

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta
Katedra fyzické geografie a geoekologie

Studijní program: Geografie
Studijní obor: Geografie a Kartografie



Petr Pagáč

**MODELOVÁNÍ EROZNÍCH PROCESŮ V POVODÍ
ODLEZELSKÉHO JEZERA**

Modelling erosion processes in basin of Odlezely lake

Bakalářská práce

Praha 2016

Vedoucí bakalářské práce: Doc. RNDr. Zdeněk Kliment, CSc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 28. června 2016

Podpis

ABSTRAKT

Degradace a ztráta půdy způsobená vodní erozí je v České republice stále větším problémem, jemuž bychom se neměli obracet zády. Tato práce je zaměřena na obecné seznámení s modelováním erozních procesů s příklady erozních modelů. Především je věnovaná pozornost modelu WaTEM/SEDEM, který je možný aplikovat pro území Odlezenského jezera. Významné srážko-odtokové události zvyšují intenzitu erozních procesů. Práce se také zabývá jejich lokalizací a příčinou vzniku na základě zpracované fyzicko-geografické charakteristice území.

Klíčová slova: eroze, modelování eroze, WaTEM/SEDEM

SUMMARY

Degradation and loss of soil caused by water erosion in the Czech Republic is still a major problem, which we should not turn our back to. This thesis focused on general introduction to the erosion processes with examples of erosion models. Special attention is devoted to the WaTEM/SEDEM model. This model can be applied to Odlezenské lake area. A significant rainfall-runoff increase the intensity of erosion processes. Thesis also deals with the location and cause of activities based on physical-geographical characteristics of the territory.

Keywords: erosion, modeling erosion, WaTEM/SEDEM

Obsah

1	Úvod a cíl práce.....	6
2	Rešerše literatury problematiky eroze půdy a modelování eroze půdy s příklady erozních modelů.....	7
2.1	Eroze a její klasifikace	7
2.1.1.	Eroze půdy	8
2.1.2.	Následky eroze.....	9
2.2.	Modelování a modely eroze	9
2.2.1.	Empirické modely.....	10
2.2.2.	Fyzikální modely	11
2.2.3.	Semi-empirické modely	12
3.	Metody a zdroje dat	15
3.1.	Charakteristika modelu WATEM/SEDEM.....	15
3.2.	Postup zpracování vybraných vstupních vrstev do modelu WaTEM/SEDEM....	18
4.	Charakteristika zájmového území Odlezelského jezera	24
4.1.	Fyzicko-geografická charakteristika území	24
4.1.1.	Geologie a geomorfologie	25
4.1.2.	Klimatické poměry	27
4.1.3.	Hydrologické poměry	27
4.1.4.	Půdní poměry	29
4.1.5.	Využití ploch (landuse).....	31
4.1.6.	Fauna a flóra	33
4.2.	Sledování erozních procesů v povodí v současnosti	34
4.3.	Výzkum v povodí Odlezelského jezera.....	35
5.	Diskuze	36
6	Závěr	37

Seznam tabulek.....	38
Seznam map.....	38
Seznam použité literatury	39
Přílohy.....	45

1 Úvod a cíl práce

„Půda je základním přírodním bohatstvím, které zaručuje zachování socio-ekonomických a ekologických systémů na Zemi.“ (EEA in Vysloužilová, 2010). Půda neslouží jen jako prostředek pro vypěstování plodin k obživě, ale je důležitou součástí při rozvoji sídel a infrastruktury či množství biodiverzity. Pudní kryt je obrazem proměny krajiny v časové ose, která je silně ovlivněna antropogenní činností (EEA, 2007). Právě antropogenní činnost je nejčastější příčinou zrychlené eroze, která postihuje 50 % orných ploch v ČR. Takto postižené půdy ztrácejí nejen mocnost půdního profilu, ale dochází ke změně chemismu, fyzikálních vlastností či snížení úrodnosti půd (Janeček, 2007).

Povodí Odlezelského jezera je ideální lokalitou pro sledování a hodnocení erozních procesů z důvodu dlouhodobého sledování a měření jezera, které započalo v roce 1972. Sedimenty v jezeře archivují události od vzniku jezera a umožňují porovnání výsledků modelů s reálnými naměřenými hodnotami z výzkumů. Přínosem by mělo být nejen zjištění chybovosti modelu, ale hlavně detekce lokalit nejvíce postižené erozními procesy, které mají nemalý podíl na zanášení jezera. B. Janský (2003) uvádí, že ačkoliv je daná oblast národní přírodní památka, je přikloněn k antropogenní úpravě odtoku jezerní hráze za účelem zastavení zařezávání odtoku jezera a vytvoření protierozní ochrany v povodí a tím snížit rychlost zanášení jezera.

Cílem této práce je charakterizovat erozi půdy, která představuje ohrožení pro orné plochy se zaměřením na modelování eroze. Další z cílů je charakterizování vybraných modelů eroze s jejich využitím ve výzkumech. Vypracování fyzicko-geografické charakteristiky území s pravidelným sledováním erozních procesů v povodí. Hlavně vytvoření vybraných vstupních vrstev do modelu WaTEM/SEDEM pro povodí Odlezelského jezera. Snaha detekovat oblasti, ve kterých se očekává největší eroze a akumulace materiálu.

2 Rešerše literatury problematiky eroze půdy a modelování eroze půdy s příklady erozních modelů

2.1 Eroze a její klasifikace

Slovo eroze pochází z latinského slova erodere čili rozrušovat. V širokém slova smyslu chápeme erozi jako rozrušování litosféry respektive pedosféry pohybujícími se exogenními činiteli. (Zachar, 1970). Exogenní činitelé vykonávají trojí druh práce. Kromě rozrušování svrchní vrstvy transportují zerodované částice a následně je akumulují (Vitásek, 1958). Výsledkem této činnosti je planace, čili zarovnění zemského povrchu. Základem pro planační proces je zvětrávání hornin. Čím kypřejší je zvětralinový plášť, tím intenzivněji může zvětrávání probíhat“ (Janeček in Vysloužilová, 2010). Mezi exogenní činitele patří voda, led, sníh, vítr, zvětraliny, organismy, antropogenní činnosti, fauna, flora. Lze mezi ně zařadit i slabé kyseliny rozpuštěné ve vodě, které vytvářejí erozní formy chemickou cestou, například při krasovění vznikají škrapy (Zachar, 1970). Existují různé druhy erozí. Často jsou klasifikovány podle exogenního činitele, který danou erozi zapříčiňuje. Některé z druhů jsou glaciální eroze, fluvialní eroze, eolická eroze, atd. (Vitásek, 1958). Kromě klasifikace podle exogenního činitele je možno erozi klasifikovat podle formy, čili podle působení erozních činitelů. Dále se může eroze klasifikovat podle intenzity.

Eroze klasifikovanou podle exogenního činitele rozlišujeme na erozi vodní, větrnou, sněhovou, ledovcovou, antropogenní. Exogenní činitelé působí jak samostatně, tak ve většině případů komplexně. Z celosvětového pohledu způsobují největší škody vodní a větrná eroze, které jsou často umocněny antropogenní činností (Sklenářová, 2008).

Při vodní erozi je činitelem voda v jakémkoliv skupenství. Působí mechanicky či chemicky na povrch, který rozrušuje a následně erodované materiály transportuje. Podrobněji je popis vodní eroze součástí kapitoly 2.1.1.

U větrné eroze (eolická eroze) vítr svou kinetickou energií rozrušuje povrch země, transportuje a následně ukládá zerodované částice. Doprovodným procesem je větrná koraze erodující pomocí částic půdy nebo pomocí jiných pevných částic, které jsou nesené větrem (Zachar, 1970).

Klasifikace eroze podle formy je strukturována podle působení erozních činitelů. Patří sem **plošná vodní eroze**, která zapříčiňuje rozrušování a smyv půdní hmoty po celé ploše. Dále pak **výmolová půdní eroze (lineární)**, způsobující erozi pomocí povrchově tekoucí vody. Primárně vznikají rýžky a brázdy, sekundárně pak rýhy způsobující hlubší zářezy v povrchu a větší odnos materiálu než je u eroze rýžkové. Rýhová eroze se postupně může změnit ve výmolovou a následně ve stržovou erozi (Buzek, 1983). „V závislosti na podmínkách prostředí a délce vývoje nabývají formy lineární eroze různých tvarů a rozměrů. Způsobují fragmentaci svahů, znehodnocují zemědělskou a lesní půdu a nepříznivě ovlivňují odtokové poměry v povodí“ (Kliment, 2003). Poslední je **proudová eroze** vyskytující se u vodních toků. Pokud je erodováno pouze dno, jedná se o dnovou erozi. Jestliže jsou erodovány i břehy jde o břehovou erozi (Sklenářová, 2008).

Ladislav Buzek ve své publikaci o erozi půdy z roku 1983 stanovuje dva druhy eroze klasifikované podle intenzity, normální a zrychlenou. **Normální eroze** je součástí krajinných procesů, která je kompenzována pedogenezí. **Zrychlená eroze** vzniká z negativních hospodářských vlivů a vede k degradaci půdy. To je rozhodujícím faktorem, který ohrožuje půdní fond.

2.1.1. Eroze půdy

Pojem eroze půdy se objevuje v první polovině 20. století. Na zpřesnění a zavedení termínu do vědecké sféry mají zásluhu například H. H. Bennett z Anglie a A. S. Kozmenko, nebo A. M. Pankov z Ruska. Eroze půdy je mechanické rozrušování půdy způsobené pohybující se vodou, větrem a dalším exogenními činiteli, jako je led a sníh. Tento jev způsobuje rozrušení půdní vrstvy, následný transport půdních částic a usazování v akumulacích oblastech (Zachar, 1970). Uvolněné částice často sedimentují v povodí nebo se nerozpuštěné i rozpuštěné látky dostávají do vodních toků a snižují jejich kvalitu (Vysloužilová, 2010). Nemalou roli zde hraje antropogenní činnost, která tento proces urychluje nebo zpomaluje (Buzek, 1995).

Základním dynamickým činitelem eroze půdy je dešťová kapka vody, která při dopadu svou kinetickou energii, rozrušuje půdní vrstvu a uvolňuje materiál (tzv. bombardování), (Buzek, 1983). Pakliže je úhrn srážek vyšší než infiltrační schopnost půdy, nastává povrchový odtok. Odtékající voda vymílá rýžky, rýhy a strže,

jsoucí umístěny často v místech, kde není povrch dostatečně chráněn vegetací (Bedrna, Dlapa, Šarapatka, 2002).

Při erozi půdy záleží na mnoha faktorech, jako je například různá kinetická energie deště. Drobnější srážky uvolňují jemnější částice, čímž dochází k vytvoření hrubozrnného skeletu na povrchu půd. Důležitý je sklon svahu, který rozhoduje, jestli budou částice dále transportovány po svahu nebo dojde k jejímu ukládání. Při zmenšení sklonu se nejdříve ukládají hrubší a těžší částice. Jemnější jsou transportovány až do toků, kde se mohou ukládat do tzv. dejekčních kuželů. V hydrografické síti se uvolněný transportovaný materiál nazývá splaveniny. Nebo v případě vodních nádrží se materiál ukládá na dně jezera (Janeček, 2002). Tak je tomu v případě Odlezelského Jezera.

Přehled faktorů ovlivňující erozi půdy podle Janečka (2002):

- Klimatické a hydrologické (nadmořská výška, zeměpisná poloha, nadmořská výška; zeměpisná poloha; množství, rozdělení a intenzita srážek; povrchový odtok; teplota, oslunění, výpar; výskyt, směr a síla větrů),
- Morfologické (sklon území; délka a tvar svahů; expozice, návětrnost),
- Geologické a půdní (povaha horninového substrátu; půdní typ a druh; textura a struktura půdy, její vlhkost a zvrstvení, obsah humusu),
- Vegetační (hustota a délka trvání vegetačního pokryvu),
- Způsob obhospodařování půdy (poloha a tvar pozemků; směr a technologie obdělávání; střídání plodin).

2.1.2. Následky eroze

Díky erozi populace přichází o úrodnou půdu. Výnosy z půdy a její úrodnost klesají. Dále půda mění svoje pH a přestává mít schopnost vázat živiny. Odos jemnozrnných částic zapříčiňuje vznik skeletovitého povrchu, který zhoršuje obdělávání půdy. Uvolněný materiál snižuje kvalitu vod v tocích a způsobuje zanášení vodních ploch sedimenty (Dostál 2016, Janeček 2002, Vysloužilová 2010).

2.2. Modelování a modely eroze

Modelování eroze je komplikovaný proces z důvodu mnoha ovlivňujících faktorů. Pro přesné sledování erozních procesů je nutné terénní měření, které je sice přesné, ale časově náročné. Terénní měření je možno spolehlivě provádět pouze na malých územích. Pro velká území je zapotřebí použít informačních technologií. Tyto modely

nejdou zdaleka tak přesné jako terénní měření, nicméně s rychle rostoucími technologiemi se modelování zpřesňuje.

Modely eroze se dají rozdělit do tří kategorií, empirické, fyzikální a semi-empirické modely (Vysloužilová, Kliment, 2012).

2.2.1. Empirické modely

Jsou založené na analýze dlouhodobých řad měření v terénu a vlivů jednotlivých faktorů na erozi. Jejich výhodou je relativně malé náročnosti na vstupní data, naopak nevýhodou je nedokonalý zachycení dynamických faktorů v čase a prostoru, například srážky. (Vysloužilová, 2011). Mezi nejznámější empirické modely patří rovnice USLE, popsána níže. Další příklad empirického modelu je model, WaTEM/SEDEM nebo PESERA.

Wischmeier a Smith si daly za cíl v roce 1978 v USA vytvořit empirický model, který je schopen předpovědět množství odneseného materiálu z dané oblasti za účelem vytvoření protierozní ochrany zemědělských ploch. Vytvořily model **USLE** “Univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy erozí,” pomocí kterého je možno vypočítat maximální velikost eroze půdy dovolující dlouhodobě udržovat dostatečnou úrodnost půdy (Janeček, 2012).

Rovnice ztráty půdy způsobenou vodní erozí:

$$G = R * K * L * S * C * P$$

G průměrná dlouhodobá ztráta půdy uváděná v tunách na hektar ($t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$),

R faktor erozní účinnosti dešťů zohledňující kinetickou energii dopadajících kapek, množství úhrnu a intenzitu deště,

K faktor erodability půd. Vlastnosti půdy ovlivňující její infiltrační schopnost a odolnost půdních agregátů proti rozrušujícímu účinku dopadajících kapek deště a transportu povrchově odtékající vody uváděn v ($t \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot cm^{-1}$),

L faktor délky svahu ovlivňující množství ztráty půdy vodní erozí,

S faktor sklonu svahu ovlivňující množství ztráty půdy vodní erozí,

C faktor ochrany půdy vegetačním pokryvem, bezrozměrný,

P faktor účinnosti protierozní ochrany, bezrozměrný (Janeček, 2012; Wischmeier a Smith, 1978; Krása, 2010).

Rovnice USLE je základním stavebním kamenem mnoha dalších modelů. Stejně tak je tomu i v modelu WaTEM/SEDEM, proto jednotlivé části modelu USLE jsou společně popsány s charakteristikou modelu WaTEM/SEDEM v kapitole 3.1..

2.2.2. Fyzikální modely

Jsou založené na popisu eroze z pohledu fyziky. Matematickými vztahy popisují jednotlivé části erozních procesů, od rozrušení půdní vrstvy až po sedimentaci v prostoru a čase na základě rovnic kontinuity pohybu vody a splavenin. Tyto modely jsou nadstavbou empirických modelů. Jsou matematicky složitější a to má za následek větší náročnost na vstupní data. Příklady fyzikálních modelů jsou WEPP nebo USPED (JAKUBÍKOVÁ, 2016). Model USPED je podrobněji charakterizován níže.

Model **USPED** (Unit Stream Power-Based Erosion/Deposition model) je erozní model vycházející stejně jako předchozí model z rovnice USLE. Tento model byl vyvinut a poprvé použit ve Washingtonu v USA. Výsledek tohoto modelu vizualizuje oblasti s topografickým potenciálem výskytu eroze a akumulace materiálu (Mitáš, Mitášová, 1998). Model lze jednoduše použít v prostředí GIS a je volně dostupný. Model vychází z tohoto již zjednodušeného vztahu:

$$ED = \text{div} (T * s) = d[(T * (\cos \alpha)) / dx] + d[T * (\sin \alpha) / dy],$$

K_t je koeficient transportu půdy,

h je hloubka sběrných ploch [m],

s je jednotkový vektor ve směru nejstrmějšího svahu,

β je úhel sklonu svahu [°],

k_p je normálová křivost ve směru spádové křivky,

k_t je normálová křivost ve směru tečny k vrstevnici,

α je orientace svahu vůči světovým stranám,

T je kapacita transportu sedimentů [$t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$], která se je stanovena vztahem:

$$T = R \cdot K \cdot C \cdot P \cdot A^m \cdot (\sin \beta)^n,$$

R, K, C, P jsou parametry rovnice USLE ($LS=A^m (\sin \beta)^n$), m a n jsou konstanty pro povrchový odtok vody způsobující erozi (m = 1,6, n = 1,3 pro převládající rýhovou erozi, m = n = 1 pro převládající plošnou erozi).

Pokud je ED kladné, má dané místo potenciál akumulaci materiálu. V případě záporné hodnoty ED je má dané místo potenciál k erozi a ztráta půdy má větší hodnotu než akumulace. (Mítášová a kol., 1996, Mítáš, Mítášová, 1998). Tento výpočet se od modelu USLE liší způsobem stanovení vlivu morfologie terénu (faktory LS), (Prager a kol. 2005).

Model USPED byl například aplikován na Slovensku, který je publikován autory Stankoviansky a kol. (2009). Tento výzkum měl za cíl porovnat míru eroze v letech 1955 a 1990, kdy mezi těmito lety proběhla kolektivizace zemědělství. Mimo modelu USPED byla použita rovnice USLE. Výsledky výzkumu dokázaly zvýšenou míru odnosu materiálu v roce 1990 oproti roku 1955.

V roce 2007 Jinxun Liu a kolektiv se zabývaly, jakým způsobem ovlivňuje vojenský výcvik, čili rozrušení povrchu při vojenském cvičení, množství odneseného materiálu. Výzkum porovnával roky 1999, 2001 a 2003. Výsledky výzkumu dokázaly, že vojenská aktivita v daném území rozrušuje půdní vrstvu a dochází k vyššímu odnosu materiálu (hlavně na nezalesněných plochách). Tento výzkum hodnotil pozitivně použití modelu USPED, protože naměřené množství plavenin v toku koreluje s výsledky modelu.

Pelacani a kol. (2008) ve svém výzkumu zaměřenému na zjištění míry eroze na horním toku řeky Orme v Itálii se věnovala hlavně parametrizaci faktoru P (faktor protierozní ochrany). Výsledky dokazují, že model nadhodnocuje míru odneseného materiálu, pokud není použit P faktor.

2.2.3. Semi-empirické modely

Připouštějí empirický způsob modelování a doplňují ho dalšími faktory a procesy součástí eroze. (infiltrace, růst vegetace, nasycení půdy) Na rozdíl od empirických modelů lze tyto modely použít i pro jednotlivé srážko-odtokové události (Kadlec, 2007). Náročnost vstupů dat závisí na jednotlivých částech modelu, čím větší část modelu bude

tvořena metodami fyzikálních modelů, tím větší je nárok na vstupní data. Příklad semi-empirického modelu je například AGNPS nebo ANSWERS, jež jsou popsány níže.

Model **AGNPS** (Agricultural Non-Point Source Pollution Model) vznikl pro předpověď a analýzu kvalitu vody odtékající ze zemědělských ploch. Lze ho aplikovat na plochy velikosti jednotek až 200 000 hektarů a v některých případech se užíval i pro větší plochy (Merritt a kol., 2003). Byl vyvinutý v US Department of Agriculture, Agricultural Research Service (USDA-ARS) ve spolupráci s Minnesota Pollution Control Agency and Soil Conservation Service (SCS) v USA na začátku 90. let (Young et al., 1989). První funkce modelu byla snaha epizodně modelovat srážkové a erozní procesy společně s transportem chemických látek vázaný na povrchový odtok a sedimenty (Krása, 2011). S příchodem a rozšířením softwaru GIS se začal model užívat kontinuálně jako AnnAGNPS. Model rozdělí plochu sledovaného území čtvercovou sítí o velikostech 0,4 až 16 hektarů, které fungují, jako samostatné plochy u kterých se modelují erozní, odtokové i transportní procesy. Výsledky daného čtverce jsou součástí vstupů sousedních čtverců (Merritt a kol., 2003). Vstupy do modelu lze rozdělit na tzv. submodely. Mezi tyto submodely patří Hydrologický, erozně transportní, submodel transportu chemických látek a submodel říční zdrojové body znečištění.

Popis submodelů AGNPS podle Younga 1989:

Součástí hydrologického submodelu je výška přímého odtoku počítána pomocí metody CN - křivky. Kulminační průtok se počítá pro každou buňku rozdělenou podle čtvercové sítě pomocí empirického vztahu Smithe a Williamse.

Erozně transportní submodel vychází jako předchozí modely z rovnice RUSLE sloužící pro výpočet ztráty půdy. Eroze je počítána pro jeden přívalový déšť, čili pro jednu událost. Ztráta půdy je pak charakterizovaná pro každý čtverec. Erodivaný materiál společně se splaveninami jsou stanoveny pomocí Bagnoldové rovnice, jež je upravena na pět zrnitostních kategorií rozdělující velikost odnesených částic: jíl, prach, malé agregáty, velké agregáty a písek. Uvolněný materiál je odnášen do závěrového profilu daného území. Transport a sedimentace splavenin je řešena podle vztahů popsaným Forstem a Laneem.

Submodel transportu chemických látek modeluje pohyb látek fosforu, dusíku a CHSK (chemická spotřeba kyslíku) v dané oblasti. Látky mohou být transportovány ve vazbě na pevné částice nebo jako rozpuštěné látky v odtékající vodě a výpočet

transportu bera oba způsoby v potaz. CHSK se odhaduje na základě objemu odtoku a na množství průměrné koncentrace CHSK.

Do submodelu bodového zdroje znečištění patří například území s větší koncentrací hospodářských zvířat a oblast jeho chovu, např. oblast napajedel a krmení. Tyto lokality mohou být zdrojem četnějšího úniku chemických látek. Na tomto principu používá Yung model znečištění z pastevních areálů s koncentrací hospodářských zvířat. Tento model odhaduje množství uvolněných živin na okrajích těchto ploch a na množství přitékající vody. V buňkách obsahujících potenciální bodové zdroje znečištění se simulace provádí na základě průtoku a koncentrací fosforu a dusíku v dané buňce (Dostál a kol., 2002).

Model AGNPS není vhodný pro předpověď transportu a sedimentace látek. Slouží k odhalení oblastí, kde dochází k zvýšeným erozním procesům či znečištění ve zkoumaném povodí jsouc detailně graficky prezentovány ve výsledcích simulace, kterou poskytuje. Je vhodný pro posouzení způsobů využití půd a k vytvoření návrhů pro erozní opatření (Dostál a kol., 2002).

Podobně jak je tomu u modelu AGNPS patří erozní model **ANSWERS** (Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation) mezi distribuované modely, mající za cíl modelovat chování povodí při jednotlivých srážkových událostech (epizodní), (Fisher a kol., 1997). Tento model je na rozdíl od AGNPS orientován více na erozi a akumulaci materiálu. AGNPS se více orientoval na transport a výskyt živin (Merritt a kol., 2003). Tento model má nejpřesnější výsledky na malém povodí.

Dané území je rozděleno gridovou mřížkou, kde každá jednotka čtverce pracuje jako samostatná jednotka. Vazby mezi jednotlivými buňkami jsou stanoveny tak, aby plošný a povrchový odtok vody směřoval do sousední buňky ve směru sklonu svahu. Tenhle postup tak dokáže lépe zefektivnit vliv půdních a vegetačních poměrů v modelu a vliv nerovnoměrného rozmístění srážek v daném povodí.

Součástí modelu jsou dva submodely, hydrologický a erozní. Hydrologický submodel vychází z Manningovy rovnice a z rovnic kontinuity, který stanoví celkovou výšku odtoku v závěrovém profilu. Erozní submodel modeluje erozi a transport materiálu pro každou buňku gridové sítě.

Tento semi-empirický model vyžaduje relativně složitou přípravu vstupních dat hlavně u fyzikálně zaměřené části podobně jako u většiny fyzikálně založených modelů řešící modelování eroze, transport materiálu (Norman, 1989). Vstupní parametry popisující reliéf je složen ze 4 kategorií: landuse, půda, sklon a popis koryta. Například landuse je rozděleno do 6 tříd a pro každý půdní typ je třeba 8 veličin (Fisher a kol., 1997).

Mezi hlavní výstupy patří simulace eroze a odtok vody. V současné době je model rozšířen o transport a množství živin. Využití modelu je komplikováno náročností na vstupní časová a prostorová data (Merritt a kol., 2003). Model ANSWER přistupuje k erodovatelnosti povrchu jako k jevu mající časově konstantní průběh. Na rozdíl výsledky výzkumů poukazují na mnohem rozdílnější hodnoty parametru. Tato nepřesnost může mít za následek nepřesnou předpověď eroze a odtoku. Tato nepřesnost se objevuje u více modelů (Govers a Loch, 1993). Užití modelu je vhodný pro porovnání výsledků jiných modelů či terénních měření.

3. Metody a zdroje dat

K analýze erozních procesů v povodí Odlezelského jezera bude použit model WaTEM/SEDEM. Model vychází z částí rovnice USLE, proto součástí této kapitoly bude popsána charakteristika modelu a metodika zpracování vybraných vstupních vrstev modelu.

3.1. Charakteristika modelu WATEM/SEDEM

Je empirický model eroze a transportu sedimentů. Skládá se ze dvou modelů WaTEM (Water and Tillage Erosion Model) a SEDEM (Sediment Delivery Model). Model byl zkonstruován pro hodnocení protierozní ochrany půd. Vychází z rovnice RUSLE, která stanovuje množství roční ztráty půdy. Rovnice RUSLE je popsána v kapitole 2.1.1.. Model byl vyvinut na katedře fyzické a regionální geografie v Belgické Lovani (Vysloužilová, Kliment, 2012). Model vizualizuje dynamiku erozních a sedimentačních procesů. “Výsledky by měli napomoci při plánování efektivnosti protierozních opatření a při určování vhodných osevních postupů na jednotlivých pozemcích” (Van Rompay a kol., 2001). Model je zaměřen na prostorové rozmístění

dynamiky erozních a sedimentačních procesů v delších časových intervalech. Není vhodný pro modelování krátkodobých událostí.

V modelu je povodí rozděleno čtvercovou sítí. Vstup do modelů je složen z průměrných hodnot jednotlivých faktorů. Jeden z prvních kroků je výpočet roční ztráty půdy z povodí:

$$E = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P,$$

kde P je faktor protierozní ochrany. Další faktory jsou faktory součástí rovnice USLE (Vysloužilová, 2010).

“**R-faktor** je faktor erozní účinnosti srážek, definovaný jako součin kinetické energie deště a jeho největší 30 minutové intenzity $R=E \cdot i$, pro danou úlohu (sečtený pro dobu celého roku) je tedy závislý též na četnosti výskytu srážek ($\text{MJ/ha} \cdot \text{cm/h}$)” (Krása, Dostál, Vrána, 2008).

Hodnota R faktoru pro ČR je vypočítána na základě dlouhodobého sledování srážek na stanicích ČHMÚ. Dlouhou dobu byla doporučována průměrná hodnota R faktoru pro ČR $20 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$, v současné době je stanovena průměrná hodnota $40 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$. Hodnota faktoru je závislá na charakteristice sledovaného území. Obecně v horských oblastech jsou srážky četnější, pro tyto oblasti se používá hodnota R faktoru $45 - 60 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$. Naopak pro oblasti srážkového stínu je hodnota mezi $15 - 30 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$ (Janeček, 2012).

“Hodnota **K-faktoru** závisí na textuře a struktuře ornice, obsahu organické hmoty a propustnosti půdního profilu” (VÚMOP, 2016). “Faktor erodability půdy K je v USLE definován jako ztráta půdy ze standardního pozemku vyjádřená v $t \cdot \text{ha}^{-1}$ na jednotku faktoru erozní účinnosti deště R ($\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$)” (Janeček, 2012).

LS-faktor je spojený kombinovaným vzorcem dvou faktorů a nazývá se jako topografický faktor. Do rovnice USLE vstupují bez rozměrů. Faktor L zohledňuje vliv nepřerušené délky svahu na množství ztráty půdy. Faktor S (sklon svahu) může významně ovlivnit velikost odnosu půdního materiálu (Krása, 2010). Délka svahu je měřena od hranice rozvodí, či od prvku přerušující povrchový odtok (silnice, hráz příkop), (Janeček, 2012).

C-faktor je faktor ochrany půdy vegetací. Vegetace chrání půdní vrstvu, jak před kinetickou energií dopadajících kapek, tak před povrchovým odtokem z důvodu zpevnění

půdní vrstvy kořeny vegetace. Faktor C je přímo úměrný hustotě a pokryvu porostu. Nejnižší ochranu mají půdní vrstvy, které jsou bez vegetace nebo mají nízkou hustotu a pokryv porostu. V našem klimatickém prostředí jsou to nejčastěji zemědělské plochy, na kterých se pěstuje např. kukuřice, chmel nebo brambor (Hodnota C má vysokou hodnotu). Naopak víceleté louky (jetel, vojtěška) chrání půdy před ztrátou materiálu mnohem více (hodnota C faktoru se blíží k nule), (Janeček, 2012; Kliment, Langhammer, 2005). Podle výsledků modelu v povodí Černičí je model citlivý na změny a zpracování vrstvy C-faktoru, proto je nutné v budoucnu zpracovat tuto vrstvu s co největší přesností.

Následuje výpočet transportní kapacity TC [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$] podle vztahu:

$TC = k_{Tc} \cdot R \cdot K \cdot (L \cdot S - a \cdot S_{IR})$, kde k_{Tc} je koeficient transportní kapacity, S_{IR} je faktor S pro plošnou erozi (Van Rompaey in Krása, 2004).

TC udává, jaké množství sedimentů může být dále transportováno nebo akumulováno v daném čtverci. Čím je větší TC, tím větší je transport materiálu a následná akumulace na úpatí svahů. Pokud je eroze a vstupujících sedimentů do buňky je větší než TC dochází v dané buňce k akumulaci materiálu (Verstraeten, 2006).

Model je aplikován převážně v Evropě, to dokazuje spousta publikací v zahraniční literatuře např. publikace Van Rompaey a kol. (2005) se věnovala aplikaci modelu na 40 různě velikých povodí v Itálii (až stovky m^2). Výsledky výzkumu nedoporučují použít daný model pro horské oblasti z důvodu výskytu extrémních srážkových událostí, které model není schopen zachytit. Naopak, byl doporučen pro méně členité a vysoko položené oblasti s rovnoměrně rozmístěnými srážkami v průběhu roku.

Další výzkumy byly publikovány například autory Roysschaert a kol. (2008) nebo Verachtert a kol. (2010) probíhající v Belgii. Tyto výzkumy se nevěnovaly přímo aplikací WaTEM/SEDEM, ale používaly model k porovnání výsledků jiných modelů nebo jako doplněk jiných výzkumů.

Mimo jiné už od roku 2004 je model uveden do českého prostředí Josefem Krásou, který se věnoval testování a úpravám modelu v belgickém Leuvenu (Krása, 2010). Disertační práce (Krása, 2004) se věnovala aplikaci modelu na velkých povodích například v povodí řeky Orlice. Výsledek výzkumu označil kritická místa eroze a následně navrhl prostorové rozmístění změn v krajině.

Barbora Vysloužilová se ve své Diplomové práci v roce 2010 věnuje aplikaci modelu WaTEM/SEDEM v povodí Černičí pro roky 1994, 2001, 2007, 2009, kde výsledky výzkumu poukazují, že je model citlivý vůči hodnotě C faktoru. Naopak dobře lokalizoval erozi do oblastí s vysokým LS faktorem. Akumulace materiálu je v tomto případě vázána na sítě cest a hranice honů, které přerušují svahy. Model pružně reaguje na změny vstupních hodnot.

3.2. Postup zpracování vybraných vstupních vrstev do modelu WaTEM/SEDEM

Pro vypracování bude použita verze programu WaTEM/SEDEM verze 2006, ke kterému vytvořil manuál Notebaert a kol. (2006). Program je volně dostupný na webových stránkách výzkumné skupiny fyzické a regionální geografie v Belgické Lovani. V modelu figuruje několik vstupních vrstev, které musí být vytvořeny v prostředí GIS a jsou převedené do formátu Idrisi32 (*.rst), (Vysloužilová, 2010). Model je strukturován do čtyř vstupních záložek (Input 1 – 3 a extra options). První záložka (Input 1) nám umožňuje volbu druhu modelu. K dispozici jsou SEDEM 1.3, verze 2004, verze Metals a verze 2005. SEDEM 1.3 slouží pouze pro výpočet poloviny celého modelu WATEM. Verze Metals obsahuje modul pro modelování eroze, transportu a sedimentace kovů a fosforu. Verze z roku 2005 taktéž obsahuje modul s modelováním kovů a fosforu s předdefinovanými hodnotami transportní kapacity (Tc). Nejvhodnější verze modelu pro modelování eroze a akumulace materiálu v zájmovém území je verze 2004. Další záložky slouží k umístění vstupů do modelu. Příprava vstupů v záložce Input 2 jsou popsány níže.

- 1) DMT – Digitální model terénu s odstraněnými bezodtokými oblastmi. V zájmovém území se nenachází bezodtoká oblast, čili není nutná oprava. K dispozici jsou dva digitální modely terénu z ČÚZK. Digitální model terénu 4. a 5. generace (DMT 4G a DMT 5G). DMT 4G vznikl mezi lety 2009 – 2013 pomocí laserového leteckého skenování reliéfu povrchu ČR. Jedna buňka rastrové sítě zobrazuje reliéf o velikosti 5 x 5 metrů s výškovým systémem Balt po vyrovnání. Chybovost je v zalesněném terénu 1 m a 0,3 m u odkrytého terénu. DMT 5G je současná generace digitálních modelů s větší podrobností a s nižší chybovostí hodnot než DMT 4G. V roce 2016 by měl být dokončený pro celý povrch ČR, nicméně pro sledované území je DMT 5G již dostupný. Kromě větší

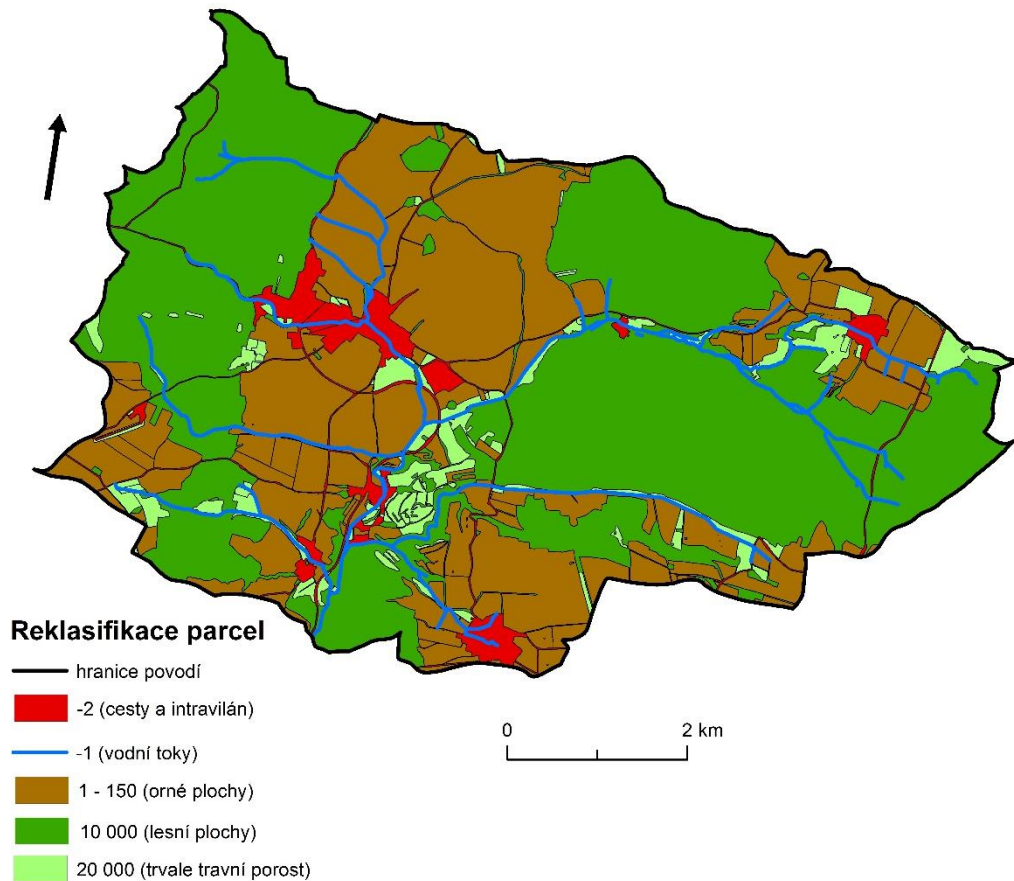
podrobnosti se liší od starší generace strukturou. Tento model je ve formátu TIN, čili síť modelu tvoří nepravidelné trojúhelníky se souřadnicemi X a Y a s hodnotou výšky H (ČUZK, 2016). Digitální model v modelu slouží společně s vrstvou parcel pro zjištění LS faktoru. Největší chybovost výpočtu LS faktoru nastává u bezodtokých oblastí a u oblastí s rovinatým terénem. U rovinatého terénu model obtížněji detekuje směr odtoku (Notebaert a kol., 2006). Podle jednoduché úvahy, by měl podrobnější a přesnější digitální model vykazovat lepší výsledky. Nicméně je otázkou jestli model WaTEM/SEDEM version 2006 je schopen operovat s modelem ve formátu TIN s takovou podrobností. Po aplikaci obou různě podrobných modelů získáme pomocí výsledků srovnání, který z digitálních modelů reliéfu bude vhodnější pro další modelování.

2) Parcel Map – Mapa parcel – je mapa využití ploch v povodí zobrazující následující kategorie: orná půda, lesní plochy, vodní toky, komunikace, trvale travní kultury. Vrstva je reklasifikovaná s těmito identifikátory:

- -2 cesty a intravilán,
- -1 vodní toky,
- 0 oblast mimo sledované území,
- 1 - n orná půda – pole, maximální číslo udává počet polí (tato hodnota by měla být menší než 10 000),
- 10 000 les,
- 20 000 trvalé travní porosty (Vysloužilová, 2010; Notebaert a kol., 2006).

Mapa parcel je zobrazena v mapě 1. Z důvodu lepší vizualizace jsou parcely vodních toků znázorněny liniovým symbolem, jinak by nebyly v tomto měřítku čitelné.

Mapa 1: Mapa parcel



Zdroj: Databáze LPIS, ortofoto ČÚZK (2016)

- 3) **River Routing – vodní toky** – v případě že chceme zjistit usazování sedimentů pro jednotlivé segmenty vodních toků a vyskytující se na tocích vodní nádrže je nutno vytvořit vektorovou topologii pomocí nástroje modelu WaTEM/SEDEM Eromat River Routing (Krása, 2004; Vysloužilová, 2010, Notebaert a kol., 2006). Pokud necháme pole nevyplněné, model spojí všechny toky v jeden a veškerý materiál, který se dostane do toku, sečte a transportuje až do závěrového profilu (Notebaert a kol., 2006). Tato vrstva bude zpracovávána až při samotném zpracování modelu WaTEM/SEDEM. Nicméně je zde prostor pro porovnání rozdílů výsledků s použitím a bez použití této vrstvy.

Vstupy pro záložku Input 3:

- 4) **K: Soil erodibility factor (faktor erodibility půd K)** – Tento faktor je součástí vstupů rovnice RUSLE. Charakteristika tohoto faktoru je popsána v kapitole 3.1.. K-faktor lze určit několika způsoby. Já jsem stanovil faktor pomocí hlavních půdních jednotek (HPJ) z bonitační soustavy půd (BPEJ). Hodnota HPJ vyjádřena dvojčíslem (druhé a třetí číslo z celého kódu BPEJ). K následnému dvojčíslí je pomocí tabulky 5 přiřazena hodnota K-faktoru (Janeček, 2012). Pole jsou v tabulce 5 označeny oranžově nemají z důvodu nedostatku dat vypočtený K-faktor pro HPJ. Jejich hodnota byla stanovena přiřazením hodnoty faktoru podle půdních typů (Janeček, 2012). Plochy obsahovaly více půdních typů zhruba ve stejném podílu, proto je hodnota faktoru zprůměrována, viz tabulka 6. Jelikož zbylé plochy (les, zástavba, komunikace) nejsou bonitovány, je hodnota K-faktoru 0. Mapa č. 2 je přehledová mapa K-faktorů pro zájmové území.

Tabulka 1: Hodnota K-faktoru podle HPJ, hodnoty oranžových buněk jsou odvozeny z tabulky 6.

HPJ	K-faktor	Podíl plochy v %	HPJ	K-faktor	Podíl plochy v %
12	0,50	1,38	47	0,43	0,82
13	0,54	0,78	48	0,41	4,01
15	0,51	3,10	50	0,33	0,09
17	0,15	0,004	51	0,26	0,18
21	0,14	0,001	56	0,40	0,002
26	0,40	8,48	58	0,42	1,63
30	0,23	0,14	64	0,40	1,28
31	0,16	4,04	65	0,31	0,36
32	0,19	0,05	67	0,44	2,22
33	0,31	5,14	68	0,49	0,16
37	0,16	0,24	71	0,47	0,11
38	0,31	4,07	73	0,48	0,06
39	0,20	0,09	78	0,20	0,003
46	0,47	0,22	zbylé plochy	0,00	61,36

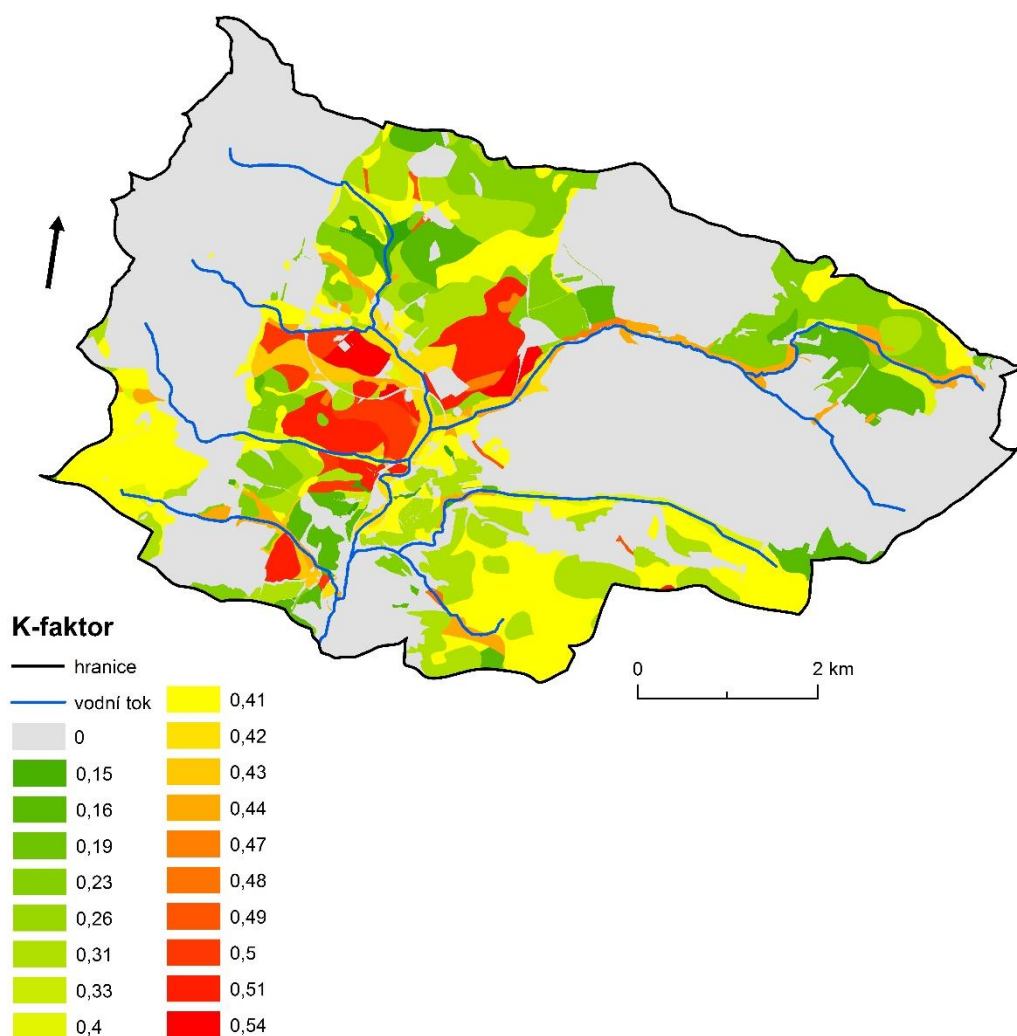
Zdroj: Janeček (2012)

Tabulka 2: Přiřazení K-faktoru podle půdních typů a subtypů

Zdroj: Janeček (2012)

HPJ	Půdní typ	Půdní subtyp	K-Faktor	Průměr K-faktorů
39	Kambizem	arenická	0,2	0,38
	Fluvizem	modální	0,4	
	Hnědozem	modální	0,53	
65	Kambizem	arenická	0,2	0,2
78	Kambizem	arenická	0,2	0,31
	Fluvizem	glejová	0,42	

Mapa 2: K-faktor pro sledované území



Zdroj: VÚMOP, DIBAVOD, ČGS (2016)

- 5) **Ponds (vodní nádrže)** – Tato vrstva zobrazuje vyskytující se vodní nádrže ve sledované lokalitě a musí obsahovat identifikátor popisující zachycení podílu sedimentů, které se v nádrži usadí. Ve sledovaném území se vyskytuje spousta

menších vodních nádrží především na vodních tocích. Nádrže, které jsou bezodtoké, mají podíl zachycených sedimentů 100 %. U nádrží ležících na tocích je odhadem zachyceno kolem 50 - 60 % plavenin. Nicméně pro přesné zpracování této vrstvy neexistuje dostatek naměřených dat. Tato vrstva byla vytvořena na základě vektorizace současného leteckého snímku z dat ČÚZK. Vzhledem k měřítku sledovaného území a malé velikosti vodních ploch není přehledová mapa této vstupní vrstvy uvedena. Je zde prostor pro porovnání výsledků bez a s použitím této vrstvy, ale očekávám, že tato vstupní vrstva bude hrát stěžejní roli při stanovení množství plavenin přitékajících do Odlezelského jezera.

Záložka extra option:

Tato záložka obsahuje podrobnější nastavení týkající se způsobu výpočtu LS-faktoru, koeficientu transportní kapacity (kTc) a zvolení jednotek výstupných hodnot. Tyto vstupy budou popsány a rozebrány až při samotném zpracování modelu. Poslední vstupní jednotka z rovnice RUSLE je R-faktor.

6) Charakteristika R-faktoru je uvedena v kapitole 3.1.. Určení R-faktoru není jednoduché, to dokazují různorodé hodnoty uvedené v několika publikacích v rozmezí desetiletí. Hodnoty faktoru se v průběhu let měnily. Jedna z možností je použití průměrné hodnoty pro celou ČR, kterou uvádí Janeček (2012) $40 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$, nicméně podle mapy vytvořené ve stejné publikaci je sledované území na hranici intervalu 15 – 30 a intervalu 30 – 45 $\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$. Jiří Brychta, který se zabývá přesným stanovením hodnoty R-faktoru, vypočítal pro povodí Odlezelského jezera přesnou hodnotu $34,2 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$. Do výpočtu vstupovaly deště s úhrnem větším, než je 12,5 mm, s intenzitou větší než 6,5 mm za 15 minut. Výpočet byl proveden zhruba z 30 letých minutových ombrografických záznamů podle metodiky Janeček a kol (2012 2013). Josef Krása mi doporučil použít hodnotu $52 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$, která lépe vystihuje reálnou erozivitu v povodí (Krása a kol. 2013). Třetí možnost je aplikování průměrné hodnoty pro celou ČR. Naskytuje se zde možnost porovnání výsledků při figurování tří různých vstupů R-faktoru.

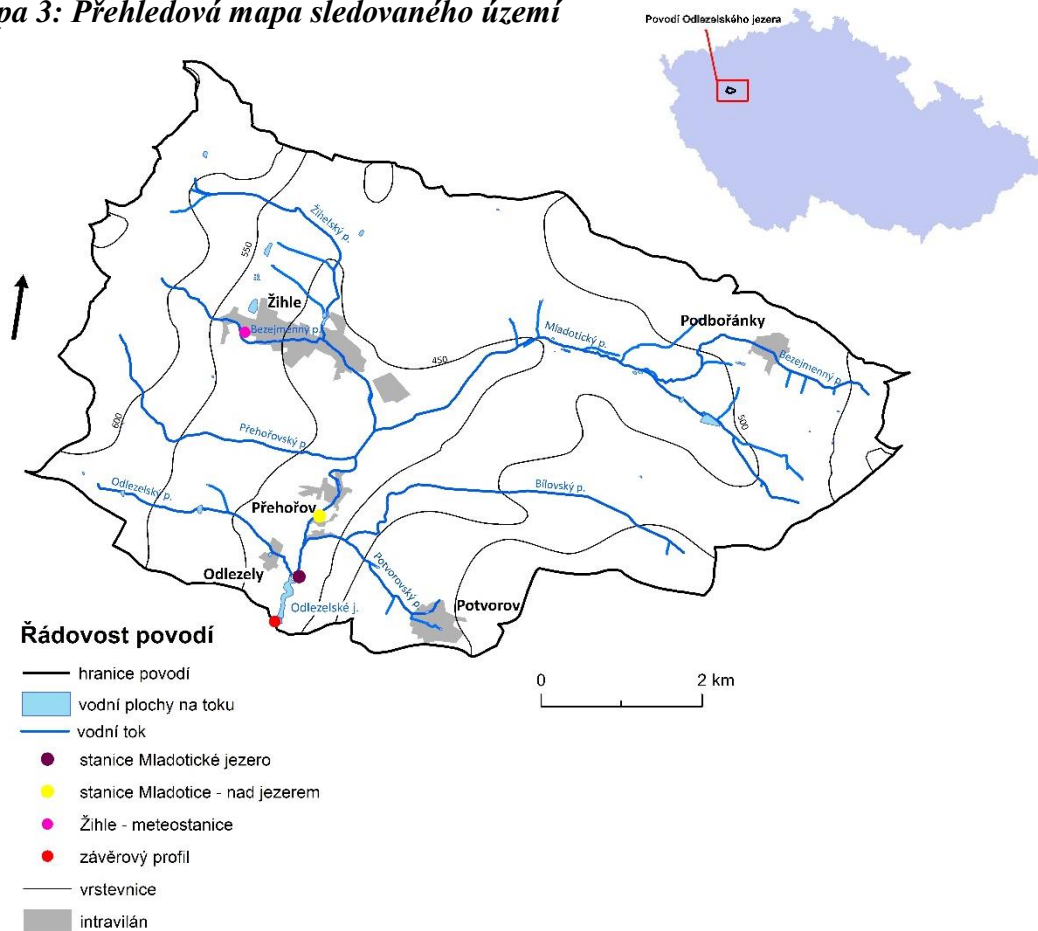
4. Charakteristika zájmového území Odlezelského jezera

Tato kapitola je členěna na dvě části. První část se věnuje fyzicko-geografické charakteristice povodí a Odlezelského jezera. Následující část pojednává o výzkumu, který probíhal či probíhá v povodí Odlezelského jezera.

4.1. Fyzicko-geografická charakteristika území

Zájmové povodí se nachází na hranici středočeského a plzeňského kraje na území obcí Žihle, Pastuchovice, Potvorov, Bílov, a okrajově také na území Velečína a Vysoké Libině. Nachází se zde prameniště několika potoků ústící do hlavního toku Mladotického potoka. Do zájmového území nepatří celé povodí Mladotického potoka, nýbrž jen jeho horní tok nad Odlezelským jezerem, jak je vidět v mapě č. 3. Čili závěrový profil se nachází v místě výpustě jezera.

Mapa 3: Přehledová mapa sledovaného území



Zdroj: zpracováno na základě dat ArcData ČR, ČÚZK: ZM 1:10 000, DIBAVOD

4.1.1. Geologie a geomorfologie

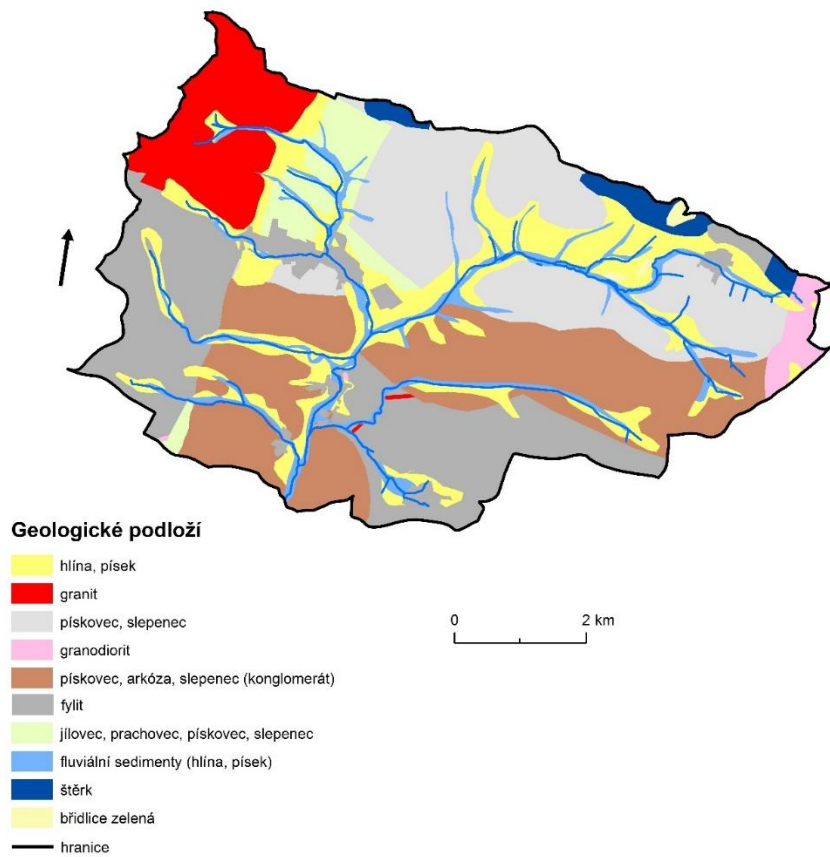
Zájmové území se taxonomicky zařazuje podle Balatky a Kalvody (2006) do podcelku Žihelská pahorkatina, která je složena z proterozoických fylitů, metabřidlic a metabazaltů převážně barrandienského proterozoika. Do severo-západní oblasti zasahuje čistecko-jesenický masiv, který je tvořen granitoidy. Mapa č. 4 znázorňuje mimo jiné výskyt sedimentárních hornin karbonu. Žihelská pahorkatina se dělí na tři části (viz tabulka 1). Dvě z nich jsou denudačně zarovnané pahorkatiny na metamorfovaných horninách a granitoidech, které jsou oddělené tektonickou sníženinou na karbonských horninách. Tektonická sníženina se táhne ve směru SSV-JJZ, která je 18 km dlouhá a 2 - 3 km široká. Svahy mají konkávní tvar a probíhají zde intenzivnější erozní procesy. Významné místo je NPP Odlezenské jezero, které vzniklo sesuvem v roce 1872. Výšková členitost je zobrazeny pomocí vrstevnic v mapě č. 5, ve které je dobře patrný SZ směr zlomu.

Tabulka 3: Zařazení zájmového území v geomorfologickém systému

Systém	Hercinský	
Provincie	Česká vysočina	
Subprovincie	Boberounská pahorkatina	V
Oblast	Plzeňská pahorkatina	VB
Celek	Rakovnická pahorkatina	VB1
Podcelek	Žihelská pahorkatina	VB1-B
Okresek	Petrohradská pahorkatina	VB1-B-a
	Žihelská brázda	VB1-B-b
	Rabštějnská pahorkatina	VB1-B-c

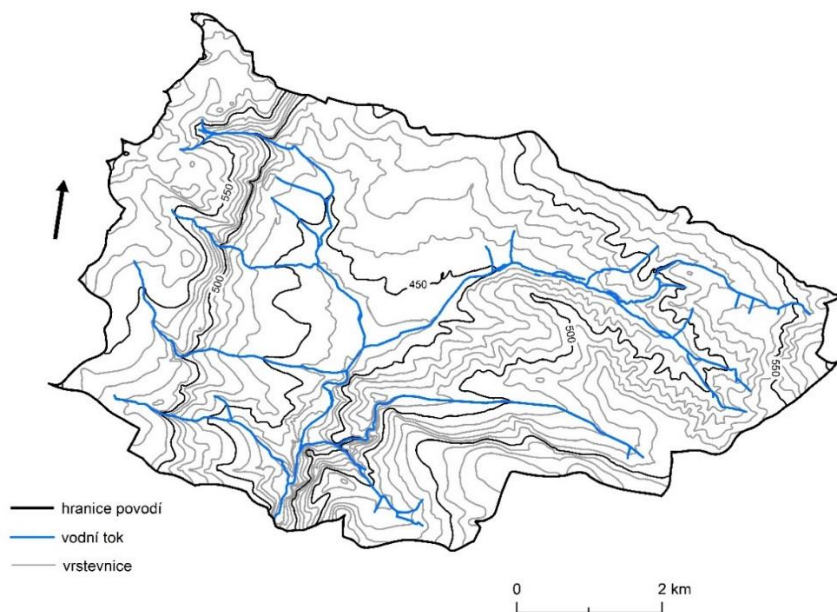
Zdroj: Balatka a Kalvoda 2006

Mapa 4: Geologické podloží sledovaného území



Zdroj: ČGS (2016), DIBAVOD

Mapa 5: Nadmořská výška v povodí



Zdroj: ČÚZK, DIBAVOD

4.1.2. Klimatické poměry

Podle kódu BPEJ patří území do dvou klimatických regionů. Region MT1 - mírně teplý, suchý se rozkládá na území Žihelské brázdy zhruba do nadmořské výšky 500 m n. m.. Průměrné roční teploty jsou v rozmezí 7 - 8,5°C a úhrn srážek je mezi 450 - 550 mm/rok. Region MT2 - mírně teplý, mírně vlhký má rozložení srážek 550 – 700 mm/rok s průměrnými ročními teplotami mezi 7 - 8°C a nachází se v okrajových částech povodí na východě a západě ve výšce nad 500 m n. m.. V Quittově klasifikaci se řadí převážná část území do regionu MW4 a výše položené oblasti do MW7. Oba regiony jsou popsány v tabulce 2. (Atlas podnebí, 2007).

Tabulka 4: Obecné klimatologické charakteristiky v povodí

Klimatická charakteristika	MW4	MW7
počet letních dní	20 - 30	
Hlavní vegetační období	140 - 160	
Počet dní s mrazem	110 - 130	
Počet ledových dní	40 - 50	
Průměrné lednové teploty	-2 - -3 °C	
Průměrné dubnové teploty	6 - 7 °C	
Průměrné červencové teploty	16 - 17 °C	
Průměrné říjnové teploty	6 - 7 °C	7 - 8 °C
Četnost dní se srázkou 1mm a více	110 - 120	100 - 120
Úhrn srážek za vegetační období (mm)	350 - 450	400 - 450
Úhrn srážek za zimní období	250 - 300	
Počet dní se sněhovou pokrývkou	60 - 80	
Počet zatažených dní	150 - 160	120 - 150
Počet jasných dní	40 - 50	

Zdroj: Atlas podnebí 2007

4.1.3. Hydrologické poměry

Sledovaným územím protká nejvýznamnější tok Mladotický potok, který je dlouhý 8484,4 m, rozdělující plochu povodí na dvě strany. Pravá strana povodí je 2,4 krát větší než levá strana. Absolutní řádovost povodí je VII. řádu patřící do povodí Labe. Přehledová mapa 3 znázorňuje říční síť povodí. Nebyly zde zahrnuty toky mající menší délku toku než je 1500m. V území je četný výskyt vodních ploch. Převážně mají kaskádový charakter a jsou soustředěny v oblasti obcí. Příkladem je Horní a Dolní rybník u obce Podbořánky na Mladotickém p., popřípadě dva rybníky na Odlezelském p..

Významné jsou bezejmenné zatopené lomy u obce Žihle, které se nacházejí u tektonické hranice žihelské brázdy a na východní straně se nacházejí zmiňované konkávní svahy s častějšími erozními procesy. Stěžejní vodní plocha je Mladotické jezero, ve kterém se usazují plaveniny z celého povodí. Hydrografické charakteristiky jsou uvedeny v tabulce 3. Roční průtok Mladotického potoka v roce 2013 byl 0,1556 m³/s. v následujících letech hodnota ročního průtoku klesla na hodnoty 0,0719 m³/s (2014) a 0,0614 m³/s (2015).

Tabulka 5: Základní geometrické a číselné charakteristiky povodí Odlezelského jezera

Charakteristika	Jednotka	Hodnota	Poznámky
Plocha povodí	45,96	km ²	P
Plocha levé strany povodí	13,47	km ²	P _L
Plocha pravé strany povodí	32,49	km ²	P _P
Nadmořská výška - minimum	409,68	m n. m.	h _{min}
Nadmořská výška - maximum	621,01	m n. m.	h _{max}
Převýšení povodí	211,33	m n. m.	Δh
Délka rozvodnice	33,91	km	L _R
Gravelliův koeficient	1,41		$K_G = 0,5L_R \cdot (P \cdot \pi)^{-0,5}$
Koeficient protáhovosti povodí	0,45		$R_E = 2 \cdot (P / \pi)^{0,5} \cdot L^{-1}$
Tvar povodí	listovitý		
Maximální Mladotického p.	523,8	m n. m.	
Minimální výška Mladotického p.	409,68	m n. m.	
Přímková vzdálenost od ústí k nejzaššímu bodu	8484,4	m	d
Absolutní řádovost toku	VII		
Součet délek všech vodních toků	44,95	km	l
délka toku po Odlezelské j.	9949,22	m	l _m
Koeficient reliéfu	0,032		$R_h = \Delta h \cdot L^{-1}$
Hustota říční sítě	0,978	km/km ²	r
Koeficient souměrnosti	0,414		$K_S = P_p - P_l / P$
Stupeň vývoje toku	0,853		d/l _m

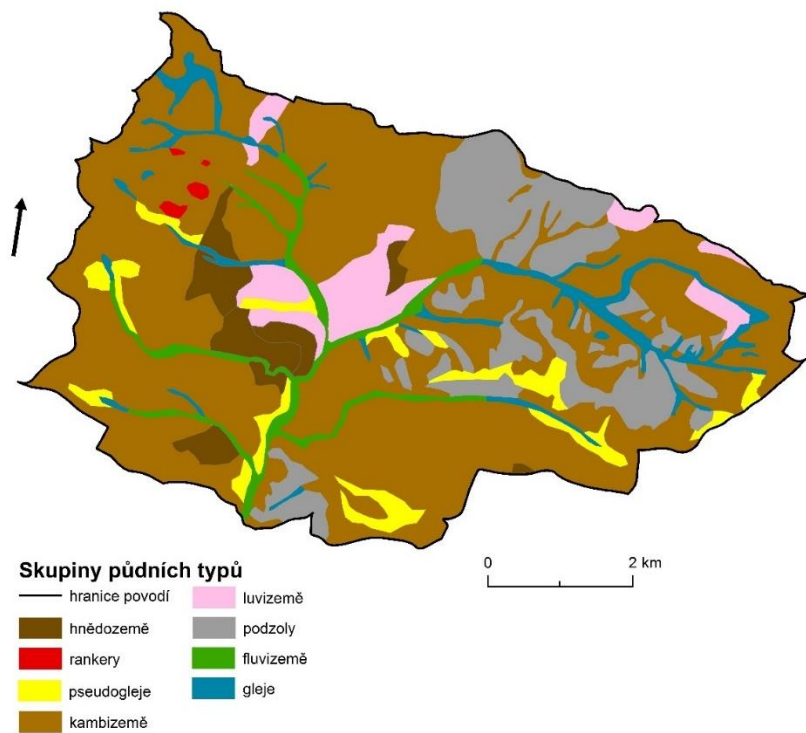
Zdroj: Výpočty provedené na základě s daty v ArcMap, DIBAVOD, ArcDATA, ortofoto ČÚZK 2016

4.1.4. Půdní poměry

Rozložení půdních typů je znázorněno na mapě č. 6, která je vytvořena na základě dat z ČGS 2012. V povodí se vyskytuje několik půdních typů, viz legenda v mapě č. 6. Dominantní půdní skupinou celého sledovaného území jsou kambizemě. V oblasti vodních toků se nacházejí fluvizemě společně s glejovými půdami. Na jih od obce Žihle se vyskytují hnědozemě a luvizemě. Podložní hornina vystupuje na povrch v oblasti výstupu čistecko-jesenického masivu v severo-západní části území. Dokladem tohoto výstupu je příloha 1. Hloubka půdy je převážně po celém území hluboká, sporadicky středně hluboká. Mělká půda se vyskytuje na orných plochách u obcí Potvorov, Přehořov a v okolí obce Odlezely. Mělké půdy v oblasti Přehořova se vyskytují pravděpodobně z důvodu velké svažitosti terénu, čili půdní eroze je větší než přírodní pedogeneze. Skeletovitost orné půdy se převážně váže na hloubku půdy. Oblast Jižní a jihozápadní oblasti od obce Žihle patří do kategorie bezskeletovitých až slabě skeletovitých půd. Středně skeletovité až silně skeletovité půdy se váží na oblasti mělkých a středně hlubokých půd v jižní části sledovaného území.

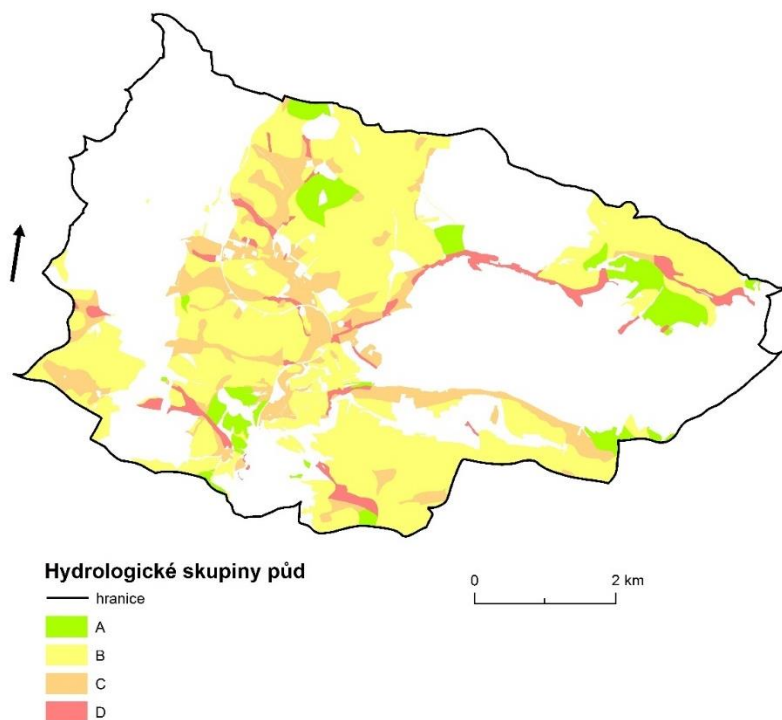
Mapa 6 znázorňuje rozdělení hydrologických skupin půd, které udávají schopnost infiltrace po dlouhodobém syčení půd bez pokryvu vegetací. Hydrologické skupiny půd jsou rozřazeny podle Janečka (2007). Na sledovaném území se vyskytují všechny skupiny A-D. Skupiny s nízkou a velmi nízkou infiltrací C a D se soustředí do oblasti toků. Tyto půdy obsahují málo propustné vrstvy v půdních profilech. Tato kategorie je typická pro jílovito-hlinité až jílovité půdy. Skupiny A a B pokrývají zbylou část území. Skupina A dobře infiltruje srážky a je charakteristická pro hluboké půdy, šterky a dobře odvodněné písky. Skupina B v povodí převažuje. Je to skupina se střední rychlostí infiltrace typická pro hlinitopísčité, jílovitohlinité středně hluboké a hluboké půdy. Bílé plochy v mapě č. 7 nejsou bonifikovány.

Mapa 6: Půdní poměry v povodí



Zdroj: ČGS (2012)

Mapa 7: Hydrologické půdní skupiny v povodí



Zdroj: VÚMOP

4.1.5. Využití ploch (landuse)

Využití půd bylo zjišťováno pomocí vektorizace leteckých snímků území dvou období. Současný snímek jsem získal z dat ČÚZK. Druhý snímek byl vektorizován z dat vojenského leteckého snímkování v letech 1947 – 1962 zprostředkovaný pomocí WMS služby geoportálu plzeňského kraje. WMS služba poskytuje rektifikované letecké snímky na 99 % zájmového území. Orné plochy na SZ od obce Podbořánky nejsou pokryty WMS službou. Černobílé snímky komplikovalo vektorizaci a zvyšovalo chybovost v detekci vodních ploch a trvale travních porostů, jež splývaly s listnatými lesy.

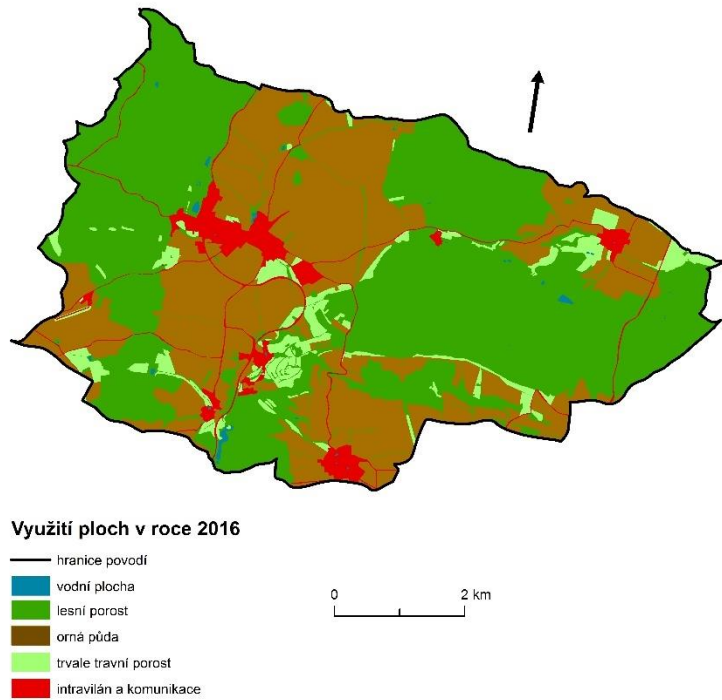
Území je v současnosti využíváno 37,84 % jako zemědělská plocha, která se rozkládá v oblastech v okolí obcí. Lesní plochy zaujímají 51,31 % z celkové sledované plochy. Tvoří relativně ucelený tvar v členitějších částech terénu, jež by byly obtížněji dostupné při obdělávání. Využití půd současnosti je zobrazeno na mapě č. 8.. Trvale travní porost se na sledovaném území v souvislých větších plochách nevyskytuje. Podíl trvale travních porostů zaujímá 5,59 % z povrchu.

Tabulka 6: Změny využití území v povodí

Využití půdy	1947-1962	2016
Orná půda	46,15	37,84
Zalesněné plochy	46,95	51,31
Trvale travní porost	3,20	5,59
Intravilán a komunikace	3,61	5,00
Vodní plochy	0,09	0,26

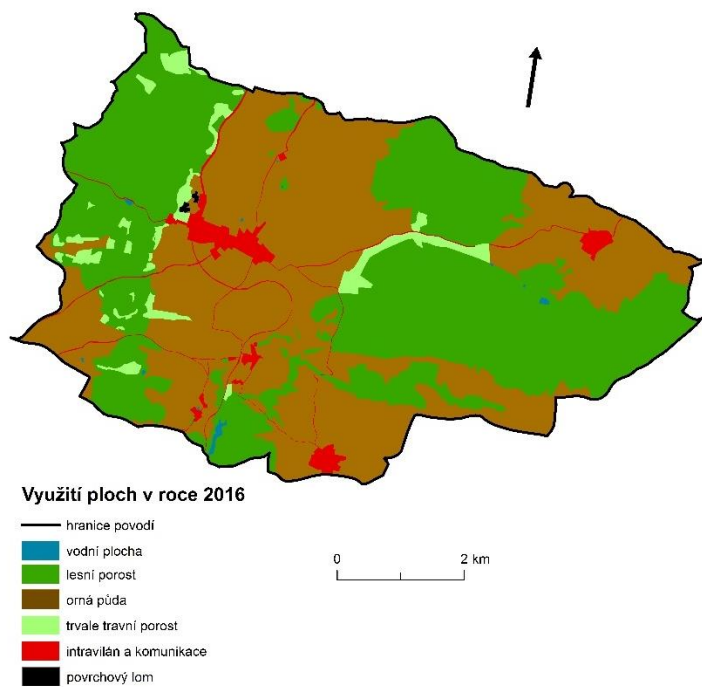
Zdroj: ČÚZK – ortofoto, vojenské letecké snímkování v letech 1942 - 1967

Mapa 8: Současné využití ploch



Zdroj: ČÚZK – ortofoto (2015)

Mapa 9: Využití ploch v letech 1947 - 1962



Zdroj: vojenské letecké snímkování v letech 1947 - 1962

Porovnání využití území ze dvou období přináší zajímavé informace a je znázorněno v mapách č. 8 a 9. Především největší změnu zaznamenal pokles plochy orných ploch, jež se snížil o 8,31 % plochy. Tyto plochy se zhruba za 55 let proměnily z velké části na zalesněné plochy a trvale travní porost. Změna se projevila nejvíce mezi obcemi Přehořov a Potvorov. Pokles orných ploch je dále výsledkem rozšíření zástavby. Zástavba se oproti poválečnému období rozšířila o 1,49 % a to především rozšířením obce Žihle, ale ke zvýšení plochy došlo u všech obcí. Velký nárůst je patrný u lesů. Tato proměna je dobře patrná v severozápadní části sledovaného území. Zde došlo k zalesnění sporadicky rozmístěných travních porostů. Dále došlo k částečnému zalesnění oblasti levé strany horního toku Mladotického potoka, kde se rozšířily listnaté stromy na úkor travních porostů.

Důležitější změnu pro orné plochy způsobila kolektivizace zemědělských ploch probíhající od roku 1948-1889. Příklad změny struktury polí z příčiny kolektivizace je zobrazena v příloze 2, která sleduje zemědělské plochy v okolí obce Žihle. Podle rozhovoru B. Janského v České televizi (2009), kolektivizace výrazně urychlila erozi půdy a má za následek zrychlené zanášení Odlezelského jezera. U obce Žihle se v první polovině 20. století povrchově těžil stavební materiál. Povrchový důl je na dobových snímcích dobře patrný a nachází se v severo-západní části obce. Část dolu byla po skončení těžby zatopena, na zbytku plochy v současnosti je postaveny fotovoltaické panely. V této lokalitě vznikly ještě další dvě vodní plochy o 400 m severněji. Vznik nových vodních ploch u obce Žihle je důvodem nárůst podílu vodních ploch v celém území o 0,17 %. Rozšíření travního porostu se výrazně změnilo. K rozšíření došlo například u obce Podbořánky, kde z bývalých orných ploch vzniklo golfové hřiště.

4.1.6. Fauna a flóra

Podle Culky (1996) zájmové území spadá do území mezofytiku okresu 30 jesenicko-rakovnická plošina. V bioregionu se zastoupena hercynská biota ochuzená z úvodu intenzivních zásahů člověka do krajiny. V současnosti převládají mimo orných ploch, kde každoročně dochází k obměňování plodin, kulturní smrčiny a v nižších nadmořských výškách bory. V okolí Mladotic na Jižních svazích se vyskytují fragmenty méně náročných teplomilných doubrav.

Na území bioregionu převažuje kulturní step s běžnou hercynskou faunou (ježek západní, ropucha krátkonohá). Potoky až říčky patří do pstruhového až parmového

pásma. V Břehových porostech vodních ploch žije například moudivláček lužní. Významné druhy jsou ježek západní, myšice malooká, skokan štíhlý nebo mlok skvrnitý (Culek, 1996).

4.2. Sledování erozních procesů v povodí v současnosti

Dne 7. května 2016 jsem procházel jednotlivá stanoviště napříč územím s cílem lokalizovat místa s viditelnou erozí půd. Navštívená stanoviště byly předem určeny podle digitálního reliéfu terénu DMR 5G, kde lze detekovat oblasti s velkým sklonem půd. Proto byla zkoumána hlavně zlomová oblast žihelské brázdy. Toto datum nebylo zcela vhodné pro hledání erozně ohrožených stanovišť, protože neproběhla před terénním průzkumem žádná srážková událost, která by zviditelnila problematická místa. I bez vydatné srážkové události se v povodí našly erozní tvary. Největší erozní tvary se nacházely v severo-západní části povodí vázané na zlomovou zónu Žihelské brázdy. V příloze č. 3 a 4 je patrná dráha odtoku, která se váže ve svahu na turistické cesty a pěšiny v zalesněné oblasti. V dráze odtoku je na první pohled patrné vymytí jemnozrnných částic.

Další focená oblast se týkala zatopených povrchových lomů u obce Žihle. Mladé erozní tvary se vyskytovaly západních březích těchto vodních ploch. Dobrým identifikátorem byl svahový povrch bez vegetace. Intenzivnější eroze probíhala u severněji položeného zatopeného lomu, pravděpodobně je to způsobeno tím, že vegetace okolo tohoto lomu byla vysazena teprve před pár lety a dostatečně nezpevňuje povrch. V příloze 5 je znázorněný relativně mladý půdní sesuv u tohoto zatopeného lomu. Podél tektonického zlomu se vyskytují terénní stupně antropogenního původu z doby těžby. Tyto stupně podléhají intenzivním sesuvům, viz příloha č. 6. V této oblasti erozi urychluje výskyt amatérské tratě pro motokros ve vzdálenosti několik desítek metrů od zatopených lomů a cyklo-krosová sjezdová trať propletená v celé délce svahu v severo-západní části sledovaného území.

Eroze orných ploch je především plošná. Z prvního dojmu je na většině území v letošním roce pěstovaná řepka, která nedostatečně chrání povrch před smyvem úrodných půd. Identifikátor těchto ploch bylo umístění ve svahu, větší skeletovitost půd a místy i chybějící plodina. Příklad je znázorněn v příloze č. 7.

V okolí Odlezelského jezera nebyl patrný žádný sesuv, který by vznikl v nedávné době. Několik sesuvů bylo spatřeno na západním okraji železniční tratě, ale sesunutý materiál je již pokrytý vegetací. Často je uvolněný materiál vázán na vývraty stromů, které nejsou ve svahu tolik zakořeněny, viz příloha č. 8. To nic nemění na tom, že oblast jezera patří mezi lokality, kde je velmi pravděpodobný vznik sesuvů. Většiny materiálu do jezera přináší Mladotický potok. V příloze č. 9 je vidět rozrůstající se říční niva na úkor plochy jezera.

4.3. Výzkum v povodí Odlezelského jezera

První výzkum této oblasti byl uskutečněn v roce 1972, kdy bylo provedeno zaměření půdorysu jezera. V tomto roce byla plocha jezera přesně po sto letech jeho vzniku 5,8562 m² bez ostrůvků. Další měření proběhlo v letech 1990, 1999 a 2003, kdy proběhlo batymetrické mapování jezera. Za toto sledované období se maximální hloubka snížila z důvodu zanášení sedimenty z hodnoty 7,7 na 6,7 m (1999) a plocha klesla o 19 % (2003). Objem jezera se zmenšil o 37 471 m³ tj. o 26,5 % (2003), (Janský, 2010). Měření v roce 1990 není dostatečně reprezentativní z důvodu snížené hladiny o 26 cm.

Mimo měření batymetrie byla v roce 2003 provedena stratigrafie jezerních sedimentů s cílem zjištění základních chemických a fyzikálních vlastností sedimentů. Tento výzkum mimo jiné zjistil, že průměrné přibývání sedimentů se pohybuje v rozmezí 2,2 – 2,7 cm/rok (Janský, 2010). Výzkum stratigrafie sedimentů v jezeře vedl Achima Schulte z Freie Universität Berlin.

Od 1. 1. 2007 jsou na území povodí instalovány 4 měřicí stanice zobrazené v mapě č. 1 instalované a spravované členy hydrologického výzkumné skupiny z katedry fyzické geografie a geoekologie na PřF UK v Praze. Žihle – meteostanice měří úhrn srážek, teplotu vzduchu, vlhkost vzduchu, globální radiaci, teplotu půdy, rychlost a směr větru a atmosférický tlak. Stanice Mladotice – nad jezerem měří výšku hladiny, teplotu vody, pH a vodivost na toku Mladotického potoka. Stanice Mladotické jezero je hladinoměr měřící výšku hladiny Mladotického potoka u jezera (Hydrodata online, 2016). Data z těchto stanic jsou dostupná online na stránkách výzkumného teamu. Lokalizace stanic je zobrazena v mapě č. 3.

V roce 2012 byl instalovaný výzkumnou skupinou z katedry fyzické geografie a geoekologie na PřF UK v Praze vzorkovač měřící množství plavenin přinášející

Mladotický potok. Vzorkovač je umístěn ve stanici Mladotice - nad jezerem. Měření provedené v tomto roce i v dalších letech vede stejná výzkumná skupina.

V roce 2013 byla měřena batymetrie jezera pomocí ADCP (Acoustic Doppler current profiler), ale ve výsledcích se nacházely chyby.

V roce 2014 bylo znovu provedeno hloubkové mapování jezera a data z tohoto měření jsou v současnosti nejaktuálnější. Byla použita stejná metoda jako v roce 2003, ale s vyšší podrobností. Výsledky z tohoto terénního výzkumu ještě nejsou publikovány.

Od roku 2016 je u výpustě jezera instalována sonda sloužící k měření plavenin. Data z této stanice umožní srovnání s množstvím plavenin přitékajícím do Odlezelského jezera. V tentýž roce byl proveden výzkum sedimentů jezera pomocí geofyzikální metody ERT (Electrical resistivity tomography). Rovněž tyto data nejsou nikde zpracována ani publikována.

5. Diskuze

Tato kapitola se věnuje diskuzi zejména o vypracovaných vstupních vrstvách do modelu WaTEM/SEDEM.

Vstupní vrstva do modelu WaTEM/SEDEM vodní plochy v povodí (Ponds), bude hrát velkou roli při výsledném množství transportovaného materiálu ukládající v Odlezelském jezeře, zejména klíčové bude nastavení podílu akumulovaného materiálu v drobných vodních plochách na tocích. Pro přesnější nastavení této vstupní vrstvy není dostatek dat, proto bude hodnota stanovena pouze odhadem. Odhad množství zachycených plavenin v nádržích ale může být velmi variabilní. Například nevíme, v jakém stavu jsou nádrže a ani stavidla regulující odtok z nádrží, či další charakteristiky popisující retenci plavenin v nádržích.

Další variabilní vstupní vrstva se týká R-faktoru. Pro porovnání máme k dispozici tři různé hodnoty. Ačkoli všechny hodnoty jsou stanoveny odborníky, kteří se o danou problematiku zajímají ve svých pracích, přikláním se k hodnotě stanovenou J. Brichtou, který hodnotu vypočítal podle metodiky Janečka (2012 a 2013). Hodnota R-faktoru stanoveného J. Krásou se mi jeví jako nadhodnocená. Nicméně záleží, jak bude model citlivý ke změnám R-faktoru.

6 Závěr

Cíle práce se podařilo splnit. V rešerši literatury se povedlo charakterizovat příklady současných vybraných modelů. Na základě porovnání výsledků aplikací modelů byl vyhodnocen WaTEM/SEDEM jako vhodný model pro použití modelování eroze a akumulace v povodí. Podařily se vytvořit vstupní vrstvy do modelu, zejména vrstva K-faktoru a vrstva parcel.

Při zpracování fyzicko-geografické charakteristiky území jsem stanovil oblasti v povodí, kde je očekávána největší eroze. Největší erozní procesy se váží na tektonicky zlomovou linii žihleské brázdy. Tyto procesy byly prokázány jak při terénním šetření, tak literatuře Balatka a Kalvoda (2006). V modelech bude pravděpodobně velkou roli hrát LS faktor. Sedimentace materiálu bude nejvíce očekávána v Odlezelském jezeře, z důvodu transportu plavenin Mladotickým a Odlezelským potokem z celého zájmového území. V povodí není příliš mnoho rovinatých ploch, kde by docházelo akumulaci materiálu, proto soudím, že největší vliv na akumulaci materiálu budou mít hranice pozemků a komunikací, zejména železniční trať. Faktor C podle očekávání bude stěžejně ovlivňovat množství erodovaného materiálu, proto by měla být změna využití půd účinná protierozní ochrana, která by mohla zpomalit zanášení jezera.

Seznam tabulek

Tab. 1: Zařazení zájmového území v geomorfologickém systému

Tab. 2: Obecné klimatologické charakteristiky v povodí

Tab. 3: Základní geometrické a číselné charakteristiky povodí Odlezelského jezera

Tab. 4: Změna využití území v povodí

Tab. 5: Hodnota K-faktoru podle HPJ. Hodnoty v oranžových buňkách jsou zjištěny z tabulky 6

Tab. 6: Přiřazení K-faktoru podle půdních typů a subtypů

Seznam map

Mapa 1: Mapa parcel

Mapa 2: K-faktor pro sledované území

Mapa 3: Přehledová mapa sledovaného území

Mapa 4: Geologické podloží v povodí

Mapa 5: Nadmořská výška v povodí

Mapa 6: Půdní poměry v povodí

Mapa 7: Hydrologické půdní skupiny v povodí

Mapa 8: Současné využití ploch zájmového území

Mapa 9: Využití ploch v letech 1947 - 1962

Seznam použité literatury

- 1) Atlas podnebí Česka. ČHMÚ a UP v Olomouci. Praha a Olomouc, 2007.
- 2) BALATKA, B., KALVODA, J. (2006). Geomorfologické členění reliéfu Čech. Kartografie Praha, Praha, 79 s.
- 3) BUZEK, L. (1970): Eroze půdy. 257 s.
- 4) BUZEK, L. (1995): Půdní fond a jeho ochrana. 138 s. ISBN 80-7042-728-0
- 5) CULEK, M. a kol. (1996): Biogeografické členění České republiky. Enigma, Praha, 347 s.
- 6) DOSTÁL, T., KRÁSA, J., KOLÁČKOVÁ, J., NOVÁKOVÁ, H., NYKL, J., VÁŠKA, J. VRÁNA, K. (2002): Metody odhadu erozní ohroženosti a transportu sedimentů z povodí. Projekt COST OC 623.001- dílčí zpráva za rok 2002 FSv ČVUT, Praha, 15 s.
- 7) DOSTÁL, T. (2016): Soubor prezentací k předmětu protierozní ochrana. FSv ČVUT. Dostupné na: <http://storm.fsv.cvut.cz/pro-studenty/predmety/bakalarske-studijni-programy/stavebni-inzenyrstvi-bc/inzenyrstvi-zivotniho-prostredi-bc/protierozni-ochrana/?lang=cz>, přístup 14. 5. 2016
- 8) FISHER, P., ABRAHART, R., HERBINGER, W. (1997): The Sensitivity of two distributed non-point source pollution models to the spatial arrangement of the land scape. Hydrological Processes, 11. pp., s. 241-252.
- 9) GOUERS, G., LOCH, R. (1993): Effects of initial water content and soil mechanical strength on the runoff erosion resistance of clay soils. Australian Journal of Soil Research 31. pp., s. 549-566.
- 10) JAKUBÍKOVÁ, A. (2016): Soubor prezentací k předmětu Simulační modely k ochraně a organizaci povodí, FSv ČVUT. Dostupné na: <http://storm.fsv.cvut.cz/pro-studenty/predmety/?lang=cz>, přístup 12. 5. 2016
- 11) JANEČEK, M. a kol. (2002): Ochrana zemědělské půdy před erozí. ISV nakladatelství, Praha, 201 s.
- 12) JANEČEK, M. (2007): Ochrana zemědělské půdy před erozí. Metodika. VÚMOP, Praha, 76 s.
- 13) JANEČEK, M. a kol. (2012): Ochrana zemědělské půdy před erozí. Metodika FŽP ČZU, Praha, 113. s. Dostupné na:

- http://fzp.czu.cz/vyzkum/metodiky/Methodika_Ochrana_zemedelske_pudy_pred_erozi.pdf, přístup 10. 5. 2016
- 14) JANSKÝ, B. (2003): Mladotické jezero – vývoj jezerní pánve. Geomorfologický sborník 2, 8 s. Dostupné na: https://www.researchgate.net/publication/265919478_Mladoticke_jezero_-_vyvoj_jezerni_panve, přístup 4. 5. 2016
 - 15) JANSKÝ, B. (2009): Živé srdce Evropy: Odlezeleské jezero. Česká televize. Dostupné na: <http://www.ceskatelevize.cz/porady/10121011820-zive-srdce-evropy/207562210700029-zive-srdce-evropy-odlezelske-jezero/>, přístup 4. 5. 2016
 - 16) JANSKÝ, B., SCHULTE, A., ČESÁK, J., RIOS ESCOBAR, V. (2010): The Mladotice Lake, western Czechia: The unique genesis and evolution of the lake basin. Geografie, 115, č. 3, s. 247–265. Dostupné na: <http://geography.cz/sbornik/wp-content/uploads/2010/12/g10-3-1jansky.pdf>, přístup 15. 5. 2016
 - 17) JINXUN, L., SHUGUANG, L., LARRY, L., MINGSHI, C. (2007): Estimating Soil Erosion Using the USPED Model and Consecutive Remotely Sensed Land Cover Observation. 6 s. Dostupné na: https://www.researchgate.net/publication/221112982_Estimating_soil_erosion_using_the_USPED_model_and_consecutive_remotely_sensed_land_cover_observations, přístup 25. 4. 2016
 - 18) KADLEC, J. (2007): Modelování erozních procesů v povodí Blšanky. Diplomová práce, Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie PŘF UK, Praha, 93 s.
 - 19) KLIMENT, Z. (2003): Lineární eroze v povodí Manetínského potoka. Geomorfologický sborník 2, ZČU, Plzeň, 12 s.
 - 20) KLIMENT, Z., LANGHAMMER, J. (2005): Modelování erozního ohrožení ve velkých územních celcích. In: Geomorfologický sborník 4, PFJU, České Budějovice, s. 75 - 81.
 - 21) KRÁSA, J. (2004): Hodnocení erozních procesů ve velkých povodí za podpory GIS. Disertační práce. KHKI FSv ČVUT, Praha, 186 s.
 - 22) KRÁSA, J., DOSTÁL, T. VRÁNA, K. (2008): Revidovaná podrobná mapaztráty půdy pro území ČR. Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství FSv ČVUT, Ostrava, 11 s. Dostupné na:

- http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2008/sbornik/Lists/Papers/001.pdf,
přístup. 4. 5. 2016
- 23) KRÁSA, J. (2010): Empirické modely vodní eroze v ČR. Habilitační práce, FSv ČVUT, Praha, 160 s. Dostupné na: http://storm.fsv.cvut.cz/data/files/osobni%20stranky/Krasa%20Josef/habilitace_krasa_2010.pdf, přístup 4. 5. 2016
- 24) KRÁSA, J. (2011): Geoinformatika versus vodohospodářství v krajinném inženýrství: Geoinformatics vs Landscape engineering. ČVUT, Praha, 25 s. Dostupné na: http://storm.fsv.cvut.cz/data/files/p%C5%99edm%C4%9Bty/ZPA/ZPA_2015_08_GIS_Krasa.pdf, přístup 4. 5. 2016
- 25) KRÁSA, J., STŘEDOVÁ, H., DOSTÁL, T., NOVOTNÝ, I. (2013): Rainfall erosivity research on the territory of the Czech Republic. Research Institute for Amelioration and Soil Conservation, ČVUT, Praha, 18 s. Dostupné na: <http://www.cbks.cz/SbornikBrno14/Krasa.pdf>, přístup 17. 5. 2016
- 26) KUČERA, T. (2012): Odlezecké jezero je evropský unikát. Za sedmdesát let ale zmizí. Český rozhlas. Dostupné na: http://www.rozhlas.cz/radiozurnal/reportaze/_zprava/odlezelske-jezero-je-evropsky-unikat-za-sedmdesat-let-ale-zmizi--1136579, přístup 15. 5. 2016
- 27) MERRITT, W. S., LETCHER, R. A., JAKEMAN, A. J. (2003): A review of erosion and transport models. Environmental Modeling and Software, s. 761 – 799. Dostupné na: https://www.researchgate.net/publication/228552294_A_Review_of_Erosion_and_Sediment_Transport_Models, přístup 4. 5. 2016
- 28) MITÁŠ, L. MITÁŠOVÁ, H. (1998): Distributed soil erosion simulation for effective erosion prevention. Water Resources Research 34 (3), s. 505 – 516.
- 29) MITÁŠOVÁ, H., HOFIERKA, J., ZLOCHA, M., IVERSON, L. R. (1996): Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS. International Journal of GIS 10 (5), s. 629 – 641.
- 30) NORMAN, S. E. (1989): An evaluation of ANSWERS, a distributed parameter watershed model. Thesis submitted in partial satisfaction of the requirements for the degree of master of science in Water Science in the Graduate Division of the University of California. Davis, California

- 31) PELACANI, S., MÄRKER, M., RODOLFI, G. (2008): Simulation of soil erosion and deposition in a changing land-use: A modelling approach to implement the support practice factor. *Geomorphology* 99 (2008), s. 329 – 340.
- 32) PRAGER, I. A kol. (2005): Modelování a simulace v geovědách: Program č. 1 – R, K, C faktory erozního modelu. Institut geoinformatiky VŠB-TU, Ostrava, 18 s., Dostupné na: http://homel.vsb.cz/~ruz02/msg/cviceni/cv4_usped/index_cv4_msg.html, přístup: 5. 5. 2016
- 33) ROYSSCHAERT, G., POESEN, J., NOTEBAERT, B., VERSTRAETEN, G., GOVERS, G. (2008): Spatial and long-term variability of soil loss due to crop harvesting and the importance relative to water erosion: A case study from Belgium. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 126 (2008) s. 217-228.
- 34) SKLENÁŘOVÁ, M. (2008): Eroze půdy v ČR. Diplomová práce, katedra geografie PřF UP, Olomouc, 84 s.
- 35) STANKOVIANSKY, M., KOCO, Š., PECHO, J., JENČO, M., JUHÁS, J. (v tisku, 2009): Geomorphic response of dry valley basin to large scale land-use changes in the second half of 20th century and problems with its reconstructions.
- 36) ŠARAPATKA, B., DLAPA, P., BEDRNA, Z. (2002): Kvalita a degradace půdy. Univerzita Palackého, Olomouc, 246 s.
- 37) VAN ROMPAEY, A., BAZZOFFI, P., JONES, R. J. A., MONTARELLA, L. (2005): Modelling sediment yields in Italian catchments. *Geomorphology* 65 (2005) s. 157-169.
- 38) VAN ROMPAY, A., VERSTRAETEN, G., VAN OOST, K., GOVERS, G., POESEN, J. (2001): Modelling mean annual sediment yield using a distributed approach. *Earth Surface Processes and Landforms* 26 (11), s. 1221-1236.
- 39) VERACHTERT, E. (2010), VAN DEN EECKHAUT, M., POESEN, J., DECKERS, J. (2010): Factors controlling the spatial distribution of soil piping erosion on loess-derived soils: A case study from Central-Belgium. *Geomorphology* (2010).
- 40) VERSTRAETEN, G. (2006): Regional scale modelling of hillslope sediment delivery with SRTM elevation data. *Geomorphology* 81 (2006), s. 128 – 140.
- 41) VITÁSEK, F. (1958): Fysický zeměpis – díl II. Pevniny. 603 s.

- 42) VÚMOP (2016): Nepublikovatelné materiály. Dostupné na: <http://geoportal.vumop.cz/>, přístup 1. 4. 2016
- 43) VYSLOUŽILOVÁ, B. (2010): Hodnocení erozních procesů s využitím modelů WATEM/SEDEM a USPED. Diplomová práce, katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha 138 s.
- 44) VYSLOUŽILOVÁ, B., KLIMENT, Z. (2012): Modelování erozních a sedimentačních procesů v malém povodí. In: Geografie – Sborník ČGS 2012 (2)/ 117, s. 170-191.
- 45) WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D. (1998): Predicting rainfall erosion losses: A Guide to conservation planing agriculture. In: Handbook No 537, Wachington, DC.: USDA/suience and education administration, US. Govt. Printing office, 58 s. Dsotupné na: http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/ad_hoc/36021500USLEDatabase/AH_537.pdf, přístup 2. 3. 2016
- 46) YOUNG, R. A., ONSTAD, C. A., BOSCH, D.D, ANDERSON, W.P. (1989): AGNPS: A nonpoint source pollution model for evaluating agriculture watersheds. Journal of Soil and Water Conservation 44, s. 168 – 173.

Ostatní zdroje

- 1) Arc ČR 500 (2015): Arc ČR 500, verze 3.2. Digitální geografická databáze 1:500 000. ArcData Praha, s.r.o., Praha.
- 2) Digitální mapa BPEJ 1:5000, výřez pro povodí Černičí, zpracoval VÚMOP, Praha 2009.
- 3) Digitální model území DMR 4G a DMR 5G, výřez pro povodí Odlezelského jezera, zpracoval ČÚZK, Praha.
- 4) Digitální ortofoto 1 : 5 000 (2015): výřez pro povodí Odlezelského jezera, zpracoval ČÚZK, Praha.
- 5) Databáze LPIS (2010): výřez pro povodí Odlezelského jezera, zpracoval Ministerstvo zemědělství, Praha.
- 6) Digitální ortofoto v letech 1947 – 1962 (2016): dostupná WMS služba pro Plzeňský kraj. Dostupná na: <http://geoportal.plzensky-kraj.cz/gs/vsechny-mapy/>, přístup 28. 5. 2016.

- 7) Geologická mapa 1: 50 000: Dostupná na: http://mapy.geology.cz/geocr_50/ ,
přístup 14. 5. 2016.
- 8) Digitální báze vodohospodářských dat (2016): dostupné na:
<http://www.dibavod.cz/>, přístup 4. 3. 2016.

Použitý software

- 1) ArcGIS 10.2.
- 2) MS Office 2007

Přílohy

Příloha 1: Výstup geologického podloží na povrch

Příloha 2: Letecké snímky orných plocho velikosti zhruba 1 km² severo-východně od města Žihle. Snímky znázorňují změnu struktury orných ploch v průběhu kolektivizace zemědělství

Příloha 3: Výmoly způsobené povrchovým odtokem 1

Příloha 4: Výmoly způsobené povrchovým odtokem 2

Příloha. 5: Sesuv u zatopeného žihelského povrchového lomu

Příloha 6: Stupeň s intenzivními erozními procesy

Příloha 7: Zvyšující se skeletovitost a smyv zaseté plodiny způsobené plošnou erozí

Příloha 8: Vývrat stromu

Příloha 9: Ústí Mladotického potoka do Odlezelského jezera

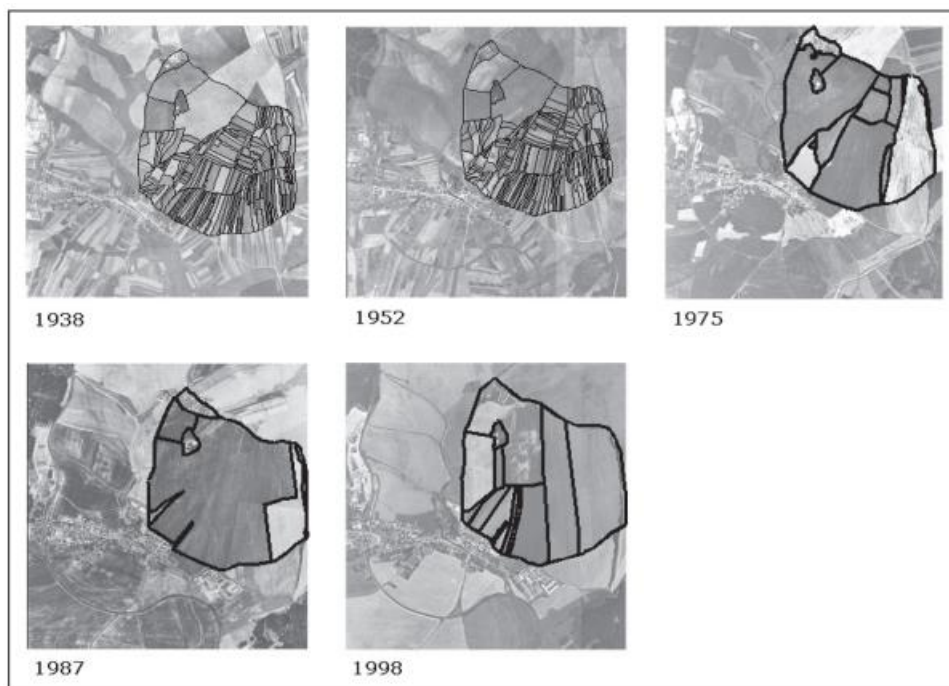
Příloha 10: Stanice: Mladotice – nad jezerem

Příloha 1: Výstup geologického podloží na povrch



Zdroj: vlastní foto

Příloha 2: Letecké snímky orných ploch velikosti zhruba 1 km² severo-východně od města Žihle. Snímky znázorňují změnu struktury orných ploch v průběhu kolektivizace zemědělství



Zdroj: Janský (2010)

Příloha 3: Výmoly způsobené povrchovým odtokem 1



Zdroj: vlastní foto

Příloha 4: Výmoly způsobené povrchovým odtokem 2



Zdroj: vlastní foto

Příloha 5: Sesuv u zatopeného žihelského povrchového lomu



Zdroj: vlastní foto

Příloha 6: Stupeň s intenzivními erozními procesy



Zdroj: vlastní foto

Příloha 7: Zvyšující se skeletovitost a smyv zaseté plodiny způsobené plošnou erozí



Zdroj: vlastní foto

Příloha 8: Vývrat stromu



Zdroj: vlastní foto

Příloha 9: Ústí Mladotického potoka do Odlezelského jezera



Zdroj: vlastní foto

Příloha 10: Stanice: Mladotice – nad jezerem



Zdroj: vlastní foto