

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA PLÁNOVÁNÍ KRAJINY A SÍDEL



Česká zemědělská univerzita v Praze
**Fakulta životního
prostředí**

**NÁVRH KOMPLEXNÍHO SYSTÉMU
PROTIEROZNÍCH OPATŘENÍ V K. Ú. ŽICHLÍNEK**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Jan Petřů

Diplomant: Bc. Veronika Adamová

2021

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Veronika Adamová

Regionální environmetální správa

Název práce

Návrh komplexního systému protierozních opatření v k.ú. Žichlínek

Název anglicky

Design of a comprehensive systém of anti-erosion measures in cadastral area
Žichlínek

Cíl práce

Cílem diplomové práce je návrh komplexních protierozních opatření pro vybrané zemědělské plochy v katastrálním území Žichlínek. Opatření budou navržena v několika variantách tak, aby řešila veškeré hydrologické problémy v zájmovém území.

Metodika

Pro vybrané zemědělské plochy budou navrženy protierozní opatření organizačního, agrotechnického a biotechnického charakteru a vyhodnocena jejich účinnost pomocí rovnice USLE. Při vyhodnocení erozní ohroženosti daných ploch se bude vycházet ze skutečností zjištěných v bakalářské práci diplomantky.

Součástí práce bude vytvoření mapových výstupů v prostředí GIS se zákresy opatření a pořízení fotodokumentace.

Doporučený rozsah práce

dle nařízení děkana č.02/2020 - Metodické pokyny pro zpracování diplomové práce na FŽP.

Klíčová slova

vodní eroze, USLE, GIS, TPEO

Doporučené zdroje informací

DOLEŽAL, P. a kol., 2010: *Metodický návod k provádění pozemkových úprav*. Praha: MZE – ÚPÚ.

JANEČEK, M., KOVÁŘ, P., 2010: *Metody čísel odtokových křivek – CN k určování přímého odtoku z malého povodí*. In *Vodní hospodářství*. 2010, ročník 60, číslo 7. s. 187-190.

JANEČEK, M. a kol., 2012: *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha: ČZU. s. 114. ISBN 978-80-87415-42-9.

NOVOTNÝ, I. a kol., 2017: *Příručka ochrany proti erozi zemědělské půdy*. Praha: VUOMP, s. 50. ISBN 978-80-7434-362-9.

KORENAGA, J., PLANAVSKY, N. J., EVANS A. D., 2017: *Global water cycle and the coevolution of the Earth's interior and surface environment*. In *The Royal Society*. 2017, ročník 37, číslo 5. ISSN 1471-2962.

MORGAN, R P C. -- NEARING, M A. *Handbook of erosion modelling*. Chichester, West Sussex, UK ; Hoboken, N.J.: Wiley, 2011. ISBN 9781405190107.

MORGAN, R P C. *Soil erosion and conservation*. Malden: Blackwell, 2005. ISBN 1-4051-1781-8.

Předběžný termín obhajoby

2021/2022 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Jan Petru

Garantující pracoviště

Katedra plánování krajiny a sídel

Elektronicky schváleno: 21. 2. 2022

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno: 22. 2. 2022

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 16.03.2021

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že diplomovou práci s názvem *Návrh komplexního systému protierozních opatření v k.ú. Žichlínek*, jsem vypracovala zcela samostatně. Všechny použité zdroje bibliografického, internetového a legislativního charakteru jsou zaznamenány v seznamu použitých zdrojů. Plně si uvědomuji, že na mou závěrečnou práci se vztahuje Zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů ve znění pozdějších předpisů. Především se jedná o ustanovení § 35 odst. 3 zmiňovaného zákona. Také si plně uvědomuji, že odevzdáním své diplomové práce souhlasím s jejím uveřejněním na základě Zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů ve znění pozdějších předpisů. Souhlas na zveřejnění práce je platný bez ohledu na výsledek obhajoby mé závěrečné práce.

Na závěr prohlašuji, že svým podpisem potvrzuji, že elektronická verze práce je shodná s tištěnou verzí a údaje uváděné v práci jsou souvislé s GDPR.

V Praze dne: 16.03.2021

.....

Bc. Veronika Adamová

Poděkování

Ráda bych chtěla poděkovat vedoucímu mé diplomové práce, Ing. Jan Petru, který mi poskytl cenné a zajímavé rady při jejím zpracování. Také děkuji všem ostatním, kteří mi jakýmkoliv způsobem pomohli při kompletizaci práce, ať se jednalo o poskytnutí poznatků různého charakteru, o zajímavé podklady anebo o podporu projevenou při psaní práce.

V Praze dne: 16.03.2021

.....

Bc. Veronika Adamová

Abstrakt

Cílem práce bylo navrhnout a zhodnotit účinnosti několika opatření vedoucích ke snížení míry vodní eroze v půdních blocích k. ú. Žichlínek. V rešeršní části práce byla popsána vodní eroze, jaký má význam zejména z hlediska orné půdy a jaká opatření se v současnosti používají k jejímu snížení. Vyhodnocení míry vodní eroze v zájmovém území bylo stanoveno pomocí univerzální rovnice ztráty půdy (USLE). Stávající stav vodní eroze v půdních blocích k. ú. Žichlínek byl převzat z ADAMOVI 2020. Vliv technických opatření byl simulován pomocí úprav modelu terénu. Tyto úpravy spočívaly v nahrazení hodnot nadmořské výšky hodnotami NoData v místech, kde tato opatření byla navržena. Při modelování akumulace odtoku z takto upravených rastrů docházelo v místech, kde byla NoData k přerušení svahu a tudíž ke zkrácování celkové délky svahu pod navrženými opatřeními. V půdních blocích, kde to sklon a délka svahu umožňovaly, byla vyhodnocována účinnost konturového obdělávání na výslednou míru eroze v půdních blocích. Ve všech půdních blocích, kde nebylo možné aplikovat konturové zemědělství, došlo při modelování vlivu technických opatření k dostatečnému zkrácení svahů, aby orba po vrstevnici nabyla účinnosti. Zároveň pro každý půdní blok byla zjištěna aktuální (bez aplikace jiných opatření) hodnota maximální přípustné hodnoty ochranného vlivu vegetace, což umožnilo pro každý půdní blok zjistit agrotechnické opatření, které by vedlo ke snížení vodní eroze pod přípustnou mez.

Klíčová slova: vodní eroze, USLE, GIS, TPEO

Abstract

The aim of the work was to design and evaluate the effectiveness of several measures leading to a reduction in the rate of water erosion in the soil blocks of the Žichlínek district. The research part of the work described water erosion, which is important especially in terms of arable land and what measures are currently used to reduce it. The evaluation of the rate of water erosion in the area of interest was determined using the universal soil loss equation (USLE). The current state of water erosion in the soil blocks of the Žichlínek cadastral district was taken over from ADAMOŤÁ 2020. The influence of technical measures was simulated by modifying the terrain model. These adjustments consisted of replacing altitude values with NoData values where these measures were proposed. When modeling the accumulation of runoff from such modified rasters, there was in places where NoData the slope was interrupted and thus the total length of the slope was shortened under the proposed measures. In soil blocks, where the slope and length of the slope allowed, the efficiency of contour cultivation to the resulting rate of erosion in the soil blocks was evaluated. In all soil blocks where it was not possible to apply contour farming, the slopes were sufficiently shortened to model the impact of technical measures in order for plowing to take effect. At the same time, the current (without the application of other measures) value of the maximum permissible value of the protective effect of vegetation was found for each soil block, which made it possible to determine agrotechnical measures for each soil block that would reduce water erosion below the permissible limit.

Key words: water erosion, USLE, GIS, TPEO

Obsah

Seznam použitých zkratk a odborných výrazů	10
1 ÚVOD	11
2 CÍL PRÁCE	12
3 LITERÁRNÍ REŠERŠE	13
3.1 Oběh vody	13
3.1.1 Hydrologická bilance a její prvky	18
3.2 Vodní eroze	20
3.2.1 Přípustná míra erozního ohrožení	22
3.3 Protierozní opatření	22
3.3.1 Opatření agrotechnického charakteru	23
3.3.2 Technická protierozní opatření	27
3.3.3 Opatření organizačního charakteru	37
3.3.4 Systém přírodě blízkých protierozních a protipovodňových opatření	38
4.1 Stanovení G_p - maximální přípustné ztráty půdy	46
4.2 Hydrologické skupiny půd v k. ú. Žichlínek	47
5 METODIKA PRÁCE	48
5.1 Organizační a agrotechnická opatření – úprava C faktoru podle C_p	48
5.2 Agrotechnické opatření – orba po vrstevnici	48
5.3 Technická opatření	50
5.3.1 Technická opatření na pravém břehu Lukovského potoka	51
5.3.2 Technická opatření na levém břehu Lukovského potoka	53
5.3.3 Technická opatření na pravém břehu Moravské Sázavy	54
5.3.4 Technická opatření na levém břehu Moravské Sázavy - sever	55
5.3.5 Technická opatření na levém břehu Moravské Sázavy - jih	56
6 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PRÁCE	59
6.1 Maximální přípustná hodnota C faktoru	59
6.2 Účinnost technických opatření	61
6.3 Porovnání jednotlivých variant protierozních opatření v ohrožených blocích	63
7 DISKUZE	65
8 ZÁVĚR	69
9 PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ	70
10 SEZNAM POUŽITÝCH ILUSTRACÍ	74
11 SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK A GRAFŮ	75

12	PŘÍLOHY	76
----	---------------	----

Seznam použitých zkratk a odborných výrazů

CN – Curve Number (číslo krivky).

DPD – díl půdního bloku.

Mil. – Milión.

tj. – To jest.

TPEO – Technická protierozní opatření.

Tzv. – Takzvaně.

USGS – United States Geological Survey (Geologická služba Spojených států).

BPEJ – Bonitovaná půdně ekologická jednotka.

ČR – Česká republika.

DPZ – Dálkový průzkum Země.

GIS – Geografický informační systém.

GPS – Globální polohový systém.

USLE – Universal Soil Loss Equation – Univerzální rovnice ztráty půdy.

ZPF – Zemědělský půdní fond.

1 ÚVOD

Půda je jednou ze základních přírodních složek světa, které nás obklopují. Tvoří značnou část povrchu Země. Šarapatka (2006) říká, že správné složení půdy může značně ovlivňovat kvalitu životního prostředí i jeho ochranu. Stav životního prostředí do určité míry ovlivňuje i kvalitu života člověka a zase naopak, člověk svojí činností značně ovlivňuje stav životního prostředí, ale i stav kvality půdy. Na základě toho, jak zemědělci obdělávají půdu, závisí půdní produktivita, obsah půdních složek nebo vymezení půdních účelů i do budoucna. Nedílnou součástí zemědělství je péče o půdu. Jeden z významných dějů, který ovlivňuje bohatství uložené v půdě je vodní eroze a erozní smyv. Účelem diplomové práce je zaměřením se na návrh komplexních protierozních opatření k. ú. Žichlínek. Na základě získaných údajů se sestaví protierozní opatření pro vybrané zemědělské plochy v daném katastrálním území. Opatření bude navržena z hlediska ochranného, technického a agrotechnického charakteru. Vyjmenované opatření mají za úkol snižovat vlivy negativní vodní a větrné eroze.

2 CÍL PRÁCE

Cílem diplomové práce je návrh komplexních protierozních opatření pro vybrané zemědělské plochy v katastrálním území Žichlínek. Opatření budou navržena v několika variantách tak, aby řešila veškeré hydrologické problémy v zájmovém území.

3 LITERÁRNÍ REŠERŠE

Daná kapitola představuje souhrn teoretických poznatků z oblasti řešené problematiky jako je oběh vody, hydrologická bilance a její prvky, pozemkové úpravy, systém přírodě blízkých protierozních a protipovodňových opatření, či vodní eroze a podobně.

3.1 Oběh vody

Voda je nejdůležitější složkou přírodního prostředí planety Země. Mezi jednotlivými geosférami se tak za mnohá tisíciletí ustálily složité procesy látkové výměny. Voda v krajinné sféře umožňuje nejen pohyb hmoty, ale i její nepřetržitě probíhající přeměnu. Zaujímá také klíčové postavení v životě i činnosti člověka, a její úloha roste s mírou rozvoje společnosti. Významnou vlastností vody je její schopnost nepřetržitě se obnovovat procesem výměny vody mezi světovým oceánem a pevninou. Oceán je převažujícím zdrojem, který v oběhu na Zemi hraje úlohu hlavního dodavatele sladké vody pro pevninu. Je však i prostředím, v němž se uskutečňuje výměna mnoha jiných látek (karbonátový cyklus, salinita) i energie (termohalinní proudění) nejen uvnitř jeho rozsáhlého prostoru, ale i mezi sférami, které ho obklopují (Kněžek, 2013).

Celková plocha zemského povrchu zaujímá asi 510 mil. km². Oceány a moře se rozprostírají na 361 mil. km² (70,8 %) a pevnina na 149 mil. km² (29,2 %). Voda a povrch pevniny jsou na povrchu Země rozloženy nerovnoměrně. Na severní polokouli je pevnina soustředěna na 100 mil. km² a na vodní plochu připadá 155 mil. km², na jižní polokouli zabírá pevnina 49 mil. km² a vodní plocha 206 mil. km². Tato nerovnoměrnost se s ohledem na odlišné vlastnosti jednotlivých prostředí výrazně promítá do oběhu vody, utváření klimatu, vodní bilanci a podobně (Strahler, 2013).

Rozdělení zásob vody na Zemi je v neprospěch sladké vody. Oceány a okrajová moře vytváří světový oceán, v němž je soustředěno 1 338 mil. km³ vody (0,1 % objemu Země). Na pevnině jsou celkové zásoby vody podstatně menší, odhadují se asi na 47,9 mil. km³, z čehož je asi 35 mil. km³ sladké vody. Největší zásoby sladké vody jsou soustředěny v pevninských ledovcích (24 mil. km³), v podpovrchové vodě (23,7 mil. km³) a v jezerech a řekách (13,5 mil. km³).

Z rozložení sladkých vod na souši je zřejmé, že z jejich celkového množství lze pro lidskou společnost využívat jen velice nepatrný podíl (Korenaga a kol., 2017).

Podle Říhu (2014) se ze světového oceánu voda výparem dostává do atmosféry jako vodní pára, dále je unášena nad pevninu, kde kondenzuje a vrací se zpět ve formě srážek. Část srážek odtéká z pevniny řekami a podzemní cestou zpět do oceánu – tuto část pevniny označujeme jako odtokovou oblast. Část pevniny, na níž sice odtok probíhá, ale nekončí ve světovém oceánu, označujeme jako bezodtokovou oblast. Zde končí v bezodtokových jezerech a bažinách, kam dotéká i podzemní voda. Podíl bezodtokových oblastí pokrývá 20 % rozlohy pevniny. Části pevnin, z nichž se uskutečňuje odtok do určitého oceánu, se nazývají úmoří. Ta jsou vzájemně oddělena liniemi hlavního kontinentálního rozvodí. Z ploch úmoří odteče za rok do světového oceánu průměrně asi 40 000 km³ vody. Prostorové rozložení tohoto přítoku vody je z důvodu různého poměru mezi plochou úmoří a plochou oceánu nerovnoměrné.

Stejná nerovnoměrnost se výrazně projevuje i mezi velikosti přítoku vody do částí světového oceánu jižní a severní polokoule. Výrazné jsou také rozdíly ve velikosti přítoku do jednotlivých moří. Příčinou těchto odchylek je výměna vody, která je zajišťována povrchovými i hlubinnými mořskými proudy (Korenaga a kol., 2017).

Přítok vody do oceánů se vyznačuje také nerovnoměrným rozložením v průběhu roku, což je podmíněno režimem srážek a teploty vzduchu – tvorba a tání sněhové pokrývky i ledovců a průběh výparu z povrchu země (Říha, 2014).

Říha (2014) uvádí, že v rámci oběhu vody zaznamenáváme tzv. rámcový cyklus oběhu vody na Zemi, který rozlišujeme na základě odlišností transportu vody, a to na cyklus povrchového odtoku, cyklus podzemního odtoku a atmosférický cyklus. Průběh rámcového mechanismu oběhu vody na Zemi je znázorněn na následujícím Obrázku 1.

Cyklus povrchového odtoku



Obrázek 1 Schéma rámcového mechanismu oběhu vody na Zemi (Zdroj: USGS, 2017)

Velký povrchový odtok probíhá nejčastěji podle schématu oceán – atmosféra – pevnina – povrchový odtok – oceán. Povrchového odtoku se účastní ta část srážkové vody, která se nevypařila ani nevsákla a pohybuje se po povrchu krajiny. Malý povrchový odtok je uzavřený koloběh. Probíhá nad pevninou, kde voda vypařená z pevniny spadne v podobě srážek na tu samou pevninu. Malý povrchový odtok je výrazně ovlivňován typem krajiny, na které se nachází. Znalost malého povrchového odtoku, umožňuje racionální využívání tohoto zdroje pro nejrůznější účely, jako je například vlastní vodní hospodářství. V zásadě se rozlišuje plošný odtok a soustředěný odtok. Plošný odtok představuje nesoustředěné stékání vody po zemském povrchu. Voda se tak hromadí v mělkých sníženinách na povrchu terénu a její stékání je určováno směrem sklonu reliéfu. Tím se vytváří plošný splach, který odnosem uvolněných půdních částic působí jako jeden z erozních činitelů.

Soustředěným odtokem se myslí soustředěné odtékání vody v říčních korytech. Ty vznikaly účinkem hloubkové vodní eroze na krajinu a jejím výsledkem je také členitý erozní reliéf. Cyklu povrchového odtoku se účastní přibližně 40 000 km³ vody a čas oběhu vody trvá průměrně 12 dní (Schneider a kol., 2011).

Cyklus podzemního odtoku

Podzemní odtok probíhá převážně podle schématu oceán – atmosféra – pevnina – infiltrace do horninového prostředí – podzemní odtok do řek – oceán. Objem vody, který se účastní podzemního odtoku, se odhaduje na 12 000 km³. Průměrný čas oběhu se pohybuje kolem 5 000 let, v zóně aktivní výměny je to kolem 330 let. Hlavní procesy tohoto cyklu jsou infiltrace, přirozený výron a podpovrchový odtok (USGS, 2017).

Atmosférický cyklus

Tento cyklus zahrnuje procesy fyzikálního výparu vody, tj. z plochy světového oceánu či vodních útvarů na pevnině – evaporace. Nebo z biologického výparu – transpirace, kombinovaně pak evapotranspirace a výpar z ledu a sněhu – sublimace. Také je tu zahrnut proces tvorby oblaků spojený s přenosem a kondenzací vodní páry a následného vypadávání srážek (USGS, 2017).

Výzkumný ústav vodohospodářský

Výzkumný ústav vodohospodářský (VÚV) vybudoval systém, který poskytuje informace jako základní vodohospodářská mapa v míře 1: 50 000 (vektorová i rastrová). Také poskytuje vrstvy do GIS – tj. říční síť, zdroje znečištění, chráněné oblasti přirozené akumulace vod (CHOPAV), hydrogeologické rajóny, vymezení povodňových zón a také implementace legislativy Evropské unie (VÚV, 2021).

Český hydrometeorologický ústav

Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) se skládá celkem ze tří základních oddělení, přičemž úkoly hydrologické služby jsou (ČHMÚ, 2021):

- správa a provoz sítí pozorovacích stanic,
- primární a sekundární zpracování hydrologických dat,
- správa hydrologické databáze,

- poskytování operativních a režimových informací,
- hydrologické studie, psaní žádostí projektů a grantů.

Získané hydrologické údaje mohou být využity k následujícím činnostem (ČHMÚ, 2021):

- podklady k investiční činnosti ve všech odvětvích národního hospodářství,
- pro sestavení státního vodohospodářského plánu,
- pro racionální využívání vodních zdrojů v krajině a dosažení trvale udržitelné rovnováhy,
- pro stavby přehrad, jezů, nádrží atd., krizová řízení a protipovodňová opatření,
- pro plánování v zemědělství a lesním hospodářství,
- pro zásobování pitnou i užitkovou vodou, návrhu strategií čištění odpadních vod,
- pro výstavbu stavby mostů, propustků na železnici a silnici a podobně.

Oběh vody na Zemi lze vyjádřit jednoduchými rovnicemi, které jsou matematickým modelem jeho bilance. Vstupující prvky oběhu popisujeme takto (Ruda, 2014):

E_o – výpar ze světového oceánu

E_p – výpar z pevniny

S_o – srážky spadlé na hladinu světového oceánu

S_p – srážky spadlé na povrch pevniny

O – odtok z pevniny

Výsledné rovnice bilance pak můžeme uvádět následovně (Ruda, 2014):

$$E_o = S_o + O$$

$$E_p = S_p - O$$

$$S_o + S_p = E_o + E_p$$

3.1.1 Hydrologická bilance a její prvky

Podle *Zákona č.544/2020 Sb. o vodách je vedení vodní bilance* jednou ze základních činností v oblasti zjišťování a hodnocení stavu povrchových a podzemních vod. Vodní bilance podle uvedeného zákona sestává z hydrologické bilance a vodohospodářské bilance, kde hydrologická bilance porovnává přírůstky a úbytky vody a změny vodních zásob na konkrétním území za daný časový interval. Vodohospodářská bilance porovnává požadavky na odběry podzemní a povrchové vody a vypouštění odpadních vod s využitelnou kapacitou vodních zdrojů z hlediska množství a jakosti vody a jejich ekologického stavu.

Hydrologická bilance se stanovuje pro povodí či určité území. Rekapituluje vstupy (srážky, přítok, zásoby) a výstupy (výpar, odtok, úbytek zásob vody) do hydrologického systému (Vizina a kol., 2015).

Podle Viziny a kol. (2017) hydrologickou bilancí, na které je zjišťován vzájemný vztah bilančních prvků a zkoumán odtokový proces představuje povodí. Je to území, vztažené k určitému profilu toku, omezené rozvodnicí – čarou určenou nejlépe z vrstevnicových map vhodného měřítka probíhající po obvodových nejvyšších místech, úbočích, vrcholech, hřebenech a sedlech horstev tak, že odděluje sousedící povodí. Takto určená plocha povodí je plochou, ze které má srážková voda možnost stéct povrchově do říčního systému tohoto povodí a protéci jeho uzávěrovým profilem. Základním bilančním obdobím je v hydrologii hydrologický rok (1. listopad–31. říjen). Hydrologický rok je od občanského roku posunut podle toho, ve kterém klimatickém pásmu se jednotlivé země nacházejí. V podstatě jde o to, aby všechny spadlé srážky v daném období také v něm i odtékly.

Existuje mnoho podob rovnic hydrologické bilance, avšak Kamencová a kol. (2010) pracují s následující formou:

$$Q_z = S - ET - Q_p + P_{pov} + P_{podz} \pm \Delta W$$

kde:

Q_z – základní odtok;

S – atmosférické srážky;

ET – evapotranspirace;

Q_p – přímý odtok;

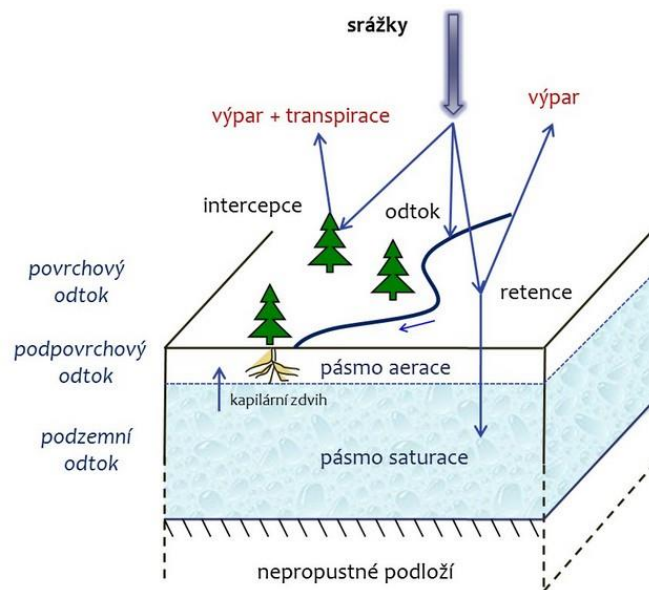
P_{pov} – přítok vody povrchovými vodními toky;

P_{podz} – přítok podzemní vody;

ΔW – změna zásob vody v území.

Při hydrologické bilanci se uvažuje o předpokladu, že jediným ze zdrojů vody v rámci jejího oběhu v přírodě, jsou srážky.

Obrázek 2 představuje stručné schéma, které je tvořeno procesem podílejícími se na hydrologické bilanci daného povodí.



Obrázek 2 Procesy podílející se na hydrologické bilanci daného povodí (Zdroj: USGS, 2017)

Rovnice vodní bilance mohou být sestavovány pro jakékoli území řek, jezer. Musí se však sestavovat jako průměr za určitou časovou řadu. Celková podoba rovnic vodní bilance je však pouze přibližná, protože přesné zjištění požadovaných ukazatelů je velmi problematické (Ruda, 2014). Diverzita hodnot jednotlivých prvků vodní bilance se mění místo od místa. Nejvyšší výpar z oceánů je spojen s velkou ariditou v pásmu pasátů na obou polokoulích. Směrem k pólům i k rovníku od těchto pásů se výpar z hladiny oceánů zmenšuje. Tuto obecnou zákonitost změn velikosti výparu narušují teplé a studené mořské proudy, které hodnoty výparu ve stejných zeměpisných šířkách poněkud pozměňují (Korenaga a kol., 2017).

Za vstup do hydrologického cyklu můžeme považovat srážky. Při jejich dopadu na neprostupný povrch dochází k jejich retenci (zadržování), následnému výparu, nebo přímo k povrchovému odtoku. V případě kontaktu s vegetací dochází

nejdříve k intercepci (zadržení vody vegetací) a následnému výparu. Poté se voda dostane přímo do půdy a kořenovým systémem do transpiračního proudu rostlin. Odtud se transpirací (fyziologickým výparem) vrací do atmosféry. Na povrchu půdy se může část vody zachytávat formou povrchové retence a zbytek infiltruje (vsákne se) do pásma aerace (provzdušnění), odkud prosakuje do hlubších vrstev, až dosáhne hladiny nasycení (podzemní vody). Voda, které tohoto pásma nedosáhne, odtéká formou hypodermického (podpovrchového) odtoku. Z pásma nasycení odtéká voda buď ve formě základního podzemního odtoku, nebo se kapilárním zdvihem dostává do pásma aerace. Z říčné sítě se naopak procesem břehové infiltrace dostává voda do pásma nasycení (Vlnas, 2015).

3.2 Vodní eroze

Vodní eroze je definována jako komplexní proces, zahrnující rozrušování půdního povrchu, transport a sedimentaci uvolněných půdních částic působením vody (MZe, 2011).

Povrchový odtok způsobený krátkými a intenzivními přívalovými dešti se srážkovým úhrnem nad 20 mm se podílí na erozivních účincích v největší míře. Voda stékající po svazích s velkým sklonem stéká ze svahu a síla, kterou působí na půdní podloží může způsobovat erozivní účinky nepředstavitelných rozměrů. Zejména pole oraná v jarním období a dále půda bez vegetačního krytu je vymílána v největší míře. V klimatologických podmínkách České republiky je takto půda nejvíce ohrožena na jaře a v létě (Janeček, 2012).

Vodní eroze je vyvolána kinetickou energií dešťových kapek dopadajících na půdní povrch a mechanickou silou povrchově stékající vody. Povrchový odtok vzniká z přívalových nebo dlouhotrvajících srážek, ze sněhových vod při jarním tání, a také koncentrací vody v přirozené i umělé hydrografické síti říká, že povrchový odtok vzniká po zaplnění mikro-akumulačních prostor na povrchu půdy vlivem intenzity a úhrnu deště, který je větší než vsakovací schopnost půdy. Erozi může vyvolat i voda stojatá (rybniční, jezerní, mořská), která způsobuje erozi pobřežní, jenž je způsobena vlnobitím (Alewell, 2015).

Existuje několik forem vodní eroze. Formy vodní eroze jsou zde uvedeny pro úplnost a celkovou představu o formách vodní eroze. Základním dělením forem

vodní eroze je dělení na formy podle toho, zda erozní činitelé působí nad půdním povrchem – povrchová vodní eroze, nebo pod půdním povrchem – podpovrchová vodní eroze. Novotný (2017) dělí formy eroze následovně:

Forma eroze	Subforma eroze	Specifikace formy	Vhodná skupina nápravných opatření
Plošná	---	rovnoměrný smyv půdních částic po celé ploše, vyplavovány jsou především jemnozrné frakce půdy nebo ztráta celé orniční vrstvy na celém povrchu nebo pružích	organizační a agrotechnická opatření
Výmolová	Rýžková	hustá síť drobných úzkých rýžek širokých a hlubokých 2–10 cm	organizační agrotechnická i technická opatření
	Brázdová	mělké širší zářezy s menší hustotou výskytu	organizační agrotechnická i technická opatření
	Rýhová	rýhy široké a hluboké 10–30 cm	technická opatření v kombinaci s organizačními a agrotechnickými
	Výmolná	výmoly (často s kaskádovitými stupni) hluboké a široké 30–100 cm v místech koncentrace a soutoku přívalových vod v úžlabinách, údolnicích, cestách a příkopech	asanace výmolu; stabilizace dráhy soustředěného odtoku, v kombinaci s organizačními a agrotechnickými opatřeními
	Stržová	strže hluboké a široké více než 1 metr, s délkou často větší než 1 km	asanace strže; stabilizace dráhy soustředěného odtoku, v kombinaci s organizačními a agrotechnickými opatřeními

Tabulka 1 Dělení forem eroze (Zdroj: Novotný, 2017)

Při pohledu na vodní erozi můžeme rozlišovat její různé druhy, a to podle toho, jak voda působí na erodovaný materiál. Mechanickou erozní činnost vody označujeme jako korazi, chemickou jako korozi. Při krouživém pohybu vody, které vymílá horninu, mluvíme o erozi. Při obrušování skalního podkladu na dně vodních toků, jezer či moří hovoříme o abrazi. Vodní eroze má u půd za následek nejen snižování orniční vrstvy smyvem, ale i zhoršení fyzikálních a chemických vlastností a tím zhoršení vodního režimu. Se zřetelem na zhoršení sorpční schopnosti erodované půdy dochází i k menšímu využití živin v půdě, včetně živin dodaných ve formě průmyslových hnojiv. Smyvem půdy se dostávají do vodního toku spolu s pevnými zemitými částicemi i chemické látky používané k hnojení a k ochraně rostlin (MZe, 2021).

V České republice je vodní erozí ohroženo zhruba 54 % orné půdy. Na území státu je 43% orné půdy se sklonem 3 až 7°, 9,8 % se sklonem 7 až 12°, 0,7 % se sklonem nad 12°. Ornou půdu se sklonem nad 3° je nutno pokládat za půdu ohroženou erozí a je ji třeba chránit. Orná půda se sklonem nad 3° je ohrožována vodní erozí. Hodnota negativních dopadů eroze půdy se za současného stavu pohybuje mezi 4–10 mld. Kč/rok, je tuto hodnotu nutné zredukovat na hodnoty 3–8 mld. Kč/rok, do roku 2025 na hodnotu 2–5 mld. Kč/rok a do roku 2025 na hodnotu 2 – 3 mld. Kč/rok. Dalším strategií sledovaným indikátorem je plocha DZES 5, jejíž výměru orné půdy je potřeba od roku 2022 zvýšit na 35 %, od roku 2026 na 45 % a do roku 2030 na 60 % orné půdy. (MZe, 2021).

3.2.1 Přípustná míra erozního ohrožení

Dle Janečka (2012) se nikdy na zemědělské půdě nedá dosáhnout tak nízká míra erozní ohroženosti jako na lesní půdě. Na základě toho existují různé hodnoty pro typy půdy, které jsou přípustné pro ztrátu půdy. U hlubokých až středně hlubokých půd je přípustná ztráta půdy 4 t/ha/rok. A naopak půdy, které jsou mělké, u nich je přípustná hodnota 1 t/ha/rok. V případě mělkých půd je však dalším efektivním řešením změnit jejich zemědělské využití, a to třeba založením travního porostu, realizací výsadby zeleně, případně vysazením lesního porostu.

3.3 Protierozní opatření

Protierozní opatření představují soubor opatření organizačního, agrotechnického a stavebního charakteru, který je na zemědělských pozemcích, respektive v krajině, podle konkrétních přírodních a hospodářských podmínek vhodně uplatňován v zájmu zachování půdy jako výrobního prostředku zemědělství a základní složky životního prostředí (Doležal, a kol., 2010).

Erozní ohroženost byla v minulosti zvýšena velkovýrobními systémy zemědělského hospodaření, které si vynutily změny struktury krajiny. Tato změna byla zapříčiněna zejména scelováním zemědělských pozemků, jejich odvodněním a odstraněním krajinných prvků jako byly remízky, meze či mokřady což má v dnešní době vliv na retenční schopnost krajiny, která tím byla výrazně snížena. S tím souvisí

zejména zvýšení erozní ohroženosti a také zvýšený výskyt povodní (Dzuráková a kol., 2017).

3.3.1 Opatření agrotechnického charakteru

Protierozní agrotechnická opatření jsou plošná opatření, která zvyšují vsakovací schopnost půdy, snižují její erodovatelnost a chrání půdní povrch především v období největšího výskytu přívalových srážek (červen, červenec, srpen), kdy erozně nebezpečné plodiny (kukuřice, brambory, cukrová řepa, slunečnice a podobně) svým vzrůstem nebo zapojením nedostatečně kryjí půdu (Kadlec et al. 2014).

Z hlediska ochrany půdy je zde orba nahrazena za mělkým kypřením nebo hlubším prokypřením ornice bez obracení obhospodařované vrstvy půdy. Z hlediska přípravy a realizace se jedná o krátkodobá opatření agrotechnického charakteru (VUV TGM, 2021).

1. Setí nebo sázení po vrstevnici

Orbou po vrstevnicích nebo s malým odklonem do 30° od vrstevnic otočnými pluhů, které překlápějí půdu proti svahu, je možné významným způsobem přispět k ochraně půdy před erozí. Překlápěním půdy proti svahu je navíc možno výrazně omezit tzv. erozi orbou, která je u nás zatím podceňována. K protierozní ochraně také přispívá provádění dalších agrotechnických operací tímto způsobem. Vrstevnicové obdělávání je podmíněno možnostmi použití mechanizačních prostředků pro jejich práci na svahu (Novotný a kol., 2016).

2. Setí kukuřice do úzkého řádku

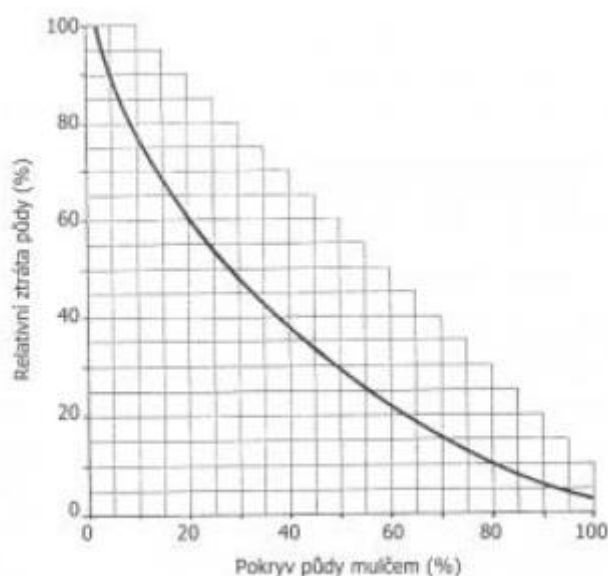
Jde o novou technologii, která je v současné době testována, kdy je secí stroj nastaven na výsevní vzdálenost řádku kukuřice maximálně na 45 cm. Zrna jsou seta v trojúhelníkovém sponu v počtu cca 110 tisíc jedinců na 1 ha. Zúžená rozteč řádků zajistí rovnoměrnější zapojení porostu, čímž je omezena síla soustředěného povrchového odtoku a dochází k částečnému zvýšení ochrany půdy proti erozi. Tuto technologii je nezbytné kombinovat se setím do mulče (Novotný a kol., 2017).

3. Pásové zpracování půdy

Další opatření, které je v současné době testováno na naše podmínky je systém strip-till, který se definuje jako vytvoření pásového zpracování půdy o šířce cca 15 cm s hloubkou zpracování půdy mezi 15 až 25 cm se současným uložením minerálního hnojiva. Tuto operaci lze provést na podzim nebo na jaře, kdy o provedení rozhodují především půdní podmínky. Jde o novou a v našich podmínkách nedostatečně odzkoušenou technologii, která se z hlediska ekonomiky a některých nákladových položek chová úsporně (např. spotřeba minerálních hnojiv), ale vzhledem ke specifčnosti požadované technologie se musí vyšší odpisy stroje kompenzovat dostatečnou sezónní výkonností. Do budoucna je to možný perspektivní způsob agrotechniky i u dalších erozně nebezpečných plodin např. cukrovky, čiroku a slunečnice (Výzkumní ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 2019).

4. Ochranné obdělávání

Tato technologie spočívá v uchování co největšího množství posklizňových zbytků po předplodinách na povrchu půdy vytvářením pokryvu mulčem a v nenarušování půdního profilu, aby se tento mohl vyvíjet přirozeným způsobem a nadměrným provzdušňováním nedocházelo k přílišné akceleraci mineralizace živin a tím ochuzování o humus, což má ve svém důsledku dopad na zhoršování fyzikálních vlastností půd. Ochranný vliv závisí na stupni pokrytí půdy mulčem, výšce a rovnoměrnosti mulče a na způsobu zpracování půdy (Novotný a kol., 2017).



Obrázek č. 3 Relativní ztráty půdy vodní erozí na pokryvu půdy mulčem (Janeček et al., 2008)



Obrázek č. 4 Mulč z posklizňových zbytků kukuřice (Kadlec et al., 2014)

5. Hrázkování

Technologie hrázkování je použitelná při pěstování brambor a spočívá v založení ochranných hrázek v meziřadí hrůbků. Hrázkovačem se založí ve stejné vzdálenosti hrázky mezi hrůbky, čímž vznikne řada malých akumulčních příkopů, které brání vzniku soustředěného povrchového odtoku a podporují zadržení vody přímo na pozemku (Janeček et. al. 2012). Hrázkování lze provést následovně (Výzkumní ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 2019):

- provádí se bezprostředně po výsadbě brambor speciálním strojem – hrázkovač,
- řádky musí být vedeny vrstevnicově,
- aby bylo opatření co nejúčinnější, max. nepřerušovaná délka pozemku po svahu (spádnici) by neměla přesáhnout 300 m.

6. Důlkování

Technologie důlkování je použitelná obdobně jako hrázkování u brambor, místo hrázek jsou ale vytvářeny důlky. Jde o klasickou technologii pěstování s cílem vytvořit důlky v meziřadí ve vzdálenosti 30–40 cm. Důlky omezují povrchový odtok

v meziřadí a zvyšují infiltraci vody. Zpravidla se uvažuje, že lze na 1 ha vytvořit 28 000 důlků o objemu 2litre, což představuje možnost zadržení $56 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ (Janeček et. al., 2012). Důlkování lze provést následovně (Výzkumní ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 2019):

- provádí se bezprostředně po výsadbě brambor speciálním strojem – důlkovačem, který je možno připojit za zahrnovací radlice sazeče a tělesa oborávače brambor,
- řádky musí být vedeny vrstevnicově,
- aby bylo opatření co nejúčinnější, max. nepřerušovaná délka pozemku po svahu (spádnici) by neměla přesáhnout 300 metrů.

7. Plečkování

Plečkování je meziřádková kultivace, která se provádí v průběhu vegetace u širokořádkových kultur (kukuřice, slunečnice, cukrovka, brambory). Plečky jsou jak s pasivními pracovními orgány (radličky), tak i aktivními. Výhodou je jak odplevelovací efekt mechanickou cestou (snížení potřeby herbicidů), ale zároveň i efekt protierozní, kdy nakypřená vrstva půdy v meziřadí zabraňuje rychlému odtoku povrchové vody a tím omezení vodní eroze (Novotný a kol., 2016).

8. Dlátování

Dlátování (hloubkové kypření) je využitelné zejména u cukrové řepy, kdy pasivními dláty kultivujeme meziřadí rostlin a docílujeme vyššího efektu zasakování povrchové vody než u plečkování (Novotný a kol., 2017).

9. Podrývání

Podrývání představuje technologii, která omezuje působení vodní eroze a zároveň snižuje stupeň zhutnění půd (Kadlec et. al., 2014). Podrývání je v podstatě velmi hluboké kypření (min. do hloubky 35 cm). K podrývání je možné využít dlátové kypřiče (různého konstrukčního řešení), kombinované kypřiče nebo podrýváky, které umožňují prokypření půdy při minimálním narušení jejího povrchu. Podrývání představuje technologii, která zlepšuje infiltrační vlastnosti půdy, snižuje stupeň zhutnění a tím následně snižuje náchylnost půdy k vodní erozi. Pracovní hloubku kypřiče/ podrýváku při podrývání lze stanovit právě podle hloubky zhutnění nebo vlhkosti zpracovávané půdy, vždy však musí být minimálně 35 cm. Při hlubším

kypření je nutné zohlednit vlhkost půdy, která by měla být v době kypření drobná (půdní masa se rozpadá při mírném tlaku). Hloubka podryvání by měla být minimálně o 5–10 cm větší, než je zemědělcem využívaná hloubka orby (Výzkumní ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 2019).

3.3.2 Technická protierozní opatření

Technická protierozní opatření se navrhují obvykle po vyčerpání možností řešení ochrany proti negativním účinkům vodní eroze organizačními a agrotechnickými opatřeními, většinou jako jejich doplnění. Pokud se potřeba protierozních opatření týká většího rozsahu zemědělských pozemků v jednom katastrálním území, je vhodné ochranu půdy řešit v rámci komplexních pozemkových úprav. Jednotlivá opatření je možno navrhovat a realizovat v rámci podpůrných a dotačních programů na protierozní ochranu, protipovodňovou ochranu nebo rozvoj venkova. V úrovni zemědělského podnikatele je nejvyšší doporučenou formou protierozního opatření trvalé zatravnění pozemku, technická protierozní opatření proto představují určitou nadstavbu. TPEO jsou nejčastěji navrhovaná k ochraně intravilánu, liniových staveb (infrastruktura) nebo sousedních pozemků před nežádoucím povrchovým odtokem a smytou zeminou. Efektivní přístup představuje kombinovat TPEO s prvky ekologické kostry krajiny, čehož lze nejlépe dosáhnout v rámci komplexních pozemkových úprav, kdy se současně řeší majetko-právní vztahy a řada dalších otázek. Základním principem technických protierozních opatření je (Výzkumní ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 2019):

- přerušení délky pozemku po spádnicí a bezpečné odvedení soustředěného povrchového odtoku (příkopy, průlehy, údolnice),
- zachycení smyté zeminy a povrchového odtoku, jeho zdržení a neškodné odvedení (hrázky, sedimentační, retenční a suché nádrže),
- změna sklonu pozemku (terénní urovnávky, terasování, historické meze).

Zásadním rozdílem proti ostatním „měkčím“ typům protierozních opatření je jejich technický charakter, který se promítá do způsobu navrhování a realizace. TPEO jsou opatření investičního charakteru, které podléhají stavebnímu zákonu. Z uvedeného vyplývá, že se TPEO navrhují tak, aby jednak zajistila protierozní ochranu pozemku (přípustná volná délka svahu, sklon svahu), ale současně, aby byla

schopna plnit svou funkci v předem stanovených podmínkách. Jde především o to, že TPEO je třeba navrhovat a dimenzovat na určitou zcela jednoznačnou míru bezpečnosti, vyjádřenou dobou opakování přírodního jevu, před kterým mají svoji ochranu poskytovat. Ta by se podle významnosti chráněné lokality měla pohybovat od minimálně 5 let v běžných podmínkách po 20–50 let při ochraně intravilánu nebo jiné významné infrastruktury. V odůvodněných případech je možné TPEO navrhovat na dobu opakování až 100 let. Právě z důvodu nutnosti zavedení doby opakování a návrhových podmínek nelze pro projektování a dimenzování vystačit se standardním přístupem k protierozní ochraně, založeným na univerzální rovnici ztráty půdy a je nutné využít metody a nástroje epizodně orientované. Kvantifikaci vyjádřenou hodnotu faktoru P v USLE nelze pro dimenzování TPEO přijmout jako postačující (Janeček a kol., 2012).

Protierozní ochrana zemědělské půdy nejčastěji rozeznává následující typy technických protierozních opatření (Výzkumní ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 2019):

- příkopy,
- průlehy,
- zatravněné údolnice se stabilizovanou dráhou soustředěného odtoku,
- polní cesty s protierozní funkcí,
- ochranné hrázky,
- ochranné nádrže,
- terénní urovnávky,
- terasy,
- protierozní, meze,
- asanace erozních výmolů a strží.

1. Protierozní příkopy

Protierozní příkop je liniový prvek, umístěný na pozemku v místě nutného přerušení svahu. Může být kombinován s dalšími liniovými prvky v krajině (mezi, cestou, pásovým obděláváním, biokoridorem a podobně). Příkop je na pozemku vrstevnicově orientován s mírným podélným sklonem. Nejčastěji mívá lichoběžníkový profil se šířkou ve dně 0,3–0,6 m, hloubkou mezi 0,6–1,2 m a sklonem svahů 1:1,5–1:2. Jeho podélný sklon a příčný profil je třeba dimenzovat

některou z běžně používaných inženýrských metod. Příkopy jsou dimenzovány na dobu opakování srážky nejméně 5 let, pokud je cílem jen ochrana vlastního zemědělského pozemku (Janeček a kol., 2012). V případě, že cílem budování příkopu je ochrana intravilánu nebo jiné infrastruktury nebo vodního útvaru, je míra ochrany vyšší odpovídajícím způsobem dle konkrétních podmínek (zpravidla na srážku s opakováním 10–50, výjimečně i 100 let). Příkop je třeba následně posoudit z hlediska stability dna a svahů a v případě nutnosti opevnit. Z důvodu nezbytnosti údržby a čištění se dává obvykle přednost hladkým betonovým prvkům – například žlabovkám, někdy je využíváno polovegetačních tvárnic, často je využito dlažby nebo žlabovek ve dně a patách svahů, nad nimi jsou pak svahy stabilizovány řadou polovegetačních tvárnic. Z hlediska údržby je třeba počítat s nutností pravidelného čištění příkopů, a to včetně objektů na nich (Výzkumní ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 2019).

Existují příkop zachytný Příkop zachytný se buduje nad zájmovým pozemkem nebo lokalitou a brání přítoku vnějších vod na pozemek.), příkop svodový (příkop svodný je recipientem příkopů sběrných, případně zachytných a ty jsou vedeny v minimálním spádu a jejich cílem je vodu zachytit a odvést mimo pozemek) a příkop sběrný (příkop sběrný je budován přímo v rámci chráněného zemědělského pozemku s cílem zkrátit volnou délku povrchového odtoku tak, aby nedocházelo k překročení přípustné ztráty půdy) (Novotný a kol., 2017).



Obrázek č. 5 Příkop svodný – příčný řez – příklad (VÚMOP, 2021)

2. Průlehy

Protierozní průleh je svou funkcí velmi blízký protieroznímu příkopu. Hlavní odlišnost spočívá v hloubce průlehu, který bývá mělký a sklonu jeho svahů, které by neměly překročit 1:5 – zpravidla se navrhuje mírnější (např. 1:10) tak, aby objekt byl přejezdný, případně i obdělávatelný. Díky požadavku na sklon svahů je průleh aplikovatelný na mírnějších pozemcích o sklonu pod 10 %. Příčný profil průlehu je nejčastěji zatravněný a je posuzován jednak na kapacitu a jednak na stabilitu – nevymílací rychlosti (Janeček a kol., 2012).

Z hlediska omezení hospodaření na pozemku oproti příkopu na jedné straně zabírá průleh více prostoru, na druhé straně ale podstatně méně omezuje hospodaření tím, že je přejezdný. Co se týče doplňkových součástí průlehů, stejně jako u příkopu je velmi žádoucí zakládat nad průlehem pás trvalého travního drnu v šířce minimálně 5 m pro zachycení smyté zeminy před vstupem do průlehu, a tedy i hydrografické sítě. Vhodná je i výsadba vegetace podél průlehu, možno je doplnění zemní hrázkou s funkcí zvýšení kapacity průlehu. Co se týče prostorového uspořádání, stejně jako příkop, i průleh může být záchytný, sběrný nebo svodný. Platí zde stejné zásady i omezení jako u příkopů. V případě že průlehy budou mít velmi mírné sklony svahů a

mírný podélný sklon, tak, že budou běžně obdělávatelné, je možné je na chráněném pozemku seskupovat i do soustav ve vzdálenostech kolem 20–50 m (Novotný a kol., 2017).

3. Zatravněné údolnice se stabilizovanou dráhou soustředěného odtoku

Zatravněné údolnice představují dráhy povrchového odtoku, kde dochází k soustředování odtékající vody. Údolnice mohou soustřeďovat a odvádět buď plošný povrchový odtok z přilehlých pozemků, nebo mohou být recipientem protierozních příkopů nebo průlehů. Stabilitu těchto drah je nezbytné posuzovat hydraulickými a hydrologickými metodami (kritická rychlost, tečné napětí) a v žádném případě nelze vystačit s USLE. K definici drah soustředěného odtoku je možno přistoupit buď empiricky na základě čtení morfologie terénu, nebo s využitím plně distribuovaných výpočetních metod a modelů. Dráha soustředěného odtoku se dimenzuje na základě podrobné znalosti příčného profilu údolnice tak, aby šířka trvalého zatravnění kvalitním drnem byla dostatečně velká a vytvořila dostatečně kapacitní miskovitý příčný profil. Pro návrh je třeba využít některou z metod pracujících na epizodním základě (pracuje s konkrétní návrhovou srážkou) a pracovat se zabezpečeností návrhu jak pro dimenzování na návrhový průtok, tak pro posouzení stability profilu při návrhovém průtoku (Výzkumní ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 2019).

Rizikovým místem zatravněných údolnic je přechod mezi plochou pozemku a prostorem zatravněné údolnice. V tomto místě velmi snadno může obděláváním vznikat buď brázda, nebo hrázka. Obojí pak brání přítoku vody do zabezpečené údolnice a generuje soustředěný odtok po nechráněném povrchu podél. Proto je nezbytné, aby farmář věnoval tomuto místu mimořádnou pozornost. Profil údolnice je stabilizován jen trvalým drnem, který by pro vyšší stabilitu měl být pravidelně sečen a udržován. Ve výjimečných případech je možno v údolnici vybudovat trubní drenáž pro ochranu drnu před zamokřením. Pokud není údolnice jednoznačně formována, je možné ji pomístně upravit do požadovaného příčného profilu – v tom případě se pohybujeme na pomezí zatravněné údolnice a svodného průlehu. I údolnice je možno s výhodou využít pro diverzifikaci krajiny tím, že se podél travního pásu vysází vegetace – v tom případě by ale mělo jít o solitérní stromy, nikoliv pás křovin, protože pro správnou funkci zatravněné údolnice je nutná

pravidelná a pečlivá údržba hranice mezi ornou půdou a drnem (Janeček a kol., 2012).

Z hlediska omezení využívání pozemku se jedná o bezproblémové opatření, protože údolnice je přejezdná ve všech směrech a jediný požadavek je, aby farmář nepoškodil mechanizací zapojený drn, nebo nevytvořil koleje, odvádějící průtok mimo zamýšlený směr (Novotný a kol., 2017).

4. Polní cesty s protierozní funkcí

Polní cesta s protierozní funkcí je kombinovaným typem opatření, kdy běžná místní komunikace je cíleně vedena v přibližně vrstevnicovém směru a je umístěna do prostoru, kde je třeba přerušit příliš dlouhý a erozně ohrožený svah. Cesta je na straně proti svahu doplněna cestním příkopem, který v tomto případě má funkci nejen odvodnění komunikace, ale i zachycení povrchového odtoku z výše ležícího pozemku. Příkop se v tomto případě dimenzuje stejně jako protierozní příkop, nicméně musí splňovat i požadavky, kladené na cestní příkopy (Janeček a kol., 2012).

Rizikovým místem bývá křížení cesty s lokálními údolnicemi, kde mohou vznikat bezodtoká místa. Pro takový případ je ideální vybudování propustky v nejnižším místě a odvedení vody dolů údolnicí v podobě zatravněné údolnice, svodného průlehu nebo svodného příkopu. Důsledně je třeba zajistit neškodné odvedení vody příkopem až do recipientu. V případě nutného odlehčení odtoku vody v příkopu po trase z důvodu jeho nedostatečné kapacity je tak možné učinit například do stabilních zatravněných údolnic nebo stabilizovaných svodných příkopů nebo průlehů (Novotný a kol., 2017).

Z hlediska omezení využívání pozemku se jedná o opatření s minimálními dopady. Cesta zajišťuje pohodlný přístup na přilehlé pozemky, nutné je jen vybudovat na vhodných místech sjezdy z cesty na pozemky. Příkop je nutné pravidelně čistit od sedimentů. Polní cesty s protierozní funkcí jsou typem opatření, které s největší pravděpodobností bude realizováno jen v případě zpracování komplexních pozemkových úprav pro daný katastr (Novotný a kol., 2017).



Obrázek č. 6 Polní cesta s protierozní funkcí (Stejskal, 2020)

5. Ochranné hrázky

Ochranné hrázky jsou používány buď ve spojení se záchytným příkopem, nebo průlehem (umístěným vždy nad hrázkou) – pak se jedná v zásadě o protierozní mez, nebo samostatně. V takovém případě jde nejčastěji o ochranu určité lokality před povrchovým odtokem z výše ležících pozemků a hrázka je budována při dolním okraji pozemku. Při návrhu je nejdůležitější důsledné vrstevnicové vedení s mírným odklonem, bez bezodtokých míst, kde by hrozila koncentrace přitékající vody a následné přelítí a protržení hrázky. V zahraniční literatuře jsou protierozní hrázky často prezentovány jako struktura vybavená vzdouvacím, nebo výpustným zařízením. V podmínkách ČR takové řešení není používáno, protože vyžaduje pravidelné čištění, údržbu a pro dosažení požadovaného efektu i operativní manipulaci. Prostá zemní hrázka umožní zachycení povrchového odtoku a jeho případné odvedení mimo chráněnou lokalitu (Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 2019).

6. Protierozní nádrže

Protierozní nádrže jsou nejvyšší formou ochrany intravilánu a infrastruktury před následky transportu smyté zeminy a povrchového odtoku z pozemků. Nádrže jsou navrhovány nejčastěji jako suché, bez trvalého nadržení vody. Nádrže se navrhuje podle požadavků normy na malé vodní nádrže, případně suché nádrže. Je

nezbytné jejich dimenzování na dostatečnou míru ochrany – zpravidla na odtok ze srážky s opakováním 20 až 50 let, v odůvodněných případech 100 let. Nádrže, u kterých se předpokládá masivní přísun smyté zeminy, je nezbytné doplnit vybavením, které umožní pravidelné čištění retenčního prostoru (zpevněný sjezd do prostoru zdrže, manipulační plocha) (Novotný a kol., 2017).

Od protierozních nádrží se všeobecně předpokládá dvojitý efekt – jednak zachycení smyté zeminy a jednak transformace povodňové vlny, vytvořené povrchovým odtokem ze zemědělských pozemků. Pokud je hlavním cílem jen zachycení sedimentu a objem odtoku z plochy povodí nádrže je malý, zachycuje zpravidla nádrž celý objem odtoku, který je následně po usazení sedimentu, pomalu vypouštěn. Pokud nádrž transformuje povodňovou vlnu, jedná se o klasickou suchou protipovodňovou nádrž, která přitékající vodu zachycuje a pozdrží, nicméně, není zachycena celá vlna. Oba typy se od sebe budou lišit složitostí návrhu, nároky na provedení a nutným vybavením doplňkovými funkčními objekty. V každém případě je sedimentační nebo suchá nádrž významným technickým dílem – hydrotechnickou stavbou, vzdouvající vodu a musí být, proto navržena a postavena podle platných norem a k tomu autorizovanou osobou (Novotný a kol., 2017).

7. Terénní urovnávky

Terénní urovnávky spočívají především v odstranění lokálních nerovností a terénních útvarů, které významným způsobem ovlivňují směrování a soustředování povrchového odtoku. Nejběžněji se tak v praxi jedná o odstraňování mělkých údolnic na pozemcích. Toto opatření je opět možno provádět přesunem zeminy přímo v rámci pozemku pouze na hlubokých půdách nebo s využitím navážek (Výzkumní ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 2019).

8. Terasy

Terasy jsou nejvyšší formou ochrany zemědělského pozemku před vznikem eroze a hodí se pro velmi svažité a ohrožené pozemky, orientačně se sklonem nad 20 %. Z hlediska konstrukčního se dělí na terasy úzké (1–2 řady ovocných stromů nebo vinné révy), široké (3 a více řad vinné révy nebo ovocných stromů, případně další běžné zemědělské plodiny) a terasové dílce (nepravidelné útvary kde délka nemusí být převažujícím rozměrem). Z hlediska stabilizace se dělí na terasy se svahem stabilizovaným technicky (opěrná zeď z kamene či betonu) nebo terasy

zemní, bez technické stabilizace svahu. Svah je v tomto případě stabilizován jen vegetací. Terasy s technickou stabilizací zabírají méně místa, jsou ale finančně i technicky podstatně náročnější, terasy se zemním svahem mají větší nároky na plochu, jsou ale technicky i finančně jednodušší. Sklon svahu se v tomto případě pohybuje od 1:1 do 1:1,5 podle výšky svahu a půdních podmínek (Novotný a kol., 2017).

Terasy je možno navrhovat na hlubokých půdách (čím širší je plošina terasy a vyšší stupeň, tím mocnější musí být půdní profil) a ekonomicky reálný je jejich návrh buď v místech, kde terasy dodávají krajíně její osobitý ráz nebo tam, kde se jedná o produkci zvláštních plodin (vinná réva, sady, ...). V praxi dnes terasování bude přicházet v úvahu díky extrémní finanční náročnosti jen ve zcela ojedinělých případech. Zvláštní pozornost je třeba věnovat jednak návrhu a stabilitě svahu mezi jednotlivými úrovněmi teras a jednak odvodnění jednotlivých teras (Novotný a kol., 2017).

Pro návrh jsou zde opět využívány jak hydraulické a hydrologické metody, tak postupy geotechnické. Díky výrazné specifčnosti této problematiky je tato kapitola omezena na naprosté informační minimum a případný zájemce je odkázán na konzultaci s inženýrem specialistou (Novotný a kol., 2017).

9. Protierozní meze

Vhodné je protierozní meze dělit na meze historické a současné, navrhované primárně za účelem protierozní ochrany. U nově navrhovaných protierozních mezí je důraz kladen na spojení funkcí zachytit a odvést povrchový odtok s funkcí krajínotvornou. Protierozní mez je navrhována jako nízká hrázka, zpravidla spojená s mělkým příkopem či průlehem. Hrázka bývá osázena vhodnou vegetací, případně je možno na ní umístit kameny, nebo další prvky, vnášející do krajiny diverzitu. Hrázka má u meze zpravidla funkci stabilizační (stabilizuje trasu v převážně vrstevnicovém směru) a jasně vymezuje prostor pro výsadbu vegetace. Pokud má mít i funkci retenční – tedy počítá se, že voda dosáhne nad její patu – musí být hrázka meze koncipována k této funkci – musí být náležitě hutněna a její koruna musí být vodorovná, resp. musí sledovat sklon úklonu meze od vrstevnic a neměly by v ní být sníženiny, kde by mohlo dojít k soustředěnému přelítí vody. Hlavní protierozní funkci by měl mít příkop nebo průleh, který musí být umístěn vždy nad hrázkou

meze. Při správném návrhu by měla být dosažena rovnost výkopu a násypu – tedy materiál, který je vytěžen při hloubení příkopu nebo průlehu je uložen do hrázky meze (Výzkumní ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 2019).

Prostor hrázky meze, případně i širší pás, je vhodné využít jako interakční prvek a osázet ho vegetací. V tom případě je vhodné volit místně příslušné a původní druhy v co největší variabilitě co do dlouhověkosti, rychlosti růstu, výšky, doby kvetení i dozrávání plodů. Vhodné je do výsadeb zařadit i ovocné, nebo plané ovocné stromy a keře – pokud to dovolují lokální vyhlášky o ochraně rostlin a povolených výsadbách (Novotný a kol., 2017).

Z hlediska údržby je třeba počítat jen s nutností závlahy výsadeb po dobu cca 3 roky po vysazení a případným ožínáním, resp. ochranou před okusem. Vlastní těleso meze (hrázky meze) žádnou údržbu nepotřebuje. Příkop nebo průleh nad mezí by měl být dimenzován (podrobněji viz kapitola o příkopech a průlezích), případně opevněn v závislosti na dimenzi a podélném sklonu. Užitečné je alespoň občasné vysekávání trávy v profilu průlehu pro udržení kvalitního a stabilního drnu v případě, že tento je stabilizován jen travním porostem. Sečen by měl být i ochranný travní pás nad mezí. Důležité je dořešení bezeškodného odvedení zachyceného odtoku až do recipientu (VÚMOP, 2021).

Z hlediska omezení využití pozemku se jedná o opatření poměrně náročné, neboť je žádoucí, aby byla mechanizací překonávána na co nejméně místech – v těchto místech je vhodné přerušit hrázku meze a v případě příkopu je nutno vybudovat propustek nebo jiný přejezd. V každém případě, mez je prvkem velmi atraktivním především tím, že spojuje efektivní protierozní ochranu s revitalizací a diverzifikací krajiny. Z hlediska ryze protierozního je možno velmi podobného efektu dosáhnout snáze příkopem, průlehem, či protierozní hrázkou (Výzkumní ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 2019).

3.3.3 Opatření organizačního charakteru

Organizační opatření jsou opatření plošná, jedná se zde o celkovou organizaci krajiny za úmyslem ochranného účinku vegetačního pokryvu. Kořeny rostlin chrání, zpevňují půdu a zlepšují vlastnosti půdy. Nadzemní část rostlin chrání půdu před dopadajícími dešťovými kapkami a zároveň vytvářejí překážky povrchovému odtoku (Konečná et al., 2014).

1. Optimální tvar a velikost pozemku

Základem organizačních protierozních opatření je situování pozemku, delší stranou ve směru vrstevnic, což zároveň stimuluje k obdělávání po vrstevnici a současně zkracuje délku po spádnici. Zároveň je žádoucí, aby tato délka pozemku byla ve směru odtoku (odtokových linií) a nepřekračovala maximální přípustnou délku, dle Univerzální rovnice ztráty půdy – USLE, respektive aby i délka odtokové linie procházející přes více než jeden pozemek (bez účinného přerušení odtoku mezi nimi) nepřekračovala maximální přípustnou délku. V praxi je možno tento typ opatření implementovat nejčastěji v souvislosti s realizací komplexních pozemkových úprav (Novotný a kol., 2016).

2. Pásové pěstování plodin

U pásového střídání plodin se střídají různě široké pásy plodin erozně nebezpečných, jedná se o kukuřici, brambory, slunečnici a další širokořádkové plodiny a plodin s vyšším protierozním účinkem jako jsou například obilniny, pícniny, případně i travní porosty. Pásy by měly být vedeny ve směru vrstevnic s max. odklonem do 30° (Novotný a kol., 2017).

3. Vhodné umístění pěstovaných plodin, včetně ochranného zatravnění

Návrh vhodného umístění pěstovaných plodin spočívá především v preferenci pěstování erozně nebezpečných plodin na neohrožených nebo jen mírně ohrožených DPB či erozních parcelách. Silně erozně ohrožené plochy na DPB, pásy podél břehů vodních toků a nádrží, dráhy soustředěného povrchového odtoku, profily průlehů, mělké půdy a podobně by měly být naopak zatravněny a pravidelně sečeny. Šířka ochranného travního pásu podél vodního toku by měla být navrhována v násobku šířky pracovního stroje a pokud má tento travní pás plnit funkci ochrany kvality vody před erozí a zachycovat smytou zeminu, neměla by být jeho šířka menší než 6 m na každém břehu. Ochranné travní porosty zvyšují drsnost povrchu, přispívají k

zachycení smyté zeminy a zpomalení rychlosti povrchového odtoku, rovněž mohou mít funkci sedimentačních a zasakovacích pásů umístěných přímo na půdních blocích nebo jejich dílech (Výzkumní ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 2019).

4. Přerušovací pásy

Jedná se o ochranný pás s minimální šířkou o rozměru 12 m, který rozděluje monokulturu (Kadlec et. al. 2014).

5. Osetí souvratí

Souvratě musí být oseté jinou než širokořádkovou plodinou. Šíře oseté souvratě musí být minimálně 12 m. Souvrat' musí protínat všechny odtokové linie povrchové vody, které jsou vyznačené v LPIS (Kadlec et. al., 2014).

3.3.4 Systém přírodě blízkých protierozních a protipovodňových opatření

Vodní režim české krajiny prošel v průběhu 20. století zcela zásadní proměnou. Ta úzce souvisí se změnami uspořádání krajiny, výstavbou dopravní infrastruktury, rozšiřováním zástavby, devastací rozsáhlých ploch v těžebních oblastech, intenzifikací zemědělského hospodaření, odvodňováním, scelováním a rozoráváním pozemků, zhoršením struktury zemědělské půdy, změnou skladby lesa a regulací vodotečí. V důsledku těchto a dalších necitlivých zásahů do vodního režimu krajiny a v kombinaci s možnými účinky klimatické změny došlo a stále dochází k negativním projevům povodní a hydrologického sucha s následujícími dopady: zanášení vodotečí a vodních nádrží, splachy ornice do intravilánu obcí, škody na majetku občanů, institucí a společností, snižování úrodnosti a výnosovosti zemědělské půdy, těžebně dopravní eroze na lesní půdě, zhoršení pedohydrologické bilance, snižování hladiny podzemní vody a rozšiřování aridních oblastí na našem území (Drbal, 2016).

Zemědělskou půdu je tedy třeba chránit před účinky vodní eroze vhodnými protierozními opatřeními. O použití jednotlivých způsobů ochrany rozhoduje jejich účinnost, požadované snížení smyvu půdy a nutná ochrana objektů (vodních zdrojů, toků a nádrží, intravilánů měst a obcí atd.) při respektování zájmů vlastníků a uživatelů půdy, ochrany přírody, životního prostředí a tvorby krajiny (Doležal a kol., 2010). Hlavním účinkem opatření na ochranu půdy před vodní erozí je chránit půdu

před účinky dopadajících kapek deště, podporovat však do půdy, zlepšovat soudržnost půdy, omezovat unášecí sílu vody a soustředěného povrchové odtoku, neškodně odvádět povrchově odtékající vodu a zachycovat smytou zeminu (Burian a kol., 2011).

Většina protierozních opatření má polyfunkční charakter, nejvíce se prolínají s vodohospodářskými opatřeními. Návrhem protierozní ochrany území je také ovlivněna protipovodňová ochrana, vodní režim v území, retence krajiny, ekologická stabilita a úroveň životního prostředí. Kromě prioritní funkce protierozních opatření (omezení ztrátu půdy) ovlivňují tato opatření i vodohospodářské poměry v krajině tím, že snižují objem povrchového odtoku a velikost kulminačních průtoků vznikajících v malých povodích v důsledku intenzivních přívalových dešťů, mění směr občasné a náhle se vyskytující povrchové odtoky, přispívají ke zvýšení vlhkosti půdy a ke zlepšování kvality povrchové vody (Drbal, 2016).

Přínosy protierozní a protipovodňové ochrany se projevují především v dlouhodobé perspektivě a většinou převyšují momentální přínosy zemědělské výroby. Základním principem protierozní a protipovodňové ochrany je v maximální míře zadržet povrchovou vodu v povodí zvýšením infiltrace vody do půdy, zmírněním sklonu pozemků, zmenšením délky pozemků po svahu a snížením podélného sklonu soustředěného odtoku a podobně. Důsledně prováděná protierozní ochrana v erozně ohrožených územích může vést ke snížení celkových ekologických i ekonomických následků povodně (MŽP, 2010).

Vhodně navržená ochranná opatření v krajině plní vždy řadu funkcí (protierozní, protipovodňovou, ochranu před suchem, ale i ekologickou) zásadně podporujících ochranu krajinných systémů a jejich obnovu v místech předchozího narušení způsobeného převážně za přispění lidské činnosti. Vhodně navržená protipovodňová a protierozní opatření mají i velice pozitivní vliv při ochraně před následky sucha, protože celková ochrana povodí sleduje tyto základní cíle (Dzuráková a kol., 2017):

- co nejvíce podpořit vsakování vody do půdy;
- omezit soustředění odtoku do stružek, tzn. podpořit jeho rozptýlování;
- zpomalovat a neškodně odvádět povrchový odtok tak, aby nenabyl unášecí síly schopné odnášet zeminu;

- prodloužit dobu retence vody v ploše povodí.

Omezení délky svahu, zkrácení dráhy odtoku, snížení rizika vzniku soustředěného povrchového odtoku a snížení jeho rychlosti i objemu spolu úzce souvisí a jedná se o hlavní funkce zejména liniových biotechnických opatření. Zvýšení vsaku vody do půdy a prodloužení doby infiltrace závisí jak na zpomalení povrchového odtoku, tak i na stavu půdy (nakypřená půda vodu lépe vsákne) a krajinném pokryvu. Narušení a degradace půdy hrozí zejména u půdy nechráněné krajinným pokryvem. Řešením proti tomu jsou opatření, jejichž součástí je zatravnění nebo jiná ochrana půdního povrchu. S ohledem na tyto účinky jsou vhodnými krajinnými prvky, podporujícími udržení vody v krajině, právě zasakovací prvky. Ty splňují hlavní aspekty pro zmírnění účinků sucha – podpora infiltrace a prodloužení doby vsaku i zpomalení povrchového odtoku. Jedná se zejména o zasakovací příkopy a průlehy, hrázky doplněné průlehy, přehrážky v údolnicích, zasakovací pásy a podobně. Tyto prvky je vhodné doplnit o travnatý pás s doprovodnou zelení, čímž se zvýší i jejich ekologická funkce a mohou být začleněny do ÚSES. Plošná opatření na zemědělské půdě (organizační, agrotechnická i na speciálních kulturách) jsou žádoucí opatření ve všech ohledech. Z hlediska řešení dané problematiky je důležitý zejména jejich vliv na zpomalení povrchového odtoku a zvýšení infiltrace. Pro většinu plošných opatření na orné půdě platí, že zlepšují vodní režim v půdě a omezují důsledky eroze, což snižuje nežádoucí vnos erodovaných částic a na ně vázaných polutantů do vodního prostředí, což je v důsledku pozitivní pro vodní organismy, a tedy i ekologický stav. Změnami ve využití a způsobu obdělávání zemědělských pozemků, ideálně doplněných biotechnickými prvky, lze docílit zmírnění projevů sucha v krajině. Při návrhu opatření podporujících zadržování vody v krajině je vhodné vycházet z historických map znázorňujících místa původního umístění krajinných prvků před kolektivizací, při které došlo k jejich rozorání – meze, polní cesty, mokřady a tak dále, a obnovovat je (Dzuráková a kol., 2017).

Dle Dzurákové a kol. (2017) lze využít jako protierozní opatření malé vodní nádrže, využít aplikaci opatření v rámci lesního ekosystému nebo třeba aplikovat různá opatření na vodních tocích a nivách. V rámci opatření typu malých vodních nádrží je hlavním pozitivem z pohledu zlepšení retence vody v povodí akumulace vody a její možné využití v období sucha. S ohledem na její funkce, z nichž mnohé

sice vodu akumulují, ale není možné ji v suchých obdobích využívat, lze za nejvhodnější označit retenční nádrže. Suché nádrže, zejména mimo vodní tok, na drahách soustředěného odtoku, kde netvoří migrační bariéru pro živočichy, zadržují vodu z přívalových srážek, čímž zpomalují povrchový odtok. Retenční nádrže s malým stálým nadržáním mohou v suchém období sloužit jako mokřady, čímž je podpořena retence vody v krajině. V období srážek se voda v retenčním prostoru akumuluje a obdobně jako u suchých nádrží může být později upouštěna. Závlahové nádrže mají hlavní výhodu v akumulaci vody určené primárně pro závlahové systémy, z pohledu retence či zasakování vody jsou bezvýznamné, pro vodní ekosystémy negativní. Malé vodní nádrže jsou velmi diskutovaná opatření. Avšak podle výsledků ze srážko-odtokových modelů lze konstatovat, že dokáží zadržet poměrně velké množství vody v povodí a následné nadlepšování průtoků v suchém období může mít pozitivní vliv na vodní toky pod až několik dní.

Přírodě blízké úpravy vodních toků (revitalizace, renaturace) a jejich niv (realizace tůní, mokřadních ploch apod.) jsou souborem dílčích opatření, které v souvislosti s hydrologickým suchem slouží zejména ke třem účelům.

- Prvním je akumulace vody v podzemní vodě niv.
- Druhým je vytvoření refugií pro vodní biotu.
- Třetím je podpora samočištění.

Revitalizace jsou tak opatřeními, která i při realizaci v omezeném prostoru stávajících koryt toků vytváří vodním organismům operativní prostor pro únikovou migraci a refugia pro přežití při výskytu sucha. Přínos pro řešení problematiky sucha z pohledu vodohospodářského a ekologického se zvyšuje s komplexností provedení revitalizačních a renaturačních zásahů. V projektech řešených VÚV TGM bylo zjištěno, že vliv revitalizace na zlepšení ekologického stavu závisí i na jakosti vod. Dopad na zlepšení fyzikálně-chemických parametrů vodního prostředí se zvyšuje s délkou revitalizačních úprav (Dzuráková a kol., 2017).

Pokud se bavíme o systému přírodě blízkých protierozních a protipovodňových opatření jde v našem případě o komplex takových opatření, které jsou řešeny na ploše povodí a jsou založeny zejména na principech zpomalení povrchového odtoku vody, podpory zvýšení infiltrace vody, podpory zvýšené retence vody v krajině, zvýšením ochranného vlivu vegetace, změnami organizace půdního

fondy, změnami nepřerušené délky svahu a změnami agrotechniky zemědělských plodin (MŽP, 2010).

Pro problematiku přírodě blízkých protierozních a protipovodňových opatření byla vytvořena Metodika odboru ochrany vod, která stanovuje postup komplexního řešení protipovodňové a protierozní ochrany pomocí přírodě blízkých opatření. Hlavním cílem této metodiky je jednotný postup při navrhování komplexu přírodě blízkých opatření, která povedou ke zvýšení protipovodňové ochrany v povodí a dosažení dobrého stavu vod dle *Rámcové směrnice o vodách 2000/60/ES*.

Na základě velkého počtu skutečně nebo potencionálně znečištěných lokalit byla vydána *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2004/35/ES o odpovědnosti za životní prostředí*, která ukládá původci znečištění napravit škody, jež způsobil. Směrnice se zabývá také znečištěním půd a způsoby nápravy kontaminace půdy, která je rizikem pro lidské zdraví a také pro funkci a využití půdy. Uvedená směrnice byla implementována do české legislativy *Zákonem č. 167/2008 Sb., o předcházení ekologické újmy*. Ekologická újma na půdě je definována jako znečištění, jež představuje závažné riziko nepříznivého vlivu na lidské zdraví v důsledku přímého nebo nepřímého zavedení látek, přípravků, organismů nebo mikroorganismů na zemský povrch nebo pod něj. *Vyhláškou č. 17/2009 Sb., o zjišťování a nápravě ekologické újmy na půdě*, stanovuje metody a způsob zpracování analýzy rizik, způsob hodnocení vhodnosti a proveditelnosti nápravných opatření, stanovování cílů nápravných opatření a způsobů prokazování jejich dosažení, včetně způsobu srovnání alternativních postupů omezování nebo eliminace rizik pro lidské zdraví, a dále způsob posouzení těchto rizik plynoucích z přímého nebo nepřímého zavedení látek, přípravků, organismů nebo mikroorganismů na zemský povrch nebo pod něj.

Pozemkové úpravy zásadním způsobem přispívají k realizaci opatření zvyšující retenční kapacitu krajiny, s tím spojených protipovodňových a protierozních opatření a celkovému řešení problematiky vodního hospodářství. K tomuto účelu je v rámci pozemkové úpravy vypracováván plán společných zařízení. Pro rozšíření eroze a výraznost jejích následků je protierozní ochrana nejběžnější součástí plánu společných zařízení. Při zapracování plánu společných zařízení je potřeba v dostatečném předstihu vymezit návrh systémového řešení protierozních a protipovodňových opatření (Burian a kol., 2011).

Při řešení komplexní pozemkové úpravy je vodohospodářská problematika zcela zásadní. Vychází ze studie odtokových poměrů, erozních procesů a ochrany jakosti vody v daném katastrálním území. Zde nastává výrazný problém při zadání projektu KPÚ, neboť řešená plocha odpovídá většinou jen katastrálnímu území (extravilánu), zatímco řešení srážko – odtokových poměrů a erozních procesů vyžaduje bezpodmínečně řešení v rámci plochy povodí. Tento rozsah plochy tedy významně omezuje komplexní řešení zmíněné problematiky. Ke komplexnímu řešení všech problémů, týkající se srážkoodtokových vztahů, povodňových a erozních rizik v krajině při projektování KPÚ je potřeba vykonat časově i odborně poměrně náročný soubor terénních, analytických a rozborových prací. Významnou pomocí projektantům KPÚ mohou být účelové studie protierozní a protipovodňové ochrany pojaté v širších územních vazbách (Burian a kol., 2011).

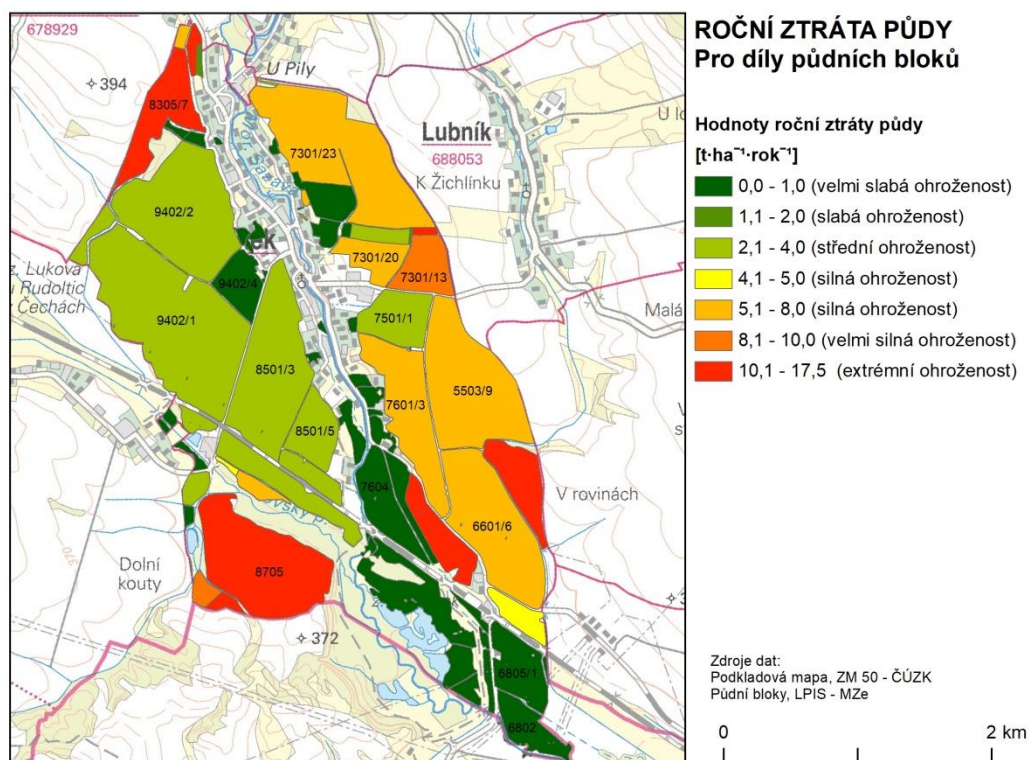
Pozemkové úpravy jsou stále více vnímány nejen jako nástroj pro řešení vlastnických vztahů k pozemkům a k optimalizaci jejich prostorového a funkčního uspořádání, ale především jako vytváření prostoru pro restrukturalizaci, zvelebení a obnovu krajiny. Pozemkovými úpravami se nabízí jedinečná šance napravit rizikové jevy v zemědělské krajině, umístit potřebné stavby a zařízení a prosadit ochranná opatření. V tomto bodě řešení pozemkové úpravy se musí projevit erudice projektanta a jeho schopnosti komplexního pohledu na krajinu. Zejména v oblasti protierozní a protipovodňové ochrany se často zjistí v průběhu terénních a rozborových prací, že potřeba řešení erozních a povodňových rizik v ploše povodí dalece přesahuje hranice katastru. Ke komplexnímu řešení všech problémů, týkajících se srážkoodtokových vztahů, povodňových a erozních rizik v krajině při projektování KPÚ je potřeba vykonat časově i odborně poměrně náročný soubor terénních, analytických a rozborových prací. Významnou pomocí projektantům pozemkových úprav mohou být účelové studie protierozní a protipovodňové ochrany, pojaté v širších územních vazbách. Příčiny škod způsobených erozí a povodněmi je často nutno řešit mimo obvod pozemkové úpravy v horních partiích povodí. Prostřednictvím studie je rozsah řešeného území specifikován, většinou nikoli hranicemi katastru, ale hranicemi dílčích povodí (Rožňovský, 2010).

4 ŘEŠENÉ ÚZEMÍ

Řešeným územím předložené diplomové práce je obec Žichlínek, která byla i předmětem zkoumání v rámci bakalářské práce. Údaje získané v ní jsou výstupním a zároveň navazujícím bodem k následovně praktické části diplomové práce.

Ze získaných výsledků bylo zjištěno, že na půdních blocích k. ú. Žichlínek nad levým břehem moravské Sázavy dochází k převážně vysoké ztrátě půdy působením vodní eroze. Na svazích nad pravým břehem jsou převážně půdní bloky středně ohrožené. Velmi slabou ohroženost mají díly půdních bloků v jižní části zájmového území. Na svazích pravého břehu Lukovského potoka jsou díly půdních bloků, které jsou extrémně ohrožené. Jedná se o parcelu 8705 a o parcelu 8701/1.

Intenzitu ztráty půdy na řešeném území možno vidět na Obrázku 7.



Obrázek č. 7 Intenzita ztráty půdy na řešeném území

V následující Tabulka 2 je uveden celkový počet dílů bloků v jednotlivých kategoriích ohroženosti a celková rozloha dílů v těchto kategoriích.

Hodnota G [t·ha ⁻¹ ·rok ⁻¹]	Ohrožení	Počet DPB	Rozloha [ha]	Zastoupení [%]
0,0 - 1,0	velmi slabá ohroženost	40	135,35	16,96
1,1 - 2,0	slabá ohroženost	2	1,20	0,15
2,1 - 4,0	střední ohroženost	14	281,56	35,29
4,1 - 5,0	silná ohroženost	2	8,30	1,04
5,1 - 8,0	silná ohroženost	9	232,41	29,13
8,1 - 10,0	velmi silná ohroženost	2	17,96	2,25
10,1 - 12,5	Extrémní ohroženost	4	84,82	10,63
12,5 - 17,3	Extrémní ohroženost	4	36,25	4,54

Tabulka č. 2 Celkový počet dílů půdních bloků

Z daných údajů jasně plyne, že na daném území působí všechny stupně intenzity ohroženosti půdy, avšak nejvyšší zastoupení má středně silná ohroženost půdy, která působí na území o rozloze 281,56ha. Naopak nejnižší zastoupení má slabá ohroženost dílů bloků, která působí na území o rozloze 1,2ha.

Dále bylo taky zjištěno, že díly půdních bloků mají dvojí využití, a to jako trvalý travní porost nebo orná půda. Žádný trvalý travní porost nemá vyšší hodnotu roční ztráty půdy, než je maximální přípustná hranice této ztráty díky mnohem nižší hodnotě C faktoru. Naproti tomu jsou jen 3 velmi slabě ohrožené díly půdních bloků, které jsou využívány jako orná půda a střední ohroženosti dosahuje pouze jeden jediný díl trvalého travního porostu. Z celkových 8,30 ha půdních bloků v rozmezí průměrné roční ztráty půdy 4,1 – 5,0 t·ha⁻¹·rok⁻¹, představuje 7,61 ha (91,74 %) půdní blok 7404. Právě tímto dílem prochází podle akumulace odtoku Lubnický potok, který ve skutečnosti tímto dílem neprotéká. Dá se očekvat, že tedy reálná ztráta půdy v tomto půdním bloku je nižší a může být pod maximální přípustnou hranicí.

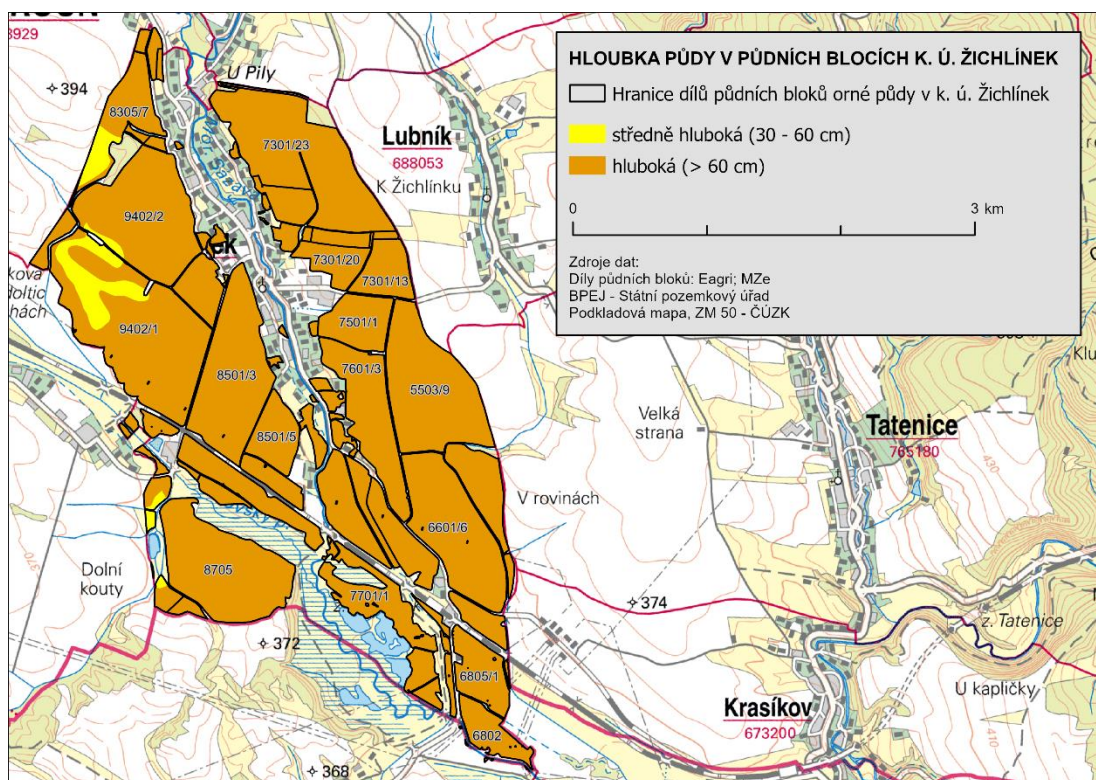
4.1 Stanovení G_p - maximální přípustné ztráty půdy

Maximální přípustná roční ztráta půdy vlivem vodní eroze se stanovuje na základě páté cifry v kódu BPEJ. V tabulce 3 níže jsou uvedené cifry BPEJ, o jakou hloubku půdy se jedná a jaká je v této kategorii hodnota G_p .

Hloubka půdy	Hloubka půdy Kód BPEJ 5. číslice kódu	Přípustná ztráta půdy erozí t.ha ⁻¹ .rok ⁻¹
Mělká	5,6,8,9	1
Středně hluboká (30-60 cm)	1,4,7	4
Hluboká (> 60 cm)	0,2,3	4

Tabulka č. 3 Přípustná ztráta půdy erozí podle hloubky půdy (Janeček, 2012).

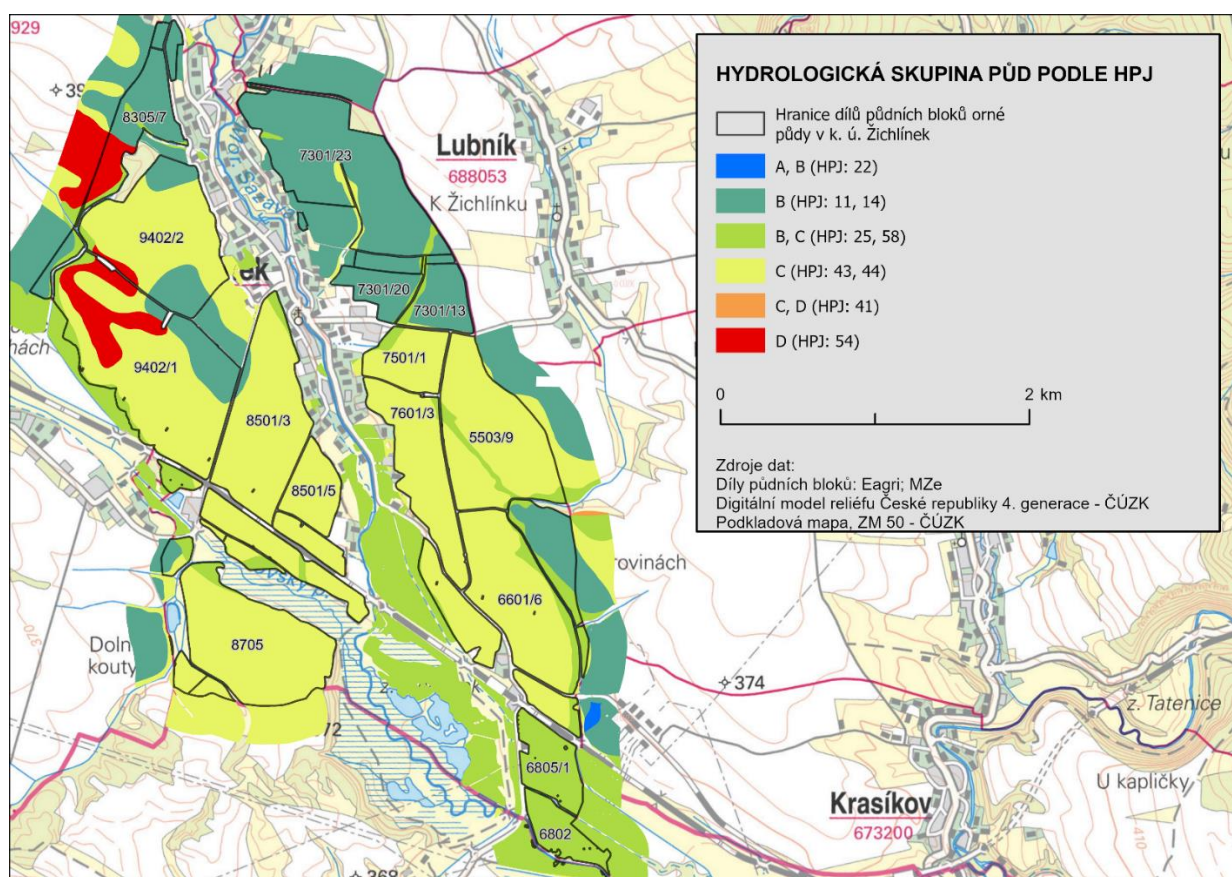
Na obrázku 8 níže je znázorněno, jaké hloubky půdy se podle BPEJ vyskytují v k. ú. Žichlínek. Na všech půdních blocích převažuje půda hluboká. Na některých blocích v západní části k. ú. se nachází drobné oblasti s půdou středně hlubokou. Pouze na pozemcích 9402/1 a 8305/7 se nachází rozsáhlejší oblasti se středně hlubokou půdou. Maximální přípustná roční ztráta půdy vodní erozí tak byla ve všech půdních blocích v k. ú. Žichlínek stanovena na 4 t/ha/rok.



Obrázek č. 8 hloubka půdy v k. ú. Žichlínek

4.2 Hydrologické skupiny půd v k. ú. Žichlínek

Podle JANEČEK 1992 se půdy rozdělují do 4 hydrologických skupin A: Půdy s vysokou rychlostí infiltrace, B: Půdy se střední rychlostí infiltrace, C: Půdy s nízkou rychlostí infiltrace a D: Půdy s velmi nízkou rychlostí infiltrace. Z toho na jílovitých půdách (C a D) není vhodné budovat opatření na zasakování dešťových srážek (tůně, zasakovací pásy atd.). Podle JANEČEK 1992 se dají jednotlivé půdní jednotky z BPEJ rozdělit do hydrologických skupin půd dle HPJ. Na obrázku 9 níže jsou rozděleny půdní bloky do hydrologických skupin půd. Jak je vidět na půdních blocích orné půdy převažují půdy jílovité a proto je vhodné budovat zasakovací zařízení jenom někde.



Obrázek č. 9 Hydrologické skupiny půd v k. ú. Žichlínek

5 METODIKA PRÁCE

Ve výsledcích budou posuzovány tyto opatření: Účinnost konturového obdělávání (tam, kde je to možné), Účinnost technických opatření (pro ty bloky, kde budou navrženy) a Kombinace konturového obdělávání s technickými opatřeními. Účinnost těchto opatření bude zjišťována pouze na blocích s ornou půdou, protože v rámci Adamová (2019) bylo prokázáno, že žádný z místních travních porostů není ohrožen ($G > 4$ t/ha/rok). Vzhledem k relativně vysokému počtu PB orné půdy (celkem 37 bloků), bude účinnost opatření podrobněji vyhodnocována především v blocích s vyšší hodnotou G_p , než jsou 4 t/ha/rok (21 PB). Zároveň bude zjištěna hodnota C_p pro každý půdní blok. V případě, že žádné z posuzovaných opatření ani jejich kombinace nesníží dostatečně vodní erozi, může být dosaženo snížení G snížením C faktoru na hodnotu C_p .

5.1 Organizační a agrotechnická opatření – úprava C faktoru podle C_p

Pro každý jeden blok se v atributové tabulce vypočítá do nového sloupce hodnota maximálního přípustného C faktoru podle vzorce:

$$C_p = G_p / (R * L * S * K).$$

Novotný a kol. 2017, navrhnul pro konkrétní intervaly C_p v půdních blocích konkrétní opatření, viz tabulka 4 níže.

Hodnota C_p .Pp	Vhodná organizační a agrotechnická opatření
do 0,005	ochranné zatravnění
0,006 - 0,02	víceleté pícniny či ochranné zatravnění
0,021 - 01	vyloučení erozně nebezpečných plodin a vyšší zastoupení víceletých pícnin
0,101 - 0,2	vyloučení erozně nebezpečných plodin a použití protierozních technologií
0,2 - 0,24	pásové střídání plodin nebo vyloučení erozně nebezpečných plodin
0,241- 0,4	erozně nebezpečné plodiny pěstovány s protierozním opatřením
0,4 a více	bez omezení

Tabulka č. 4 Vhodná organizační a agrotechnická opatření (Novotný a kol., 2017).

5.2 Agrotechnické opatření – orba po vrstevnici

Účinnost P faktoru u konturového obdělávání (syn. orba po vrstevnici) závisí podle Janeček a kol 2012 na sklonitosti a maximální délce svahu na pozemku viz tabulka 5 níže.

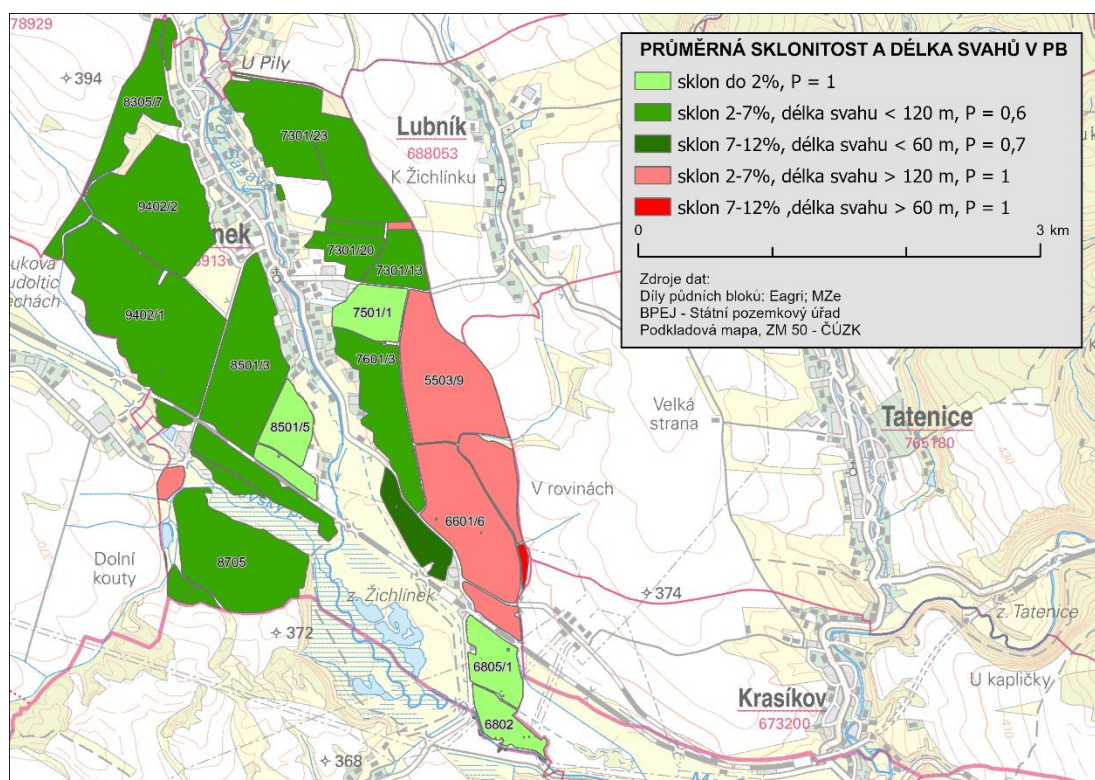
Janeček a kol. 2012		
Sklonitost (%)	Max. délka svahu (m)	P
2-7	120	0.6
7-12	60	0.7
12-18	40	0.9
>18	-	1

Tabulka č. 5 Sklonitost a maximální délka svahu

Sklonitost v procentech se získá z DMR4G stejným způsobem jako sklonitost ve stupních s tím rozdílem, že ve funkci „Slope“ se do „output measurement“ zadá

místo „Degree“ volba: „Percent rise“. Pomocí funkce „Zonal statistics as table“ se zjistí průměrný sklon pro každý blok. V dalším kroku byly zjištěny délky svahů v každém pozemku. Za tímto účelem byla využita rastr akumulace odtoku, která byla vynásobena rozlišením rastru 5 m. Tím se zjistila délka svahu v každém místě svahu.

To, na jakých půdních blocích v k. ú. Žichlínek je možné aplikovat konturové zemědělství jako protierozní ochranu je vidět na obrázku níže. Jedná se o PB s odstíny zelené. Při konturovém obdělávání je hodnota P v těchto blocích 0,6 a v bloku 5601/3 je rovna hodnotě 0,7. Červenými odstíny jsou vybarveny ty PB, u kterých je průměrná délka svahu delší, než je maximální délka svahu pro účinné konturové obdělávání. Svahy na těchto pozemcích by měly být zkráceny pomocí technických opatření, tak aby délka svahu byla pod 60 m a v případě bloku 5601/3 pod 120 m.



Obrázek č. 10 Průměrná sklonitost a délka svahů

V následující tabulce 6 jsou rozděleny půdní bloky orné půdy podle průměrného sklonu v procentech a podle délky svahů. Na 5 blocích, které činí 10,22 % rozlohy veškeré orné půdy v k. ú. Žichlínek nemá konturové obdělávání žádný význam, protože dané půdní bloky jsou příliš rovinné (průměrný sklon do 2 %). Na druhou stranu žádný z těchto půdních bloků nemá erozi vyšší než 4 t/ha/rok, takže na těchto pozemcích není potřeba snižovat hodnotu G. Území, kde by aplikování konturového zemědělství snížilo vodní erozi o 40 % (P = 0,6) zabírá téměř 70 % z orné půdy v k. ú. Žichlínek. Na půdním bloku 5601/3, který zabírá jen malou část orné půdy v k. ú. Žichlínek sníží konturové obdělávání hodnotu G o 30 %. Na zbývajících půdních blocích orné půdy by mělo konturové zemědělství význam v případě, že by se na nich zkrátily délky svahů pomocí technických opatření (průlehy, příkopy atd.). Jedná se o přibližně 22 % z celkové rozlohy orné půdy v k. ú. Žichlínek a o něco málo více

než 150 ha. Z této plochy by na 138 ha za předpokladu dostatečného zkrácení svahů došlo při konturovém obdělávání ke snížení roční vodní eroze o 40 % ($P = 0,6$) a na 15,5 ha by došlo ke snížení G o 30 % ($P = 0,7$).

Sklon (%)	Délka svahu	P	Rozloha (ha)	Zastoupení (%)	Půdní bloky
Do 2	-	1	70,7	10.22	6802, 6805/1, 7501/1, 8501/4, 8501/5
2-7	< 120 m	0,6	466,2	67.42	6701, 6804, 7301/5, 7301/13, 7301/20, 7301/22, 7301/23, 7303/2, 7601/3, 8305/14, 8305/7, 8305/8, 8307/1, 8501/3, 8502/1, 8605/2, 8605/3, 8606/1, 8701/1, 8701/3, 8705, 9401/1, 9402/1, 9402/2, 9701
2-7	> 120 m	1	137,6	19.90	5503/9, 5601/14, 6601/6, 6701, 7301/19, 8602
7-12	< 60 m	0,7	1,5	0,22	5601/3
7-12	> 60 m	1	15,5	2,24	7605/2

Tabulka č. 6 Rozdělení půdních bloku průměrného sklonu a délky svahu

5.3 Technická opatření

Technická opatření spočívají zejména ve zkracování délek svahu. Tato opatření budou aplikována v pěti lokalitách uvnitř k. ú. Žichlínek, kde se nachází všechny ohrožené parcely orné půdy tohoto katastrálního území. Tyto lokality jsou vymezeny v obrázku níže.

Rozestupy těchto opatření budou dimenzovány na šířku záběru zemědělského stroje 22 m, obdobně jako to dělal ve své práci Posker (2021). Liniová opatření (protierozní průlehy, příkopy atd.) budou navrhována zpravidla po vrstevnici.

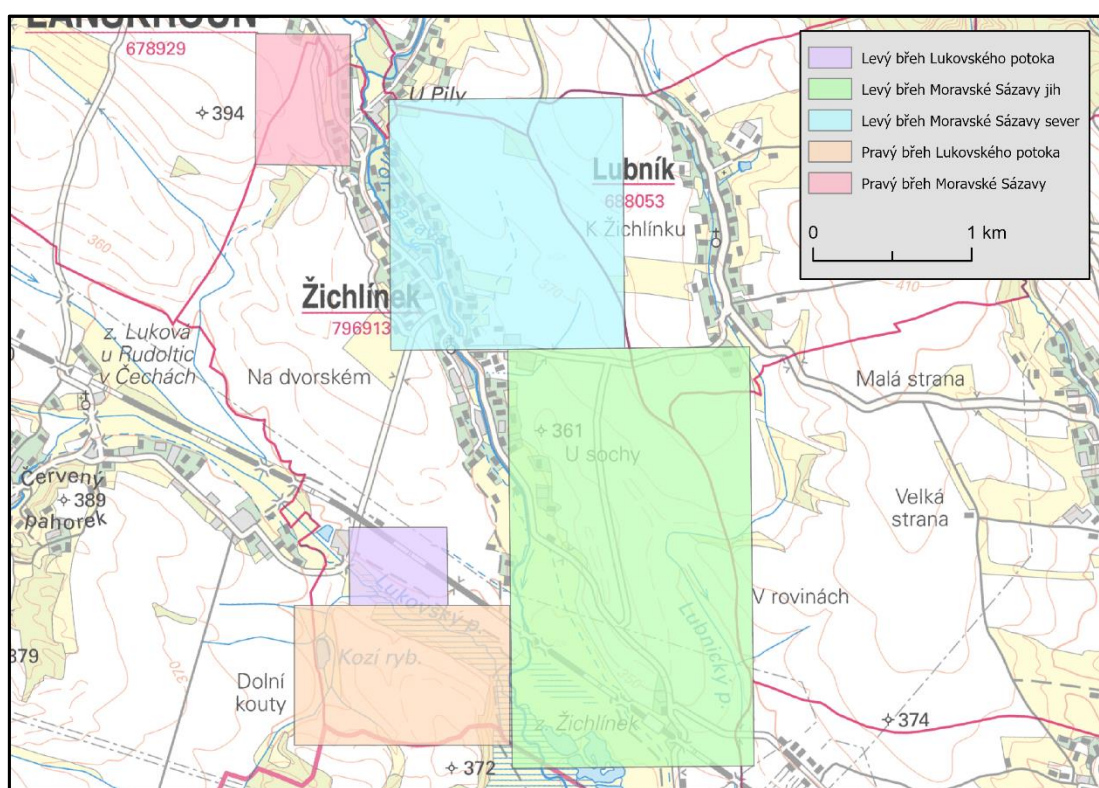
Stejně jako v Posker (2021) budou v místech liniových opatření nahrazeny výšky z modelu terénu hodnotami NoData. Díky tomu při simulaci povrchového odtoku (funkce: „Flow Accumulation“) nebude voda (pixely), která do těchto míst vteče z těchto míst vytékat. Tím se zkrátí povrchový odtok.

Kromě samotného snížení L faktoru, může dojít k nabytí účinnosti konturového obdělávání vlivem zkrácení svahů. Pro půdní bloky, které svojí rozlohou zasahují mimo k. ú. Žichlínek mohou být jejich technická opatření navržena v rámci bufferu 250 m a tudíž mimo území k. ú., ale s přímým dopadem na vodní erozi v k. ú.

V místech koncentrace povrchového odtoku v PB, budou navrhovány především ochranné nádrže, které zpomalí povrchový odtok. Místa těchto nádrží budou v rámci modelu terénu nést hodnotu NoData (obdobně jako u liniových opatření) a tím zkracovat průměrnou délku svahu a tudíž i hodnotu G .

Prvním krokem náhrady nadmořských výšek za hodnoty NoData v místech protierozních opatření, byl buffer 5 m kolem liniových prvků (průlehy, meze, příkopy). Vzniklé polygony mají šířku 10 m a nemají představovat skutečnou šířku zamýšlených prvků, ale mají představovat plochu ve které se pixely nahradí

hodnotou NoData. DMR 4G má rozlišení 5 m, takže je jistota, že po celé délce liniového opatření budou v modelu terénu hodnoty NoData. Dalším krokem bylo sloučení této vrstvy s vrstvou plošných opatření (ochranné nádrže, mokřady a zatravněná vrstevnice) pomocí funkce Merge. Plochy v této vrstvě představují veškeré plochy, kde mají být v upraveném DMR hodnoty NoData. Následně se vytvořila polygonová obálka (nový shapefile) pokrývající celé území k. ú. Žichlínek. Z této vrstvy byly vyříznuty plochy ochranných prvků pomocí funkce Erase. Když se touto nově vzniklou vrstvou ořízl raster nadmořských výšek (funkce Extract by Mask), na které byla již aplikována funkce Fill, tak v místech zamýšlených ochranných prvků jsou NoData. Na takto upravený raster nadmořských výšek byly následně aplikovány stejné kroky jako v případě ADAMOVI 2020 s cílem získat hodnotu USLE.



Obrázek č. 11 Přehledná mapa lokalit, kde budou aplikována technická protierozní opatření

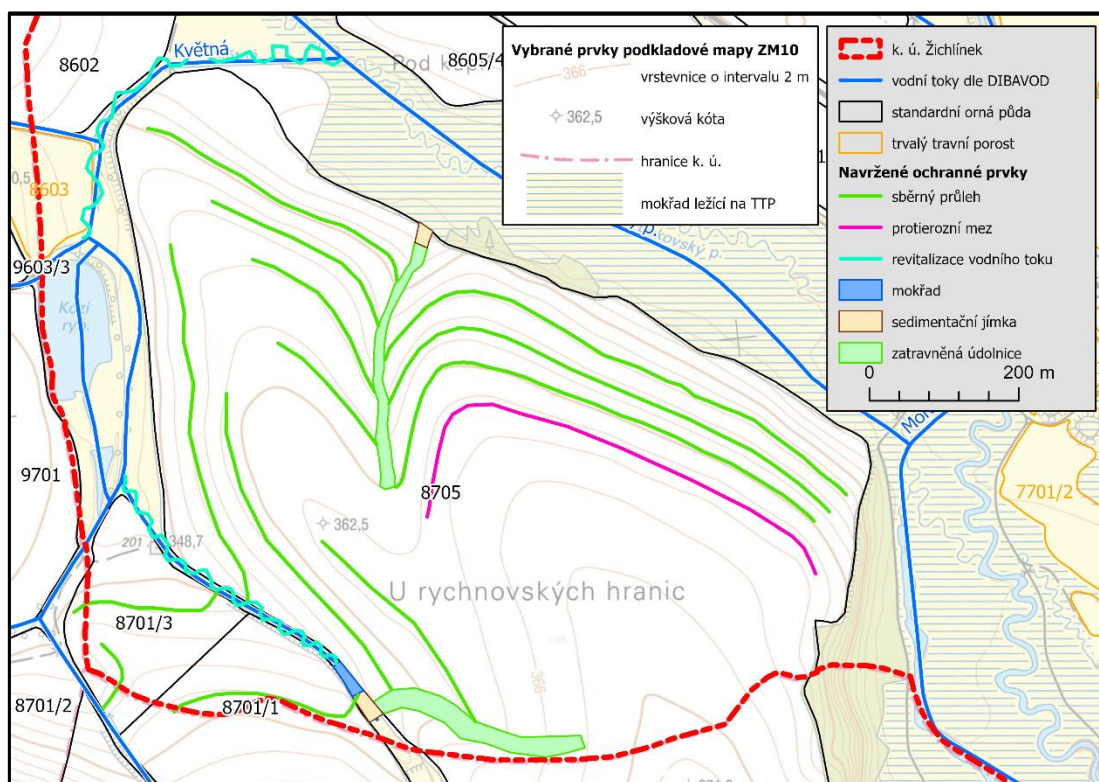
5.3.1 Technická opatření na pravém břehu Lukovského potoka

Na pravém břehu Lukovského potoka se nachází 3 parcely ohrožené vodní erozí (8705, 8701/3 a 8701/1) jak je vidět na obrázku níže. Z těchto parcel má na území k. ú. Žichlínek jednoznačně nejvyšší plochu parcela 8705. Jedná se o jeden z nejhroženějších půdních bloků vodní erozí v k. ú. Žichlínek. Povrchový odtok se v rámci této parcely z velké části koncentruje do strže, ve které bylo navrženo zatravnění do kterého ústí 7 protierozních průlehů. Tyto průlehy přerušují povrchový odtok v místech, kde se povrchový odtok nekonzcentruje do jednoho řečiště, ale ztéká víceméně rovnoměrně po délce svahu jako se to děje po téměř celé severní hranici půdního bloku. Ve spodní části zatravnění je navržena protierozní jímka aby nedocházelo k zaměňování mokřadu, který v těchto místech vznikl při rekultivaci

soutoku Lukovského potoka a Moravské Sázavy v roce 2006. Nad těmito prvky je ještě ve výšce 363 m n. m. vedena protierozní mez. Vrchní část tohoto půdního bloku má poměrně malý sklon a krátké odtokové dráhy a tak není tolik ohrožená vodní erozí a proto zde není naplánován žádný protierozní technický prvek. V jihozápadní části půdního bloku jsou navrženy 4 další průlehy z nichž dva nejvyšší ústí do druhé navržené zatravněné údolnice na tom půdním bloku. Ve strži, která již není součástí tohoto pozemku, kam tato údolnice ústí je navržena sedimentační jímka. Pod touto jímkou je navržený mokřad v jehož místech pramení bezejmenný pravostranný přítok potoku Květná. Pro tento potok je navrhována rekultivace a ústí do něj další 2 sběrné průlehy z půdního bloku 8705.

V jihozápadní části této lokality se nachází vodní erozí extrémně ohrožený půdní blok 8701/1 a velmi silně ohrožený půdní blok 8701/3. Tyto půdní bloky zasahují i do sousedních k. ú. Půdní blok 8701/1 zasahuje jen menší částí do k. ú. Žichlínek z větší částí leží v k. ú. Rychnov na Moravě. Sousední blok 8701/3 leží z větší částí v k. ú. Žichlínek, ale také zasahuje do Rychnova na Moravě a malou částí i do k. ú. Luková. Předmětem práce jsou sice části půdních bloků ležících v k. ú. Žichlínek, ale opatření provedená za hranicí tohoto k. ú. mohou mít dopad na ornou půdu v zájmovém území. Takováto opatření se zdají být vhodná zde navrhnout i z důvodu, že kdyby se opatření omezovala na zájmové území, tak by se stížila obdělávatelnost půdních bloků, protože by opatření mohli zúžit obdělávatelnou část pozemku natolik, že by znemožnily jeho obdělávání (šířka menší než 22 m). Pro půdní blok 8701/3 je navržen protierozní průleh ve výšce 354 m n. m., který zasahuje jak do k. ú. Žichlínek, tak do k. ú. Rychnov na Moravě. V půdním bloku 8701/1 je protierozní průleh plánován ve výšce 358 m n. m. na hranici s k. ú. Rychnov na Moravě a odvádí povrchový odtok do bezejmenného přítoku potoku Květná.

Také je navržena rekultivace potoku Květná v úseku mezi Kozím rybníkem a soutokem s Lukovským potokem.

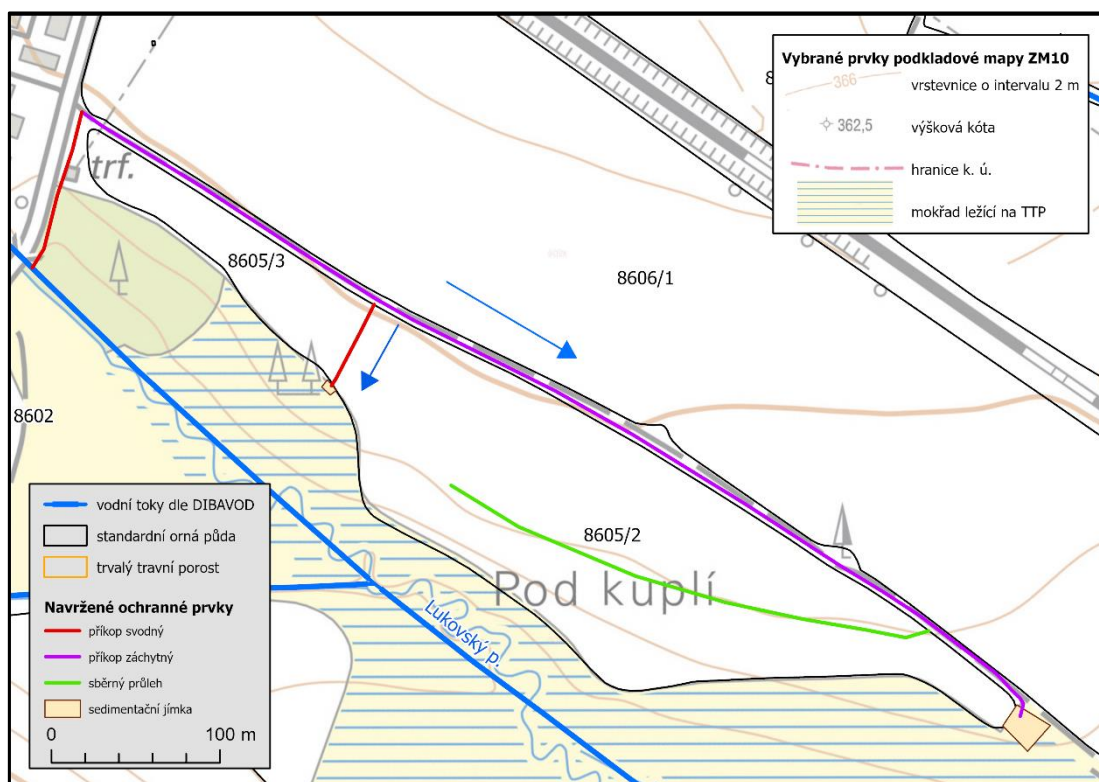


Obrázek č. 12 Pravý břeh Lukovského potoka

5.3.2 Technická opatření na levém břehu Lukovského potoka

S nivou Lukovského potoka, která vznikla při rekultivaci v roce 2006, sousedí v této lokalitě dva půdní bloky: 8605/2, 8605/3 orné půdy silně ohrožené vodní erozí. Na tyto pozemky ztéká povrchový odtok ze severněji a výše položeného půdního bloku 8606/1, od kterého jsou odděleny šterkovou cestou. Půdní blok 8606/1 je před povrchovým odtokem z vyšších částí svahu chráněn železničním náspem, který tak vlastně plní funkci protierozní meze.

Navrhovaná technická opatření spočívají ve vybudování záchytného příkopu podél šterkové polní cesty, který zabrání ztékání povrchového odtoku na půdní bloky 8605/2, 8605/3 z půdního bloku 8606/1. Tento svodný příkop začíná u cesty vedoucí do obce Luková a vede přibližně ve výšce 350 m n. m. Jelikož je v těchto místech mírný sklon na severozápad, tak aby voda měla kam odtékat je zde vybudován svodný příkop, který odvádí odtok do Lukovského potoka. Větší část příkopu směřuje na jihovýchod (směr v obrázku naznačen šipkou) a klesá přibližně do nadmořské výšky 347 m n. m., kde se vlévá do sedimentační jímky, která má zabránit zaměňování mokřadu. Do tohoto příkopu je sveden sběrný průleh ve výšce 348 m n. m. Na hranici mezi půdními bloky 8605/2, 8605/3 je navržen příkop svodný, který vede do nivy Lukovského potoka i zde je před vyústěním do mokřadu navrhnutá sedimentační jímka.



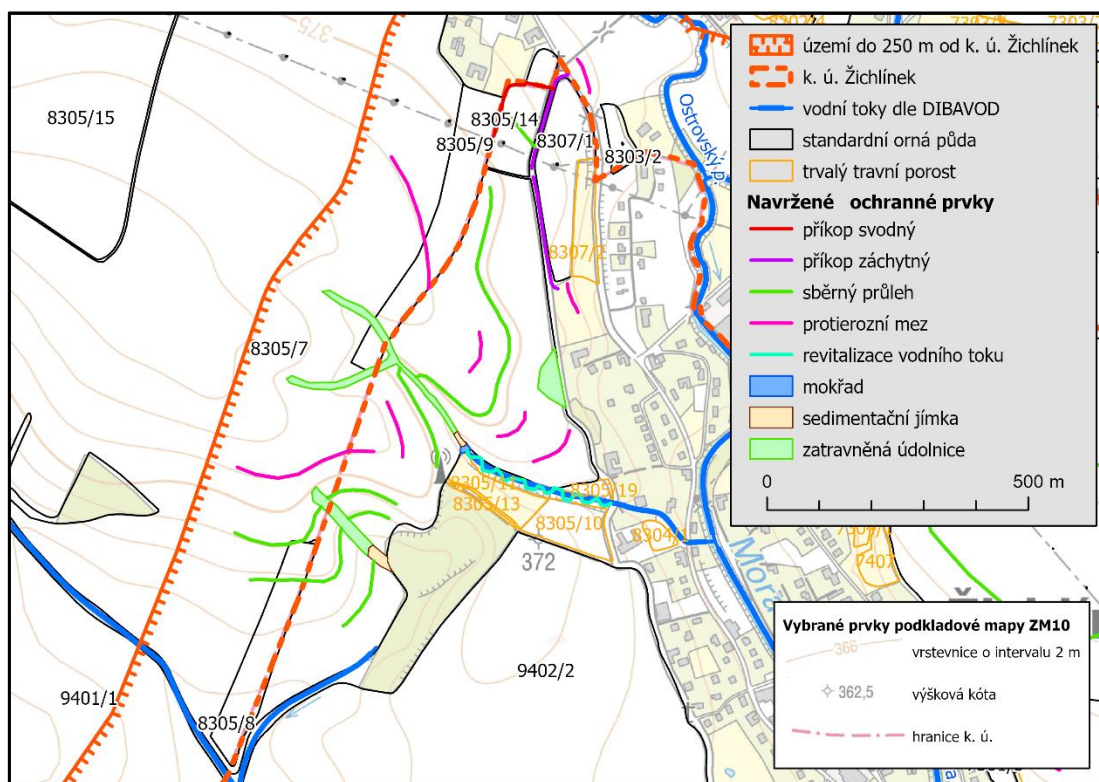
Obrázek č. 13 Levý břeh Lukovského potoka

5.3.3 Technická opatření na pravém břehu Moravské Sázavy

Na pravém břehu Moravské Sázavy jsou vodní erozi ohrožené ($G > G_p$) pouze bloky na severu k. ú. Žichlínek. Blok 8307/1 je extrémně ohrožený vodní erozí. Od sousedních výše položených bloků 8305/14 a 8305/18 je oddělen silnicí. Pokud by se podél této silnice vytvořily záchytné příkopy, mohly by zabránit povrchovému odtoku stékat z výše položených pozemků na tento pozemek a snížit tak vodní erozi. Pod vyústěním těchto příkopů jsou na trvalých travních porostech navrženy protierozní meze, které mají za účel zpomalit povrchový odtok z těchto příkopů.

Půdní blok 8305/14 je silně ohrožený a z malé části leží i v k. ú. Lanškroun. V nadmořské výšce 372 m n. m. je veden sběrný průleh, který odvádí povrchový odtok do záchytného příkopu a dělí půdní blok přibližně na dvě poloviny.

Půdní blok 8305/18 leží jen z menší části v k. ú. Žichlínek, ale i tak je tato jeho část, která je předmětem této práce (práce se zabývá pouze ornou půdou v k. ú. Žichlínek) několikrát větší než oba předchozí bloky zmíněné v této lokalitě. Ve dvou částech v místech strží jsou navrženy zatravněné údolnice, do kterých ústí několik sběrných průlehů. Dále jsou zde navrženy i protierozní meze. Za hranicí k. ú. Žichlínek není ochráně orné půdě věnován takový prostor, protože se nejedná a předmět této práce. Protierozní opatření v některých místech zasahují do sousedních půdních bloků. Zatravněná údolnice umístěná více na sever ústí do sedimentační jímky. Tato jímka následně navazuje na místo, kde je navržen mokřad, ve kterém pramení bezejmenný pravostranný přítok Moravské Sázavy. U tohoto přítoku je navržena rekultivace, která vede od pramene až k nejbližší zástavbě. Jižněji umístěná zatravněná údolnice také končí sedimentační jímkou, ta ale dále navazuje na drobnou lesní plochu, ze které vytéká občasný tok.



Obrázek č. 14 Pravý břeh Moravské Sázavy

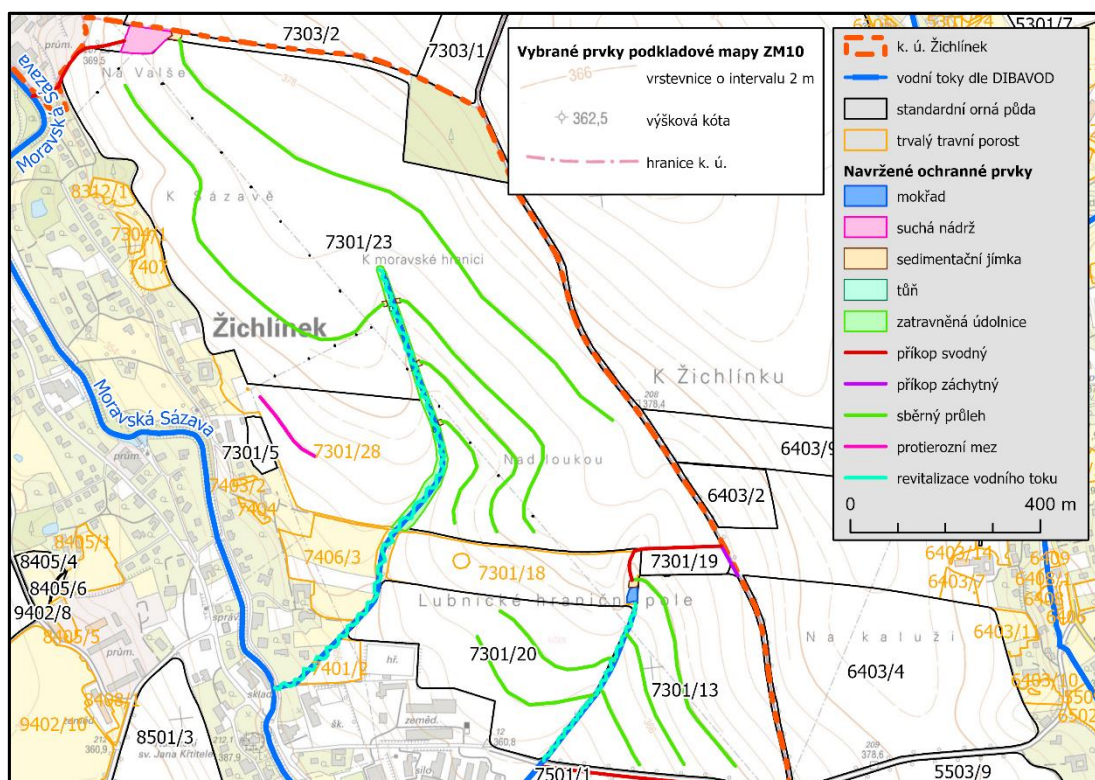
5.3.4 Technická opatření na levém břehu Moravské Sázavy - sever

Levým břeh Moravské Sázavy v k. ú. Žichlínek je více ohrožen vodní erozí než břeh pravý. Z toho důvodu zde bude navrženo větší množství protierozních prvků než na břehu levém. V severní části levého břehu Moravské Sázavy většinu plochy orné půdy tvoří blok 7301/23. Přibližně ve středu tohoto půdního bloku začíná občasný tok. Podél tohoto toku (střed strže procházející tímto půdním blokem) je zatravněná údolnice, která je z tohoto půdního bloku vyjmutá a má šířku přibližně 7 metrů. V rámci opatření, bylo navrženo tuto zatravněnou údolnici rozšířit, aby zde mohla proběhnout rekultivace vodního toku a zároveň zde bylo navrženo několik tůní (nachází se na hydrologické skupině půd B). Zároveň do této zatravněné údolnice s rekultivovaným vodním tokem ústí několik sběrných průlehů, z nichž každý má sedimentační jámku. Ve výšce 376 m n. m. je v tomto půdním bloku navržen protierozní průleh, který se táhne téměř z jednoho konce půdního bloku až k severní hranici půdního bloku i k. ú. Žichlínek. Tento průleh odvádí vodu nad průmyslový komplex a v případě přívalových dešťů by tedy mohlo hrozit, že bude tento komplex zaplaven. Z toho důvodu je zde navržena suchá nádrž, před kterou je umístěná sedimentační jámka. Průlehy v tomto půdním bloku jsou navrženy tak, aby vedly nad sloupy vysokého napětí a nehrozilo tak jejich podemletí v případě extrémních srážkových událostí.

Půdní blok 7301/5 je v této lokalitě nejmenším půdním blokem orné půdy. Z toho důvodu zde není vhodné navrhovat technická opatření, která by ještě zmenšila plochu obdělávatelné půdy. Proto byla ve výšce 366 m n. m. navržena protierozní mez v půdním bloku travního porostu 7301/28, která zabraňuje povrchovému toku ztéká na půdní blok 7301/5.

Půdní blok 7301/19 je dalším malým půdním blokem orné půdy. Přesto se jedná o jeden z mála půdních bloků, u kterých je vhodné zkrátit délku svahu, aby zde nabylo účinnosti konturové obdělávání. Na východní hranici tohoto půdního bloku vede cesta, která tvoří hranici mezi k. ú. Žichlínek a k. ú. Lubník a podél této cesty je alej. Zde je navržen záchytný příkop, který tak zkracuje povrchový odtok ztékající na tento půdní blok z k. ú. Lubník. Tento odtok je sveden do svodného příkopu na hranici s půdním blokem 7301/23 a odvádí ho do sedimentační jímky, za kterou následuje navržený mokřad, za kterým pramení bezejmenný pravostranný přítok Moravské Sázavy. Pro tento bezejmenný potok je také navrhnutá rekultivace.

Do výše zmíněné sedimentační jímky ústí i sběrný průleh, který odvodňuje horní část půdního bloku 7301/13. Vodní tok, který o něco níže vyvěrá, tvoří hranici mezi dvěma vodní erozí ohroženými půdními bloky orné půdy 7301/20 na pravém břehu a 7301/13 na levém břehu. V obou půdních blocích jsou navrženy protierozní průlehy, který odvádí povrchový odtok do bezejmenného vodního toku. Plocha odvodňovaná těmito průlehy se zdá být poměrně malá, a tak zde nejsou navrženy sedimentační jímky.



Obrázek č.15 Levý břeh Moravské Sázavy - sever

5.3.5 Technická opatření na levém břehu Moravské Sázavy - jih

Tato lokalita je tou vůbec největší z lokalit, kde jsou navrhovány protierozní opatření, a tak byla mapa této lokality umístěná do samostatné přílohy FG. Největším půdním blokem v této lokalitě je blok orné půdy 5503/9. Tento půdní blok zasahuje do tří katastrálních území: Žichlínek, Lubník a Tatenice. V severní části tohoto půdního bloku je navržený sběrný průleh začínající v k. ú. Tatenice ve výšce 370 m

n. m. a vede až k silnici spojující Lubník s Žichlínkem. Aby nedocházelo k zaplavování této komunikace, je navržen svodný příkop podél této silnice, který odvádí vodu ze zmíněného průlehu do bezejmenného toku zmíněného u popisu technických opatření na severu levého břehu Moravské Sázavy. V nadmořských výškách 360 a 356 m n. m. jsou vedeny další dva průlehy, které odvádí povrchový tok směrem na jihovýchod do Lubnického potoka, který v těchto místech protéká k. ú. Tatenice. V jihozápadní části tohoto půdního bloku je v menší strži navržená zatravněná údolnice zakončená sedimentační jímkou, do které vede menší průleh ve výšce 354 m n. m.

Severojižní osou půdního bloku 7601/3 prochází drobný hřeben s maximální nadmořskou výškou 361 m n. m. Východní svahy tohoto půdního bloku jsou odvodňovány Lubnickým potokem (přítok Moravské Sázavy) a západní svahy jsou odvodňovány přímo Moravskou Sázavou. Mezi Moravskou Sázavou a tímto půdním blokem je zástavba a travní porosty. Sběrné průlehy jsou budovány s cílem, aby zabránily povrchovému odtoku ztékát na zástavbu a odvádí vodu do navržených svodných příkopů, které odvádí povrchový odtok do Moravské Sázavy skrze půdní bloky travních porostů. Ke konci těchto příkopů jsou navrženy mokřady se sedimentačními jímkami, které budou vybudovány v půdních blocích 7314/2 a 7509/2, kde jsou travní porosty. Na východních svazích půdního bloku 7601/3 jsou navržené dvě protierozní meze, nicméně zde nejsou tak skloněné svahy, tudíž je v těchto místech menší riziko eroze.

V půdním bloku 5601/16 je navrženo několik sběrných průlehů. Některé odvádí odtok do Lubnického potoka, jiné do zahloubené strže, kterou proudí bezejmenný přítok Lubnického potoka. V úseku Lubnického potoka podél půdního bloku 7601/16, který nemá ve svém nejbližším okolí stromový porost, je navržena rekultivace vodního toku.

Oba průlehy (jeden ve výšce 350 a druhý 346) navržené v půdním bloku orné půdy 6601/6 odvádí povrchový odtok do Lubnického potoka, od kterého jsou odděleny sedimentačními jímkami.

V rámci půdního bloku 7605/2 není žádná strž, která by odváděla povrchový tok a tak jsou zde navrženy dva příkopy. Do jižního příkopu jsou svedeny dva průlehy (ve výškách 352 a 348 m n. m.). Tento příkop ústí do sedimentační jímky, za kterou

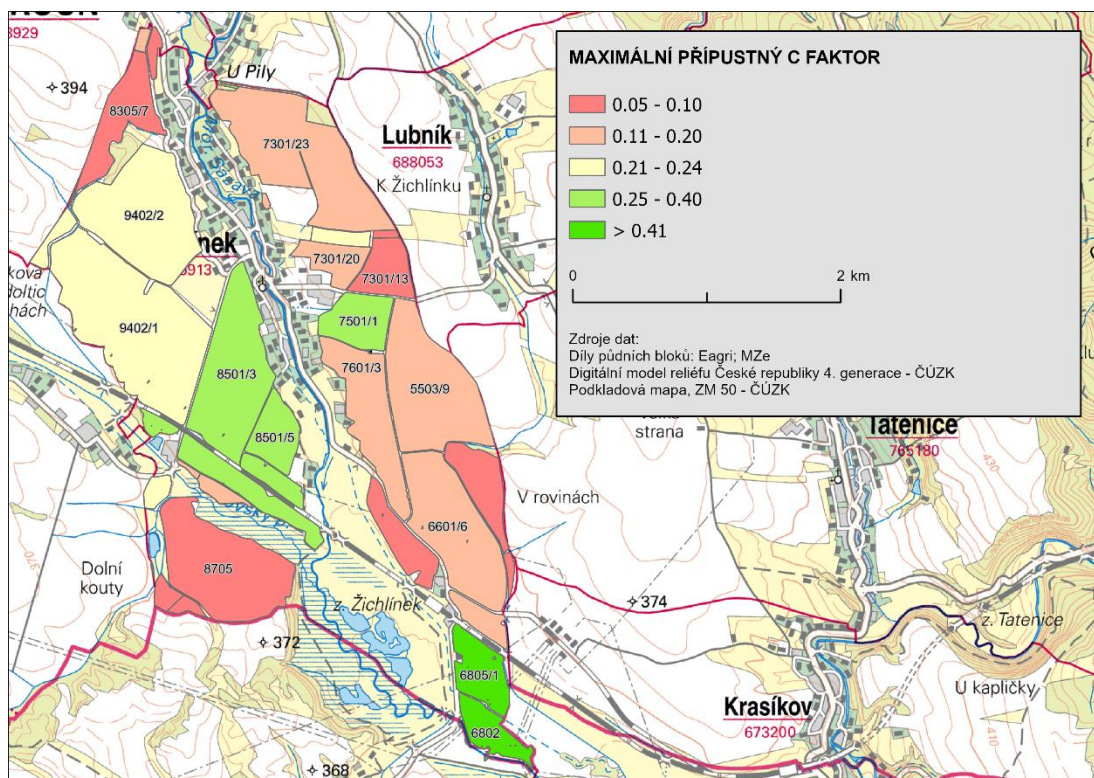
následuje bezejmenný občasný přítok Moravské Sázavy, který v těchto místech ústí do tunelu procházející pod železnicí. Severněji umístěný příkop je napájen jen jedním průlehem a je také zakončen sedimentační jímkou za kterou následuje mokřad na půdním bloku TTP 7605/1.

Vypočtená míra vodní eroze v půdním bloku 6701 je patrně mírně nadhodnocená, protože podle produktu Flow Accumulation tímto pozemkem prochází koryto Lubnického potoka, což se rozchází s realitou, protože Lubnický potok tvoří východní hranici tohoto půdního bloku. Nicméně se zdá, že tento tok skutečně tekl dříve místy, která naznačuje produkt Flow Accumulation, protože podobný průchod má v těchto místech i hranice mezi k. ú. Žichlínek a k. ú. Krasíkov, na němž také z menší části tento půdní blok leží. Vzhledem k délce Lubnického potoka, jsou v těch místech, kterými údajně tento tok v tomto půdním bloku prochází, obrovské hodnoty G. Tudíž i průměrná hodnota G pro tento půdní blok se zdá být nadhodnocená. Výpočet průměrné roční vodní eroze se svodným příkopem, který je navrhnut v místech kudy Lubnický potok opravdu prochází tak může simulovat skutečný stav. Tok Lubnického potoka chybně svedený na tento půdní blok také způsobuje, že jsou svahy tohoto půdního bloku průměru mnohem delší, než aby zde mohlo být aplikováno konturové zemědělství.

6 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PRÁCE

6.1 Maximální přípustná hodnota C faktoru

Na obrázku 16 níže jsou znázorněny půdní bloky orné půdy v k. ú. Žichlínek, rozdělené do intervalů C_p dle vhodných organizačních a agrotechnických opatření podle Novotný a kol. 2017. Žádný pozemek nespadá do intervalu hodnot, u kterého by bylo vhodné aplikovat ochranné zatravnění. Pozemky na levém břehu Moravské Sázavy dosahují nižší hodnoty C_p a mezi vhodná opatření na těchto pozemcích podle Novotný a kol. 2017 nejčastěji patří: vyloučení erozně nebezpečných plodin s vyšším zastoupením víceletých pícnin do hodnoty $C_p = 0,1$ a vyloučení erozně nebezpečných plodin a použití protierozních technologií do hodnoty $C_p = 0,2$. Pozemky na pravém břehu již spadají do intervalu, ve kterém Novotný navrhuje pásové střídání plodin, nebo vyloučení erozně nebezpečných plodin do hodnoty $C_p = 0,24$ anebo erozně nebezpečné plodiny s protierozními opatřeními do hodnoty $C_p = 0,4$. Na pravém břehu Lukovského potoka se nachází půdní bloky v intervalu $0,02 - 0,1$, patří tedy k blokům s nejnižší hodnotou C_p v k. ú. Naopak v nejnižším cípu k. ú. se nachází půdní bloky C_p již dostatečně vysokým, aby nemuselo být aplikováno na nich žádné opatření.



Obrázek č. 16 C_p v zájmovém území

Tabulka 7 se seznamem ploch spadajících do intervalů vymezených v Novotný 2017 je uvedena níže společně s celkovou rozlohou bloků spadajících do těchto intervalů, zastoupením (vůči celkové ploše PB orné půdy) a seznam PB v těchto intervalech. Oproti Novotný a kol. 2017 byla doplněna ještě jedna kategorie a to $C_p > 1$. Půdním blokům v této kategorii by neměl podle výpočtu USLE žádný C faktor způsobit vyšší erozi než 4 ha, protože hodnota C může být pouze v intervalu $0 - 1$.

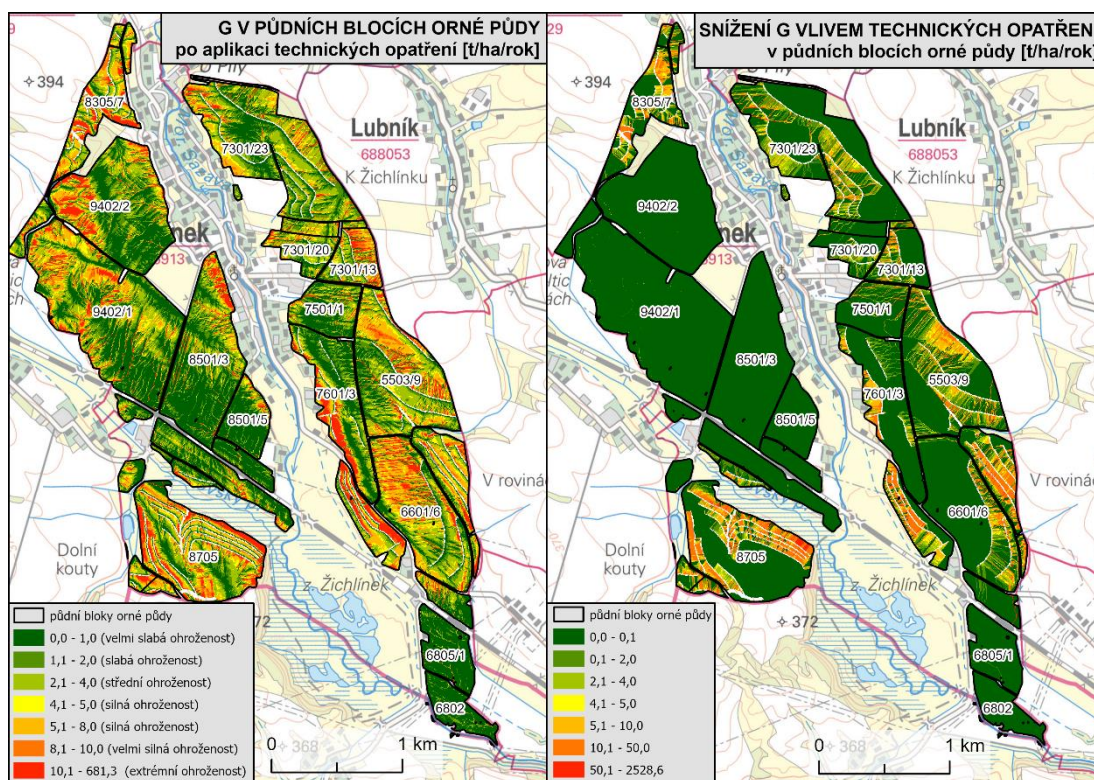
Kategorie C _p	Rozloha (ha)	Zastoupení (%)	Počet PB	Půdní bloky v kategorii
0,02 - 0,10	137.0012	19.8	8	7605/2; 8605/2; 8705; 6802; 8606/1; 8701/1; 8501/5; 7301/20
0,11 - 0,20	189.0812	27.3	8	8501/3; 9401/1; 7301/13; 7601/3; 7303/2; 7501/1; 9402/2; 8305/14
0,21 - 0,24	93.04721	13.5	6	5601/3; 8701/3; 7301/23; 8605/3; 8305/8; 5601/14
0,25 - 0,40	187.787	27.2	7	9402/1; 8305/7; 5503/9; 8502/1; 9701; 8602; 6701
0,41 - 1,00	62.19738	9.0	5	7301/19; 8307/1; 7301/5; 6601/6; 8501/4
> 1	22.32622	3.2	3	6805/1; 7301/22; 6804

Tabulka č. 7 Seznam ploch spadajících do intervalů vymezených (Novotný, 2017).

6.2 Účinnost technických opatření

V levé části obrázku ABX je vypočítaná hodnota USLE po aplikaci technických opatření v jednotlivých pixelech DMR4G orné půdy v k. ú. Žichlínek. Větší vypovídající hodnotu má obrázek vpravo, kde je rozdíl původní hodnoty G (převzato z ADAMOVI 2020) a přepočtené hodnoty G po aplikaci technických opatření. Z obrázku je zřejmé, že v místech, nad kterými byly navrženy technická opatření došlo vždy ke snížení hodnoty vodní eroze. Naopak logicky v místech, nad kterými se žádná technická opatření nenachází nedošlo k žádné změně USLE oproti ADAMOVI 2020.

Při pozorném pohledu na půdní blok 6701 v pravé části obrázku ABX (v mapě mu chybí popis, nachází se mezi bloky 6805/1 a 6601/6) je vidět, že ke snížení eroze došlo zejména vlivem sběrného průlehu v půdním bloku 6601/6 a potom především v místech, kudy podle analýzy *Flow Accumulation* procházel Lubnický potok, přestože zde reálně neteče. Jedná se o červenou linii (snížení eroze o více jak 50 t/ha/rok) ve východní části půdního bloku obklopenou pixely, ve kterých k žádné změně nedošlo. Z toho plyne, že namodelovat skutečný tok Lubnického potoka se povedlo.



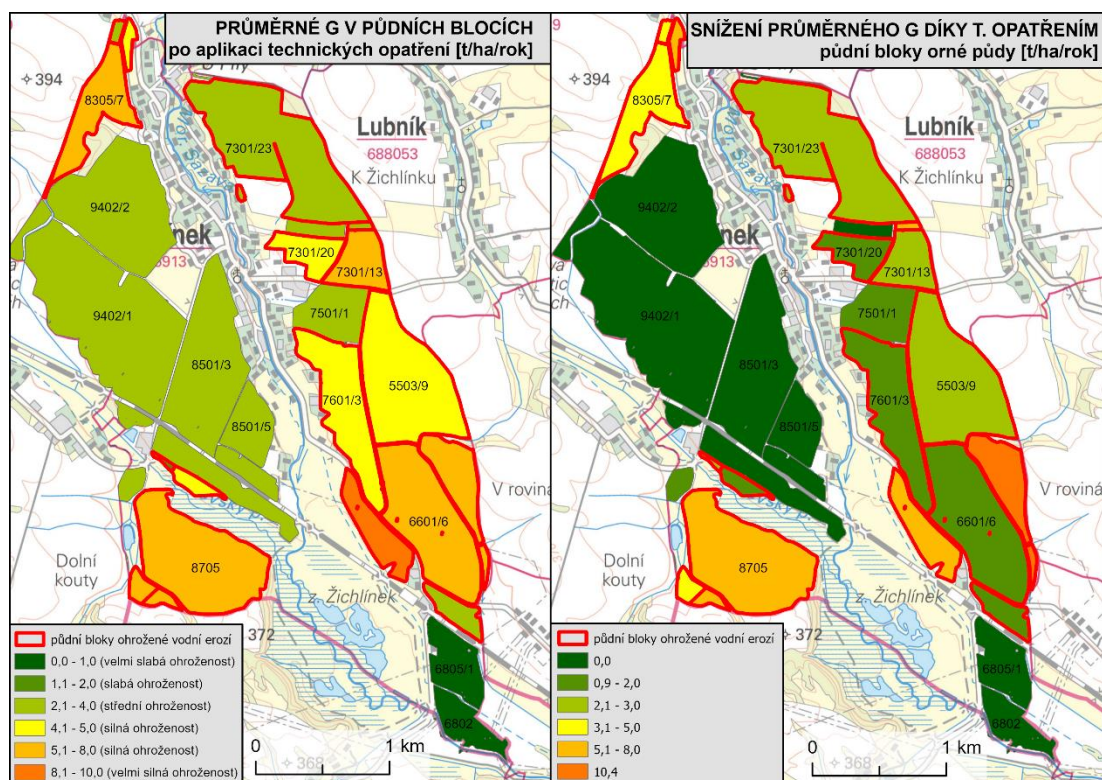
Obrázek č. 17 ABX účinnost protierozních technických opatření v blocích orné půdy v k. ú. Žichlínek

V levé části obrázku CLX níže je znázorněna průměrná hodnota G v půdních blocích po aplikaci technických opatření. Jak je vidět největší půdní blok, který již po aplikaci není nadále ohrožen je 7301/23. Z obrázku je patrné, že většina ohrožených půdních bloků zůstala nadále ohrožená, protože jejich hodnota G je nadále více jak 4 t/ha/rok. Na druhou stranu žádný půdní blok již nemá průměrnou hodnotu G nad 10 t/ha/rok. Nejhroženějším půdním blokem 5601/14, který nadále spadá do kategorie

velmi silné ohroženosti, přestože pro tento blok bylo navrženo celkem 7 sběrných průlehů.

V pravé části obrázku CLX je vidět o kolik se snížila hodnota G po aplikování technických opatření. Nejvíce tato hodnota klesla v půdních blocích 5601/3 (na východ od bloku 6601/6), 7605/2 a 8701/1 kde průměrná hodnota G poklesla o více jak 8 tun na hektar za rok. Z obrázku je patrné, že hodnota G klesla i pro půdní blok 7501/1, pro který sice nebylo aplikováno žádné protierozní opatření (nejedná se o půdní blok ohrožený vodní erozí. Hodnota G je méně jak 4 t/ha/rok.), ale na výše položených blocích již nějaká technická opatření jsou navržena a tak se snížila průměrná hodnota G i tomuto bloku.

V lokalitě Pravý břeh Lukovského potoka sice došlo po aplikaci technických opatření ve všech třech ohrožených půdních blocích ke snížení míry vodní eroze minimálně o 4 t/ha/rok (8701/3), ale i tak zde zůstaly všechny půdní bloky nadále ohrožené. Také při modelování vlivu technických opatření v lokalitě Pravý břeh Moravské Sázavy došlo k poměrně razantnímu snížení míry vodní eroze. Pod přípustnou míru vodní eroze se zde ale povedlo dostat pouze půdní blok 8305/14. Naopak na lokalitě Levý břeh Lukovského potoka došlo ke snížení G na přípustnou míru v obou ohrožených půdních blocích a poměrně úspěšně se jeví navržena opatření v lokalita Levý břeh Moravské Sázavy – sever, kde se nepovedlo pod hodnotu G_p dostat pouze půdní blok 7301/13. Nízká úspěšnost protierozních opatření se jeví v lokalitě Pravý břeh Moravské Sázavy – jih. Kde ke snížení pod G_p došlo pouze v půdním bloku 6701 a to jenom díky tomu, že se povedlo z půdního bloku odvést tok Lubnického potoka, který zde v realitě stejně neteče, takže se jedná spíše o stav blízký realitě než o zlepšení.



Obrázek č. 18 CLX: Průměrná míra vodní eroze v půdních blocích po aplikaci technických opatření

6.3 Porovnání jednotlivých variant protierozních opatření v ohrožených blocích

V tabulce ARX níže je porovnávána účinnost jednotlivých opatření na těch blocích orné půdy v k. ú. Žichlínek, na které měla technická opatření nějaký dopad. Jedná se o všechny půdní bloky s vyšší mírou eroze, než je přípustná hodnota (hodnota $G > 4$) a v jednom případě i půdní blok 7501/1, pro které sice žádné protierozní opatření plánováno nebylo, ale opatření nad tímto pozemkem pomohla snížit míru vodní eroze i zde. Sloupec nadepsaný „G s KO“, představuje hodnotu USLE pokud by bylo aplikováno konturové obdělávání. Červenou barvou jsou zvýrazněné ty půdní bloky, které měly průměrnou délku svahu příliš dlouhou a tudíž je hodnota P faktoru rovna hodnotě jedna. Zelenou barvou jsou zvýrazněné ty půdní bloky, které se díky opatřením dostaly pod hodnotu 4 t/ha/rok. Sloupec „G s TO“ představuje hodnotu G s aplikovanými technickými opatřeními. Jak je vidět tato navržená technická opatření by snížila erozi pod maximální přípustnou hodnotu G_p u osmi půdních bloků. Poslední sloupec představuje hodnotu G za předpokladu, že by v půdních blocích byly aplikovány jak technická opatření, tak konturové obdělávání. Jak je vidět, technická opatření zkrátila svahy u všech půdních bloků dostatečně na to, aby konturové obdělávání nabylo účinnosti. Kombinace opatření by vedla ke snížení G pod hodnotu 4 t/ha/rok u téměř u všech půdních bloků, kromě tří. Aby bylo dosaženo u těchto tří půdních bloků dostatečné snížení G, je na nich tedy vhodné, aby bylo aplikováno snížení C faktoru podle výsledků v podkapitole 6.1. Pro půdní blok 7605/2 je tudíž vhodné: „vyloučení erozně nebezpečných plodin a vyšší zastoupení víceletých píceň“ a pro půdní bloky 5601/3, 5601/14 je vhodné: „pásové střídání plodin nebo vyloučení erozně nebezpečných plodin“.

Kód PB	Ohrožení	G	G s KO	G s TO	G s TO a s KO
5503/9	silná ohroženost	7.19	7.19	4.65	2.79
5601/14	Extrémní ohroženost	15.31	15.31	9.60	5.76
5601/3	Extrémní ohroženost	17.27	17.27	7.47	5.23
6601/6	silná ohroženost	6.58	6.58	5.38	3.23
6701	silná ohroženost	4.86	4.86	6.51	3.90
7301/13	velmi silná ohroženost	8.42	5.05	5.94	3.56
7301/19	Extrémní ohroženost	10.72	10.72	3.24	1.94
7301/20	silná ohroženost	5.03	3.02	3.62	2.17
7301/23	silná ohroženost	5.64	3.39	3.31	1.98
7301/5	silná ohroženost	5.04	3.02	2.41	1.45
7501/1	střední ohroženost	3.31	3.31	2.21	2.21
7601/3	silná ohroženost	6.09	3.65	4.41	2.65
7605/2	Extrémní ohroženost	15.84	11.09	7.68	5.37
8305/14	silná ohroženost	7.56	4.54	3.71	2.23
8305/7	Extrémní ohroženost	11.67	7.00	6.36	3.82
8307/1	Extrémní ohroženost	11.13	6.68	4.69	2.82
8605/2	silná ohroženost	5.69	3.42	2.85	1.71
8605/3	silná ohroženost	4.17	2.50	1.25	0.75
8701/1	Extrémní ohroženost	14.44	8.66	6.17	3.70
8701/3	velmi silná ohroženost	9.22	5.53	5.18	3.11
8705	Extrémní ohroženost ale	12.29	7.38	5.37	3.22

Tabulka č 8 ARX: Účinnost jednotlivých variant protierozních opatření na ohrožených půdních blocích

7 DISKUZE

Při pročítání výsledků této práce by čtenář neměl zapomínat především na to, že zkoumaný stav míry vodní eroze v půdních blocích ve velkém počtu případů neodpovídá celkovému průměrnému ohrožení celých bloků, ale že se jedná jen o průměrné ohrožení těch částí půdních bloků, které zasahují do k. ú. Žichlínek. Hodnoty G mimo k. ú. Žichlínek nebyly předmětem této práce. Pokud by čtenář chtěl zjistit míru ohrožení v celém bloku zasahujícího do více k. ú., bylo by potřeba tyto hodnoty vypočítat znovu. Stejně tak technická opatření byla navrhována pouze tak, aby měla vliv hlavně na ornou půdu v k. ú. Žichlínek. Aby technická opatření měla vliv na celý půdní blok, bylo by potřeba stávající návrh doplnit dalšími opatřeními a někdy navržená opatření nahradit jinými, aby nebyla chráněna pouze orná půda v k. ú. Žichlínek. To se týká například půdního bloku 5601/3, který jen malou částí zasahuje do k. ú. Žichlínek a patří mezi extrémně ohrožené půdní bloky. Je možné, že kdyby se zjistila průměrná míra vodní eroze pro celý tento půdní blok, nejenom pro část zasahující do k. ú. Žichlínek, tak by mohla být průměrná hodnota G nižší.

Je otázka, do jaké míry je průměrná hodnota G pro určitý pozemek vypovídající. Některé půdní bloky v k. ú. Žichlínek mají velmi členitý reliéf. V některých částech půdních bloků (například 8705 na pravém břehu Lukovského potoka) je rovina a na jiných částech jsou naopak svahy. Velké půdní bloky, jako například 9402/1, tak sice mohou mít průměrnou míru vodní eroze pod hodnotou G_p , ale některé části mohou být naopak extrémně ohrožené. Pokud by došlo k rozdělení takovýchto půdních bloků na menší, rázem by se objevilo v zájmovém území větší počet ohrožených půdních bloků, než je tomu nyní. Výpočet průměrné hodnoty USLE tak má vypovídající hodnotu zejména u těch půdních bloků, které mají ve všech částech přibližně stejný sklon, orientaci svahu a pravidelný tvar, což bývá v k. ú. Žichlínek spíše výjimkou.

Podle novely nařízení vlády č. 48/2017 (zdroj <https://eagri.cz/public/web/mze/dotace/kontroly-podminenosti-cross-compliance/aktuality/novela-narizeni-vlady-k-podminenosti-a.html>) se má omezit pěstování monokultur na plochách větších než 30 ha. Pokud se toto nařízení projeví na velikosti pozemků, jak jsou zaznamenány v LPIS, získají se při počítání průměrné hodnoty G v půdních blocích výsledky, které lépe prozradí stav krajiny. Největším

půdním blokem v k. ú. Žichlínek je půdní blok 9402/1 s 92 ha. Průměrná hodnota G v tomto půdním bloku je 3,7 t/ha/rok což je hodnota blízká G_p . Jak je vidět na obrázku ABX, tak severozápadní část tohoto půdního bloku má rozsáhlé oblasti, které jsou extrémně ohrožené, ale díky nízkým hodnotám G v jihovýchodní části tohoto půdního bloku, je průměrné G těsně pod hodnotou G_p a tudíž pro tento blok nebyly navrhovány opatření. Rozdělení tohoto půdního bloku na menší by jistě odhalilo ohroženost severozápadní části a vynutilo by si navrhnutí opatření. V budoucnu by se tak mohly navrhovat protierozní opatření i u půdních bloků, které mají hodnotu G sice pod hodnotou G_p dle JANEČEK 2012, ale k této hodnotě se přibližují (pro středně hluboké a hluboké půdy například hodnoty G nad 3.5 t/ha/rok). Reálný stav vodní eroze totiž může být vlivem chyb v datech podhodnocen, nebo se mohou v rámci pozemku nalézat extrémně ohrožená místa, která nemají na průměrnou hodnotu zásadní vliv.

Orientační šířka rozestupů protierozních opatření podle l_p a odhad celkového počtu těchto opatření podle průměrné délky svahu byly využity při návrhu technických opatření například v BURDOVÁ 2021, DUŠKOVÁ 2021 a JAKUBÁŠKOVÁ 2021. Postup výpočtu l_p z USLE je získáván z průměrné hodnoty jednotlivých faktorů rovnice USLE za celý pozemek. To znamená, že tento postup je vhodný pro pozemky, které mají pravidelný tvar, kde není příliš velká variabilita ve sklonu svahu, orientaci svahů a odtokové dráhy začínají ve svrchní části pozemku. Zjištěný rozestup opatření tak umožňuje odhadnout počet opatření, kterými se svah půdního bloku rozdělí do přibližně stejně širokých segmentů, které zajistí, že maximální délka svahu bude právě l_p . Tento postup se nezdál pro půdní bloky v k. ú. Žichlínek vhodný, protože měly často velmi nepravidelný tvar, který neumožňoval je rozdělit do stejně širokých segmentů. Dále zde měly půdní bloky velkou variabilitu ve sklonech svahu, takže by se některá liniová opatření, která musí být vedena v jedné nadmořské výšce, při zvyšování sklonu svahu (ve směru po vrstevnici) k sobě přibližovaly a pokud by docházelo naopak ke snižování sklonu, tak by se jejich rozestup zvyšoval, což by způsobilo různé délky svahu mezi jednotlivými opatřeními a obtíže při obdělávání. V jiných případech, nad některými ohroženými pozemky, již byly dlouhé odtokové dráhy, a tak pro dostatečné snížení eroze stačilo tyto odtokové dráhy navést mimo půdní blok a nebylo vlastní ploše půdního bloku stavět technická liniová opatření, která by rozdělila svah do určitého počtu segmentů (toto se povedlo

u půdních bloků: 8605/3, 8605/2, 7301/5). Jindy měly vliv i opatření provedené v rámci jiných půdních bloků, které snižovaly délku svahu pro půdní bloky, které byly položeny níže a teprve z této délky svahů (po započtení opatření provedených nad konkrétním půdním blokem) by se měla počítat délka l_p , aby odpovíděla na to, kolik opatření je vhodné navrhnout.

Pokud je v půdním bloku nějaký prvek, který má tendenci se projevovat jako protierozní opatření tím, že přerušuje svah (například křovinná vegetace, nebo příkop podél silnice/cesty), je možné, že se tento účinek při výpočtu USLE neprojeví, a to zejména díky funkci *Fill*, která má tendenci zahlazovat nerovnosti v modelu terénu (na druhou stranu bez funkce *Fill* není možné počítat délku svahu). Pro výpočet stávajícího stavu USLE by tak bylo vhodné území kompletně projít tyto prvky zmapovat a do modelu terénu a v těchto místech zaznamenat hodnoty NoData, aby zde byl přerušen svah. Takovýto prvek například ovlivňuje půdní blok 8307/1. Nad tímto blokem vede silnice doplněná mezi mírně vyvýšenou mezí se stromovou a křovinnou vegetací, která může fungovat jako překážka pro odtok. Vliv této vegetace se v DMR4G projeví minimálně a protože funkce *Fill* vyhlazuje plochy, tak při modelování USLE se jeví, že odtokové dráhy bez překážky proudí z výše položených pozemků přes silnici právě na půdní blok 8307/1. Míra eroze tohoto půdního bloku je tak tedy patrně mírně nadhodnocená. Jiný případ, kdy modelování bylo zkreslené nastalo u půdního bloku 6701, do kterého dle modelu terénu vtékal Lubnický potok, ale v realitě Lubnický potok tvoří východní okraj tohoto půdního bloku. Velká délka tohoto potoku (délka svahu) v rámci zájmového území způsobila vysoké hodnoty G v tomto pozemku. Oba výše popsané případy, kdy modelování USLE se evidentně rozchází s realitou jsou způsobené nedostatky v poskytovaných datech. Pro výpočty USLE se tak zdá být vhodné nespolehat jen na poskytnutá data, ale je vhodné provést podrobnou inspekci terénu, při které dojde k porovnání datových podkladů a reálného stavu krajiny. Další variantou je provést rozdíl modelu terénu, na kterém byla aplikována funkce *Fill* a na kterém aplikována nebyla. Tam, kde nedošlo k žádné změně, bude hodnota 0, tam kde k nějaké změně vlivem funkce *Fill* došlo, bude hodnota různá od 0. V těch místech, kde vlivem funkce *Fill* došlo k zahlazení by mohlo být vhodné dát hodnotu NoData, protože je od těchto míst možné očekávat přerušení povrchového toku.

Je také dobré zvážit, jestli nemá na počítání délky svahu negativní vliv funkce *Flow Accumulation*. Podle dokumentace k této funkci (<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/2.8/tool-reference/spatial-analyst/how-flow-accumulation-works.htm>) se jedná spíše o výpočet plochy povodí. Ve zmíněné dokumentaci je například obrázek, kde je vizualizován rastr směru odtoku o ploše 6 x 6 pixelů (36 pixelů) získaný funkcí *Flow Direction*. Hned vedle je rastr akumulace odtoku vzniklý funkcí *Flow Accumulation*. Nejvyšší hodnota v rastru akumulace odtoku v dokumentaci je 35. Pokud se jedná o délku svahu, tak délka tohoto svahu je 35 pixelů což jsou všechny pixely v tomto rastru. Přitom do pixelu s hodnotu 35 míří tok ze tří směrů a tudíž všechny pixely nemohou tvořit jeden souvislý svah. Jedná se tudíž spíše o velikost povodí v pixelech než o délku svahu. Pro výpočet délky svahu se tak lépe hodí funkce *Flow length*, použitá například v POSKER 2021 při výpočtu CN křívce. Tato funkce se také počítá z rastru *Flow Direction*, stejně jako *Flow Accumulation*. Funkce vypočítá pro každý pixel nejdelší vzdálenost ke hřbetu v metrech a podle Pythagorovy věty zohledňuje i vzdálenost spádnice po diagonále (v rastru DMR4G je vzdálenost po diagonále z jednoho pixelu do druhého dlouhý přibližně 7,1 m). Na druhou stranu tato funkce nezohledňuje postranní přítoky svahu, které mohou přidávat povodňové vlně na síle a tudíž by vypočítané hodnoty USLE s touto funkcí byly výrazně nižší, než s *Flow Accumulation*.

Pro některé půdní bloky v této práci by bylo obtížné navrhnout ještě více technických opatření, ale přesto ani v kombinaci s konturovým obděláváním by nedošlo ke snížení USLE pod hodnotu G_p (půdní bloky 5601/14 – 7 opatření, 7605/2 – 6 opatření). K tomu docházelo zejména na více sklonitých svazích, kde vysoká hodnota G , nebyla ani tak způsobená délkou odtoku, ale vysokým sklonem a tím, že odtok se nesoustředil do jediné údolnice (kterou by bylo možné zatravnit), ale rovnoběžně stékal po svahu. Kromě zatravnění by pro takovéto půdní bloky mohlo být vhodné změnit vhodným opatřením sklon svahu.

8 ZÁVĚR

Za účelem snížení míry vodní eroze byly v k. ú. Žichlínek testovány 4 varianty protierozních opatření. Nejméně účinnou se ukázala být varianta konturového obdělávání, při které ke snížení míry vodní eroze pod přípustnou mez došlo jen na šesti půdní blocích z celkového počtu 21 ohrožených půdních bloků. O něco účinnější byla varianta aplikování technických opatření, při které došlo ke snížení vodní eroze pod přípustnou mez u osmi ohrožených půdních bloků. V pěti případech se jednalo o stejné půdní bloky, u kterých se ukázalo jako dostatečné opatření samotné konturové obdělávání. Vlivem technických opatření došlo ke zkrácení délek svahu u všech půdních bloků, u kterých tyto svahy byly původně příliš dlouhé na to, aby umožňovaly účinné konturové obdělávání. Třetí varianta spočívající v kombinaci konturového obdělávání a technických opatření se proto ukázala být tou nejúčinnější. Pouze u tří půdních bloků nedošlo při kombinaci technických opatření a konturového obdělávání k žádoucímu snížení vodní eroze pod hodnotu G_p . Pro tyto půdní bloky je tudíž navrženo užití 4. varianty, a to snížení C faktoru aplikováním organizačních a agrotechnických opatření.

Na půdních blocích ohrožených vodní erozí a v jejich okolí převažovaly půdy s nízkou a velmi nízkou rychlostí infiltrace, dle klasifikace Janeček 1992. Z toho důvodu nebylo v práci navrženo mnoho opatření, která by měla za cíl zasakování dešťových srážek. Jednalo se v podstatě jen o vytvoření několika tůní podél vodního toku, který teče skrz parcelu 7301 a pro který byla také navržena rekultivace.

Při vyhodnocování míry vodní eroze pomocí univerzální rovnice ztráty půdy plynou z této práce doporučení porovnat dostupná data s reálným stavem krajiny a pokusit se o zpřesnění těchto dat z hlediska výpočtu vodní eroze.

9 PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ

Knižní zdroje

ADAMOVIČ V., 2020: Posouzení míry erozního ohrožení zemědělských ploch v k.ú. Žichlínek, Česká zemědělská universita, fakulta životního prostředí, Praha. (bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.

ALEWELL, M., MEUSBURGER, E. K., 2015: *An attempt to estimate tolerable soil erosion rates by matching soil formation with denudation in Alpine grasslands*. In *Journal of Soils and Sediments*. 2015, ročník 15, číslo 6. s. 1383–1399.

BURIAN, Z., a kol., 2011: *Pozemkové úpravy*. Praha: Consult, s. 207. ISBN 80-903482-8-9.

DOLEŽAL, P. a kol., 2010: *Metodický návod k provádění pozemkových úprav*. Praha: MZE – ÚPÚ.

DRBAL, K., 2016: *Strategie ochrany před negativními dopady povodní a erozní jevy v přírodě blízkými opatřeními v České republice*. In *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2016, ročník 60, číslo 4. s. 4.

DZURÁKOVÁ, M. a kol., 2017: *Potenciál aplikace přírodě blízkých opatření zadržetí vody v krajině a zlepšení ekologického stavu vodních útvarů*. In *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2017, ročník 62, číslo 4. s. 25-30.

JANEČEK, M., KOVÁŘ, P., 2010: *Metody čísel odtokových křivek – CN k určování přímého odtoku z malého povodí*. In *Vodní hospodářství*. 2010, ročník 60, číslo 7. s. 187-190.

JANEČEK, M. a kol., 2012: *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha: ČZU. s. 114. ISBN 978-80-87415-42-9.

KADLEC, V., DOSTÁL, T., VRÁNA, K., a kol., 2014: *Navrhování technických protierozních opatření: metodika*. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha. ISBN 978-80-87361-29-0.

KAMENCOVÁ, R. a kol., 2010: *Hydrogeologie*. Praha: Česká geologická služba, s. 77. ISBN 78-80-7075-656-X.

- KEMEL, M., 1996: *Klimatologie, meteorologie, hydrologie*. Praha: České vysoké učení technické, s. 289. ISBN 8001014568.
- KNĚŽEK, M., 2013: *Jednota hydrologie – Krátké úvahy o vodě*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, s. 100. ISBN 978-8087577-24-0.
- KONEČNÁ, J., a kol., 2014: *Hodnocení ekonomických aspektů protierozní ochrany zemědělské půdy*. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Brno. ISBN 978-80-87361-26-9.
- KORENAGA, J., PLANAVSKY, N. J., EVANS A. D., 2017: *Global water cycle and the coevolution of the Earth's interior and surface environment*. In *The Royal Society*. 2017, ročník 37, číslo 5. ISSN 1471-2962.
- MORGAN, R P C. – NEARING, M. A. *Handbook of erosion modelling*. Chichester, West Sussex, UK: Hoboken, N.J.: Wiley, 2011: ISBN 9781405190107.
- MORGAN, R P C. *Soil erosion and conservation*, Malden: Blackwell, 2005. ISBN 1-4051-1781-8.
- MZe, 2010: *Pozemkové úpravy, nátroj pro udržitelný rozvoj venkovského prostoru*. Praha: Ministerstvo zemědělství, s. 28. ISBN 978-80-7084-944-6.
- MZe, 2011: *Příručka ochrany proti vodní erozi*. Praha: Ministerstvo zemědělství. s. 65. ISBN 978-80-7084-996-5.
- MŽP, 2010: *Zvýšení protipovodňové ochrany povodí – přírod blízká protipovodňová a protierozní opatření*. Praha: Ministerstvo životního prostředí. s. 83. ISBN 978-80-254-6828-9.
- NOVOTNÝ, I., ŽÍŽALA, D., KAPIČKA, J., BEITLEROVÁ, H., MISTR, M., KRISTENOVÁ H., PAPAJ, V., 2016: *Adjusting the CP max factor in the Universal Soil Loss Equation (USLE): areas in need of soil erosion protection in the Czech Republic*. In *Journal of Maps*. 2016, s. 1–5. ISSN 1744-5647.
- NOVOTNÝ, I. a kol., 2017: *Příručka ochrany proti erozi zemědělské půdy*. Praha: VUOMP, s. 50. ISBN 978-80-7434-362-9.
- ROŽŇOVSKÝ, J., LITSCHMANN, T., 2010: *Voda v krajině*. Lednice, s. 120. ISBN 978-80-86690-79-7.

ŘÍHA, J., 2014: *Voda jako složka biosféry – Encyklopedie vodního hospodářství I*. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně, s. 96. ISBN 978-80-7414-809-5.

SHIN, G. (1999): *The analysis of Soil Erosion Analysis in Watershed Using GIS*. Ph. D. Thesis. Chuncheon: Kangwon National University South Korea.

SCHNEIDER, S. H., ROOT L. T., MASTRANDREA M. D., 2011: *Encyclopedia of Climate and Weather*. Oxford: Oxford University Press, s. 1488. ISBN 978-0199765-32-4.

STRAHLER, A., 2013: *Introducing Physical Geography*. New York: John Wiley and Sons, s. 664. ISBN 978-1118396-20-9.

VIZINA, A., HORÁČEK, S., HANEL, M., 2015: *Nové možnosti modelu Bilan*. In *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2015, ročník 57, číslo 4. s. 4-5.

VIZINA, A. a kol., 2017: *Hydrologická bilance a disponibilní vodní zdroje v České republice v době hydrologického sucha*. In *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2017, ročník 60, číslo 4. s. 6-11. ISSN 0322-8916.

VĽNAS, R., 2015: *Pozorované změny složek hydrologické bilance z hlediska využitelných vodních zdrojů*. In *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2015, ročník 57, číslo 5. s. 27-32. ISSN 0322-8916.

Legislativní zdroje

Rámcová směrnice o vodách 2000/60/ES.

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2004/35/ES o odpovědnosti za životní prostředí.

Vyhláška č. 17/2009 Sb., o zjišťování a nápravě ekologické újmy na půdě.

Zákon č. 167/2008 Sb., o předcházení ekologické újmy.

Zákon č. 544/2020 Sb. o vodách.

Internetové zdroje

ČHMÚ: *Historie ústavu*. [online]. [cit. 2021.05.25.]. Dostupné na: Portál ČHMÚ: O nás: Historie ústavu (chmi.cz).

MZe, 2021: *Vodní eroze půdy*. [online]. [cit. 2021.05.25.]. Dostupné na: Vodní eroze půdy (Půda, eAGRI).

RUDA, A., 2014: *Voda na Zemi*. [online]. [cit. 2021.05.21.]. Dostupné na: Voda na Zemi | Klimatologie a hydrogeografie pro učitele | Pedagogická fakulta Masarykovy univerzity (muni.cz).

USGS: *The Water Cycle, Czech*. [online]. [cit. 2021.05.22.]. Dostupné na: Oběh vody – The Water Cycle, Czech (usgs.gov).

Výzkumní ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.: *Ochrana proti vodní erozi*. [online]. [cit. 2021.08.08.]. Dostupné na: OCHRANA PROTI VODNÍ EROZI – Webová encyklopedie (vumop.cz).

VÚV: *Základní informace*. [online]. [cit. 2021.05.23.]. Dostupné na: O ústavu (vuv.cz).

WISCHMEIER, W. H. a D. D. SMITH, 1978. Predicting rainfall erosion losses, a Guide to conservation planning [online]. Dostupné na: <https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF>

10 SEZNAM POUŽITÝCH ILUSTRACÍ

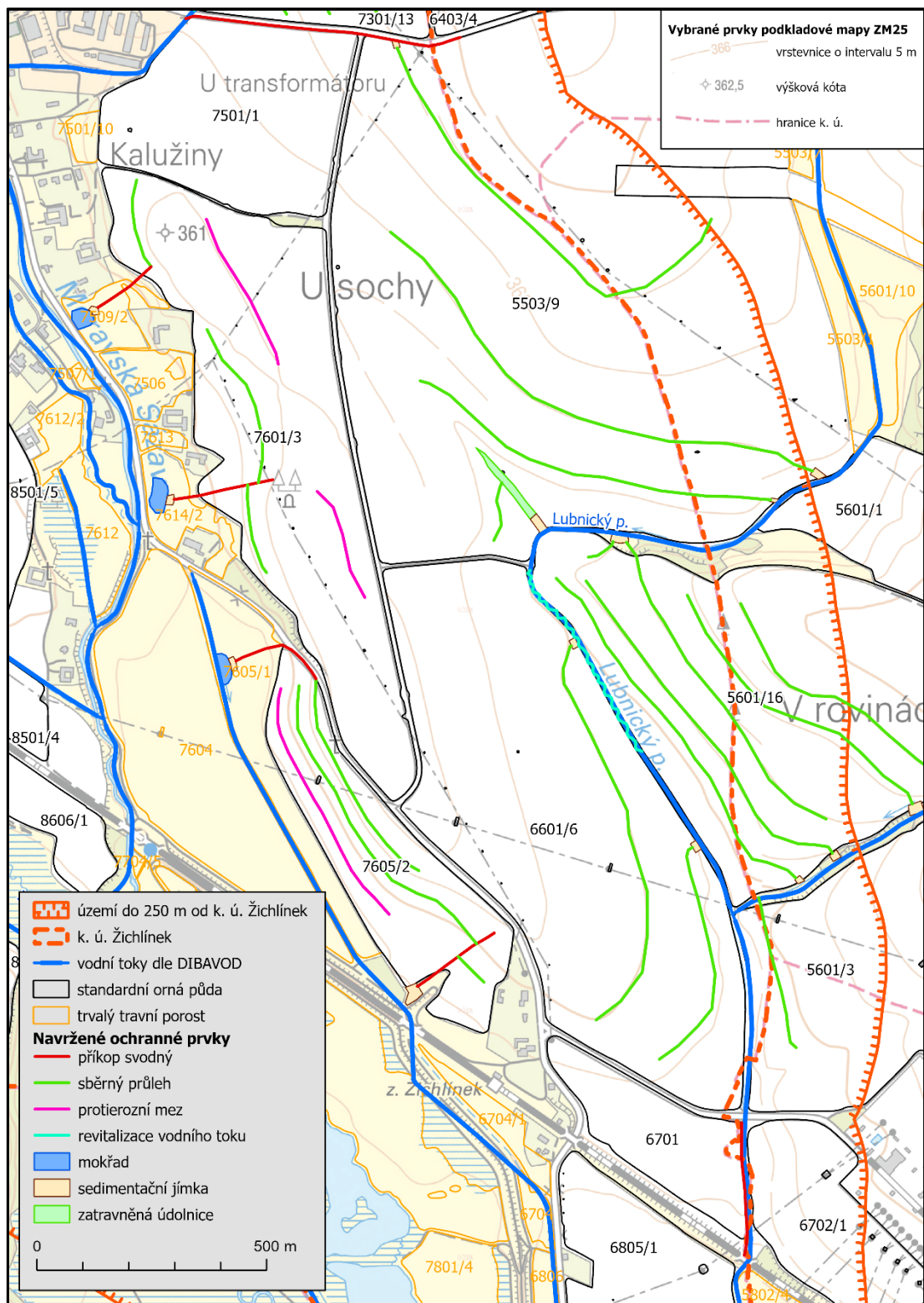
Obrázek 1 Schéma rámcového mechanismu oběhu vody na Zemi	16
Obrázek 2 Procesy podílející se na hydrologické bilanci daného povodí	20
Obrázek 3 Relativní ztráty půdy vodní erozí na pokryvu půdy mulčem	25
Obrázek 4 Mulč z posklizňových zbytků kukuřice	26
Obrázek 5 Příkop svodný – příčný řez – příklad	31
Obrázek 6 Polní cesta s protierozní funkcí	34
Obrázek 7 Intenzita ztráty půdy na řešeném území	45
Obrázek 8 Hloubka půdy v k. ú. Žichlínek	47
Obrázek 9 Hydrologické skupiny půd v k. ú. Žichlínek	48
Obrázek 10 Průměrná sklonitost a délka svahu	50
Obrázek 11 Přehledná mapa lokalit, kde budou aplikované tech. protie. opatření ..	52
Obrázek 12 Pravý břeh Lukavského potoka	54
Obrázek 13 Levý břeh Lukavského potoka	55
Obrázek 14 Pravý břeh Moravské Sázavy	56
Obrázek 15 Levý břeh Moravské Sázavy – sever	57
Obrázek 16 Cp v zájmovém území	60
Obrázek 17 ABX účinnost protie. tech. opatření v blocích orné půdy v k. ú. Žich.	62
Obrázek 18 CLX průměr. míra vodní eroze v půdních blocích po aplikaci tech. o.	63

11 SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK A GRAFŮ

Tab. 1 Dělení forem eroze	22
Tab. 2 Celkový počet dílů půdních bloků	46
Tab. 3 Přípustná ztráta půdy erozí podle hloubky půdy	47
Tab. 4 Vhodná organizační a agrotechnická opatření	49
Tab. 5 Sklonitost a maximální délka svahu	49
Tab. 6 Rozdělení půdních bloku	51
Tab. 7 Seznam ploch spadajících do intervalů vymezených	61
Tab. 8 ARX účinnost jednotlivých variant	65

12 PŘÍLOHY

Příloha FG Technická opatření na levém břehu Moravské Sázavy - jih



Fotodokumentace katastrální území Žichlínek



Kozí rybník

Půdní blok 8785



Půdní blok 8785



Půdní blok 8501/3



Na fotce se nachází Lubnický potok.

