

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA
V PRAZE**

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA PLÁNOVÁNÍ KRAJINY A SÍDEL



**Protierozní opatření na svazích pozemních
komunikací**

Bakalářská práce

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

Autor: Jitka Karešová

© 2024 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jitka Karešová

Územní technická a správní služba v životním prostředí

Název práce

Protierozní opatření na svazích pozemních komunikací

Název anglicky

Protection from water erosion on the slopes near the roads

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je zpracovat podrobnou literární rešerši k problematice eroze půdy na svazích podél liniových staveb. Součástí práce bude i terénní šetření a popis vybraných škod a možností jejich nápravy.

Metodika

V bakalářské práci bude formou literární rešerše popsána problematika eroze a protierozních opatření na svazích podél liniových staveb, z pohledu správce dálnic a silnic I. třídy. Na podkladě evidence ŘSD bude provedena rekognoskace vybraných škod a způsobu jejich nápravy. Součástí práce bude i fotodokumentace daného stavu.

Doporučený rozsah práce

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

Klíčová slova

eroze, svahy, liniové stavby

Doporučené zdroje informací

- 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. – KRÍŽEK, P. – LIZOŇOVÁ, D. – SVOBODA, J. *Půda a život civilizací: co děláme půdě, děláme sobě*. Praha: Dokořán, 2021. ISBN 978-80-7675-015-9.
- SKLENIČKA, P. *Základy krajinného plánování*. Praha: Naděžda Skleničková, 2003. ISBN 80-903206-1-9.
- SUMNER, M E. *Handbook of soil science*. Boca Raton: CRC Press, 2000. ISBN 0-8493-3136-6.
- VERRUIJT, A. *An introduction to soil mechanics*. New York, NY: Spring, 2018. ISBN 9783319611846.
- VOPRAVIL, J. *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, J. *Půda a její hodnocení v ČR. Díl. I.* Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2010. ISBN 978-80-87361-05-4.
- ZLATUŠKA, K. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. KATEDRA LESNICKÝCH TECHNOLOGIÍ A STAVEB. *Technická doporučení pro projektování lesní dopravní sítě*. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2020. ISBN 978-80-7434-556-2.
-

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FŽP

Vedoucí práce

doc. Ing. Jan Vopravil, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra plánování krajiny a sídel

Elektronicky schváleno dne 10. 4. 2022

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 29. 7. 2022

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 31. 10. 2022

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Protierozní opatření na svazích pozemních komunikací" 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 se na moji bakalářskou práci 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 verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Nové Roli dne 27. 3. 2024

Jitka Karešová

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu své bakalářské práce, doc. Ing. Janu Vopravilovi, Ph.D., za jeho milý přístup, neobyčejnou vstřícnost, odbornou pomoc a zejména čas, který mi věnoval. Dále bych chtěla poděkovat panu Ing. Otakaru Kozákovi, specialistovi ochrany a přírody Ředitelství silnic a dálnic s. p., za poskytnutou fotodokumentaci z jeho archivu. Samozřejmě děkuji celé své rodině za podporu a „svatou“ trpělivost.

Protierozní opatření na svazích pozemních komunikací

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou svahů pozemních komunikací, protierozními opatřeními vhodnými při ochraně liniových staveb před erozí půdy v souvislosti s rozsáhlou stavební činností v České republice.

V první části je formou rešerše popsána definice půdy, její vznik a historie, je charakterizována funkce půdy a její půdní vlastnosti. Dále se práce zaměřuje na popis degradace půdy s tím, že nejrozšířenější degradací je právě eroze. Zabývá se vznikem a rozdělením eroze, detailněji popisuje zejména vodní erozi. Jsou popsána vhodná protierozní opatření realizovaná na přilehlých pozemcích komunikací a na vlastních pozemních komunikacích. V práci jsou uvedeny konkrétní příklady protierozních opatření zpevňujících a chránících svahy zemního tělesa pozemní komunikace před působením nepříznivých klimatických vlivů s odkazem na TP 53 (Technické podmínky Ministerstva dopravy).

Ve druhé části práce, její praktické části, jsou charakterizována zájmová území a popsány vybrané konkrétní erozní události na svazích dálnic, které jsou ve správě Ředitelství silnic a dálnic s. p., a jejich náprava vhodným sanačním opatřením.

Klíčová slova: eroze, svahy, liniové stavby, ochrana půdy, geotextilie, vegetace, hydroosev

Protection from water erosion on the slopes near the roads

Abstract

This Bachelor thesis deals with the issue of the slopes of the road, anti-erosion measures suitable for the protection of line structures from soil erosion in connection with extensive construction activity in the Czech Republic.

In the first part, the definition of the soil, its origin and history is described in the form of a reshuffle, it is characterized by the function of the soil and its soil properties. Furthermore, the work focuses on describing soil degradation, noting that erosion is the most widespread degradation. It deals with the formation and distribution of erosion, describing water erosion in detail. Appropriate anti-erosion measures implemented on adjacent lands and on its own roads are described. Specific examples of anti-erosion measures strengthening and protecting the slopes of the ground road body from adverse climatic effects are given in the work, with reference to TP 53 (Technical Terms of the Ministry of Transport).

The second part of the work, the practical part of it, is characterised by areas of interest and describes selected specific erosion events on the slopes of motorways in the administration of the Roads and Motorways Directorate and their correction by appropriate remediation measures.

Keywords: erosion, slopes, line constructions, soil protection, geotextile, vegetation, hydroseeding

Seznam použitých zkratk

| | |
|--------------|---|
| ČAS | Česká archeologická společnost, o.p.s. |
| ČSN | České technické normy |
| ČÚZK | Český úřad zeměměřický a katastrální |
| KoPÚ | Komplexní pozemkové úpravy |
| MD | Ministerstvo dopravy |
| MZe | Ministerstvo zemědělství |
| MŽP | Ministerstvo životního prostředí |
| PK | Pozemní komunikace |
| ŘSD | Ředitelství silnic a dálnic s. p. |
| TP | Technické podmínky Ministerstva dopravy |
| VÚMOP | Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. |
| ZS ČR | Zemědělský svaz ČR |

Obsah

| | |
|---|-----------|
| 1. Úvod..... | 11 |
| 2. Cíl práce | 12 |
| 3. Metodika..... | 12 |
| 4. Literární rešerše | 13 |
| 4.1 Půda | 13 |
| 4.1.1 Význam | 13 |
| 4.1.2 Historie..... | 13 |
| 4.1.3 Funkce | 14 |
| 4.1.4 Půdní vlastnosti | 16 |
| 4.1.5 Degradace půdy..... | 17 |
| 4.2 Eroze..... | 20 |
| 4.2.1 Vznik eroze | 20 |
| 4.2.2 Rozdělení eroze | 21 |
| 4.2.3 Vodní eroze | 21 |
| 4.2.4 Větrná eroze | 23 |
| 4.2.5 Faktory ovlivňující vznik eroze | 24 |
| 4.3 Protierozní opatření realizovaná na sousedících pozemcích..... | 24 |
| 4.3.1 Organizační opatření | 25 |
| 4.3.2 Agrotechnická opatření | 25 |
| 4.3.3 Technická opatření | 26 |
| 4.4 Protierozní opatření realizovaná na zemním tělese komunikací | 26 |
| 4.4.1 Technická opatření | 26 |
| 4.4.2 Biologická opatření | 27 |
| 4.4.3 Kombinovaná opatření | 29 |
| 4.4.4 Ochrana strmých svahů před erozí..... | 29 |
| 4.5 Svahové deformace | 31 |
| 4.5.1 Stabilita pozemní komunikace | 32 |
| 5. Charakteristika zájmového území..... | 33 |
| 5.1 Dálnice D6 - úsek Řevničov, obchvat | 33 |
| 5.2 Dálnice D1 km 60,5 a km 304,0..... | 40 |
| 5.3 Dálnice D8 km 49,3 - sesuv humusové vrstvy | 44 |
| 5.4 Dálnice D11 km 110,0 - poškození nových výsadeb | 46 |
| 5.5 Dálnice D3 km 90,9..... | 48 |
| 6. Výsledné zhodnocení a diskuze | 52 |
| 7. Závěr..... | 54 |

| | |
|--|-----------|
| 8. Seznam literatury a použitých zdrojů | 55 |
| 8.1 Odborné publikace | 55 |
| 8.2 Legislativní zdroje | 57 |
| 8.3 Internetové zdroje | 57 |
| 9. Seznam obrázků | 59 |

1. Úvod

Když se zamyslíme nad pojmem půda, uvědomíme si, že je s půdou od nepaměti spojena existence lidstva, že půda provází člověka od narození až do smrti. Půda slouží nejen jako zdroj obživy, ale také jako prostředí pro recyklaci organických látek, anorganických sloučenin a prvků. Život jednoho člověka je příliš krátký na to, aby mohl postřehnout viditelnější znaky ve vývoji půdy. Avšak jedno lidské pokolení je schopno půdu nenávratně poškodit, nebo dokonce zničit. Na druhou stranu je ovšem také schopno správným hospodařením půdu zhodnotit a její vlastnosti vylepšit (Rejšek et Vácha 2018).

Pokud je půda činností člověka nenávratně degradována nebo zničena, tak pochopitelně ztrácí své přirozené funkce. Tyto ztráty pak mohou vyvolat vyšší riziko povodní nebo naopak sucha. Jakékoli nevratné změny povrchu půdy, zejména její překrytí nebo utužení, vedou ke snížení produkční funkce půdy, které se ve svém důsledku negativně projevuje ve snížení života a životních šancí. Z těchto důvodů je nezbytně nutné o půdu pečovat, chránit ji a je naší povinností ji v dobrém stavu předat budoucím generacím (Vopravil et al. 2010).

2. Cíl práce

Cílem této bakalářské práce bylo zpracovat podrobnou literární rešerši k problematice eroze půdy na svazích podél liniových staveb. Součástí práce bylo také terénní šetření a popis vybraných erozních událostí a možností jejich nápravy.

3. Metodika

V první části práce byla podrobně zpracována literární rešerše k problematice eroze půdy a protierozních opatření realizovaných na sousedících pozemcích pozemních komunikací (PK) a na svazích PK podle tuzemských i zahraničních zdrojů, které se na tuto problematiku zaměřují, a to z pohledu správce dálnic a silnic I. třídy.

Ve druhé části práce byla na podkladě evidence ŘSD charakterizována vybraná zájmová území a byly zobrazeny vybrané erozní události na tělesech PK. Způsob jejich nápravy byl popsán v návaznosti na TP 53 ze dne 19. 12. 2023 s účinností od 1. 1. 2024. Snímky map byly pořízeny rovněž z Mapových aplikací Geoportálu ŘSD, Silniční a dálniční síť ČR (veřejná aplikace). Součástí práce byla též fotodokumentace daného stavu.

4. Literární rešerše

4.1 Půda

Půda, jako vrchní vrstva zemské kůry, se skládá z různorodé směsi minerálů, rozkládající se organické hmoty a živých organismů. Vzniká ze zvětralin nebo nezpevněných minerálních a organických zbytků, je členěna do vertikálních vrstev a spojena se svým podložím. Její struktura a složení jako přírodního útvaru, který vzniká z povrchových úlomků zemské kůry a organických materiálů, je výsledkem působení klimatických vlivů a dalších přírodních procesů. Půda má pro zemědělství i lesnictví klíčový význam jako nepostradatelný „výrobní nástroj“, poskytuje životní prostor a reguluje procesy v životním prostředí. Navíc je půda důležitým zdrojem informací o historii a současnosti přírodního vývoje. (Bičík et al. 2009). Půdu bychom měli všemožně chránit, protože je jedním z nejdůležitějších výrobních prostředků (Hadač 1987).

Půda je látkou, která nás sytí, ze které vcházíme a do níž se po smrti vracíme. Půda se vyvíjí na pomezí biosféry, atmosféry a hydrosféry. Žije si svým životem během dlouhých časových období. Má schopnost produkovat v průměru asi metr hlubokou živou část zemského povrchu, která na sebe váže vodu, živiny, ale i uhlík z atmosféry (Cílek et al. 2021).

4.1.1 Význam

V ekosystému, jehož je půda složkou, jsou živá společenstva ovlivněna pěti základními abiotickými faktory: horninami, půdami, vodou, atmosférou a klimatem. Tyto faktory pak zpětně půdy samy ovlivňují. Význam půdy se nejvýrazněji projeví v momentě jejího ohrožení. Které faktory v současnosti v České republice půdy nejvíce ohrožují? Jsou to zábory, eroze a ztráta organické hmoty. Paleontologické studie dokazují, že organismus, který nereagoval na výzvy, neměl šanci přežít. A proto je životně důležité, abychom my, současné lidstvo, půdu chránili, reagovali na výzvy a stejně jako dávná etnika prudké klimatické změny přežili (Rejšek et Vácha 2018).

4.1.2 Historie

Jak uvádí Kutílek (2012), první půdy vznikaly v ústích řek vlévajících se do moře na jejich sedimentech už před 400 až 350 miliony let.

Na území dnešní České republiky se neolitičtí zemědělci dostali před osmi tisíci lety a v průběhu století osídlili oblasti s nejúrodnějšími půdami. Dnes je známo, že aktivně vyhledávali černozemě (Rejšek et Vácha 2018).

Profil geologického podloží je základním předpokladem pro vznik půd (Cílek et al. 2021).

4.1.3 Funkce

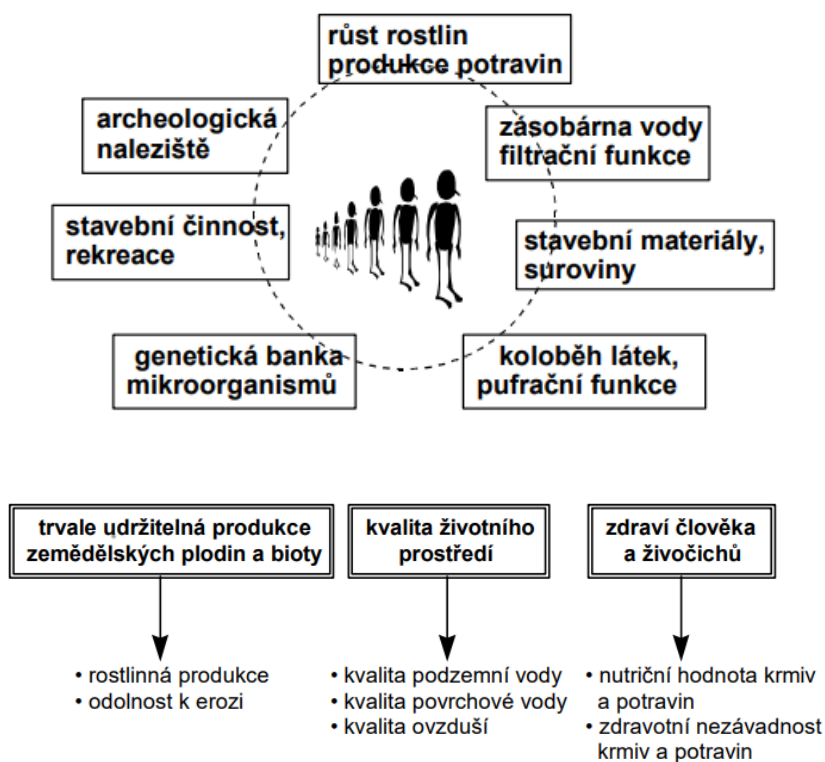
Jak Cílek et al. (2021) uvádí, je půda někdy přirovnávána k pokožce planety díky prostupnosti plyny, jako je metan, oxid uhličitý a oxid dusný a vodní pára.

V zásadě má půda tyto environmentální funkce:

- půda recykluje uhlík, který se z ní uvolňuje ve formě metanu a oxidu uhličitého, přijímá uhlík fotosynteticky z atmosféry ve formě oxidu uhličitého, který se ukládá zejména do kořenů rostlin. Především houby a mikroorganismy dále rozkládají rozpadající se kořeny. Pokud se organická hmota pouze zaorává, zůstává v půdě po jednom roce asi pouze 30 % uhlíku, po dvou letech už jen přibližně 10 % a jeho obsah v půdě se dále snižuje,
- půda má funkci jako tepelný regulátor, který stabilizuje teplotu prostřednictvím své schopnosti přijímat a odpařovat vodu,
- půda též funguje jako regulátor vodního režimu, kdy voda vsakující se do půdy jako déšť sytí podzemní zásoby i říční systémy,
- půda představuje rezervoár živin, ale i zdroj možné kontaminace tím, že absorbuje živiny, fosforečnany a další různé organické látky, včetně pesticidů. Ve zdravé půdě oxidují kontaminanty rychleji. Dusičnany jsou převáděny na dusík v zamokřených půdách říčních niv, který uvolňuje do atmosféry, a tím denitrifikují prostředí,
- půda zmírňuje změny kyselosti. Kyselá půda uvolňuje sloučeniny hliníku, alkalická karbonáty.

Půda má kromě produkce plodin mnoho dalších funkcí (transformace živin, filtrace vody, produkce biomasy, prostředí půdního edafonu apod.) a její přítomnost je jednou ze základních podmínek života na Zemi (MZe ©2023).

Nejdůležitější funkci půdy není snadné jednoznačně specifikovat. Půda je nezastupitelná v plnění rozmanitých funkcí, na které také odkazuje schématické znázornění funkcí půdy a rámcové oblasti pro hodnocení funkcí půdy (Obrázek 1).



Obrázek 1: Schématické znázornění funkcí půdy a rámcové oblasti pro hodnocení půdy (MŽP ©2023)

Půdní funkce dělí Vopravil et al. (2010) do tří skupin na:

- užitkovou funkci,
 - funkci půdy v životním prostředí a
 - kulturní funkci půdy v historii přírody a lidstva,
- jejichž zásadní role nebyla dříve tak dostatečně jasná.

Půda je prostorovým základem socioekonomické činnosti člověka. Má zásadní vliv na vodní systém v krajině, umožňuje rostlinám zakořenit, ukládá minerální látky. Půda je prostředím, v němž probíhá důležitá část přirozeného koloběhu látkové a energetické přeměny. Půda je médium odolné vůči okyselování i alkalizaci. Půda je majetek, a tudíž i zboží. Půda je archivem vývoje přírody a civilizace a kulturním dědictvím, které jsme zdělili po předchozích generacích (Cílek et al. 2021).

Na plánovaných úsecích dálnice probíhá vždy nejdříve předběžný archeologický průzkum, jehož cílem je stanovení četnosti, charakteru, rozsahu a lokalizace pozitivních archeologických situací vyskytujících se v oblastech, které budou zasaženy výstavbou dálnice. Poté následuje záchranný archeologický průzkum, který umožní zdokumentovat pozůstatky lidské činnosti. Zároveň však je možné

zahrnout archeologický výzkum do harmonogramu stavby, vypořádat se přednostně s nejvíce rizikovými úseky a zamezit tak možnosti prodloužení, či zdržení stavební činnosti a stanovení dalšího postupu prací před zahájením vlastní realizace plánovaného úseku dálnice. Vzhledem k destruktivní povaze zásahu do krajiny plánovaného úseku dálnice má zjišťovací archeologický výzkum cennou vypovídající hodnotu pro reálný odhad časové a finanční náročnosti záchranného archeologického výzkumu (ČAS ©2021). Půda je prostorem, kde se probíhá archeologický a paleontologický výzkum (MŽP ©2023).

4.1.4 Půdní vlastnosti

Pojem degradace indikuje nepříznivé změny v koloběhu živin a organické hmoty v půdě, pokud jde o strukturu, texturu nebo nepříznivé chemické změny, fyzikální a biologické vlastnosti půdy (Janeček et al. 2008).

Fyzikální vlastnosti

Barva, struktura, textura, voda v půdě, konzistence půdy, novotvary, měrná hmotnost půdy, objemová hmotnost půdy a pórovitost, nebo i stanovení elektrické vodivosti a infiltrační schopnost jsou důležitými ukazateli kvality půdy (Rejšek et Vácha 2018).

Jak Vopravil (2010) vysvětluje, důsledkem půdní eroze je změna fyzikálních vlastností půdy, zejména struktury - prostorového uspořádání částic v půdě, zrnitosti, částicového složení, objemové hmotnosti, vodní kapacity, pórovitosti, infiltrační schopnosti, hloubky vývoje kořenů, atd. Vlivem eroze nastávají změny fyzikálních vlastností, jakož i změny vzájemných vztahů mezi různými vlastnostmi půdy. Za předpokladu velmi příznivých podmínek, s dobrým vegetačním krytem a ochranou půdy, trvá vytvoření 2-3 cm vrstvy půdy 200 až 1000 let.

Půdu je sice možno označit za obnovitelný zdroj, ale čas nutný k jejímu vzniku je příliš dlouhý, než aby mohl nahradit ztráty způsobené špatným hospodařením. V krajním případě to může trvat i 7 tisíc let, než má ornice odpovídající využitelnou vrstvu (Janeček 1996).

Chemické a fyzikálně chemické vlastnosti

Obsah organické hmoty v půdě, sorpční vlastnosti půdy, půdní reakce, oxidačně redukční potenciál půda a obsah půdních živin patří mezi chemické

a fyzikálně chemické vlastnosti (Rejšek et Vácha 2018). Na chemické vlastnosti má vliv i eroze půdy, protože redukuje obsah organické hmoty, humusu ale i minerálních živin v půdě, a odhaluje podorničí s nízkou přirozenou plodností a vysokou kyselostí (Vopravil et al. 2010).

Biologické vlastnosti

Za biologické vlastnosti půd se pokládají nejrůznější vlastnosti společenstev půdních organismů a biologických procesů, jsou to např. početnost, biomasa a aktivity půdních organismů, rychlost respirace, rychlost přeměn sloučenin dusíku, enzymatické aktivity, složení a struktura půdního mikrobiálního společenstva, obsah DNA, aj. (Šimek et al. 2015).

Povrch země na souši je pokryt půdou poskytující život společenství velkého množství různých organismů. Celý soubor půdních organismů, kde jednotlivé populace jsou různě biologicky provázané, je označován jako edafon. Půdní organismy hrají klíčovou roli při většině procesů transformace organické hmoty v půdě, stejně jako při biologickém rozkladu a transformaci minerálních složek půd (Vopravil et al. 2010). Edafon, to je existence 1 - 200 tisíc jedinců makrofauny a miliardy jedinců mikrofauny v půdě. Na 1 ha se nachází 2 - 10 t živé půdní hmoty, což je asi 0,05 – 0,5 % z hmoty půdy (Sáňka et Materna 2004).

4.1.5 Degradace půdy

Procesy, které negativně ovlivňují kvalitu půdy, lze označit jako půdní degradaci (Osman 2014). Tyto procesy mohou být buď přirozeného původu (například ztuhnutí půdy, eroze, acidifikace atd.) nebo způsobené lidskou činností (antropogenní). Přírodní procesy obvykle probíhají pomalu, s výjimkou náhlých událostí jako jsou povodně, tektonická aktivita atd. Jejich vliv na půdu bývá obvykle menší ve srovnání s degradací půdy způsobenou lidskou činností. Procesy půdní degradace lze dále rozdělit podle hlavních procesů, které při ní působí na degradaci fyzikální (eroze, utužení půd), fyzikálně-chemickou (rozpad půdní struktury), chemickou (acidifikace, kontaminace) nebo biologickou (pokles organické hmoty v půdě, redukce půdní diverzity) (Rejšek et Vácha 2018). Všechny typy degradace spolu vzájemně korelují, převládající typ umožní vznik dalších. Půdu pak lze jen těžko navrátit do původního stavu (MZe ©2021).

Janeček (1996) vyjmenovává, že příčinami ztráty půdy jsou:

- „vodní a větrná eroze,
- zhoršení fyzikálních a jiných vlastností půdy (zhutněním, zasolením, zamokřením, vysušením, znečištěním, imisemi apod.),
- těžba nerostných surovin,
- stavby budov a komunikací,
- ukládání odpadků.“

Acidifikace půd

Acidifikace neboli okyselení půdy je degradační proces, při kterém postupně klesá hodnota odezvy půdy, tedy acidifikace půdy. Tato půdní vlastnost je velmi důležitým půdním ukazatelem ovlivňujícím mimo jiné dostupnost živin, jejich pohyb v půdě včetně pohybu těžkých kovů, růst rostlin, biologické zmlazení půdy, tvorbu a kvalitu humusu a další procesy tvorby půdy (Cílek et al. 2021).

Dehumifikace

Dalším faktorem, který má degradační dopad na půdy v České republice, ale i v rozsáhlých oblastech Evropy, je úbytek organické hmoty z půdy, zejména v ceněných humusových částech, známých jako humus. Obsah humusu a jeho kvalita přímo ovlivňují zemědělskou produkci, diverzitu půdních organismů, koloběh půdních živin a vody, stabilitu a strukturu půdy a také zlepšují její fyzikální vlastnosti, jako je zadržování a pronikání vody, a odolnost vůči vnějším degradačním procesům, zejména erozi. Jedním z největších rizik je nedostatečné doplňování kvalitní organické hmoty, zejména hnoje. Druhým významným nebezpečím pro půdu z hlediska dehumifikace je vodní eroze a větrná eroze, kdy jsou jemné organické frakce unášeny spolu s půdními částicemi splachem půdy (Cílek et al. 2021).

Utuzení půdy

Utuzení neboli stlačení či pedokompakce půdy má vliv na to, že se voda ze srážek nevsakuje do půdy, tím pádem i do podloží, povrchově odtéká a způsobuje vodní erozi půdy nebo se zdržuje na jejím povrchu půdy. V České republice je v současné době utuzením ohroženo 45 % zemědělské půdy (Tuf 2013; Šumová 2020).

Devastace půdy těžbou

Vlivem těžby a s tím spojeného ukládání vytěženého materiálu dochází ke změnám vzhledu zemského povrchu, jako jsou výsypky, zbytkové jámy apod. a taktéž dochází ke změnám klimatu, tj. proudění vzduchu, srážky a teplota. Povrchová těžba má také nesporně negativní vliv na ekologicky hodnotné systémy, jejich likvidaci, jakož i úbytek zemědělské a lesní půdy (Sklenička 2003).

Znečištění povrchové i podzemní vody

Eroze půdy představuje jednu z nejvýznamnějších přírodních příčin znečištění vod v zemědělství. Nebezpečí znečištění povrchových a podzemních vod je zapříčiněno především smyvem, odnosem a vyluhováním půdy, v menším rozsahu pak například zemními sesuvy či lavinami (Tlapák et al. 1992).

Zábor půdy

Zábor půdy představuje v současné době, dá se říct, nejvážnější formu degradace půdy, protože znamená nevratnou ztrátu půdy (ZS ČR, 2019). V důsledku záborů pro stavbu sídel, průmyslových podniků a komunikací se dnes výměra zemědělské půdy stále snižuje, ale v poslední době je to i převodem do lesní půdy a také část půdy je dnes ponechána ladem (Šimek et al. 2015).

Zákon č. 334/1992, o ochraně zemědělského půdního fondu, v platném znění, zejména stanovuje principy ochrany zemědělské půdy. V jeho ustanovení § 4 tohoto zákona určuje Zásady plošné ochrany zemědělského půdního fondu, kdy uvádí ve svém odstavci (1) „*Musí-li v nezbytném případě dojít k odnětí zemědělské půdy ze zemědělského půdního fondu, je nutno především*“, jak dále uvádí v písm. e) „*při umístování směrových a liniových staveb co nejméně zatěžovat obhospodařování zemědělského půdního fondu*“.

Principy plošné ochrany zemědělské půdy jsou zejména zohledňovány v procesu územního plánování, ve kterém se vymezují zastavitelné plochy (MZe ©2024).

4.2 Eroze

Eroze může být popsána jako přirozený proces, při kterém dochází k rozrušování půdního povrchu a transportu půdních částic vlivem vody, větru, ledu a dalších přírodních činitelů, následovaným jejich usazováním (Vopravil et al. 2010).

Slovo eroze bylo původně již od starověku užíváno v lékařství, ale od konce 18. století je užíváno pro popis přírodních procesů v terénu, nejdřív jako eroze země vodou, která je nejpatrnější (Kutílek 2012).

4.2.1 Vznik eroze

Slovo eroze je odvozeno z latinského „*erodere*“ – rozhlodávat. Svrchní část zemského povrchu tvořeného půdním pokryvem je v našich klimatických podmínkách rozrušována především vodou a větrem. Přirozený proces eroze půd dosahoval v naší původně zalesněné krajině celkem nepatrných hodnot. Hospodaření na zemědělských půdách, zejména na orné půdě, chmelnicích či vinicích však uvolnilo cestu mnohonásobně intenzivnější erozi půd. Odhaduje se, že je dnes v České republice erozně ohrožena více než polovina ploch zemědělského půdního fondu, a to zejména vodní erozí. Ve srovnání se světovými oblastmi je erozní potenciál našeho území relativně nízký. Nejsou zde výrazné příkré svahy typické pro horské oblasti ani tropické přívalové srážky. Přirozená lesní vegetace dříve efektivně chránila půdu před erozí. Nicméně, současný charakter krajiny, převážně zemědělský s rozsáhlými oblastmi orné půdy, nevhodnými způsoby lesního hospodářství a lidskou činností, vedl ke zvýšení erozní náchylnosti naší krajiny (Bičík et al. 2009).

Erozi nelze úplně vyloučit, ale tento přírodní proces lze výrazně omezit, a tak umožnit neustálé využívání půd k pěstování zemědělských plodin (Vopravil et al. 2010). Půdní eroze, jednak vodní nebo větrná, je jedním z nejpálčivějších problémů světového zemědělství (Hadač 1987).

„Eroze by v podstatě neexistovala, kdyby každá kapka deště nebo vločka sněhu zasákla tam, kde spadla na půdu“ (Cablík et Jůva 1963).

Eroze na pozemcích určených pro urbanistický záměr, jako jsou silnice, domy apod., je asi 10x větší než na půdě, na které se pěstují řádkové plodiny, na pastvinách pak 200x větší a 2000x větší než na zalesněné půdě. Citelná eroze nastává v období výstavby, ale i po ukončení stavby mohou být plochy staveniště postihovány erozí

v důsledku rychlého odtoku z nepropustných ploch komunikací, parkovišť a dalších zpevněných ploch (Janeček et al. 2008).

4.2.2 Rozdělení eroze

Eroze je dělena podle příčiny na vodní, větrnou, sněhovou a ledovcovou.

Vodní (fluviální) a větrné (eolické) erozi bude věnována pozornost následně v dalších oddílech této práce.

Sněhová eroze (nivální) je v České republice poměrně zanedbatelná, vyskytuje se pouze ve vyšších nadmořských výškách v horských oblastech. Vzniká při pohybu sněhu, sněhové laviny, která při pohybu bere vše, nejen půdu, ale i stromy.

Ledovcová (glaciální) eroze se u nás nevyskytuje vůbec.

Dále podle formy dělíme erozi na plošnou (vrstvenou), rýhovou (brázdovou), výmolovou (stržovou), bystrinnou a říční s tím, že jednotlivé erozní formy na sebe navzájem navazují, a to často bez viditelného přechodu (Cablík et Jůva 1963, Fay et al. 2012).

Podle intenzity pak rozlišujeme erozi normální a zrychlenou. Eroze je přirozený proces a zrychlená eroze je nežádoucí, tu se pak snažíme eliminovat protierozními opatřeními (Toy 1982).

4.2.3 Vodní eroze

Zásadním projevem vodní (fluviální neboli akvatické) eroze je vymílání a odnos těch nejjemnějších částí půdy anebo hornin a jejich usazování v níže ležících územích. *„Erozivní činnost vody podporuje vysoké množství srážek, jejich intenzita a průběh, členitost území, charakter půdy a vegetace i hospodářská činnost člověka“* (VFU ©2011).

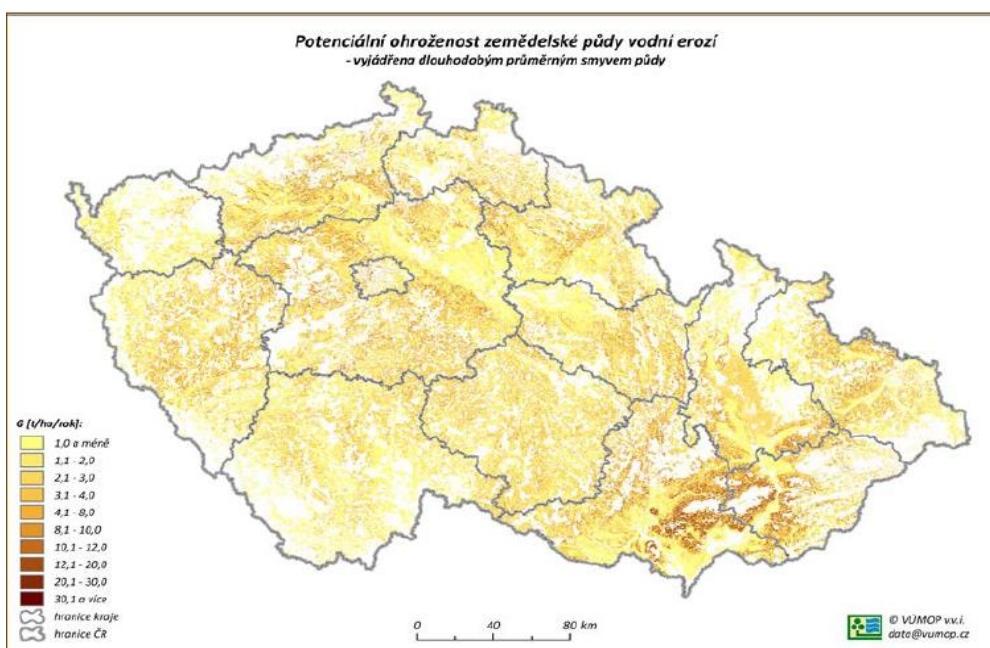
Půdní eroze se týká řady procesů, která vede k vyčerpání půdy in situ a exportu sedimentu do oblastí po proudu (Sumner 2000).

Eroze půd se projevují nejdříve plošným splachem, který přechází na stružkový i výmolový odtok. Hlavními faktory, které mají vliv na rychlost eroze půd, jsou vegetační kryt, morfologie zemského povrchu, složení půd a zásahy člověka. Mezi lesy, pastvinami a obdělávanou půdou existují významné rozdíly v míře eroze. Na polích a zahradách může být míra eroze až tisíckrát rychlejší (Kukal 1983a).

Jak Kukul (1983b) uvádí, také strmost svahu působí spolu s vegetací na rychlost eroze půd. Rychlost eroze pak roste geometrickou řadou se sklonem svahu, někdy ovlivňuje rychlost eroze také orientace svahu, zejména jižní a jihovýchodní svah, kde je pak o 50 % až 75 % rychlejší než na opačných svazích. Svahy vystavené slunci nejsou tak porostlé vegetací. Vodní eroze velmi ohrožuje strmé svahy se svažitostí větší než 20°. Tyto svahy nejsou vhodné k obhospodařování (Osman 2014).

Vodní erozní jev způsobený rychlostí odtoku na povrchu násypu způsobuje jeho nestabilitu. Zejména v prostředí vozovek, kde voda ze sesuvů způsobuje rýhy ve svahu a následné velké škody a poté narušení silniční sítě (Dobiašová et al. 2013).

Vodní erozí je v České republice zasaženo asi 51 % zemědělské půdy a je tak celkově nejpodstatnějším faktorem. Intenzivně obdělávaným a poškozeným půdám chybí struktura, která je nutná k tomu, aby jejich vrchní vrstvy nebyly oderodovány nebo odváty (Sklenička et al. 2022). Potencionální ohroženost zemědělské půdy vodní erozí představuje Obrázek 2.



Obrázek 2: Potencionální ohroženost zemědělské půdy vodní erozí (MZe ©2014)

Ohrožení a každoroční devastace erozí, jak zmiňuje Dumbrovský (2009), připadá na více jak 50 % orné půdy, což je cca 1 500 000 ha.

Nejdůležitější dopady vodní eroze Novotný et al. (2017) rozděluje do následujících skupin:

- nebezpečí pro trvalou udržitelnost úrodnosti půdy,
- změna kvantitativních parametrů vodních zdrojů (objem koryt vodních toků a použitelný objem vodních nádrží),
- dopad na kvalitativní charakteristiku vodních zdrojů,
- ohrožení intravilánu měst a obcí, komunikací a další infrastruktury v krajině,
- procesy povrchového odtoku a vodní eroze.

4.2.4 Větrná eroze

Riziko větrné eroze hrozí již v průměru u 20 % našich zemědělských a dalších pozemků. Už i mírný vítr odnáší vysušenou půdu na velké vzdálenosti a záleží na velikosti půdních částic. Z opakovaných měření vyplývá, že nejčastěji jsou větrem odnášeny částice půdy o velikosti 0,25 – 0,40 mm. Platí také, že čím je vyšší obsah jílových částic menších než 0,01 mm v půdě, tím odolnější jsou tyto půdy vůči erozi. Fungují právě jako pojivo. Větrná eroze však nepoškozuje pouze půdu, jemné prachové částice mohou způsobit onemocnění plic a očí u lidí a hospodářských zvířat, poškozovat motory automobilů, obsahovat prachové částice, zbytky chemických přípravků, které zemědělci používají k ošetřování plodin, nebo jiné látky vnikající do půdy ze strojů, ne zemědělských (Cílek et al. 2021).

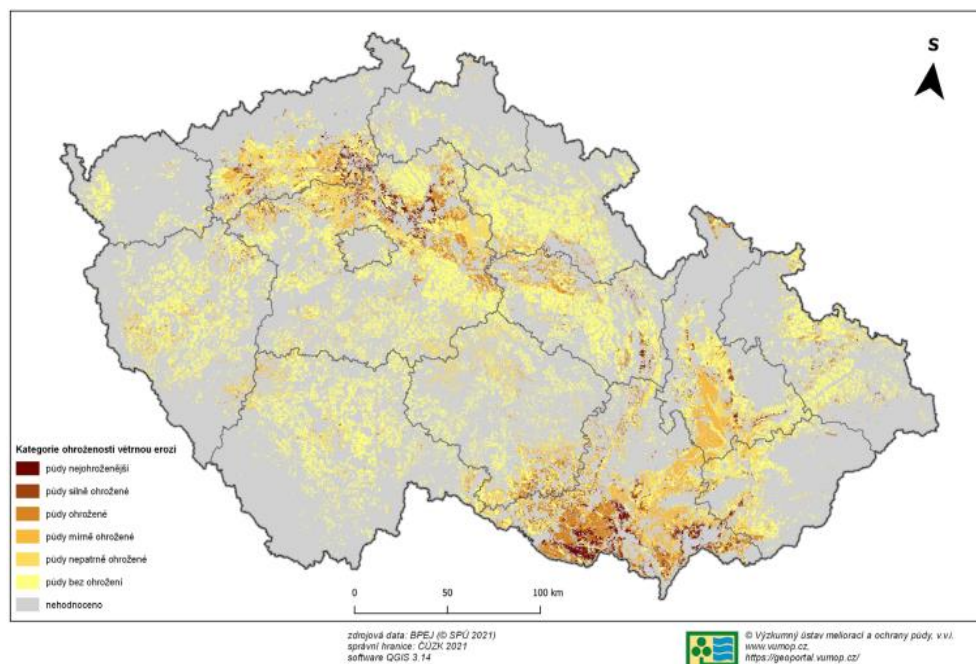
Jak zmiňuje Hadač (1987), je větrnou erozí v České republice zasaženo hlavně Polabí, Poohří, jižní a jihovýchodní Morava, na Slovensku je to pak hlavně jižní a jihovýchodní Slovensko. Větrnou erozí je postiženo asi 14 % zemědělské půdy v naší zemi (Sklenička et al. 2022).

Větrná eroze je složitý a dynamický proces. Každá půda reaguje odlišným způsobem na zpracování a postupy obhospodařování. Síly větru se různými způsoby v určitém místě a sezónním obdobím mohou lišit. Stejně tak vegetace, která pokrývá a chrání půdu před větrnou erozí a jejími důsledky (Zobeck 1991).

Erozi se ročně ztrácejí tisíce čtverečních kilometrů půdy globálně a v důsledku probíhajících klimatických změn se rozloha půdy ohrožená větrnou erozí zvýší o 10 %. Také půdy naší země dlouhodobě ubývají, a to nejen díky erozi (Cílek et al. 2021).

Na větrnou erozi mají vliv zejména faktory klimatické (intenzita, směr, četnost a vlhkost větrů) a půdní (struktura půdy, drsnost půdního povrchu a vlhkost půdy) (Vopravil et al. 2010).

Potencionální ohroženost zemědělské půdy větrnou erozí popisuje Obrázek 3.



Obrázek 3: Potencionální ohroženost zemědělské půdy větrnou erozí (MZe ©2021)

4.2.5 Faktory ovlivňující vznik eroze

Mezi faktory ovlivňující erozi patří zejména:

- klimatický a hydrologický režim území,
- morfologie území,
- geologie a půdní vlastnosti,
- hospodářský a technický režim,
- sociálně ekonomický režim,
- půdní faktory (MD ©2023).

4.3 Protierozní opatření realizovaná na sousedících pozemcích

Primárním cílem opatření na ochranu půdy před vodní erozí je ochránit půdu před škodlivými účinky dešťových kapek, podporovat infiltraci vody do půdy, zlepšovat její soudržnost, snižovat unášení půdy vodou a omezovat povrchový odtok. Zároveň je důležité efektivně odvádět vodu z povrchu a zachytávat erozí odtékající zeminu. Tato opatření zahrnují různé organizační, agrotechnické a technické prvky, které se vzájemně doplňují a berou v úvahu konkrétní potřeby a možnosti zemědělské výroby (Vopravil et al. 2010). Výčet opatření ke snížení erozního ohrožení je uveden v § 7 vyhlášky č. 240/2021 Sb., o ochraně zemědělské půdy před erozí, v platném znění.

4.3.1 Organizační opatření

Janeček et al. (2008) zmiňuje, že v projektech Komplexních pozemkových úprav (KoPÚ) jsou navržena zejména organizační opatření na orné půdě ve spolupráci s dalšími protierozními opatřeními za předpokladu dobré spolupráce a zájmů hospodařících subjektů. Protierozními opatřeními je nezbytné zabývat se v souvislosti s vlastnickými vztahy dotčených pozemků. Otázka eroze půdy na zemědělských pozemcích je obvykle řešena jako součást komplexních pozemkových úprav a v jejich souvislosti také uskutečňována (Sklenička et al. 2003).

Mezi organizační opatření patří:

- stanovení kultur, zejména mezi lesem a zemědělskou půdou,
- ochranné zatravnění a zalesnění,
- protierozní osevní postupy,
- pásové pěstování plodin,
- pozemkové úpravy, jimiž se mění velikost pozemků a jejich orientace, včetně vyznačení trasy polních cest (Janeček et al. 2008).

4.3.2 Agrotechnická opatření

Cílem agrotechnických opatření je zkrácení doby, kdy půda zůstává bez dostatečného vegetačního pokryvu. Nemění se tvar ani velikost pozemku, neuskutečňují se žádné technické zásahy do terénu. Jsou to pouze opatření, která upravují způsob obdělávání.

Protierozní agrotechnická opatření slouží ke vsakovací kapacitě půdy, zvýšení její odolnosti proti erozi a ochraně jejího povrchu, zejména v obdobích, kdy se nejvíce vyskytují vydatné srážky, tj. v červnu, červenci a srpnu, a kdy zejména širokořádkové plodiny (kukuřice, brambory, cukrová řepa, slunečnice, atd.) vzhledem k jejich růstu a zapojení stále nestačí pokrýt půdu. Na protierozní opatření agrotechnického charakteru navazují opatření organizačního charakteru. Jde především o půdoochranné technologie pěstování plodin, což je například vrstevnicové či konturové obdělávání, výsev do ochranné plodiny nebo strniště, hrázkování a mulčování. Tyto ochranné technologie obdělávání obsahují postupy, které zachovávají zásadní část posklizňových zbytků plodin na povrchu půdy při použití výsevu do ochranné plodiny, strniště nebo hrubé brázdy. Povrchový odtok je menší díky pokryvu půdy vegetací nebo posklizňovými zbytky, které zachycují

kinetickou energii dopadajících kapek deště. Tím je zmenšena také destrukce půdních agregátů, která vede ke snížení vsaku vody do půdy (Dorren et Rey 2004; Janeček et al. 2008).

4.3.3 Technická opatření

K technických protierozním opatřením se přistupuje, až když dojde k vyčerpání vhodných řešení protierozní ochrany organizačními a agrotechnickými opatřeními, většinou jako jejich doplnění. Tato opatření jsou koncipována s cílem vyrovnat terénní nerovnosti, snížit podélný sklon a chránit před přítokem cizích vod. Neškodně odvádějí a zpomalují povrchový odtok a zachycují sediment. Jsou vhodná k ochraně intravilánu obcí a komunikací před škodami povrchovým odtokem a smytou zeminou.

Technickými opatřeními jsou:

- terénní urovnávky,
- protierozní meze,
- protierozní příkopy,
- průlehy,
- zatravněné údolnice se stabilizovanou dráhou soustředěného odtoku,
- polní cesty s protierozní funkcí,
- ochranné hrázky,
- protierozní nádrže,
- terasy (Janeček et al. 2008; MZe ©2014, ZSČR ©2019).

4.4 Protierozní opatření realizovaná na zemním tělese komunikací

Protierozní opatření jsou především navržena k realizaci na povrchu zemního tělesa PK, konkrétně na jeho násypových a zářezových svazích (MD ©2023).

4.4.1 Technická opatření

V případě technických opatření se nepředpokládá, že by vegetace dlouhodobě ovlivnila protierozní funkce. Vegetace má v tomto opatření hlavně funkci estetickou a částečně umožňuje interakci půdní vody a půdního vzduchu s povrchem terénu, umožňuje retenci vody do půdy. Tato technická opatření tvoří především:

- plůtky z plastů (s ocelovým kotvením nebo plastovými tyčemi),
- svahový rošt (z ocelových tyčí nebo železobetonových trámů),
- korutanská (srubová) stěna (z železobetonových trámů nebo prefabrikátů),

- kamenný zához nebo rovnánina (bez oživení vegetací),
- 3D ocelové panely,
- geobuňky,
- betonové nebo železobetonové polovegetační dílce,
- zatravnovací dílce ze syntetických hmot (MD ©2023).

4.4.2 Biologická opatření

Biologická protierozní opatření jsou taková opatření, která počítají s trvalým zapojením vegetace a která v některých případech uplatňují trvalé zapojení vegetace. Biologická protierozní opatření uplatňují i dočasné, podpůrné atributy biologicky odbouratelných materiálů, např.:

- založení travních a travinobylinných společenstev, výsadba stromů,
- použití geotextilií z přírodních přízí pro dočasnou ochranu osetí svahu,
- hydroosev,
- hydroosev za podpory geotextilií z přírodních přízí,
- zakládání porostů travními rohožemi s osivem,
- zakládání porostů / skupin dřevin za použití povázek a haťových válců s proutím ze dřevin schopných zakořenění,
- výsadba dřevin za pomoci řízků dřevin schopných zakořenění,
- kordonové stěny (MD ©2023).

Kořeny stromů, keřů, trávy a další rostliny hrají významnou roli v hydrologii a stabilitě svahů. Kořeny rostlin se podílejí na hydrologii svahu tím, že ukládají a uvolňují vodu v procesech evapotranspirace, a na stabilitě svahu tím, že poskytují materiálům svahů pevnost v tahu (Lu et Godt 2013).

Trávy, sloužící k ochraně proti erozi, musí vynikat rychlým klíčením a počátečním růstem, efektivním odnožováním a nízkým vzrůstem, což minimalizuje potřebu častého sekání. Jejich odolnost vůči slunečnímu záření a suchu, nízké nároky na živiny, minimální potřeba péče a vytrvalost na daném stanovišti jsou klíčovými vlastnostmi. Kromě trav je možné do směsí pro protierozní ochranu začleňovat i vytrvalé byliny, odolné vůči extrémním podmínkám, s dostatečnou schopností bránit erozi a s minimální potřebou sečení. Praktickou osvědčenost prokázaly některé vikvovité rostliny, které nejen přispívají k ochraně před erozí, ale také obohacují půdu dusíkem a organickou hmotou (Janeček et al. 2008).

Optimální složení travních směsí zahrnuje základní druhy trav (40-60 %), doplňkové (10-30 %) a speciální (5-20 %). Klíčovým druhem je kostřava červená (*Festuca rubra*) pro svou vytrvalost, adaptabilitu v různých podmínkách, nenáročnost na živiny a hluboké kořeny. Mezi doplňkové druhy patří například lipnice luční (*Poa pratensis*), jílek vytrvalý (*Lolium perenne*), psineček tenký (*Agrostis tenuis*) nebo kostřava ovčí (*Festuca ovina*). Mezi speciální druhy se řadí například lipnice hajní (*Poa nemoralis*) a vikvovité rostliny, jako je třeba jetel plazivý (*Trifolium repens*) (Janeček et al. 2008).

Jedním z postupů, jak osévat plochy je hydroseiv. Nástříkem je rovnoměrně nanášena směs osiva, vody a dalších látek na příslušnou plochu. Hydroseiv umožňuje ozelenění těžko dostupných ploch, ploch s horší kvalitou podkladové zeminy nebo svahů příkrých až 1:0,6. Hydroseiv výlučně provádí stroj Hydroseeder, který aplikuje směs ze zásobníku postříkem na určenou plochu pod vysokým tlakem (Obrázek 4). Směs většinou obsahuje v souladu s potřebou osévané plochy osivo, vodu, hnojivo, organickou hmotu a podpůrné látky pro klíčení a růst rostlin a je navržena podle potřeb výsevni oblasti. Směs obsahuje také mulčovací materiál pro zajištění vyšší klíčivosti, lepšího zakořenění a udržení vlhkosti. Mulčovací materiál se liší v závislosti na sklonu terénu. K přidržování směsi mulče a osiva v místě vpichu se používá fixátor, který napomáhá průchodu směsi hydroseivním zařízením a napomáhá samotnému klíčení (Zlatuška 2020).



Obrázek 4: Realizace hydroseivu na svah PK (Zlatuška 2020)

Keře a stromy představují vhodné doplňky pro travní porosty. Nejčastěji využívaným rodem jsou vrby (*Salix*), díky svému rychlému, jednoduchému a ekonomickému rozmnožování pomocí řízků. Kromě toho lze pro zpevnování svahů dálnic využít i jiné druhy dřevin, které nejen stabilizují půdu, ale přispívají i k úpravě mikroklimatu. Tyto dřeviny přinášejí vylepšení kvality ovzduší, snižují hluk a posilují biologickou, ekologickou a estetickou funkci zeleně v krajině (Janeček et al, 2008).

Hniad et al. (2018) ve své studii uvádí, že obvyklým postupem je výsadba a využití vhodných lokálních rostlin. Úkolem je zmenšit odtokové množství a kinetickou energii dešťů.

4.4.3 Kombinovaná opatření

Kombinovaná opatření spojují výhody technických a biologických opatření. Tato protierozní opatření zejména dlouhodobě a výlučně počítají s protierozními vlastnostmi vegetace. Existuje však mnoho činitelů, které brání dosažení dlouhodobého efektu. Jsou to zejména klimatické faktory, jako je sucho, oslunění apod. Proto je nutné na určitou dobu protierozní funkci vegetace posílit. Jedná se obvykle o stabilizaci vrstvy zúrodnitelné půdy po dobu vzniku kořenového systému. Těchto kombinovaných opatření může být mnoho, např.:

- svahový rošt z mrtvého dříví,
- plůtky z mrtvého dříví a klestu,
- korutanské stěny z mrtvého dříví nebo kombinované s řízkou či kůly z dřevin schopných zakořenění (MD ©2023).

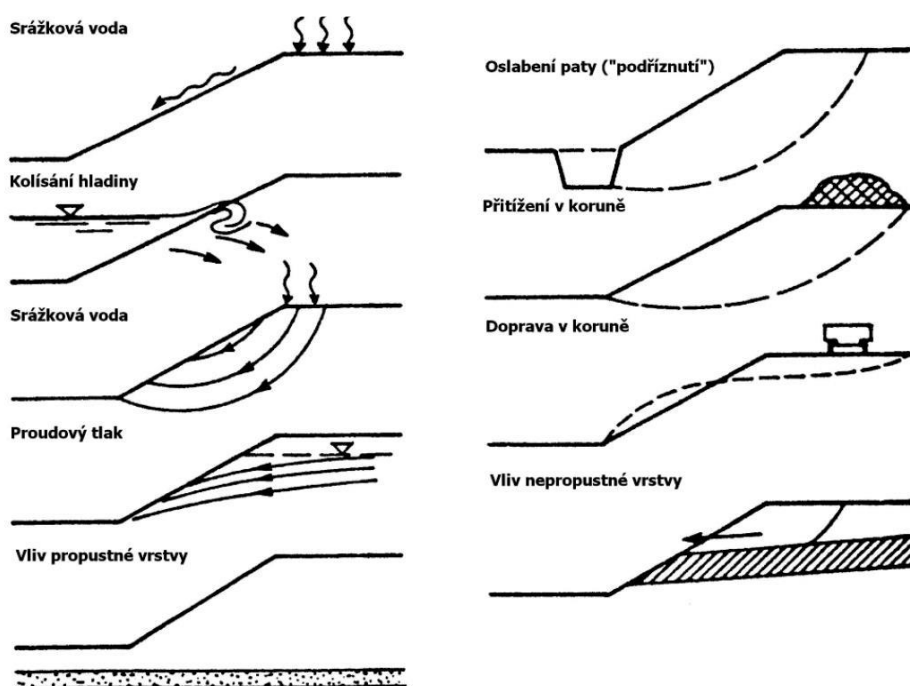
4.4.4 Ochrana strmých svahů před erozí

Člověk narušuje přírodní rovnováhu tím, že neustále přetváří krajinu a mění ji dle svých potřeb. Dochází tak k nechtěným jevům jako je například i zrychlená eroze, která působí jak na obhospodařovaných zemědělských plochách, tak také na urbanizovaných plochách, těžebních plochách, liniových dopravních stavbách apod. Vznikající plochy jsou pak většinou nechráněné zeminy, na nichž je erozní účinek dešťů a větrů mnohonásobně větší než na přírodně utvářených plochách. Dochází tak nejen k vlastní ztrátě půdy, ale i např. znečištění povrchových vod sedimenty, kontaminace vod toxickými látkami ze skládek, zvýšení obsahu prachových částic v ovzduší, a nakonec také k ovlivnění formování krajiny a uchování její estetické hodnoty (Janeček et al. 2008). Tyto problémy nebudou vyřešeny pouze

tím, že by se přestalo stavět, těžít, skladovat apod. Negativní dopady těchto činností je nutné minimalizovat, to znamená obnažené plochy efektivním způsobem a co nejdříve chránit před účinky dešťové vody a větru. K protierozní ochraně strmých svahů jsou vhodné materiály tmelící (lepivé) na bázi škrobů, emulgovaných živic, polymerů, mulčovací, jako např. sláma, seno, dřevěná vlákna a rolovatelné protierozní příkrývky (slaměné, jutové). Tato opatření se obvykle dělí na opatření: půdoochranná, stabilizační, kombinovaná, doplňková a speciální (Janeček et al. 2008).

Ztráta vody a půdy při nové úpravě pozemku vážně ohrožuje ekologickou bezpečnost staveniště a okolních oblastí (Zhang 2015).

Seznam vlivů, při nichž dochází k porušení svahu a které způsobují nestabilitu svahu či krajnice PK, je uveden na Obrázku 5. K deformacím svahů dochází působením srážkové vody, vlivem stékající vody, oslabením paty svahu, přitížením v koruně svahu a vlivem dopravy v koruně svahu. Výsledkem je pak porušení krajnic PK, svahů násypových těles a svahů nad PK (Karlín 2017).



Obrázek 5: Příčiny poruch komunikace (Karlín 2017)

Pomocí drnování, hydrosevu, mulčování, travních rohoží či geotextilií poskytují půdoochranná opatření jednoduchou, rychlou a účinnou ochranu půdy na svazích. Na nově vybudovaných svazích se jeví jako nejefektivnější protierozní

ochranou použití vegetace spolu s inertními materiály. Vegetace na svazích chrání půdu před škodlivými účinky eroze, zlepšuje vlastnosti půdy, její vodní kapacitu a podporuje její biologickou aktivitu. Vegetace hlavně zpevňuje její půdní vrstvy, protože do nich prorůstá, je tak nejprostším materiálem na ochranu svahů před erozí (Janeček et al. 2008; Morgan 2005).

Nejčastěji používanými rostlinnými vlákny pro výrobu biologických geotextilií jsou juta, kokosové vlákno, konopí, len, sisal, abaka a ramie. Rickson (2006) uvádí, že přírodní produkty mají obvykle životnost v rozmezí dvou až pěti let. Předpokládá se, že u přírodních geotextilií jejich protierozní účinnost klesá s postupným růstem vegetace.

Využívání geotextilií z přírodních surovin je výhodnější než používání syntetických variant kvůli své ekologické šetrnosti a schopnosti se snadno rozkládat v půdě. Přírodní vlákna jsou nejen cenově dostupnější, ale také snadno dostupná po celém světě, což je činí preferovanou volbou oproti syntetickým vláknům. Jejich schopnost absorbovat vodu a postupně se rozkládat jsou zásadními vlastnostmi, které převažují před syntetickými geotextiliemi (Lekha 2004).

4.5 Svahové deformace

Svahové deformace jsou geologické jevy, které odrážejí nestabilitu terénu. Tyto deformace jsou klasifikovány podle aktivity do tří kategorií:

- aktivní,
- dočasně uklidněné,
- uklidněné.

Jsou sledovány a zaznamenány v Registru svahových nestabilit pro bezpečnější územní plánování. Registr svahových nestabilit provozuje Česká geologická služba (ČGS). Aktivní svahové deformace se projevují výraznými znaky, jako jsou otevřené trhliny a strmé stěny bez vegetačního krytu. Dočasně uklidněné deformace mají zaoblený povrch a jsou hustě porostlé vegetací, přestože podmínky pro jejich vznik stále přetrvávají. Uklidněné deformace nevykazují aktuální známky pohybu a podmínky, které je způsobily, již neexistují (Stemberk et al. 2021).

4.5.1 Stabilita pozemní komunikace

PK prochází buď v úrovni území nebo v zářezu nebo na násypu, ale může vést částečně v zářezu nebo částečně v násypu. Pokud komunikace prochází úrovní území, pak jeho stabilitu nijak neporušuje, území samo o sobě je stabilní a únosné, nejedná-li se o sváživé území. Horší je to s komunikacemi, které jsou vedeny v zářezích nebo násypech. V obou případech, pokud je vytvořen velmi příkrý sklon svahu, je narušena rovnováha svahu a nastane svážení nebo sesouvání svahu (Myslivec 1951).

Existuje několik základních faktorů, které mohou přispět k erozním jevům na svazích těles PK. Mezi ně patří vytvoření zářezu v patě svahu, například v důsledku rozšíření cesty nebo přesunutí úpravy staveniště, což může narušit stabilitu svahu. Dalším faktorem může být vykopání v oblasti paty svahu pod jeho úrovní, například při provádění drenážních prací či odvodňování, což ovlivňuje celkovou stabilitu struktury. Zatížení v koruně svahu, jako jsou stavební stroje nebo násypy, může představovat potenciální riziko pro stabilitu. Vibrační účinky způsobené dopravou, zejména na nestabilních půdách, mohou také přispět k nežádoucím pohybům. Povrchová eroze na nechráněných svazích způsobená vlivem mrazu, větru nebo deště představuje další faktor, který může vyvolat erozi. Zhodnocení těchto příčin je nezbytné k přijetí vhodných opatření na ochranu před erozními procesy, zabezpečující stabilitu svahu v různých podmínkách a okolnostech (Budinský 2002).

Je nezbytné předcházet vzniku svahových pohybů již při plánování projektu. Identifikace rizika nestability v rané fázi je klíčová. Pokud se během projektových prací zjistí tato možnost, je vhodné upravit projektovou dokumentaci, protože to může vést k nižším nákladům než pozdější stabilizace svahů. Tímto způsobem lze minimalizovat škody a finanční ztráty způsobené nestabilitou svahů (Záruba et Mencl, 1987).

V oblastech s častými sesuvy svahů se často setkáváme s nedostatečnou a nevhodnou výstavbou. Stabilizační opatření jsou často prováděna až v momentě, kdy se problém projeví. Tento problém obvykle pramení z lidské aktivity a často je spojen s antropogenními vlivy (Fu et al. 2009).

5. Charakteristika zájmového území

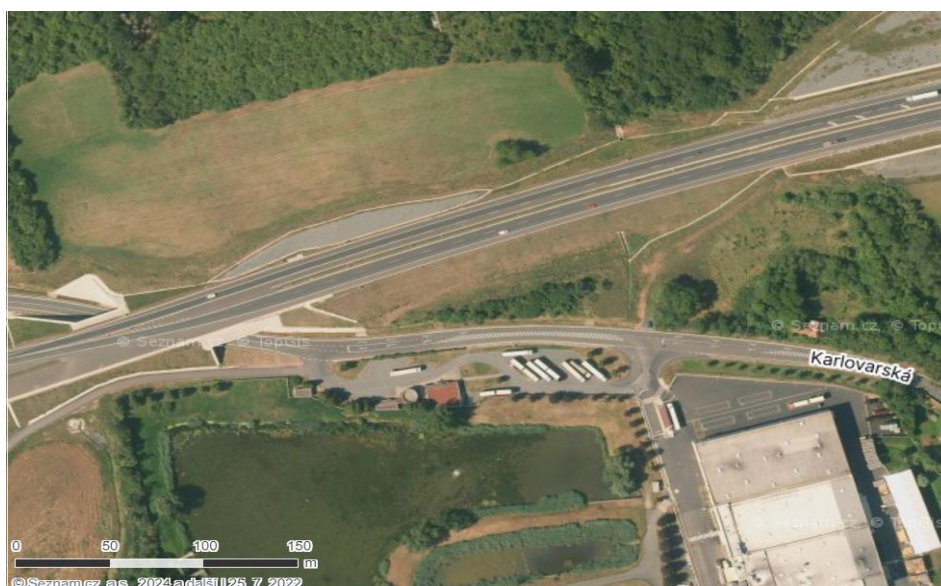
V této části práce jsou představeny úseky dálnic a v konkrétních částech popsány jednotlivé erozní události, které byly doloženy snímky ze soukromého archivu pana Ing. Otakara Kozáka, specialisty ochrany přírody a krajiny ŘSD, který souhlasil s jejich publikací. K těmto erozním událostem pak byla navržena vhodná protierozní opatření.

5.1 Dálnice D6 - úsek Řevničov, obchvat

Popis zájmového území

Dálnice D6 spojuje Prahu s Karlovými Vary a Chebem a vede až na státní hranici s Německem. V provozu jsou tři na sebe nenavazující úseky, nyní jsou ve fázi realizace další 3 úseky a zbytek je provozován jako silnice I/6.

Vybraná zájmová lokalita se nachází ve Středočeském kraji v okrese Rakovník v katastru obcí Řevničov a Krušovice (Obrázek 6). Tento úsek dálnice D6 Řevničov, obchvat, staničení km 37,550 – 41,750, který byl zprovozněn v roce 2020, vede zvlněnou krajinou na rozhraní Džbánské tabule a Křivoklátské vrchoviny, v oblasti intenzivně zemědělsky využívaných pozemků, kde byly dokončeny KoPÚ. Trasa rychlostní komunikace vede v oblasti Krušovic potenciálním nestabilním územím, kde byly v nedávné minulosti zaznamenány svahové deformace násypu (VPÚ DECO PRAHA a.s. ©2017).



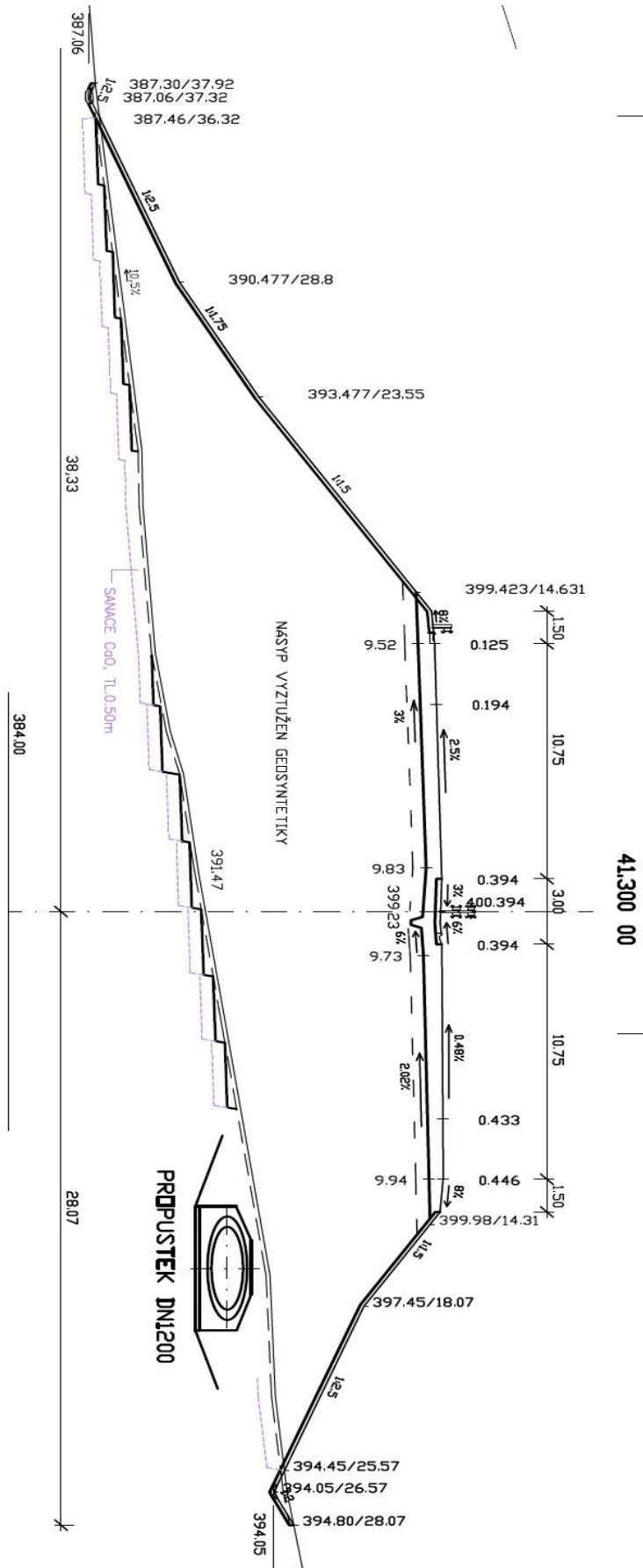
Obrázek 6: Snímek mapy ortofoto k.ú. Krušovice (ČÚZK ©2023)

V hlavní trase silnice jsou 3 násypová zemní tělesa o celkové délce cca 2020 m, což je zhruba 48 % z celkové délky úseku dálnice D6 Řevničov, obchvat. Nejvyšší násypy byly projektovány ve staničení km 40,200 (cca 5,0 m) násyp N3 a u násypu N5 v km 41,300 (cca 8,6 m) a 46,300 (12,6 m). Jinak se v trase PK vyskytují velmi náročná až nenáročná násypová tělesa.

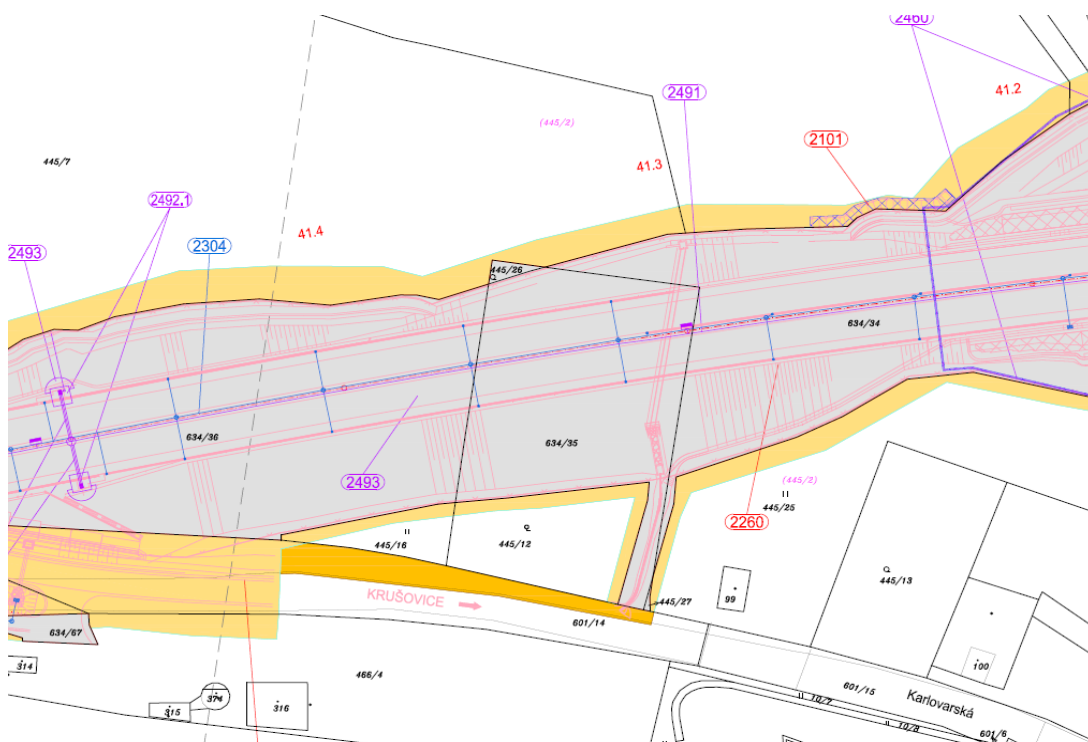
Předmětem tohoto popisu je svah v km 41,300 (snímek záborového elaborátu Obrázek 9). Jedná se o násyp v sesuvné oblasti, stabilizovaný sesuv. Po sejmutí kulturních vrstev bylo nutné zlepšení podloží pod násypem v úseku km 41,200 - 41,420 na tl. 0,50 1 - 2 % vápna. Jinde bylo podloží dobré. Navržený tvar násypu je stabilní a je převážně ze zemin ze zářezu km 40,900 - 41,200. Výjimku tvoří násyp v oblasti km 41,300, který byl výpočtem stability určen jako svah nestabilní. Proto pro zjištěný kritický stupeň stability bylo nutné vyztužit násyp geotextiliemi, příčný řez svahu PK s popisem zachycuje Obrázek 8. V km 41,300 bylo prověřeno sedání podloží. Násyp je proveden standardně, v případě využití málo vhodných zemin bylo nutné vápnění a výstavba vrstevnatých násypů ve sklonitém terénu přes 10°, aktivní zóna na násypech byla provedena z velmi vhodné nenamrzavé zeminy, získané selektivním těžením z krušovického zářezu. Zemní těleso bylo provedeno podle ČSN 736133, kontrola hutnění zemin a sypanin svahu podle ČSN 721006 (VPÚ DECO PRAHA a.s. ©2017). Úsek dálnice je z doby dokončené výstavby zdokumentován leteckým snímkem (Obrázek 7).



Obrázek 7: Letecký pohled na těleso dálnice D6 km 41,300 (evidence ŘSD 2020)

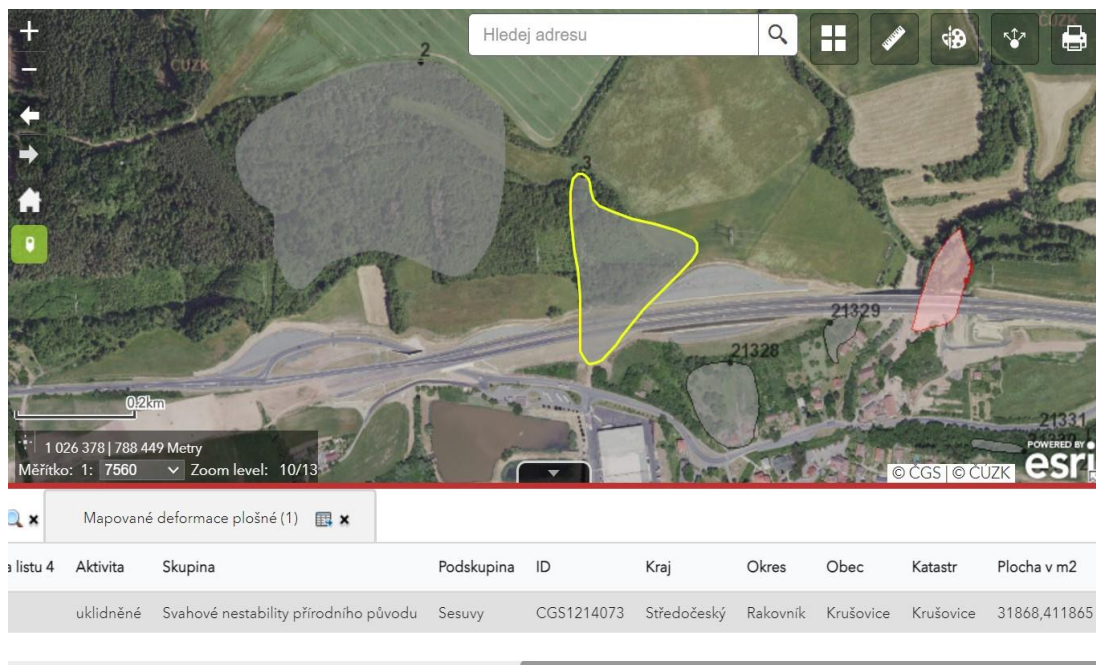


Obrázek 8: D6 Řevničov, obchvat, SO 2101 Dálnice D6, příčný řez km 41,300 (VPÚ DECO Praha a.s. ©2017)



Obrázek 9: D6 Řevničov, obchvat, snímek záborového elaborátu km 41,300 k.ú. Krušovice (VPÚ DECO Praha a.s. ©2018)

V současné době je svah v km 41,300 uklidněný (Obrázek 10).



Obrázek 10: Svahové deformace D6 km 41,300 k.ú. Krušovice (ČGS ©2023)

Protierozní účinek materiálů použitých na svahu je podmíněn několika hledisky, jedním z nich je rozsah ukotvení. Je potřeba zohlednit kvalitu a navýšení počtu ukotvení v případě, že protierozní materiál má odolávat dynamickému proudění vody podél vrstevnic. Počet kotevních bodů podléhá příčné délce a strmosti svahu PK. Pro výslednou účinnost protierozních materiálů je též důležitým hlediskem vhodný výběr travní směsi a bylin určených pro osetí povrchu svahu je také odvislý od povrchu svahu. Pro tento záměr je vhodné použít speciálně namíchané směsi (MD ©2023).

Popis erozní události

Na svah násypu budovaného úseku D6 Řevničov, obchvat v km 41,300 ve směru na Prahu byly aplikovány pásy geotextilie - kokosové sítě (Obrázek 11). Pod touto sítí však vznikl 20 cm až 30 cm volný prostor. Materiál po deštích zvodnil, sesunul se pod položenými pásy kokosové sítě. Síť zůstala viset ve vzduchu, na které byl nastříkaný hydroosev. Celý svah byl v červené zemině, jílovité půdě.



Obrázek 11: Násyp s pásy kokosové sítě D6 km 41,3 (zdroj Kozák 2021)

Kotvy, které mají držet kokosovou síť, byly obnaženy (Obrázek 12). Nebyly aplikovány v dostatečné kvalitě a množství, tj. ve správném poměru 1 až 4 kotvy na m². Pásy kokosové sítě nebyly správně upevněny v koruně svahu v zámkové rýze o šířce a hloubce 300 x 300 mm.



Obrázek 12: Vysunutá kotva, erozní rýha (zdroj Kozák 2021)

Návrh opatření

Geotextilie, v tomto případě kokosová síť, se správně aplikuje tak, že pásy geosyntetiky jsou rozbaleny po svahu směrem dolů, po spádnicí a pásy se vzájemně překrývají 100 až 500 mm. Podélně se instalace pásů provádí ve zcela výjimečných případech, když je možno celý svah ochránit pouze 2 pásy geotextilie, a to včetně zámku na vrchní straně svahu, včetně přesahu pásů. Při nutnosti napojení dvou rolí je nutno zachovat přesah 500 mm materiálu. Při upevnění geotextilie se aplikují ocelové kotvy tvaru „J“ nebo „U“ nebo „7“, případně dřevěné kolíky, které jsou obvykle celodřevěné nebo kombinací dřeva a hřebíků (v případě trvalejšího upevnění jsou vhodné dřevěné nehoblované kolíky). Počet kotev je odvislý na faktických podmínkách stanoviště, sklonu a délce svahu. Obvykle se používají 1 až 4 kotvy na m². Pohyb pracovníků na ploše svahu se děje po žebřících upevněných na svah, aby nevznikaly prošlapy a nerovnosti ve srovnaném povrchu svahu. Nerovnosti by zmařily kontakt geotextilie s povrchem, plnění ochranné funkce a omezily by prorůstání rostlin. Rostliny by geosít pouze nadzvedly a nedostatkem světla by uhynuly, což je nežádoucí. Po rozpadu geosítě by svah zůstal nechráněn, v místě by se pak přidal povrchový odtok a následně vzniknou pod geosítí erozní rýhy. Pro zdárné plnění protierozní funkce je potřeba, aby geotextilie dokonale přilnula k terénu. Proto musí být povrch svahu dokonale připravený, pásy geotextilie nesmí být napnuté a kotvení musí být provedeno v odpovídající hustotě. V ojedinělých zdůvodněných případech se na pásy geosyntetiky dodatečně aplikuje sypká humózní

zemina. Pásy geotextilie v koruně svahu je žádoucí zakotvit kolíky do rýhy o šířce a hloubce 300 x 300 mm, jedná se o tzv. zámek. Stejně má být geosít' upevněna i u paty svahu (MD ©2023).

Výsadba dřevin může být zahájena až po tom, co v nejkratší době po zhutnění svahu dojde k zatravnění (např. hydroosevem). Jakmile dojde ke vzniku travního drnu, nedochází k erozním nátržím. Vhodné dřeviny se vysazují do brázd nebo terásek.

V tomto případě byl svah dvakrát opravovaný, nyní je již souvisle zatravněn. Ve spodní části došlo k výsadbě dřevin, které zpevní patu svahu (Obrázek 13 a 14).



Obrázek 13: Násyp v km 41,300 současný stav (zdroj vlastní 2023)



Obrázek 14: Násyp v km 41,300 současný stav (zdroj vlastní 2023)

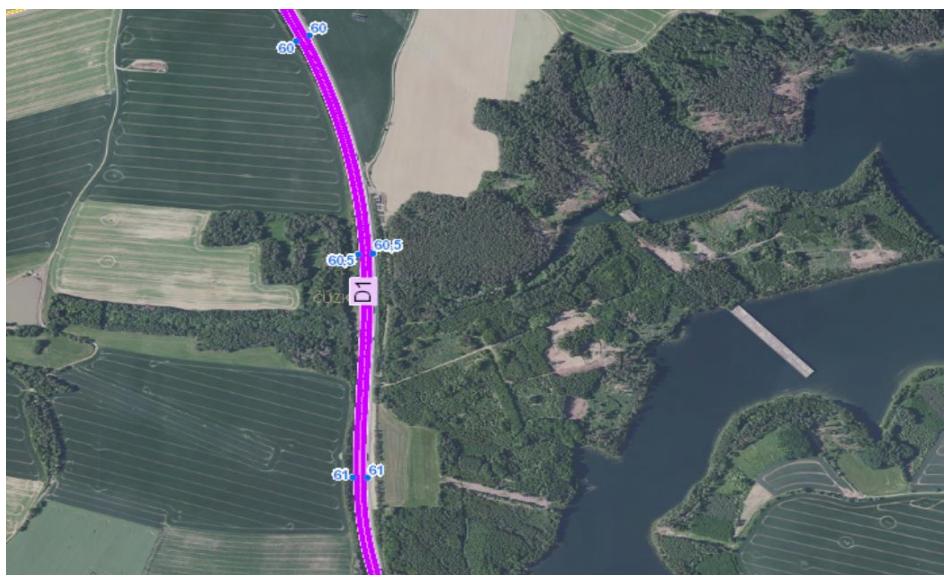
5.2 Dálnice D1 km 60,5 a km 304,0

Popis zájmového území

Dálnice D1 patří k nejstarším a nejdelším dálnicím v České republice. Jejím hlavním účelem je propojit Prahu, Brno a Ostravu s česko-polskou hranicí, kde se napojuje na polskou dálnici A1. Dálnice D1 tak zastává klíčovou úlohu ve spojení mezi českými městy a mezinárodním propojením s Polskem (Mátl 2023).

D1 km 60,5

Popisovaný úsek dálnice D1 se nachází ve směru z Prahy na Humpolec v km 60,5 (Obrázek 15).



Obrázek 15: Snímek mapy D1 km 60,5 (ŘSD ©2024)

Popis erozní události D1 km 60,5

Na úseku D1 v km 60,5 ve směru z Prahy na Humpolec byla na násypu PK nevhodně položena protierozní tkanina. V tomto případě se jedná o kokosový filc. Protierozní tkanina byla položena podélně, a ne po spádnicí, což je hodně viditelné. Chybí zakotvení tkaniny v zámkové rýze, nebyly použity kotvy. Došlo k povrchovému odtoku a následnému srolování geotextilie téměř po celé délce svahu (Obrázek 16).

Podklad pod srolovanou tkaninou byl zcela nevyhovující, svah byl špatně upraven před vlastní pokládkou geotextilie, což vedlo k tomu, že toto protierozní opatření neplnilo svoji funkci (Obrázek 17).



Obrázek 16: Nesprávné položení geotextilie D1 km 60,5 (zdroj Kozák 2020)



Obrázek 17: Srolovaná geotextilie D1 km 60,5 (zdroj Kozák 2020)

Návrh opatření D1 km 60,5

Pro účinné plnění protierozních opatření je důležité správně připravit povrch svahu, tzn. povrch svahu musí být ve správné zrnitosti zeminy, čistý, bez kamenů, ostrých předmětů a odplevelený. Je třeba dodržet správný postup aplikace protierozní textilie. Geotextilie na svahu by měla být rozbalována svisle, směrem od vrcholu dolů podél spádnice. Použití geotextilie ve vodorovných pruzích je přijatelné pouze v extrémních případech, kdy je nezbytné pokrýt pouze dvě vodorovné části pro zabezpečení celé plochy svahu včetně kotvení na horním okraji svahu, tzv. v zámkové oblasti. V případě nutnosti je možné geotextilii ukotvit i v patě svahu.

Kontrola předpokladů realizace protierozní ochrany a následného průběhu prací by měla proběhnout pod autorským dozorem projektanta v souladu s platným stavebním zákonem. Tímto způsobem je zajištěno správné uplatnění opatření a optimalizace jejich funkce pro ochranu svahu před erozí.

D1 km 304,0

Popisovaný úsek dálnice D1 se nachází ve směru z Prahy u Lipníka nad Bečvou v km 304,0 (Obrázek 18).



Obrázek 18: Snímek mapy D1 km 304,0 (ŘSD ©2024)

Popis erozní události D1 km 304,0

Na úseku D1 v km 304,0 ve směru z Prahy na Lipník nad Bečvou a Hranice nastal nenadálý sesuv půdy v zářezu dálnice. Tento sesuv vznikl v souvislosti s melioračními úpravami na zemědělských pozemcích nad dálnicí. Během výstavby dálnice došlo k přerušení melioračních úprav, které byly při stavbě dálnice následně zakryty. Po 10 až 15 letech se tento problém projevil, když v jednom roce došlo ke zvodnění po přívalových deštích. Svah se utřhl a zemina sjela až na komunikaci a zanesla příkop (Obrázek 19).



Obrázek 19: Sesunutý svah D1 km 304,0 (zdroj Kozák 2020)

Na zemědělském pozemku nad dálnicí nedošlo k podchycení stávající drenáže, všech sběrných i svodných drenů, které byly trasou protnuty. Došlo ke svahovému sesuvu díky zvýšené vlhkosti zemědělského pozemku nad tělesem dálnice. Sesuvem svahu došlo k obnažení drenáže, v tomto případě se jednalo o PVC trubky (Obrázek 20). Nedostatek pozornosti během výstavby vedl k nedokončení meliorací a tento nedostatek se projevil až později, kdy už bylo obtížné situaci napravit.

„Meliorace jsou biologická a technická opatření, která slouží ke zlepšení podmínek pro zemědělství, lesnictví a vodní hospodářství při současné ochraně přírodních a kulturních hodnot krajiny“ (Sklenička 2003).



Obrázek 20: Obnažená drenážní trubka, sesuv svahu D1 km 304,0 (zdroj Kozák 2020)

Návrh opatření D1 km 304

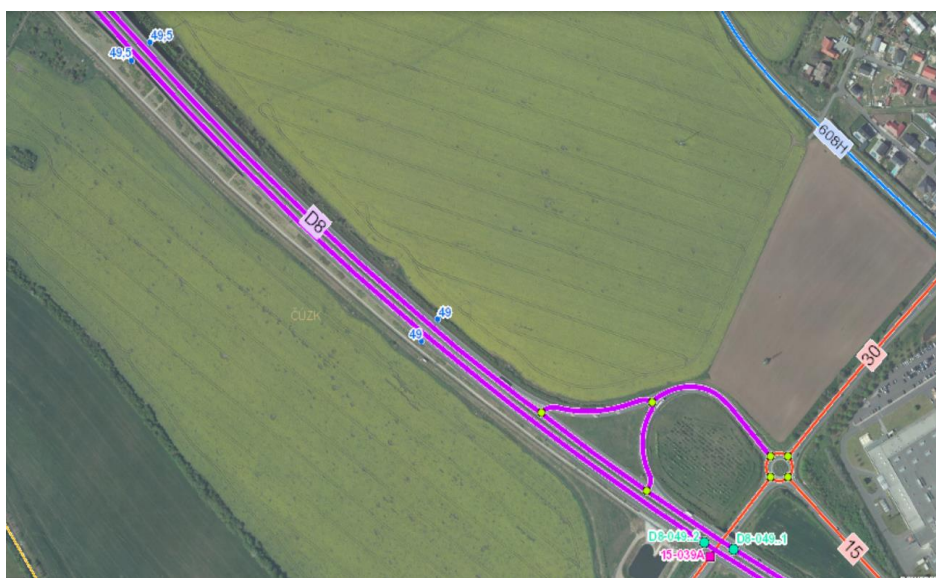
Zemní tělesa PK je třeba ochránit před nepříznivými účinky vod z okolí stavby, tj. vnějších, cizích vod. K těmto vodám lze přiřadit například vody z drenážních systémů a různá prameniště. Je nutné řešit tyto místní zdroje vody tak, aby neohrožovaly stabilitu stavby nebo nepůsobily negativně na okolní prostředí. To zahrnuje bezpečné odvádění těchto vod mimo oblast stavby nebo do odpadního systému (MD ©2023). V současné době je tento svah zářezu sanován a je na něm položena vrstva štěrku.

5.3 Dálnice D8 km 49,3 - sesuv humusové vrstvy

Popis zájmového území

Dálnice D8 hraje klíčovou roli v propojení Prahy se severoseverozápadem Česka, překračující území přes Lovosice a Ústí nad Labem, až k česko-německé státní hranici, kde navazuje na německou dálnici A17. Tato dálnice má status mezinárodní silnice E50 a je začleněna do transevropské silniční sítě. Její výstavba započala v roce 1984 v úseku mezi Řehlovicemi a Trmicemi na severu Čech, sloužící jako součást jižního spojení mezi Teplicemi a Ústím nad Labem. Tímto propojením se výrazně zlepšila dostupnost a efektivita dopravy mezi hlavním městem a severními regiony České republiky (Mátl 2023).

Popisovaný úsek dálnice D8 se nachází u Lovosic ve stoupacím pruhu v km 49,3 směrem z Prahy (Obrázek 21).



Obrázek 21: Snímek mapy D8 km 49,3 (ŘSD ©2024)

Popis erozní události

Těleso násypu bylo v této části dálnice D8 značně vyvápňené. Povrchová ohumusovaná vrstva se svezla a odkryla tak vyvápňený substrát. Tato událost způsobila masivní erozi, přičemž celý svah včetně veškeré vegetace, tj. stromů, keřů i tráv, se povrchově utrhl, jak představuje Obrázek 22. Právě vlivem vyvápňení (Obrázek 23) tenké kořeny vegetace nestačily prokořenit do hloubky, zakořenily pouze povrchově, což značně narušilo jejich stabilitu a zajištění živin.



Obrázek 22: Sesuv humusové vrstvy svahu D8 km 49,3 (zdroj Kozák 2021)



Obrázek 23: Odkrytý vyvápňený substrát D8 km 49,3 (zdroj Kozák 2021)

Návrh opatření

V současné době je provedena sanace násypu (Obrázek 24), svah je opatřen vrstvou šterku jako ochranným opatřením. Provádějí se odběry vzorků pro analýzu podílu vápníku ve vzorku půdy, rozbor zajišťuje Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. (VÚMOP). Tenké kořeny veškeré vegetace signalizovaly obtíže v kořenovém systému a utržení svahu naznačilo rozsah a závažnost erozní události. Získané informace z výzkumu budou zásadní pro navrhovaná opatření.



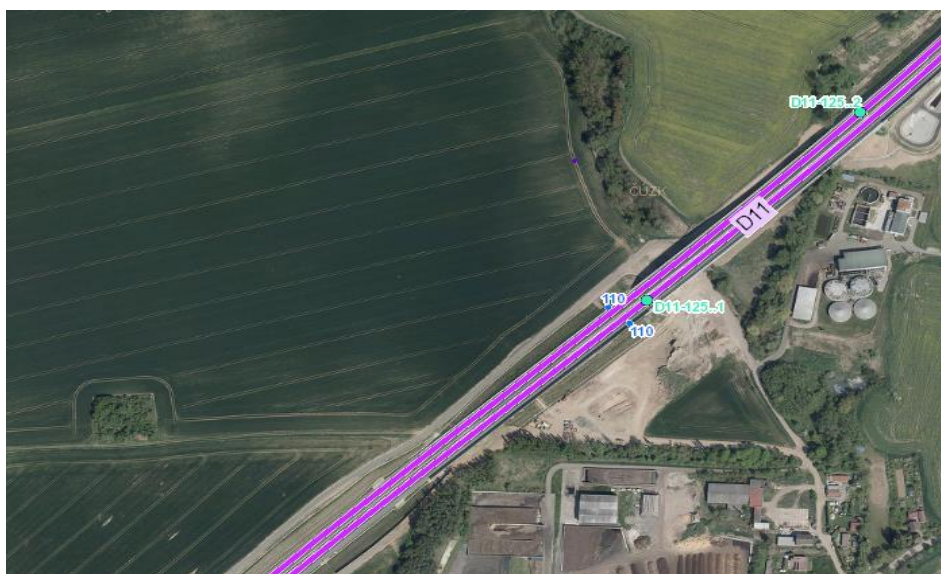
Obrázek 24: Sanovaný svah D8 km 49,3 (zdroj Kozák 2023)

5.4 Dálnice D11 km 110,0 - poškození nových výsadeb

Popis zájmového území

Trasa dálnice D11 směřuje z Prahy na východ směrem k Hradci Králové, odkud pokračuje na sever až do Jaroměře. Po dokončení této části bude pokračovat dále přes Trutnov až na hranice s Polskem, kde se propojí s polskou rychlostní silnicí S3, táhnoucí se napříč západním Polskem až k Baltskému moři. Historie výstavby dálnice D11 sahá až do září 1978, kdy byl zahájen první úsek mezi Prahou a Jirny o délce 8,3 km. Následující část Jirny - Třebestovice o délce 18,4 km začala být budována v roce 1980 a byla uvedena do provozu v roce 1984. Rozšíření dálnice D11 směrem k Jaroměři bylo realizováno ve dvou etapách. První etapa, úsek Smiřice - Jaroměř o délce 7,2 km, byla zahájena v dubnu 2018, a druhá etapa, předchozí úsek Hradec Králové-Smiřice o délce 15,5 km, byla zahájena v říjnu 2018. Oba úseky byly spuštěny do provozu současně v prosinci 2021 (Mátl 2023).

Popisovaný úsek dálnice D11 je u Jaroměře v km 110,0 (Obrázek 25).



Obrázek 25: Snímek mapy D11 km 110,0 (ŘSD ©2024)

Popis erozní události

Při výstavbě úseku D11 u Jaroměře vznikly velké erozní rýhy v násypu přímo ve výsadbách (Obrázek 26), voda zatekla z vrchní části od místa budoucí budované protihlukové stěny do výsadeb. Terén násypu se celý podmáčel. I při výstavbě může dojít k erozní události. Pokud dochází k výronu vody je možno realizovat šterková odvodňovací žebra, která se tak nejčastěji používají Minis pro mělkou drenáž (Obrázek 27).



Obrázek 26: Erozní rýha na svahu D11 km 110,0 (zdroj Kozák 2021)



Obrázek 27: Výstavba drenážních žeber na svahu D11 km (zdroj Kozák 2021)

Návrh opatření

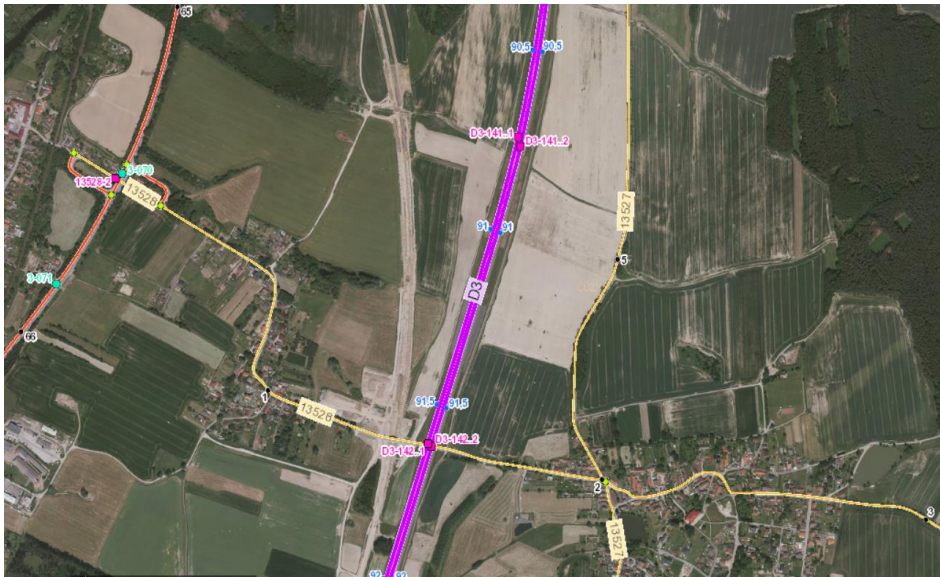
Pro mělkou drenáž lze efektivně využít drenážní žebra, což jsou rýhy vedené po spádnicí a jsou naplněné zpravidla šterkem. Obvyklá hloubka těchto žlabů se pohybuje mezi 1 a 2 metry, ale může být i větší. Běžně jsou taková žebra vyhlubována bagrem, jehož dosah obvykle dosahuje mezi 3 a 5 metry. V případě potřeby hlubších rýh je nezbytné pažit. Drenážní žebra mohou plnit také funkci ztužující zejména v případě, že zasahují pod úroveň smykové plochy (Štainerová 2015).

5.5 Dálnice D3 km 90,9

Popis zájmového území

Dálnice D3 je budovaná z Prahy přes Tábor a České Budějovice na česko – rakouskou hranici Dolní Dvořiště – Wulowitz, kde se má spojit s připravovanou rakouskou rychlostní silnicí S10. Přípravu výstavbu dálnice D3 provázely od sedmdesátých let minulého století vážné problémy se stabilizací trasy zejména ve Středočeském kraji (Mátl 2023). Další výstavba dálnice v úseku D3 z Nažidel na státní hranici s Rakouskem o délce 3,5 km byla zahájena 9. 1. 2024, nahradí současnou silnici I/3, která je nechvalně známá tragickou nehodou autobusu u Nažidel.

Popisovaný úsek dálnice D3 se nachází v km 90,9 směrem z Prahy na Soběslav (Obrázek 28).



Obrázek 28: Snímek mapy D3 km 90,9 (ŘSD ©2024)

Popis erozní události

Již v průběhu výstavby úseku D3 u Soběslavi došlo k erozní události. V rámci vytrvalých dešťů byl svah zvodnělý, voda rozmáčela terén. Vrchní vrstva svahu se utrhl ještě před zapojením vegetačního pokryvu. Intenzivními dešti vznikaly výrony vody, svah sjel až do pomalého pruhu, a to pouhých čtrnáct dní před samotným otevřením nového úseku dálnice. Již v době výstavby byl svah upravovaný. Na zemědělském pozemku od polní cesty chyběl nadzářezový příkop v koruně zářezu, při stavbě nebyly dostatečně podchyceny na pozemku stávající drenáže a byly přerušeny. Vegetační pokryv vrchní humózní vrstvy se potřhal, protože ještě nebyl dostatečně zapojený (Obrázek 29 a 30). Jednalo se o poměrně dlouhý úsek s mikrosesuvy půdy, vytvořily se erozní rýžky. Současně splavovaný materiál ze svahu zanesl již hotovou kanalizaci, která přestala plnit svoji funkci.

Zemědělské hospodaření může mechanicky narušit půdní ekosystém, což má za následek různé změny v jeho funkcích. Tyto změny zahrnují erodovatelnost půdy, koloběh vody a živin v půdě. Změny těchto vlastností půdy mohou ovlivnit půdní hydrologické vlastnosti, které jsou spojeny s výskytem a transportem sedimentu, což zvyšuje náchylnost půdy k erozi (Han et al. 2019).



Obrázek 29: Zvodnělý svah zářezu D3 km 90,9 (zdroj Kozák 2013)



Obrázek 30: Sesuv vrchní vrstvy svahu před zapojením vegetace (zdroj Kozák 2013)

Návrh opatření

V tomto případě se stala kritickou v první řadě doba mezi realizací stavby a zapojením vegetace. Nabízí se začlenění protierozní ochrany co nejdříve po dokončení budování zářezu, aby nedocházelo k erozi půdy, tvorbě rýh na holých svazích. Je potřeba zajistit dočasnou ochranu povrchu svahu do úplného zapojení vegetace, jejího plného zakořenění, na což má vliv charakter humózní vrstvy, roční doba realizace stavby a zvolené osetí či hydroosev (Kavka et al. 2020).

Nezakryté silniční násypy, které se nacházejí ve stádiu výstavby, způsobí erozi půdy až třicetkrát rychleji než násypy s vegetací. Průzkum podle CERDÀ (2007) jasně ukázal, že silniční násypy představují významný zdroj sedimentů, zejména během fáze výstavby.

V současné době je svah zářezu D3 po obou stranách sanovaný (Obrázek 31).



Obrázek 31: Svah zářezu D3 km 91,1 (zdroj Kozák 2014)

Na úseku dálnice D3 km 93,0 byla vrstva zeminy na svahu zářezu odstraněna z důvodu neustálých erozních událostí a na skálu byly aplikovány formou hydroosevu trvalky jako jsou například sukulenty apod. (Obrázek 32).



Obrázek 32: Aplikace sukulentů na svah zářezu D3 km 93,0 (zdroj Kozák 2016)

6. Výsledné zhodnocení a diskuze

Z popsaných erozních událostí a návrhů opatření na jednotlivých úsecích dálnice je zřejmé, že erozní události je možno rozdělit podle několika faktorů.

Na erozní události, které vznikly nedodržením správného technologického postupu. Pokud během pokládky geotextilií nejsou respektovány podstatné principy, může dojít k omezení účinnosti tohoto protierozního materiálu. Přikláním se k názoru, který má Řejha (2007), že je důležitá zejména míra ukotvení. Pokud jsou na protierozní materiály kladeny vysoké nároky, například schopnost odolávat dynamickému proudění vody podél svahových vrstevnic, je nezbytné zesílit kvalitu a počet kotvících bodů. Počet kotev se pak odvíjí od konkrétních podmínek aplikace, jako je délka a sklon svahu.

Dalším důležitým faktorem pro efektivitu protierozní ochrany je správný výběr směsi travin a bylin pro osev povrchu. Speciálně vybrané směsi bylin s hustým a hlubokým kořenovým systémem zajišťují účinné spojení protierozního materiálu s podložní půdou na daném svahu. Pro dosažení maximálního protierozního účinku ve směru toku vody je důležitý dostatečný růst vegetace, alespoň půl roku času, ideálně v průběhu vegetačního období, aby dosáhla potřebného vývoje. Je důležitá i doba výsevu, protože výsev před zimou může vést k nedostatečnému klíčení nebo poškození rostlin vlivem mrazu. Pak je často nutné výsev opakovat na jaře. Kromě toho je nezbytné vzít v úvahu vhodnost použité horní vrstvy půdy svahu, případné hnojení během růstu a v případě nutnosti zajištění dostatku vláhy prostřednictvím zavlažování (Řejha 2007).

Nelze než souhlasit s názorem, který má Morgan (2005), že vegetace funguje jako ochranný štít mezi atmosférou a půdou, což zabraňuje přímému dopadu dešťových kapek a působení větru na povrch půdy. Dále podporuje vsakování srážkové vody, zpomaluje povrchový odtok, a zlepšuje fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půdy. Kořenový systém vegetace přispívá k pevnosti půdy.

Při rozhodování o vhodném protierozním opatření je nezbytné pečlivě zvážit různé faktory a brát v úvahu všechny dostupné informace.

Náhlé dešťové srážky a tzv. cizí voda výrazně přispívají k erozi svahů PK. Intenzivní srážky způsobují rychlý odtok vody po svazích, což vede k erozi půdy a tvorbě erozních rýh. Tyto srážky pak oslabují stabilitu svahů a zvyšují riziko sesuvů, což ohrožuje infrastrukturu komunikací. Cizí voda, jako je voda z okolních ploch

nebo z povrchů s nižším propustným profilem, dále zvyšuje erozní tlak tím, že přináší další sedimenty a zvyšuje objem proudící vody. To vyvolává potřebu efektivního řízení vodního odtoku a realizace protierozních opatření k ochraně svahů silnic před erozí.

Ochrana povrchových vrstev svahů násypů pomocí geotextilií je považována za jednoduché a ekonomické řešení. Hlavním cílem tohoto opatření je dosažení maximální odolnosti svahů vůči srážkové činnosti, což je zejména důležité bezprostředně po dokončení výstavby násypu. V této fázi totiž povrchová vrstva zeminy na svahu ještě není dostatečně schopná odolat tekoucí vodě, což je zvláště problematické během letních přívalových dešťů. Tyto situace často způsobují mikrosesuvy, vznik erozních rýh a splavení materiálu, který v nejlepším případě pouze zanáší již dokončenou kanalizaci nebo odvodňovací strouhy. V extrémním případě může dojít k větším sesuvům, což může poškodit hotové dílo (Řejha 2007).

Eroze spojená s konstrukcí a provozem dálnic je stále potíží plánovačů a projektantů. Přebytečný sediment vznikající během stavby a po dokončení je častým problémem, pokud nejsou zavedena účinná protierozní opatření. Tato opatření se odvíjejí od povahy designu vozovky a zahrnují různé vegetativní i strukturální metody. Při volbě vhodného návrhu vozovky je podstatné předem odhadnout očekávanou erozi, a proto jsou metody pro stanovení těchto rizik klíčové (Anderson et Simons 1983).

Záruba et Mencl (1987) konstatují: *„Na rozsahu podrobného průzkumu, zejména sondovacích pracích, se nemá šetřit, protože dobrý a spolehlivý průzkum je nejlepší ochranou investora i projektanta před nesprávnými dispozicemi již v počátečním stadiu sanačních prací“*. S tím je třeba souhlasit.

7. Závěr

Primárním cílem bakalářské práce bylo vypracování literární rešerše k problematice eroze a protierozních opatření na svazích podél liniových staveb z pohledu správce dálnic a silnic I. třídy. Práce definovala půdu, charakterizovala její význam a historii a popsala funkce půdy a její vlastnosti. Dále se práce se zaměřila na popis degradace půdy s její nejvýznamnější součástí, erozí, a popsala vznik a rozdělení eroze. Práce se věnovala popisu protierozních opatření realizovaných na tělesech PK tak i na okolních přilehlých pozemcích, zejména biologickým opatřením, a dále zmínila svahové deformace a stabilitu PK.

Ve druhé části práce, její praktické části, byla popsána z mapových podkladů, podkladů z evidence ŘSD a z poskytnuté fotodokumentace vybraná zájmová území, byly zobrazeny konkrétní úseky dálnic s proběhlými erozními událostmi. Součástí práce byl popis vybraných škodních událostí a způsobu jejich nápravy vhodným protierozním opatřením, což v některých případech doložila i fotodokumentace daného stavu.

Z výše uvedeného vyplývá, že bylo dosaženo cíle práce. Zaznamenány byly konkrétní erozní události eroze na svazích PK. Byla navržena implementace opatření, jako jsou správně aplikované protierozní geotextilie, zapojený vegetační pokryv a ochrana před přítokem cizí vody z přilehlých pozemků PK, aby se minimalizovaly škody a zvýšila stabilita svahů.

8. Seznam literatury a použitých zdrojů

8.1 Odborné publikace

Bičík, I., Jeleček, L., Kabrda, J., Kupková, L., Lipský, Z., Mareš, P., Šefrna, L., Štych, P., Winklerová, J., 2010: Vývoj využití ploch v Česku. Praha, 250 s. IBSN 978-80-904521-3-8.

Bičík, I., Budňáková, M., Čermák, P., Čtyroká, J., Dreslerová, D., 2009: Půda v České republice. Praha, 255 s. IBSN 80-903482-4-6.

Cablík, J., Jůva, K., 1963: Protierozní ochrana půdy. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 324 s.

Cerdà, A., 2007: Soil water erosion on road embankments in eastern Spain. *Science of the total environment*, 378 (1-2), 151-155.

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., Lizoňová, D., Svoboda, J., 2021: Půda a život civilizací: co děláme půdě, děláme sobě. Dokořán, Praha, 253 s. IBSN 978-80-7675-015-9.

Česká archeologická společnost, o.p.s., 2021: Zjišťovací archeologický výzkum D6 Hořovičky - obchvat, Praha, 27 s.

Dorren, L., Rey, F., 2004: A review of the effect of terracing on erosion. In: *Briefing Papers of the 2nd SCAPE Workshop*. C. Boix-Fayons and A. Imeson, 97-108.

Dumbrovský, M., Korsuň, S., 2009: Optimisation of soil conservation systems within integrated territorial protection. *Soil & Water Res.*, 4, 57-65.

Fay, L., Shi, X., Akin, M., 2012: *Cost-Effective and Sustainable Road Slope Stabilization and Erosion Control*. National Academy of Sciences, Washington, D.C., 83.

Han, Z., Zhong, S., Ni, J., Shi, Z., Wei, C., 2019: Estimation of soil erosion to define the slope length of newly reconstructed gentle-slope lands in hilly mountainous regions. *Scientific Reports*, 9(1), 4676.

Hadač, E., 1987: *Ekologické katastrofy*, Horizont. Praha, 213 s. IBSN 40-017-87.

Janeček, M., 1996: Je ochrana půdy nutná. *Vesmír* 75, 457 (online) [cit. 2024.0103], dostupné z: <<https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/1996/cislo-8/je-ochrana-pudy-nutna.html>>.

Janeček, M., 2008: *Základy erodologie*, Česká zemědělská univerzita. Praha, 172 s. IBSN 978-80-213-1842-7.

Kadlec, V., Dostál, T., Vrána, K., Kavka, P., Krása, J., Devátý, J., Podhrázská, J., Pochop, M., Kulířová, P., Heřmanovská, D., Novotný, I., Papaj, V., 2014: *Navrhování technických protierozních opatření: metodika*, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. Praha, 100 s. IBSN 978-80-87361-29-0.

Kukal, Z., 1983a: *Rychlost geologických procesů*. Academia. Praha, 280 s.

- Kukal, Z., 1983b: Přírodní katastrofy. 2. vyd. Horizont. Praha, 259 s.
- Kutílek, M., 2012: Půda planety Země. Dokořán, Praha, 199 s. ISBN 978-80-7363-212-0.
- Lekha, K. R., 2004: Field instrumentation and monitoring of soil erosion in coir geotextile stabilised slopes – a case study. *Geotextiles and Geomembranes* 22: 399-413.
- Lu, N., Godt, J. W., 2013: Hillslope hydrology and stability. Cambridge University Press, Cambridge, UK, p. 437 ISBN 9781107021068.
- Mátl, R., 2023: Historie výstavby silnic a dálnic v České republice. *Silniční obzor* 9, 6 - 17 s. ISSN 0322-7154/MK ČR E 4707.
- MINISTERSTVO DOPRAVY ČR, ©2023: Technické podmínky TP 53, Protierozní opatření na svazích PK. Praha, 108 s.
- Morgan R. P. C., 2005: Soil erosion and conservation. Blackwell Publishing, Oxford, 304.
- Myslivec, A., 1951: Svážení silničních svahů a jejich zabezpečení. Vědecko-technické nakladatelství, Praha, 28 s.
- Novotný, I., Papaj, V., Podhrázská, J., Kapička, J., Vopravil, J., et al., 2017: Příručka ochrany proti vodní erozi, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha, 78 s. ISBN 978-80-87361-67-2.
- Osman, K. T., 2014: Soil Degradation, Conservation, and Remediation. Springer Science & Business Media, p. 251 ISBN 9789400775893.
- Rejšek, K., Vácha, R., 2018: Nauka o půdě. Agripint, Olomouc, 527 s. ISBN 978-80-87091-82-1.
- Rickson, R. J., 2006: Controlling sediment and source: an evaluation of erosion control geotextiles. *Earth Surface Processes and Landforms* 31: 550-560.
- Řejha, M., 2007: Protierozní ochrana zemních těles a svahů. *Geotechnika* 1, 38-40 s.
- Sklenička, P., 2003: Základy krajinného plánování. Naděžda Skleničková, Praha, 321 s. ISBN 80-903206-1-9.
- Stemberk, J., Hartvich, F., Blahůt, J., Klimeš, J., Tabořík, P., Baroň, I., Racek, O., Balek, J., 2021: Analýza plánovaných úseků výstavby dálnic a silnic I. třídy a jejich možného ohrožení svahovými deformacemi 2021. Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, v.v.i., Praha, 215 s. „nepublikováno“. Dep.: Ředitelství silnic s. p., Správa Karlovy Vary.
- Šarapatka, B., 2021: Půda - přehlížené bohatství. Vydavatelství Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 63 s. ISBN 978-80-244-6022-2.
- Šimek, M., Elhottová, D., PIŽL, V., 2015: Živá půda. Strategie AV21. Středisko společných činností AV ČR pro Kancelář Akademie věd ČR, Praha, 78 s. ISBN 978-80-200-2567-8.

Tlapák, V., Legát, V., Šálek, J., 1992: Voda v zemědělské krajině. Praha: Brázda, 318 s. ISBN 80-209-0232-5.

Tuf, I. H., 2013: Praktika z půdní zoologie. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 91 s. ISBN 978-80-244-3479-7.

Vopravil, J., 2010: Půda a její hodnocení v ČR. Díl. I. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha, 148 s. ISBN 978-80-87361-05-4.

VPÚ DECO PRAHA a.s., 2017: D6 Řevničov, obchvat, technická zpráva projektové dokumentace, 23 s. „nepublikováno“. Dep.: Ředitelství silnic s. p., Správa Karlovy Vary.

VPÚ DECO PRAHA a.s., 2018: D6 Řevničov, obchvat, záborový elaborát, „nepublikováno“. Dep.: Ředitelství silnic s. p., Správa Karlovy Vary.

Záruba, Q., Mencl, V., 1987: Sesuvy a zabezpečování svahů. Academia. Praha, 340 s.

Zhang, L. T., Gao, Z. L., Yang, S. W., Li, Y. H., Tian, H. W., 2015: Dynamic processes of soil erosion by runoff on engineered landforms derived from expressway construction: A case study of typical steep spoil heap. *Catena*, 128, 108-121.

Zlatuška, K., 2020: ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. KATEDRA LESNICKÝCH TECHNOLOGIÍ A STAVEB. Technická doporučení pro projektování lesní dopravní sítě. Ministerstvo zemědělství, Praha, 64-65 s. ISBN 978-80-7434-556-2.

Zobeck T., 1991: Soil properties affecting wind erosion. *Journal of Soil and Water Conservation*. 46(2), 112–118.

8.2 Legislativní zdroje

ČSN 73 6133: Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2010. 68 s.

ČSN 72 1006: Kontrola zhutnění zemin a sypanin. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2015. 44 s.

Vyhláška č. 240/2021 Sb., o ochraně zemědělské půdy před erozí, v platném znění.

Zákon č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu, v platném znění.

8.3 Internetové zdroje

Anderson, B. A., Simons, D. B., 1983: Soil erosion study of exposed highway construction slopes and roadways. *Transportation Research Record*, 948, 40-47 (online) [cit. 2024.02.09], dostupné z < <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1983/948/948-007.pdf> >.

Budinský, V., 2002: Algoritmizácia stability svahu. Projekt a stavba: časopis o výstavbe, stavitelstve-architektúre a stavebnom inžinierstve, č. 12. ISSN 1335-5007, (online) [cit. 2023.02.17], dostupné z < http://www.budinskyssk.sk/clanky/stabilita_1_PaS_12_2002.pdf >.

ČESKÁ GEOLOGICKÁ SPOLEČNOST, ©2023: Svahové deformace (online) [cit. 2023.11.30], dostupné z <https://mapy.geology.cz/svahove_deformace/>.

ČESKÝ ÚŘAD ZEMĚMĚŘICKÝ A KATASTRÁLNÍ, ©2024: Nahlížení do katastru nemovitostí (online) [cit. 2024.01.26], dostupné z <<https://sgi-nahlizenidokn.cuzk.cz/marushka/default.aspx?themeid=3&MarWindowName=Marushka&MarQueryId=2EDA9E08&MarQParam0=2121992212&MarQParamCount=1>>.

Dobiašová, D., Stred'anský, J., Tátošová, L., 2013: Determinants of slope stability reduction, *Acta horticulturae et regiotecturae* 2: pcerdá. 29-32 (online) [cit. 2023.11.08], dostupné z <https://jahr.sk/uploads/%5B13385259%20-%20Acta%20Horticulturae%20et%20Regiotecturae%5D%20DETERMINANTS%20OF%20SLOPE%20STABILITY%20REDUCTION%20_%20DETERMINANTY%20ZNI%20%20C5%BDOVANIA%20STABILITY%20SVAHU.pdf>.

Fu, B. J., Wang, Y. F., Lu, Y. H., He, C. S., Chen, L. D., & Song, C. J., 2009: The effects of land-use combinations on soil erosion: a case study in the Loess Plateau of China. *Progress in physical geography*, 33(6), 793-804 (online) [cit. 2024.03.26], dostupné z <https://www.researchgate.net/publication/249823861_The_effects_of_land-use_combinations_on_soil_erosion_A_case_study_in_the_Loess_Plateau_of_China/link/54b4dbdc0cf28ebe92e49152/download?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19>.

Hniad, O., Bahi, L., Amgaad, S., MATEC Web of Conferences, © 2018: Introduction of inclined open channels for the control of surface runoff of slopes in road structures (online) [cit. 2023.02.17], dostupné z <https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2018/08/mateconf_cmss2018_02098.pdf>.

Karlín, P., 2017: Poruchy svahů a krajnic komunikací, GeoTec-GS a.s. (online) [cit. 2023.11.26] dostupné z <<https://silnicniseminar.cz/files/Karlín-Poruchy-svah--a-krajnic.pdf>>.

MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ ČR, ©2014: Příručka ochrany proti vodní erozi (online) [cit. 2024.03.26], dostupné z <https://eagri.cz/public/portal/-q306805---SLJjbsLK/prirucka-proti-vodni-erozi-2014?_linka=a426583>.

MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ ČR, ©2021: Situační a výhledová zpráva půda 2021(online) [cit. 2024.03.26], dostupné z <<https://eagri.cz/public/portal/mze/publikace/situacni-vyhledove-zpravy/puda/situacni-a-vyhledova-zprava-puda-2021>>.

MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ ČR, ©2023: Vodní eroze půdy (online) [cit. 2023.02.17], dostupné z <<https://eagri.cz/public/portal/mze/puda/ochrana-pudy-a-krajiny/degadace-pud/zastavovani-uzemi/>>.

MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ ČR, ©2024: Zastavování území (online) [cit. 2024.03.03], dostupné z <<https://eagri.cz/public/web/mze/puda/ochrana-pudy-a-krajiny/degadace-pud/vodni-eroze-pudy/>>.

MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ ČR, ©2023: Definice, význam a funkce půdy (online) [cit. 2023.02.17], dostupné z <[https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/definice_pudy/\\$FILE/OHPP-Definice_pudy-20080820.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/definice_pudy/$FILE/OHPP-Definice_pudy-20080820.pdf)>.

ŘEDITELSTVÍ SILNIC A DÁLNIC s. p., ©2024: Geoportál ŘSD, Silniční a dálniční síť ČR (veřejná aplikace) (online) [cit. 2024.02.09], dostupné z <https://geoportal.rsd.cz/apps/silnicni_a_dalnicni_sit_cr_verejna/>.

Sáňka, M., Materna, J., 2004: Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR. Planeta XII.: 84 s. ISSN 1213-3393 (online) [cit. 2023.11.08], dostupné z <[https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/CEFFC9BDDD360E2EC1256FAF004EEF6/\\$file/indikatory_el.pdf](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/CEFFC9BDDD360E2EC1256FAF004EEF6/$file/indikatory_el.pdf)>.

Sklenicka, P., Efthimiou, N., Zouhar, J., Brink, A., Kottova, B., Vopravil, J., Zastera, V., Gebhart, M., Bohnet, C. I., Janeckova Molnarova, K., Azadi, H., 2022: Impact of sustainable land management practices on controlling water erosion events: The case of hillslopes in the Czech Republic, Journal of Cleaner Production, 337, 130416, ISSN 0959-

6526 (online) [cit. 2023.11.07] dostupné z <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130416>, (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652622000622>)>.

Štainerová, L., 2015: Návrh zajištění hlubokého zářezu. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geotechniky, Brno. 76 s. Diplomová práce. „nepublikováno“. Dep. VUT v Brně (online) [cit. 2023.11.28], dostupné z <https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=98155>.

Šumová, J., 2020: Nově proti erozi a utužení půdy. Zemědělec 46/2020 (online) [cit. 2023.11.08], dostupné z <<https://knihovna.vumop.cz/media-viewer?rootDirectory=5416&origin=https%3A%2F%2Fknihovna.vumop.cz%2Fpdf>>.

Toy, T. J., 1982: Accelerated erosion: process, problems, and prognosis. Geology, 10 (10): 524-529 (online) [cit. 2024.03.19], dostupné z <<https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/geology/article-abstract/10/10/524/187846/Accelerated-erosion-Process-problems-and-prognosis>>.

VETERINÁRNÍ A FARMACEUTICKÁ UNIVERZITA BRNO, ©2011: Definice, význam a funkce půdy (online) [cit. 2023.11.30], dostupné z <https://cit.vfu.cz/ivbp/wp-content/uploads/2011/07/Definice_vyznam_a_funkce_pudy.pdf>.

ZEMĚDĚLSKÝ SVAZ ČR, ©2023: Ochrana půdy a udržitelné způsoby hospodaření (online) [cit. 2023.11.30], dostupné z <https://www.zscr.cz/download/files/Ochrana_pudy_a_udrzitelne_zpusoby_hospodareni.pdf>.

9. Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obrázek 1: Schématické znázornění funkcí půdy (MŽP ©2023)..... | 15 |
| Obrázek 2: Potencionální ohroženost zemědělské půdy vodní erozí (MZe ©2014) . | 22 |
| Obrázek 3: Potencionální ohroženost zemědělské půdy větrnou erozí (MZe ©2021) | 24 |

| | |
|--|----|
| Obrázek 4: Realizace hydroosevu na svah PK (Zlatuška 2020) | 28 |
| Obrázek 5: Poruchy svahů a krajnic komunikací (Karlín 2017)..... | 30 |
| Obrázek 6: Snímek mapy ortofoto k.ú. Krušovice (ČÚZK ©2023) | 33 |
| Obrázek 7: Letecký pohled na těleso dálnice D6 km 41,300 (evidence ŘSD 2020). 34 | |
| Obrázek 8: D6 Řevničov, obchvat, SO 2101 Dálnice D6, příčný řez km 41,300 (VPÚ DECO Praha a.s. ©2017) | 35 |
| Obrázek 9: D6 Řevničov, obchvat, snímek záborového elaborátu km 41,300 k.ú. Krušovice (VPÚ DECO Praha a.s., ©2018) | 36 |
| Obrázek 10: Svahové deformace D6 km 41,300 k.ú. Krušovice (ČGS ©2023) | 36 |
| Obrázek 11: Násyp s pásy kokosové sítě D6 km 41,300 (zdroj Kozák 2021)..... | 37 |
| Obrázek 12: Vysunutá kotva, erozní rýha (zdroj Kozák 2021) | 38 |
| Obrázek 13: Násyp v km 41,300 současný stav (zdroj vlastní 2023) | 39 |
| Obrázek 14: Násyp v km 41,300 současný stav (zdroj vlastní 2023) | 39 |
| Obrázek 15: Snímek mapy D1 km 60,5 (ŘSD ©2024) | 40 |
| Obrázek 16: Nesprávné položení geotextilie D1, km 60,5 (zdroj Kozák 2020)..... | 41 |
| Obrázek 17: Srolovaná geotextilie D1, km 60,5 (zdroj Kozák 2020)..... | 41 |
| Obrázek 18: Snímek mapy D1 km 304,0 (ŘSD ©2024) | 42 |
| Obrázek 19: Sesunutý svah D1, km 304,0 (zdroj Kozák 2020)..... | 43 |
| Obrázek 20: Obnažená drenážní trubka D1, km 304,0 (zdroj Kozák 2020)..... | 43 |
| Obrázek 21: Snímek mapy D8 km 49,3 (ŘSD ©2024) | 44 |
| Obrázek 22: Sesuv humusové vrstvy svahu D8 km 49,3 (zdroj Kozák 2021) | 45 |
| Obrázek 23: Odkrytý vyvápňený substrát D8 km 49,3 (zdroj Kozák 2021) | 45 |
| Obrázek 24: Sanovaný svah D8 km 49,3 (zdroj Kozák 2023)..... | 46 |
| Obrázek 25: Snímek mapy D11 km 110,0 (ŘSD ©2024) | 47 |
| Obrázek 26: Erozní rýha na svahu D11 km 110,0 (zdroj Kozák 2021)..... | 47 |
| Obrázek 27: Výstavba drenážních žebírek na svahu D11 km (zdroj Kozák 2021) | 48 |
| Obrázek 28: Snímek mapy D3 km 90,9 (ŘSD ©2024) | 49 |
| Obrázek 29: Zvodnělý svah zářezu D3 km 90,9 (zdroj Kozák 2013)..... | 50 |
| Obrázek 30: Sesuv vrchní vrstvy svahu před zapojením vegetace (zdroj Kozák 2013) | 50 |
| Obrázek 31: Svah zářezu D3 km 91,1 (zdroj Kozák 2014) | 51 |
| Obrázek 32: Aplikace sukulentů na svah zářezu D3 km 90,9 (zdroj Kozák 2016) ... | 51 |