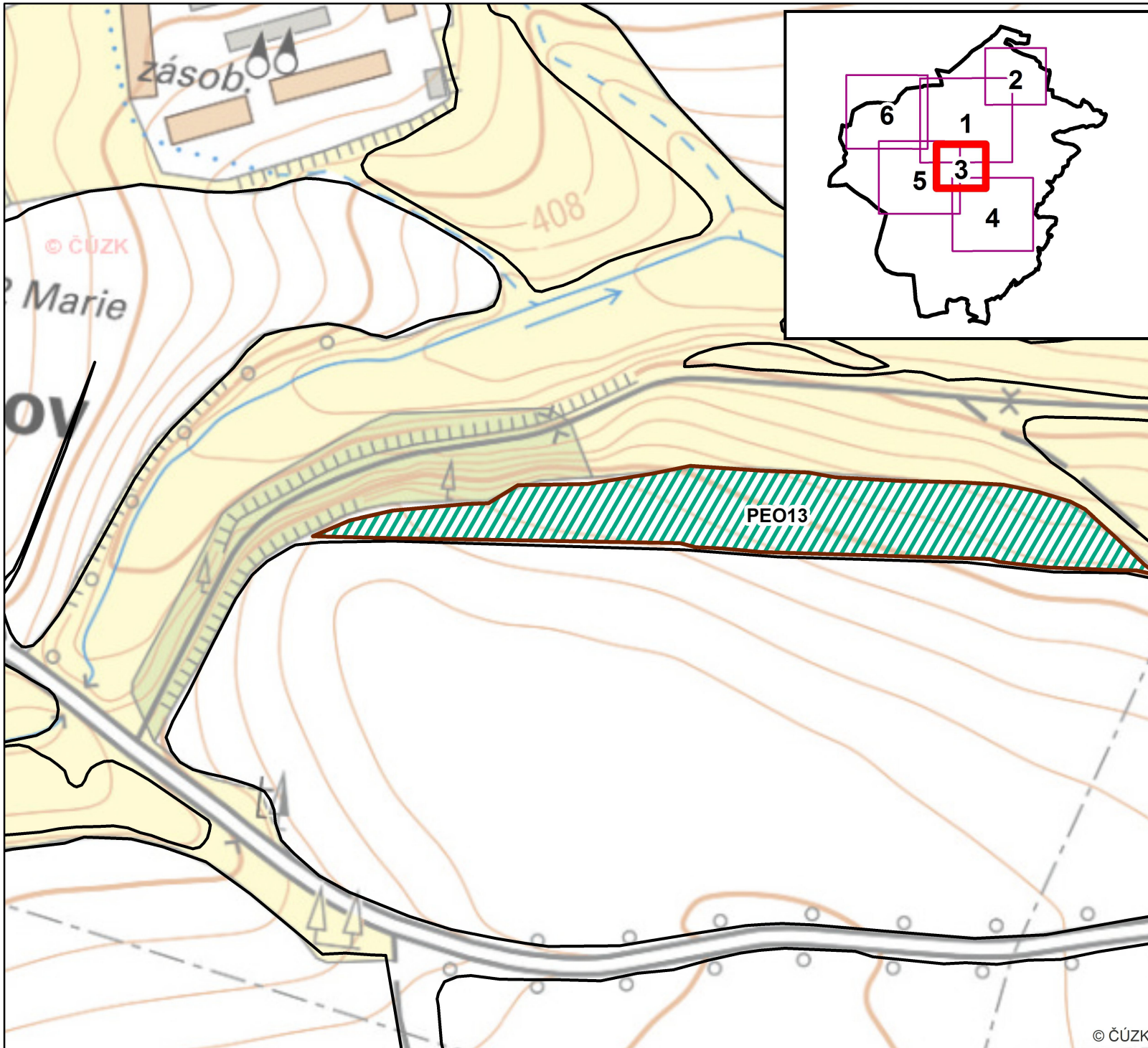
Podkladová mapa: ZABAGED ZM10
Souřadnicový systém: S-JTSK
Vytvořeno: březen 2021

© ČÚZK

Přehled navržených opatření Lokalita 2



Podkladová mapa: ZABAGED ZM10
Souřadnicový systém: S-JTSK
Vytvořeno: březen 2021

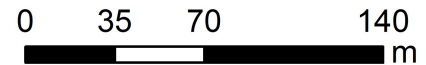


Přehled navržených opatření Lokalita 3



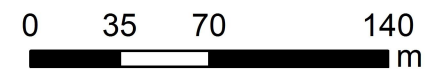
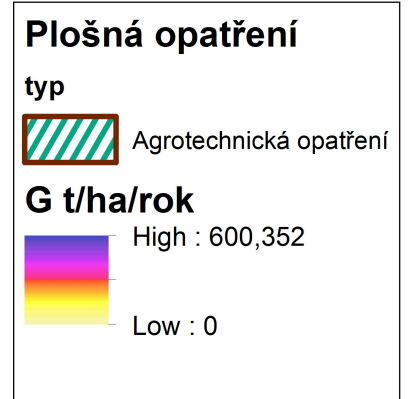
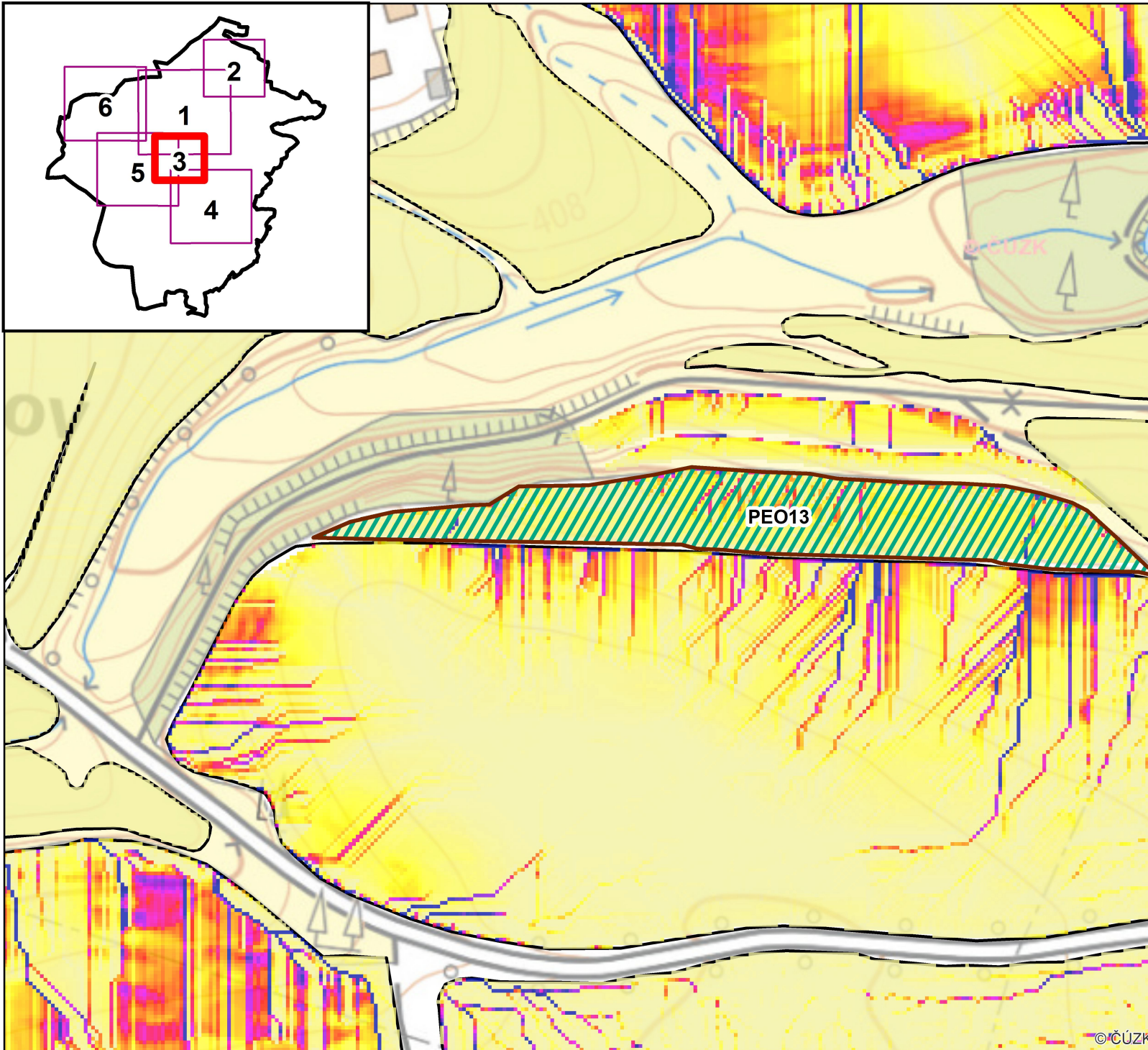
Plošná opatření

 Agrotechnická opatření



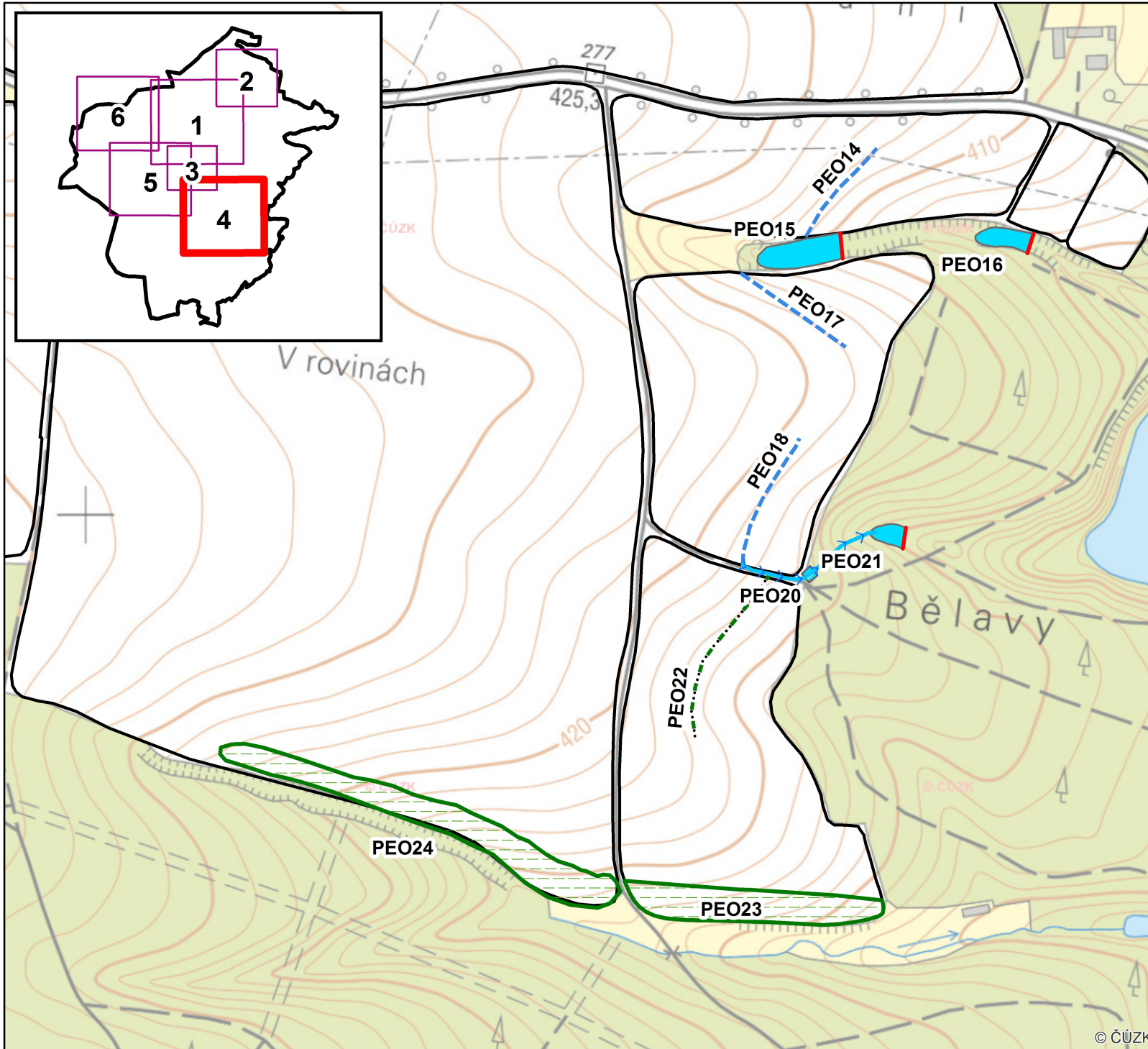
Podkladová mapa: ZABAGED ZM10
Souřadnicový systém: S-JTSK
Vytvořeno: březen 2021

Přehled navržených opatření Lokalita 3







Podkladová mapa: ZABAGED ZM10
Souřadnicový systém: S-JTSK
Vytvořeno: březen 2021

Přehled navržených opatření Lokalita 4






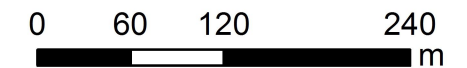
Liniová opatření

-  Hráz/přehrážka
-  Protierozní mez
-  Průleh odváděcí
-  Příkop svodný

Plošná opatření

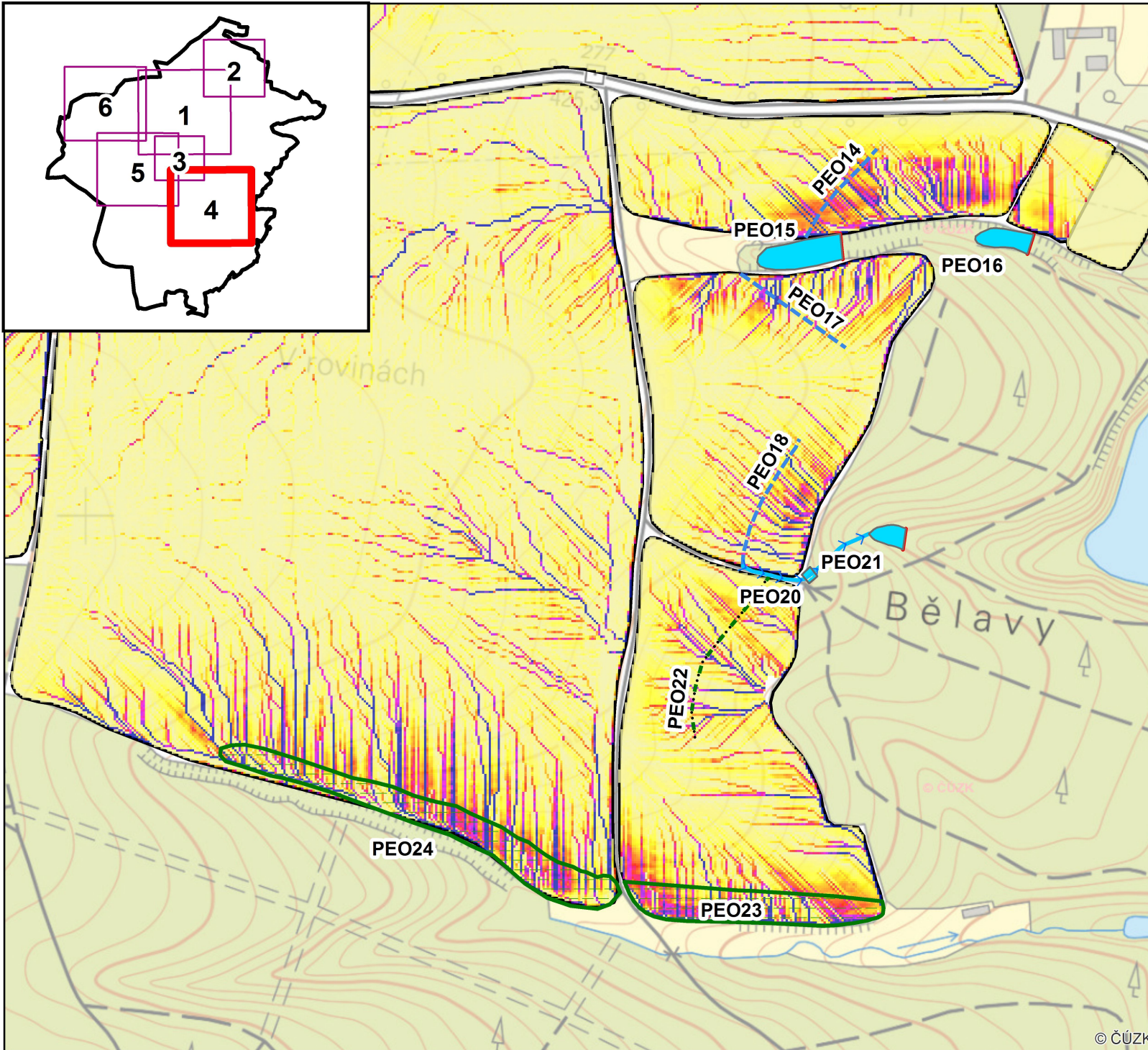
typ

-  Protierozní nádrž/jímka
-  Suchá nádrž
-  Zatravnění - infiltrační oblast






Podkladová mapa: ZABAGED ZM10
Souřadnicový systém: S-JTSK
Vytvořeno: březen 2021

Přehled navržených opatření Lokalita 4







Plošná opatření


typ

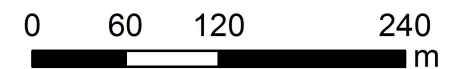
-  Protierozní nádrž/jímka
-  Suchá nádrž
-  Zatravnění - infiltrační oblast

Liniová opatření

-  Hráz/přehrážka
-  Protierozní mez
-  Průleh odváděcí
-  Příkop svodný

G t/ha/rok

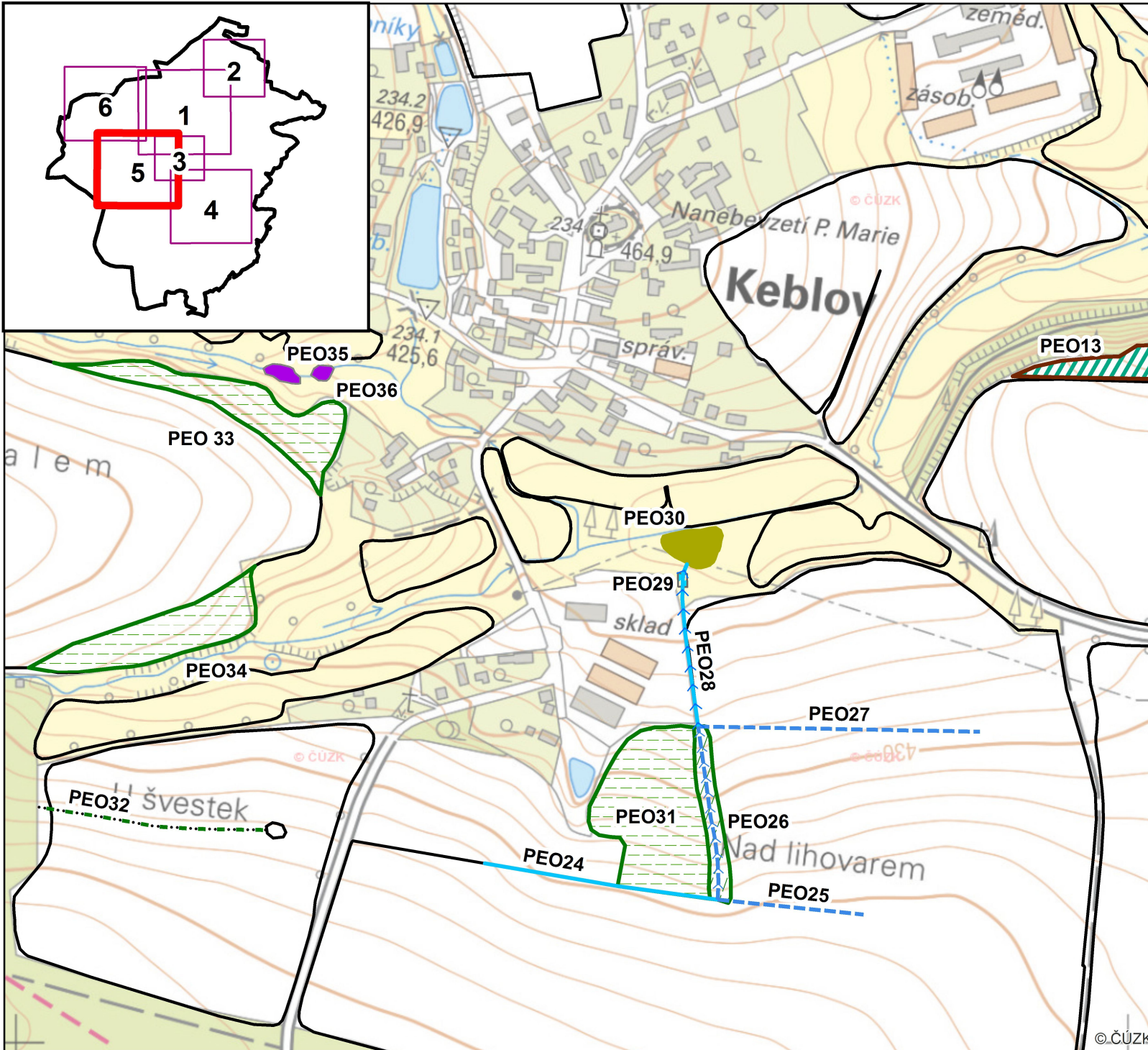
-  High : 600,352
- Low : 0








Podkladová mapa: ZABAGED ZM10
Souřadnicový systém: S-JTSK
Vytvořeno: březen 2021

Přehled navržených opatření

Lokalita 5




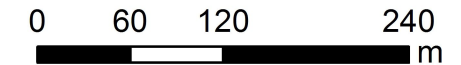
Liniová opatření

-  Protierozní mez
-  Průleh odváděcí
-  Průleh svodný
-  Příkop svodný
-  Příkop záchytný

Plošná opatření

typ

-  Mokřad
-  Protierozní nádrž/jímka
-  Tůň
-  Agrotechnická opatření
-  Zatravnění - infiltrační oblast
-  Zatravnění - údolnice

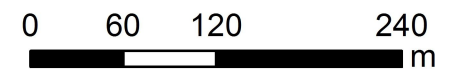
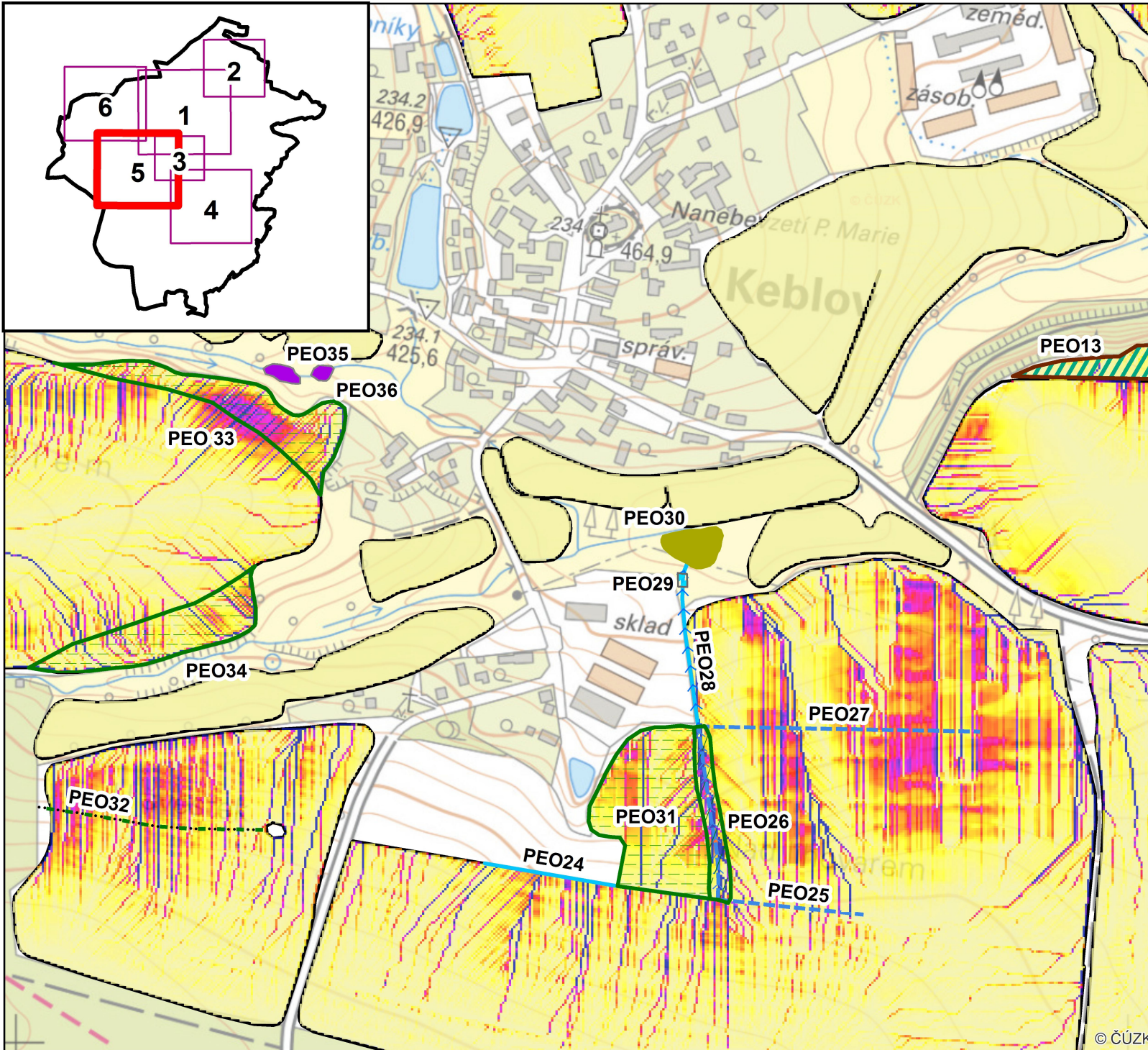


Podkladová mapa: ZABAGED ZM10
 Souřadnicový systém: S-JTSK
 Vytvořeno: březen 2021

©.ČÚZK.

Přehled navržených opatření

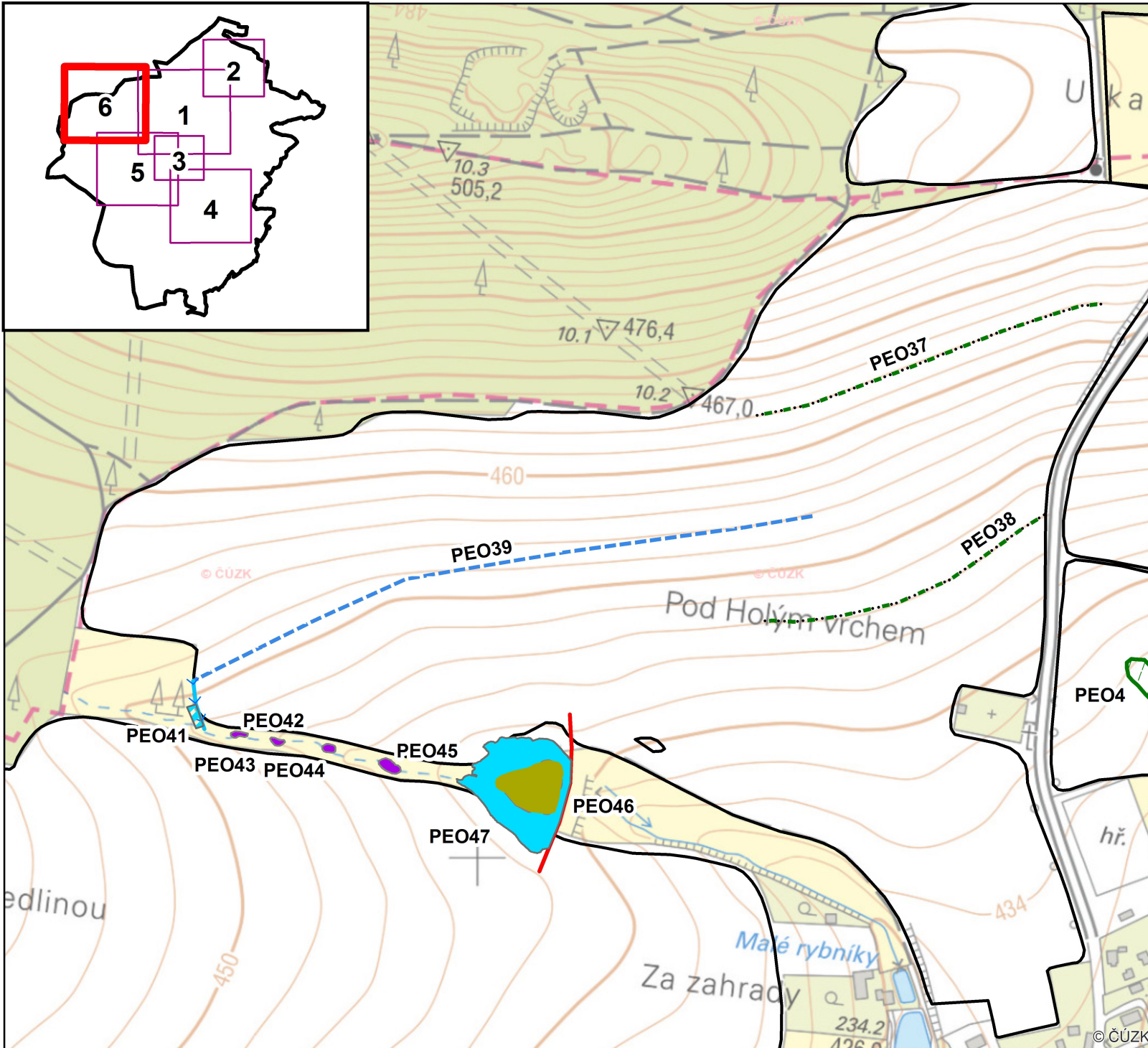
Lokalita 5



Podkladová mapa: ZABAGED ZM10
Souřadnicový systém: S-JTSK
Vytvořeno: březen 2021

Přehled navržených opatření

Lokalita 6



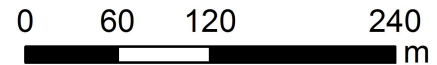
Plošná opatření

typ

- Mokřad
- Protierozní nádrž/jímka
- Suchá nádrž
- Tůň
- Zatrávnění - údolnice

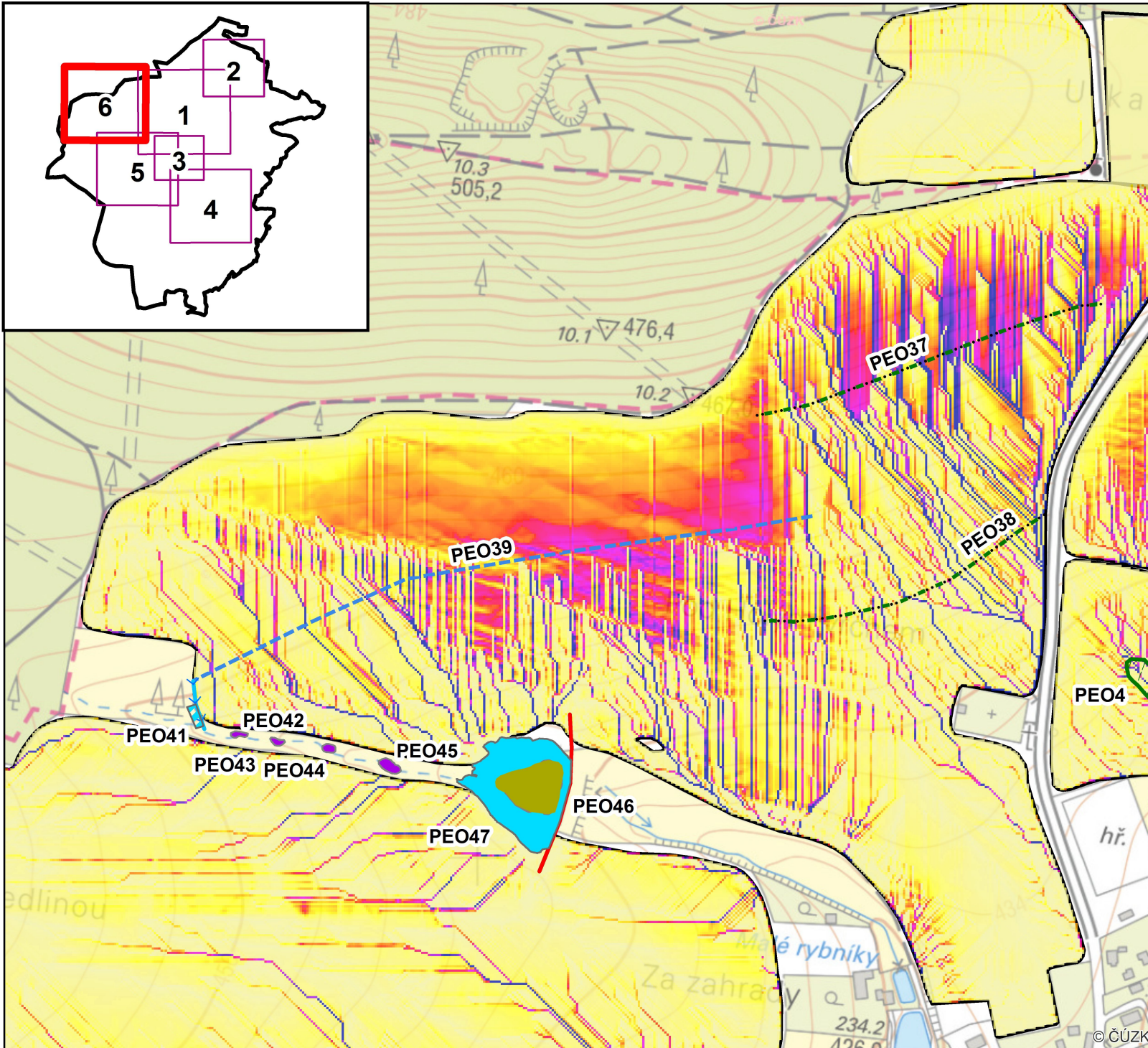
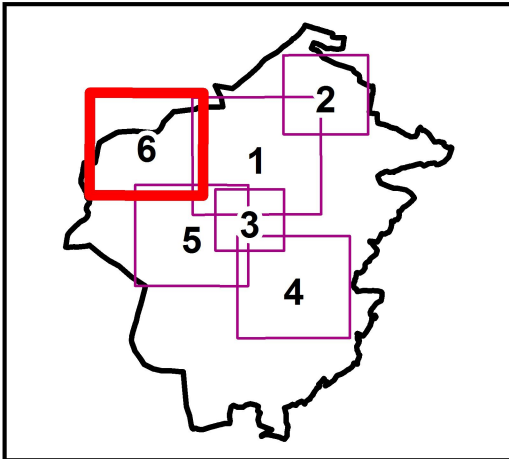
Liniová opatření

- Hráz/přehrážka
- Protierozní mez
- Průleh odváděcí
- Příkop svodný








Podkladová mapa: ZABAGED ZM10
 Souřadnicový systém: S-JTSK
 Vytvořeno: březen 2021

Přehled navržených opatření Lokalita 6







Plošná opatření

typ

-  Mokřad
-  Protierozní nádrž/jímka
-  Suchá nádrž
-  Tůň
-  Zatavnění - údolnice

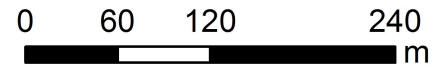
Liniová opatření

-  Hráz/přehrážka
-  Protierozní mez
-  Průleh odváděcí
-  Příkop svodný

G t/ha/rok

High : 600,352

Low : 0



Podkladová mapa: ZABAGED ZM10
 Souřadnicový systém: S-JTSK
 Vytvořeno: březen 2021