

Závěrečná zpráva

Výzkum a Vývoj - systematizace a finanční optimalizace
sanačních prevenčních opatření pro liniové stavby před
bahnotoky - bahnokamenité proudy

Projekt FR - TI3/513

Vypracoval:
Martin Lidmila
Ondřej Marek
Ondřej Holý
Dušan Dufka
Pavel Frandofer



STRIX Chomutov, a. s.



ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra železničních staveb



1. Úvod

Tato výzkumná zpráva je vypracována pro projekt MPO ČR s označením FR-TI3/513: „Výzkum a Vývoj – systematizace a finanční optimalizace sanačních prevenčních opatření pro liniové stavby před bahnotoky – bahnitokamenitými proudy.

Společně s dalšími výzkumnými zprávami tvoří tento dokument závěrečné shrnutí všech projektových etap a vychází z předešlých zpracovaných dílčích výzkumných zpráv. Na základě pozorování, shromažďování mezioborových poznatků, ale i modelování a řízených experimentů si klade za cíl vymezit, analyzovat a navrhnout možná preventivní a ochranná řešení jevu, který označujeme jako „zemitokamenité proudy“.

Obsah

1. Úvod	1
2. Časová a obsahová osa projektu	4
3. Terminologie zemito-kamenitého proudu včetně rešerše	11
3.1. Literární rešerše	11
3.1.1. Proudové sesuvy - tečení.....	13
3.1.2. Návrhy definic v českém jazyce	14
3.2. Doplnková rešerše.....	14
3.3. Faktory vzniku svahových proudů charakteru „debris“	14
3.4. Terminologie zemito-kamenitého proudu	17
3.4.1. Popisné charakteristiky ZEKAPR.....	17
4. Přírodní experimentální lokality využité v projektu	21
4.1. Experimentální lokalita Libochovany	22
4.1.1. Projevy ZEKAPR na lokalitě.....	22
4.1.2. Geologický a geomorfologický profil lokality.....	24
4.1.4. Vegetační pokryv a zvěř	37
4.1.5. Vodohospodářská analýza	38
4.2. Experimentální lokalita Zbraslav	42
4.2.1. Projevy ZEKAPR na lokalitě.....	43
4.2.2. Geologický a geomorfologický profil lokality.....	46
4.2.3. Vegetační pokryv a zvěř	52
4.2.4. Vodohospodářská analýza	54
4.2.5. Laserové skenování	59
5. Databáze	62
6. Umělé experimentální lokality a modelování	64
6.1. Popis lokalit	64
6.1.1. Jižní závěrný svah	Chyba! Záložka není definována.
6.1.2. Svahy tzv. staré výsypky s blízkým vodním zdrojem.....	Chyba! Záložka není definována.
6.1.3. Venkovní laboratoř Jirkov	65
6.2. Testování uvažovaných sanačních prvků na zemitokamenité proudy	66
6.3. Pokusy o modelování zemitokamenitého proudu	67
7. Technická opatření	72
7.1. Možnosti údržby sanačních opatření	72
7.2. Odvodňovací opatření	74

7.2.1.	Varianta 1 Příkop TZZ 3 ZA ZDÍ a ochrana kolejového lože	75
7.2.2.	Varianta 1a: Příkop z tvarovek UCB ZA ZDÍ a ochrana šterkového lože 75	
7.2.3.	Varianta 2: Příkopový žlab UCB ZA ZDÍ	75
7.2.4.	Varianta 3 Příkopový žlab VELKÉ J ZA ZDÍ.....	75
7.2.5.	Varianta 3a: Příkopový žlab UCB ZA ZDÍ	76
7.2.6.	Varianta 4: Příkop z tvarovek UCB PŘED ZDÍ.....	76
7.2.7.	Varianta 5 Příkop zřizovaný na místě - „IN SITU“ dle S4 ZA ZDÍ.....	76
7.2.8.	Varianta 5a: Příkop zřizovaný na místě - „IN SITU“ dle S4 ZA ZDÍ – větší rozměr 77	
7.3.	Nové návrhy sanačních opatření	77
7.3.1.	Opatření určená do akumulční oblasti	77
7.3.2.	Opatření pro sanaci transportní oblasti	79
7.3.3.	Opatření pro řešení iniciační oblasti	81
8.	Rizikové faktory podporující vznik ZEKAPR v podmínkách ČR.....	83
8.1	Návrh klasifikace rizika ZEKAPR pomocí metodiky EFR.....	84
9.	Závěr – kol.....	87
10.	Literatura	91
11.	Seznam obrázků.....	92
12.	Seznam tabulek.....	92
Tab.1.....	Přílohy	

Chyba! Záložka není definována.

2. Časová a obsahová osa projektu

Projekt byl řešen dle projektového zadání v devíti etapách. Ve věcném plnění došlo k jedné drobné změně oproti původnímu záměru k prodloužení etapy VI – Modelování. (viz „dodatek č. 2/2012 ke smlouvě FR-TI3/513 o spolupráci na řešení programového projektu ze dne 7. 4. 2011“).

Etapa I. Literární rešerše

V rámci této etapy byla ve spolupráci s Ústřední knihovnou ČVUT v Praze realizovaná literární rešerše. Základní parametry rešerše stanovila Ing. Lenka Štulíková, Ph.D. Celkem bylo navrženo a účastníky projektu schváleno 15 odborných výrazů. Výsledkem rešerše byl soupis literatury (knihy, články, sborníky z konferencí), který se stal podkladem pro další zpracovávání průběžné a roční zprávy za rok 2011. Během projektu vznikla potřeba tuto rešerši průběžně doplňovat, a proto vzniklo několik dílčích doplnění této rešerše.

Etapa II. Kritická analýza

Dne 1. 7. 2011 byl proveden podrobný terénní průzkum tří lokalit, ve kterých došlo v minulosti k projevům bahno-kamenitých proudů. U všech tří lokalit došlo k zastavení nebo omezení provozu na železniční trati (pozemní komunikaci). Na lokalitách byly provedeny různé druhy technických opatření. Při bližším ohledání byla jedna z lokalit vypuštěna, protože havárie byla způsobena nesprávným sanačním zásahem a v současné době již byla napravena. V rámci terénního průzkumu byla sledována účinnost provedených opatření.

Dvě lokality Libochovany – trať Všetaty - Děčín a pravostranný svah Vltavy - trať Vrané nad Vltavou - Praha Zbraslav se staly hlavními výzkumnými lokalitami pro následující kroky.

Byla na nich provedena podrobná pasportizace, nasazená pokusná ochranná opatření a v neposlední řadě byla dlouhodobě sledovaná.

Etapa III. Zhodnocení stávajících sanačních zásahů

V rámci kritické analýzy proběhlo i zhodnocení stávajících sanačních zásahů. Základní zjištění bylo, že klíčové pro jejich funkčnost je možnost jejich jednoduchého vyčištění. Z pohledu údržby se jako nevhodné jeví gabionové konstrukce, které nelze jednoduše čistit pomocí mechanizace, protože je riziko jejich poškození.

Etapa IV. Definice vstupních jevů

Na základě poznatků z předchozích etap vznikl základní přehled faktorů, které podmiňují vznik zemito-kamenitých proudů. Byly vyhodnoceny následující faktory na jejich zpřesňování a doplňování se pracovalo během následujících etap.

- sklon svahu,

- srážky (intenzita, časový průběh),
- vlastnosti ovlivňující celkový odtok:
- geologie,
- půdní skladba,
- vegetační skladba,
- vliv zvěře a člověka na předchozí faktory,
- časová závislost výše uvedených jevů.



Obr. 1. Gabiónová konstrukce, zaplněná a poškozená působením zemitokamenitým proudem, Lokalita Zbraslav.

Etapa V: Zpracování katalogu jednotlivých sanačních metod

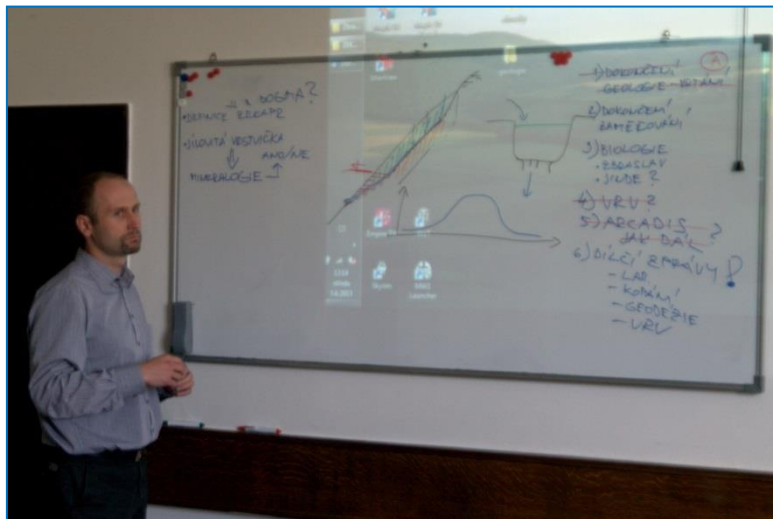
Katalog z různých hledisek (technických, ekonomických, environmentálních apod.) popisuje jednotlivé dosud využívané postupy a metody sanací skalních svahů. Zohledňuje nejen v současnosti využívané metody, ale ohlíží se i do minulosti.

Jeden katalogový list obsahuje:

- název prvku,
- stručný popis prvku,
- fotografii či nákres,
- standardní použití prvku,
- možné alternativní použití prvku, zejména vzhledem k podmínkám ZEKAPR,
- výhody x nevýhody,
- certifikace a zanesení v předpisech (např. TKP, SŽDC S4 apod.),
- pracovní náročnost (položky RTS),
- výrobci (ev. dodavatelé) v ČR a zahraničí.

Etapa VI: Modelování

Problém teoretického modelování zadané problematiky se ukázal značně multioborový. Z tohoto důvodu byly do řešitelského týmu pozvány další subjekty působící jak na ČVUT v Praze, tak v soukromé sféře. Bylo požádáno a schváleno prodloužení této etapy.



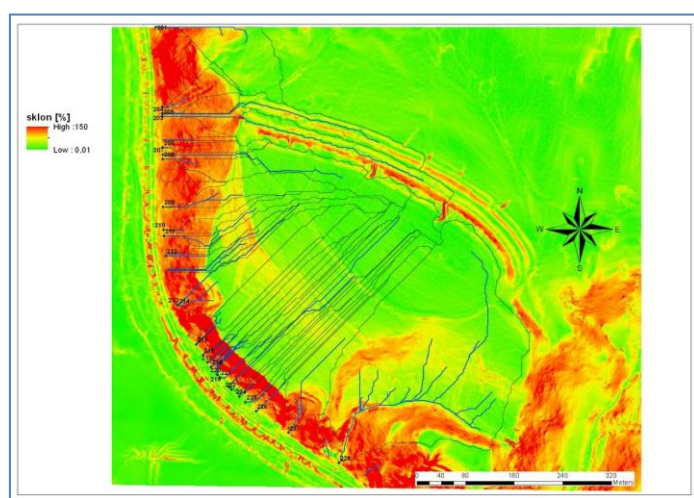
Obr. 2. Pracovní setkání výzkumného týmu na půdě ČVUT.

V části etapy VI, která časově odpovídá roku 2012, byl vybrán zkušební úsek tratě (Ostrov – Vojkovice v Karlovarském kraji), v jehož okolí byla v počítačové simulaci nalezena mikropovodí, která by se mohla stát zdrojem ZEKAPR. Voda, která během srážky spadne do plochy mikropovodí je z mikropovodí odváděna pouze jedinou údolnicí (tak je mikropovodí definováno) a na průsečíku této údolnice s osou trati byl ke každému mikropovodí stanoven tzv. kritický bod. Ke každému kritickému bodu pak byla vypsána jemu náležící data:

- identifikační číslo bodu,
- poloha (vypsána souřadnicemi GPS),
- velikost plochy [m^2],
- průměrný sklon údolnice [%],
- vážený průměrný sklon údolnice (vážený dle délky údolnice) [%],
- velikost plochy [m^2] ve vzdálenosti 75 m od osy trati,
- průměrný sklon údolnice [%] ve vzdálenosti 75 m od osy trati,
- vážený průměrný sklon údolnice (vážený dle délky údolnice) [%] ve vzdálenosti 75 m od osy trati,
- plocha orné půdy [m^2],
- plocha zastavěného území [m^2],
- plocha pastvin [m^2],
- smíšené zemědělské plochy [m^2],

- plocha listnatého lesa [m²],
- plocha jehličnatého lesa [m²],
- plocha smíšeného lesa [m²],
- plocha křovin [m²],
- hodnota křivky CN [-].

V rámci terénního průzkumu dané lokality pak bylo u každého kritického bodu zjištěno, zda se v jeho mikropovodí nachází či nenachází erozní rýha. Tímto postupem byl k datům vypsáním výše přidán i sloupec nul a jedniček, reprezentující přítomnost resp. nepřítomnost ZEKAPR. Pomocí postupů logistické regrese (obor matematické statistiky) bude z těchto dat určena váha jednotlivých faktorů tak, jak se podílejí na vzniku ZEKAPR.



Obr. 3. Rastr sklonu experimentální lokality Libochovany.

Výsledkem první části etapy VI projektu byl matematický model, schopný k vygenerovaným kritickým bodům, při vložení parametrů jednotlivých mikropovodí (viz výčet výše), přiřadit číslo z intervalu $<0; 1>$, které reprezentuje pravděpodobnost vzniku ZEKAPR na tomto mikropovodí (u daného kritického bodu).

V druhé části IV. etapy byla provedena verifikace metodiky na dalších zkušebních úsecích.

Protože poměr jedniček a nul v modelu (viz výše) by se měl blížit poměru 1:1 a vstupní data by měla vykazovat co největší variabilitu, bylo nutné navštívit výrazně více testovacích úseků, než bylo při přípravě projektu uvažováno.

V druhé části etapy VI byla hledána přibližná metoda, jak odhadnout množství splavenin na lokalitě, ve které dochází ke vzniku ZEKAPR. Tento údaj (společně s údajem z předcházející části, tj. informací, kde může ke vzniku ZEKAPR dojít) je stěžejní pro případný návrh opatření proti vzniku ZEKAPR na takových místech. Předpokládá se ověření této metody na lokalitách Libochovany a Zbraslav (viz etapa IV).

Se znalostí informací shromážděných v předešlých etapách byla provedena vodohospodářská analýza vybraných erozních rýh na sledovaných lokalitách. Vzhledem k náročnosti výpočtů byly řešitelským týmem vybrány jen některé rýhy na sledovaných lokalitách, přičemž byly vybrány takové rýhy, které dle nejlepšího odborného názoru řešitelského týmu lze označit v rámci sledované problematiky jako „charakteristické“.

Cílem vodohospodářské analýzy bylo stanovení odezvy erozní rýhy při působení „přívalové“ srážky za daných geomorfologických okrajových podmínek a tím:

- konkrétně určit mechanismus vzniku ZEKAPR,
- získat představu o váze jednotlivých faktorů tvorbu ZEKAPR ovlivňujících,
- určit limitní hodnoty jednotlivých faktorů, při jejichž překročení se významně zvyšuje náchylnost lokality na vznik (či rozvoj) ZEKAPR.

Řešitelský tým přijal v této etapě hypotézu možnosti využití běžných komerčních GIS platforem s nadstavbami z oboru modelování srážko-odtokových vztahů pro identifikaci lokalit ohrožených zemito-kamenitými proudy. Výsledky uvedené ve zprávě (Vlček 2013) nevedly k jednoznačnému závěru a řešitelský tým byl nucen revidovat nebo upřesňovat vstupní parametry. Etapa VI prokázala, že běžné komerční softwary z oboru modelování srážko-odtokových vztahů v území nejsou plně vhodné pro objektivní kvantifikaci rizika vzniku zemito-kamenitého proudu. Výsledky Etapy VI výrazně ovlivnily navazující práce v Etapě VII.

Výsledky etapy VI výrazně pomohly k celkovému poznání problematiky vzniku a šíření ZEKAPR, nicméně přinesly i nové otázky a problémy, se kterými se řešitelský tým bude muset vypořádat. Mezi nejzávažnější poznatky patří zejména:

- skutečnost, že náchylnost ke vzniku a šíření ZEKAPR nelze přisuzovat jednotlivým erozním rýhám, ale spíše lokalitě jako celku (Tzn., je-li na jednom místě erozní rýha náchylná na vznik ZEKAPR, pak i ostatní rýhy v téže lokalitě mají stejnou pravděpodobnost výskytu ZEKAPR.),
- skutečnost, že pro vznik ZEKAPR je nutná nejenom velikost srážky, ale i strmost jejího hydrogramu a že taková to srážka násobně překračuje limity běžných „návrhových“ srážek.

Mezi nejzávažnější problémy, které je třeba upřesnit, patří zejména:

- Způsob měření srážek: extrémní „přívalové“ srážky, které ZEKAPR způsobují, jsou v prostoru značně nerovnoměrně rozloženy. Dále jejich doba trvání je tak krátká a jejich intenzita tak vysoká, že běžně užívané prostředky měření srážek (stanice ČHMÚ s dobou odečtu 15 min.) se ukázaly jako nepoužitelné. Řešením tohoto problému je použít srážkoměrnou síť správce kanalizačního

systému na území Hl. m. Prahy, která je v prostoru výrazně hustší a poskytuje záznam každou minutu.

- Nutnost znalosti podrobné geologie v posuzovaných rýhách resp. lokalitách: znalost geologie se ukázala natolik podstatná, že do posouzení nelze (alespoň v této fázi projektu) vkládat údaje zjištěné z geologických map České geologické služby. Z tohoto důvodu se řešitelský tým rozhodl na vybraných místech ve sledovaných lokalitách provést detailní geologický průzkum.

Etapu VII: Výzkum a vývoj softwaru – I. fáze

Řešitelský tým musel v této Etapě akceptovat výsledky Etapy VI, která prokázala nutnost vývoje širší databáze zemito-kamenitých proudů na území ČR. Bez sběru speciálně definovaných dat o svahových pohybech proudového typu nelze efektivně řešit problematiku zemito-kamenitých proudů a optimalizovat jednotlivé sanační metody. Z tohoto důvodu řešitelský tým vyvinul software – databázovou platformu s názvem „Databáze zemito-kamenitých proudů“ a začal pracovat na její naplnění.

ZEKAPR
ZEMITO KAMENITÉ PROUDY

Mapa Návod Záznamy Dle katastru Přihlásit

Zadávací formulář ke stažení

ŽELENYCE1

Identifikační údaje o záznamu (Stav při pořízení záznamu)

Název lokality	Želenice1
Kód záznamu	A0032
Uzamčeno	Ano
Vyplňováno pouze elektronicky	Ano
Datum a čas vložení (vytvoření) záznamu	08.04.2014 17:27
Vložil	frandofer
Datum a čas poslední modifikace záznamu	14.04.2014 14:19

1. Identifikační údaje o lokalitě Otevřít galerii

Místní název	Želenický vrch
Kraj	Ústecký kraj
Katastrální území	
Souřadnice GPS	
Zeměpisná šířka (N)	50.520903 *

Mapa Satellite

Autobazár Liběšice

LIBEŠICE

Data map ©2013 Google Podmínky použití Nahlásit chybu v mapě

Obr. 4. Ukázka části záznamu v databázi.

Dalším technickým problémem související s identifikací rizika vzniku zemitokamenitých proudů je problém monitoringu srážek. Pro výzkumné aktivity vývojový pracovníci STRIX Chomutov, a.s. zjednodušily systém geologického monitoringu GEMON na jednoduchý a levný srážkoměr, včetně ovládacího SW, který si zachoval dostatečnou přesnost, jenž byla ověřena v laboratořích Fakulty stavební, ČVUT v Praze.

Etapu VIII: Ověření vyvinutého softwaru in situ

Jak bylo popsáno výše (viz etapu VI a VII), řešení předcházejících etap přineslo nové problémy, které bylo před stanovením finální podoby softwaru nutno vyřešit a nové skutečnosti (specifický monitoring srážek), které bylo třeba upřesnit. V rámci této etapy tedy probíhalo doplňování potřebných vstupních dat tak, aby výsledný model predikující vznik a rozsah ZEKAPR poskytoval relevantní předpověď s přesností běžnou technickou praxí. Zejména pak doplňování databáze zemitokamenitých proudů a ověřování prototypů srážkoměru.

V rámci této etapy se také podařilo zachytit dva extrémní srážkové jevy a to konkrétně vydatné deště 2. a 3. 6. 2013, které způsobily rozsáhlé povodně a dále přívalové deště dne 29. 7. 2013 a 3. a 4. 8. 2013. Projevy těchto intenzivních, avšak svým průběhem značně rozdílných, srážek na sledovaných lokalitách poskytly cenné informace umožňující pochopení podstaty problému ZEKAPR.

Řešitelský tým se v této etapě zaměřil také na přípravu typových projektů a na poloprovozní ověření vybraných sanačních metod. Poloprovozní ověření probíhá v prostoru hnědouhelného dolu Tušimice.

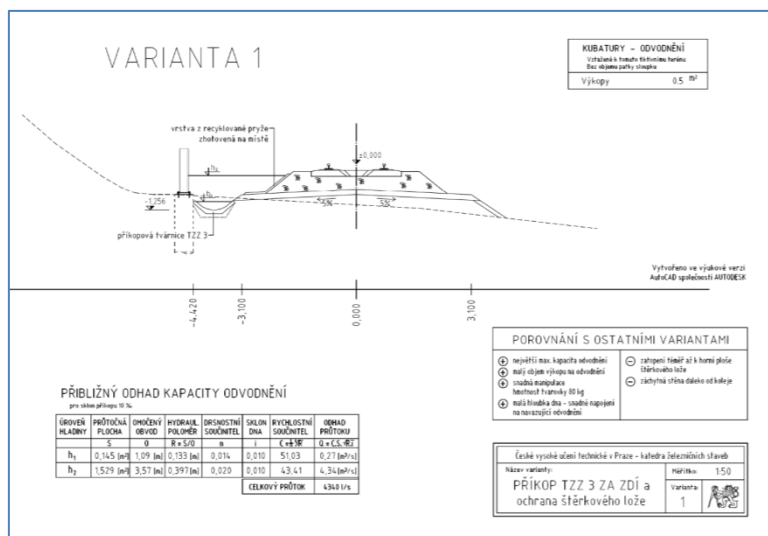
Etapu IX.: Výzkum a vývoj softwaru – II. fáze

Na základě předchozích etap byly zahájeny práce na dokončení SW. Šlo zejména o práce na dokončení grafického a uživatelského rozhraní databáze a ovládacího SW pro srážkoměr. Zajištění možnosti online doplňování databáze. Doplnění informací a zjištění o chování zemitokamenitých proudů do informačně databázového SW, který je k dispozici na www.zekapr.cz

Etapu X.: Zpracování typových projektů

Již během etap VI a VIII došlo k vytvoření návrhů na vhodná sanační opatření a k jejich pokusné instalaci na přírodní i pokusné lokality. Během této etapy bylo dokončeno jejich testování a jeho výsledky byly zohledněny ve finálních verzích typových projektů, těchto sanačních opatření.

Postupovali jsme ve dvou základních liniích. První se dotýkala otázky ochrany kolejového lože, jako prevence před poškozením zemitokamenitým proudem a druhá se věnovala deseti možným technickým opatřením a hodnocení jejich efektivity.



Obr. 5. Ukázka typového projektu: Odvodnění varianta 1.

Etapa XI.: Závěr řešení závěrečná zpráva z prací

Závěrečná etapa byla využita k dokončení všech pozorování a modelování. Byly formulovány závěry a doporučení projektu na jejich základě proběhla aktualizace informačního SW.

V rámci projektu vznikly informační webové stránky projektu, které byly k dispozici na adrese www.zekapr.cz. Jejich součástí byla i pracovní část pro sdílení informací pracovního týmu. Během projektu však byly využity k umístění informačně databázového SW.

3. Terminologie zemito-kamenitého proudu včetně rešerše

Již v samotném názvu projektu se uvádějí dva termíny z oblasti pohybu horninového materiálu po svahu a to výraz „bahnotok“ a výraz „bahno-kamenitý proud“. Důvodem pro nejasné názvosloví bylo, že řešitelský tým nenašel vhodný odborný výraz pro jevy, které reálně proběhly na území ČR a byly příčinou ohrožení silniční nebo železniční dopravy.

Absence vhodného odborného výrazu vedla k vypracování rešerše obsažené v (Lidmila, říjen 2011) a doplňku k rešerši obsaženém v (Pýcha, listopad 2013).

3.1. Literární řešení

V rámci přípravné etapy řešení projektu byla ve spolupráci s Ústřední knihovnou ČVUT v Praze realizovaná literární rešerše. Byly stanoveny základní parametry a rozsah. Celkem bylo navrženo a účastníky projektu schváleno 15 odborných výrazů, na jejichž základě byla zadána literární rešerše. Tyto výrazy jsou přehledně uvedeny v českém a anglickém jazyce v následujícím textu.

Návrhy odborných výrazů (hesel a slovních spojení):

Anglický jazyk:

Český jazyk:

Mudstone flow (flush)	bahno-kamenité proudy
Soilstone flow	zemito-kamenité proudy
Mudflow	bahnotok
Mudslides Research	výzkum bahnitých sesuvů
Landslides	sesuv půdy
Mudstoneslide	bahno-kamenitý sesuv
Debris flow	suťový proudy
Predicting mudflow areas	předpokládaná oblast bahnotoků
Debris flow hazard	rizika suťových proudů
Reinstating of ravines in forestry area	sanace strží v oblasti lesnictví
Reinstating of soilstone (mudstone; debris) flow	sanace zemito-kamenitých pr.
Climate impact on soilstone (mudstone; debris) flow	vliv klimatu na vznik zem.- kam.
Hydrology and soilstone (mudstone, debris) flow	hydrologie a zemito-kamenité proudy
Pedology and soilstone (mudstone, debris) flow	pedologie a zemito-kamenité proudy
Currently slope protection	stávající ochrany svahů (u liniových staveb)

Na základě navržených hesel a slovních spojení bylo vyhledáno a prostudováno v českém jazyce 7 odborných knih, resp. sborníků a výukových materiálů a 4 odborné články. V anglickém jazyce se jednalo o 10 odborných knih, resp. sborníků a 5 odborných článků. Z provedené rešerše uvedené v (Lidmila, říjen 2011) vyplývá, že svahové pohyby můžeme klasifikovat podle dvou základních kritérií, a to rychlost a měřítko procesu.

Měřítko zahrnuje rozsah především území postiženého katastrofou, a dále množství transportovaného materiálu. Územní dopad svahových pohybů bývá většinou pouze

lokální, větší procesy mohou ovlivnit obyvatelstvo na regionální úrovni. Z hlediska rychlosti procesů rozdělujeme svahové pohyby na pomalé, středně rychlé a rychlé (www1). Pro řešení projektu byly dále podrobněji sledovány proudové (svahové) pohyby jako je tečení – bahnotoky, zemito – kamenitými proudy, resp. bahno – kamenitými proudy.

3.1.1. Proudové sesuvy - tečení

Tečení jako svahový pohyb vzniká, pokud je regolit saturován vodou (výjimku tvoří pouze málo časté suché proudy). Voda vytváří vztlačkovou sílu, která způsobuje snižování smykového odporu, a tak i nestabilitu svahu. Pro tečení je charakteristická nepřesně vymezená smyková plocha (na rozdíl od sesuvu) a turbulentní složka pohybu. Vlastní pohyby nazýváme podle převažující povahy transportovaného materiálu. Mohou to být kamenné části, písek, jíl, půda nebo sníh a led. Rozlišujeme tak suťové proudy, půdotoky, bahnotoky, sněhokamenité laviny apod.

Z pohledu celosvětového měřítka tečení (spolu s řícením) klasifikujeme jako rychlé pohyby. Důsledkem většího obsahu vody v materiálu dosahují proudy značných rychlostí, mohou to být desítky až stovky km/h. I unášecí schopnost je vysoká. Tečením bývají přenášeny poměrně velké horninové bloky. Proudové mají rovněž značný erozní a akumulační potenciál. Díky vysokým rychlostem a objemu neseného materiálu představuje tečení poměrně velké riziko pro postižené oblasti. Ničeny jsou stavby všeho druhu a nemalé jsou často i oběti na životech. Příčinou proudů jsou především vysoké srážkové úhrny. V hlavním městě Venezuely, Caracasu, spadlo v prosinci roku 1999 velké množství srážek. Na svazích okolních hor vznikla řada bahnotoků, které si v ulicích metropole nakonec vyžádaly kolem 30 000 lidských životů. Díky klimatickým podmínkám jsou projevy tečení poměrně časté v rovníkových a tropických oblastech.

V porovnání s celosvětovým měřítkem nedochází na území ČR ke svahovému pohybu (tečení) v tak širokém rozsahu a s tak katastrofálními a ničivými důsledky jak je popsáno ve výše uvedeném textu. Nicméně i zde, s ohledem na morfologii terénu a možným extrémním přívalovým srážkám, dochází k proudovým sesuvům. Tyto sesuvy se objevují především v oblasti kopcovitých a horských terénů (např. Moravských Karpat). V místních podmínkách mohou plošné (suché) sesuvy přecházet do sesuvů proudových, jestliže se sesuvné hmoty hromadí v erozní rýze potoka a při dostatečném provlhčení se pohybují k údolí jako úzký proud na značnou vzdálenost. Podle druhu materiálu a jeho konzistence se rozdělují na suťové, zemní a bahenní proudy, resp. jejich vzájemné kombinace. Poloha sesuvu je předurčena rýhou potoka nebo erozní brázdou. Pohyby jsou vyvolávány obvykle při extrémních srážkách, a proto mají zpravidla i rychlejší průběh. Rychlé stékání svahových sutí při extrémních srážkách vzniká často v sypkých, málo soudržných horninách s rychlou saturační vlastností. Tvoří se zpravidla na hranici lesů, v roklicích vyplněných úlomky hornin, na svazích přiléhajících k liniovým stavbám, apod. (www2).

3.1.2. Návrhy definic v českém jazyce

Na základě provedené rešerše navrhl řešitelský tým pracovní definice třech základních termínů a to zemito-kamenitý proud, bahnotok a bahno-kamenitý proud.

Zemito – kamenité proudy jsou soustředění odtok srážkových vod po sklonitém terénu, který dosáhl vysoké unášecí síly, rozrývá a transportuje kvartérní vrstvy (půdní vrstvy, zvětralé horniny). Zemito-kamenitým proudem se může stát podobně jako u bahnotoku za extrémních srážek každý zemní žlábek. Svým tvarem žlábek sbírá z území k němu přiléhající dešťovou vodu a jejím účinkem dochází k rozrývání a unášení půdních vrstev (kvartérních vrstev). Charakteristika území, ve kterém vzniká je velký spád (i více než 50%), velká unášecí síla vody a malé povodí (mikropovodí), které je celé zasažené extrémní srážkou.

Bahnotok je rychlý až katastrofický pohyb směsi sedimentů a vody po svahu. Podmínkou pro jeho vznik je značný obsah jílu a jílovitých zemin a vody. Bahnotoky vznikají v subaerických podmínkách na svazích, které jsou pokryty značnou mocností jílovitých zvětralin a na svažitém dně různých typů pánví. Bahnotoky jsou způsobovány zejména prudkými lijáky, otřesy půdy a porušením stability svahů při rychlé sedimentaci.

Bahno – kamenité proudy můžeme definovat jako kombinaci výše popsaných jevů. Je zde přítomná jak jílovitá frakce, tak i hrubější frakce jemnozrnných zemin, popř. úlomky rozrušených zvětralých hornin.

3.2. Doplnková rešerše

Základní rešerši bylo nutné doplnit o podrobnou rešerši zaměřenou především na anglický výraz „debris“, který vykazoval největší podobnost k navrhovanému výrazu zemito – kamenitý proud. Doplnující rešerši zpracoval (Pýcha, listopad 2013) a v závěru rešerše je navrženo, aby výraz zemito-kamenitý proud byl překládán jako debris flood – suťový proud. Současně je v doplňující rešerši navrženo, aby výraz zemito-kamenitý proud nebyl zaváděn a byl používán výraz suťové splavování. Řešitelský tým návrh na označení zemito-kamenitých proudů jako suťové splavování neakceptoval.

Doplňková rešerše graficky zpracovala na základě analýzy zahraniční literatury vztah zemito-kamenitých proudů (ZEKAPR) k vybraným faktorům (sklonu svahu, rychlosti jevu, přítomnosti smykové plochy, obsahu vody a velikosti zrn) viz obr. 1.

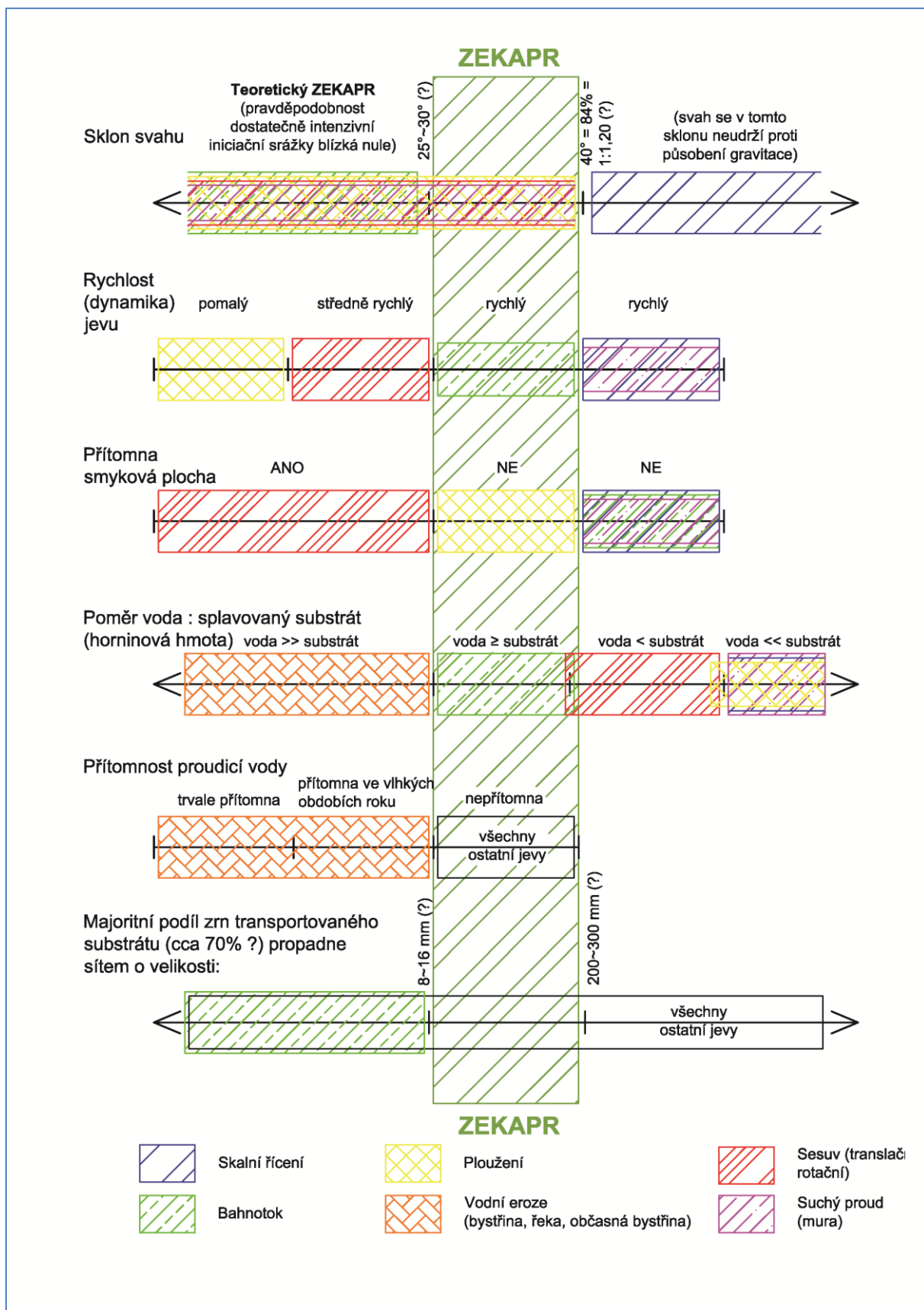
3.3. Faktory vzniku svahových proudů charakteru „debris“

Dílčím výsledkem základní a doplňující rešerše bylo definování možných faktorů, které působí na vznik svahových proudů charakteru „debris“ uváděných v literatuře viz tab. 1.

Znalost relevance a definování váhy jednotlivých faktorů v podmínkách ČR byly pro řešitelský tým klíčovými cíli v dalších etapách řešení projektu.

Možné faktory ovlivňující vznik svahových proudů

Název faktoru	Poznámka
sklon svahu	průměrný sklon, vážený sklon údolnic, délka
horninové prostředí	mocnost kvartéru, charakter zvětrávání, foliace, typ matečné horniny, propustnost, vlastnosti svahového pokryvu
půdní skladba	mocnost, půdní typ
vegetační pokryv	les, křoviny, stromový zápoj
srážky	intenzita, délka, opakování, extrémní srážky
hydrologie	přítomnost pramenů, hladina podzemní vody
velikost povodí	velikost plochy mikropovodí
zvěř	vliv na pokryv a vegetaci, trvalé spásání a ničení porostu
antropogenní	zemědělství, stavební a výrobní činnost



Obr. 6. Grafická poloha jevu ZEKAPR k vybraným faktorům

3.4. Terminologie zemito-kamenitého proudu

Na základě výsledků a zkušeností dosažených v rámci projektu navrhl řešitelský tým definici zemito-kamenitého proudu:

Zemito-kamenitý proud, zkráceně ZEKAPR, je možno v podmínkách České republiky charakterizovat jako závěrečnou fázi proudové eroze na svazích se sklonem 30° až 55° s řídkým vegetačním pokryvem. Spouštěcím mechanismem je extrémní srážka s krátkou časovou působností, řádově v minutách. Na svahu nevzniká smyková plocha, jako u sesuvů. Vlastní zemito-kamenitý proud je tvořen směsí vody, horniny, zeminy a organických zbytků. Vzhledem k vysokému obsahu vody se směs chová jako kapalina. Pro svůj pohyb po spádnicí obvykle využívá v ploše svahu přirozené terénní deprese nebo již vyvinuté rýhy a strže. Nebezpečí zemito-kamenitých proudů nespočívá v dynamice jevu, jako je tomu v alpských zemích, ale v množství a charakteru transportovaného materiálu.

3.4.1. Popisné charakteristiky ZEKAPR

Řešitelský tým vypracoval možné průvodní znaky insitu georizika ZEKAPR, které umožňují rychlou orientaci. Průvodní znaky jsou uvedeny v tab. 2.

Průvodní znaky ZEKAPR insitu

Průvodní znak	Popis
suťový kuželík	splavená suť (suť se zeminou), navršená u úpatí svahu či terénní rýhy do tvaru kuželíku (obr. 7)
suťový jazyk	splavená suť (suť se zeminou), „rozlitá“ u úpatí svahu či terénní rýhy do podoby jakéhosi „vějíře“
příkop zanesený materiálem ze svahu	
propustek zanesený materiálem ze svahu	
náhle zanesené kolejové lože	náhle ve smyslu, že na okolních částech trati (před a za sledovaným místem, které samo měří např. do 20 m) je kolejové lože čisté (evidentně nejde o rovnoměrné přirozené zanesení kolejového lože způsobené užíváním trati, ale lože je zaneseno pouze lokálně např. materiálem splavovaným ze svahu)
náhle zarostlé kolejové lože	zanesené kolejové lože snadněji zarůstá bylinami, v kombinaci s předchozím bodem tedy můžeme často pozorovat čisté kolejové lože s krátkým zarostlým a zaneseným úsekem
erozní rýha	obr. 8, obr. 9
suťové pole na strmém svahu	obr. 10
místo bez jakékoli vegetace (které není zároveň skalním výchozem) na strmém svahu	obr. 11
šikmo rostoucí stromy signalizující ploužení (tzv. opilé stromy)	obr. 12



Obr. 7. Příklad suťového kuželíku vzniklý důsledkem ZEKAPR



Obr. 8. Erozní rýha



Obr. 9. Erozní rýha, suťové kuželíky a deformace záchytného prvku



Obr. 10. Suťové pole na strmém svahu



Obr. 11. Strmý svah bez vegetace



Obr. 12. Příklad šikmo rostoucích stromů – „opilé stromy“

Pro snadný popis ZEKAPR a orientaci vzhledem k délce svahu navrhl, řešitelský tým tři charakteristické oblasti. V horní části svahu se nachází iniciační oblast ZEKAPR, ve střední části svahu se nachází transportní oblast ZEKAPR a při patě svahu se nachází sedimentační oblast. Obdobné názvosloví se používá v oboru protierozní ochrana.

Obdobně jako zahraniční vědecké týmy věnující se problematice „debris“, využil řešitelský tým projektu k výzkumu zemito-kamenitých proudů tři základní typy prostředí:

- přírodní experimentální lokality,
- „umělé“ experimentální lokality,
- laboratorní prostředí.

V prvních letech řešení projektu řešitelský tým využíval především přírodní experimentální lokality.

4. Přírodní experimentální lokality využité v projektu

Cílem experimentálních přírodních lokalit bylo přesně definovat a popsat faktory, příčiny a důsledky vzniku ZEKAPR. Celkem bylo popsáno 6 přírodních lokalit označených geografickými názvy viz tab. 3. Lokality Libochovany a Zbraslav byly řešitelským týmem označeny za hlavní experimentální lokality, na kterých byl proveden podrobný komplexní průzkum příčin vzniku ZEKAPR. Lokalita Ostrov byla použita jako referenční lokalita.

Označení přírodních experimentálních lokalit

Označení lokality	Výskyt jevu ZEKAPR v minulosti
Libochovany	ano
Zbraslav	ano
Hedvikovská rokle	částečně ano
Štikov	částečně ano
Bystřice	ano
Ostrov	ne

4.1. Experimentální lokalita Libochovany

Lokalita s pracovním označením „Libochovany“ se nachází na trati č. 072 (dle KJŘ) v km 416,000 až km 416,750 mezi obcemi Libochovany a Velké Žernoseky. Sledovaný úsek trati 072 se nachází na pravém břehu řeky Labe v místě zvaném Porta Bohemica (Brána Čech). Trať ve sledovaném úseku je dvojkolejná s klasickou konstrukcí železničního svršku a je vedena v odřezu. Sledované území je pak položeno ve strmém svahu nad tratí, kde dochází k tvorbě ZEKAPR, které mohou při nepříznivých situacích ohrozit drážní dopravu, jak se to již stalo v minulosti. Lokalita byla podrobně popsána v Pasportizační zprávě (Lidmila, a další, 2013).

Dne 27. 5. 2007 v 18 hodin 50 minut došlo k ohrožení železničního provozu ve sledovaném úseku vlivem svahových pohybů – sesuvu a splavení zemito-kamenitých částí ze svahu nad tratí 072 v km 416,000 až 416,750. Jak uvádí (Lidmila, 2007), „došlo ke zbahnění kolejového lože v obou kolejích, k zavalení odvodňovacích příkopů a narušení svahu jak nad tratí, tak i pod ní.“ Obr. 13 a Obr. 14 jsou zdokumentovány následky popisované události.

4.1.1. Projevy ZEKAPR na lokalitě

Zemito-kamenité proudy (ZEKAPR) jsou na lokalitě pozorovány od události, která je popisována v minulé části. Během času vytvořily ZEKAPR na svahu nad tratí celkem devět hlavních erozních rýh. Během více jak pětiletého pozorování dané lokality se jejich poloha nezměnila a nedošlo ani k vytvoření žádné další hlavní erozní rýhy. Přibližná kilometráž jednotlivých erozních rýh je uvedena v Tab. 4 a zakreslena do panoramatického snímku lokality Libochovany.



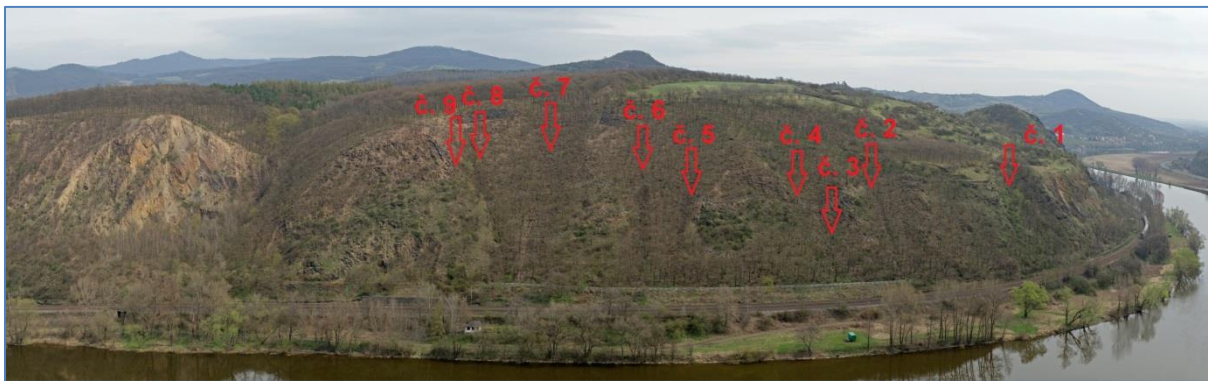
Obr. 13. Zbahnění kolejového lože 2. traťové koleje



Obr. 14. Podemletí a následný dílčí sesuv náspu trati

Označení a kilometrická poloha erozních rýh

Erozní rýha č.	Kilometrická poloha [km]
1	416,475
2	416,550
3	416,560
4	416,580
5	416,650
6	416,670
7	416,715
8	416,740
9	416,820



Obr. 15. Panoramatický snímek lokality Libochovany s označením erozních rýh

4.1.2. Geologický a geomorfologický profil lokality

Předmětné území se nachází na pravém břehu řeky Labe mezi obcemi Libochovany a Velké Žernoseky v místě nazvaném Porta Bohemica. Svah nad tratí je součástí krystalinika Opárenské údolí a České Brány. Předkvartérní podloží je tvořeno dvojslídnyými rulami až magmatity stáří spodní paleozoikum – proteozoikum. Kvartér tvoří nepravidelná poloha deluviálních hlinitokamenitých uloženin o mocnosti do 1,5 m (dále v textu je používán termín svahový pokryv). Ve svahu jsou četné skalní výchozy. Geologický profil lokality obnažený v místě bývalého lomu (na hranici zájmového území) je patrný z Obr. 11. Svah je ukloněn k západu a je více méně plynulý pod úhlem 30 až 40°, průměrně 33°. Nadmořská výška lokality se pohybuje v rozmezí 150 až 240 m n. m. Území je na severu a jihu omezeno starými lomy z doby výstavby trati. Na východě končí svah terénním stupněm a sousedí s prehistorickým hradištěm Hrádek (264 m n. m.).

V rámci výzkumného projektu byly provedeny následující práce vztahující se k problematice geologie se zaměřením na svahový pokryv:

- geofyzikální měření,
- kopané sondy,
- vrtané sondy

4.1.3. Geofyzikální měření

Cílem geofyzikálního měření bylo posoudit z pohledu geofyzikálního zájmové místo o rozloze cca 150×100 m a vytvořit komplexní obraz o polohách a vlastnostech svahového pokryvu. Geofyzikální měření provedla firma G IMPULS Praha spol. s r.o., Přístavní 24, 170 00 Praha 7 v roce 2013. Výsledky geofyzikálního měření jsou uvedeny v (Bárta, 2013).

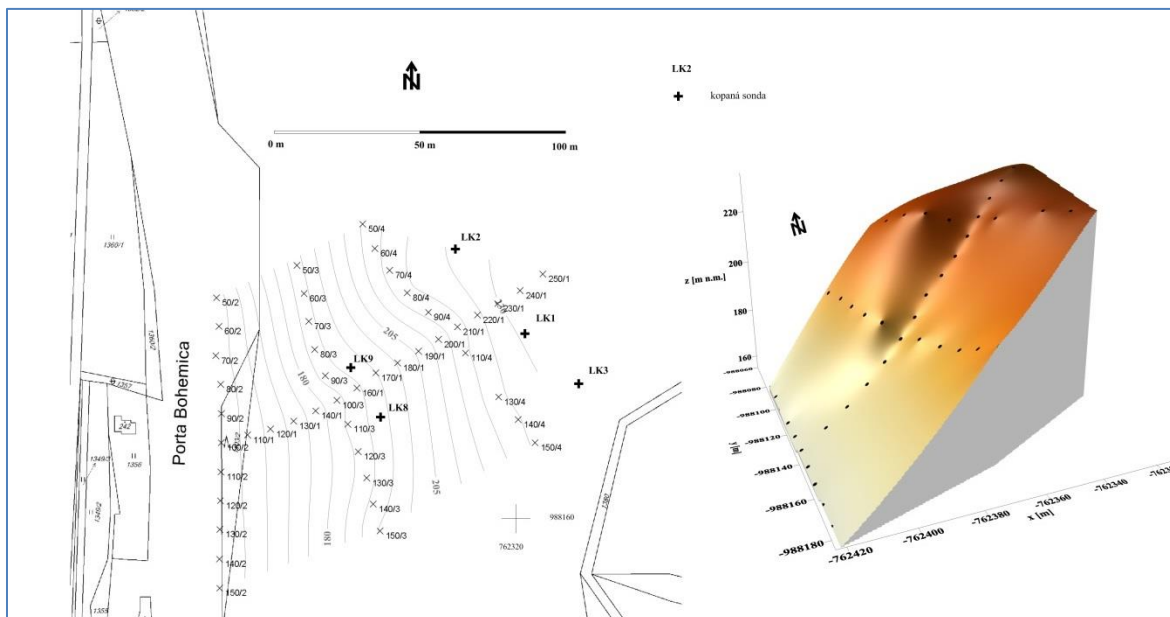
Na zájmové lokalitě byly vytyčeny čtyři profily, jeden (P1) vedený po spádnicí a středem území. Tři další profily (P2, P3, P4) byly vytyčeny kolmo na základní profil a

byl vytvořen 3D model řešeného území viz obr. 12. Na profilech byla realizována metoda seismická a metoda odporového multielektrodového profilování (odporová tomografie).



Obr. 16. Obnažený geologický profil lokality

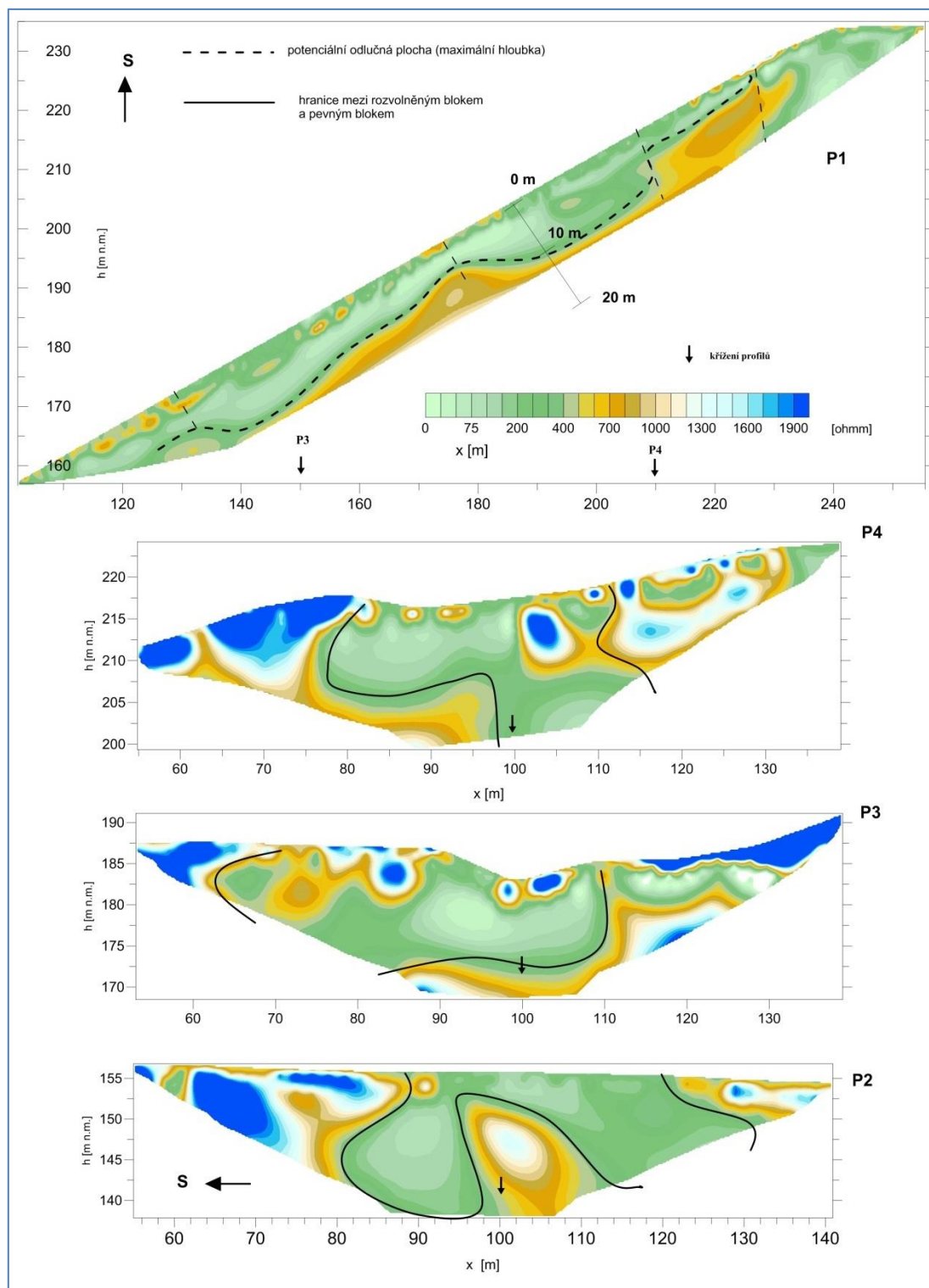
Pro sledování stavu horninového masivu byla použita seismika ve variantě mělké kladivové seismiky. Seismické vlny procházejí geologickým prostředím, odrážejí se od seismických rozhraní a lámou se na nich a přinášejí informace o mělké stavbě. Nezpevněné pokryvné uloženiny mají nižší rychlosti (stovky m/s), skalní podloží se vyznačuje rychlostmi tisícovek m/s. Pro kombinovaná profilově sondážní odporová měření realizovaná vyspělou přístrojovou technologií ve spojení s řídicím počítačem se používá název metoda odporové tomografie (resp. odporová metoda s multielektrodovým uspořádáním).



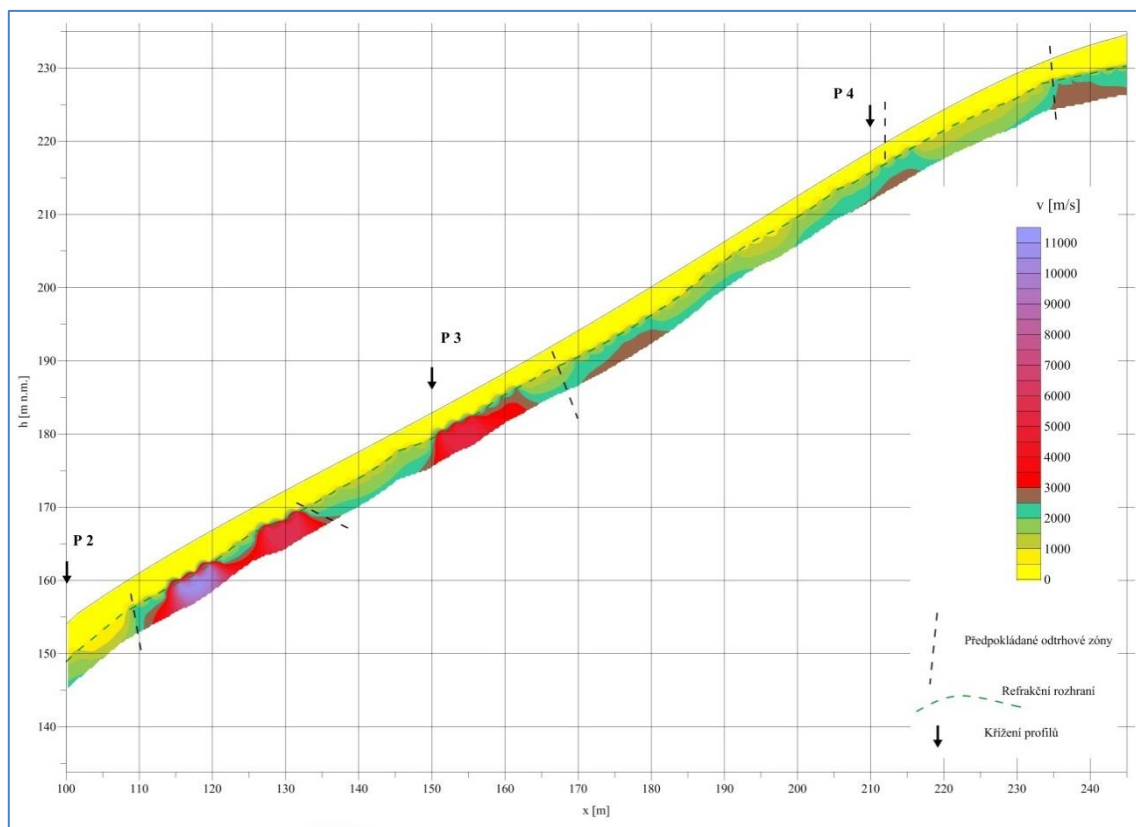
Obr. 17. Vrstevnicová mapa a 3D model územní s geofyzikálním průzkumem

Výsledky odporové tomografie jsou zobrazeny na obr. 13. Z odporových řezů plyne, že v celé délce profilu P1 (ten je veden po spádnicí středem zájmového území) se nachází podloží o vysokých odporech (více jak 500 ohmm), které se ale objevuje v zásadě až v hloubce kolem 5 až 10 m. V nadloží jsou odpory o hodnotách prvních stovek ohmm. Tyto velikosti odporů odpovídají hlinitým až hlinitokamenitým svahovinám. Poznamenáváme, že přímo při povrchu terénu (1-2 m) místy odpory opět stoupají. Tento jev není překvapivý, jde o kamenitohlinité sutě, které byly v době geofyzikálního měření prakticky suché. Na příčných profilech P2, P3, P4 jsou geoelektrické poměry obdobné (tj. snížené odpory o mocnosti 10 i více metrů), a to na vzdálenost asi 20 m na obě strany od profilu P1. Dále, v širším okolí, se vyskytují již převážně horniny s odpory nad 500 ohmm.

Výsledky seismické metody jsou zobrazeny na obr. 14. Z řezů je zřejmé, že seismika detekuje refrakční rozhraní v hloubce kolem 5 metrů, lokálně i více metrů. Refrakční rozhraní jsou taková rozhraní, kde v nadloží se nacházejí horniny o nižších seismických rychlostech než v podloží. V našem případě se v nadloží nacházejí horniny o rychlostech kolem 500 m/s. Tyto hodnoty rychlostí indikují opět přítomnost zemin, v zásadě hlinitokamenitých sutí. Hlouběji se nacházejí horniny o rychlostech větších jak 1000 m/s (vesměs v širokém pásmu kolem 2000 m/s). Tyto hodnoty odpovídají horninám v zásadě skalního charakteru, které jsou však při povrchu silně rozpukané. Při podrobnějším porovnání seismických a odporových měření lze vysledovat místa, která lze označit za potenciální pro vznik tak zvaných odtrhových zón. Odtrhovými zónami jsou míněna místa, kde dochází k odtržení sesouvajících se hmot vůči svahu, který zůstává dále bez pohybu. Na základě naší interpretace předpokládáme, že kolem profilu P1 (profil jdoucí po svahu) můžeme očekávat za nepříznivých okolností svahový pohyb o šířce asi 25 m.



Obr. 18. Multielektrodová odporová tomografie P1 podélný řez, P2-P4 příčné řezy

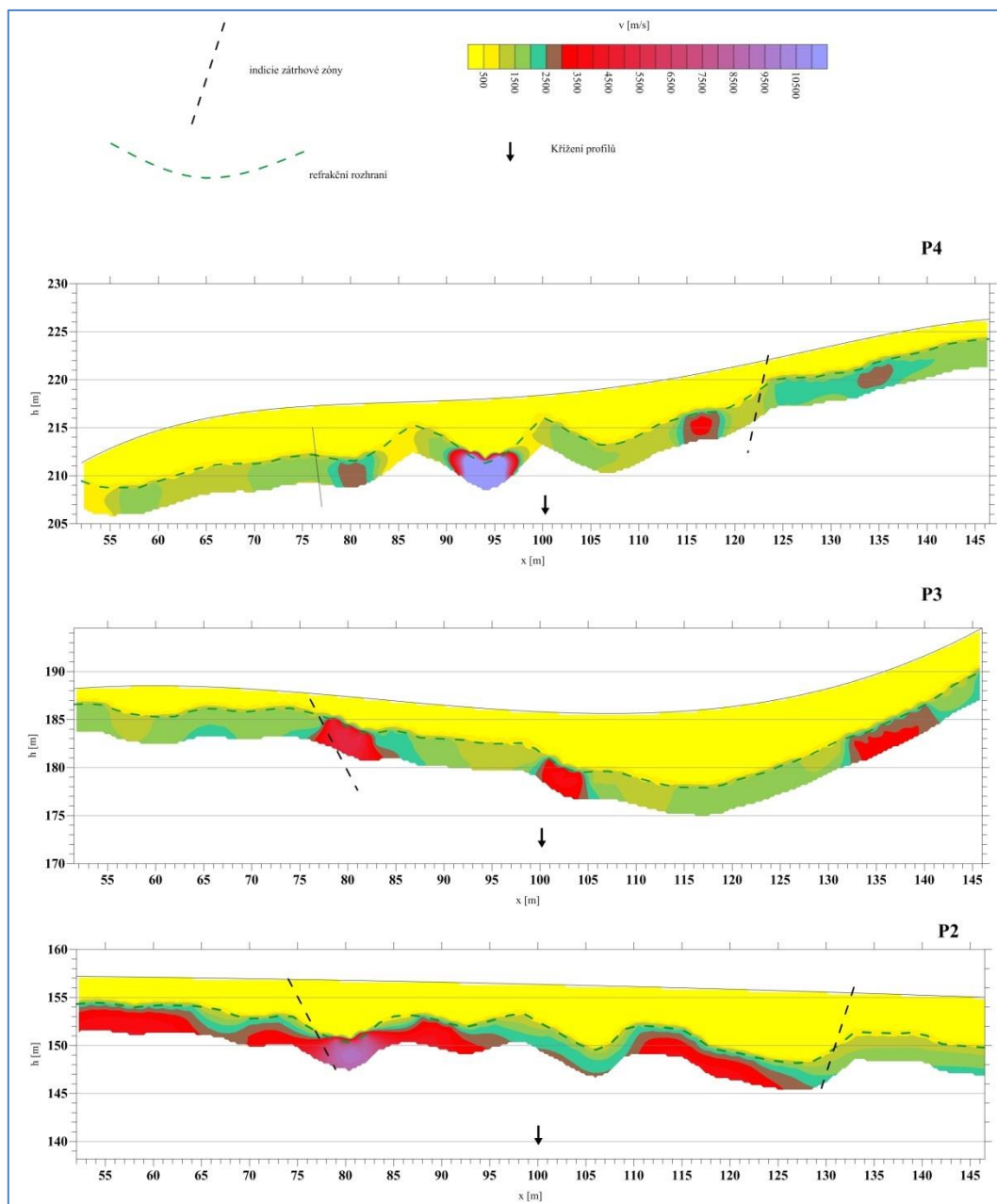


Obr. 19. Profil P1 - seismický řez,

Shrňme-li výsledky dostupné z dosavadních seismických a odporových měření a přihlédneme-li k rozsáhlým zkušenostem, které byly získány v ČR zejména mezi roky 1997 až do dnes se vznikem sesuvů v důsledku přívalových dešťů, lze připustit pro studovanou lokalitu tři nepříznivé scénáře:

- vznik zemito-kamenitých proudů - ZEKAPR,
- vznik sesuvu svahového pokryvu,
- kombinace sesuvu a skalního řícení.

Dílčí zemito-kamenité proudy vzniknou po vydatných deštích, blížících se přívalovým. Dojde k nasycení a rozvolnění přípovrchové vrstvy o mocnosti asi 1 až 2 m. Tato vrstva se dá do rychlého pohybu, který bude mít charakter zemito-kamenitého proudu (autor uvádí výraz půdotok). Možnost vzniku takového pohybu je v našem případě predisponována existencí přípovrchové polohy kamenitohlinitého charakteru, která se projevuje zvýšenými odpory. Zejména z výsledků odporové tomografie lze předpokládat v zájmové lokalitě pohyb svahového pokryvu v pásu kolem 40 až 50 m. Vzhledem k délce místa postiženého zemito-kamenitým proudem (cca 100 m) lze očekávat, že by se tak dala do pohybu hmota, která má objem 6 661 m³.



Obr. 20. Profil P2, P3, P4 - seismický řez

Scénář nazvaný sesuv svahového pokryvu předpokládá intenzivní přívalový déšť. V první fázi vznikne pohyb typu ZEKAPRU, po kterém se dá do pohybu veškerá hlinitokamenitá suť situovaná nad refrakčním rozhraním o mocnosti kolem 5 m. Vzhledem k délce místa postiženého místa (cca 100 m) lze očekávat, že se tak dá do pohybu hmota, která má objem 20 899 m³.

Na základě výsledků odporového měření jsou sesuvné pohyby kombinaci se skalním řícením málo předpokládaným scénářem. Odporové měření zastihlo horniny o vysokém měrném odporu, které se vesměs nacházejí i hlouběji než se nachází refrakční (seismické) rozhraní. Z toho lze soudit, že horniny nacházející se pod refrakčním rozhraním, jsou zřejmě kompaktnější, ale hustě blokově rozpukané a

zvodnělé. Jejich dlouhodobou degradací (zvětráváním) či jejich velmi intenzivním zvodněním by mohlo dojít k třetí (málo pravděpodobné) variantě sesuvných pohybů. Pohyb hmot by měl mít spíše skalního zřícení a pravděpodobně by nemohl proběhnout v jedné krátkodobé fázi. Vzhledem k délce postiženého místa (cca 100 m) lze očekávat, že se tak dá do pohybu hmota, která má objem až 31 077 m³.

4.1.3.1. Kopané sondy

Výsledky geofyzikálních měření detekovaly v hloubce do 2,0 m zeminy a horniny charakteru hlinitokamenité suti, která je hlavním zdrojem pevné složky v zemito-kamenitém proudu na této lokalitě. Pro odběr zkušebních vzorků této vrstvy a korelace výsledků geofyzikálních měření byly provedeny ve dvou charakteristických erozních rýhách kopané a vrtané sondy. Celkem bylo provedeno 9 kopaných a 4 vrtané sondy. V tab. 5 jsou uvedeny označení kopaných sond včetně informace, zda leží v oblasti provedených geofyzikálních měření a zda byl v místě kopané sondy proveden jádrový vrt.

Seznam kopaných sond

Označení kopaných sond	Geofyzikální průzkum	Jádrový vrt
LK1	ano	ano
LK2	ano	ano
LK3	ne	ano
LK4	ne	ne
LK5	ne	ne
LK6	ne	ne
LK7	ne	ne
LK8	ano	ne
LK9	ano	ne

Cílem kopaných sond byl průzkum vrstvy svahového pokryvu a definování jeho vybraných vlastností na základě laboratorních zkoušek odebraného materiálu. Kopané sondy byly prováděny ručně do maximální hloubky 1,6 m (obr. 16). V průběhu provádění sond byly odebírány laboratorní vzorky. Celkem bylo odebráno 17 ks laboratorních vzorků, které byly předány do akreditované laboratoře zemin a hornin firmy ARCADIS CZ, a.s. (účastník projektu). Na vzorcích byly provedeny laboratorní zkoušky uvedené v tab. 6. Typy laboratorních zkoušek byly zvoleny řešitelským týmem s ohledem na analýzu faktoru nazvaného horninové prostředí viz tab. 1.

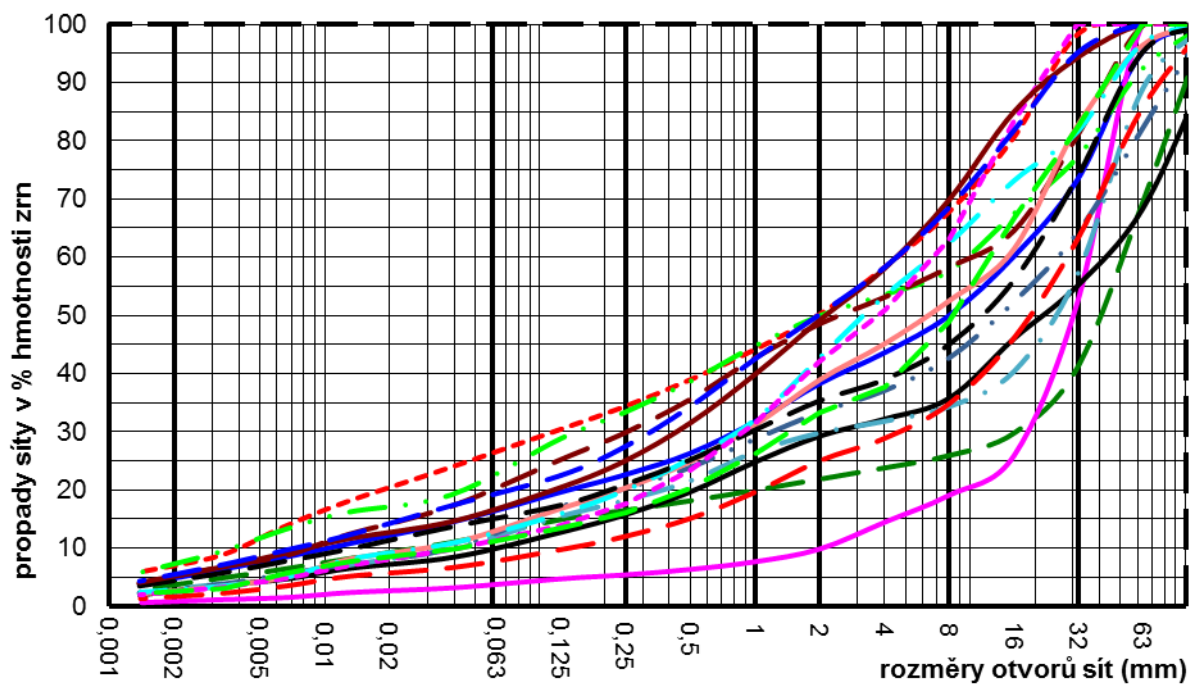


Obr. 21. Pohled na kopanou sondu LK 6, celkový pohled a detail horních vrstev

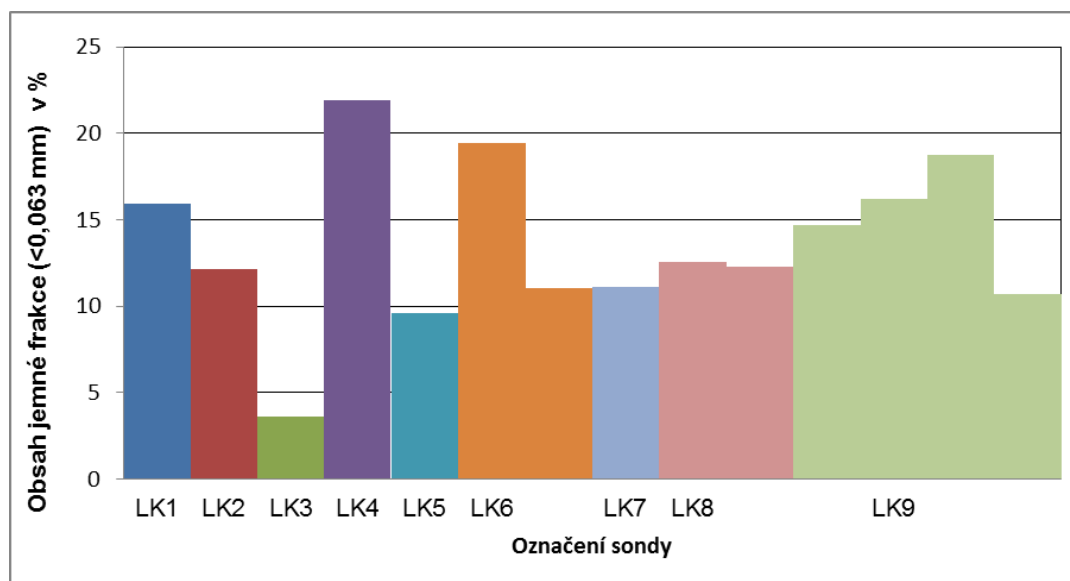
Typy laboratorních zkoušek a počet zkoušek

Název laboratorní zkoušky	Postup	Počet
Zrnitost	ČSN CEN ISO/TS 17892-4	17
Vlhkost na mezi tekutosti pokleповá metoda	ČSN CEN ISO/TS 17892-12	15
Vlhkost na mezi plasticity	ČSN CEN ISO/TS 17892-12	15
Tvarový index stanovení tvaru zrn	ČSN EN 933-4	14
Odolnost proti zmrazování a rozmrazování	ČSN EN 1367-1	14
Pevnost v prostém tlaku	ČSN EN 12390-3, ČSN CEN ISO/TS 17892-7 (krychle i hranol)	7
Pevnost na nepravidelných úlomcích	Metodiky laboratorních zkoušek v mechanice zemin a hornin III (ČGÚ)	2

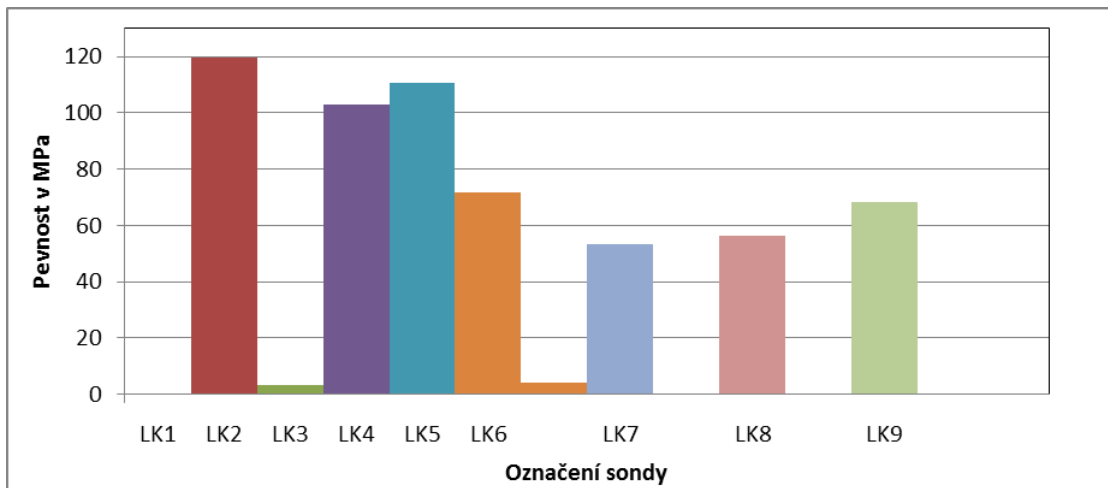
Výsledky a protokoly laboratorních zkoušek jsou uvedeny ve zprávě (Němečková, a další, 2013). Souhrnný výsledek zkoušek zrnitosti je uveden graficky na obr. 16 a doplněn o grafické vyjádření podílů jemné frakce ($< 0,063$ mm) viz obr. 17. Výsledky pevnosti horniny jsou uvedeny na obr. 18. Výsledek stanovení tvarového indexu zrn je uveden na obr. 19. Na obr. 20 a obr. 21 jsou souhrnné výsledky odolnosti zrn proti zmrazování a rozmrazování.



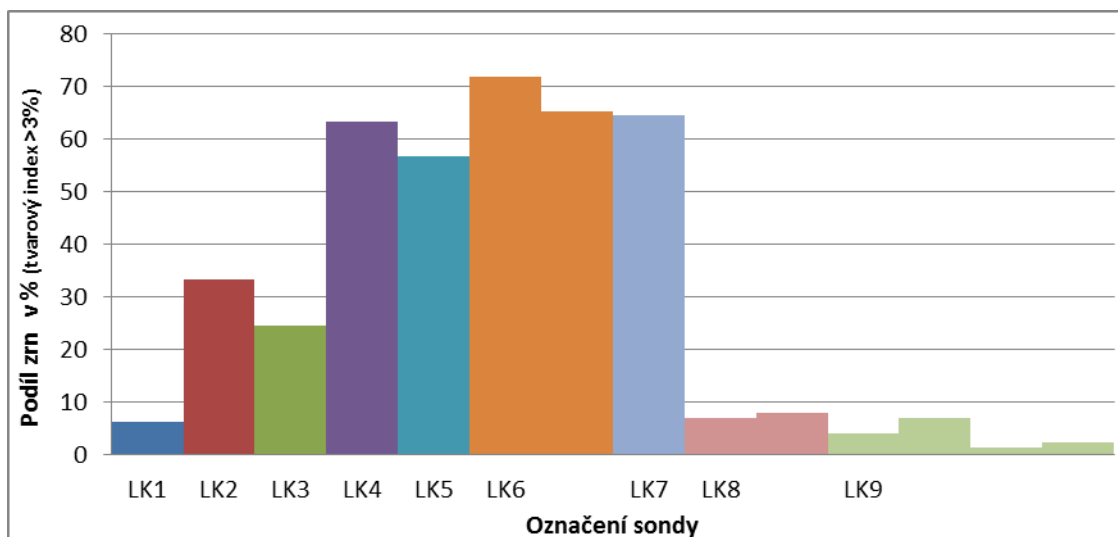
Obr. 22. Souhrnné výsledky laboratorní zkoušky zrnitosti – křivky zrnitosti



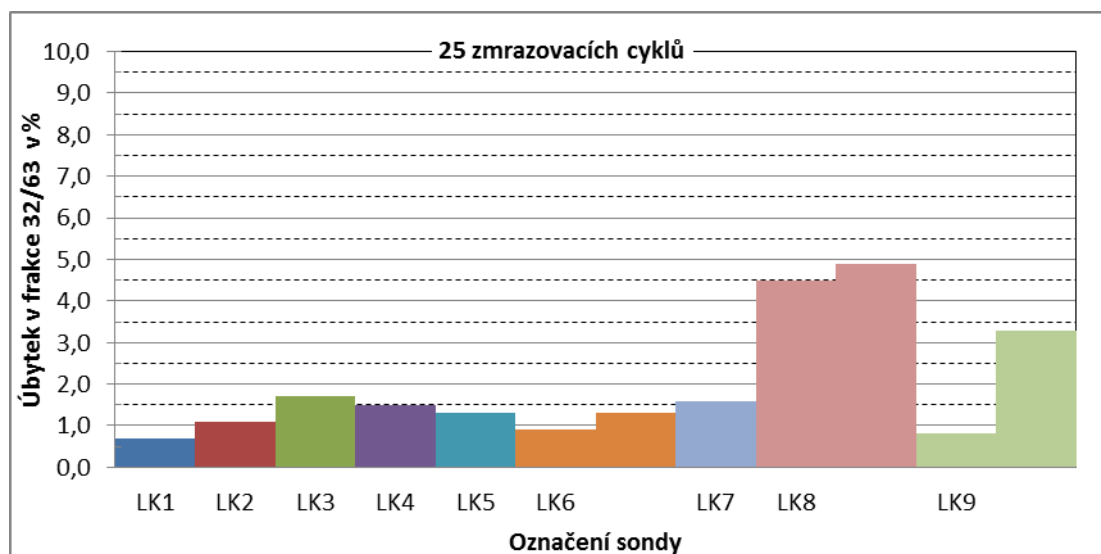
Obr. 23. Podíl obsahu jemné frakce



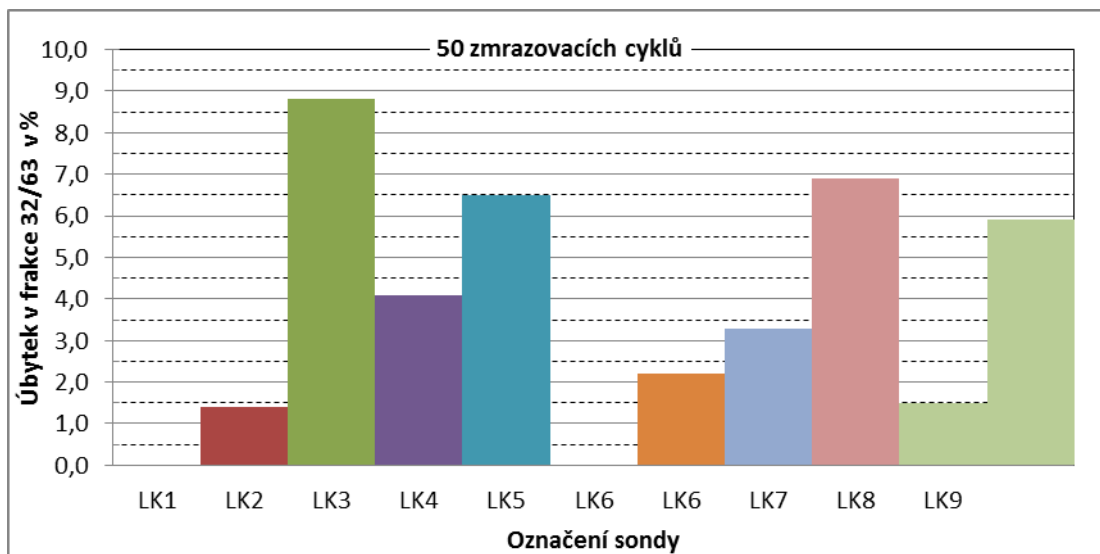
Obr. 24. Výsledky zkoušek pevnosti v prostém tlaku a pevnosti na nepravidelných tělesech



Obr. 25. Výsledky zkoušek tvarového indexu



Obr. 26. Výsledky zkoušek odolnosti proti zmrazování a rozmrazování – 25 cyklů



Obr. 27. Výsledky zkoušek odolnosti proti zmrazování a rozmrazování – 50 cyklů

4.1.3.2. Vrtané sondy

Cílem vrtaných sond bylo ověření polohy skalních hornin. Jako první byla provedena experimentální sonda. Umístění sondy bylo v oblasti erozní rýhy č. 8 cca 3 m od horní hrany svahu. Vrtání bylo provedeno ruční vrtací technikou s pomocí kotvené vrtací základny viz obr. 23. Byla použita technologie maloprofilového jádrové vrtání s vodním výplachem. Průměr vrtáku byl 100 mm. Vlastní vrtání probíhalo ve složitých podmínkách. Výnos jádra byl velice špatný především v úseku svahových uloženin, kde se střídaly polohy měkké s ojedinělými pevnými zrnny rul. Vzhledem k mimořádně špatným podmínkám rozhodl řešitelský tým dále pokračovat pouze v omezeném rozsahu. Bylo rozhodnuto dokončit experimentální sondu označenou jako LV-ex a dále pokračovat pouze v sondách LK1-V, LK2-V a LK3-V. Současně byla navržena změna technologie vrtání a kopaných sond. V rámci realizace kopaných sond bude na dno kopané sondy vložena PVC trubka o průměru 120 mm. Tato trubka umožní zapažení svahových uloženin a vlastní vrtání skalního podloží bude provedeno pod její ochranou. Pohled na instalaci PVC pažnice je na obr. 24. Pohled na jádro vrtu v sondě LK 1 je na obr. 25. Vzhledem ke kvalitě vlastních vrtných jader a náročnému provádění byly vrty provedeny pouze v sondách LK1, LK2 a LK3. Pro laboratorní zkoušky nebyly odebrány žádné vzorky. Souhrn vrtných hloubek je v tab. 7.



Obr. 28. Pohled na ruční vrtací soupravu při experimentálním vrtu



Obr. 29. Pohled na osazování PVC pažnice v kopané sondě



Obr. 30. Pohled na jádro vrtu ve vzorkovnici - sonda LK1

Seznam vrtů a jejich celková hloubka

Označení vrtu	Průměr vrtáku mm	Celková hloubka m	Poloha skalního podkladu m
LV-ex	100	1,0	0,8
LK1-V	50	2,5	2,1
LK2-V	100	3,0	1,8
LK3-V	50	5,0	1,0

4.1.3.3. Závěr kopaných sond a jádrových vrtů

Pomocí kopaných sond, jádrových vrtů a laboratorních zkoušek lze svahové uložení na lokalitě Libochovany charakterizovat jako:

- štěrk s příměsí jemnozrnné zeminy,
- namrzavé,
- mocnost do 2,0 m,
- štěrková zrna citlivá na mrazové cykly a rychle degradují,
- štěrková zrna mají převážně deskovitý charakter,

- pevnost horniny v prostém tlaku se pohybuje od 50,0 – 120 MPa,
- skalní podklad rozpukaný, vrstevnatý, vrstvy ukloněny do svahu.

Norma ČSN 733251 uvádí charakteristické vlastnosti pro metamorfované horniny – ruly: pevnost v prostém tlaku 120-250 MPa; 2650-2750 kg.m⁻³; 0,1-1,2% nasákavost.

Norma ČSN EN 13242 uvádí kategorie odolnosti proti zmrazování a rozmrazování. Kategorie F1 požaduje maximální hodnotu ztrátu hmotnosti ≤ 1,0%, pro kategorii F4 ≤ 4,0% a pro hodnotu větší než 4,0% se již jedná o kategorii F_{NR} bez požadavku.

Výsledky kopaných sond, jádrových vrtů a laboratorních zkoušek korespondují s výsledky geofyzikálních měření.

4.1.4. Vegetační pokryv a zvěř

Dendrologickobotanický popis lokality provedl (Bach, 2013). Po dendrologické stránce se jedná o téměř monokulturní porost dubu zimního (drnák) – *Quercus petraea*, který zde tvoří odhadem kolem 90% vzrostlého stromového porostu. Zbytek stromového patra je pak dále zastoupen javorem babykou – *Acer campestre*, habrem obecným – *Carpinus betulus* a ojediněle i třešní ptačí – *Prunus avium* a javorem klenem – *Acer pseudoplatanus*. V horní části se vcelku hojně vyskytuje trnka obecná – *Prunus spinosa*.

Z dendrologického hlediska lze podle výskytu dubu zimního a ořešáku královského usuzovat, že lokalita má vcelku propustnou, na živiny bohatou a vlhčí půdu se slabě kyselou chemickou reakcí. Toto odpovídá i odhadovanému půdnímu typu a jeho vlastnostem – hnědé půdy eutrofní. Jedná se o vývojově mladé půdy s intenzivním vnitropůdním zvětráváním, kde teprve v hlubších polohách vystupuje zvětráváním méně dotčená matečná hornina. Majoritní zastoupení druhově původního dubu zimního lze pak přisuzovat poloze svahu, neboť tomuto druhu dřeviny vyložené svědčí teplé klima a chráněné stanoviště ideálně orientované jihozápadním směrem, což naše lokalita ve všech směrech splňuje včetně nízké nadmořské výšky.

Keřové patro je ve všech polohách hojně zastoupené zejména bezem černým – *Sambucus nigra*, hlohem jednosemenným – *Crataegus monogyna* a růží šípkovou – *Rosa canina* (šípek), která je i základním prvkem v horním remízku. V horních polohách svahu se pak hojně vyskytuje již zmiňovaná trnka obecná – *Prunus spinosa*.

Bylinné patro je dosti řídké a zejména ve střední a vrchní části svahu odpovídá teplomilné lesostepní až stepní květeně. Ve spodní části ho zastupují především běžné rostliny, zejména pak kopřiva dvoudomá – *Urtica dioica*, hluchavka nachová – *Lamium purpureum*, pampeliška lékařská – *Taraxacum officinale*, velmi hojný je zde ptačinec žabinec – *Stellaria media* (ten se hojně vyskytuje ve všech polohách). Dále se zde vyskytuje kokoška pastuščí – *Capsella bursa-pastoris*, lopuch plstnatý – *Arctium tomentosum*, pryšec chvojka – *Euphorbia cyparissias*, svízel přítula –

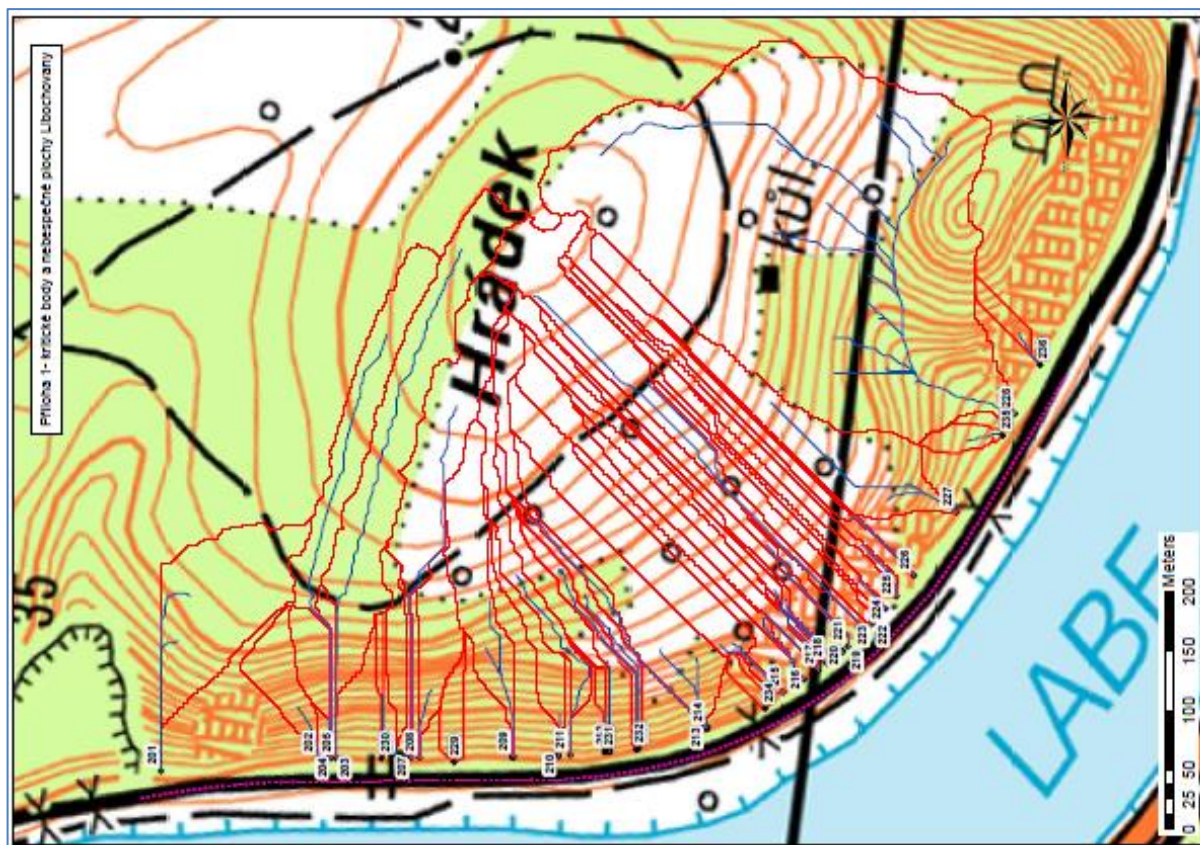
Galium aparine, různé druhy trav (zejména pak smilka tuhá – *Nardus stricta*), violky – *Viola* a mechy. K řídkosti bylinného patra je však nutné podotknout, že průzkum byl prováděn v nepřiliš vhodnou dobu, tedy cca 3 týdny po odtání sněhové pokrývky a je nutné počítat s výskytem spousty jiných druhů, které se zde momentálně zatím neobjevovaly.

Dle šetření byl dále zjištěn poměrně vysoký výskyt spárkaté zvěře a to konkrétně prasete divokého – *Sus scrofa*. Usuzuji tak dle vcelku rozsáhlých a poměrně častých rozrytých ploch, jak na zemědělské ploše/louce nad posuzovanou lokalitou, tak na samotném svahu, zejména v jeho horních a středních partiích. Pohyb a výskyt této zvěře v lokalitě lze snadno odvozovat od dostatku snadné obživy – v horních partiích ořechy (z dospělého ořešáku lze ročně sklídit až 50kg ořechů) a ve středních až spodních partiích svahu množství žaludů z převládajících dubů. Přítomnost prasat je tedy zejména v podzimním období, kdy žaludy i ořechy dozrávají a padají na zem. Jelikož se pak prasata pohybují ve větších skupinách a za potravou jsou schopny urazit až několik desítek kilometrů denně, v období dozrávání žaludů tu musí být množství zvěře velmi vysoké. Způsobem jakým pak prasata potravu hledají, dochází k rozrušování velkých ploch vegetačního krytu a tím ke snadnějšímu splavování půdy – vodní erozi. Nutno podotknout, že v podzimním období, kdy je devastace největší, je již květena na „ústupu“ před zimním obdobím a nestačí tak „opravit“ to, co černá zvěř způsobí. Během zimy pak při oblevách nebo až při jarním tání dochází k denudaci (odnosu) materiálu – půdních částic do nižších poloh.

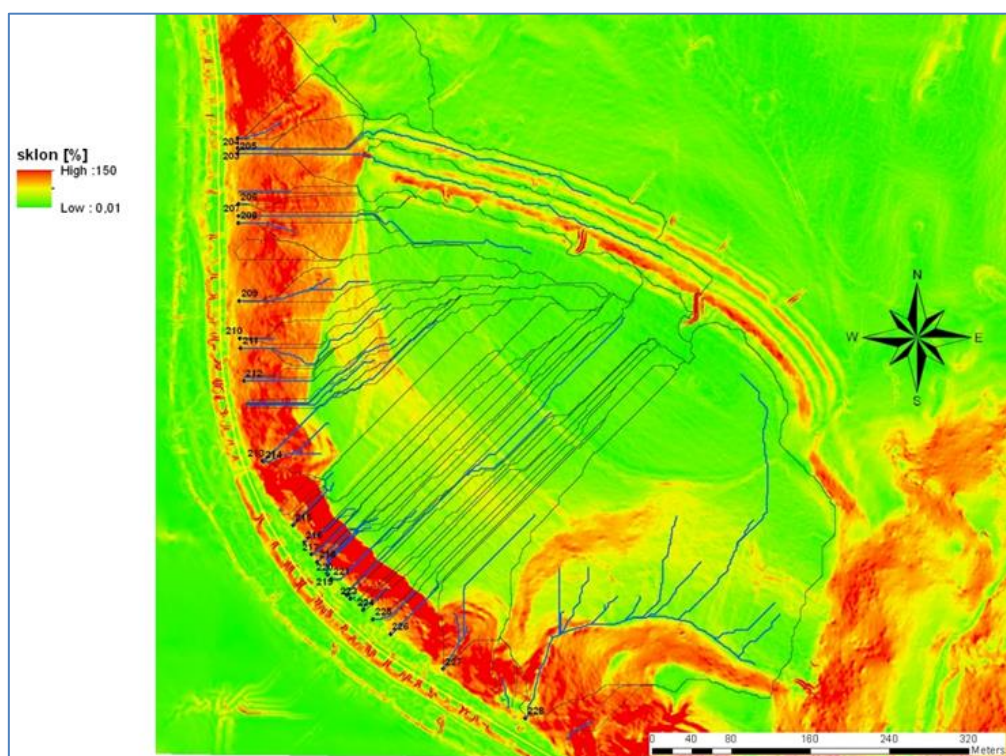
4.1.5. Vodohospodářská analýza

Na experimentální lokalitě byla firmou Vodohospodářský rozvoj a výstavba a.s. zpracována vodohospodářská analýza (Dušková, a další, 2013), která měla dvě části. V první části byla provedena GIS analýza zaměřená na vygenerování sítě drah soustředěného odtoku (identifikace potenciálních erozních rýh), vymezení dílčích mikropovodí a výpočet jejich ploch. V druhé části byla pomocí hydrologického srážko-odtokového modelu (vytvořeného v softwaru HEC-HMS) zpracována simulace reakce vybraných nebezpečných ploch na různé srážkové scénáře.

Prvním krokem GIS analýzy bylo určit v zájmové oblasti směr proudění povrchového odtoku a specifikovat dráhy soustředěného odtoku. Pomocí metody kritických bodů byly vybrány ty dráhy soustředěného odtoku, která mohou být během srážek ovlivněny vznikem ZEKAPR. Výsledek GIS analýzy s vyznačenými kritickými body a dráhami soustředěného odtoku je na Obr. 31. Dílčím výsledkem GIS analýzy bylo vytvoření mapy sklonů viz Obr. 32.

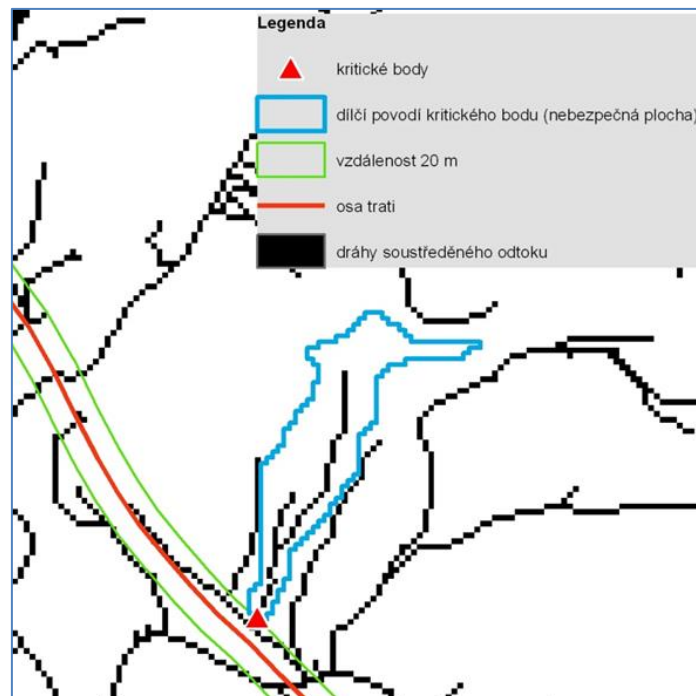


Obr. 31. Dráhy soustředěného odtoku s očíslovanými kritickými body



Obr. 32. Mapa sklonů experimentální lokality Libochovany

Pro každý kritický bod bylo na základě morfologie terénu vymezeno odpovídající dílčí povodí označené jako mikropovodí viz Obr. 33. Toto povodí představuje „nebezpečnou plochu“, kde vzniká povrchový odtok, který se následně soustředí právě do jednoho kritického bodu a může tak ohrožovat železniční trať.



Obr. 33. Příklad polohy kritického bodu a odpovídajícího mikropovodí

Pro každé mikropovodí bylo vypočteno celkem 15 parametrů a byly určeny GPS souřadnice příslušného kritického bodu (severní šířka: N_GPS a východní délka: E_GPS) viz 0. Kromě parametrů vztahujících se k celému území plochy byly vypočteny též parametry týkající se nejbližšího okolí železniční trati, konkrétně ve vzdálenosti 75 m od kritického bodu.

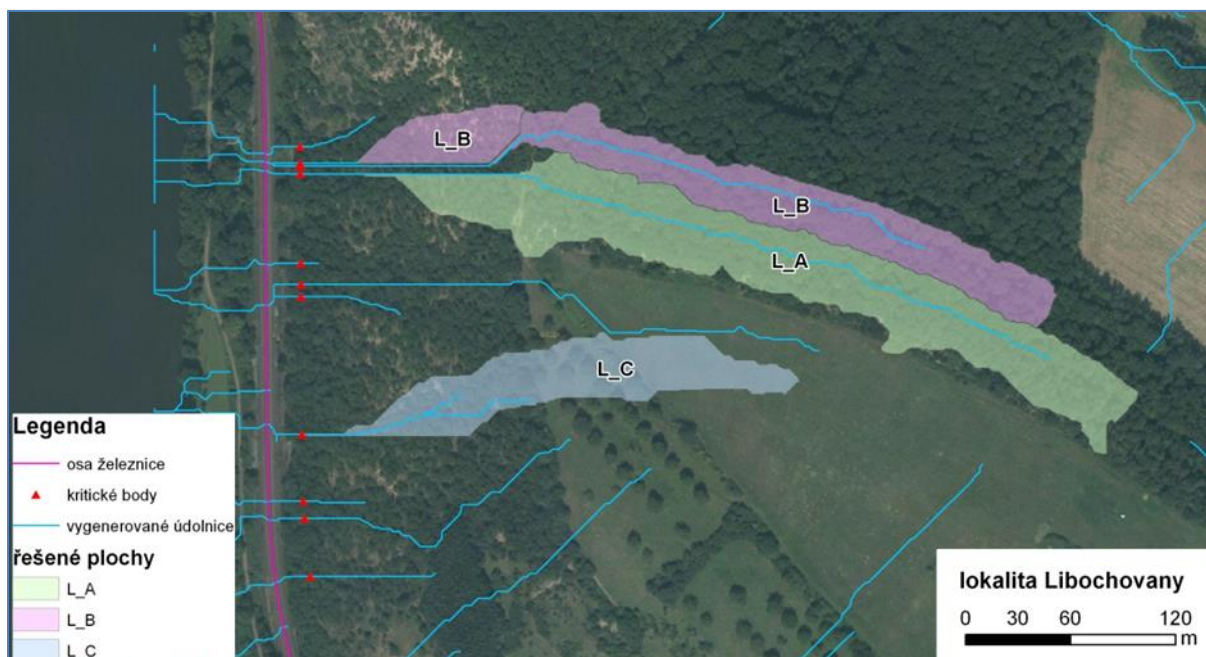
Parametry mikropovodí

Zkratka	Popis parametru	Jednotka	Rozmezí vypočtených hodnot
VP	velikost plochy	m ²	420 – 82892
SP	průměrný sklon plochy	%	12,2 – 102,3
SU	vážený průměrný sklon údolnic	%	6,4- 155,7
75VP	velikost plochy ve vzdálenosti 75 m od kritického bodu	m ²	30,9 – 4727,8
75SP	průměrný sklon plochy ve vzdálenosti 75 m od kritického bodu	m ²	36,9 – 112,0
75SU	vážený průměrný sklon údolnic ve vzdálenosti 75 m od kritického bodu	%	7,3- 155,7
OP	podíl orné půdy	%	0,0
ZU	podíl zastavěného území	%	0,0
PA	podíl pastvin	%	0,0

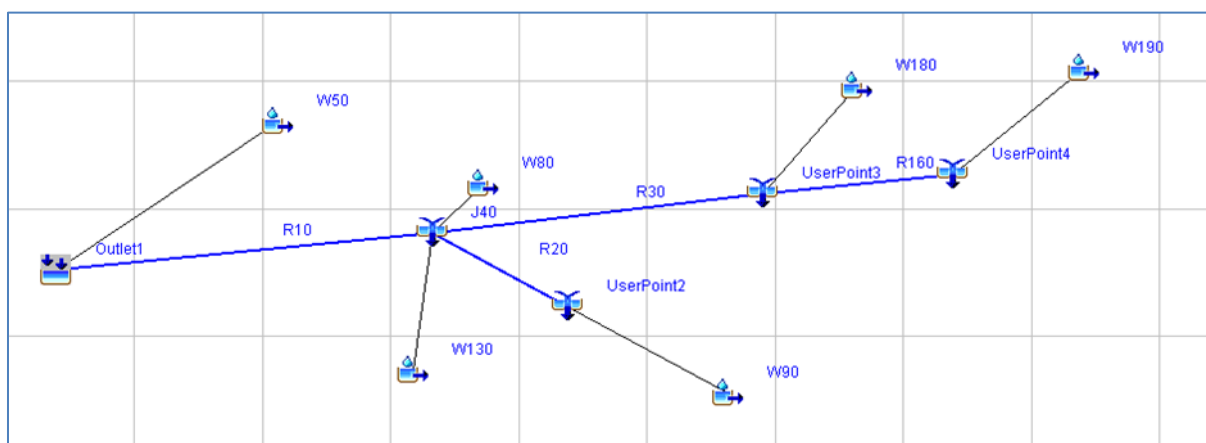
SZP	podíl smíšených zemědělských ploch	%	0 - 100
LL	podíl listnatého lesa	%	0 - 100
JL	podíl jehličnatého lesa	%	0
SL	podíl smíšeného lesa	%	0
KR	podíl křovin	%	0
CN	průměrná hodnota CN	-	60
SVAH	Vzdálenost počátku svahu od osy trati	m	2-25
EXPO	Expozice svahu vůči světovým stranám	-	W; SW; NW

Po realizaci GIS analýzy byly na experimentální lokalitě Libochovany na základě terénního průzkumu vybrány 3 charakteristické dráhy soustředěného odtoku – erozní rýhy viz Obr. 34. Pro tyto vybraná mikropovodí byly vytvořeny srážko-odtokové modely pomocí simulačního programu HEC-HMS viz Obr. 35.

Pro vybraná mikropovodí bylo simulováno několik srážkových scénářů. Prvním scénářem byla srážka s dobou opakování 2 roky a délkou trvání 15 min. Tato srážka má být dle Technických podmínek TP 53 „Protierozní opatření na svazích pozemních komunikací“ uvažována jako srážka návrhová při posuzování erozního ohrožení silničního tělesa a následně návrh protierozních opatření. Dokument TP 53 také specifikuje „Truplovy tabulky“ jako podklad, podle kterého má být příslušný srážkový úhrn určen. Kromě tabulkových hodnot srážek byly modely posouzeny také na srážku, která prokazatelně způsobila ZEKAPR v Libochovanech. Jde o srážku z 26. 5. 2012 v čase 17:00-18:30. Naměřenou v Doksanech, kterou lze charakterizovat jako srážku více než 10ti letou následovanou srážkou s dobou opakování 1 až 2 roky. Výstupem simulace srážkových scénářů byly výpočty ploch povodí, maximální průtoky, celkové objemy odtoku a časy kulminace. Dosažené maximální hodnoty (minimální u doby koncentrace) pro každé mikropovodí jsou stručně popsány v 0 a podrobně ve zprávě (Dušková, a další, 2013).



Obr. 34. Vybraná mikropovodí pro vytvoření srážko-odtokových modelů



Obr. 35. Schéma srážko-odtokového modelu pro mikropovodí označené jako L_B

Maximální vypočítané hydrologické hodnoty pro vybraná mikropovodí

Označení mikropovodí	Odvodňovaná plocha m ²	Špičkový průtok v kritickém bodě l.s ⁻¹	Doba koncentrace od začátku srážky minuty	Objem m ³
L_A	16 000	19,0	24	61,0
L_B	11 000	33,0	17	45,0
L_C	6 000	18,0	17	22,0

4.2. Experimentální lokalita Zbraslav

Lokalita s pracovním označením „Zbraslav“ se nachází na trati č. 210 (dle KJŘ) v km 35,300 až km 36,050 těsně za zhlavím železniční stanice Praha-Zbraslav směrem na Vrané nad Vltavou. Sledovaný úsek trati 210 se nachází na pravém břehu řeky

Vltavy u paty svahů vrchu Hradiště (369 m n. m.). Trať ve sledovaném úseku je jednokolejná s klasickou konstrukcí železničního svršku a je v první části vedena v zářezu, v druhé části pak přechází do odřezu. Sledované území se nachází na strmém svahu nad tratí, kde dochází k tvorbě ZEKAPR, které mohou při nepříznivých situacích ohrozit drážní dopravu, jak se to již stalo v minulosti. Podrobně lokalitu popsal (Gajdoš, 2013).

4.2.1. Projevy ZEKAPR na lokalitě

V průběhu let 2000 až 2003 došlo dle výpovědí pracovníků správce dráhy (tehdy ještě ČD, s. o.) k nárůstu svahových pohybů ve sledované lokalitě, které několikrát zapříčinily vznik mimořádné situace – Ohrožení v drážní dopravě. Zejména v roce 2002 v souvislosti se zvýšenou srážkovou činností, musel být provoz na trati několikrát přerušen a následky svahových pohybů bylo nutné téměř pravidelně odklízet (příklady následků svahových pohybů jsou uvedeny na Obr. 36a Obr. 37). Následující rok došlo ke změně správce dráhy (vznik SŽDC s. o.) a nový vlastník začal pracovat na zabezpečení ohroženého úseku.

Geotechnické posouzení provedla firma SG-Geotechnika a. s. v srpnu 2003 (Gajdoš, 2013), projekt vypracovala firma Viamont DSP a. s. a realizaci zajistila následujícího roku firma Explosive Service a. s.



Obr. 36. Zanesení kolejového lože v důsledku svahových pohybů

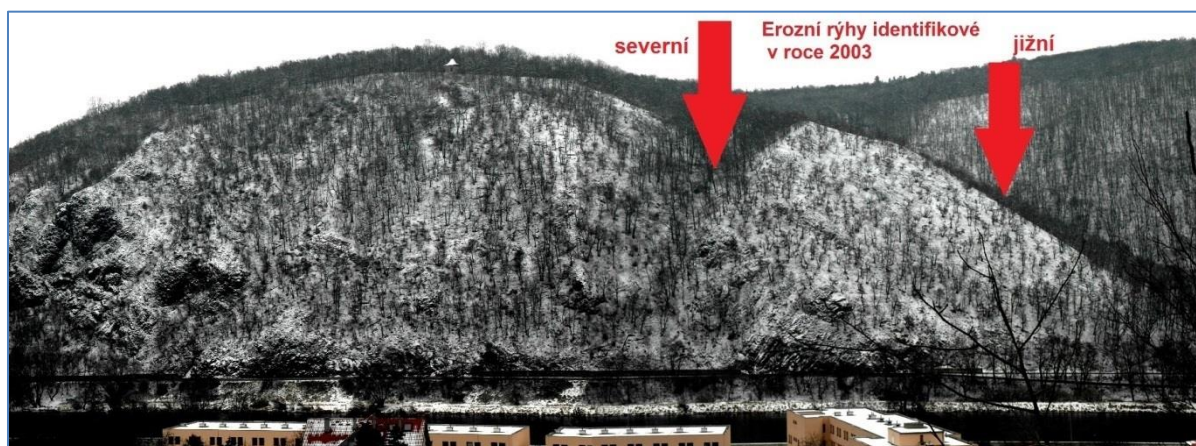


Obr. 37. Projev ZEKAPR v jižní části lokality

Ve své zprávě (Gajdoš, 2013) identifikuje na lokalitě dvě hlavní silně rozvinuté erozní rýhy Obr. 38, označené severní a jižní, které jsou dále v celé délce lokality doplněny velmi hustou sítí četných zatím slabě rozvinutých vedlejších erozních rýh.

Mohutnější jižní rýha je v km 35,570 zaústěna do železničního propustku. Délka této rýhy činí zhruba 500 m a její sklon se pohybuje od 26° do 33°. Spád bočních svahů této rýhy je zhruba 40°.

Severní rýha je dlouhá cca 100 m se sklonem od 33° do 40° a vyznívá ve výšce okolo 20 m nad tratí. Severní rýha zároveň nemá po svých stranách výraznější boční svahy.



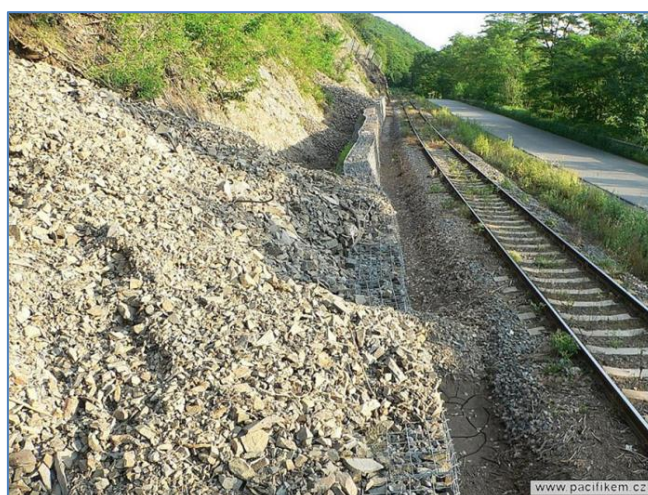
Obr. 38. Panoramatický snímek lokality Zbraslav s označením erozních rýh identifikovaných v roce 2003



Obr. 39. Pohled do jižní erozní rýhy



Obr. 40. Pohled do severní erozní rýhy



Obr. 41. Zaplnění akumulčního prostoru a následná ztráta prostorové polohy záchytné gabionové stěny po extrémním klimatickém zatížení dne 1. 6. 2008 (zdroj www.pacifikem.cz)

4.2.2. Geologický a geomorfologický profil lokality

Předmětné území se nachází na pravém břehu řeky Vltavy těsně za žst. Praha Zbraslav ve směru na Vrané nad Vltavou. Trať ohraničující lokalitu je vedena na úpatí strmých svahů vrchu Hradiště, který je z geologického hlediska budován převážně slabě metamorfovanými vulkanity ryolitového, andezitového a bazaltového složení včetně jejich metamorfovaných tufů (tzv. „Zbraslavsko – kralupská skupina Barrandienského proterozoika“). V rámci této skupiny jsou přítomny i pásy drob. V prostoru žst. Praha Zbraslav je podloží tvořeno horninami tzv. letenského souvrství (střídání drob a břidlic) ordovického stáří.

Kvartérní pokryv je na příkrých svazích tvořen akumulacemi zvětralin skalního podkladu (kamenité sutě). Mocnost půdního krytu je minimální (maximálně do 0,20 m). Na řadě míst půdní kryt zcela chybí a povrch svahu vykazuje charakter kamenité stepi. Geologický profil lokality je patrný z Obr. 42.

Sklon svahu se pohybuje v rozmezí 26 až 40°, průměrně 31°. Délka svahu mezi úpatím (železniční tratí) a vrcholovou hranou se pohybuje od 150 do 300 m při průměrném převýšení 120 m. Svah je kromě míst se skalními výchozy pokryt zvětralinami, které vznikly dlouhodobým větráním skalního podkladu bez zásahu člověka. Zvětraliny mají charakter nesoudržné suti o kostkovitých úlomcích o velikosti od 10 mm do 100 mm s příměsí jemnozrnné zeminy. Půdní kryt je vyvinut lokálně a pouze v omezené míře, maximálně do hloubky 0,2 m. Suťové proudy se tvoří za hustých srážek, kdy dochází k rychlému nasycení podloží a erodovaná vrstva je pak unášena dolů ze svahu v suspenzi. Z hlediska geomorfologie lze území rozdělit na dvě části. V severní části se na svazích vytvořila síť drobných erozních rýh, které do sebe často vzájemně přecházejí. Mocnost zvětralin v této části dosahuje 0,5 m. V této části zároveň nejsou vyvinuty žádné výrazné erozní rýhy, do nichž by se ZEKAPR přednostně koncentrovaly.

V jižní části je svah pokryt hlinito-kamenitou sutí. Mocnost zvětralé vrstvy se dosahuje odhadem 1,0 m. V této části jsou vyvinuty dvě výrazné erozní rýhy (označené severní a jižní, viz výše), oddělené od sebe konstantní elevací. V bočních svazích obou depresí lze vyznat řadu drobných ZEKAPR, které dotují materiálem hlavní erozní rýhy.

Jižně od propustku v km 35,570 se svahy zmírňují a povrch je v těchto místech tvořen téměř souvislým půdním pokryvem.



Obr. 42. Odkrytý geologický profil lokality

V rámci pasportizační činnosti v dané lokalitě byla provedena i analýza stávajících veřejně přístupných informací se zaměřením na problematiku sesuvů. Lokalita Zbraslav nebyla v žádné databázi nalezena.

V rámci výzkumného projektu byly provedeny následující práce vztahující se k problematice geologie se zaměřením na svahový pokryv:

- kopané sondy,
- laboratorní zkoušky odebraných vzorků svahového pokryvu.

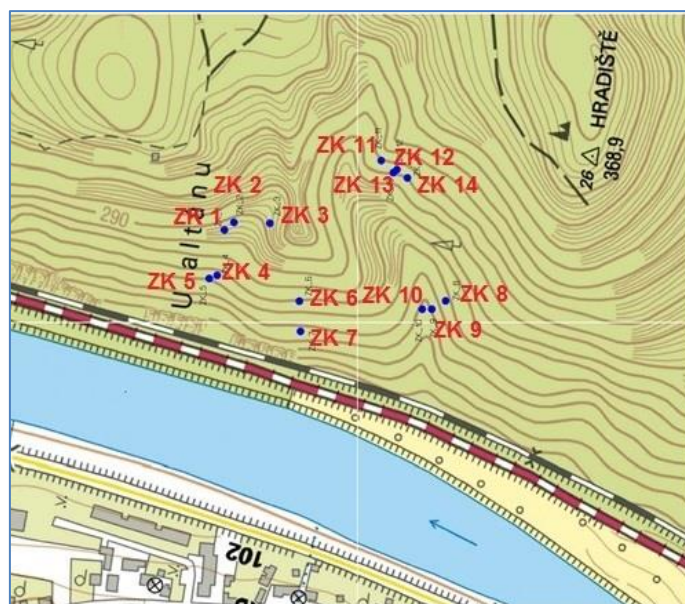
4.2.2.1. Kopané sondy

Pro analýzu svahového pokryvu bylo provedeno celkem 15 kopaných sond v charakteristických erozních rýhách. V 0 a na Obr. 43 jsou uvedeny označení kopaných sond včetně polohy GPS.

Označení kopaných sond a poloha GPS

Označení kopaných sond	GPS souřadnice	
	N [°]	E [°]
ZK 1	49,96449	14,40045
ZK 2	49,96441	14,40058
ZK 3	49,96407	14,40064
ZK 4	49,96450	14,39977
ZK 5	49,96457	14,39971
ZK 6	49,96369	14,39956
ZK 7	49,96364	14,39912
ZK 8	49,96231	14,39986
ZK 9	49,96243	14,39971
ZK 10	49,96252	14,39969
ZK 11	49,96310	14,40178
ZK 12	49,96294	14,40168
ZK 13	49,96297	14,40163
ZK 14	49,96283	14,40158

Cílem kopaných sond byl průzkum vrstvy svahového pokryvu a definování jeho vybraných vlastností na základě laboratorních zkoušek odebraného materiálu. Kopané sondy byly prováděny ručně do maximální hloubky 1,7 m (Obr. 44). V průběhu provádění sond byly odebírány laboratorní vzorky. Celkem bylo odebráno 24 ks laboratorních vzorků, které byly předány do akreditované laboratoře zemin a hornin firmy ARCADIS CZ, a.s. (účastník projektu). Na vzorcích byly provedeny shodné laboratorní zkoušky jako na lokalitě Libochovany.

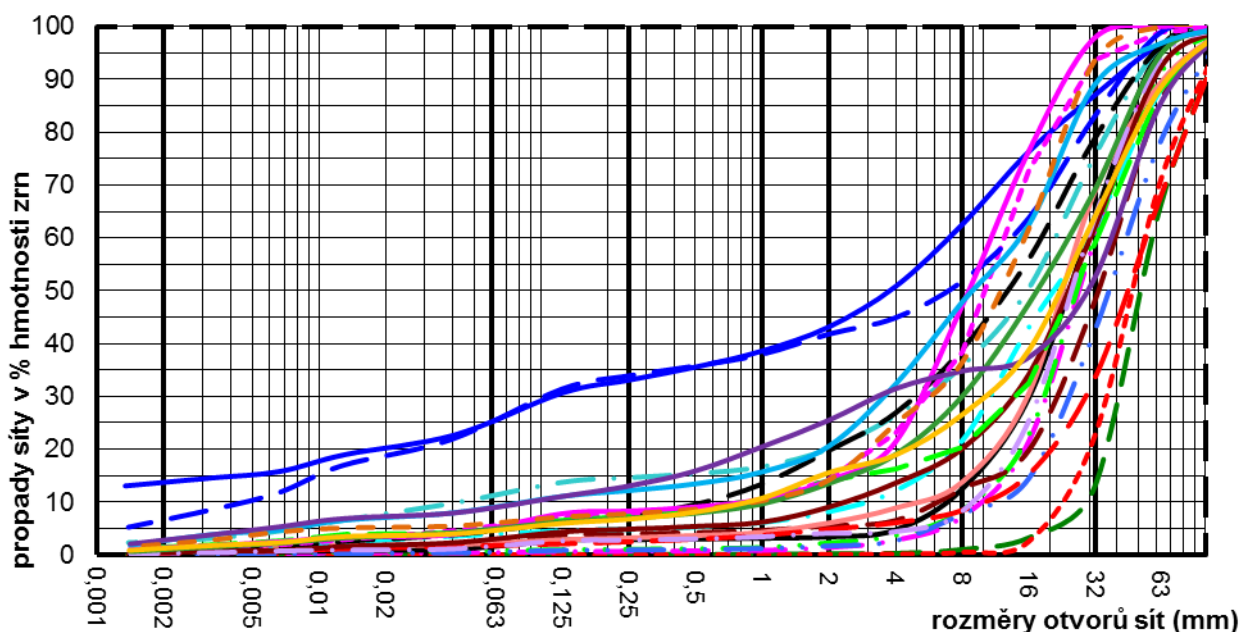


Obr. 43. Označení a poloha kopaných sond

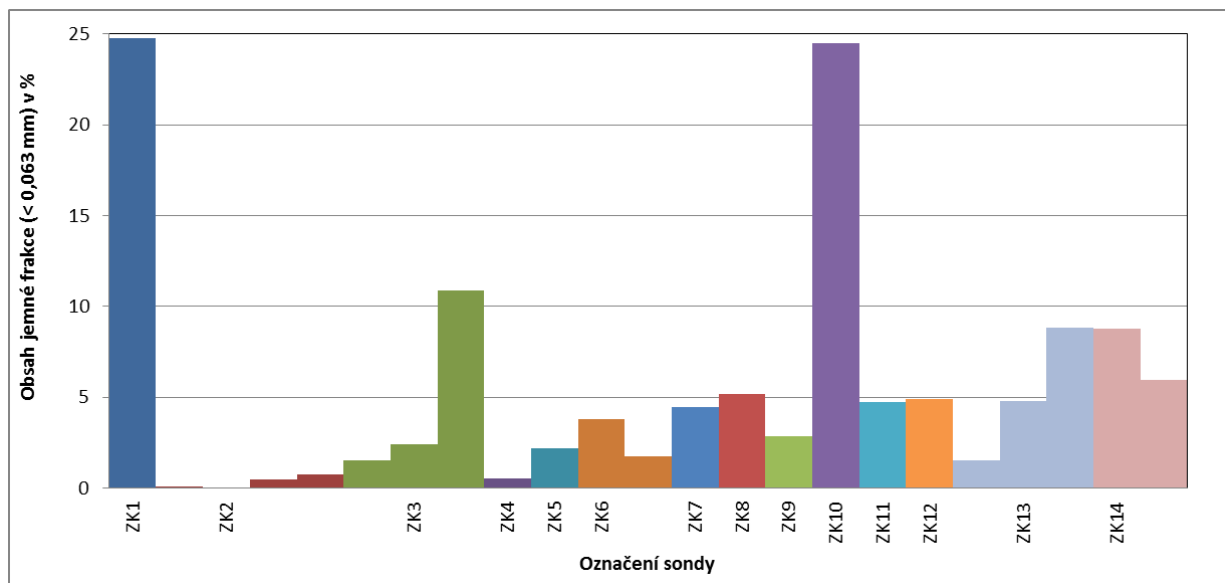


Obr. 44. Provádění kopané sondy ZK 1 a výsledná hloubka sondy ZK 2

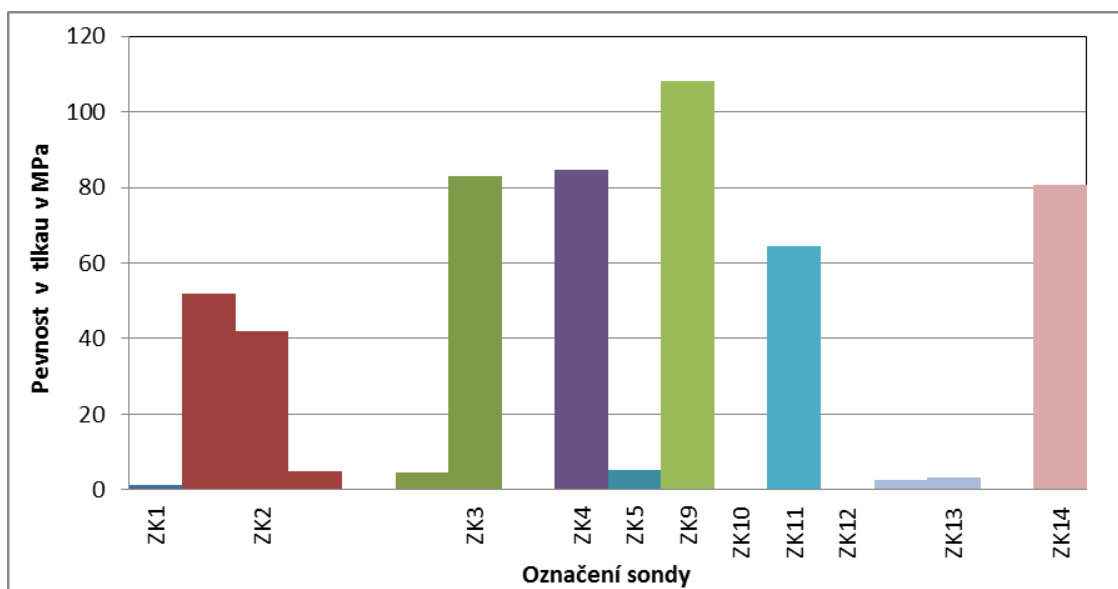
Výsledky a protokoly laboratorních zkoušek jsou uvedeny ve zprávě (Němečková, a další, 2013). Souhrnný výsledek zkoušek zrnitosti je uveden graficky na Obr. 45 a doplněn o grafické vyjádření podílů jemné frakce ($< 0,063$ mm) viz Obr. 46. Výsledky pevnosti horniny jsou uvedeny na Obr. 47. Výsledky stanovení tvarového indexu zrn je uveden na Obr. 48. Na Obr. 49 a Obr. 50 jsou souhrnné výsledky odolnosti zrn proti zmrazování a rozmrazování.



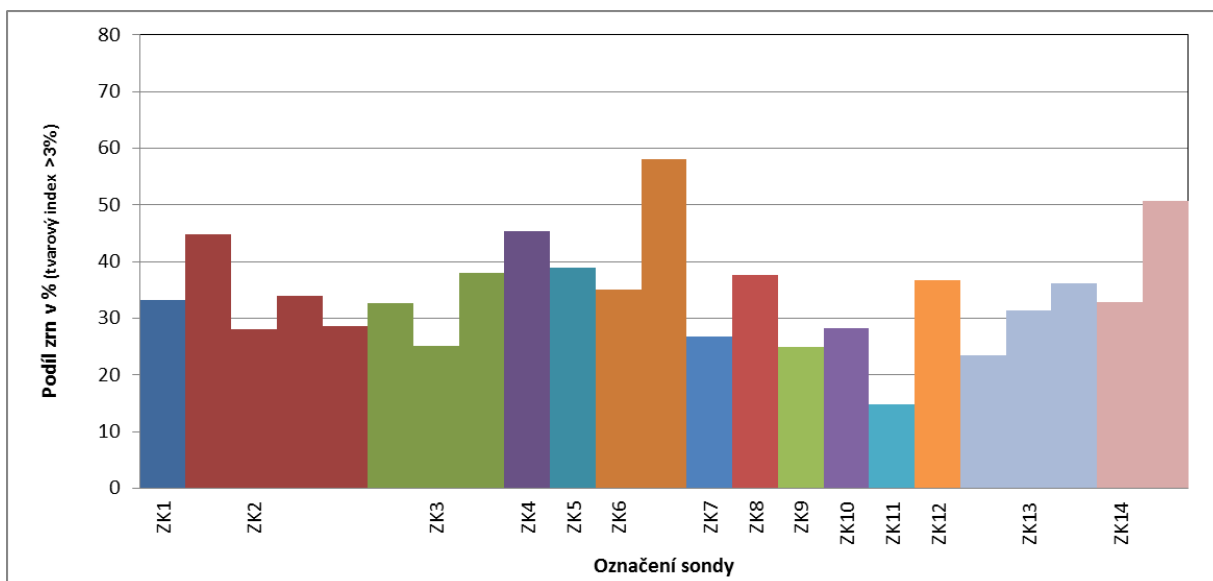
Obr. 45. Souhrnné výsledky laboratorní zkoušky zrnitosti – křivky zrnitosti



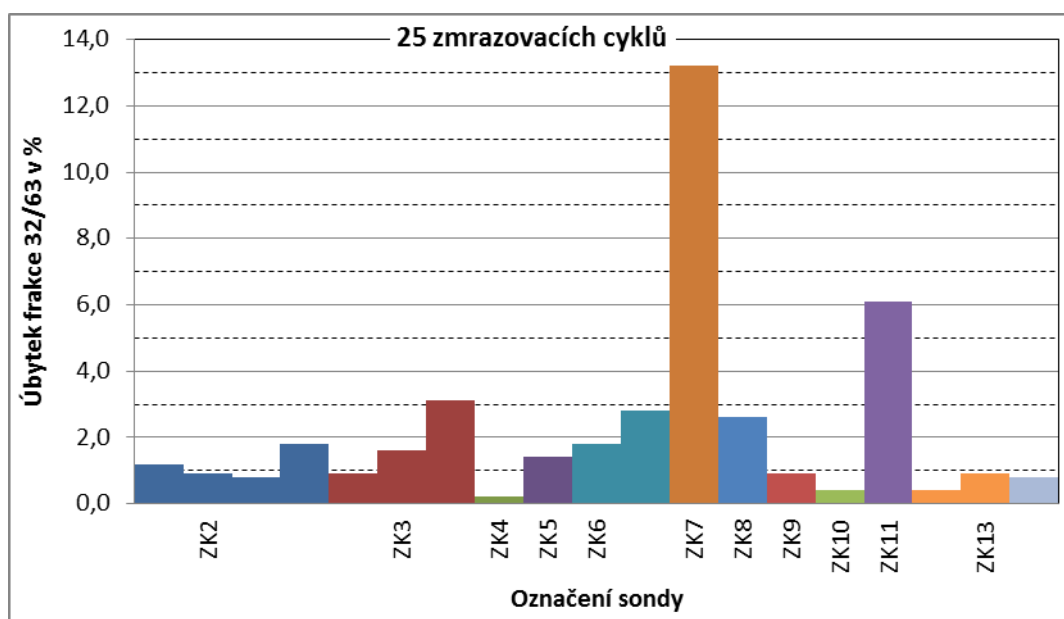
Obr. 46. Podíl obsahu jemné frakce



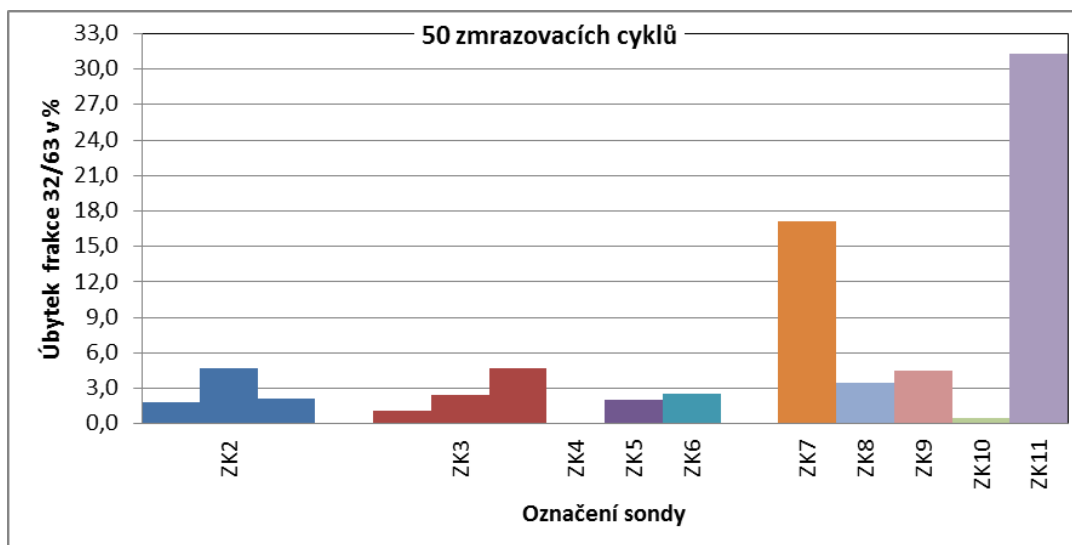
Obr. 47. Výsledky zkoušek pevnosti v prostém tlaku a pevnosti na nepravidelných tělesech



Obr. 48. Výsledky zkoušek tvarového indexu



Obr. 49. Výsledky zkoušek odolnosti proti zmrazování a rozmrazování – 25 cyklů



Obr. 50. Výsledky zkoušek odolnosti proti zmrazování a rozmrazování – 50 cyklů

4.2.2.2. Závěr z kopaných sond

Pomocí kopaných sond a laboratorních zkoušek lze svahové uloženiny na lokalitě Zbraslav charakterizovat jako:

- štěrk špatně zrněný až štěrk jílovitý,
- namrzavé,
- mocnost do 2,0 m,
- štěrková zrna jsou citlivá na mrazové cykly a rychle degradují,
- obsah štěrkových zrn s deskovitým charakterem je cca 30%,
- pevnost horniny v prostém tlaku výrazně kolísá podle zastiženého typu horniny od 1,4 – 110 MPa,
- skalní podklad rozpukaný, vrstevnatý, vrstvy ukloněny ven ze svahu.

Norma ČSN 73 3251 uvádí charakteristické vlastnosti pro metamorfované horniny – břidlice: pevnost v prostém tlaku 45 MPa; 2600 kg.m⁻³; 0,3% nasákavost. Pro rýolit jako zástupce magmatických slabě metamorfovaných hornin na lokalitě uvádí ČSN 73 3251 pevnost v prostém tlaku 40 -155 MPa; objemovou hmotnost 1900 – 2600 kg.m⁻³; nasákavost 4,0 - 6,0%.

4.2.3. Vegetační pokryv a zvěř

Posuzovaná lokalita se nachází ve středních Čechách ve Středočeském kraji v jižní části Prahy – lokalita Zbraslav. Leží při pravém břehu řeky Labe a je součástí Přírodního parku Střed Čech. Jedná se o lokalitu ohraničenou Břežanským a Károvským údolím.

Na úrovni bioregionů spadá oblast do Karlštejnského až Slapského bioregionu. Podnebí je zde mírné s průměrnou roční teplotou kolem 8,5°C a průměrnými ročními srážkami přibližně 500 - 540 mm.

Nejnižší poloha posuzované lokality je v blízkosti jednokolejné železniční trati vedoucí směrem na obec Jarov, pár metrů nad hladinou řeky Vltavy v nadmořské výšce okolo 205 m n. m. Odtud se pak prudce vypíná až do výše kolem 338 m n. m. Toto převýšení je však na relativně krátkém úseku, neboť délka kopce je v terénu přibližně 233 metrů. Posuzovaná lokalita má však celkovou šíři cca 950 metrů a na této vzdálenosti je značně různorodá ať už charakterem podkladu, který ji utváří, tak druhovým zastoupením zde rostoucích dřevin. Zhruba první polovina lokality (směrem od Břežanského údolí) je vyložena skalnatá a značně strmá. Pro člověka bez vybavení je prakticky nepřístupná a společenstva zde rostoucí spadají typem do skalních stepí. Poté lokalita pozvolně přechází do listnatého dubohabrového lesa s vlhkou lehkou humózní půdou. Terén zde není tak strmý a skalnatý a i přes obtížný výstup je vrchol lokality pro člověka bez vybavení přístupný. Půdním typem je dle půdní mapy lokalita na rozhraní území s výskytem nivních a hnědých půd se surovými půdami. V lokalitě se však vyskytují dle mého názoru zejména hnědé půdy se surovými půdami. Vrchol posuzované lokality je po celé své šíři zalesněn původním převážně dubovým lesem.

Zájmová plocha je, jak psáno v úvodu, velmi rozličná a to jak druhovým složením rostlinných společenstev, tak povahou podkladu, který lokalitu utváří. Celková šíře popisované lokality je cca 950 m a na tomto úseku se mění podklad z prakticky suťového skalního pole na vlhkou kyprou půdu převážně dubohabrového lesa. Lokalita se vypíná až do výše cca 338 m n. m. a vrchol tvoří mírně zvlněná plošina porostlá z 95% duby. Směrem od Zbraslavi se na lokalitě vyskytují stepní společenstva tvořena, zejména v nižších partiích a v blízkosti cest a trati, nepůvodním trnovníkem akátem – *Robinia pseudoacacia*. Tento je na skalní stěně místně doplňován keříky růže šípkové – *Rosa canina* a dále pak na otevřených partiích skalních stěn ostružiníkem – *Rubus*. V nižších polohách a podél cest se vyskytuje hloh jednosemenný – *Crataegus monogyna*, třešeň ptačí – *Prunus avium*, ořešák královský – *Juglans regia* a bez černý – *Sambucus nigra*. Až od zhruba poloviny skalní stěny (výškově) se začínají vyskytovat původní zakrslé formy dubu zimního – *Quercus petraea*. Dub pak přechází až přes skalní hranu a v téměř monokulturním porostu pokrývá i vrchol celé posuzované lokality.

V místě, kde skalní stěna a suťové pole končí, přechází lokalita do převážně habrového lesa s kyprou vlhkou půdou. Tento porost je v nižších polohách (podél hlavní komunikace a trati) doplňován zejména hlohem jednosemenným – *Crataegus monogyna*, dále pak javorem babykou – *Acer campestre*, jírovcem maďalem – *Aesculus hippocastanum*, třešní ptačí – *Prunus avium*, růží šípkovou – *Rosa canina* a bezem černým – *Sambucus nigra*. Kolem komunikace a směrem k vodnímu toku se pak vyskytují olše – *Alnus*, vrby – *Salix*, břízy – *Betula*, svídy – *Cornus*.

Bylinné patro je v celé délce podél komunikace a trati tvořeno zejména kopřivou dvoudomou – *Urtica dioica*, netýkavkami – *Impatiens*, svízelem přítulou – *Galium aparine*, lopuchy – *Arctium* aj. běžnými druhy rostlin. V habrovém porostu není podrost téměř žádný. Naopak s přechodem do dubového lesíku se začínají vyskytovat zejména travní společenstva, které tvoří prakticky 100% veškerého podrostu. Vyskytuje se zde zejména smilka tuhá – *Nardus stricta* a lipnice hajní – *Poa nemoralis*. Výskyt podrostu přechodem z habrového porostu do dubového je zapříčiněn zejména prosvětlením spodního patra, neboť habrový porost je tak hustý, že je nižších partiích prakticky stálá tma. Společenstva lipnice hajní a smilky tuhé tvoří podrost i ve skalní části lokality, ale jen ve výše položených partiích, kde již rostou zmiňované zakrslé formy dubu. Ve spodních částech v blízkosti trnovníků je bylinný podrost velmi řídký. Jelikož je tato část lokality špatně přístupná, nebyla blíže prozkoumána, ale již z komunikace, která je ke skalní stěně souběžná, je patrný výskyt divizny – *Verbascum*, tařice – *Alyssum*, pryšců – *Euphorbia* apod.

Skalnatá část lokality je však značně problematická. Jednou z příčin dle (Bach, 2013) je výskyt nepůvodního trnovníku akátu - *Robinia pseudoacacia*, kterému suché na živiny chudé stanoviště sice svědčí, ale svou povahou vytlačuje zde přirozené stanovištní druhy vegetace. Druhým faktorem je i velikost samotných jedinců trnovníku, neboť svým vzrůstem a solitérním výskytem na skalní stěně hrozí poškozením podkladu, ke kterému je strom přichycen při silnějších poryvech větru. Horní patra tvořená zakrslou formou dubů jsou daleko více kompaktní a vůči větru je tak porost daleko odolnější. Jednoduše řečeno – nižší, pravidelný porost původního dubu je pro stěnu daleko přínosnější nežli samostatně stojící velký akát. Navíc duby svou povahou nevytláčují okolní byliny a keře z pod svých korun, což akát činí. Pod dubovým porostem tak žijí travní společenstva, která mají pro zpevnění svahu a zejména pro retenci vody a ochranu před vodou nemalý význam. Travní drn dokáže zachytit poměrně značné množství vody a přebytečnou vodu pak poslat dál do nižších poloh. Voda však steče po drnu a nepůsobí přímé škody na vlastní horninový podklad. Pokud drn chybí, není voda nasáknuta a v plném množství stéká po podloží, které v případě, že podloží není chráněno, eroduje a odnáší do nižších poloh. Z těchto důvodů je také i na místě patrné, že vyšší polohy s duby a travním podrostem, jsou daleko zachovalejší, nežli spodní patra, kde roste trnovník a vegetace je zde méně zastoupena – zejména tu není větších travnatých ploch s drnem.

Na lokalitě byly opakovaně zastiženy mufloni v počtu několika kusů tvořících malá stáda. Svah je protkán sítí stezek vytvořených zvěří.

4.2.4. Vodohospodářská analýza

Metodika vodohospodářské analýzy byla stejná jako na lokalitě Libochovany. Prvním krokem GIS analýzy bylo určit v zájmové oblasti směr proudění povrchového odtoku a specifikovat dráhy soustředěného odtoku. Pomocí metody kritických bodů byly vybrány ty dráhy soustředěného odtoku, které mohou být během srážek ovlivněny

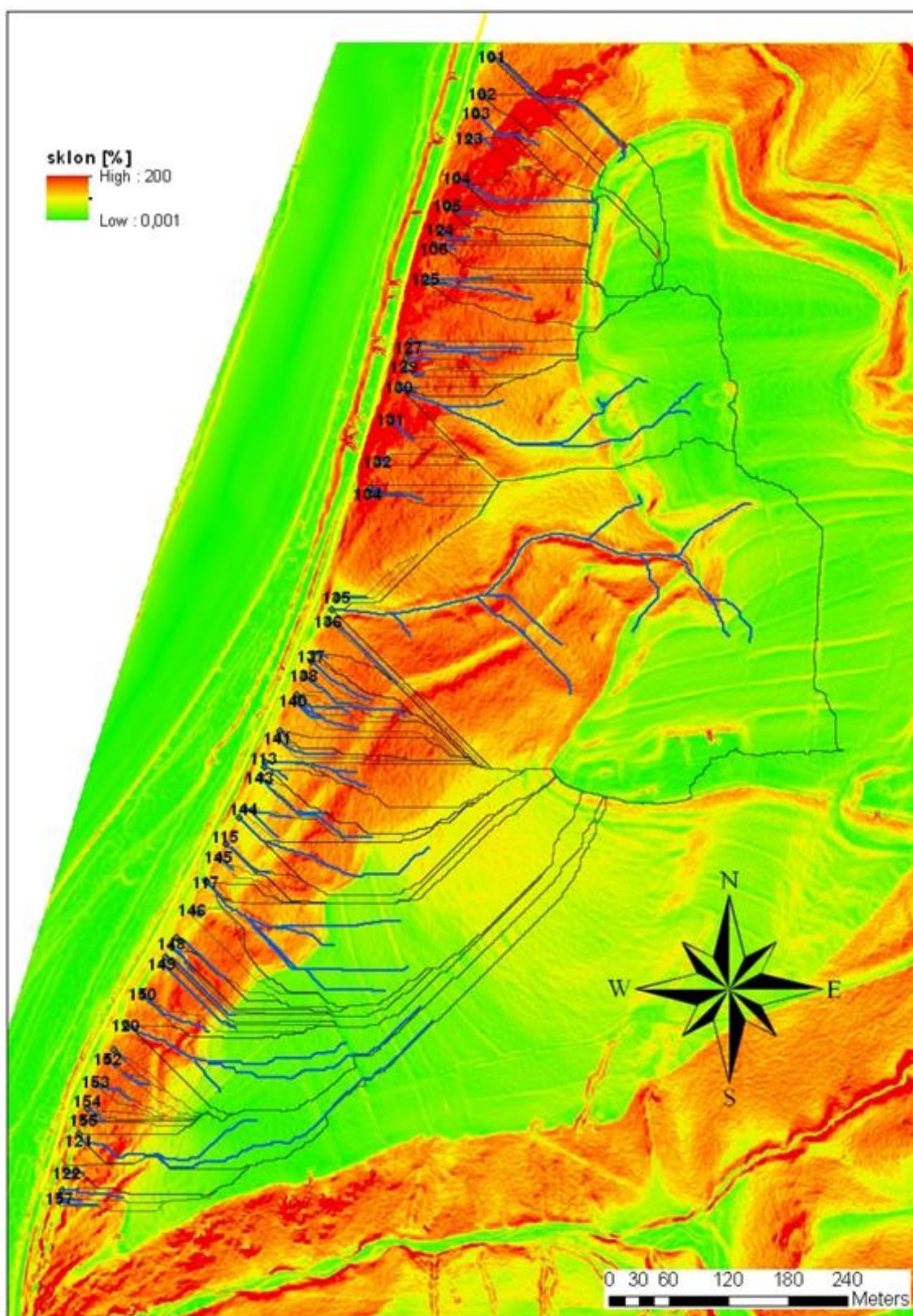
vznikem ZEKAPR. Výsledek GIS analýzy s vyznačenými kritickými body a dráhami soustředěného odtoku je na Obr. 51. Dílčím výsledkem GIS analýzy bylo vytvoření mapy sklonů viz Obr. 52.

Pro každý kritický bod bylo na základě morfologie terénu vymezeno odpovídající dílčí povodí označené jako mikropovodí. Toto povodí představuje „nebezpečnou plochu“, kde vzniká povrchový odtok, který se následně soustředí právě do jednoho kritického bodu a může tak ohrožovat železniční trať.

Pro každé mikropovodí bylo vypočteno celkem 15 parametrů a byly určeny GPS souřadnice příslušného kritického bodu (severní šířka: N_GPS a východní délka: E_GPS) viz 0. Kromě parametrů vztahujících se k celému území plochy byly vypočteny též parametry týkající se nejbližšího okolí železniční trati, konkrétně ve vzdálenosti 75 m od kritického bodu.



Obr. 51. Dráhy soustředěného odtoku s očíslovanými kritickými body



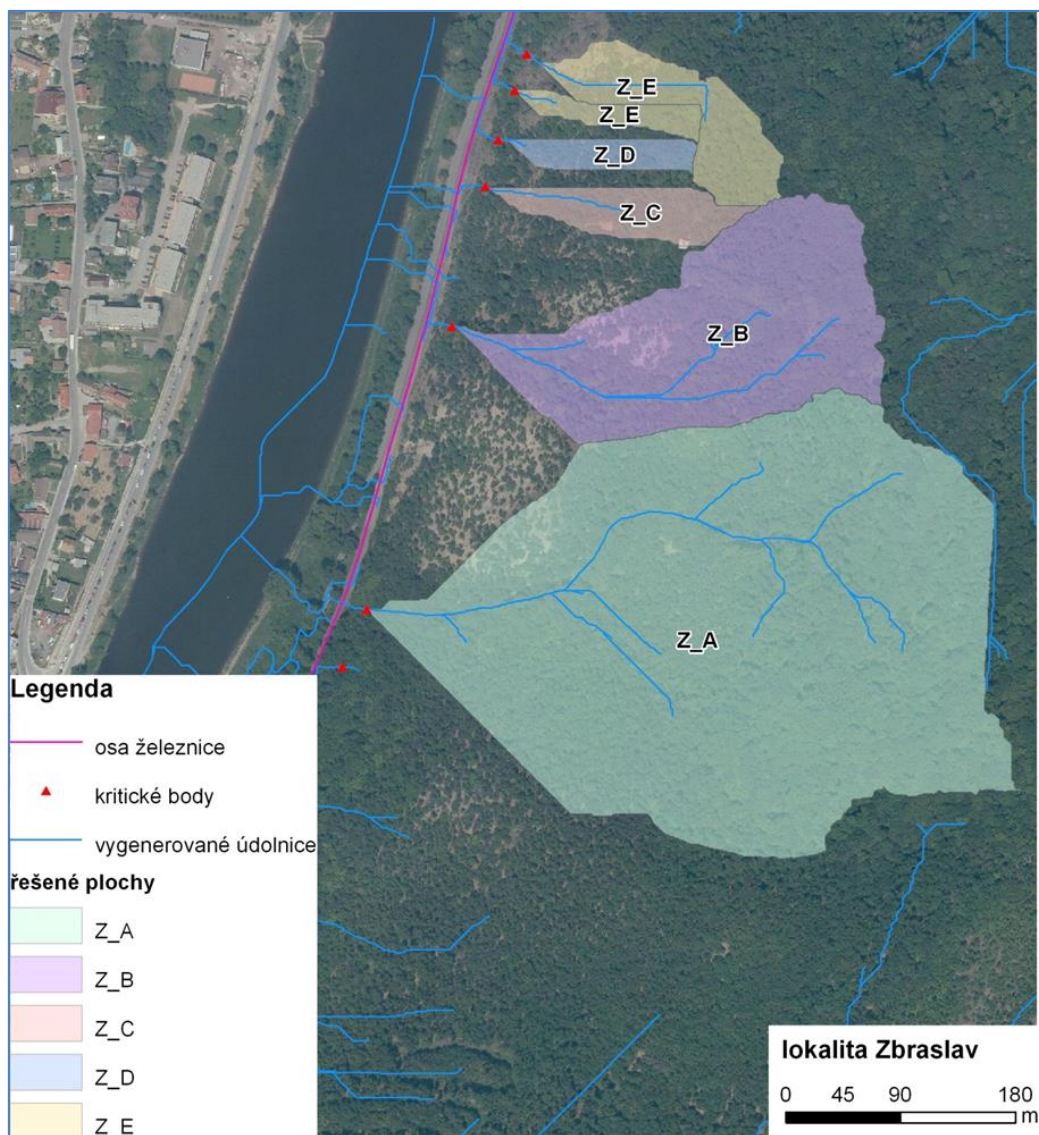
Obr. 52. Mapa sklonů experimentální lokality Zbraslav

Parametry mikropovodí – lokalita Zbraslav

Zkratka	Popis parametru	Jednotka	Rozmezí vypočtených hodnot
VP	velikost plochy	m ²	277 – 121 836
SP	průměrný sklon plochy	%	16,4 – 148,1
SU	vážený průměrný sklon údolnic	%	11,7- 153,0
75VP	velikost plochy ve vzdálenosti 75 m od kritického bodu	m ²	28,0 – 3736,0
75SP	průměrný sklon plochy ve vzdálenosti 75 m od kritického bodu	m ²	54,3 – 156,2
75SU	vážený průměrný sklon údolnic ve vzdálenosti 75 m od kritického bodu	%	32,6- 200
OP	podíl orné půdy	%	0,0
ZU	podíl zastavěného území	%	0,0
PA	podíl pastvin	%	0,0
SZP	podíl smíšených zemědělských ploch	%	0 - 100
LL	podíl listnatého lesa	%	10 - 100
JL	podíl jehličnatého lesa	%	0
SL	podíl smíšeného lesa	%	0
KR	podíl křovin	%	0 - 90
CN	průměrná hodnota CN	-	60
SVAH	Vzdálenost počátku svahu od osy trati	m	2-10
EXPO	Expozice svahu vůči světovým stranám	-	NW;W

Po realizaci GIS analýzy bylo na experimentální lokalitě Libochovany na základě terénního průzkumu vybráno 5 charakteristických drah soustředěného odtoku – erozní rýhy viz Obr. 53. Pro tyto vybraná mikropovodí byly vytvořeny srážko-odtokové modely pomocí simulačního programu HEC-HMS.

Pro vybraná mikropovodí bylo simulováno několik srážkových scénářů. Prvním scénářem byla srážka s dobou opakování 2 roky a délkou trvání 15 min. Tato srážka má být dle Technických podmínek TP 53 „Protierozní opatření na svazích pozemních komunikací“ uvažována jako srážka návrhová při posuzování erozního ohrožení silničního tělesa a následně návrh protierozních opatření. Dokument TP 53 také specifikuje „Truplovy tabulky“ jako podklad, podle kterého má být příslušný srážkový úhrn určen. Kromě tabulkových hodnot srážek byly modely posouzeny také na srážku, která prokazatelně způsobila ZEKAPR v Libochovanech. Jde o srážku z 26. 5. 2012 v čase 17:00-18:30. Naměřenou v Doksanech, kterou lze charakterizovat jako srážku více než 10ti letou následovanou srážkou s dobou opakování 1 až 2 roky. Bohužel srážka, která způsobila ZEKAPR na jaře 2012 ve Zbraslavi nebyla zaznamenána. Všechny modelované plochy proto byly posouzeny pouze na srážku z Doksan. Výstupem simulace srážkových scénářů byly výpočty ploch povodí, maximální průtoky, celkové objemy odtoku a časy kulminace. Dosažené maximální hodnoty (minimální u doby koncentrace) pro každé mikropovodí jsou stručně popsány v 0 a podrobně ve zprávě (Dušková, a další, 2013).



Obr. 53. Vybraná mikropovodí pro vytvoření srážko-odtokových modelů

Maximální vypočítané hydrologické hodnoty pro vybraná mikropovodí

Označení mikropovodí	Odvodňovaná plocha m ²	Špičkový průtok v kritickém bodě l.s ⁻¹	Doba koncentrace od začátku srážky minuty	Objem m ³
Z_A	122 000	288,0	21	476,0
Z_B	36 000	79,0	17	140,0
Z_C	6 000	25,0	17	44,0
Z_D	3 000	15,0	16	24,0
Z_E	14 000	35,0	16	56,0

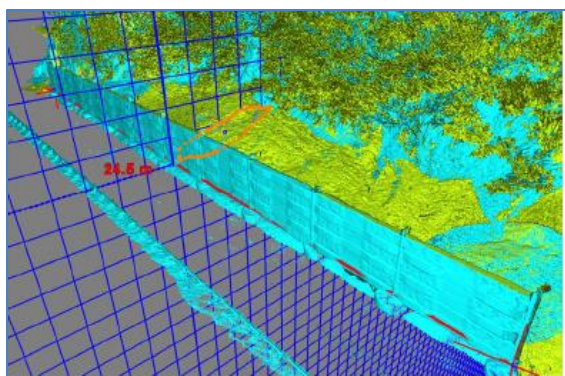
4.2.5. Laserové skenování

Cílem laserového skenování bylo zaměření stavu skalního svahu nad tratí a vyhotovení 3D digitálního modelu svahu. Laserové skenování bylo provedeno

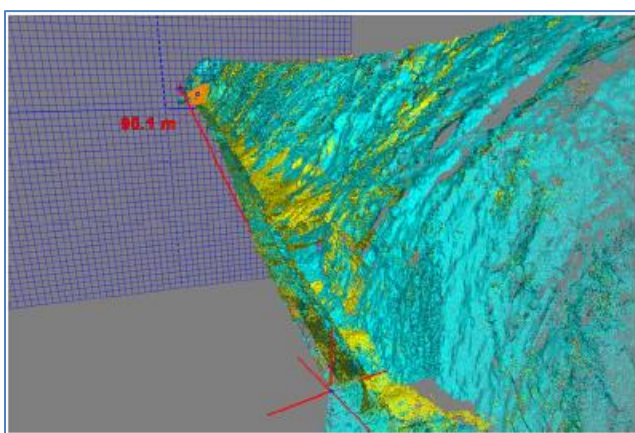
prostorovým laserovým skenerem Leica Scan Station P20. Touto technologií byly získány tzv. mračna bodů. Mračno bodů je množina bodů v prostoru charakterizující povrch měřeného objektu ve vlastním souřadnicovém systému. Připojení mračen bodů do souřadnicové soustavy bylo provedeno pomocí dočasně stabilizovaných vřícovacích bodů. Sekundárním cílem laserového měření bylo ověřit možnost výpočtu množství materiálu při iniciaci zemito-kamenitého proudu. Výpočet byl proveden na základě rozdílů povrchu modelu terénu před a po účincích zemito-kamenitého proudu. Pro tyto účely byla lokalita Zbraslav rozdělena do čtyř dílčích oblastí viz 0. Výpočet objemu hmot přesunutým zeminokamenitý proudem byl proveden v programu Geomagic jako rozdíl povrchu digitálního terénu. Skenování před působením ZEKAPR bylo provedeno ve dnech 5.4 až 9.4 2013. Dne 30. 7. 2013 došlo k iniciaci ZEKAPR a následující den bylo provedeno laserové skenování dílčích oblastí. Vypočtené množství splavených hmot svahového pokryvu je uvedeno v 0. Na Obr. 54 až Obr. 56 jsou naměřená obarvená mračna bodů ve 3D modelu ve srovnání s reálnou fotografií. Modrou barvou jsou označeny mračna bodů před ZEKAPR a žlutě po účincích ZEKAPR.

Dílčí oblasti pro analýzu laserový skenování

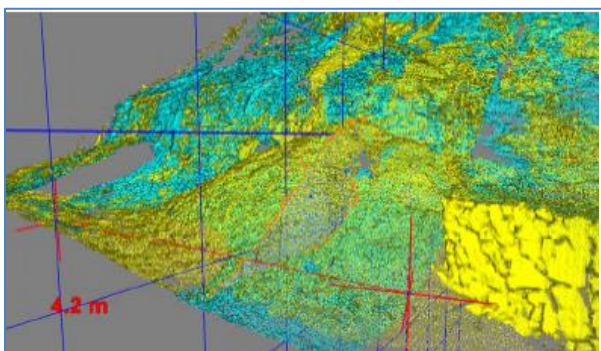
Označení oblasti	Název	Popis
č. 1	Záchytná stěna	Prostor za záchytnou stěnou z betonových pražců
č. 2	Gabionová stěna	V polovině délky gabionové stěny
č. 3	Začátek gabionové stěny	
č. 4	Mimo gabionovou stěnu	Směrem k zast. Zbraslav



Obr. 54. Oblast č. 1 – pohled na 3D model mračna bodů; pohled na reálnou situaci



Obr. 55. Oblast č. 2 – pohled na 3D model mračna bodů; pohled na reálnou situaci



Obr. 56. Oblast č. 4 – pohled na 3D model mračna bodů; pohled na reálnou situaci

Vypočtený objem hmot iniciovaných ZEKAPREM

Označení oblasti	Název	Objem v m ³
č. 1	Záchytná stěna	40
č. 2	Gabionová stěna	33
č. 3	Začátek gabionové stěny	35
č. 4	Mimo gabionovou stěnu	5

Metoda laserového skenování prokázala mimořádnou efektivitu a umožnila řádově definovat množství materiálu přesunutého zemito-kamenitým proudem v lokalitě Zbraslav. Jedna konkrétní srážková událost, v jedné erozní rýze Z_A s plochou mikropovodí 122000m³, vyvolala nutnost zachycení cca 40 m³ svahového pokryvu. Protože byla v daném kritickém bodě postavena v roce 2004 záchytná stěna z betonových pražců, je možné charakterizovat ZEKAPR jako opakující se děj a to i na místech kde již v minulosti proběhl.

5. Databáze

V rámci řešení projektu vznikla databáze míst s výskytem zemito-kamenitých proudů. Jedná se o otevřenou databázi, kam bylo v rámci projektu zaznamenáno 58 lokalit s výskytem tohoto jevu.

The screenshot shows the ZEKAPR web application interface. At the top is a green navigation bar with the ZEKAPR logo and links: Mapa, Návod, Záznamy, Dle katastru, Přihlásit. A search bar on the right contains the text 'Vyhledávání záznamu'. Below the navigation bar is a link 'Zadávací formulář ke stažení'. The main content area is titled 'OHŘECKÁ LOUKA' in green. Below the title is the text 'Identifikační údaje o záznamu (Stav při pořízení záznamu)'. To the left is a table with the following data:

Název lokality	Ohřecká louka
Kód záznamu	A0018
Uzamčeno	Ano
Vyplňováno pouze elektronicky	Ano
Datum a čas vložení (vytvoření) záznamu	27.03.2014 14:02
Vložil	frandofer
Datum a čas poslední modifikace záznamu	27.03.2014 14:48

To the right of the table is a map showing the location of 'Ohře Kotvina' with a red pin. Below the table is a section titled '1. Identifikační údaje o lokalitě' with a button 'Otevřít galerii'. This section contains another table:

Místní název	Ohřecká louka 376
Kraj	Ústecký kraj
Katastrální území	Klášteřec nad Ohří
Souřadnice GPS	50.367847°

Obr. 57. Ukázka záznamu z databáze.

Databáze během projektu posloužila k naplnění několika dílčích cílů.

- 1) Zmapování lokalit s výskytem zemito-kamenitých proudů, čím se rozšířila základna pro sledování jejich vzniku a zákonitostí.
- 2) Pomohla nám precizně definovat jev samotný, tak aby definice a jeho zmapování, bylo realizovatelné i poučeným laikem.

Zejména druhý cíl je klíčový pro další část aktivit, kterými jsme na vývoj databáze navázaly: vybudování informační nadstavby této databáze.

Kritéria pro dobrou pasportizaci lokality s výskytem zemito-kamenitého proudu jsou rozdělena do patnácti skupin, kdy každá je doplněna vysvětlujícím popisem. V řadě případů je nejpopsnější vhodná fotografie.

Přehled požadavků záznamu do databáze ZEKAPR

- 1) Identifikační údaje o lokalitě (označení lokality, katastr, pozemek, GPS apod.).
- 2) Údaje o prohlídce lokality (dokumentátor, aktuální počasí, doba od poslední srážky apod.).
- 3) Pozorované průvodní znaky (např. suťový kuželík, příkop zanesený materiálem ze svahu apod.)
- 4) Celkový průměrný sklon svahu (Za celkový průměrný sklon svahu považujeme úhel odklonu přímky spojující patu svahu s viditelným vrcholem svahu od vodorovné roviny.)
- 5) Orientace svahu (azimut spádnice svahu resp. erozní rýhy, je-li patrná).
- 6) Profil svahu (náčrt).
- 7) Přítomnost erozní rýhy (mocnost, případně četnost erozních rýh).
- 8) Profil rýhy (pokud je na svahu přítomna).
- 9) Sklon a rozměry rýhy (resp. jejích jednotlivých částí).
- 10) Pohled na svah/rýhu (foto).
- 11) Krajinářský popis lokality (přítomnost stromového patra, druh apod.).
- 12) Geologie (popis dna erozní rýhy).
- 13) V minulosti realizovaná technická opatření (FOTO + ev. měřítko).
- 14) Přítomnost pramenů v posuzované terénní depresi/erozní rýze.
- 15) Přítomnost zvěře.

Informační nadstavba databáze obsahuje informace pro tři skupiny, které se s georizikem zemito-kamenitých proudů mohou potýkat: investor, či správce pozemku, či ohrožené stavby, projektant a realizátor sanačních opatření.

SW obsahuje jak havarijní postupy, tak doporučení pro projektanty a zhotovitele sanačních opatření. V rámci SW budou ke stažení i další výsledky projektu.

6. Umělé experimentální lokality a laboratorní modelování

Hlavní nevýhodou přírodních experimentálních lokalit byla závislost na výskytu extrémních srážek, které například v roce 2012 dané lokality vůbec nezasáhly. Z tohoto důvodu se řešitelský tým rozhodl vybudovat dvě experimentální lokality, které umožní uměle vyvolat extrémní srážku a realizovat experimentální model vlastní konstrukce v prostorách Fakulty stavební ČVUT v Praze. Řešitelský tým provedl zjednodušenou internetovou rešerši. Výsledek internetové rešerše byl následující:

- modelování srážek existuje v oboru ochrany půd před účinky eroze,
- modelování srážek vyžaduje technicky a finančně nákladné trysky a velký objem zásobníku vody,
- v ČR existují 2 až 3 modely, které umožňují aplikovat silný déšť na plochu se sklonem do cca 10°,
- extrémní srážky iniciující ZEKAPR nebyly modelovány,
- v zahraničí se extrémní srážka řeší technologií impulsního uvolnění velkého objemu vody (důvodem je především sledování dynamického účinku bahnotoků).

Na základě internetové rešerše hledal řešitelský tým experimentální lokalitu, která umožní realizovat zemito-kamenitý proud bez následků na širší okolí, bude ve sklonu cca 30 až 40° a lokalita bude mít dostatečný zdroj vody. Jako vhodná lokalita byla vybrána stará výsypka dolu „Nástup Tušimice“, která je v areálu Severočeských dolů a. s. Nevýhoda lokality označené jako „stará výsypka“ bylo geologické prostředí svahu (pánevní jíly) a složitý systém vstupu na lokalitu. Z těchto důvodů se řešitelský tým rozhodl realizovat druhou experimentální lokalitu nazvanou jako „experimentální lokalita Jirkov“. Výhodou experimentální lokality Jirkov byl jednoduchý přístup a možnost měnit povrch materiálu modelovaného svahu.

6.1. Popis umělých experimentálních lokalit

Experimentální ověřování navrhovaných opatření, bylo částečně realizováno na lokalitě Libochovany, ale v největší míře na lokalitě „Stará výsypka“ a experimentální lokalita „Jirkov“.

6.1.1. Umělá experimentální lokalita „Stará výsypka“

Lokalita „Stará výsypka“ je součástí vnitřní výsypky stáří cca 5 let. Jedná se tedy o relativně krátké nechráněné, uměle nasypané svahy výšky do 30 m s různými úrovněmi sklonu a členitou morfologií viz Obr. 58. Velkou výhodou byl přírodní rezervoár vody u paty svahů, který sloužil jako zdroj vody pro pokusy o modelování zemito-kamenitého proudu. Jezírko současně fungovalo jako místo sběru stékající použité vody. Povrch svahů byl tvořen pouze výsypkovými jíly v různém stupni zvětrávání.



Obr. 58. Lokalita „Stará výsypka“

6.1.2. Umělá experimentální lokalita „Jirkov“

Jedná se o několik speciálně upravených stavebních kontejnerů s hutněným obsahem, simulujícím zeminu bez vegetačního pokryvu, uložených pod úhlem 32 ° na speciálně vybudovaném opěrném svahu viz Obr. 59. Výhodou této lokality je výborná dostupnost a technické zázemí fy STRIX Chomutov, a.s. Cílem lokality bylo vybudovat model svahu v měřítku 1:1 v rozměrech násobně větších než laboratorní model realizovaný na Katedře železničních staveb, Fakulta stavební, ČVUT v Praze.



Obr. 59. Lokalita „Jirkov“

6.2. Testování uvažovaných sanačních prvků pro eliminaci zemito-kamenitých proudů

Na přírodních i umělých experimentálních lokalitách probíhalo testování většiny projektem navrhovaných technických opatření. Některá opatření byla realizována již v předchozím období, některá v rámci jiných výzkumných úkolů a některá přímo v rámci tohoto úkolu.

Testování sanačních prvků na jednotlivých lokalitách

Opatření/lokalita	Libocho- vany	Zbraslav	Stará výsypka	Jirkov
Těžký ochranný plot		ano	ano	
Pražcový ochranný plot	ano	ano		
Palisády – dřevěné převázky				
Válce a trojhrany			ano	
Ocelové rámy s vpletenou sítí			ano	
Prolamované rohože				ano
Biopásy				
Klayonáž,	ano			
Renomatrace				

Ověřování funkčnosti prvků docházelo dvojím způsobem. Jednak dlouhodobým sledováním jejich funkce a za druhé cílenými pokusy o vyvolání zemito-kamenitého proudu.

Zatímco dlouhodobé sledování bylo účelné především pro prvky učené do iniciační a akumulační oblasti. Pro prvky projektované pro transportní zónu byly nejdůležitější pokusy o modelování zemito-kamenitého proudu.

Průběžná zjištění z ověřování funkčnosti sanačních prvků, která byla zapracována do finálních návrhů obsažených v kapitole č. 7.

- Drátěné válce a trojhrany, nemají dostatečnou filtrační vlastnost, podtékají. Doporučení zahloubit. Čímž se ovšem ztrácí jednoduchost instalace.
- Vysokopevnostní filtrační plot využívá jen malou část své filtrační plochy. Potenciálně je možné ji zmenšit, snížit.
- Prolamované rohože mají problém se spárkatou zvěří, která je „rozšlape“.
- Ocelové rámy s vpletenou sítí, dílčí návrhy na zjednodušení konstrukce.

6.3. Pokusy o modelování zemito-kamenitého proudu

V rámci umělých testovacích lokalit Stará výsypka a v menším rozsahu i Jirkov se výzkumný tým opakovaně pokoušel o modelování zemito-kamenitého proudu pomocí srážkového simulátoru.



Obr. 60. Drobný sesuv na testovací lokalitě během dešťové simulace.

Test spočíval v nejdříve 12 hodinovém a posléze i 24 hodinovém kontinuálním kropení vybrané cca 12 m² velkého testovacího svahu, pod úhlem 30° – 45°. Při kterém bylo spotřebováno až 36 m³ vody.



Obr. 61. Erozní rýhy způsobené dešťovým simulátorem

Bohužel v žádném z případů nedošlo k výskytu zemito-kamenitého proudu. Způsobeno to bylo zejména nedostatečným vodním hospodářstvím, které nedokázalo simulovat dostatečně intenzivní srážku.

Podobné testy jsme provedli i ve venkovní laboratoři v Jirkově, ale simulovat srovnatelné srážky z přelomu července a srpna 2015, jaké způsobily zemito-kamenitý proud v lokalitě Zbraslav, není možné.

Poslední pokus o modelování zemito-kamenitého proudu, proběhl v laboratořích Fakulty stavební, ČVUT v Praze. Bohužel byl také neúspěšný a definitivně potvrdil klíčovou roli průběhu srážky na vznik tohoto jevu.

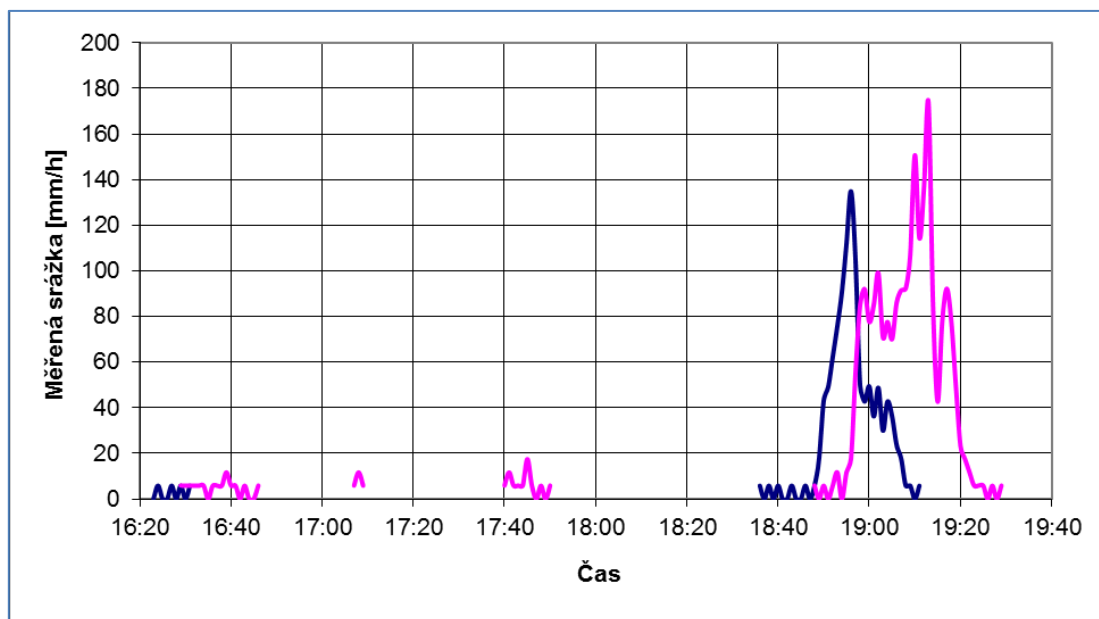


Obr. 62. Simulátor ZEKAPR s dešťovým simulátorem extrémní srážky v laboratořích ČVUT FSv.

Výsledky modelování tak potvrdily skutečnost zjištěnou pozorování přírodních lokalit, že ke vzniku zemito-kamenitého proudu je třeba srážky s velmi extrémním průběhem.

7. Měření srážek

Jedním z hlavních navržených faktorů, který ovlivňuje vznik ZEKAPR je velikost a charakter srážky. Pro sledování velikosti srážek se běžně používají srážkoměry – ombrografy. Tyto přístroje se pro sledování iniciačních srážek z technického hlediska svými parametry nehodí. Konstrukčně modernějšími a vhodnějšími jsou srážkoměry překlopné člunkové, které se využívají pro účely městského odvodnění (Suchánek, a další, 2012). Komerčně dodávané člunkové srážkoměry se záznamovým zařízením dat stojí řádově 20 000 Kč dle vybavení a je doporučeno je umisťovat mimo dosah běžně se pohybujících osob (střechy, sloupy, apod.). Vzhledem k tomu, že bylo potřeba srážkoměry umisťovat v místech běžně lidem přístupných, bylo rozhodnuto využít zkušenosti projektu GEMON a vyvinout vlastní konstrukci srážkoměru. Hlavním požadavkem na konstrukci srážkoměru byla celková cena včetně malého solárního panelu a dostatečná měřicí přesnost. Příklad reálného záznamu srážky z komerčního člunkového srážkoměru umístěného v oblasti Prahy je na Obr. 63. Tato srážka vyvolala na lokalitě Zbraslav ZEKAPR.



Obr. 63. Příklad záznamu reálné srážky pomocí komerčního člunkového srážkoměru

7.1. Popis konstrukce srážkoměru STRIX

Je elektronický srážkoměr určený k dlouhodobému podrobnému zaznamenávání srážek v terénu bez možnosti napojení na rozvody elektrické energie. Svou povahou je určen převážně k měření výraznějších srážkových projevů.

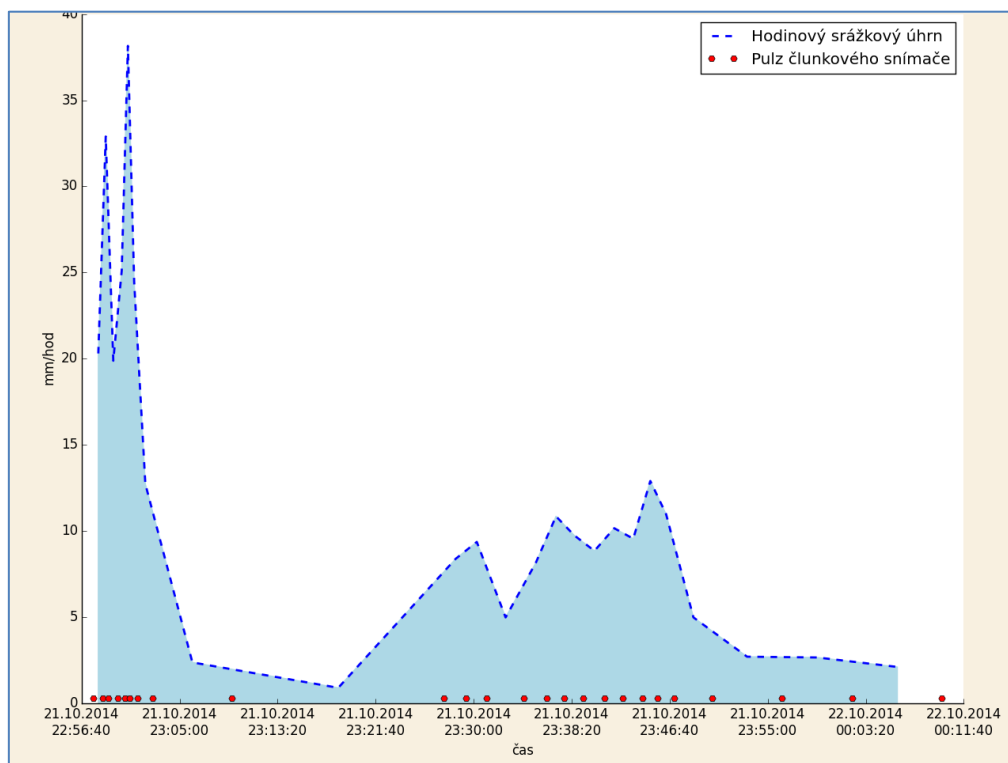
Skládá se z člunkového snímače srážek, solárního panelu a datové ústředny. Člunkový snímač je vyroben z termoplastu a je umístěn ve válcovém ochranném krytu z PVC a pozinkovaného kovového pletiva. Kryt zajišťuje mechanickou ochranu proti letícím předmětům, jako jsou drobné větve či listy unášené větrem. Celá sestava je připevněna ke kovové trubce, jež je stabilně uchycena v zemi.

Překlopení člunku je snímáno magnetickým snímačem a vzniklé pulzy jsou zaznamenávány datovou ústřednou. Datová ústředna zaznamenává časový okamžik překlopení člunku s přesností na 1s. Naměřená data je možné z ústředny vyčíst do počítače po sériovém kabelu. Datová kapacita ústředny při běžných srážkách dovolí uchovat data po dobu cca tří let. Napájení ústředny zajišťuje 2V olověný hermeticky uzavřený bezúdržbový článek s kapacitou 2.5Ah, který je dobíjen solárním panelem o výkonu 0.8Wmpp.

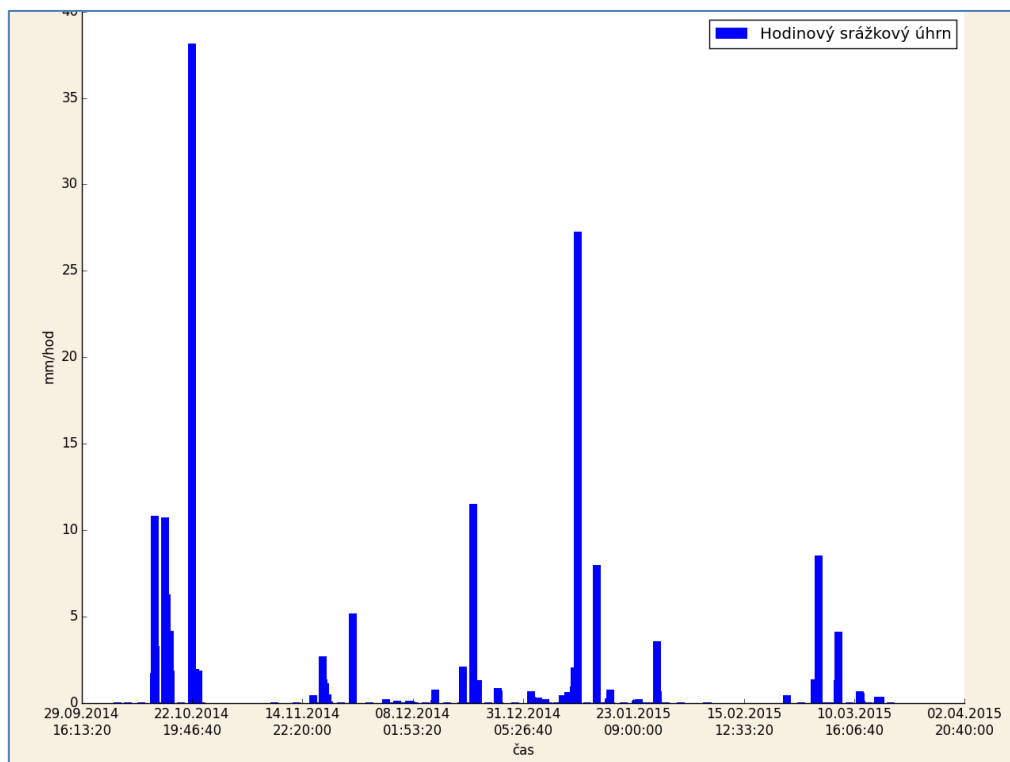
Autorem konstrukce srážkoměru STRIX je Jan Halla, pracovník STRIX Chomutov, a.s. Pohled na instalovaný srážkoměr STRIX na lokalitě Libochovany je na Obr. 64. Příklad záznamu dat srážkoměru je na Obr. 65 a vyhodnocení hodinového úhrnu srážek je na Obr. 66



Obr. 64. Pohled na instalovaný člunkový srážkoměr STRIX



Obr. 65. Příklad datového záznamu srážkoměru STRIX



Obr. 66. Příklad upraveného záznamu srážkoměru STRIX – hodinový srážkový úhrn

8. Technická opatření

V rámci vývoje technických opatření k eliminaci zemito-kamenitých proudů jsme se zabývali třemi základními směry. První se týkal možností údržby, takových opatření, která se ukázala jako klíčová pro dlouhodobé zajištění bezpečnosti.

Další se zaměřil na efektivní odvodnění, protože jak bylo během řešení projektu zjištěno, zemito-kamenité proudy jsou spojené s velmi krátkou ale velmi intenzivní srážkou a na takové nejsou stávající opatření dimenzována. Pokud by se ovšem toto zjištění implikovalo do praxe, tak při malých úpravách opatření, které se v současné době projektují, by došlo k značnému zlepšení.

Posledním směrem jsou nová, respektive upravená sanační opatření vhodná pro různé situace a možnosti.

8.1. Možnosti údržby sanačních opatření

Nejproblematictější údržba liniových staveb ve vztahu k dostupnosti je na železnici, proto jsme pro vymezení optimálních možností údržby zvolili dostupné stroje, které takovou údržbu nejčastěji provádějí. Jedná se o dvoucestné bagry typu Liebherr 900 a MHS.2. U těchto strojů je mimořádně velký předpoklad jejich efektivního nasazení při nutnosti vyčištění akumulačního prostoru za technickou ochrannou bariérou.

Rozhodujícím parametrem je délkový a výškový dosah za bariérou v různé výšce a poloze od osy koleje. Tuto hodnotu pracovního rozsahu stroje však výrobci standardně neuvádějí. Experimentální ověření pracovního rozsahu se stalo základem pro další typové projekty, ale také jedním z doporučení projektu.

Maximální možná výška záchytné stěny při proměnné vzdálenosti od osy koleje pro stroj Liebherr 900

Vzdálenost od osy koleje v [m]	Modelovaná výška záchytné stěny v [m] od TKP	Výsledek	Poznámky
7,0	2,0	NE	Stroj je na hranici stability
5,0	2,0	ANO	Výškový rezerva 0,5 m, délková rezerva 0,0 m
4,0	2,0	ANO	Výšková rezerva 1,0 m
3,0	max. 3,5	ANO	Výškový rezerva 0,0 m

Maximální možná výška záchytné stěny při proměnné vzdálenosti od osy koleje pro stroj MHS.2

Vzdálenost od osy koleje v [m]	Modelovaná výška záchytné stěny v [m] od TKP	Výsledek	Poznámky
7,0	2,0	NE	Stroj je na hranici stability
5,0	2,0	ANO	Výškový rezerva 0,0 m, délková rezerva 0,0 m
4,0	2,0	ANO	Výšková rezerva 1,0 m, od výšky 3,0 se otvírá lopata
3,0	max. 3,0	ANO	Výškový rezerva 0,0 m



Obr. 67. Příklad měření dosahu stroje MHS.2 za modelovanou záchytnou bariérou

8.2. Odvodňovací opatření

Protože jedním z klíčových zjištění projektu je, že zemito-kamenitý proud je iniciován krátkým velmi intenzivním přívalovým deštěm, museli jsme se v rámci technických opatření věnovat také problematice odvodňovacích opatření. V případě zanesení kolejová lože zemito-kamenitým proudem je náprava mnohem náročnější než v případě standardní komunikace, proto se naše doporučení formou typových projektů týkají právě železniční dopravní cesty.

Návrhy možných variant detailů odvodnění na styku akumulční oblasti ZEKAPR a železniční dopravní cesty jsou zpracovány s následujícími požadavky:

- potřeba nesrovnatelně větší kapacity odvodnění (přívalová srážka ZEKAPR spadá do kategorie extrémní),
- potřeba odolat vysokému průtoku a současně i vysoké rychlosti – zabránit
- přelití příkopu a erozi pláně tělesa železničního spodku a kolejového lože,
- snaha oddělit unášený materiál (suť) od vody a tím napomoci usazení ZEKAPR.

Standardně používané postupy tyto požadavky totiž dostatečně nezohledňují.

Snahou bylo navrhnout jak varianty konstrukčně jednoduché, tak varianty složitější zhotovované namísto, tak i varianty s použitím standardně vyráběných prefabrikovaných prvků železničního stavitelství ovšem v inovativním umístění.

8.2.1. Varianta 1 Příkop TZZ 3 ZA ZDÍ a ochrana kolejového lože

Varianta představuje možnou úpravu prostoru koleje a jejího okolí bez výraznějších stavebních zásahů. V podstatě se jedná pouze o zhotovení vrstvy z pojené recyklované pryže zhotovené na místě, chránící kolejové lože proti zanášení drobnými částicemi během doby, kdy je hladina významně zvýšena. Kapacita odvodnění je tím velmi výrazně zvýšena (cca 15x) – z navržených variant je kapacita odvodnění největší, je ale nutno dodat, že toto opatření v podobě ochrany lože pojenou vrstvou lze uplatnit i u všech dalších předložených variant (i u nich se zákonitě projeví velmi významné navýšení kapacity).

Výhodami, kromě zmíněné snadné aplikace na stávající stav, je i snadná manipulace s tvarovkami (TZZ3 85kg, TZZ5 80kg), malý objem výkopu a malá hloubka dna, umožňující bezproblémové napojení na navazující příkopy.

Nevýhodou je pak v porovnání s dalšími variantami velká vzdálenost záchytné zdi od osy koleje, připuštění hladiny téměř až k horní ploše štěrkového lože a možné poruchy vrstvy pojené recyklované pryže například při práci podbíječky.

8.2.2. Varianta 1a: Příkop z tvarovek UCB ZA ZDÍ a ochrana štěrkového lože

Modifikace varianty 1 spočívá v nahrazení příkopové tvarovky příkopovým žlabem, zvyšujícím průtok před rozlitím na zemní pláň, případně pláň tělesa železničního spodku (PTŽS).

8.2.3. Varianta 2: Příkopový žlab UCB ZA ZDÍ

Tato varianta umožňuje umístit záchytnou stěnu blíže ke koleji. Zemní pláň i PTŽS jsou provedeny jako jednostranně skloněné směrem od tvarovky. Odvodňovací otvory v tvarovce příkopového žlabu směrem ke koleji je navrženo zaslepit, aby při zvýšené hladině v tvarovce nedocházelo k pronikání vody z příkopového žlabu pod kolej. Pro odvod vody, která pronikne netěsnostmi například na styku dvou dílců, je navržena drenážní trubka zabraňující prostupu vody dále pod kolej.

Výhodou varianty je již zmíněná menší vzdálenost stěny od koleje. Nevýhodami jsou menší kapacita odvodnění, při překročení této kapacity dochází k zatápní podkladní vrstvy a štěrkového lože, dále větší hloubka dna příkopu, což může přinést komplikace při napojování na navazující odvodnění a větší objem výkopů.

8.2.4. Varianta 3 Příkopový žlab VELKÉ J ZA ZDÍ

Toto řešení nabízí možnost umístění záchytné stěny blíže ke koleji. Zemní pláň i PTŽS jsou provedeny jako jednostranně skloněné směrem od tvarovky. Tvarovka je

navržena atypicky ochranným „uchem“ ke koleji, což umožňuje zajistit vyšší hladinu vody při vylití ze základní části tvarovky, než dojde k zatápní kolejového lože. Při případném odsunutí ochranné stěny od tvarovky může dále výrazně růst maximální kapacita odvodnění. Stezka je zajištěna nad tvarovkou v minimální šířce 400mm.

Odvodňovací otvory v tvarovce příkopového žlabu směrem ke koleji je navrženo zaslepit, aby při zvýšené hladině v tvarovce nedocházelo k pronikání vody z příkopového žlabu pod kolej. Pro odvod vody, která pronikne netěsnostmi například na styku dvou dílců, je navržena drenážní trubka zabraňující prostupu vody dále pod kolej.

Výhodami kromě blízkosti stěny od koleje je i menší výkop na provádění a menší hloubka dna. Nevýhodou pak menší kapacita v „základním“ provedení a nutnost instalace podélné drenáže.

8.2.5. Varianta 3a: Příkopový žlab UCB ZA ZDÍ

Obdobné řešení jako výchozí varianta, pouze s obměnou použité tvarovky. Tím je docíleno vyšší kapacity, ovšem za cenu nárůstu výkopu na provádění odvodnění.

8.2.6. Varianta 4: Příkop z tvarovek UCB PŘED ZDÍ

Řešení s možností umístit stěnu nejbližší ke koleji – nutno ovšem dodat, že např. oproti variantě 3 pouze o 100 mm. Další přisouvání není v podstatě možné vzhledem k zachování volného schůdného a manipulačního prostoru a průjezdného průřezu.

Komplikací může být obtížné čištění příkopu vzhledem k jeho umístění už před záchytnou stěnu. Dále také malá kapacita odvodnění, kdy při jejím překročení bude hladina stoupat hned nad PTŽS.

Další nevýhodou je i velký objem výkopů na zřízení příkopu.

8.2.7. Varianta 5 Příkop zřizovaný na místě - „IN SITU“ dle S4 ZA ZDÍ

Varianta s příkopem je obdobným řešením jako u příkopů v horninách. Základ záchytné stěny je integrován s vnější částí příkopu. Zemní pláň je jednostranně skloněná od příkopu, PTŽS je rozlomena pod koncem šterkového lože.

V této základní variantě je docíleno relativně malé vzdálenosti záchytné stěny od koleje, avšak za cenu menší kapacity odvodnění. Tyto parametry lze měnit – odsouváním stěny se zvyšuje kapacita příkopu (jak je naznačeno ve variantě 5a).

Toto řešení lze tedy optimalizovat na nejvhodnější poměr podle požadavků na kapacitu i prostorové možnosti podle dané lokality.

Další výhodou je malá hloubka dna odvodnění. V „základním“ řešení je nevýhodou nejmenší kapacita odvodnění, to lze, jak bylo řečeno, však variantně měnit.

8.2.8. Varianta 5a: Příkop zřizovaný na místě - „IN SITU“ dle S4 ZA ZDÍ - větší rozměr

Toto řešení ukazuje již zmíněnou možnost úpravu spočívající v odsouvání ochranné stěny, čímž dochází ke zvyšování kapacity odvodnění.

8.3. Nové návrhy sanačních opatření

Vzniklo deset návrhů opatření, z nichž některé jsou využitelné v iniciační oblasti, jiné v transportní a část se věnuje i ochraně akumulární oblasti před zemito-kamenitými proudy.

Jednotlivá opatření jsou popsána nejen z pohledu své funkčnosti, ale i postupu konstrukce a dlouhodobé údržby. Ta se dotýká především čištění a obnovy akumulární oblasti.

8.3.1. Opatření určená do akumulární oblasti

Opatření proti ZEKAPR navržená pro akumulární oblast, tedy prostor, kde končí celý proces, a kde se v průběhu doby kumuluje zemito-kamenitý materiál, mají následující společné znaky.

Ochranná konstrukce má charakter pevné fyzické zábrany s nutnou možností oddělení vody a pevného materiálu. Na to, aby tento systém správně a efektivně fungoval, je nutné aby:

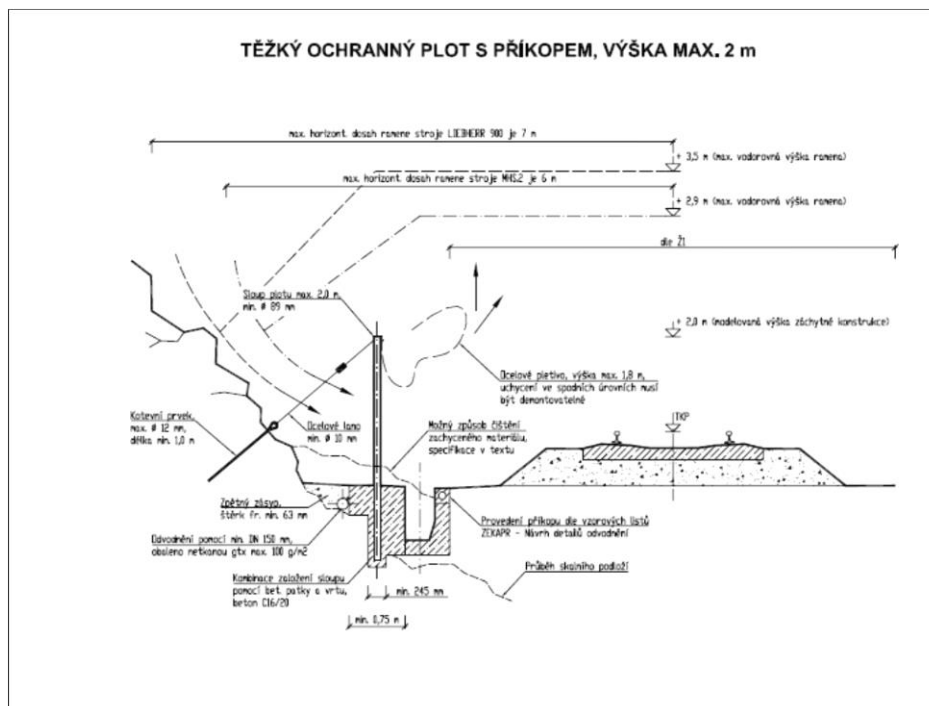
- akumulární prostor byl kapacitně dostatečně velký,
- konstrukce byla pro potřeby strojového čištění částečně rozebíratelná,
- byl současně odborně navržen armovaný příkop v celé délce konstrukce,
- příkop a následně i propustek byly snadno čistitelné v rámci údržby.

Použitelnost této konstrukce je dána především uspořádáním prvků v místě, kde se předpokládá prostor pro kumulaci materiálu. Důležitý je především prostorový vztah mezi liniovou stavbou, nebo jiným objektem a patou svahu. Ta může být někdy v těsné blízkosti zemního tělesa přilehlé konstrukce, někdy naopak. Opatření tedy nemá smysl použít v místě, kde by již nevznikl dostatečně velký akumulární prostor za konstrukcí. Ten musí činit min. 1,0 m při sklonu svahu cca 35°. Zároveň pro max. využití pracovního dosahu strojů je vhodná vzdálenost od osy železniční trati 4,0 m, při větší vzdálenosti by byl pracovní dosah strojů nedostatečný a bylo by nutné čištění provádět částečně ručně.

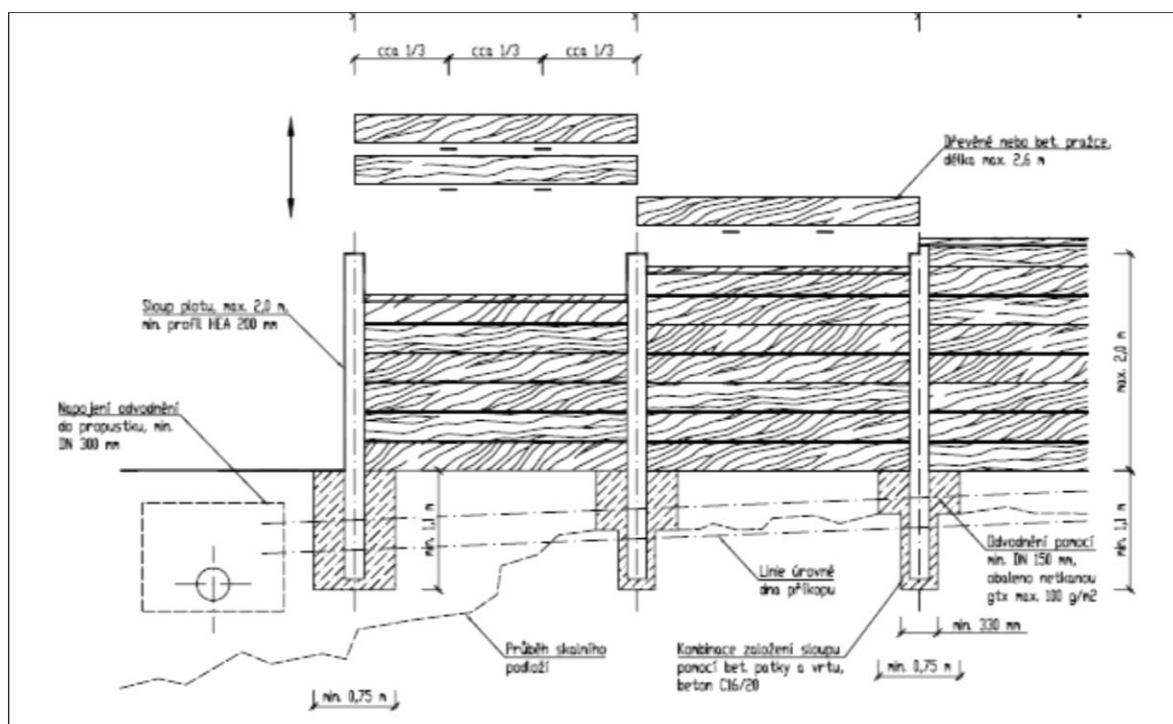
Podmínkou vhodné konstrukce je možnost jejího částečného rozebrání s cílem strojového čištění zachyceného materiálu. To splňuje, zejména Pražcový ochranný plot. Doporučená výška záchytné konstrukce je stanovena na max. 2,0 m.

Do této skupiny patří následující opatření:

- Těžký ochranný plot s příkopem
- Pražcový ochranný plot s příkopem



Obr. 68. Těžký ochranný plot s příkopem



Obr. 69. Pražcový ochranný plot s příkopem

8.3.2. Opatření pro sanaci transportní oblasti

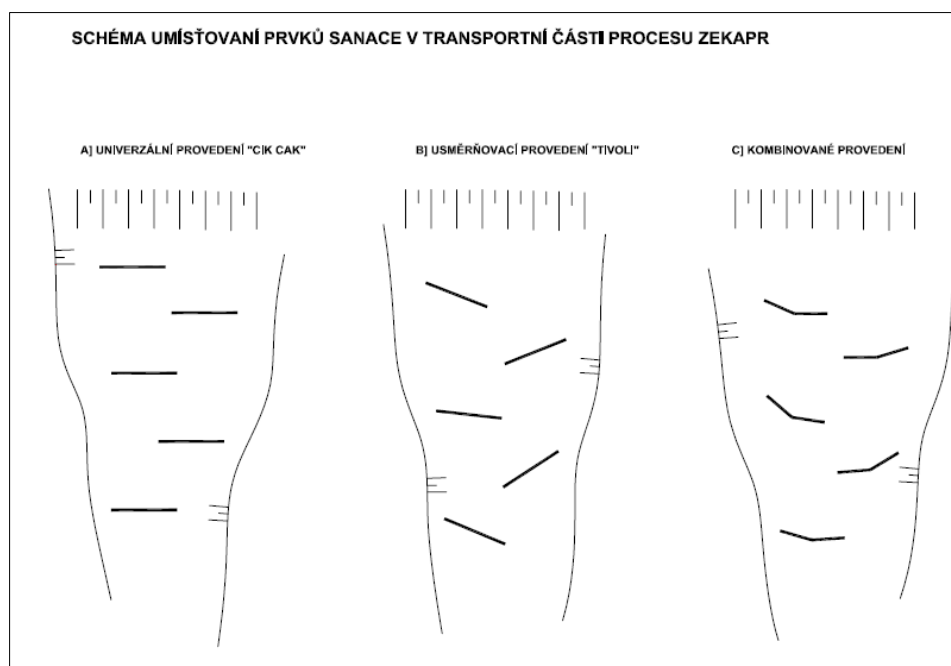
Tyto metody opatření proti ZEKAPR jsou navržena pro část svahu, kudy proudí materiál tvořící zemito-kamenitý proud. Zpravidla to bývá ta nejstrmější část. V této části materiál získává kinetickou energii, a proto je zde nutné a účelné materiál co nejvíce brzdit.

Ochranné konstrukce mají charakter pevné fyzické zábrany s nutnou možností oddělení vody a pevného materiálu. Na to, aby tento systém správně a efektivně fungoval, je nutné aby:

- se materiál ZEKAPRu v konstrukci nezadržoval, ale pouze zpomalil,
- se dle možností co nejvíce oddělil tento pevný materiál od vody,
- další vlna ZEKAPRu nevybočila, hrozí minutí akumulčního prostoru,
- parametry prvků byly navrženy vzhledem k předpokládanému charakteru materiálu ZEKAPRu.

Použitelnost těchto konstrukcí je dána především libovolným uspořádáním prvků v místě, kde se předpokládá transport materiálu. Prvky lze umisťovat jednotlivě i vzájemně tak, aby efekt zpomalení materiálu byl co největší a zároveň, aby byl proud materiálu co nejvíce řízený s cílem v akumulční oblasti.

Geometrické uspořádání prvků v prostoru je možné pomocí univerzálního („cikcak“), usměrňovacího („tivolí“) nebo kombinované provedení, které je znázorněno v doplňkovém schématu.



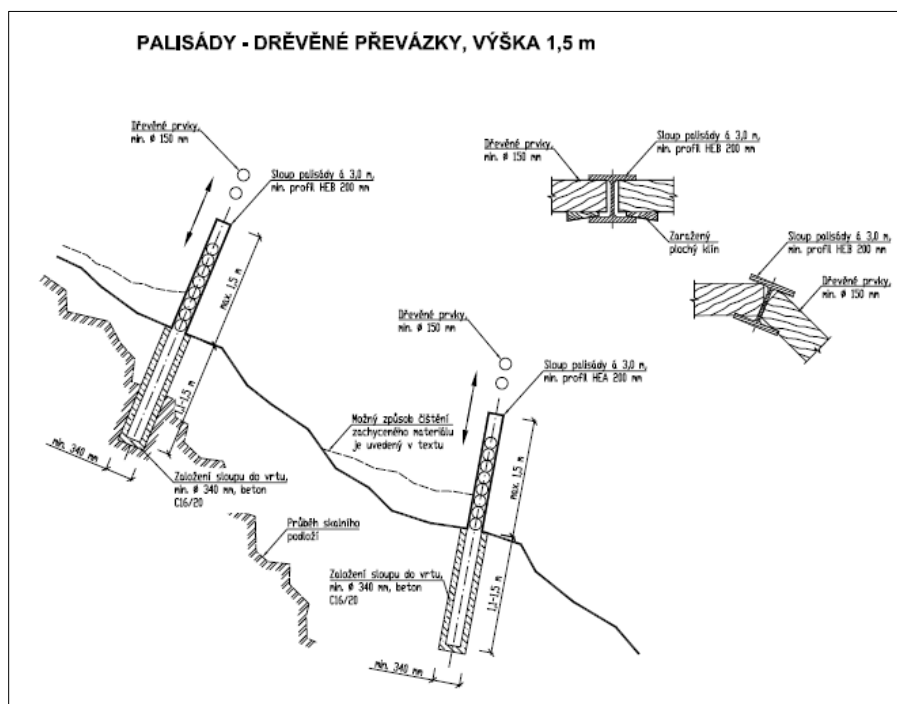
Obr. 70. Schéma umísťování sanačních konstrukcí v transportním pásnu.

Podmínkou vhodných konstrukcí je možnost jejich částečného rozebrání s cílem ručního čištění zachyceného materiálu, či výměny poškozených prvků. Tato opatření lze úspěšně použít i na strmých svazích se sklonem do cca 50° či tam, kde se očekává transport většího objemu materiálu.

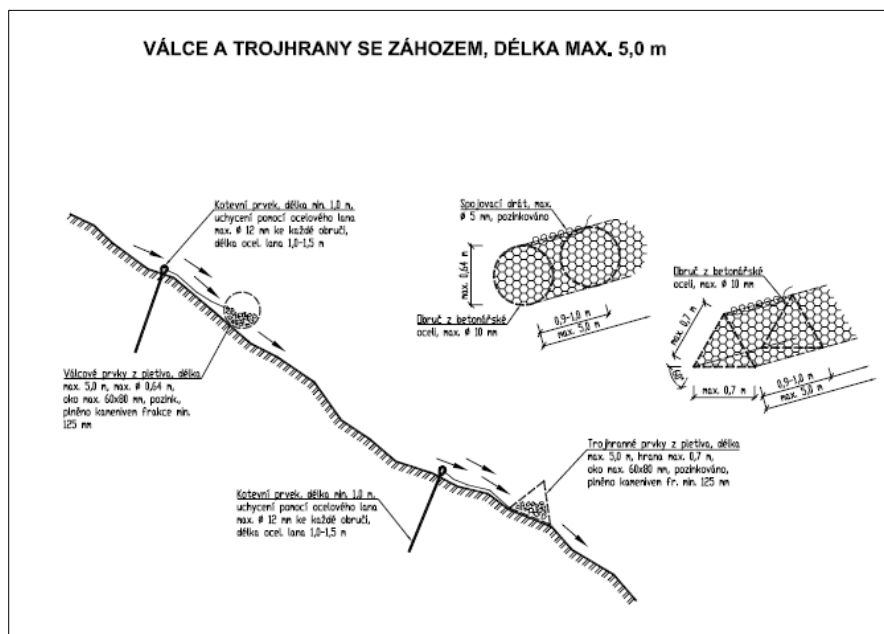
Koncepčně je doporučena osová vzdálenost jednotlivých sloupů 3,0 m, ale může být uzpůsobena konkrétním geomorfologickým podmínkám. Nutnost odborného návrhu vyžaduje konkrétní půdorysné schéma založení, kdy je nutné vycházet z místních geologických podmínek a pozorování jevu. Na základě místního šetření projektant-geotechnik navrhne průměr a délku vrtů, případně betonových patek. Stejně tak návrhu podléhá orientace konstrukcí ke svahu a trajektorii ZEKAPRu, či jejich celková délka.

Pro transportní pásmo doporučujeme následující opatření:

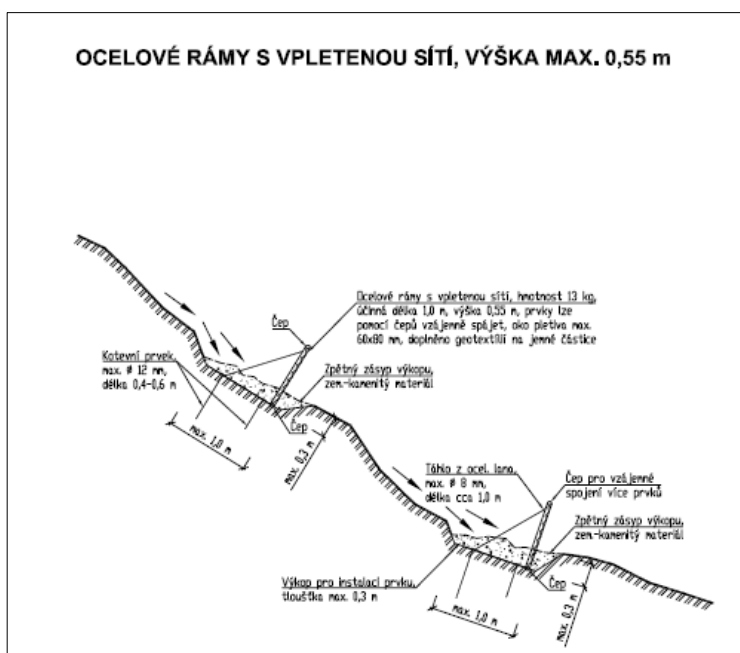
- Palisády – dřevěné převázky
- Válce a trojhrany se záhozem.
- Ocelové rámy s vpletenou sítí



Obr. 71. Palisády – dřevěné převázky



Obr. 72. Válce a trojhrany se záhozem



Obr. 73. Ocelové rámy s vpletenou sítí

8.3.3. Opatření pro řešení iniciační oblasti

Poslední část opatření je navržena pro iniciační oblast. Tedy část svahu, kde je nutné zajistit zvýšení odolnosti proti povrchové erozi.

Ochranná konstrukce má zpravidla charakter plošného prvku se schopností snížení rizika iniciace ZEKAPRu. Na to, aby tento systém správně a efektivně fungoval, je nutné, aby plošný prvek:

- zvýšil schopnost „zploštit“ iniciační srážku (zmenšil její max. hodnoty a protáhl její délku),
- zvýšil celkovou odolnost proti povrchové erozi.

Navrhované prvky je možné použít především na zemní, případně poloskalní svahy, kde vzniká povrchová eroze a předpokládá se i vznik ZEKAPRu. Tato opatření plošného charakteru lze úspěšně použít na svazích se sklonem až do cca 50°, déle v oblastech s vysokými iniciačními srážkami. Realizace opatření je možná i na svahy se vzrostlou vegetací, kdy je plošný prvek pouze lokálně upraven. Výhodou těchto metod je relativní jednoduchost provedení a instalace na svah. Rovněž demontáž, případně úprava polohy lze provést s minimální časovou náročností.

Další nespornou výhodou je vysoká míra zvýšení odolnosti povrchu svahu proti dlouhodobému působení klimatických faktorů.

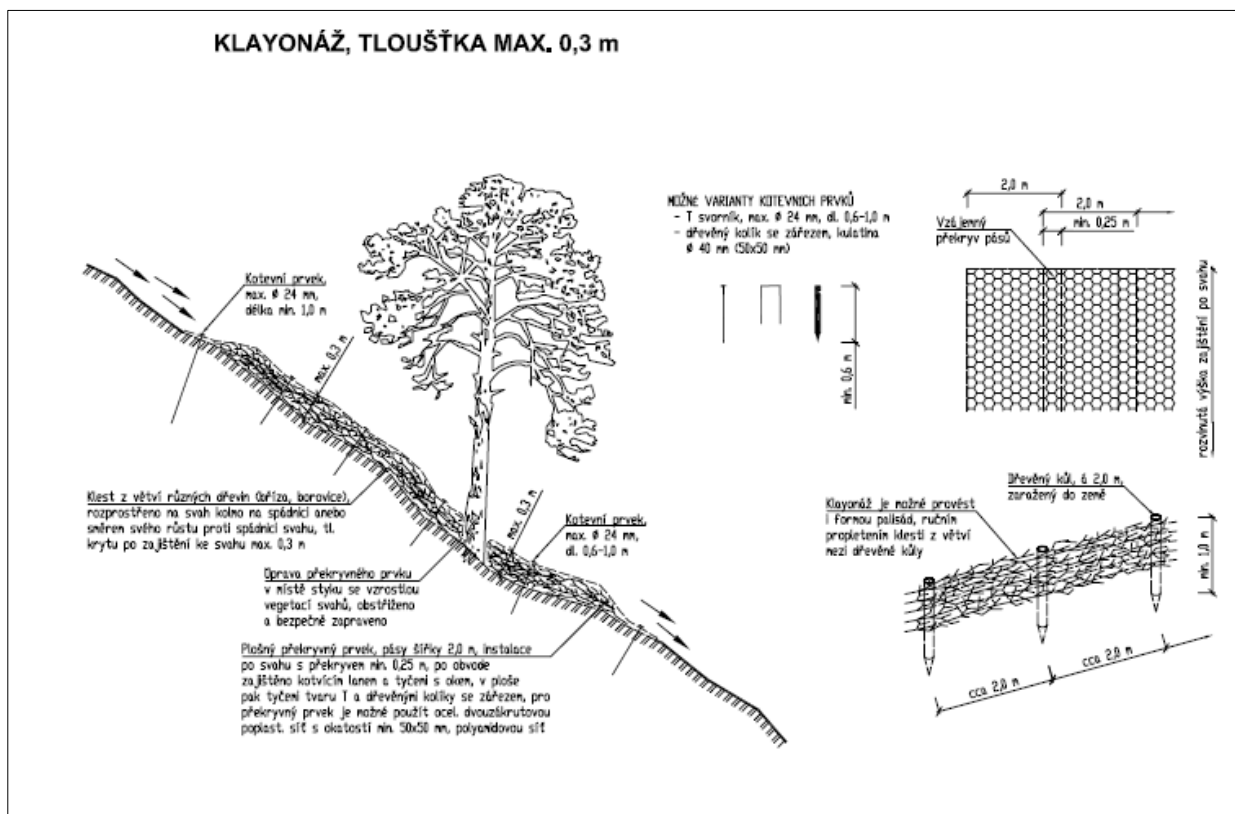
Z koncepčního hlediska je důležité dodržet max. a min. rozměry kotevních prvků a vzájemné přesahy jednotlivých pásů.

Nutnost odborného návrhu vyžaduje především lokalizace předmětného, kritického místa, kde se předpokládá vznik ZEKAPRu. Stejně tak návrhu podléhá kotevní systém, kdy musí vycházet z místních geologických podmínek. Na základě místního šetření tedy projektant-geotechnik navrhne typ, průměr, délku a rastr kotevních prvků včetně plošného rozsahu opatření.

Pro iniciační oblast jsme definovali z řady možných těchto pět metod:

- prolamované rohože,
- klayonáž ,
- biopásy,
- renomatrace,
- rekultivační metody.

Metoda klayonáže byla experimentálně ověřena na lokalitě Libochovany a byla vylepšena použitím ocelových lan. Tento postup byl v rámci projektu ochráněn udělením užitého vzoru.



Obr. 74. Klayonáž

9. Rizikové faktory podporující vznik ZEKAPR v podmínkách ČR

Dílním výsledkem základní a doplňující rešerše bylo definování možných faktorů, které působí na vznik svahových proudů charakteru „debris“ uváděných v literatuře viz kap. 4.3. Možné faktory byly na začátku projektu shrnuty do 0. Na konci projektu je možné jednotlivé faktory znovu posoudit a navrhnout jejich váhu vzhledem ke vzniku ZEKAPR. Faktory byly rozděleny do dvou základních skupin a to faktory označené jako „zásadní“ a faktory označené jako „podružné“. Pro jednotlivé váhy faktorů bylo navrženo 5 slovních hodnocení vlivu na vznik ZEKAPR a to:

- žádný nebo zanedbatelný vliv,
- nízký,
- zvýšený,
- vysoký,
- velmi vysoký.

K jednotlivým faktorům uvedeným v Tab. 1 byly přiřazeny faktory a slovní hodnocení vlivu viz 0.

Faktory ovlivňující vznik ZEKAPR ověřené řešitelským týmem

Název faktoru	Typ faktoru	Slovní hodnocení	Poznámka
sklon svahu/délka	zásadní	velmi vysoký	průměrný sklon 30°-40°, >100 m
horninové prostředí	podružný	velmi vysoký	matečná hornina citlivá na mrazové cykly, hustá síť foliace se sklonem směrem ven ze svahu
svahový pokryv	zásadní	velmi vysoký	obsah jemných částic > 10%, tloušťka 1,0 až 2,0 m
půdní skladba	podružný	nízký	projektem neanalyzováno
vegetační pokryv	podružný	vysoký	listnatý les s řídkým stromovým zápojem, minimální keřové a bylinné patro
srážky/délka	zásadní	velmi vysoký	délka srážky 15 až 20 minut, vrcholová intenzita >100 mm/h
hydrologie	podružný	nízký	trvale přítomný
mikropovodí	zásadní	vysoký	velikost plochy >3000 m ²
zvěř	podružný	velmi vysoká	muflon, prase divoké
antropogenní	podružný	zvýšený	zemědělství, stavební činnost

8.1 Návrh klasifikace rizika ZEKAPR pomocí metodiky EFR

Účastník projektu firma SG-Geoprojekt s.r.o (Holý; Štábl), vypracovala návrh metody klasifikace rizika ZEKAPR nazvanou „Metodika EFR“. Název metodiky je zkratka slov Earth - Flow – Rating. Základ metodiky vychází z popisu svahu na základě obecných a na místě vizuálně zjistitelných charakteristik, bez nutnosti hluboké geologické, geotechnické a protierozní znalosti. V rámci navržené metodiky nebyly plně akceptovány výsledky uvedené v 0. Důvodem bylo zachování jednoduchého určení potřebných vstupních faktorů.

Metodika byla vytvořena jako nástroj pro vyhodnocení pravděpodobnosti výskytu rizikového jevu ZEKAPR na příslušném svahu. Klasifikace stavu svahu je řešena pomocí základních kritérií s vyhodnocením do celkem čtyř konečných stavů. Klasifikace a hodnocení vzniku ZEKAPR je v rámci metodiky EFR řešeno pomocí bodové klasifikace viz 0.

Hodnotící kritéria navrhované metody včetně bodového hodnocení jsou uvedeny pro zásadní faktory v 0 a pro podružné faktory v 0.

Hodnocení stavu a klasifikace

Hodnocení stavu dle EFR	Bodová klasifikace
Nízké riziko	14-124
Zvýšené riziko	125-400
Vysoké riziko	401-500
Velmi vysoké	501-736

Zásadní faktory a bodové hodnocení

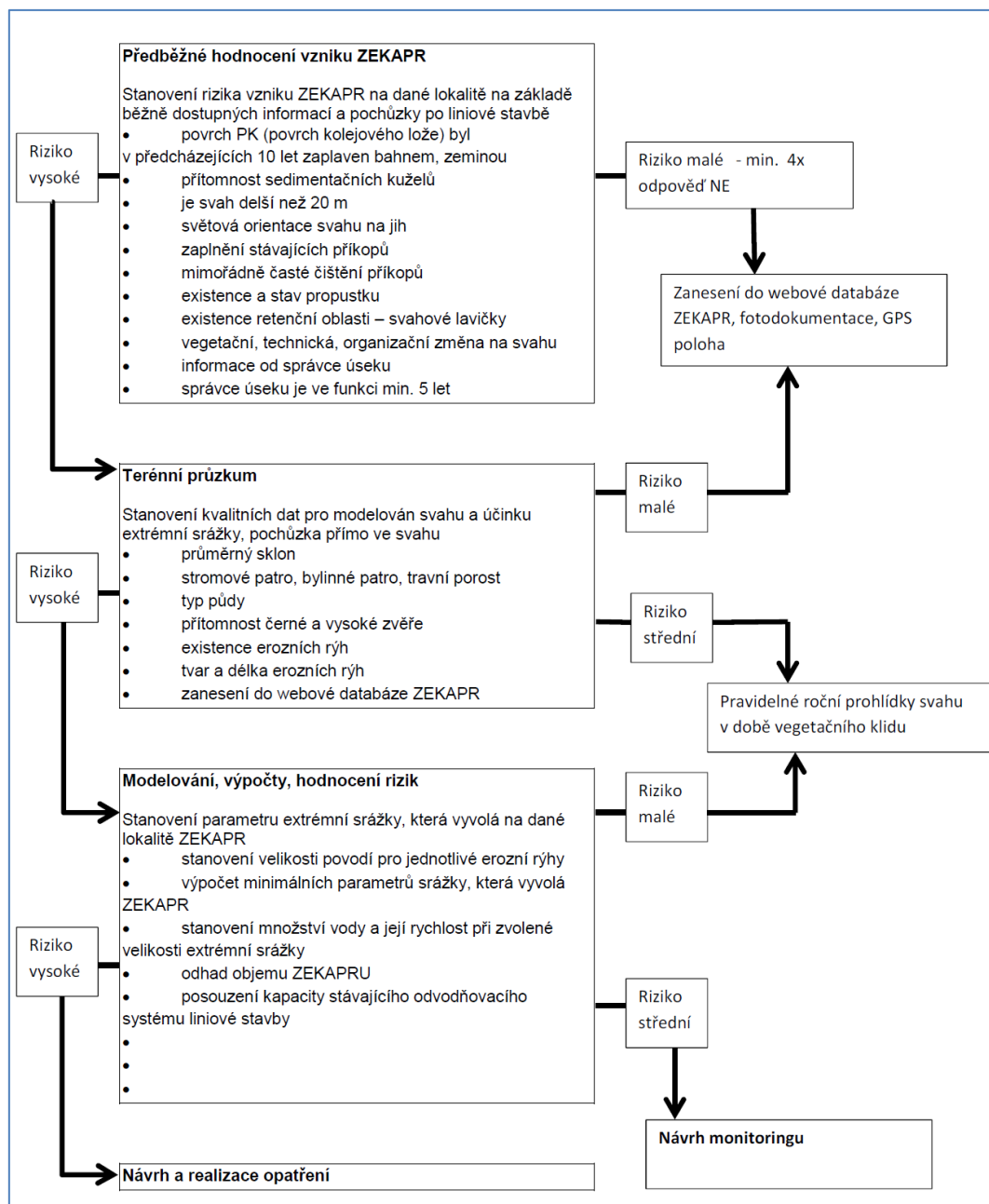
Bodová klasifikace	Sklon svahu	Srážková intenzita
	Průměrný sklon svahu – rýhy / stupně	mm / hod
0	55° - 90°	0 - 25
4	0° - 15°	25 - 50
16	15° - 30°	50 - 65
64	40° - 55°	65 - 100
256	30° - 40°	100 a více

Podružné faktory a bodové hodnocení

Bodová klasifikace	Botanická skladba	Přítomnost pramenů	Expozice svahu
0	Zastavěné území		
2	Jehličnatý les, křoviny souvislé	Trvale přítomny	S (SZ-S-SV) V (JV-V-SV)
8	Pastviny, travní porost, smíšené zemědělské plochy, křoviny řídké	Občas přítomny	
32	Listnatý les	Nepřítomny	Z (SZ-Z-JZ) J (JZ-J-JV)
128	Orná půda		

Navržená metodika nebyla podrobena statistické analýze z důvodu minimálního souboru relevantních lokalit. Z tohoto pohledu je nutné chápat metodiku EFR jako nekalibrovanou. Pro kalibraci metodiky EFR bude vhodným nástrojem dostatečně naplněná „Databáze ZEKAPR“ viz kap. 5.

Pro potřeby, především SŽDC s. o., vypracovala Katedra železničních staveb, Fakulty stavební, ČVUT v Praze návrh rozhodovacího blokového schématu (RBS ZEKAPR) pro minimalizaci účinků ZEKAPR na železniční infrastrukturu viz Obr. 75. Návrh RBS ZEKAPR vychází z myšlenky využít běžně prováděnou pravidelnou dohlédací činnost na železnici pro identifikaci a minimalizaci georizika ZEKAPR.



Obr. 75. Rozhodovací blokové schéma pro minimalizaci rizik ZEKAPR

10. Závěr

Cílem programového projektu MPO ČR s označením FR TI3/513: „**Výzkum a Vývoj – systematizace a finanční optimalizace sanačních prevenčních opatření pro liniové stavby před bahnotoky – bahnitokamenitými proudy**“, bylo vytvoření systematizovaného postupu při ochraně a prevenci liniových staveb před účinky zemito-kamenitých proudů. Tento hlavní cíl projektu byl naplněn především těmito výsledky:

- definice zemito-kamenitého proudu a jeho vymezení vzhledem k zahraničnímu výrazu „debris“,
- definování faktorů nejvíce ovlivňujících vznik zemito-kamenitého proudu v podmínkách ČR,
- ověření možnosti aplikace komerčních softwarů používaných v oboru hydrologie pro plošnou identifikaci rizik vzniku zemito-kamenitých proudů,
- návrh klasifikační metody EFR,
- vytvoření volně dostupné databáze stávajících zemito-kamenitých proudů na území ČR,
- vytvoření návrhů technických opatření.

Podrobněji lze dosažené výsledky projektu rozdělit (ve shodě s přihláškou projektu) na výsledky, které může uplatnit investor, projektant a zhotovitel.

Výsledky vztahující se k pozici investor:

- jednoznačně bylo projektem prokázáno, že jev ZEKAPR se opakuje v místech, kde již jev v minulosti proběhl,
- projektovaná řešení musí umožnit jejich následnou údržbu (například obnovu záchytného nebo akumulčního efektu),
- nejvíce účinné opatření je tvořeno kombinací více prvků (záchytné, plošné, organizační, vegetační),
- složité vlastnické vztahy k pozemkům na, kterých je sanační efekt nejvyšší (často tyto pozemky jsou mimo pozemky příslušející k liniové stavbě nebo tyto pozemky požívají zvláštní ekologické ochrany),
- vždy zvážit efektivitu realizace pouze varovného systému s minimálním rozsahem technických opatření.

Výsledky vztahující se k pozici projektant:

- kvalitní průzkum lokality se zaměřením na příčiny vzniku ZEKAPR,
- průzkum realizovat zásadně mimo vegetační období, průzkum realizovaný ve vegetačním období může být zatížen značnou chybou,
- kombinace průzkumu a GIS analýzy musí jasně v terénu identifikovat jednotlivé preferenční dráhy odtoku včetně stanovení velikosti mikropodí,
- srážku modelovat jako extrémní s parametry: délka 15 až 20 minut, intenzita minimálně 100 až 150 mm/h,
- technická záchytná opatření realizovat přímo do preferenčních drah odtoku,
- záchytná opatření by měla umožnit zachycení pevných částic při současném umožnění odtoku vody,
- záchytná opatření by měla umožnit jejich snadnou následnou údržbu,
- ZEKAPR nemá v podmínkách ČR významnou dynamickou složku,
- vznik Katalogu sanačních opatření pro ZEKAPR,
- možnost využití databáze ZEKAPR jako řešeršního zdroj,

- záchytné konstrukce typu gabion jsou nevhodné pro aplikaci v akumulární oblasti ZEKAPR ,
- vždy kombinovat opatření v iniciační, transportní i akumulární oblasti.

Výsledky vztahující se k pozici zhotovitel:

- vysoký podíl ruční práce,
- práce v složitém terénu často vyžadující horolezecké techniky,
- zkušenosti s minimalizací rizika ohrožení bezpečnosti provozu na liniové stavbě v průběhu realizace projektovaných opatření,
- práce v ekologicky chráněných lokalitách,
- nutnost vývoje inovativních technologických postupů,
- nutná zkušenost v oboru sanace skal, sanace horolezeckou technikou, sanace sesuvů,
- nutná aktivní komunikace v době výstavby s projektantem i investorem.

Výsledky řešení programového projektu z pohledu RIV jsou uvedeny v 0:

Druh výsledku řešení projektu

Druh výsledku	Příhláška	Plnění	Komentář
Poloprovaz	ano	ano	
Ověřená technologie	ano	ano	
Užitný vzor	ne	ano	nutná základní ochrana vyvinutého prvku, náklady nebyly hrazeny z projektu
Článek	ne	ano	
Software	ano	ano	

Mimo výše uvedených výsledků bylo dosaženo (nebo nedosaženo) i výsledků obecných, jejichž hodnocení je potřeba chápat v kontextu hypotéz, které o jevu ZEKAPR existovali před realizací projektu. Do této kategorie výsledků především patří:

- jev ZEKAPR je multioborový fenomén, který se dotýká oblastí: hrazení bystřin, sanace strží, geologie, geotechniky, hydrauliky, hydrologie, pedologie, dendrologie, botaniky ale i lesního hospodářství a myslivosti,
- řešitelský tým, vzhledem k odbornému složení účastníků projektu, mohl řešit jen dílčí části problematiky ZEKAPR,
- jev ZEKAPR nelze věrohodně modelovat v měřítku 1:1 v laboratorních podmínkách,
- srážka, kterou v podmínkách ČR vyvolává ZEKAPR je extrémní a lokální,

- síť srážkoměrných stanic na území ČR je z pohledu ZEKAPR velice řídká a nelze prakticky využít,
- jako vhodný příklad sítě srážkoměrných stanic umožňující identifikování iniciační srážky ZEKAPR se ukázala síť, která je využívána pro modelování chování městské kanalizační sítě,
- srážkoměr pro identifikaci iniciační srážky ZEKAPR musí pracovat s vyhodnocovacím krokem definovaným úhrnem srážek min. 0,1 až 0,2 mm, vhodným typem konstrukce je překlopný (člunkový) srážkoměr,
- hlavní období vzniku ZEKAPR je od června do října.

Řešitelský tým projektu se jako první v ČR pokusil komplexně popsat jev ZEKAPR včetně návrhu vhodných technických opatření. Na základě zkušeností při řešení projektu získal řešitelský tým mimořádně cenné zkušenosti, které se bude dále snažit rozvíjet a to především v oblasti ochrany železničních drah.

11. Literatura

Bach Jan Libochovany - Dendrologickobotanický popis lokality [Kniha]. - Chomutov : STRIX Chomutov, 2013.

Bárta Jaroslav LOKALITA V ZÁŘEZU ŽELEZNIČNÍ TRATI 072 VŠETATY – DĚČÍN V KM 416,750 [Kniha]. - Praha : G IMPULS Praha spol. s r. o., 2013.

Dufka Dušan Formulář pro sběr údajů o zemitokamenitých proudech [Kniha]. - Chomutov : STRIX Chomutov, 2013.

Dušková Klára a Lukáš Vlček Vodohospodářská analýza vybraných traťových úseků z pohledu ohrožení zemito-kamenitými proudy [Kniha]. - Praha : Vodohospodářský rozvoj a výstavba a.s., 2013.

Gajdoš Pavel Geotechnický posudek: Nestabilita drážních svahů Zbraslav - Vrané n. Vltavou [Kniha]. - Ústí nad Labem : SG Geotechnika, a.s., 2013.

Holý Ondřej Vzorové listy ZEKAPR - sanační opatření [Kniha]. - Brno : SG Geoprojekt, 2014.

Lidmila Martin a Pýcha Marek Pasportizační zpráva - Lokalita Libochovany [Kniha]. - Praha : ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2013. - stránky 1-53.

Lidmila Martin Pracovní dosah strojů [Kniha]. - Praha : ČVUT, 2014.

Lidmila Martin, Štulíková, Lenka, Zvěřina, Jan Průběžná zpráva projektu FR-TI3/513. [Kniha]. - Praha : Katedra železničních staveb, Fakulta stavební, ČVUT, říjen 2011.

Lidmila Pavel Závěrečná zpráva geotechnického průzkumu pro zajištění svahu km 416,600 - 416,750 Všetaty - Děčín [Kniha]. - Praha : SG Geotechnika, a.s., 2007.

Moravské Karpaty – články svahové pohyby [Online]. - 10. 11 2011. - <http://moravske-karpaty.cz/clanky/sesuvy.htm>.

Němečková Jana a Hládková Kateřina Laboratorní zkoušky - lokalita Libochovany [Kniha]. - Praha : ARCADIS Geotechnika a.s., Praha, 2013.

Přírodní katastrofy a environmentální hazardy, multimediální výuková příručka [Online]. - MASARYKOVA UNIVERZITA, PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA. - 29. 11 2011. - <http://www.sci.muni.cz/~herber/slide.htm>.

Pýcha Marek Doplněk k rešerši – terminologie a klasifikace ZEKAPR, Zpráva projektu FR-TI3/513 [Kniha]. - Chomutov : STRIX Chomutov a.s., listopad 2013.

Pýcha Marek Vzorové listy ZEKAPR - návrh detailů odvodnění [Kniha]. - Praha : ČVUT, 2014.

12. Seznam obrázků

- Obr. 1. Gabiónová konstrukce, zaplněná a poškozená působením zemito-kamenitým proudem, Lokalita Zbraslav.
- Obr. 2. Pracovní setkání výzkumného týmu na půdě ČVUT.
- Obr. 3. Rastr sklonu experimentální lokality Libochovany.
- Obr. 4. Ukázka části záznamu v databázi.
- Obr. 5. Ukázka typového projektu: Odvodnění varianta 1.
- Obr. 6. Grafická poloha jevu ZEKAPR k vybraným faktorům
- Obr. 7. Příklad suťového kuželíku vniklý důsledkem ZEKAPR
- Obr. 8. Erozní rýha
- Obr. 9. Erozní rýha, suťové kuželíky a deformace záchytného prvku
- Obr. 10. Suťové pole na strmém svahu
- Obr. 11. Strmý svah bez vegetace
- Obr. 12. Příklad šikmo rostoucích stromů – „opilé stromy“
- Obr. 13. Zbahnění kolejového lože 2. traťové koleje
- Obr. 14. Podemletí a následný dílčí sesuv náspu trati
- Obr. 15. Panoramatický snímek lokality Libochovany s označením erozních rýh
- Obr. 16. Obnažený geologický profil lokality
- Obr. 17. Vrstevnicová mapa a 3D model územní s geofyzikálním průzkumem
- Obr. 18. Multielektrodová odporová tomografie P1 podélný řez, P2-P4 příčné řezy
- Obr. 19. Profil P1 - seismický řez,
- Obr. 20. Profil P2, P3, P4 - seismický řez
- Obr. 21. Pohled na kopanou sondu LK 6, celkový pohled a detail horních vrstev
- Obr. 22. Souhrnné výsledky laboratorní zkoušky zrnitosti – křivky zrnitosti
- Obr. 23. Podíl obsahu jemné frakce
- Obr. 24. Výsledky zkoušek pevnosti v prostém tlaku a pevnosti na nepravidelných tělesech
- Obr. 25. Výsledky zkoušek tvarového indexu
- Obr. 26. Výsledky zkoušek odolnosti proti zmrazování a rozmrazování – 25 cyklů
- Obr. 27. Výsledky zkoušek odolnosti proti zmrazování a rozmrazování – 50 cyklů
- Obr. 28. Pohled na ruční vrtací soupravu při experimentálním vrtu
- Obr. 29. Pohled na osazování PVC pažnice v kopané sondě
- Obr. 30. Pohled na jádro vrtu ve vzorkovnici - sonda LK1
- Obr. 31. Dráhy soustředěného odtoku s očíslovanými kritickými body
- Obr. 32. Mapa sklonů experimentální lokality Libochovany
- Obr. 33. Příklad polohy kritického bodu a odpovídajícího mikropovodí
- Obr. 34. Vybraná mikropovodí pro vytvoření srážko-odtokových modelů
- Obr. 35. Schéma srážko-odtokového modelu pro mikropovodí označené jako L_B
- Obr. 36. Zanesení kolejového lože v důsledku svahových pohybů
- Obr. 37. Projev ZEKAPR v jižní části lokality
- Obr. 38. Panoramatický snímek lokality Zbraslav s označením erozních rýh identifikovaných v roce 2003
- Obr. 39. Pohled do jižní erozní rýhy
- Obr. 40. Pohled do severní erozní rýhy
- Obr. 41. Zaplnění akumulčního prostoru a následná ztráta prostorové polohy záchytné gabionové stěny po extrémním klimatickém zatížení dne 1. 6. 2008 (zdroj www.pacifikem.cz)
- Obr. 42. Odkrytý geologický profil lokality
- Obr. 43. Označení a poloha kopaných sond
- Obr. 44. Provádění kopané sondy ZK 1 a výsledná hloubka sondy ZK 2
- Obr. 45. Souhrnné výsledky laboratorní zkoušky zrnitosti – křivky zrnitosti
- Obr. 46. Podíl obsahu jemné frakce
- Obr. 47. Výsledky zkoušek pevnosti v prostém tlaku a pevnosti na nepravidelných tělesech
- Obr. 48. Výsledky zkoušek tvarového indexu
- Obr. 49. Výsledky zkoušek odolnosti proti zmrazování a rozmrazování – 25 cyklů
- Obr. 50. Výsledky zkoušek odolnosti proti zmrazování a rozmrazování – 50 cyklů
- Obr. 51. Dráhy soustředěného odtoku s očíslovanými kritickými body
- Obr. 52. Mapa sklonů experimentální lokality Zbraslav
- Obr. 53. Vybraná mikropovodí pro vytvoření srážko-odtokových modelů
- Obr. 54. Oblast č. 1 – pohled na 3D model mračna bodů; pohled na reálnou situaci

- Obr. 55. Oblast č. 2 – pohled na 3D model mračna bodů; pohled na reálnou situaci
- Obr. 56. Oblast č. 4 – pohled na 3D model mračna bodů; pohled na reálnou situaci
- Obr. 57. Ukázka záznamu z databáze.
- Obr. 58. Lokalita „Stará výsypka“
- Obr. 59. Lokalita „Jirkov“
- Obr. 60. Drobný sesuv na testovací lokalitě během dešťové simulace.
- Obr. 61. Erozní rýhy způsobené dešťovým simulátorem
- Obr. 62. Simulátor ZEKAPR s dešťovým simulátorem extrémní srážky v laboratořích ČVUT FSv.
- Obr. 63. Příklad záznamu reálné srážky pomocí komerčního člunkového srážkoměru
- Obr. 64. Pohled na instalovaný člunkový srážkoměr STRIX
- Obr. 65. Příklad datového záznamu srážkoměru STRIX
- Obr. 66. Příklad upraveného záznamu srážkoměru STRIX – hodinový srážkový úhrn
- Obr. 67. Příklad měření dosahu stroje MHS.2 za modelovanou záchytnou bariérou
- Obr. 68. Těžký ochranný plot s příkopem
- Obr. 69. Pražcový ochranný plot s příkopem
- Obr. 70. Schéma umísťování sanačních konstrukcí v transportním pásnu.
- Obr. 71. Palisády – dřevěné převázky
- Obr. 72. Válce a trojhrany se záhozem
- Obr. 73. Ocelové rámy s vpletenou sítí
- Obr. 74. Klayonáž
- Obr. 75. Rozhodovací blokové schéma pro minimalizaci rizik ZEKAPR

13. Seznam tabulek

- Tab.1. Možné faktory ovlivňující vznik svahových proudů
- Tab.2. Průvodní znaky ZEKAPR in-situ
- Tab.3. Označení přírodních experimentálních lokalit
- Tab.4. Označení a kilometrická poloha erozních rýh
- Tab.5. Seznam kopaných sond
- Tab.6. Typy laboratorních zkoušek a počet zkoušek
- Tab.7. Seznam vrtů a jejich celková hloubka
- Tab.8. Parametry mikropovodí
- Tab.9. Maximální vypočítané hydrologické hodnoty pro vybraná mikropovodí
- Tab.10. Označení kopaných sond a poloha GPS
- Tab.11. Parametry mikropovodí – lokalita Zbraslav
- Tab.12. Maximální vypočítané hydrologické hodnoty pro vybraná mikropovodí
- Tab.13. Dílčí oblasti pro analýzu laserový skenováním
- Tab.14. Vypočtený objem hmot iniciovaných ZEKAPREM
- Tab.15. Testování sanačních prvků na jednotlivých lokalitách
- Tab.16. Maximální možná výška záchytné stěny při proměnné vzdálenosti od osy koleje pro stroj Liebherr 900
- Tab.17. Maximální možná výška záchytné stěny při proměnné vzdálenosti od osy koleje pro stroj MHS.2
- Tab.18. Faktory ovlivňující vznik ZEKAPR ověřené řešitelským týmem
- Tab.19. Hodnocení stavu a klasifikace
- Tab.20. Zásadní faktory a bodové hodnocení
- Tab.21. Podružné faktory a bodové hodnocení
- Tab.22. Druh výsledku řešení projektu