Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Bakalářská práce

Protierozní ochrana půdy podél liniových staveb

Vedoucí práce: doc. Ing. Jan Vopravil, Ph.D.

Autorka práce: Jana Jandová

2023 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jana Jandová

Územní technická a správní služba v životním prostředí

Název práce

Protierozní ochrana půdy podél liniových staveb

Název anglicky

Protection of soils against erosion along linear infrastructure.

Cíle práce

Hlavním cílem bakalářské práce je zpracování podrobné literární rešerše k problematice ochrany půdy před degradací, s cílením na ochranu půdy podél liniových staveb (od silnic, železnic atd.). Součástí práce bude i terénní šetření na vybrané lokalitě a dokumentace stavu.

Metodika

Metodicky bude postupně zpracována literární rešerše z domácí i zahraniční literatury. Rešerše bude cílená na problematiku eroze půdy, sesuvů a destabilizací svahů podél liniových staveb, zejména však na praxi Ředitelství silnic a dálnic (ŘSD).

Následně bude na liniové stavbě ohrožené vodní erozí půdy vybraná modelová lokalita. Na které bude provedeno hodnocení a definování negativních dopadů na životní prostředí a bude pořízena fotodokumentace. Závěrem budou navrženy možné nápravy nežádoucího stavu.

Doporučený rozsah práce

Dle Nařízení děkana č. 01/2020 – Metodické pokyny pro zpracování bakalářské práce na FŽP

Klíčová slova

půda, eroze půdy, komunikace, protierozní opatření

Doporučené zdroje informací

CÍLEK, Václav; HLADÍK, Jiří; HAVEL, Petr; TUREK, Jan; ZÁHORA, Jaroslav; VOPRAVIL, Jan; FUČÍK, Petr; KHEL, Tomáš; MEDUNA, Petr; MUDRA, Pavel; NAVRÁTIL, Tomáš; SŮVOVÁ, Zdenka; KINSKÝ, Václav; KEŘKA, Josef; KŘÍŽEK, Pavel; LIZOŇOVÁ, Dominika; SVOBODA, Jiří. *Půda a život civilizací : co děláme půdě, děláme sobě.* Praha: Dokořán, 2021. ISBN 978-80-7675-015-9.

GODONE, Danilo; STANCHI, Silvia. *Research on soil erosion.* Rijeka: InTech, 2012. ISBN 978-953-51-0839-9.

JANEČEK, Miloslav; ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Ochrana zemědělské půdy před erozí : metodika.* Praha: Powerprint, 2012. ISBN 978-80-87415-42-9.

JANEČEK, Miloslav; ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Základy erodologie.* V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2008. ISBN 978-80-213-1842-7.

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

SKLENIČKA, Petr. *Základy krajinného plánování.* Praha: Naděžda Skleničková, 2003. ISBN 80-903206-1-9.

VOPRAVIL, Jan. *Půda a její hodnocení v ČR. Díl II./ Jan Vopravil* a kol. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2011. ISBN 978-80-87361-08-5.

VOPRAVIL, Jan. *Půda a její hodnocení v ČR. Díl. I.* Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2010. ISBN 978-80-87361-05-4.

Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – FŽP

Vedoucí práce

doc. Ing. Jan Vopravil, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra plánování krajiny a sídel

Elektronicky schváleno dne 31. 7. 2023

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 30. 10. 2023

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 15. 11. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Protierozní ochrana půdy podél liniových staveb, vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila, a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů. Jsem si vědoma, že na mou bakalářskou práci se plně 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 ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzi tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne datum odevzdání _____

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala doc. Ing. Janu Vopravilovi, Ph.D. za vysoce odbornou pomoc a vedení mé bakalářské práce. A hlavně si vážím vstřícného jednání a milého chování po celou dobu.

Protierozní ochrana půdy podél liniových staveb

Abstrakt

Bakalářská práce pojednává o protierozní ochraně půdy podél liniových staveb pozemních komunikacích. Nejprve v obecné rovině v literárních rešerších jsou vysvětleny základní pojmy o půdě, vlastnostech půdy a její bonitě, hlavních typech půdy v ČR a pozemkových úpravách. Následuje výklad o degradaci půdy a faktorech, které ji způsobují. Dále pokračují rešerše o erozi půdy vodní i větrné, geologii, hydrologii, svahových nestabilitách komunikací a protierozních opatřeních a na konec o sanaci svahů erozí poškozených a údržbě svahů.

Další část bakalářské práce je zaměřena na konkrétní případy řešení vodní erozí narušených svahů, zpevnění svahů pomocí gabionů a vhodnou vegetací a její údržbou na silnicích I. třídy a dálnici D6 na Chebsku v Karlovarském kraji z hlediska zabezpečení provozu.

Klíčová slova: půda, eroze půdy, komunikace, protierozní opatření

Protection of soil against erosion along linear infrastructures

Abstract

The Bachelor thesis is about anti-erosion protection of the land along the line structures of the road. First, in general terms in literary research, the basic concepts about land, the characteristics of land and its bonita, the main types of land in the Czech Republic and land improvements are explained. What follows is an interpretation of soil degradation and the factors that cause it. Furthermore, research continues on erosion of water and wind soils, geology, hydrology, slope instability of roads and anti-erosion measures, and finally on the remediation of slopes by erosion of damaged and maintenance of slopes.

Another part of the bachelor's thesis is focused on specific cases of dealing with water erosions of disturbed slopes, strengthening of slopes with gabions and suitable vegetation and its maintenance on The Class I roads and the D6 motorway in Chebsk in the Karlovy Vary Region in terms of traffic security.

Keywords: soil, soil erosion, communication, anti-erosion control measures

Obsah

1 Úvod 9

2 Cíl práce 10

3 Metodika 11

4 Literární rešerše 12
4.1 Půda 12
4.1.1 Bonitace půdy 13
4.1.2 Hlavní půdní typy v ČR 14
4.1.3 Pozemkové úpravy 15
4.1.4 Degradace půdy 17
4.2 Zranitelnost půd erozí 18
4.2.1 Větrná eroze 19
4.2.2 Vodní eroze 20
4.3 Geologie 22
4.4 Hydrologie 24
4.5 Svahové nestability 25
4.6 Protierozní opatření (PEO) 27
4.6.1 PEO na zemědělských pozemcích 28
4.6.2 PEO na zemních svazích pozemních komunikací (PK) 30
4.6.3 Sanační opatření a zabezpečování svahů PK 34

5 Vlastní práce 36
5.1 Charakteristika přírodních poměrů zájmové oblasti PK v gesci ŘSD ČR, Správa KV 36
5.2 Sesuvy půdy v zářezu svahu a v násypu svahu PK 38
5.2.1 Lokalita: sil. I/6 v km 174,5 staničení ve směru od Pomezí n/Ohří za nadjezdem na Břízu pozemek p. č. 330/20 v k. ú. Bříza 39
5.2.2 Lokalita: D6 v km 157,3 - 157,0 ve směru na KV u nadjezdu na Lipoltov k. ú. Tuřany, p. p. č. 714/4 43
5.3 Stavby opěrných zdí z gabionů v lokalitě na D6 v k. ú. Cheb, p. p. č. 1139/19 48
5.3.1 Lokalita: D6 v km 168,5 ve směru na Cheb 51
5.3.2 Lokalita: D6 v km 168 ve směru na Karlovy Vary 52

6 Výsledky a diskuse 57

7 Závěr a přínos práce 62

8 Přehled literatury a použitých zdrojů 63

9 Seznam obrázků 69

10 Seznam tabulek 71

11 Seznam zkratek 72

1 Úvod

Půda je nezastupitelná součást naší planety a má nezbytný význam. Poskytuje prostředí pro růst mnoha organismů, od nejmenších až po ty největší, včetně lidské populace. Je bohatá na živiny, schopná absorbovat a zadržovat vodu a zejména dávat potravu pro miliardy lidí. Její hodnota jako zdroje bohatství států a národů je však často podceňována.

Nesprávné hospodaření, nedodržování technologických postupů, nadměrné hnojení a další lidské zásahy vedou k degradaci půdy. Zatímco určité formy degradace jsou přirozené, většina je způsobena lidským vlivem. Nejčastěji projev této degradace představuje eroze, kterou lidské zásahy urychlují a prohlubují. K tomu přispívá i zhoršující se klimatické prostředí.

Problém eroze získal v posledních letech větší pozornost a ochrana půdy je nyní prioritou. Studium příčin eroze a následné implementace opatření jsou klíčové pro zlepšení situace. Znalosti o erozních jevech mohou zemědělcům pomoci zvýšit kvalitu půdy, zlepšit výnosy zemědělských plodin a efektivněji zadržovat vodu v krajině.

V České republice je významným problémem vodní eroze na velkých půdních blocích vytvořených v minulosti, které nebyly následně rozděleny. Nadměrně velké stroje na obdělávání půdy, používané kvůli těmto velkým blokům, přispěly k její degradaci. Od 1. 7. 2021 platí Vyhláška č.240/2021 Sb. O ochraně zemědělské půdy před erozí a od 5.5.2021 Novela nařízení vlády č.48/2017 Sb., která kromě jiného mění číselné označení požadavku DZES, kterým se omezuje pěstování jedné plodiny ne navíc než 30 ha souvislé plochy.

Lidská činnost způsobuje nevratné změny v půdě, krajině i na planetě Zemi. Příroda má určitou schopnost se s některými katastrofálními vlivy vyrovnat, avšak nelze se na ni spoléhat. Je důležité, aby lidé hledali rovnováhu, přijímali i dávali a šířili tuto zodpovědnost, a to jak svým příkladem, tak výchovou nových generací. Zakořenit tak myšlenku, že ochrana půdy je společnou povinností každého z nás a nalézání optimálních řešení je klíčem k podpoře a zachování půdního fondu pro budoucí generace jako nezbytného dědictví.

2 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je zpracování podrobné literární rešerše a na konkrétních příkladech na dálnici a silnicích I. třídy na Chebsku v Karlovarském kraji ukázat problematiku eroze půdy na svazích u pozemních komunikacích, a to jak řešení důsledků eroze sanací svahů, tak její předcházení protierozními opatřeními např. gabiony, výsadbou vhodné vegetace a její údržby.

V úvodní části je formou literárních rešerší objasněna řada pojmů vztahujících se k půdě, její bonitě, typech půd, pozemkové úpravy. Následuje výklad o degradaci půdy, vodní a větrné erozi, protierozní opatření, zejména na svazích pozemních komunikací. Dále pokračují rešerše o nestabilitě svahů, geologii, hydrologii, údržbě vegetace, sanaci erozí poškozených svahů a posouzení příčin jejich vzniku.

Následně bude charakterizováno území Chebska u zájmových oblastí na dálnici D6 a silnicích I. třídy z hlediska geologického, pedologického a hydrologického a uvedeny konkrétní příklady protierozních opatření a sanací svahů.

3 Metodika

V praktické části vlastní práce byla nejprve provedena charakteristika oblasti, kde se nachází zájmové úseky dálnice D6 a sil. I. třídy na Chebsku v Karlovarském kraji v gesci Ředitelství silnic a dálnic ČR, Správa Karlovy Vary. Pak byly vybrány tři modelové úseky, na kterých v minulosti byla použita jako důsledek vodní eroze půdy na svazích pozemních komunikacích sanační protierozní opatření, a to v běžném silničním provozu. U každého poškození svahu byla kromě hlavního důvodu nepříznivého klimatického jevu spouštěčem jiná další příčina. Rovněž na modelové úseky byl vybrán sesuv půdy jak v zářezu, tak i násypu svahu pozemní komunikace. Poslední čtvrtý modelový úsek je ukázkou uplatnění protierozního stabilizačního opatření již v době výstavby dálnice D6.

Veškeré potřebné údaje byly opatřeny ze záznamů a z projektových dokumentací z archivu provozního úseku ŘSD ČR, Správa Karlovy Vary. Bylo provedeno nové terénní šetření a fotodokumentace byla získána ze záznamů ŘSD, ale u novějšího případu byla fotodokumentace pořízena autorkou BP.

Dále byly použity pro charakteristiku jednotlivých úseků ortofoto mapy z Katastru nemovitostí a z České geologické společnosti půdní a hydrogeologické mapy daných území. Z projektových dokumentací výstavby sil. I/6 a úseků dálnice D6 byly využity části geologických a hydrogeologických průzkumů pro popis a objasnění souvislostí k vyhodnocení příčin sesuvů svahů.

.

4 Literární rešerše

4.1 Půda

Půda je vrchní část zemské kůry, podstupující procesy zvětrávání a transformace díky fyzikálním, chemickým a biologickým jevům. Tvoří ji minerální částice, organické sloučeniny, voda, vzduch a živočichové, uspořádané v genetických půdních horizontech. Pedologie – půdoznalství se zabývá vědeckým zkoumáním půdních procesů a vlastností (Vácha a kol., 2019).

Poskytuje životní prostředí pro půdní organismy a slouží jako stanoviště pro rostoucí vegetaci. Zároveň reguluje koloběh látek a funguje jako úložiště živin (Šimek, 2005).

Spojení zdravé půdy s celkovým zdravím rostlin, zvířat a lidí je nepopiratelné. Nesprávné hospodaření s půdními zdroji může přinést chudobu, nedostatek výživy a ekonomickou zkázu (Doran, Zeiss, 2000).

Půda je nejcennější přírodní bohatství, které je omezené a obnovuje se velmi pomalu. Z toho důvodu je nutné chránit půdu jak v současné době, tak s ohledem na budoucnost (Bot, Benites, 2005).

Výměna živin, energie a uhlíku mezi organickou hmotou půdy, půdním prostředím, vodními systémy a atmosférou hraje důležitou roli v podpoře zemědělské produktivity, zajištění kvality vodních zdrojů a ovlivňuje klimatické podmínky (Lehmann, Kleber, 2015).

Půda významně ovlivňuje ráz krajiny, kde hraje klíčovou roli ve formování původního rostlinného pokryvu a stanovuje vhodnost pro růst určitých zemědělských plodin. Stav půdy, ovlivněný jak přírodními jevy, tak lidským faktorem, zásadním způsobem determinuje zemědělské postupy a hospodaření v daném prostředí (Vácha a kol., 2019).

I David R. Montgomery (2007) vysvětluje, jak se navzájem ovlivňovalo formování společností a hospodaření s půdou. Dá se vysledovat dějinná souvislost mezi vznikem a prosperitou určitých společenství a využíváním půdy. Možný klíč k nové zemědělské revoluci vidí v nadějném vzestupu ekologického a bezorebného zemědělství.

Teorie geografického determinismu naznačuje, že fyzické prostředí, zejména faktory jako jsou klima, topografie a půdní podmínky, hrají klíčovou roli ve formování lidské společnosti. V kontextu problematiky eroze bychom mohli uvažovat o tom, jak tyto geografické faktory ovlivňují půdu a její udržitelnost. Klimatické podmínky mohou ovlivnit erozní procesy, zatímco topografie a stav půdy mohou hrát

roli v odolnosti proti erozi. Geografické podmínky předurčují úroveň a typ eroze, což je důvod k důkladnému zkoumání vztahu mezi geografií a problematikou eroze v různých regionech (Jackson, Jensen 2022).

4.1.1 Bonitace půdy

Ohodnocení půdy jako obchodního artiklu je zásadní prvek ve všech státech s tržním ekonomickým systémem. Půda jako komodita má svá specifika. Je vzácným a omezeným zdrojem, jehož celková nabídka je určována přírodou, což ji limituje na konkrétní místo, nelze ji přemístit.

Různé typy pozemků mají své specifické účely a hodnoty. Toto členění zahrnuje stavební pozemky, ostatní plochy již založené, zahrady, zemědělské pozemky (orná půda, vinice, chmelnice, louky, pastviny, ovocné sady), lesní pozemky, pozemky vodních nádrží a vodních toků (rybníků, jezer, potoků a řek) a jiné hospodářsky nevyužitelné (neplodná půda, rokle, močál, bažina apod.).

Každý druh pozemku je hodnocen odlišným způsobem v závislosti na účelu jejich využití, což se projevuje ve stanovení cen.

V oblasti oceňování zemědělských pozemků pro účely daní, určení výše nájemného nebo v případě směny pozemků, se využívá výnosová metoda odpovídající *bonitovaným půdně ekologickým jednotkám (BPEJ).* Tato metodika se opírá o úřední ceny zemědělské půdy podle práce Bičíka a jeho kolegů z roku 2009.

Koncepce bonitace zemědělského půdního fondu (ZPF) byla zavedena na základě Usnesení vlády ČSR č. 101 ze dne 11. 5. 1971. Princip této bonitace spočívá v rovnosti všech složek životního prostředí. Zařazení konkrétní lokality do určité kategorie BPEJ není determinováno pouze morfogenetickými vlastnostmi půdy, klimatem a reliéfem terénu, ale zahrnuje také obsah půdního skeletu, hloubku půdy a další fyzikálně-chemické charakteristiky, což zdůrazňuje práce Bičíka a spol. z roku 2009.

Členění BPEJ je definováno pomocí pětimístného kódu soustavy. První číslice kódu identifikuje vazbu na klimatický region, zatímco druhá a třetí číslice označují zařazení dané půdy do hlavní půdní jednotky klasifikačního souboru (HPJ). Čtvrtá číslice určuje kombinaci sklonu a expozici vzhledem k hlavním světovým stranám, pátá číslice vyjadřuje hloubku půdy a množství půdního skeletu.

Informace z BPEJ jsou zaznamenány v katastru nemovitostí a slouží jako základ pro klasifikaci ochrany zemědělské půdy a následné poplatky za vynětí půdy ze ZPF.

Tato soustava BPEJ je dynamickým nástrojem ochrany půdy, krajiny a vodních zdrojů v České republice. Její průběžná aktualizace ji charakterizuje jako „živý systém“, který nachází uplatnění v detailních měřítkách a v moderních aplikacích GIS (Vopravil a kol., 2011).

Geografický informační systém (GIS) lze definovat jako komplexní sadu počítačového hardwaru, softwaru a dat, které umožňují sbírat, spravovat, analyzovat a vizualizovat různé geografické informace. Tato technologie se využívá k tvorbě kartografických prezentací, databází prostorových dat a prostorové analýzy modelování.

V oblasti půdního mapování jsou technologie GIS nezbytné pro tvorbu informačních systémů o půdě, které jsou součástí širšího informačního systému o životním prostředí. Databáze různých institucí zaměřených na problematiku půd a životního prostředí obsahují informace o půdách s různými formáty, strukturami a zaměřením. Nástroje GIS umožňují propojení těchto informací a provádění analytických operací, což přispívá k inventarizaci, sumarizaci, třídění, selekci a prezentaci údajů, které jsou prostorově vázané na zemský povrch, tedy informace o půdách (Bičík a kol., 2009).

4.1.2 Hlavní půdní typy v ČR

Hlavní půdní typy v České republice podléhají systematické klasifikaci a taxonomii v rámci pedologie. Aktuální český taxonomický klasifikační systém (Němeček, 2011) hierarchicky zařazuje půdy do skupin podle jejich geneze, diagnostických znaků, struktury půdních horizontů a dalších analytických charakteristik. Matečná hornina hraje klíčovou roli v určování charakteru vytvořené půdy. Díky rozmanitému složení matečné horniny vznikají různé varianty půd (Schloter a kol., 2003).

V České republice jsou nejběžnějšími půdními typy:

KAMBIZEMĚ (KAm) – tento typ představuje nejčastější variantu v ČR. Je charakterizován svým kambickým hnědým profilem. Kambizemě se vyskytují na rozsáhlých územích s různými klimatickými podmínkami a na rozmanitých půdních substrátech. Původní společenstva kambizemí zahrnují listnaté a smíšené porosty, zejména dubové a bukové lesy.

PSEUDOGLEJE (PGgm) – jsou identifikovány výrazným mramorovaným redoxmorfním horizontem, následovaným světlejším horizontem s výrazným množstvím nodulárních (uzlovitých) útvarů. Tyto půdy se vyskytují na plošinách, ve

sníženinách, na svazích mírně svažitých a v plochých údolích, a to od nížin až po horské oblasti na různých typech půdních substrátů.

ČERNOZEMĚ (CE) – tyto půdy se vyznačují temně zbarveným horizontem a jsou výrazně humózní. Typicky se vyskytují na travnatých stepích na hlubokých, úrodných podložích, a vyvíjejí se zejména na spraších.

LUVIZEMĚ (LUm) – Luvizemě jsou půdy, kde je patrný proces ilimerizace, což je posun jílovité složky v rámci půdního profilu, čímž vzniká vybělený eluviální luvický horizont. Tyto půdy jsou přítomny převážně na hlinitých a svahovitých podkladech, zejména v pahorkatinách do výšek přibližně 600 metrů nad mořem (Vopravil a kol., 2010).

4.1.3 Pozemkové úpravy

Pozemkové úpravy jsou definovány jako proces, který je zacílen na územní a funkční uspořádání, scelení nebo dělení pozemků tak, aby to vyhovovalo veřejnému zájmu. Cílem je zabezpečit přístupnost a využití pozemků a harmonizaci jejich hranic, což napomáhá vytvoření podmínek pro efektivní hospodaření s půdou (Vácha a kol., 2019).

Tímto procesem dochází k upravení vlastnických práv a s tím spojených věcných břemen. Současně jsou tyto úpravy zaměřeny na zlepšení životního prostředí, ochranu a zlepšení kvality půdního fondu, správu vodních zdrojů a podporu ekologické stability krajiny. Výsledky pozemkových úprav jsou rovněž využívány k aktualizaci katastru nemovitostí a poskytují důležité podklady pro územní plánování (Burian a kol., 2011).

Provedení pozemkových úprav se většinou řídí zákonem č.139/2002 Sb., O pozemkových úpravách a pozemkových úřadech, ve znění pozdějších předpisů.

Pozemkové úpravy jsou složitým procesem, který začíná *zahájením řízení* Státním pozemkovým úřadem (SPÚ). Toto řízení může být iniciováno obcemi např. v důsledku ochrany území a zastavěných částí obce před následky přívalových dešťů. Také může být iniciováno na základě podnětu stavebníka například z důvodu realizace veřejně prospěšných liniových staveb. Po zahájení následují *přípravné práce,* jako je průzkum morfologických, hydrologických a půdních podmínek, geodetické zaměření skutečného stavu terénu a soupis požadavků vlastníků, včetně ocenění pozemků. Následně se provádějí projekční práce, kde se na základě skutečného stavu území *navrhne plán společných zařízení* jako jsou polní cesty, protierozní, protipovodňová a ekologická opatření. Tato práce vyžaduje souhlas

vlastníků nad 60% plochy pozemků v obvodu pozemkových úprav. Po schválení nového uspořádání pozemků vlastníky se vytváří nová digitální katastrální mapa jako podklad pro obnovu katastrálního operátu. Každý vlastník má poté nárok na vytyčení nově navržených pozemků. Poslední fází je *realizace* prvků a opatření navržených v plánu společných zařízení jako jsou polní cesty, protierozní opatření, nádrže na pitnou vodu nebo výsadba zeleně (Žalud a kol., 2019).

Závaznou a přímo zákonem stanovenou součástí každého návrhu ***komplexní pozemkové úpravy (KPÚ)*** je tzv. *plán společných zařízení*, který se skládá z následujících prvků:

- opatření zajišťující dostupnost pozemků jako polní a lesní cesty, mostky, propustky, brody, železniční přejezdy atd.
- protierozní opatření pro ochranu půdy jako protierozní meze, průlehy, zasakovací pásy, zadržovací příkopy, ochranné terasy, výsadba remízků, větrolamy, zatravnění, zalesnění apod.
- vodohospodářské stavby pro regulaci povrchové vody; patří sem nádrže, rybníky, úpravy toků, odvodňovací prvky, ochranné hráze, suché poldry apod., které slouží ke správě a regulaci toku vody
- opatření pro ochranu a podporu životního prostředí a ekologické stability v místním systému, zalesňování, odstranění nebo dosázení vegetace, terénní úpravy a podobně

Tyto prvky jsou klíčové součásti každého návrhu komplexních pozemkových úprav a pro potřebnou plochu pro společná zařízení se prioritně využijí pozemky ve vlastnictví státu před majetkem obcí. V situaci, kdy není možné využít pouze státních a obecních pozemků, ostatní vlastníci pozemků přispívají k potřebným plochám půdního fondu v poměru k celkové ploše jejich směňovaných pozemků. Požadavky na zahájení komplexních pozemkových úprav z důvodu ochrany území před povodněmi se neustále zvyšují. Dalším důvodem pro iniciování pozemkových úprav je jejich vyvolání v souvislosti s výstavbou nových úseků dálnic a železničních koridorů.

Pozemkové úpravy se staly důležitým nástrojem rozvoje venkova. Během tohoto procesu se zlepšuje struktura vlastnictví nemovitostí, redukuje se počet parcel, zlepšují se možnosti obhospodařování pozemků a v současnosti se stávají klíčovým nástrojem pro zlepšení dopravní infrastruktury, ochranu životního prostředí, zejména v oblasti vodního hospodaření a snižování rizika eroze a povodní v krajině. Při provádění pozemkových úprav se významně uplatňují drobná opatření jako jsou prvky plánu společných zařízení, které zpomalují odtok vody z území,

chrání půdu před erozí půdy a zvyšují schopnost krajiny udržet vodu (Vopravil a kol., 2010).

4.1.4 Degradace půdy

Degradace půdy je výsledkem různých procesů, z nichž některé jsou přirozené, ale většina je způsobena lidskou činností a omezuje schopnost půdy plnit své základní funkce.

Lze ji definovat jako částečnou nebo úplnou ztrátu úrodnosti, která je především způsobena zemědělskými aktivitami (Lal, 2004).

Mezi lidské aktivity, které ohrožují nebo ničí půdu, patří urbanizace, rozšiřování dopravní infrastruktury, výstavba skladů, průmyslových areálů a logistických center, tzv. *soil sealing* – zakrytí půdy nepropustnými materiály (beton, asfalt), vojenské aktivity, změny klimatu, těžba surovin a další podobné lidské zásahy. Zastavování území má za následek ztrátu přirozených vlastností půdy a omezení její schopnosti plnit různorodé a významné funkce. Vedle eroze představuje zastavování půdy v současné době klíčový problém při degradaci zemědělských půd. Mezi faktory, které přispívají k zastavování území, patří relativně nízké ceny pozemků, kdy je ekonomicky výhodnější využívat zelených luk než investovat do existujících zastavěných oblastí nebo renovovat starší budovy (Hlavínek a kol. 2007).

Degradace půd nezávisí pouze na vlivu vnějšího prostředí, ale také na vnitřních vlastnostech samotné půdy.

Mezi klíčové vnitřní vlastnosti půdy patří: *stabilita, odolnost, pružnost* (schopnost návratu do původního stavu), *labilitu* (opak stability), (Brtnický a kol., 2012) *náchylnost* podléhat nevratnému narušení rovnováhy, *citlivost* (rychlost nevratných změn vlastností půdy), *zranitelnost* (vztah mezi odolností a náchylností a mezi pružností a citlivostí). Termín *únosnost* vyjadřuje míru kritického zatížení půdy intenzivním využíváním, zatímco *ohroženost* znamená celkový stupeň možné degradace pedosféry. *Tolerance* půd vyjadřuje jejich schopnost odolat degradačním vlivům.

Různé typy půdy jsou různě stabilní nebo zranitelné vůči degradací vzhledem ke svým vlastnostem.

Mezi hlavní faktory způsobující ztrátu nebo degradaci půdy patří *vodní a větrná eroze, debazifikace,* tzn. chemický proces vyluhování bazických kationů, např. Ca a Mg při vzniku půdního tělesa, která vede k okyselení půdy, tzv. *acidifikaci*

(rozmáhají se mechy). Téměř všechny půdy v ČR vykazují v současnosti mírný pokles hodnot pH, tedy mírnou aktuální acidifikaci (Vácha a kol.,2019).

Další faktor je fyzikální degradace - *utužení*, někdy též označované jako půdní kompakce nebo zhutnění. Jde o stlačování půdy opakovanými přejezdy těžkou zemědělskou technikou (traktory, kombajny), které vede ke snížení pórovitosti a propustnosti, tedy retenční schopnosti půdy, i ke snížení úrodnosti. Stále se zvyšující hmotnost zemědělské techniky, způsob hospodaření bez střídání plodin, organického hnojení či vápnění přispívá k degradaci půdní struktury. Utužení půdy není nevratné při správně provedené orbě.

Další faktor je *znečištění* a *kontaminace* - zátěž půd kontaminanty je velký problém. Za důležitý velkoplošný zdroj vstupu rizikových prvků do půdy jsou považovány imisní spady z průmyslové činnosti, spalovacích procesů v intravilánech a dopravě. Zemědělská činnost je zodpovědná za vstupy rizikových prvků do půdy zejména průmyslovými hnojivy, organickými látkami a pesticidy. Významným zdrojem vstupu rizikových prvků do půd je považována aplikace kalů z čistíren odpadních vod nebo vytěžených rybničních a říčních sedimentů do zemědělských půd.

Úbytky organické hmoty - dochází k němu působením vodní i větrné eroze, zvýšenou mineralizací (např. vápněním půd), nevhodnou kultivací, nedostatkem organické hmoty při intenzivní produkci, kdy dochází ke snižování hladiny humusu. Je nutné zásobovat půdu dostatečným množstvím organického materiálu, zejména chlévským hnojem, komposty apod.

O všech typech půdní degradace platí, že všechny příčiny i následky jsou vzájemně spjaty. Jedna primární degradace podmiňuje vznik sekundárních forem, a tím i celkové zrychlení procesu degradace a destrukce (Vopravil a kol., 2010). Jako příklady vhodných zemědělských postupů lze uvést: vrácení živin formou rostlinných zbytků, provádění bezorebního zpracování půdy a mulčování, pěstování krycích plodin mimo vegetační sezónu, střídání plodin s vysokou diverzitou, využívání organických hnojiv, implementaci biologické ochrany před škůdci a obnovu degradovaných půd (Guo a Gifford, 2002).

4.2 Zranitelnost půd erozí

Erozi lze definovat jako přírodní proces, při kterém dochází působením vody, větru, ledu, nebo jiných činitelů k rozrušování půdního povrchu, přenosu půdních částic a jejich následnému usazování (Šarapatka, 2014). Podle Zachara (1960) jsou nejvíce postiženými plochami erozí zemědělské půdy, pastviny a vinice.

Rozlišujeme erozi *normální (geologickou)*, která je přirozená a *zrychlenou* erozi. Podle Janečka a spol. (2008) je úkolem ochranných opatření snížit zrychlenou erozi způsobenou člověkem na úroveň normální – geologické eroze.

Půdní eroze má značný vliv na zemědělskou půdu, neboť ji zbavuje nejúrodnější části - ornice. Zároveň dochází k zhoršení fyzikálně - chemických vlastností půdy, kde se snižuje mocnost půdního profilu, zvyšuje zrnitost a dochází k redukci obsahu živin a humusu. Tyto procesy vedou k ničení úrody a výnosů a zkomplikování pohybu zemědělských strojů na pozemcích, dále způsobují ztráty sadby, osiv a hnojiv. Přenesené půdní částice a látky s nimi spojené znečišťují zdroje vody, což má za následek zanesení nádrží, snížení průtočné kapacity toků, zakalení povrchových vod a zhoršení životních podmínek pro vodní organismy. Zvyšují se tak náklady na úpravu vody a těžbu sedimentů (Vopravil a kol.,2010). Erozí půdy se zmenšuje pórovitost půdy a dochází k omezení infiltrace povrchové vody do půdy a výměně půdního vzduchu, což způsobuje neschopnost zadržovat vodu z dešťových srážek, vyplavují se živiny do povrchových a podzemních vod. Důsledkem eroze je snížení obsahu organických látek a znehodnocení produktů chránících rostliny odtokem (Vopravil a kol., 2010).

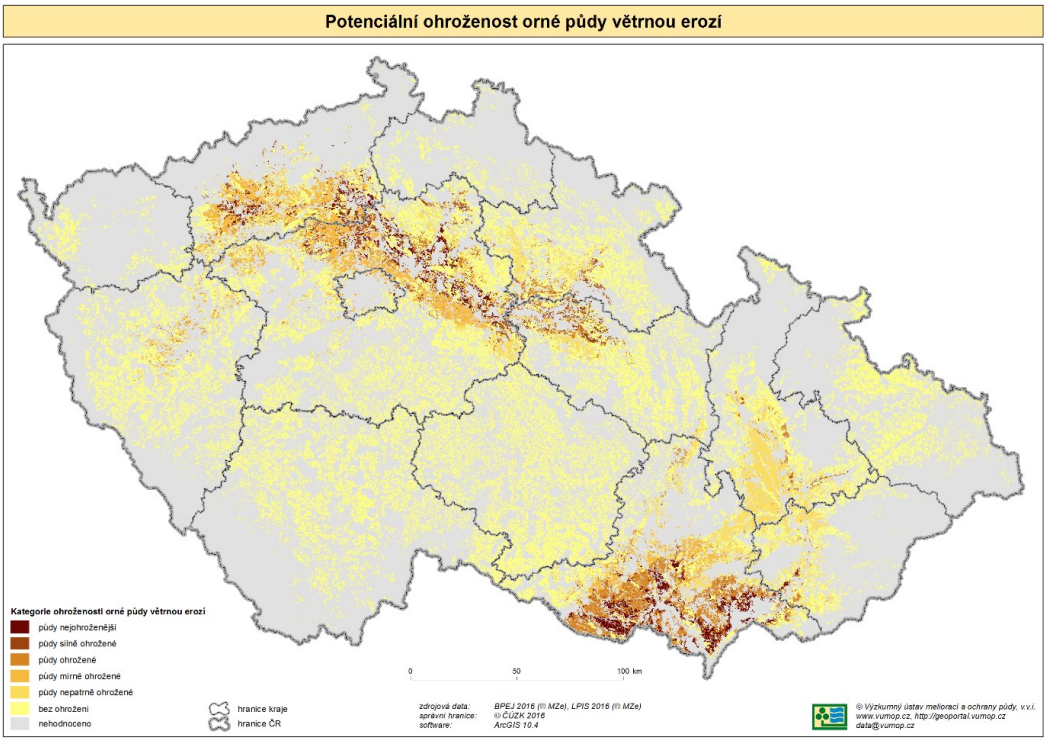
4.2.1 Větrná eroze

Větrná eroze je přírodní jev, při kterém vítr působí na povrch půdy a svou mechanickou silou rozrušuje půdu a uvolňuje půdní částice, které jsou následně přemisťovány do různých vzdáleností, a usazují se, když klesne rychlost větru. Podmínky pro větrnou erozi jsou ovlivněny meteorologickými a půdními poměry a mohou se vyskytovat po celý rok. Největší škody obvykle vznikají na jaře po suché, sněhem chudé zimě, kdy je povrch bez vegetace a vítr snadno odnáší suchou svrchní vrstvu půdy. Na podzim také dochází k zvýšenému ohrožení, protože mnoho zemědělských ploch zůstává opět bez vegetačního pokryvu.

Pod vlivem fyzikálních a chemických faktorů dochází k rozpadu matečné horniny na menší frakce. Tyto části se buď ukládají na místě svého vzniku, nebo jsou transportovány větrem na jiná místa (Shukla, 2014). Půdní částice unášené větrem mohou znečišťovat atmosféru, což má negativní dopad na lidské zdraví a zvířata, způsobující respirační onemocnění a oční infekce. Rozsah transportu půdních částic je ilustrován údaji od Chepila a Woodruffa (1958), kteří zaznamenali až 310 tun prašných částic v 1 km^3 vzduchu během prachu způsobeného prachovou bouří.

Mezi hlavní meteorologické faktory, které ovlivňují nejvíce větrnou erozi, patří rychlost a směr větru, doba jeho působení a frekvence (Žalud a kol., 2019).

V České republice je větrnou erozí ohroženo asi 20 % zemědělských půd. Klimatické scénáře navíc naznačují zesílení větrných bouří, což může zvýšit riziko větrné eroze (Cílek a kol., 2021).



Obr. 1: Mapa ohrožení větrnou erozí (Vopravil a kol., 2010)

4.2.2 Vodní eroze

Jedná se o erozi zemského povrchu způsobenou dešťovými kapkami a povrchovým odtokem uvolněných půdních částic. Největší vliv na vznik vodní eroze má sklonitost pozemku v kombinaci s jeho délkou po spádnici. Mezi další faktory, jež významně přispívají k rychlosti vodní eroze, řadíme například vegetační pokryv, vlastnosti půdy a její náchylnost k erozi, aplikaci protierozních opatření či v neposlední řadě frekvenci přívalových srážek.

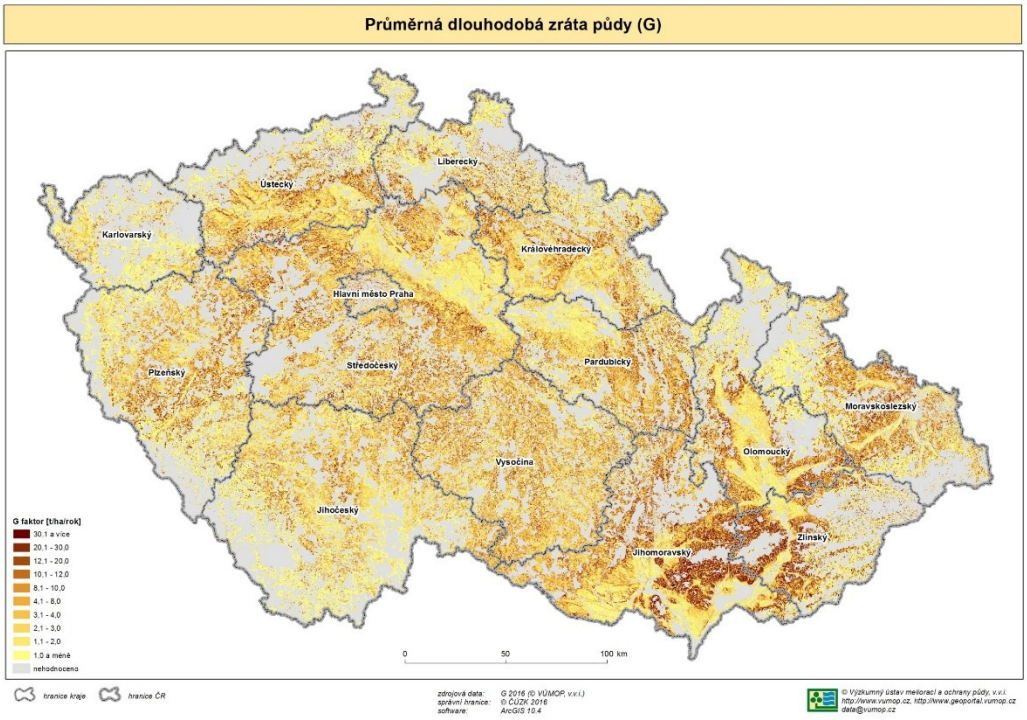
Vzhledem k rozsahu působení se vodní eroze obvykle dělí na erozi plošnou a erozi výmolovou. Přechod mezi nimi je pozvolný a je spojený s přeměnou plošného odtoku na odtok soustředěný.

Plošná eroze – charakteristickým znakem je rozrušování a rovnoměrné odplavování půdních částic na celkové ploše pozemku nebo určité části svahu, což

má za následek plošný odtok a postupné snižování mocnosti půdy. Čím je plocha svahu rovnější, tím jsou podmínky pro soustřeďování vody menší. I když má svah dokonale rovný povrch, nemusí to zabránit hromadění vody na svahu do rýžek, a proto je obtížné rozlišit plošnou erozi od výmolné eroze.

Výmolová eroze – vzniká postupným soustřeďováním plošného odtoku a následným vytvářením mělkých, avšak postupně se prohlubujících zářezů. Výmolná eroze je typická pro dlouhé svažité pozemky a členitý terén. Podle intenzity se dále dělí na *rýžkovou, brázdovou, rýhovou a stržovou* (Žalud a kol., 2019).

Vodní eroze v České republice ohrožuje v současnosti okolo 50 % výměry kultivované zemědělské půdy.



Obr. 2: Mapa ohrožení vodní erozí (Vopravil a kol., 2010)

Při hodnocení míry erozního ohrožení se vychází z metody USLE – univerzální rovnice pro výpočet průměrné dlouhodobé ztráty půdy erozí, což se běžně doporučuje pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy, a kterou vytvořili Wischmeier a Smith (1958). Metoda USLE je postavena na principech přípustné ztráty půdy a je definována jako „maximální hodnota eroze půdy, která umožňuje udržovat trvale a ekonomicky dostupnou vysokou úroveň úrodnosti půdy“ (Vopravil a kol., 2010).

Rozhodující je sklon a délka pozemku, které mají výrazný dopad na průběh vodní eroze. Další vlivnými faktory jsou vegetační pokryv, vlastnosti půdy a

efektivnost protierozních opatření. V důsledku intenzifikace zemědělské činnosti v minulosti patří Česká republika mezi oblasti s nejrozsáhlejšími půdními bloky v Evropě, což výskyt vodní eroze dále podporuje.

Během procesu scelování pozemků byly často narušovány hydrografické prvky a další krajinné aspekty, jako například rozorání mezí, polních cest a odstranění rozptýlené zeleně, které sloužily jako účinná ochrana proti erozi. Při plánování zemědělských postupů a úpravě půdy je nezbytné brát v úvahu tyto faktory, zejména na svahovitých pozemcích, aby se minimalizovala intenzivní vodní eroze. Období od června do srpna je zvláště rizikové, protože právě v tomto období připadá 80 % všech erozně nebezpečných srážek (Pospíšilová 2013).

4.3 Geologie

Geologie jako přírodní věda se zaměřuje na procesy neživé přírody v rámci známého vesmíru s hlavním zaměřením na Zemi. Geologie zkoumá strukturu Země na jejím povrchu a pod ním, zabývá se složením a stavbou zemské kůry (litosféry) a vývojem zemské kůry v minulosti i přítomnosti (Svoboda F. a kol., 1974).

S geologií byla vždy úzce spojena pedologie a její pokroky byly v souladu s historickým vývojem geologických věd. Poznatky o geologické stavbě a geologické historii Země umožnily identifikovat i genetický vývoj půd, jejich prostorovou diferenciaci, genetický vývoj, mineralogické složení, fyzikální vlastnosti a vodní režim. První geologické mapy moderního typu také měly významný vliv na pedologii (Bičík a kol., 2009).

Geologie je disciplína, která nám pomáhá porozumět prostředí, ve kterém se formoval a rozvíjel život na Zemi, stejně jako podmínky, které vedly k vytvoření důležitých ložisek nerostných surovin. V praxi má geologie význam pro těžbu nerostů a ropy, při lokalizaci zdrojů vody, při pochopení přírodních jevů jako jsou sopečné erupce nebo zemětřesení, a při řešení problémů spojených se životním prostředím. Je důležitá také jako základ pro diskusi o probíhajících klimatických změnách a pro geotechnické inženýrství (CZECH.WIKI, © 2023).

Geologii se obvykle dělí na několik hlavních oblastí: *všeobecnou, historickou, regionální a praktickou. Všeobecná* geologie zahrnuje *strukturní*, která se zabývá formami geologických struktur jako vrásy, zlomy atd. Ta se dělí na *petrografii,* která popisuje vlastnosti hornin a *tektoniku,* která se zkoumá uspořádání a vzájemnou polohou různých vrstev hornin. Všeobecná geologie také zahrnuje *dynamickou* geologii, která popisuje síly, kterým je zemská kůra stále vystavena. Tyto síly mohou být *vnější*, pocházející mimo Zemi jako jsou atmosférické vlivy,

gravitace, erozní činnost větru, deště, povrchové a podzemní vody, krasové jevy, geologický vliv ledu, moří, organismů a lidské aktivity. Dále existují síly *vnitřní*, které mají původ uvnitř Země jako vulkanismus, zemětřesení, geomorfologické změny-přeměny hornin.

Historická geologie se zaměřuje na vývoj Země od jejího počátku až po současnost. Během tohoto dlouhého vývoje byla Země ovlivněna různými fyzikálními, chemickými, klimatickými a biologickými procesy. Studiem hornin a fosilií uložených v různých vrstvách zemské kůry se snaží historická geologie zrekonstruovat geografické podmínky, podobu krajiny a rozložení života na Zemi v průběhu geologických období. *Stratigrafie,* základní součást historické geologie, konstruuje chronologický sled vrstev zemské kůry. *Paleontologie* se zaměřuje na studium vyhynulých organismů. P*aleografie* zkoumá geografické prostředí a jeho historický vývoj.

Regionální geologie se specializuje na studium geologické stavby určitých území jako jsou např. Čechy, Morava a soustředí se na rozložení jednotlivých typů hornin a útvarů, jejich tektonickou stavbu a historický vývoj.

Praktická geologie hraje důležitou roli v technické praxi a dělí se na dvě hlavní části. *Výkonná* geologie se zabývá sestavováním geologických map a profilů. Druhá část praktické geologie *aplikovaná (užitá)* se zabývá praktickým využitím poznatků geologie, zejména v hornictví, ve stavebním inženýrství, zemědělství atd.

Užitá geologie se opět dělí na *geologii užitkových ložisek minerálů a hornin, na hydrogeologii, balneologii (vřídelnictví) a inženýrskou geologii,* která se zabývá zpracováním stavebních materiálů, geologickým výzkumem při zemních pracích, při zakládání staveb, při stavbě komunikací, tunelů, při úpravě toků, při stavbě údolních přehrad, při vyhledávání vodních zdrojů pro zásobování obyvatelstva a podniků apod. (Svoboda F. a kol., 1974).

Další specializované podobory: *Geochemie* je obor geologie, který se zaměřuje na studium chemického složení Země, přičemž sleduje rozložení jednotlivých prvků a poznává zákonitosti jejich chování.

Geonika je obor geologie, jež se zabývá studiem vlivu lidské činnosti na přírodní prostředí a vzájemného působení přírodního a antropogenního prostředí.

Glacilogie je nauka o ledovcích, zabývá se jejich vlivem na klima, dynamika pohybu ledovců (CZECH.WIKI, © 2023).

4.4 Hydrologie

Hydrologie je věda, která se zabývá pohyby a rozšířením vody na Zemi. Předmětem hydrologie je studium koloběhu vody, správa vodních zdrojů a kontrola kvality vody.

Voda, která pokrývá 71 % povrchu Země, je zásadním prvkem pro ekosystémy i pro lidský život (Vopravil, 2010).

Hydrologické charakteristiky půd: Půdy podle svých hydrologických vlastností rozdělujeme do čtyř skupin A, B, C, D na základě minimální rychlosti infiltrace vody do půdy bez pokryvu po dlouhodobém sycení. Infiltrační schopnost půd je schopnost povrchu půdy absorbovat vodu. Příliš propustné půdy mají tendenci rychle ztrácet živiny a znečišťující látky (polutanty), které se tak dostávají do podloží a do podzemních vod. Optimální infiltrační schopnost půdy by měla být střední až vysoká, aby bylo zajištěno udržení potřebných živin a minimalizovalo se znečištění podzemních vod.

Vsakovací schopnost půdy je ovlivněna řadou přímých i nepřímých vlivů. Mezi ně patří klimatické podmínky - intenzita, množství a načasování srážek, teplotní podmínky a roční období. Na vsakovací schopnost půdy mají velký vliv také pedologické podmínky - konkrétně fyzikální vlastnosti půd (tj. zrnitost, textura, pórovitost a humóznost), stav svrchní vrstvy půdy, vlhkostní poměry půd (tj. půdní vlhkost, sací tlak, hydraulická vodivost a výška hladiny podzemní vody), kořenový systém a podpovrchové systémy chodbiček půdních živočichů. K neméně důležitým faktorům patří způsob využití půdy a poměry území.

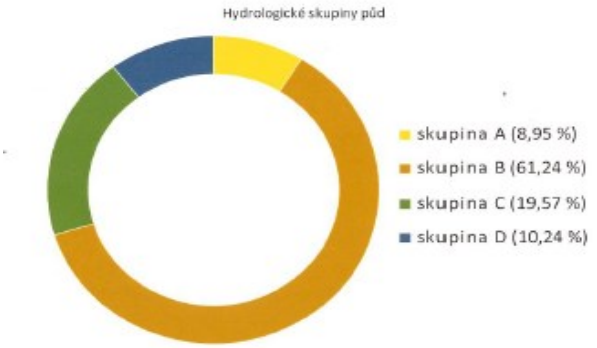
Charakteristika hydrologických vlastností půd v jednotlivých skupinách:

Skupina A: Půdy s vysokou rychlostí infiltrace (> 0,20 mm/min) i při úplném nasycení, zahrnující převážně hluboké, dobře až nadměrně odvodněné písky a štěrky.

Skupina B: Půdy se střední rychlostí infiltrace (0,10-0,20 mm/min) i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy středně hluboké až hluboké, středně až dobře odvodněné, hlinitopísčité až jílovitohlinité.

Skupina C: Půdy s nízkou rychlostí infiltrace (0,05-0,10 mm/min) i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy s málo propustnou vrstvou v půdním profilu a půdy jílovitohlinité až jílovité.

Skupina D: Půdy s velmi nízkou rychlostí infiltrace (<0,05 mm/min) i při úplném nasycení, zahrnující převážně jíly s vysokou bobtnatostí, půdy s trvale vysokou hladinou podzemní vody, půdy s vrstvou jílu na povrchu nebo těsně pod ním a mělké půdy nad téměř nepropustným podložím (Vácha a kol., 2019).



Hydrologická skupina půd	Zastoupení [%]	Výměra [ha]
skupina A	8,95	374 253
skupina B	61,24	2 559 725
skupina C	19,57	817 935
skupina D	10,24	428 023
Celkem	100,00	4 179 935

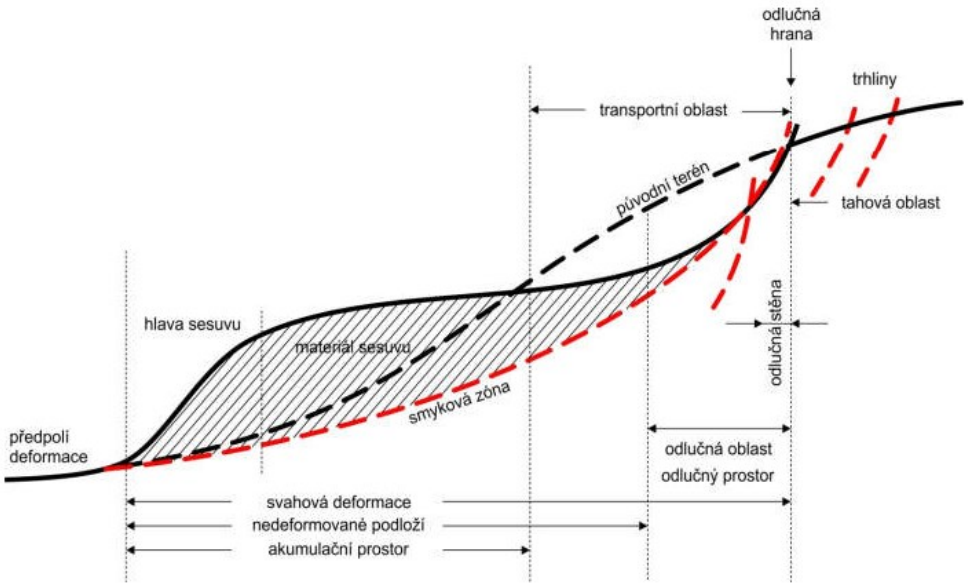
Obr. 3: Hydrologické skupiny půd (Vácha a kol., 2019)

4.5 Svahové nestability

Vznik a vývoj svahových pohybů je podmíněn komplikovanou interakcí mezi mimořádnými klimatickými situacemi, geologickou stavbou území, geomorfologií terénu i lidskou činností. Mechanismem spouštění jsou v místních podmínkách nezřídka extrémní dešťové srážky, silné tání sněhu, těžební činnost a nesprávné zakládání staveb, tedy antropogenní zásahy (ČGS, © 2023).

Svahové nestability vznikají vlivem gravitace v důsledku porušení rovnováhy sil, které zajišťují dosavadní stabilitu svahu. V České republice se při hodnocení svahových pohybů používá klasifikace Němčok, Pašek a Rybář (1974).

Dle této klasifikace jsou svahové pohyby rozděleny na ploužení, sesouvání, stékání a skalní řícení.



Obr. 4: Zjednodušený model sesuvu (Šikula a kol., 2017)

Výrazným antropogenním zásahem do stability svahu jsou stavební práce jako zemní práce a následné změny v zatížení, úroveň hladiny podzemní vody i odolnost zemin. Tento druh antropogenního zásahu je často spojen s výstavbou dopravních staveb. Je vhodné, pokud to jde, vyvarovat se umisťování staveb, zejména lineárních dopravních infrastruktur, do oblastí náchylným ke svahovým pohybům. Takový přístup pomáhá minimalizovat rizika destabilizace svahů a možné následné pohromy (Šikula a kol., 2017).

Pro prevenci negativních důsledků svahových nestabilit je důležitým prvním krokem určení oblastí a pozemků náchylných k porušení stability svahů. Dále je důležité zaznamenání a dokumentace svahových nestabilit a jejich vyhodnocení, kategorizace a zařazení do Registru svahových nestabilit. Tento registr slouží jako dostupný zdroj důvěryhodných a kvalitně ověřených údajů o svahových nestabilitách, které jsou poskytovány pro potřeby státní správy, územní samosprávy i pro potřeby občanů ČR. Hlavním cílem této evidence je poskytování odborně zpracovaných a aktualizovaných informací o ohrožení stability svahů prostřednictvím online platformy. Tímto se snaží přispět k prevenci a eliminaci nepříznivých důsledků přírodních geologických procesů, což zahrnuje optimalizací územního plánování a rozhodování. Údaje v registru jsou aktualizovány pravidelně v čtvrtletních intervalech nebo po rozsáhlejším mapování či dalších výzkumech. Každoročně je aktualizovaný registr předáván Ústřednímu krizovému štábu ČR.

Mapové aplikace a dokumentace svahových nestabilit jsou pak přístupné na webové adrese: https://mapy.geology.cz/svahove_nestability/.

Zajištění stability sesuvného území před výstavbou vyžaduje určité postupy průzkumných prací a vhodná stabilizační opatření. Detailní průzkumné práce musí být zaměřeny na rozsáhlejší území než jen na okolí plánované trasy. Pokud je známo, že trasa prochází sesuvným územím, je nutné provést **zabezpečení svahu v předstihu před stavbou (zásahem do svahu)**. Jedním z nejčastěji používaných a spolehlivých postupů k zabránění aktivace sesuvného území jsou stavebně-technická stabilizační opatření. Tato opatření zahrnují instalaci stěn z vrtaných velkoprůměrových pilot, z mikropilot nebo podzemních stěn. Tyto prvky mají za cíl zpevnit a stabilizovat svah, čímž se minimalizuje riziko vzniku sesuvů.

Stěny, které mají zamezit sesuvům, musí být dostatečně dimenzované a založené pod nejhlubší smykovou plochou, která by mohla vyvolat sesuvný pohyb. Jejich konstrukce musí být schopna odolávat bočním zemním tlakům, kterým budou vystaveny. Z toho důvodu je nutné provádět tyto stavební úpravy před hloubením zářezu nebo stavbou násypu a teprve poté je možné pokračovat se stavbou zemního tělesa komunikace. Pro zajištění stability svahu je také důležité provést povrchové a hloubkové odvodnění. To může zahrnovat použití subhorizontálních odvodňovacích vrtů a čerpacích studní. Výrazně se tím zlepší celková stabilita svahu a sníží se tak zemní tlaky na zajišťující stěny.

Kategorizace sesuvných území se provádějí pro různé účely. Nejběžnější je kategorizace sesuvných území podle stupně ohrožení. Impulzem k této kategorii jsou kalamitní výskyty sesuvů např. kvůli nadměrným dešťovým srážkám v oblastech náchylným k sesouvání. Metodiku pro tuto kategorizaci vyvinuli pracovníci České geologické služby (ČGS).

Další kategorizace je dle finanční náročnosti. Hlavním cílem kategorizace sesuvných území podle předpokládaných nákladů na zajištění svahů by měla být představa o finanční náročnosti vedení trasy komunikace sesuvným územím, a to již na základě map svahových deformací, výsledků podrobnějšího mapování a terénních průzkumných prací, nejlépe již v rámci orientačního inženýrskogeologického průzkumu (Šikula a kol., 2017).

4.6 Protierozní opatření (PEO)

Půdu ohroženou erozí je třeba chránit vhodnými protierozními opatřeními. Návrh protierozní ochrany se opírá o průzkum, kterým se získaly podklady k posouzení hydrologických poměrů řešeného území a stanovení jeho erozní

ohroženosti. Současně jsou vytvářeny předpoklady pro soulad protierozních opatření s pozemkovými úpravami a jinými vodohospodářskými a ekologickými zásahy a zájmy v krajině (Janeček a kol., 2008).

Jůva a kol. (1977) se zabývá hlavními příčinami degradace a ztráty hodnoty půdního fondu, vegetace, vodních zdrojů a vzduchu různými faktory, včetně negativních vlivů lidské aktivity a průmyslové činnosti. Současně se zaměřuje na strategie prevence těchto poškození, a pokud již vzniknou, tak na možnosti jejich odstranění pomocí široké škály technických a biologických prostředků.

4.6.1 PEO na zemědělských pozemcích

Z hlediska protierozní ochrany zemědělské půdy rozlišujeme tři základní opatření: *organizační, agrotechnická,* která se často *kombinují* jako různé přístupy pro zvýšení účinnosti ochrany, a *technická.*

Postupuje se obvykle od nejjednodušších opatření (organizačních a agrotechnických) až k opatřením technického charakteru..

- Organizační: Základním prvkem organizačních opatření je orientace pozemků delšími stranami ve směru vrstevnic. Optimální tvar by měl být obdélník nebo rovnoběžník, případně lichoběžník. Rovněž velikost pozemku hraje důležitou roli, doporučuje se velikost pozemku cca 30 ha. V případě rovinatých územích je přijatelná velikost až do 50 ha, v členitějších pak do 20 ha. Zabezpečení optimální velikosti a tvaru pozemku je klíčové pro efektivní hospodaření s půdou a minimalizaci rizika eroze.
- Kombinovaná (organizační a agrotechnická): Spojují agrotechnické a organizační prvky. V PEO má důležitou roli vegetační pokryv. S tím souvisí i další organizační opatření, kterými je možné ovlivňovat erozní ohroženost pozemku jako včasná setba plodin, výsev víceletých pícnin do krycích plodin, posun podmítky na období s nižším výskytem přívalových dešťů, zařazování meziplodin, rozmístění hlavních plodin na základě erozní ohroženosti pozemku, využití ochranného zatravnění nebo pásového střídání plodin.
- Agrotechnická: Metoda zaměřená na minimalizaci doby, kdy je půda bez dostatečného vegetačního pokryvu, za pomocí vhodných technologických postupů v zemědělství. K tomu slouží především tzv. půdoochranné technologie, které se zaměřují na využití posklizňových

zbytků plodin nebo biomasy z meziplodin, aby půda byla pokrytá s dostatečnou drsností povrchu. Půdoochranné technologie jsou obzvláště užitečné pro plodiny, které samy o sobě neposkytují dostatečnou ochranu půdy, jako jsou kukuřice, brambory, řepa, slunečnice, sója, čirok apod. Mezi vysoce efektivní půdoochranné technologie patří bezorebné setí do vymrzlé meziplodiny nebo do strniště. Další metodou je pásová úprava půdy, což znamená pracovat se zeminou jen částečně. Do agrotechnických opatření se řadí např. i vrstevnicové zpracování půdy a následné vrstevnicové setí či sázení. Agrotechnické postupy, zejména orba, mají podle Zachara (1960) největší vliv na erozi, kdy se každoročně přesune více než 1 miliarda m3 půdy. Tímto procesem se půda dostává do stavu náchylnějšího k erozi a snižuje se ochranný účinek vegetace. Na druhou stranu však orba zvyšuje propustnost půdy a zlepšuje drsnost jejího povrchu.

Přednost se přikládá agrotechnickým opatřením, která jsou cenově dostupnější, přímo omezují dopad dešťových kapek, zvyšují infiltrace, snižují odtok a regulují rychlost vody a větru (Morgan, 2005).

Ochranné obdělávání přináší několik výhod, včetně zvýšení vlhkosti, zlepšení infiltrace, omezení vzniku krusty, redukce eroze a úspory času, paliva a finančních prostředků, protože se snižuje počet nutných průjezdů (Brady, Weil, 2002).

- Technická: Technická opatření slouží jako doplnění organizačních a agrotechnických opatření. Jsou často využívána k ochraně zastavěných oblastí, k ochraně dopravních komunikací a dalších liniových staveb (infrastruktury). K základním principům technických protierozních opatření patří změna sklonu terénu jako jsou úpravy, terasování nebo historické meze, které pomáhají zpomalit odtok vody a zadržovat erozní procesy. Dále přerušovaná volná délka pozemku a bezpečné odvedení povrchového odtoku, které zahrnuje příkopy, průlehy, protierozní meze, údolnice. Pro záchyt a odvodnění povrchového odtoku a splavenin se využívá ochranných hrázek, usazovacích a retenčních nádrží a vsakovacích prvků. Technická opatření mají investiční charakter a podléhají stavebním předpisům a při jejich navrhování a dimenzování je nezbytné stanovit míru bezpečnosti vyjádřenou dobou opakování přírodních jevů. Tato míra bezpečnosti se odvíjí dle významnosti chráněné lokality. V běžných podmínkách by měla být minimálně 5 let, avšak při ochraně zastavěných oblastí se doporučuje

10 až 50 let a v některých výjimečných případech až 100 let. Vždy je nezbytné důkladně posoudit danou lokalitu, objektivně určit významnost chráněného území a identifikovat potenciální rizika. Ochranu svahů pozemních komunikací proti vodní erozi je tedy třeba řešit již na sousedících zemědělských pozemcích, což představuje základ pro následné provedení PEO na svazích v bezprostřední blízkosti komunikace (TP 53, MD, 2024).

4.6.2 PEO na zemních svazích pozemních komunikací (PK)

Zemní svahy pozemních komunikací jsou ohroženy jak vodní, tak i větrnou erozí, ale především vodní erozí. Prevence eroze hraje zásadní roli, a to provedením úpravy reliéfu terénu a podporou vegetačního pokryvu. Vytváření účinných opatření zahrnuje technické, biologické, chemické a kombinované prvky. Základem protierozní ochrany svahů je odvedení vnější vody přitékající na svah z povodí nad korunou svahu, účinném odvádění povrchového odtoku, způsobeného dešťovými srážkami, ochrana půdního povrchu před nárazy dešťových kapek a ochrana povrchu před větrem. PEO spočívá také v posílení erozní odolnosti půdy zvýšením vlhkosti a podílu organické hmoty, zlepšením struktury půdy a snížením jejího zhutnění. Dalšími kroky jsou zpomalení povrchového odtoku a kontrola zachycených sedimentů, přičemž erodovaný materiál je odstraňován v případě, že preventivní protierozní opatření selžou nebo jsou nedostatečná. Jednou z důležitých částí protierozní ochrany je také kvalitní aplikace ochranných materiálů na svahu, zejména kontakt těchto materiálů s povrchem půdy a jejich stabilní ukotvení na svahu.

Typy PEO podle použitého materiálu:

1. Technická PEO - odvodňovací systémy ve svahu; úprava morfologie svahu (délka, sklon, tvar, terasování); rozprostření ornice, tzv. humusování; ochrana horní hrany svahu; plůtky ze suchého dříví a řeziva; haťové a haťoštěrkové válce a povázky ze suchého proutí a klestu
2. Biologická PEO - protierozní travní a travinobylinná společenstva – porosty; protierozní porosty keřových nebo stromových dřevin; mulčování/hnojení přírodními látkami
3. Chemická PEO - chemické stabilizátory a umělá hnojiva (protierozní přísady využívané především při hydroosevu)

4. Kombinovaná PEO, takzvané vegetační či polovegetační konstrukce- zakládání porostů za podpory geosyntetik z přírodních přízí (juta, kokos); zakládání porostů za podpory geosyntetik ze syntetických materálů; zakládání travních a travinobylinných společenstev hydroosevem za podpory geosyntetik; zakládání travních a travinobylinných společenstev za podpory zatravňovacích betonových prefabrikátů, tzv. polovegetačních dílců; zakládání porostů za podpory 3D ocelových panelů; zápletové plůtky s určitým podílem proutí nebo klestu dřevin umožňující vegetační množení; hatě a povázky.

Samostatnou kategorii tvoří opatření pro zachytávání sedimentu. Může se stát, že primární protierozní opatření selže. Pro tyto případy je vhodné připravit záložní opatření na zachycení smytého materiálu, které zabrání zanášení níže položených objektů (odvodňovací příkopy apod,) sedimentem.

Přirozenou a účinnou ochranu před erozními činiteli půdě poskytuje zapojená a dostatečně vyvinutá vegetace. Primárním cílem protierozního zabezpečení svahu PK by proto mělo být založení a dosažení zapojeného vegetačního pokryvu. Tento cíl je definován v Technických podmínkách 53, vydání Ministerstva dopravy (TP 53, MD, 2024).

Zakládání porostů dřevin na zářezových svazích

V prostoru lesních komplexů se doporučuje ponechat plochy přirozené sukcesi.

Na ostatních úsecích se doporučuje výsadba krytokořennými sazenicemi spolu s vylepšením půdy v jamkách nebo v předem připravených brázdách či teráskách vedených ve sklonu shodném s podélným sklonem vozovky, v některých případech po vrstevnicích, které usnadňují výsadbu a zvyšují retenci srážkové vody do půdy na svahu. Vedení na brázdy po svahu musí být navrženo tak, aby srážková voda nestagnovala v brázdách a tím ohrožovala svah tvorbou erozních rýh a sesuvů půdy (nátrží). Z hlediska řešení srážkoodtokových poměrů je však nejvýhodnější.

Zakládání porostů dřevin na násypových svazích

Po dokončení zhutnění násypů je nutné, co nejdříve provést zatravnění (např. hydroosevem), aby se vytvořil travní drn, který brání vytváření erozních nátrží. Teprve poté je vhodné přistoupit k výsadbě dřevin. Výběr druhů dřevin a použitého materiálu pro výsadbu se obvykle řídí podobnými principy jako na zářezových svazích. Brázdy a terásky, do nichž jsou dřeviny vysazovány, se používají pro vytvoření plošné výsadby. Husté výsadby jsou důležité zejména ve spodních

částech násypových svahů, které přiléhají k navazujícím zemědělským plochám, a slouží k omezování šíření plevelů. V některých případech může být násyp tvořen zeminou upravenou pojivy, která je povrchově pokryta organickou zeminou, tzv. ohumusování. Tato upravená zemina vytváří podmínky, které nejsou optimální pro růst vegetace a kořenění. Dřeviny jsou tedy omezeny pouze na ohumusování. V takovýchto případech je důležité vybrat druhy dřevin, které jsou schopny se v těchto podmínkách úspěšně zakotvit, a zároveň aplikovat péči a zásahy, které minimalizují negativní dopady na svah. Tzn. omezit stagnaci vody v brázdách během výsadby a v následujících letech, minimalizovat přetížení svahu kvůli růstu dřevin a zamezit poškození porostů dřevin při péči a úpravách prováděných pracovníky a jejich technikou na svahu.

Zakládání porostů dřevin na úzkých doprovodných pásech

V případě úseků v rovinatém terénu, které neobsahují zářezové ani násypové svahy, mohou být tato místa využita jako vsakovací, sedimentační nebo retardační pásy, které mají význam při ochraně proti erozi, a jsou umístěny na hraně násypu nebo na lavičkách na ploše svahu. Používané technologie výsadeb a druhy sadebního materiálu jsou podobné jako při úpravách na zářezových svazích, tzn. vytváření liniových dřevinných vegetačních prvků jako je pásová výsadba, rozvolněná výsadba skupin keřů, doplněná solitérními stromy.

Údržba technických protierozních opatření

U prvků protierozních opatření se nepředpokládá žádná speciální nebo častá údržba, kromě údržby vegetačních prvků. Vizuální kontrola probíhá v rámci běžných prohlídek podle § 6 Vyhlášky č.104/1997 Sb., v platném znění.

Péče o vegetaci

Kosení travních porostů rozhoduje o kvalitě, druhové skladbě a zapojení porostu. Rozhodující faktory jsou termín, četnost, teplota vzduchu, typ mechanizace a pečlivost odstranění vyhrabávání pokosené hmoty.

První seč se provádí zpravidla při výšce porostu 200 až 300 mm. Porost se seřízne na výšku kolem 80 až 100 mm. Cílem této první seče je potlačit jednoleté plevele v porostu a zlepšit světelné podmínky pro pomaleji se vyvíjející druhy. Technika sečení musí být vhodná pro kosený porost (travní/travinobylinné). Během následujících let probíhá jedna seč v červnu a druhá seč od poloviny srpna.

Po dobu životnosti geosyntetik různých materiálů se doporučuje nejlépe nesekat. První seč nesenou strunovou sekačkou se provede při výšce vegetace 100

mm a zkrátí se o třetinu své délky. Do plného zapojení travního drnu je nutné chránit povrch svahu před prošlapy (pohyb obsluhy na žebřících). Globálně trávy prokazují nejmělčí kořenové profily, stromy mají středně hluboké a keře disponují nejhlubšími profily, jak uvádí Bardgett a kol. (2005).

Mulčování je běžnou praxí v péči o trávníky a zahradní plochy. Používá se k rozložení pokosené hmoty a vytvoření vrstvy mulče, která může poskytnout organické látky a živiny do půdy, a tím přispět k růstu a zdraví trávníku nebo rostlin. Další významné zdroje živin jsou považovány za organická hnojiva, jako je hnůj a kompost, spolu s posklizňovými zbytky a opadem, jak uvádí Šarapatka (2014). Tento proces funguje za předpokladu vhodných klimatických a mikrobiálních podmínek a adekvátního množství materiálu, který se má rozložit. Mulčování lze akceptovat v případě extrémní svažitosti pozemků, kdy nelze použít běžnou techniku pro odvoz a vyhrabávání pokosené biomasy. Tento způsob péče na erozí ohrožených plochách převažuje, ale často je také samotnou příčinou vznikající eroze, a to z těchto důvodů: 1) Pokosená hmota zůstává v porostu ležet v silné vrstvě, nerozkládá se dostatečně rychle a dochází k tzv. „vyležení“ trávníku. Porost řídne a vlivem intenzivních srážek na svahu dochází k erozi půdy až do úrovně obnažení na skelet. Vrstva mulče neumožnuje dosévanému nebo náletovému osivu z okolních zdrojových ploch kontakt s povrchem půdy, takže tato holá místa nemohou být zapojována dalšími zájmovými druhy rostlin. 2) Příliš časté mulčování svahovými sekačkami nastavenými na příliš nízkou výšku kosení, navíc v opakovaných trasách a směrech, vytváří ve svahu i z dálky viditelné koleje, čímž v důsledku dochází k narušení povrchu půdy a k erozi.

Obecně nelze mulčování travinobylinných společenstev doporučit, přestože stanovištní podmínky často jinou technologii odstranění nadzemní hmoty porostu ani neumožňují.

Péče o dřeviny

- Povýsadbová péče - ochrana proti buření (vyžínání, postřik herbicidy), zálivka podle potřeby (zejména při dlouhodobém suchu), vylepšování (náhrad uhynulých sazenic), doplňování
- Výchova stabilizovaných porostů - prořezávky v zahuštěných výsadbách (negativní výběr - odstranění vadných, poškozených, předrůstavých a neperspektivních jedinců), uvolňování obrostlíků, dle situace a potřeby provádět dekapitaci vybraných jedinců
- Obnova porostů - s obnovou začít včas (zabránit vytváření silných, příp. vyvětvených kmenů stromů), využití schopností dřevin (stromů i keřů) vytvářet pařezové výmladky (TP 53, MD, 2024)

4.6.3 Sanační opatření a zabezpečování svahů PK

Existuje široká škála metod pro sanaci a zabezpečování svahů, které se používají v závislosti na konkrétní situaci, typu sesuvu a terénu. Tyto metody lze obecně rozdělit do tří skupin: 1. úprava tvaru (geometrie) svahu, 2. odvodnění, 3. technická stabilizační opatření.

1. *Úpravu geometrie svahu* lze provést zemními lavicemi a stabilizačními přísypy, svahováním, odtěžením a nahrazením kamenným záhozem, odtěžením a nahrazením vyztuženou konstrukcí.
2. *Odvodnění svahů* porušeného sesouváním je prvořadým opatřením, kterým se odstraňuje nejnepříznivější faktor ovlivňující stabilitu, odvodnění svahu lze rozdělit na povrchové a hloubkové.

Povrchové odvodnění – povrch sesuvného území je většinou zvlněný s terénními depresemi, ve kterých se zadržuje voda. Je nutné odvodnění mimo těleso sesuvu a podchytit všechny event. prameny. Jako provizorní opatření lze použít trubní odvodnění a po určitém uklidnění sesuvu se dají budovat otevřené odvodňovací příkopy a pod povrchem terénu drenážní příkopy s na dně uloženým trativodem, obsypaným drceným kamenivem.

Hloubkové odvodnění je možné provádět čerpacími studněmi (vrty), subhorizontálními odvodňovacími vrty (většinou dovrchně vrtané vrty pod úhlem cca 5-10° od horizontální roviny s perforovanou pažnicí). Záhlaví vrtů může být na svahu, přímo na terénu nebo lze vrtat do šachet a max. dosah vrtů je cca 300 m. Součástí tohoto opatření musí být předchozí hydrologický průzkum.

3. *Stavebně technická stabilizační opatření* jsou zárubní zdi, stabilizační žebra, svorníky a zemní kotvy, opěrné zdi.

Zárubní zdi se vytvářejí v zářezech svahu s cílem zvýšit jejich stabilitu, zejména u uměle vytvořených svahů zářezů, kde jsou svahy navrženy s neoptimálním sklonem pro dlouhodobou stabilitu. Tato situace vychází z příkrého sklonu a pevnostních vlastností zemin. Zárubní zdi se také často využívají jako součást sanačních opatření při vzniku sesuvů. Existuje několik různých konstrukcí zárubních zdí.

Gravitační (tížné) zdi jsou vyrobeny z betonu nebo železobetonu a svou hmotností zajišťují stabilitu svahu. Jsou plošně založeny, za rubem stěny je nezbytná drenáž, aby se zabránilo hromadění podzemní vody.

Gabionové zdi jsou složeny z drátových košů naplněných kamenivem. Drátové koše jsou vytvořeny z nerezové oceli, kamenivo musí splňovat specifické požadavky na odolnost proti mrazu a pevnost. Tyto zdi jsou plošně zakládány na

vrstvě štěrkodrti frakce 0 - 32 mm nebo 32 - 63 mm, obvykle navržené ve sklonu od 10:1 do 5:1 a jsou zavázány táhly do hutněného zásypu mezi svahem a rubem stěny. Gabionové zdi jsou propustné, nezadržují vodu za rubem stěny. Jejich použití se často omezuje na zajištění umělých svahů v zářezech komunikací nebo jako doplněk sanačních opatření, přičemž je nutné mít na paměti jejich snadnou deformovatelnost.

- Skládané zárubní stěny existují v různých variantách, přičemž se nejčastěji setkáváme se stěnami z betonových svahových tvarovek, které nelze samostatně využít jako opěrné zdi. Jednou z výhod těchto zdí je jejich variabilita v půdorysu a schopnost nastavení sklonu od 25° do 75°. Tato konstrukce je také v líci propustná.
- Zárubní zdi z vrtaných pilot, mikropilot a podzemní zdi mají výhodu v hlubinném zakládání.
- Štětové stěny se vytvářejí z jednotlivých ocelových štětovnic, které jsou buď beraněny nebo vibrovány dostatečně hluboko pod smykovou plochou tělesa sesuvu.
- Stabilizační žebra slouží především jako stabilizační prvek při stavbě svahů zářezu komunikací a jsou vybudovány kolmo do svahu na celou jeho výšku. Šířka žebrové konstrukce se pohybuje 08 - 1,0 m a osová vzdálenost by neměla překročit 6 m, aby kamenná žebra udržela svou účinnost.
- Svorníky jsou krátké ocelové kotevní tyče, přičemž se využívají převážně v zářezu ve skalních a poloskalních horninách. Zemní kotvy jsou obvykle lanové-pramencové z ocelových lan, mají větší délku a používají se často v kombinaci s pilotovými, mikropilotovými konstrukcemi v zemních a poloskalních svazích. Kotvy mohou být dočasné či trvalé.
- Opěrné zdi slouží k stabilizaci nového násypu uloženého na původním povrchu terénu. Jsou zakládány v oblastech, kde původní terén je nezměněn a v podloží není smyková plocha. Existuje několik druhů opěrných zdí jako jsou gabionové zdi, geobuňkové konstrukce, pilotové zdi, mikropilotové atd. (Šikula a kol., 2017).

5 Vlastní práce

5.1 Charakteristika přírodních poměrů zájmové oblasti PK v gesci ŘSD ČR, Správa KV

V Karlovarském kraji je majetkovou správou nad silnicemi I. třídy a dálnicí D6 pověřeno od roku 2001 Ředitelství silnic a dálnic ČR, Správa Karlovy Vary. Za tuto dobu bylo zjištěno na Chebsku minimum sesuvů svahů u PK, vlastně jsou v této práci uvedena všechna území, kde došlo k sesuvu svahů kromě jediné lokality na Ašsku. Z hlediska zabezpečení silničního provozu bude řešeno poškození svahů u PK jako důsledek vodní eroze na třech modelových lokalitách. Budou zde ukázány různé příčiny poškození svahů v zářezu i násypu PK. A na jedné lokalitě bude demonstrováno použití stabilizačních protierozních opatření již při výstavbě úseku dálnice D6. Stabilita svahů se na základě hydrogeologických průzkumů řeší již v projektové dokumentaci při plánování nové silnice.

Provozní úsek ŘSD ČR při zjištění závady ve sjízdnosti silnice ihned dává pokyn odborné firmě, která pro ŘSD zajišťuje běžnou údržbu (BÚ), k jejímu odstranění v rámci BESIPU (bezpečnost silničního provozu). Nebezpečné místo musí být co nejrychleji označeno příslušným dopravním značením a pak následuje eventuelně provizorní oprava pro zajištění sjízdnosti. Menší závada je odstraněna v rámci BÚ. U závady většího rozsahu je poptána odborná firma a na základě cenové nabídky se soupisem prací a rozpočtem je uzavřena objednávka či smlouva o provedení práce. Následnou opravu dozoruje odborný technický pracovník provozního úseku. Tento postup platí obecně, tedy i pro poškození svahu. Z provozního hlediska je nejdůležitější ochranou před nestabilitou svahů PK dobře a pravidelně prováděna BÚ, tedy dobře udržovaný vegetační pokryv, odstraňování sedimentu z příkopových žlábků, čištění kanalizace a pravidelná údržba všech částí silničního tělesa. .

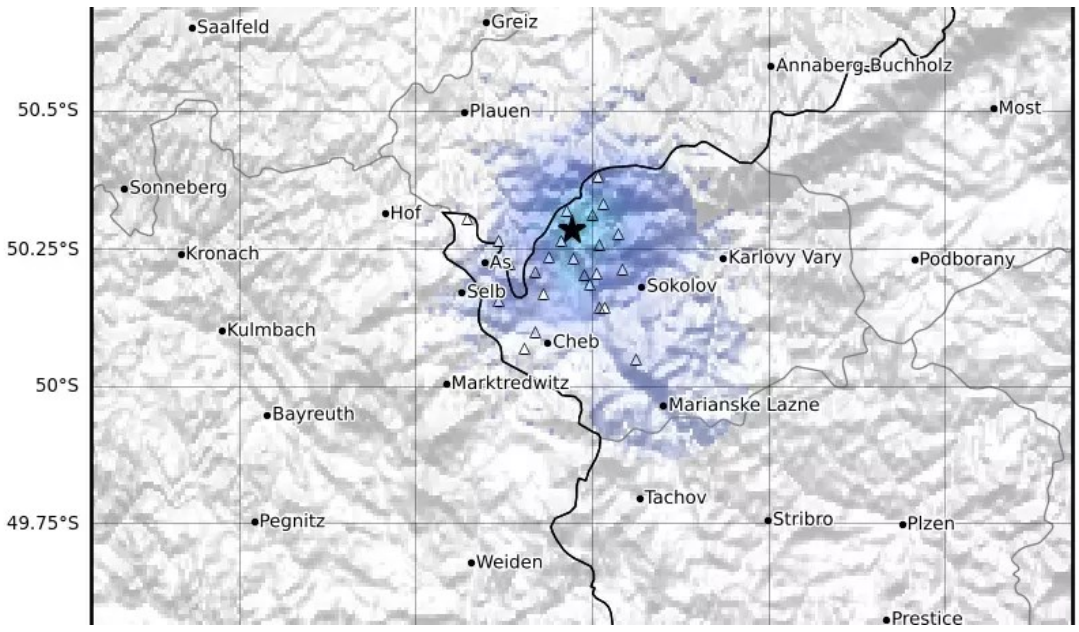
Nyní obecně o Karlovarském kraji a zejména Chebsku z hlediska přírodních poměrů:

V nejzápadnější části České republiky leží Karlovarský kraj, který na severu ohraničují Krušné hory s nejvyšší horou kraje Klínovcem (1244 m n.m.) a na východě uzavírá hranici kraje řeka Ohře s nejnižším bodem (320 m n. m.). Řeka Ohře je zároveň největší řekou Karlovarského kraje, který je známý bohatým výskytem minerálních pramenů. Tato oblast je považována za jedno z nejvýznamnějších lázeňských center v Evropě, kde ve světoznámém lázeňském trojúhelníku leží města Karlovy Vary a na Chebsku Františkovy Lázně a Mariánské

Lázně. Tato města lákají návštěvníky svým historickým kouzlem s bohatou přírodní scenérií a lázeňskými tradicemi.

Georeliéf Karlovarského kraje vytváří výrazný kontrast mezi hornatým charakterem Krušných hor a Chebskou a Sokolovskou pánví, které jsou vyplněny třetihorními jíly a písky spolu s ložisky hnědého uhlí v Sokolovské pánvi. Velká část kraje má charakter vrchoviny - Slavkovský les a Tepelská vrchovina a na Chebsku výběžek Českého lesa. Na Chebsku se nachází i několik pozoruhodných projevů vulkanismu, a to poměrně mladé vyhaslé sopky - Komorní a Železná hůrka (Bičík a kol., 2009).

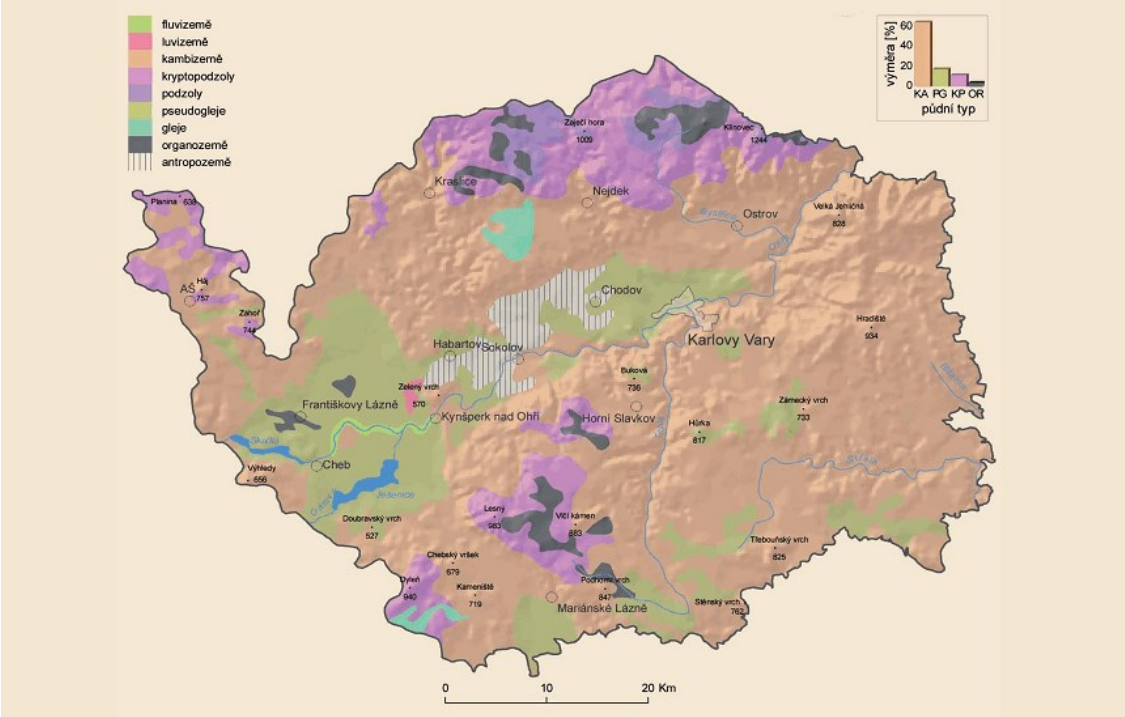
Oblast na severu Chebska patří mezi nejvýznamnější zemětřesné oblasti ve střední Evropě a je charakteristická výskytem tzv. zemětřesných rojů. Nejsilnější zemětřesení za posledních sto let zaznamenaly přístroje v prosinci 1985, kdy dosahovalo síly 4,6 stupně Richterovy škály (prasklé stěny budov, padající komíny apod.). Nedávné otřesy dne 4. 11. 2023 dosáhly dle seismografů sílu 3,25 stupně. Charakteristickým znakem zemětřesení v této oblasti jsou nejen samotné otřesy, ale také dunivé zvuky, které je často provázejí. Otřesy by na Chebsku podle vědců neměly překročit sílu pěti stupňů, což je také hranice mezi lehkým a středním zemětřesením. Lokalitu sleduje síť seismografů, rozmístěných v okolí epicenter. Lidé si tak mohou ověřit, jestli k otřesům skutečně došlo, včetně jejich intenzity a průběhu přímo na webu Geofyzikálního ústavu Akademie věd ČR (Blesk.cz, © 2023).



Obr. 5: Mapka zemětřesení na Chebsku dne 4.11.2023 (Noviny.cz, © 2023)

Půdní pokryv většiny Karlovarského kraje tvoří kambizemě, což jsou naše nejrozšířenější půdy. Jejich charakter je značně variabilní vzhledem k půdotvornému substrátu a klimatickým podmínkám v místě svého výskytu, a to z hlediska úrodnosti, zrnitosti a ostatních fyzikálně chemických vlastností. Kambizemě bývají často oglejené. Ve vyšší poloze přecházejí kambizemě v kryptopodzoly. V Ašském výběžku převládají dystrické (tj. s vysokým obsahem hliníku, více než 30 %) kambizemě a kryptopodzoly. V Chebské pánvi dominují pseudogleje, což jsou půdy s periodickou stagnací vody v profilu na jílovitých substrátech. Tyto půdy jsou také rozšířeny v některých částech Sokolovské pánve, kde není původní povrch narušen důlní činností. V důsledku rekultivace hald a výsypek vznikají zde veliké plochy antropozemí, uměle vytvořených půd.

V některých částech Karlovarského kraje, zejména v oblasti Krušných hor, Slavkovského lesa a v nižších pánevních oblastech kolem Františkových Lázní v Chebské pánvi, lze nalézt mocné a rozsáhlé plochy organozemí (Bičík a kol.,2009).



Obr. 6: Mapa půd Karlovarského kraje (Bičík a kol., 2009)

5.2 Sesuvy půdy v zářezu svahu a v násypu svahu PK

Sesuv půdy v zářezu byl zabezpečen úpravou geometrie svahů, tzv. odtěžením a nahozením kamenným záhozem a sesuv půdy v násypu

s obnovou povrchového odvodnění s uloženým trativodem, obsypaným drceným kamenivem a následně úpravou geometrie svahu odtěžením a nahrazením kamenným záhozem.

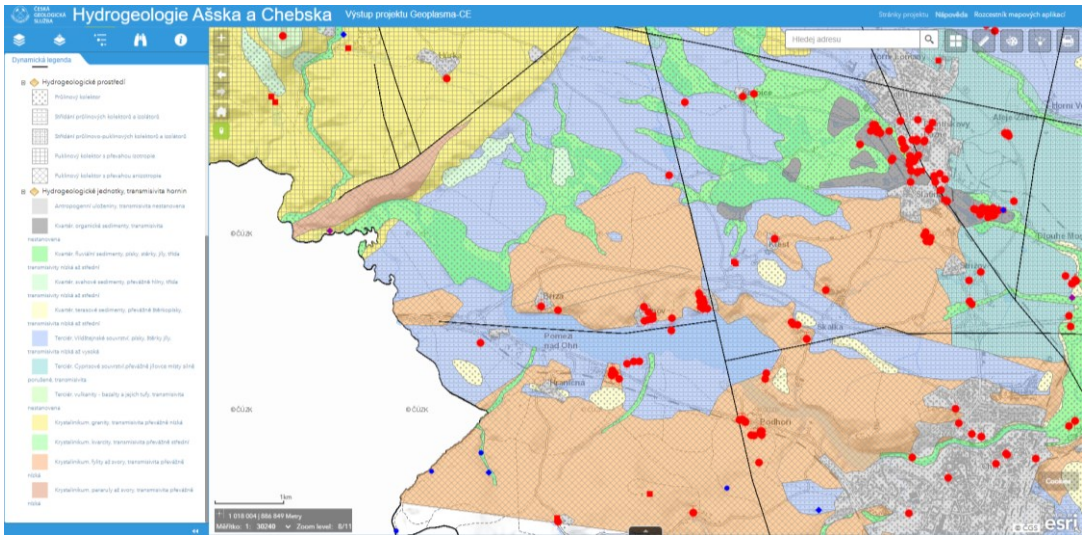
Použity jsou záznamy prací s fotodokumentací na PK i archiv projektové dokumentace provozního úseku ŘSD ČR, Správa Karlovy Vary.

5.2.1 Lokalita: sil. I/6 v km 174,5 staničení ve směru od Pomezí n/Ohří za nadjezdem na Břízu pozemek p. č. 330/20 v k. ú. Bříza

Obr. 7: Ortofoto k. ú. Bříza z KN (ČÚZK, © 2023)

Silnice I/6 (Severní obchvat Chebu, I. stavba) v kat. R11,5/100 navržena na možnost pozdějšího rozšíření kat. R 24,5/100, tj. v přímé je dvouproudová vozovka v jednostranném sklonu 2 % a pravá krajnice je budoucí střední pás. Vyšší zářez 5,5 m má lavice šířky 2,0 m a svah je opatřený hydroosevem ve sklonu dle ČSN 73 6101.

Po stránce geologické se zájmové území nachází na západním okraji Chebské terciérní pánve. Podloží je tvořeno fylitickým svorem a rulou (PD Pragoprojekt, 1991).



Obr. 8: Hydrogeologická mapka k. ú. Bříza (ČGS, © 2023)

Stavba Severního obchvatu Chebu, I. stavba byla dokončena v roce 1993 a v dubnu 2008 po velké bouři s přívalovými srážkami došlo k utržení **svahu v zářezu** nad nímž je pole (v majetku Mavexu Cheb), oseté ozimou pšenicí, která měla být sklizena až ke konci srpna. Vzhledem k tomu, že sanace svahu byla navržena, vč. úpravy koruny svahu u pole, muselo se čekat se vstupem na pozemek p.č.330/1 Mavexu až do sklizně. V délce 32 m byly provedeny sanace, jejichž základ tvořily 4 péra až do koruny svahu – viz soupis prací (Tab.1).

Obr. 9: Foto poškozeného svahu - duben 2008 (záznam ŘSD)

Obr. 10: Foto poškozeného svahu - duben 2008 (záznam ŘSD)

SOUPIS PRACÍ			
Akce: "Sanace sesuvu svahu u sil. I/6 u mostu u obce Bříza"			
Poř. č.	*popis činnosti*	*m.j.*	*počet mj*
01	technologické přesuny rypadla - 2x	clk	2,00
02	případné poplatky, nebo náklady na úklid pozemku (p.p.č. 330/1 - pole) v majetku MAVEX, ve vazbě na souhlas se vstupem	kpt	1,00
03	odkopávka splaveného materiálu z horniny tř. II, s přehozem	m3	32,50
04	výkop rýhy š. nad 600 mm s přehozem, hornina tř. III/spodní souběžná 32x1x0.9 (28,8 m3), horní záchytná 32x0,8x0,8 (20,48m3), příčná svodná péra 4x15x0,7x1,0 (42,00m3)	m3	91,28
05	příplatek za lepivost, hornina I-IV. tř	m3	123,78
06	výplň rýh kamenivem frakce 63/125mm bez dodávky materiálu	m3	99,20
07	nákup a doprava kameniva fr.63/125mm v kamenolomu Libá	t	218,00
08	úprava svahu vykopanou zeminou-přehození	m3	70,40
09	svahování ve svahu sklonu 1:2 - strojně	m2	480,30
10	urovnání přebytečného výkopku na koruně svahu, bez odvozu	m3	70,40
11	DIO - část jízdního pruhu I/6, skládání materiálu	kpl	1,00

Tab.1: Soupis prací - duben 2008 (záznam ŘSD)

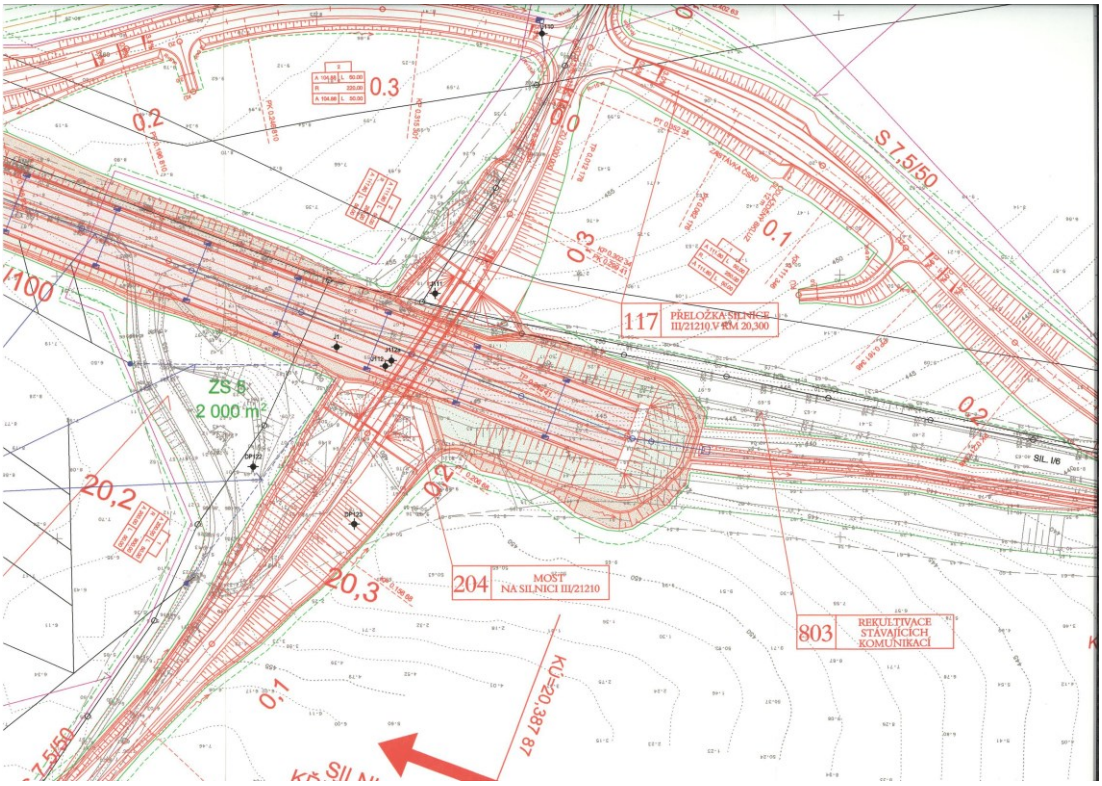
Obr. 11: Foto sanovaného svahu - září 2008 (záznam ŘSD)

Obr. 12: Foto sanovaného svahu - září 2008 (záznam ŘSD)

5.2.2 Lokalita: D6 v km 157,3 - 157,0 ve směru na KV u nadjezdu na Lipoltov k. ú. Tuřany, p. p. č. 714/4

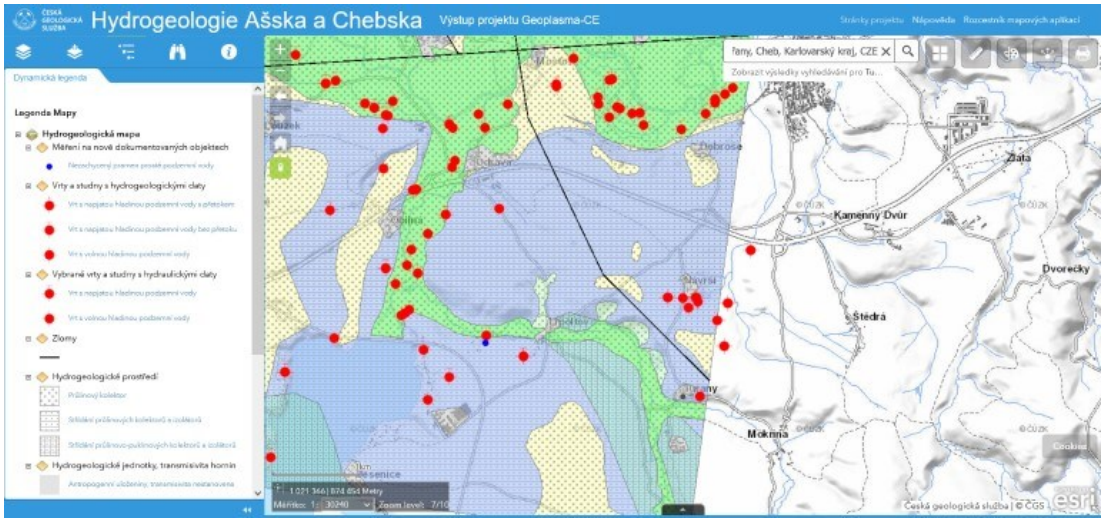
Obr. 13: Ortofoto k.ú. Tuřany z KN (ČÚZK, © 2023)

Dálnice D6 z Chebu do Karlových Varů byla budována po etapách a v zájmové lokalitě u nadjezdu na Lipoltov nebylo zemní těleso v roce 2004 dokončeno, a aby byla zajištěna stabilita svahu v rokli, bylo postupně vysvahováno k původní patě a bylo zde navrženo vylepšení zemin 3% vápnem na celou hloubku 50 cm. Část rokle byla na dně dosypána tak, aby bylo možné zde umístit dva příkopy. Příkop byl nezpevněný, hluboký 0,6 m a odváděl vodu ze silničních příkopů do potoka za koncem úpravy. Po realizaci další stavby byla celá tato rokle zasypána novým silničním tělesem. Všechny zeminy vytěžené v zářezu byly použity do násypu. Svahy násypu byly navrženy dle ČSN 73 6101 ve výšce cca do 5 metrů (PD Sudop, 2002).



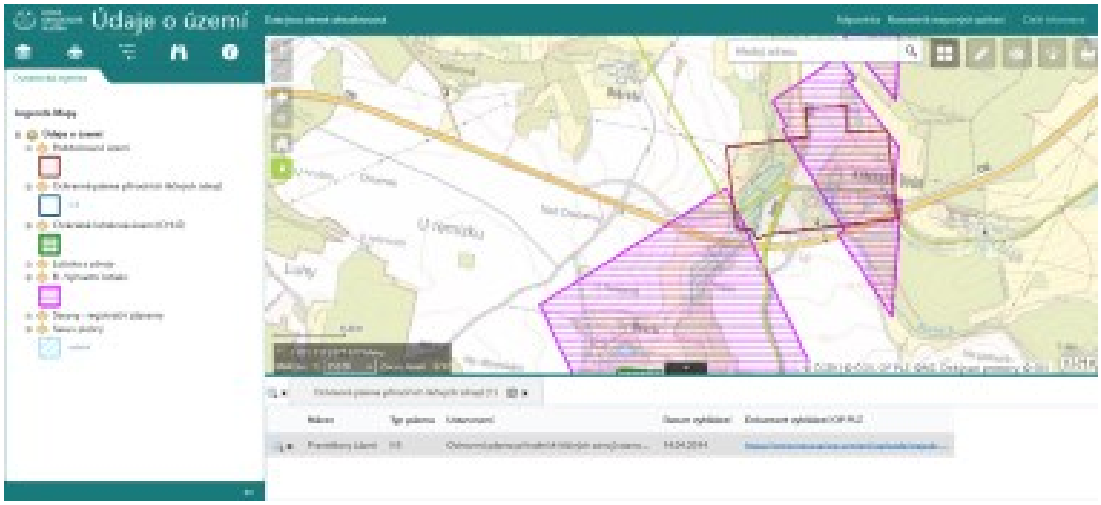
Obr. 14: Situace z PD sil. I/6 křiž. „Y“- Kamenný Dvůr (PD Sudop, 2002)

Geologicky se jedná o území Chebské terciérní pánve a podloží je tvořeno vildštejnským souvrstvím písků, štěrků a jílů.



Obr. 15: Hydrogeologická mapka k. ú. Tuřany (ČGS, © 2023)

Půdní typ je pseudoglej modální (PGm), horniny písčito-hlinité až hlinito-písčitý sediment a zrnitost písčito-hlinitá až hlinito-písčitá.



Obr. 16: Půdní mapa k. ú. Tuřany (ČGS, © 2023)

Vlivem přívalových dešťů v srpnu 2013 došlo vodní erozí k velké nátrži podmáčeného násypového svahu a utržení příkopových žlábků odvodnění. Byl vypracován návrh protierozního opatření - sanace svahu – viz soupis prací (Tab. č. 2).

Obr. 17: Foto poškozeného svahu /odvodnění/ - srpen 2013 (záznam ŘSD)

Obr. 18: Foto poškozeného svahu - srpen 2013 (záznam ŘSD)

SOUPIS PRACÍ			
Akce: "D6 Sanace svahu po erozi pod nadjezdem na Lipoltov", stavební objekt: Mýcení, zemní práce, oprava žlabovek, objednatel: ŘSD ČR - Správa Karlovy Vary			
Poř. č.	*popis činnosti*	*m.j.*	*počet mj*
01	DIO - vyřízení dopraního opatření MD ČR	kpl	1,00
02	dopravní značení na základě stanovení po dobu 3 týdnů	den	21,00
03	rozebrání svodidla v potřebné délce	m	60,00
04	zpětná montáž svodidla v totožné délce jako rozebrání	m	60,00
05	vytažení sloupků svodidlových	ks	10,00
06	zaberanění sloupků svodidlových	ks	10,00
07	případný nákup nových sloupků svodidlových	ks	5,00
08	údržba DZ - blikače	kpl	3,00
09	vymýcení prostoru - náletové dřeviny v délce úseku až 150-180m, likvidace	m2	900,00
10	spálení křovin a stromů na hromadách	m2	900,00
11	rozebrání + očištění stávajících příkopových žlabů š=600mm, uložení vně staveniště	m	35,00
12	nákup vhodného materiálu pro doplnění	t	270,00
13	naložení vhodného materiálu na dopravní prostředky	t	270,00
14	doprava-vodorovný přesun vhodného materiálu pro doplnění svahu na vzdálenost: 15 km	t	270,00
15	doplnění materiálu do svahu - svahový bagr plnootočný, pojíždění v ose příkopu	m3	150,00
16	svahování v zářezu	m2	320,00
17	výkop štěrkových svodných pér a vyplnění štěrkem 32/63mm (8 pér x i=5,0m x š=0,9 x hl=O,8m), vč. dodávky	m3	28,80
18	finální úprava svahů - dohrabáním	m2	320,00
19	osazení žlabů š=600mm do betonu	m	45,00
20	dodání nových žlabů š=600, délka=330mm - 70%	ks	96,00
21	osetí svahů - založení trávníku - ruční výsev	m2	320,00
22	dodávka travního semene - travní směs parková	kg	25,00
23	úklid komunikace - finální - samosběr + voda	kpl	1,00
24	ochrana komunikace před poničením sypkým materiálem, pásovým rypadlem - dopravníková guma nebo gtx a přesyp pískem	kpl	1,00

Tab. 2: Soupis prací - září 2013 (záznam ŘSD)

Obr. 19: Foto z průběhu práce - listopad 2013 (záznam ŘSD)

Obr. 20: Foto sanace, vč. odvodnění - listopad 2013 (záznam ŘSD)

5.3 Stavby opěrných zdí z gabionů v lokalitě na D6 v k. ú. Cheb, p. p. č. 1139/19

Obr. 21: Ortofoto k. ú. Cheb z KN (ČÚZK, © 2023)

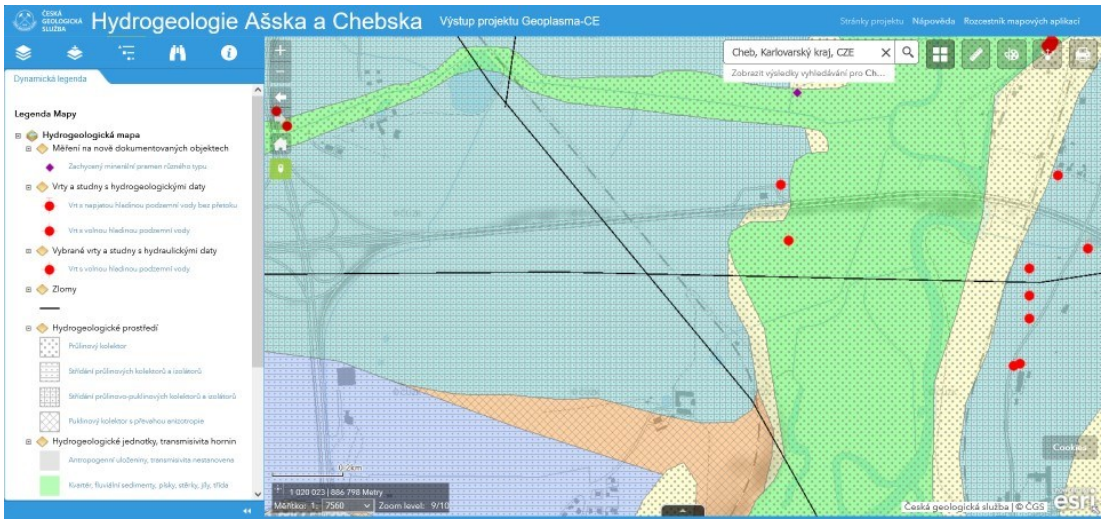
U uměle vytvořeného svahu v zářezu pro zvýšení jeho stability se provádějí zárubní zdi, tedy v situaci, kdy svah není z dlouhodobého hlediska stabilní. Toto stavebnětechnické stabilizační opatření probíhá již v době výstavby pozemní komunikace.

Gabionové zdi jsou často využívány jako forma zárubních zdí. Jedná se o konstrukce, které jsou složené z drátových košů vyplněných kamenivem. Přestože gabionové zdi mohou být užitečné pro stabilizaci umělých svahů v zářezech komunikací nebo jako opěrná zeď při sanaci svahu PK po sesuvu, mají určité nevýhody. Tím, že nejsou tuhé, mohou být náchylné k deformaci (Metodika - projekt, 2017).

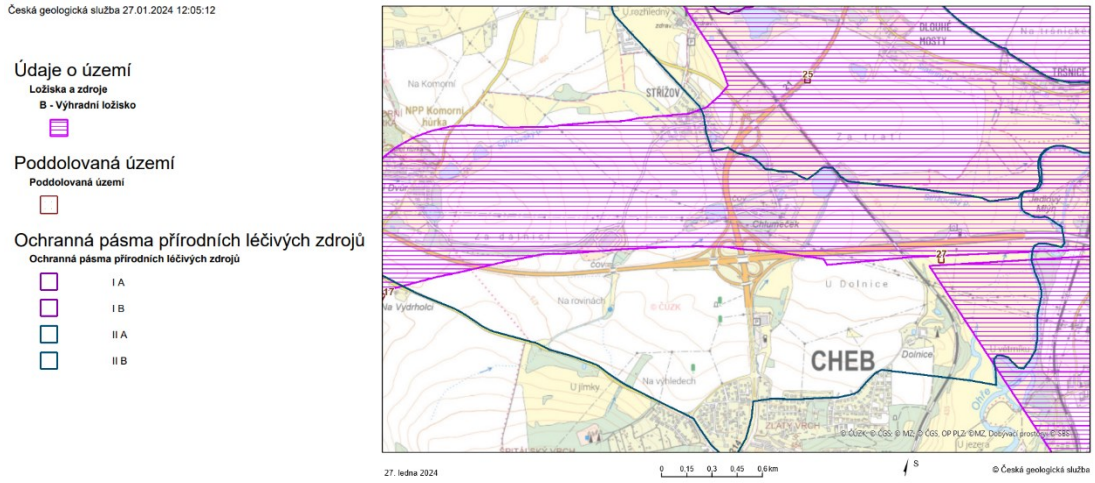
Zájmové území leží cca 2 km severovýchodně od Chebu a lokalita je situována v ochranném pásmu 3. stupně přírodních léčivých zdrojů lázeňského města Františkovy Lázně. Chebská pánev je nejzápadnější a současně i nejmladší součástí systému podkrušnohorských příkopových propadlin. Sil. I/6 leží na západním okraji terciérní Chebské pánve. Nejstarší horniny skalního podloží patří do staršího paleozoika se souhrnným označením Chebské fylity. Jejich svrchní polohy jsou často fosilně kaolinicky zvětralé s mocností i několik metrů. Nad nimi jsou uloženy terciérní jílovitopísčité sedimenty. Kvartérní uloženiny jsou představovány hlínami, písky a hojnými štěrky, četný je i výskyt antropogenních materiálů. Průměrná mocnost kvartéru v Chebské pánvi je kolem 10 m, při jejím východním okraji narůstá až na 50 m.

V prostoru mezi Chebem a Františkovými Lázněmi je vyvinuto miocéní cyprisové souvrství - jílovce, prachovce, břidlice a jíly. Ve východní části kotliny jsou na starších jezerních sedimentech uloženy pliocení písky a štěrky.

V archivních průzkumných dílech byla v blízkosti lokality podzemní voda zastižena v různých hloubkách. Je možné, že kvartérní zvodeň není souvislá a je vázána na lokální polohy propustných štěrků či písků (PD Sudop,1997).



Obr. 22: Hydrogeologická mapka k. ú. Cheb (ČGS, © 2023)



Obr. 23: Půdní mapa k. ú. Cheb (ČGS, © 2023)

Trasa sil. I/6 stavba II. navazuje na stavbu I. severního obchvatu Chebu a je navržena v kategorii R 24,5/100. Na začátku stavby silnice podchází pod jednokolejným železničním mostem. Niveleta komunikace je pevně dána několika body na trase - napojením na I. stavbu, podjezdem pod železniční tratí, dále niveleta mostní estakády je dána křížením s řekou Ohří, s tratí a silnicí III/21227. Vzhledem k těmto pevným bodům nebyla možnost navrhnout výškové řešení s vyrovnanými kubaturami zemních prací a v km 168,5 v délce cca 455 m byla pod násypovým tělesem provedena úprava podloží, protože základová půda v tomto úseku (vlevo i vpravo) nebyla dostatečně únosná a bez sanace by došlo k její deformaci. Rovněž

hladina podzemní vody probíhala v hloubce 1,0 - 1,5 m pod povrchem terénu, vodní režim je kapilární a difúzní. První vrstva byla vybudována z balvanitého materiálu, který byl zatlačen do údolních náplavů v tloušťce 0,8 - 1,0 m při současném hutnění. Budování dalších vrstev bylo podle typu materiálu a požadovaných parametrů hutnění. Pod patními příkopy byly provedeny hloubkové odvodňovací drény v hloubce 0,7 - 0,9 m pod terénem, odvodněné do melioračního příkopu. Svahy silničního tělesa a střední dělící pás byly ohumusovány v tl. 0,20 m a opatřeny hydroosevem. Sklony svahů v zářezu i násypu jsou dle ČSN 73 6101 (PD Sudop,1997).

V tomto zájmovém území se nachází příklady užití gabionů jednak jako stabilizační opatření uměle vytvořeného násypu již při výstavbě komunikace a jednak jako opěrná zeď při sanaci sesuvu podmáčeného svahu.

Použity jsou záznamy prací s fotodokumentací na PK i archiv projektové dokumentace provozního úseku ŘSD ČR, Správa Karlovy Vary.

5.3.1 Lokalita: D6 v km 168,5 ve směru na Cheb

U paty násypu v délce 608 m byla **v rámci výstavby dálnice D6** (II. stavba SoCH) postavena **opěrná gabionová zeď jako stavebnětechnické stabilizační opatření.**

Gabion je drátokamenný prvek ve tvaru krychle nebo kvádru, vyrobený ze svařovaných ocelových sítí a vyplněný přírodním kamenem. Svařovaný gabion je vyroben z drátu o průměru 3,92±0,08 mm tahové pevnosti >= než 400 Mpa. Povrchová ochrana drátů byla zajištěna pokovením slitinou Zn a Al v množství min. 300g/m2. Výplňový kámen musí být odolný vůči povětrnostním vlivům, neštěpivý, nerozpustný a dostatečně tvrdý. Pohledová strana gabionů je vyskládána ručně, vnitřní objem za pohledovou plochou strojně a pro snížení mezerovitosti se použil kámen drobnějších frakcí. Koše musí být stabilizované, aby se během plnění kamenivem nedeformovaly.

Pro úpravu základové spáry byl použit materiál ŠD (štěrkodrť) frakce 0 - 32, do pohledové plochy se použil kámen o velikosti 1,5 - 3 násobku rozměru oka síta. Zásyp za rubem zdi musí probíhat současně s výstavbou opěrné zdi vhodným materiálem a s hutněním po vrstvách tl. max. 300 mm. Pro zamezení vyplavování drobných částic zásypu do prostoru gabionového koše byl rub opěrné stěny opatřen filtrační geotextilií min. 200g/m2. Následně bylo provedeno ohumosování svahu a hydroosev (PD Sudop, 1997).

Obr. 24: Foto gabionové zdi u železničního mostu (autorka, 2023)

5.3.2 Lokalita: D6 v km 168 ve směru na Karlovy Vary

V roce 2020 bylo zjištěno při běžných prohlídkách dle Vyhlášky č.104/1997 Sb. v platném znění, kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích, že svah v km 168 ve směru na Karlovy Vary je silně podmáčený a již se sesouvá. Hledala se příčina a bylo zjištěno, že zemědělec na sousedící pastvině pro krávy si pro ně zřídil nelegální přepad ze studny, jehož voda tekla do svahu PK. Bylo rozhodnuto, že bude **jako součást sanačních opatření při sesuvu svahu použita gabionová opěrná zeď.**

Po Stanovení dopravního opatření příslušným správním úřadem bylo demontováno betonové svodidlo v délce 32 bm a stávající oplocení v délce 30 bm a byla odstraněna příčina vodní eroze svahu zaslepením přepadu vody pro dobytek. Zanesený betonový žlab byl pročištěn v délce 70 bm, pak byla odstraněna navětralá, narušená část sesuvu.

Opěrné zdi byly navrženy jako zdi z gabionů, tj. drátokamenných košů, které jsou pomocí spojovacích prvků vzájemně spojeny do jednoho dostatečně tuhého, ale zároveň poddajného systému. Vlastní konstrukce gabionové zdi byla uložena

na základové spáře ze štěrkodrti frakce 0/32 tloušťky 20 cm a zhutněno. Horní povrch základové spáry v příčném směru byl ve sklonu 1:10. Zeď byla sestavena z košů modulové řady. Výplňové kamenivo splňovalo následující vlastnosti: pevnost v tlaku min. 60 MPa, nasákavost max.0,5% hmotnosti, objemová hmotnost min. 2300 kg a pohledová strana byla vyskládána ručně a vnitřní objem strojně. Drátěný koš byl před uzavřením mírně nedoplněný a následně proveden prosyp mezi patry ze štěrkodrti frakce 16 - 32. Zásyp za rubem zdi probíhal současně s výstavbou opěrných zdí vhodným materiálem a s hutněním po vrstvách tl. max. 300 mm. Do zpětného zásypu bylo možno použít v místě získaný vhodný materiál. Pro zamezení vyplavování drobných částic do gabionového koše byl rub stěny opatřen filtrační geotextilií min. 200g/m2 a pro zamezení splavování vrstvy ornice v horní hraně zásypu bylo provedeno osazení protierozní kokosové geotextilie min. 700g/m2, vč. následného zatravnění (záznam ŘSD, 2020).

Obr. 25: Foto poškozeného svahu - průběh práce (autorka, 2020)

Obr. 26: Foto poškozeného svahu - průběh práce (autorka, 2020)

Obr. 27: Foto poškozeného svahu - průběh práce (autorka, 2020)

Obr. 28: Foto poškozeného svahu - průběh práce (autorka, 2020)

Obr. 29: Foto poškozený svah - průběh prací (autorka, 2020)

Obr. 30: Foto sanace svahu (autorka, 2023)

6 Výsledky a diskuse

V této práci bylo postupně na čtyřech modelových situacích v zájmovém území Chebska na svazích pozemních komunikací v majetkové správě ŘSD ČR ukázáno řešení problémů-sesuvů na těchto svazích. Tři situace se týkaly řešení následků vodní eroze na svazích PK, a to jak v zářezu, tak i v násypu svahu a rovněž i na uměle vytvořeném svahu v zářezu v gesci provozního úseku ŘSD.

Pouze jedna modelová situace v k. ú. Cheb ve směru na Cheb tzv. předcházela možnému sesuvu svahu protierozním opatřením již na základě hydrogeologického průzkumu, který byl proveden se znalostí vedení trasy nové silnice v dané oblasti před zpracováním projektové dokumentace pro výstavbu dalšího úseku dálnice. Tento průzkum vytvořil předpoklady pro soulad protierozních opatření s pozemkovými úpravami a ostatními vodohospodářskými a ekologickými nároky a zájmy v krajině již v rámci územního řízení. Důležitým faktorem při plánování budoucí dopravní infrastruktury jsou komplexní pozemkové úpravy, a to kromě ochrany území před povodní i při budování drobných opatření jako jsou prvky plánu společných zařízení, která zpomalují odtok vody z území, zabraňují erozi půdy a zvyšují i retenční schopnost krajiny. V tomto konkrétním případě byl zde uměle vytvořený svah podepřen opěrnou zdí z gabionů již v roce 1999 a je ukázkou dobré práce - protierozního opatření. Po 24 letech je svah s opěrnou gabionovou zdí v pořádku i přes velké klimatické změny v posledních letech, které se samozřejmě nevyhnuly ani Chebsku a byly hlavní příčinou sesuvu svahů na dvou modelových územích v k. ú. Bříza a v k. ú. Tuřany.

V první modelové situaci v k. ú. Bříza došlo na jaře 2008 na sil. I/6 (dokončené v roce 1993) v zářezu svahu, v jehož koruně bylo pole v době přívalových dešťů po zimě silně podmáčené a bez vegetačního pokryvu (ozim ještě nevzešel), k sesuvu svahu. Půda byla nasycená a rychlost extrémních srážek byla větší než rychlost, kterou se mohla voda infiltrovat do půdy, a došlo k tak silnému povrchovému odtoku, že způsobil plošnou erozi - sesuv svahu.

V druhé modelové situaci v k. ú. Tuřany došlo v létě 2013 na dálnici D6 (úsek dokončen roce 2004) v násypu svahu, který byl v místě přerušení výstavby na 3 roky sanován, a vlivem přívalových dešťů do již podmáčeného svahu k utržení betonových žlábků odvodnění a následnému sesuvu svahu. Ve velké míře infiltrační schopnost půdy ovlivňují také pedologické vlastnosti, ale zde jsou kupodivu horniny se zrnitostí písčito-hlinitou, tedy skupiny B se střední rychlostí infiltrace i při úplném nasycení půdy. Pro stabilitu svahu je důležité zřídit svah u soudržných i

nesoudržných zemin v mírnějším sklonu než je úhel vnitřního tření zeminy a u násypů nepřekročit únosnost podloží a hlavně zemní těleso náležitě odvodnit a nepřipustit jejich rozmočení vodou, neboť u mokré zeminy dojde snadněji k erozi půdy.

V obou případech došlo k sesuvu svahu, jak v zářezu, tak v násypu, zejména z důvodu změny klimatu v posledních letech, tj. extrémními přívalovými srážkami, což se nedalo ovlivnit, ale pouze škody napravit a chránit PK různými druhy PEO, které kvůli častým výkyvům počasí budou mít pozitivní vliv na bezpečnost dopravy.

V posledním případě v k. ú. Cheb směr na Karlovy Vary byla v roce 2020 vodní eroze svahu způsobena výrazným antropogenním zásahem, kdy si zemědělec na sousedící pastvině pro dobytek zřídil nelegální přepad ze studny, jehož voda tekla do svahu PK a zapříčinila jeho sesuv, který byl kromě jiného řešen opěrnou gabionovou zdí, ale nejprve bylo nutné a prvořadné opatření odvodnění svahu, které odstranilo jeho nestabilitu.

Z hlediska provozního je přirozenou a účinnou ochrannou půd před erozními činiteli dostatečně vyvinutá vegetace. Primárním cílem protierozního zabezpečení svahu PK by proto mělo být založení a dosažení zapojeného vegetačního pokryvu. Již v průběhu výstavby nové silnice či dálnice je navrženo a provedeno zatravnění svahů nového silničního tělesa hydroosevem a v travní směsi maximálně zohledněny původní druhy trav a po zatravnění výsadba keřů a stromů. Stabilizace svahu je tak prováděna aplikací vegetačních úprav a následné každoroční údržbou stávající vegetace (kosení travních porostů nejméně 2 x ročně, péče o stromy a keře - povýsadbová i výchovná - prořezávky a obnova porostů).

Obr. 31: Foto Obchvat Aše, sil. I/64 - nová vegetace na svazích PK - rok 2002 (záznam ŘSD)

Obr. 32: Foto Obchvat Trstěnice - Drmoul, sil. I/21 - založení vegetace rok 2020 (autorka 2020)

Obr. 33: Foto údržbové práce na dálnici D6 - nová technologie - svahová sekačka Spider rok 2023 (autorka 2023)

Obr 34: Foto údržbové práce na sil. I/6 - ramenová sekačka rok 2023 (autorka 2023)

V souladu se Zákonem č.13/1997 Sb., o pozemních komunikacích v platném znění a Vyhlášky MD č.104/1997 Sb., kterou se provádí zákon o PK je ŘSD ČR pověřené majetkovou správou nad komunikacemi I. třídy a dálnici a jeho provozní úsek je povinen na základě pravidelných prohlídek provádět kromě jiného běžnou

údržbu vozovky a krajnic, dopravního značení a dalšího příslušenství, údržbu odvodňovacích zařízení, svahů a násypů zemního tělesa, údržbu objektů a ošetřování silniční vegetace a zajišťovat souvislé opravy.

7 Závěr a přínos práce

Půda je základním přírodním bohatstvím naší země, nenahraditelným výrobním prostředkem pro zemědělskou výrobu a jedna z hlavních složek životního prostředí. Neustálé snižování ploch orné půdy by mohlo mít v budoucnu dramatický dopad, neboť lidí neustále přibývá a s růstem populace je velice spjata spotřeba potravin. Intenzivní zástavbou při výstavbě dopravní infrastruktury, obchodních center, montoven a skladů se významně vytrácí velké množství zemědělské půdy. Stejně jako ostatní složky životního prostředí ovlivňují půdu, tak i ona působí na tyto složky a vzájemný vliv znamená, že zásah do jedné ekosystémové složky se projeví v celém ekosystému. To má vliv na klimatické změny, které označují dlouhodobé změny počasí. Mizí rozdíly mezi ročními dobami s výkyvy teplot, silnými větry a přívalovými srážkami. Rozhodující roli hraje příroda, klima nejvíce ovlivňuje činnost sopek (v současné době opět dávají o sobě vědět na Islandu). Proměny životního prostředí, globální oteplování, stoupání hladin moří, mění se ekosystémy, a to se týká rostlin i živočichů. Toto vše lidstvo svou činností urychluje.

V teoretické části BP byly zpracovány literární rešerše obecně o půdě, erozi, destabilizaci svahů atd. až se postupně došlo k protierozním opatřením na svazích pozemních komunikací a v další části pak byly uvedeny konkrétní příklady PEO v souvislosti zejména se sesuvy svahu na PK v zájmovém území na Chebsku v gesci provozního úseku ŘSD ČR, Správa Karlovy Vary.

Z provozního hlediska jsou hlavním spouštěčem nenadálých událostí na svazích pozemních komunikací klimatické změny, jak bylo poukázáno v úvodu. Samotný vliv silnice na půdní erozi je nepodstatný. Povinností pracovníků provozního oddělení ŘSD ČR je provádět na základě zákonných prohlídek pozemních komunikací řádnou údržbu pro zajištění bezpečnosti silničního provozu. Nejúčinnějším protierozním opatřením je dobře udržovaná vegetace na svazích PK.

8 Přehled literatury a použitých zdrojů

Bardgett R. D., Wardle D.A., 2005: A temporal approach to linking aboveground and
belowground ecology. Trends in ecology & evolution, 20(11):634–641.

Bičík I., Budňáková M., Čermák P., Čtyroká J., Dreslerová D., Fiala P., Hauptman I., Janderková J., Jech K., Kender J., Kopp J., Kubík L., Kukal Z., Matějů L., Němec Jan, Němec Jiří. Novák P., Pošmourný K., Rejšek K., Penížek V., Petrů K., Sáňka M., Sedláček J., Šefrna L., Vácha R., Vašků Z., Zimová M., 2009: Půda v České republice. Consult Praha, 255 s.

Bot A., Benites J., 2005: The importance of soil organic matter: Key to drought-resistant soil and sustained food production (No. 80). Food & Agriculture Org., Rome. ISBN 92-5-105366-9

Brady N.C., Weil R.R., 2002: The nature and properties of soil. New Jersey: Upper Saddle River. 13th edition.

Brtnický M., Vopravil J., Vrabcová T., Hladký J., Khel T., Novák P., Vlček V., Kynický J., 2012: Degradace půdy v České republice. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy Brno, 91 s.

Burian Z., Cudlínová E., Číhal L., Dumbrovský M., Hánek P., Hladík J., Hrabánková M., Jacko K., Janeček M., Kaulich K., Klímová M., Kopp J., Kottová B., Koupilová M., Kulhavý Z., Kvítek T., Lapka M., Maradová S., Mazín V., Moravcová J., Muchová Z., Němec Jan, Němec Jiří, Novák P., Ondr P., Pártlová P., 2011: Pozemkové úpravy. Consult Praha, 207 s.

Cílek V., Hladík J., Havel P., Turek J., Záhora J., Vopravil J., Fučík P., Khel T., Meduna P., Mudra P., Navrátil T., Sůvová Z., Kinský V., Keřka J., Křížek P., 2021: Půda a život civilizací. Co děláme půdě, děláme sobě. Nakladatelství Dokořán, s.r.o., Praha, 253 s.

Doran J. W., a Zeiss M. R., 2000: Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. Applied soil ecology, 15(1):3–11.

Guo L. B., Gifford R. M., 2002: Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. Global change biology, 8(4):345–360.

Hlavínek P., Prax P., Kubík J., 2007: Hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaném území. Brno: ARDEC. ISBN 978-80-86020-55-6.

Chepil W. S., Woodruff N. P., 1958: Soil condition that influence wind erosion. Tech.Bull Washington.

Jackson W., Jensen R., 2022: An Inconvenient Apocalypse: Environmental Collapse, Climate Crisis, and the Fate of Humanity Hardcover – September 1, 2022 Tantor University of Notre Dame Press

Janeček M., 2008: Základy erodologie. Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí Praha, 172 s. ISBN, 978-80-213-1842-7

Jůva K., Hrabal A., Tlapák V., 1977: Ochrana půdy, vegetace, vod a ovzduší. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 180 s.

Lal R., 2004: Soil carbon sequestration to mitigate climate change. Geoderma, 123(1):1–22.

Lehmann J., Kleber M., 2015: The contentious nature of soil organic matter. Nature, 528(7580):1–9.

Montgomery D. R., 2007: Dirt: The Erosion of Civilizations, University of California Press, ISBN-13 978-0520248700

Morgan R.P.C., 2005: Soil erosion and conservation. Blackwell Science Ltd. 3rd edition. ISBN 978-1-4051-1781-4.

Nemčok A., Pašek J., Rybář, J.,1974: Dělení svahových pohybů. Sborník Geol. věd., č. 11, s. 77-97. Praha

Němeček J., 2011: Taxonomický klasifikační systém půd České půdy. Upr. vyd. Praha. Česká zemědělská univerzita, 94 s. ISBN 9788021321557

Pospíšilová L., 2013: Charakteristika přírodních a půdních poměrů na vybraných lokalitách, které jsou součástí projektu NAZV QJ 1210263 "Agrochemická opatření ke snížení vodní eroze na orné půdě s využitím zapravení organické hmoty". Brno: Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-7375-900-1.

Schloter M., Dilly O., Munch J., 2003: Indicators for evaluating soil quality. Agriculture, Ecosystems & Environment, 98(3):255–262.

Svoboda F., Svoboda F. ml., 1974: Geologie a zemní práce. Nakladatelství technické literatury Praha, 333 s.

Šarapatka B., 2014: Pedologie a ochrana půdy. Univerzita Palackého v Olomouci, ISBN 978-80-244-3736-1.

Shukla M., 2014: Soil physics: an introduction. Boca Raton: CRC Press. ISBN 978-1-4398-8842-1.

Šimek M.,2005: Základy nauky o půdě. 2., upr. a rozš. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Biologická fakulta. ISBN 80-7040-747-6.

Vácha R. a kol., 2019: Půda naše bohatství. Profi Press s.r.o., Praha, 228 s.

Vopravil J. a kol., 2010: Kniha o půdě – I. díl. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy Praha, 148 s.

Vopravil J. a kol., 2011: Půda a její hodnocení Díl II. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy Praha, 155 s.

Wischmeier W.H., Smith D.D., 1958: Rainfall Energy and its Relationship to Soil Loss. American Geophisical Union Transactions 39, 285-291.

Zachar D.,1960: Erózia pôdy, Bratislava, 307 s.

Žalud Z., Trnka M., Hlavinka P., 2019: Zemědělské sucho v České republice – vývoj, dopady a adaptace. Agrární komora České republiky Praha, 114 s.

Legislativa – zákon, vyhláška, norma a TP, metodika, projektová dokumentace

ČSN 73 6101: Projektování silnic a dálnic. Český normalizační institut, Praha, 2006 (nahrazuje normu z 18.3.1986), 128 s.

Metodika: M2-Gabionové konstrukce pozemních komunikací. ŘSD ČR Praha, 2022, 41 s.

Metodika: Šikula J. a kol., 2017: Kategorizace svahových nestabilit ohrožujících dopravní koridory Projekt: TA 4030824, ČGS Praha, 56 s.

Novela nařízení vlády č.48/2017 Sb. z 5.5.2021 (požadavek DZES 5)

Pragoprojekt a.s.,1994: Cheb – Severní obchvat sil. I/6-1.stavba – projektová dokumentace, „nepublikováno“. Dep.: ŘSD ČR, Správa Karlovy Vary, pracoviště Cheb

ŘSD ČR, Správa Karlovy Vary, 2002-2023: Archivní záznamy provozního úseku na Chebsku, „nepublikováno“. Dep.: ŘSD ČR, Správa Karlovy Vary, pracoviště Cheb

Sudop Praha a.s., 1997: Silnice I/6 Severní obchvat Cheb, 2.stavba – projektová dokumentace, „nepublikováno“. Dep.: ŘSD ČR, Správa Karlovy Vary, pracoviště Cheb

Sudop Praha a.s., 2002: Silnice I/6 Křižovatka „Y“- Kamenný Dvůr – projektová dokumentace, „nepublikováno“. Dep.: ŘSD ČR, Správa Karlovy Vary, pracoviště Cheb

TP 53: Protierozní opatření na svazích pozemních komunikací. Technické podmínky. Ministerstvo dopravy, odbor pozemních komunikací, ASPK, s.r.o., Brno, 2024

Vyhláška č.104/1997 Sb., kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích v platném znění

Vyhláška č. 240 ze dne 17.6.2021 o ochraně zemědělské půdy před erozí

Zákon č.13/1997 Sb., o pozemních komunikacích v platném znění

Zákon č.139/2002 Sb., O pozemkových úpravách a pozemkových úřadech, ve znění zdejších předpisů

Internetové zdroje

Blesk.cz, © 2023: Zemětřesení na Chebsku: (online) [cit.2023.09.11], dostupné z <https://www.blesk.cz/clanek/zpravy-udalosti/757018/zemetresny-roj-na-chebsku-otresy-presahly-treti-stupen-doprovazelo-je-duneni.html>

CZECH.WIKI, © 2023: Geologie: (online), dostupné z<https://www.czech.wiki/wiki/Geologie>

ČGS, © 2023: Česká geologická společnost: Hydrologie Ašska a Chebska (online), dostupné z < https://mapy.geology.cz/hydrogeologie_assko_chebsko/>

ČGS, © 2023: Česká geologická společnost: Půdní mapa 1:50 000 (online), dostupné z < https://mapy.geology.cz/pudy/>

ČGS, © 2023: Česká geologická společnost: Svahové nestability (online) [cit. 2023.09.15], dostupné z <http://www.geology.cz/svahovenestability/pojmy>

ČÚZK, © 2023: Český úřad zeměměřický a katastrální: ortofoto (online) dostupné z < https://sgi-nahlizenidokn.cuzk.cz/marushka/default.aspx?themeid=3&MarWindowName=Marushka&MarQueryId=2EDA9E08&MarQParam0=1683130402&MarQParamCount=1>

Novinky.cz, © 2023: Mapka zemětřesení: (online), dostupné z <https://www.novinky.cz/clanek/domaci-seismografy-na-chebsku-namerily-otresy-o-sile-325-stupne-40449600>

9 Seznam obrázků

Obr. 1: Mapa ohrožení větrnou erozí (Vopravil a kol., 2010) 20
Obr. 2: Mapa ohrožení vodní erozí (Vopravil a kol., 2010) 21
Obr. 3: Hydrologické skupiny půd (Vácha a kol., 2019)..... 25
Obr. 4: Zjednodušený model sesuvu (Šikula a kol., 2017) 26
Obr. 5: Mapka zemětřesení na Chebsku dne 4.11.2023 (Noviny.cz, © 2023) 37
Obr. 6: Mapa půd Karlovarského kraje (Bičík a kol., 2009) 38
Obr. 7: Ortofoto k. ú. Bříza z KN (ČÚZK, © 2023)..... 39
Obr. 8: Hydrogeologická mapka k. ú. Bříza (ČGS, © 2023) 40
Obr. 9: Foto poškozeného svahu - duben 2008 (záznam ŘSD)..... 41
Obr. 10: Foto poškozeného svahu - duben 2008 (záznam ŘSD)..... 41
Obr. 11: Foto sanovaného svahu - září 2008 (záznam ŘSD)..... 42
Obr. 12: Foto sanovaného svahu - září 2008 (záznam ŘSD)..... 43
Obr. 13: Ortofoto k.ú. Tuřany z KN (ČÚZK, © 2023) 43
Obr. 14: Situace z PD sil. I/6 křiž. „Y“- Kamenný Dvůr (PD Sudop, 2002) 44
Obr. 15: Hydrogeologická mapka k. ú. Tuřany (ČGS, © 2023)..... 45
Obr. 16: Půdní mapa k. ú. Tuřany (ČGS, © 2023)……...45
Obr. 17: Foto poškozeného svahu /odvodnění/ - srpen 2013 (záznam ŘSD) 46
Obr. 18: Foto poškozeného svahu - srpen 2013 (záznam ŘSD)..... 46
Obr. 19: Foto z průběhu práce - listopad 2013 (záznam ŘSD)..... 47
Obr. 20: Foto sanace, vč. odvodnění - listopad 2013 (záznam ŘSD)..... 48
Obr. 21: Ortofoto k. ú. Cheb z KN (ČÚZK, © 2023)..... 48
Obr. 22: Hydrogeologická mapka k. ú. Cheb (ČGS, © 2023) 50
Obr. 23: Půdní mapa k. ú. Cheb (ČGS, © 2023)..... 50
Obr. 24: Foto gabionové zdi u železničního mostu (autorka, 2023)..... 52
Obr. 25: Foto poškozeného svahu - průběh práce (autorka, 2020)..... 53
Obr. 26: Foto poškozeného svahu - průběh práce (autorka, 2020)..... 54
Obr. 27: Foto poškozeného svahu - průběh práce (autorka, 2020)..... 54
Obr. 28: Foto poškozeného svahu - průběh práce (autorka, 2020)..... 55
Obr. 29: Foto poškozený svah - průběh prací (autorka, 2020) 55
Obr. 30: Foto sanace svahu (autorka, 2023)..... 56
Obr. 31: Foto Obchvat Aše, sil. I/64 - nová vegetace na svazích PK - rok 2002 (záznam ŘSD) 59

Obr. 32: Foto Obchvat Trstěnice - Drmoul, sil. I/21 - založení vegetace rok 2020 (autorka 2020) 59
Obr. 33: Foto údržbové práce na dálnici D6 - nová technologie - svahová sekačka Spider rok 2023 (autorka 2023) 60
Obr 34: Foto údržbové práce na sil. I/6 - ramenová sekačka rok 2023 (autorka 2023) 60

10 Seznam tabulek

Tab.1: Soupis prací - duben 2008 (záznam ŘSD)..... 42

Tab. 2: Soupis prací - září 2013 (záznam ŘSD)..... 47

11 Seznam zkratek

Al – aluminium (hliník)

BESIP - bezpečnost silničního provozu

BPEJ - bonitovaná půdně ekologická jednotka

BÚ - běžná údržba

Ca - calcium (vápník)

CE - černozemě

ČGS - Česká geologická služba

ČSN - česká státní norma

DZES - Dobrý zemědělský a enviromentální stav půdy

GIS - geografický informační systém

HPJ - hlavní půdní jednotka

KAm - kambizemě

KN - katastr nemovitostí

KPÚ - komplexní pozemkové úpravy

k. ú. - katastrální území

LUm - luvizemě

MD - Ministerstvo dopravy

Mg - magnézium (hořčík)

MP - metodické pokyny

MZE - Ministerstvo zemědělství

MŽP - Ministerstvo životního prostředí

PD - projektová dokumentace

PEO - protierozní opatření

PGgm - pseudogleje

PGm - pseudoglej modální

PK - pozemní komunikace

p. p. č. - pozemek parcelní číslo

ŘSD ČR - Ředitelství silnic a dálnic České republiky

SPÚ - Státní pozemkový úřad

ŠD - štěrkodrť

TP - technické podmínky

USLE - Univerzální rovnice ztráty půdy

Zn - zincum (zinek)

ZPF - zemědělský půdní fond